

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Forschungsbericht 159

**Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes
und der Temperaturverteilung im Querschnitt
von Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6
mit abgedruckten FORTRAN-Sourcelistings
sowie unter MS-DOS lauffähigen Programmen
und kompletten Anwendungsbeispielen auf Diskette**

von Dipl.-Inform. Renate Müller
Dr.-Ing. Reinald Rudolphi

144 Seiten, 61 Abbildungen

Das diesem Bericht zugrundeliegende BAM-Vorhaben 02432

„Numerische Ermittlung des Wärmeverlustes und der Temperaturverteilung in den Wänden von Schornsteinen (Schornstein-Vh II)“

wurde durch das Institut für Bautechnik in Berlin (Gesch. Z. IfBt IV/1-5-353/82) gefördert.

Herausgegeben von der
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45
Telefon (030) 8104-1 Telex 183 261 bamb d
Telefax (030) 8 112 029 Teletex 2 627-308 372=bamb

Copyright © 1989 by Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Verlag und Vertrieb:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, 2850 Bremerhaven 1
Telefon (0471) 46093-95

Vorwort

Die Autoren danken dem Institut für Bautechnik in Berlin, insbesondere den Herren Dipl.-Ing. G. Bauer und Dipl.-Ing. E. Berlin, für die Förderung dieses Projekts.

Früherichte von ausgeführten Messungen zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6 wurden der BAM freundlicherweise von

- dem Technischen Überwachungs-Verein Bayern in München und
- dem Landesamt für Baustoffprüfung in Bremen

zur Verfügung gestellt.

Als weitere Grundlage für in diesem Bericht ausgeführte Berechnungen dienten außerdem von der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe ausgeführte Messungen an Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6 bzw. ISO 4736.

Der Amtlichen Materialprüfanstalt für Steine und Erden der Technischen Universität Clausthal sei für die Bestimmung der Kennwerte nach dem Heißdraht-Parallelverfahren und Herrn Dipl.-Ing. E. Klement, Laboratorium 2.41 "Brandschutz, Feuerschutz" der BAM, für seine dabei geleistete Unterstützung gedankt.

In der BAM wurden

- die graphischen Darstellungen von Frau M. Skotnicki gezeichnet,
- alle Farbgraphiken von Frau R. Schulz auf einem hochauflösenden Tektronix-Farbgraphikterminal 4128 (1280x1024 Pixel, 64 Farben) erstellt und entweder mit einer Hasselblad 500 C/M mit einem Carl Zeiss S-Planar T* 1:5,6 f=120 mm auf Kodak Vericolor III Professional-6x6-Negativfilm Type S, 23 DIN (VPS 120) mit 1s Belichtungszeit und Blende 5.6/8 bei voll abgedunkeltem Raum abphotografiert oder auf einem Tektronix-Farbhardcopygerät 4692 mit Rasterizer 4510A im BAM-Rechenzentrum ausgegeben.
- Die Photoarbeiten wurden von den Herren Th. Hense und A. Kelling sowie Frau K. Scharein von der Photoabteilung angefertigt.
- Die Berechnungen wurden auf der VAX 8600 des BAM-Rechenzentrums durchgeführt. Herrn Dipl.-Math. D. Amthor, Herrn K. Martini, Herrn Dipl.-Phys. W. Strogies und Herrn Dipl.-Inform. J. Zimpfer vom BAM-Rechenzentrum sei für ihre langjährige Unterstützung gedankt. Die Anlagen wurden dort von Herrn Dipl.-Ing. W. Hendricks mit WPS-PLUS aufbereitet und auf dem DEC-Laserdrucker LN03 PLUS ausgegeben.

Kurzfassung

Zur Berechnung der Temperaturverteilung im Querschnitt von Hausschornsteinen (auch mit Zellen) bei Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A) und des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) wurden FORTRAN IV-Rechenprogramme erarbeitet.

Die Rechenergebnisse wurden mit Messungen an einschaligen Hausschornsteinen bei der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe (DIN 18160 Teil 6, Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2), des Technischen Überwachungs-Vereins Bayern in München und des Landesamtes für Baustoffprüfung in Bremen (DIN 18160 Teil 6, Beanspruchung für Prüfschornstein C) abgesichert.

Für einschalige Schornsteine werden Empfehlungen für die den Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Außenoberflächentemperaturen bei einer Abgastemperatur von 500 °C zugrundezulegenden Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite gegeben.

In einer zusätzlichen Studie wurden die Möglichkeiten zur Übertragbarkeit von Prüfungen an Hausschornsteinen (Beanspruchung für Prüfsch. A, Betriebsphase 2) nach DIN 18160 Teil 6 auf größere lichte Querschnitte untersucht. Sie liegt dem Institut für Bautechnik in Berlin seit Oktober 1984 als gesonderter Bericht vor und wurde 1985 veröffentlicht.

Außer einer kurzen Beschreibung der physikalisch-mathematischen Grundlagen sowie der Auflistung der Rechenprogramme enthält der Forschungsbericht eine Reihe von durchgerechneten Anwendungsbeispielen.

Es sei darauf hingewiesen, daß bereits BAM-Veröffentlichungen zu Teilaspekten der vorliegenden Problemstellungen gemacht wurden.

Schornsteine - Hausschornsteine - Zellenformstücke - Prüfbedingungen nach DIN 18160 - Berechnung Wärmedurchlaßwiderstand - Berechnung Temperaturverteilung - Hohlraumberücksichtigung - Wärmeübergangskoeffizienten - Rechenprogramme LAMLKS und INSTRKS in FORTRAN - Anwendungsbeispiele - Lauffähige Programme unter MS-DOS auf Diskette

Abstract

For the calculation of the temperature distribution in the cross section of chimneys (including also cavities) under test conditions in conformity with DIN 18160 part 6 (test chimney A) and of the thermal resistance according to DIN 18160 part 6 (test chimney C) several FORTRAN IV computer programs were developed. The results were compared with the results of tests on chimneys carried out by the following test institutes:

- Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe,
- Technischer Überwachungs-Verein Bayern in Munic and the
- Landesamt für Baustoffprüfung in Bremen

For the numerical evaluation of the temperature distribution and of the thermal resistance of the above mentioned chimneys coefficients of heat transfer at the inner and outer chimney surfaces are proposed.

In an additional study numerical extrapolation possibilities of test results to other chimney shapes are examined. This separate report was presented to the Institut für Bautechnik in Berlin in October 1984 and was published in 1985.

The report includes a short description of the physical and mathematical bases of the computer programs, listings, input instructions as well as a lot of examples.

It should be pointed out that a number of BAM-publications concerning parts of the above problem are already available.

Résumé

Le présent projet avait pour but de mettre au point plusieurs programmes grâce auxquels on peut calculer la répartition des températures et la résistance thermique des couches d'une cheminée dans les conditions d'essai correspondant à la norme DIN 18160 partie 6 (cheminées d'essai A et C) et prendre en compte également les transferts de chaleur dans les alvéoles.

Les résultats des calculs ont été vérifiés à l'aide des essais correspondants exécutés par les institutions suivantes:

- Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe,
- Technischer Überwachungs-Verein Bayern à Munich et
- Landesamt für Baustoffprüfung à Brême

On donne des recommandations concernant les coefficients d'échange superficiel à l'intérieur comme à l'extérieur qui devraient être adoptés pour la simulation numérique des essais mentionnés ci-dessus.

Dans une étude supplémentaire, on a étudié la possibilité de transmettre les résultats de l'essai sur une cheminée à d'autres dimensions de la même série. Ce sujet a déjà fait l'objet d'un rapport de recherche séparé fourni à l'Institut für Bautechnik à Berlin en octobre 1984 ainsi que d'une publication en 1985.

De plus, on trouvera une brève description des programmes, de ses bases physiques et mathématiques, de l'entrée des données, dans un commentaire situé au début de ces programmes ainsi que les listings en FORTRAN IV. On trouvera également des exemples d'application avec les entrées et les résultats des calculs.

Il faut encore mentionner qu'une partie de ce sujet a déjà fait l'objet de plusieurs publications.

Inhalt	Seite
0 Zusammenfassung, Wertung und Empfehlungen	11
1 Zielsetzung und Lösungsübersicht	19
2 Rechenverfahren und Wärmeübergangskoeffizienten	22
2.1 Rechenprogramm zur Bestimmung der Temperaturen und Wärmeströme unter den nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornsteine A und C) festgelegten Prüfbedingungen	22
2.2 Numerische Behandlung der Hohlräume	24
2.3 Abschätzung der Wärmeübergangskoeffizienten auf der Innen- (Warmseite) und Außenoberfläche (Kaltseite) bei Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6	28
3 Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein C) bei einschaligen Hausschornsteinen	31
3.1 Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes — Beispiel I: Zellenformstück I	34
3.2 Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes — Beispiel II: Zellenformstück II	37
3.3 Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes — Schornsteintypen A bis E	40
4 Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten und Berechnung der Oberflächentemperaturen entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) bei einschaligen Hausschornsteinen	42
4.1 Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten für die nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) an den Schornsteintypen C bis E ausgeführten Versuche	45
4.2 Berechnung der Oberflächentemperaturen entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) bei den Schornsteintypen A bis E	47
5 Vergleich von Berechnungen und Messungen des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Außenoberflächentemperaturen nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein C bzw. A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) bei einschaligen Hausschornsteinen	51
5.1 Vergleich von Berechnungen und Messungen des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein C) bei einschaligen Hausschornsteinen	51
5.2 Vergleich von Berechnungen und Messungen der Außenoberflächentemperaturen nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) für die Schornsteintypen A bis E	52
6 Empfehlungen für die den Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Außenoberflächentemperaturen bei einer Abgastemperatur von 500 °C zugrundezulegenden Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite	53
6.1 Empfehlungen für die den Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes zugrundezulegenden Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite	54
6.2 Empfehlungen für die den Berechnungen der Außenoberflächentemperaturen bei einer Abgastemperatur von 500 °C zugrundezulegenden Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite	56
7 Kurzfassung und Ausblick	59
8 Literaturverzeichnis	61
9 Abbildungen	63

10	Listings FORTRAN-Rechenprogramme INSTRKS und LAMLKS	87
10.1	Listing Rechenprogramm INSTRKS zur Berechnung der Temperaturen und Wärmeströme unter den nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornsteine A und C) festgelegten Prüfbedingungen	89
10.2	Listing Rechenprogramm LAMLKS zur Bestimmung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit infolge Wärmetransport durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung in einem Hohlraum nach Kreith/Black	117

Auf Diskette

10.3	Beschreibung der Kommandos in Datei README.DAT
10.4	Unter MS-DOS lauffähiges Rechenprogramm INSTRKS
10.5	Unter MS-DOS lauffähiges Rechenprogramm LAMLKS
11	Durchgerechnete Anwendungsbeispiele zu den FORTRAN-Rechenprogrammen LAMLKS und INSTRKS
11.1	Ein- und Ausgabe Progr. LAMLKS zur Berechnung der äquiv. Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Temperatur in den Hohlräumen von Zellenformstück I aus Leichtbeton
11.2	Ein- und Ausgabe Progr. INSTRKS zur Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein C) für Zellenformstück I aus Leichtbeton
11.3	Ein- und Ausgabe Progr. LAMLKS zur Berechnung der äquiv. Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Temperatur in den Hohlräumen von Schornsteintyp D (Vollziegel mit Lochung)
11.4	Ein- und Ausgabe Progr. INSTRKS zur Berechnung der Oberflächentemperaturen entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) für Schornsteintyp D (Vollziegel mit Lochung)

Die Diskette mit den Rechenprogrammen wird Interessenten gegen eine Kostenbeteiligung von DM 10,— auf Anforderung gerne zugesandt. Bitte richten Sie Ihren Wunsch unter Beifügung eines Verrechnungsschecks über DM 10,— an:

Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung (BAM)
Fachgruppe 7.1, Frau Ksionski
Unter den Eichen 87
1000 Berlin 45

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry, no matter how small, should be recorded to ensure the integrity of the financial statements. This includes not only sales and purchases but also expenses, income, and transfers between accounts.

Secondly, the document highlights the need for regular reconciliation. By comparing the company's internal records with bank statements and other external sources, discrepancies can be identified and corrected promptly. This process helps in detecting errors, fraud, and unauthorized transactions, thereby safeguarding the company's assets.

Thirdly, the document stresses the importance of maintaining proper documentation. All transactions should be supported by valid invoices, receipts, and contracts. These documents serve as evidence and are essential for auditing and tax purposes. It is advised to keep these records organized and accessible for a long period.

Finally, the document concludes by stating that consistent and accurate record-keeping is the foundation of sound financial management. It enables the company to make informed decisions, track its performance over time, and ensure compliance with legal and regulatory requirements.

0 Zusammenfassung, Wertung und Empfehlungen

Zur Berechnung der Temperaturverteilung im Querschnitt von Haus-schornsteinen (auch mit Zellen) bei Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) und des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) wurden die FORTRAN IV - R e c h e n p r o - g r a m m e I N S T R K S und L A M L K S erarbeitet.

Die verwendeten physikalisch-mathematischen Verfahren werden kurz beschrieben und die Rechenprogramme mit A n w e n d u n g s - b e i s p i e l e n v o l l s t ä n d i g a u f g e l i s t e t.

Damit stehen zur Ausführung o.a. Berechnungen folgende Rechenprogramme zur Verfügung:

- FORTRAN IV - Rechenprogramm STAT3D für rechteckige dreidimensionale Geometrien und stationäre Randbedingungen, vgl. Rudolphi/Müller "Bauphysikalische Temperaturberechnungen in FORTRAN / Band 1: Zwei- bzw. dreidimensionale stationäre Probleme des Wärmeschutzes", Teubner-Verlag, 1985
- FORTRAN IV - Rechenprogramm INSTRKS für beliebige aus allgemeinen Dreieckselementen zusammensetzbare zweidimensionale Geometrien und stationäre wie instationäre Randbedingungen
- FORTRAN IV - Rechenprogramm LAMLKS zur Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit infolge Wärmetransport durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung für einen aus Polygonzügen zusammengesetzten Hohlraum ohne Hinterschneidung (alle Flächen "sehen sich") nach Kreith/Black "Basic Heat Transfer", Harper & Row Publishers, 1980, und Siegel/Howell "Thermal Radiation Heat Transfer", Mc Graw-Hill, 1972. Zur Berechnung der Netto-Wärme-ströme wird hierbei ein Matrixverfahren, zur Berechnung der Konfigurationsfaktoren Hottels Crossed-String-Methode verwendet.

Zur Absicherung der numerischen Verfahren wurden folgende Messungen / Aussagen herangezogen:

- Messungen zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspr. für Prüfschornstein C) an 2 Hausschornsteinen aus Zellenformstücken beim Technischen Überwachungs-Verein Bayern in München (Zellenformstück I) und beim Landesamt für Baustoffprüfung in Bremen (Zellenformstück II)
- Messungen der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe an 5 einschaligen Hausschornsteinen (Schornsteintypen A bis E) nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgas-temperatur 500 °C), vgl. Ehlbeck/Freiseis/Müller "Vergleichende Brandversuche an Hausschornsteinen aus genormten und zugelassenen Formstücken zur Ermittlung der Oberflächentemperatur nach DIN 18160 Teil 6 und ISO 4736", 11/1986.

Im einzelnen wurden dort folgende Hausschornsteine untersucht:

Schornsteintyp A aus Leichtbeton-Zellenformstücken nach
DIN 18150 Teil 1

Schornsteintyp B aus vollwandigen Leichtbetonformstücken
mit 8 cm Wangendicke

Schornsteintyp C aus geschoßhohen vollwandigen
Leichtbetonformstücken

Schornsteintyp D aus Mauerziegeln niedriger Rohdichte nach
DIN 105 Mz 28-1,8-2DF (Vollz., 7,5% Lochanteil)

Schornsteintyp E aus Mauerziegeln hoher Rohdichte nach
DIN 105 Mz 28-2,2-NF

- Aussage der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine in o.a. Schlußbericht, daß die Wärmedurchlaßwiderstände $1/\Lambda$ der Schornsteintypen A bis D zwischen 0,10 und 0,12 m²K/W liegen

Ein Vergleich von Berechnungen mit nach DIN 18160 Teil 6 ausgeführten Messungen zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes (Beanspruchung für Prüfschornstein C) an 2 einschaligen Hausschornsteinen aus den Zellenformstücken I und II bzw. mit der o.a. Aussage, daß die Wärmedurchlaßwiderstände $1/\Lambda$ der Schornsteintypen A bis D zwischen 0,10 und 0,12 m^2K/W liegen, ergab:

Schornstein	$1/\Lambda$ gem./angeg. m^2K/W	$1/\Lambda$ err. m^2K/W	Bemerkungen zur Ausführung der Berechnungen
I	0,105	0,121 0,119	TÜV-Randbedingungen BAM-Randbedingungen (s.u.)
II	0,201	0,208 0,209	LAB-Randbedingungen BAM-Randbedingungen (s.u.)
A	0,105	0,114	BAM-Randbedingungen
B	0,12	0,100	$\theta_{01,m} = 200 \text{ } ^\circ\text{C}$
C	0,12	0,118	$\alpha_1 = 25 \text{ W}/(m^2K)$
D	0,12	0,129	$\alpha_{\perp} = 12 \text{ W}/(m^2K)$
E	-	0,062	$\theta_{L_{\perp}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

Im Hinblick auf die Schornstein-Wärmedurchlaßwiderstandsgruppen IV bzw. III nach DIN 18160 Teil 1 mit Wärmedurchlaßwiderständen von $< 0,12$ bzw. $0,12$ bis $0,21 \text{ } m^2K/W$ kann festgestellt werden, daß eine Berechnung nur in den Fällen des Zellenformstücks I und des Schornsteintyps D zu einer unterschiedlichen (zu guten) Eingruppierung geführt hätte. Insgesamt ist die Übereinstimmung gut.

Ein Vergleich der Berechnungen mit nach DIN 18160 Teil 6 in Karlsruhe ausgeführten Messungen zur Bestimmung der Außenoberflächentemperaturen (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500°C) an 5 einschaligen Hausschornsteinen (Schornsteintypen A bis E) ergab:

Schornsteintyp		A	B	C	D	E
Versuchsdauer	in min	360	270	300	330	360
$\vartheta_{0\Delta, M}$ gem., t=0	in °C	22	23	18	23	20
$\vartheta_{0\Delta, M}$ gemessen	in °C	121	109	78	92	144
		120	107	82	100	147
$\Delta\vartheta$ gemessen	in K	99	86	64	77	127
Simulationszeit	in min	360	270	300	330	360
$\vartheta_{0\Delta, M}$ err., t=0	in °C	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
$\vartheta_{0\Delta, M}$ errechn.	in °C	117,3	120,9	87,1	97,0	136,7
					95,8	139,6
$\Delta\vartheta$ errechn.	in K	97,3	100,9	67,1	77,0	119,6
Simulationszeit	in min	360	360	360	360	360
$\vartheta_{0\Delta, M}$ errechn.	in °C	117,3	123,3	89,7	97,5	136,7
					96,3	139,6
$\Delta\vartheta$ errechn.	in K	97,3	103,3	69,7	77,5	119,6

Nach DIN 18160 Teil 6 ist an der Schornsteinaußenoberfläche eine Temperaturerhöhung von maximal 80 K zulässig. Dieses Kriterium führt bei Berechnungen mit den folgenden BAM-Randbedingungen $\vartheta_{M1} = 500$ °C, $\vartheta_{L\Delta} = 20$ °C, $\alpha_1 = 50$ W/(m²K), $\alpha_{\Delta} = 24$ W/(m²K) und einer Simulationszeit $t =$ Versuchsdauer oder $t = 6$ h zu gleichen Aussagen wie die Karlsruher Messungen. Gemessene und berechnete maximale Temperaturerhöhungen stimmen meist gut überein.

Systematische Betrachtungen relevanter Einflußgrößen wie

- Wärmeübergangskoeffizient im Schornsteinzug,
- Wärmeübergangskoeffizient auf der Schornsteinaußenseite,
- Temperatur der Umwälzluft und damit
- mittlere Innenoberflächentemperatur

auf den Wärmedurchlaßwiderstand einschaltiger Hausschornsteine führen zu den nachstehenden Aussagen:

1. Das in DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) zur meßtechnischen Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes bei Hausschornsteinen verankerte V e r f a h r e n, eine mittlere Oberflächentemperatur an der Schornsteininnenoberfläche von 200 °C vorzuschreiben, ist zwar versuchs- oder rechentechnisch aufwendig, wird aber durch die vorliegenden numerischen Untersuchungen v o l l g e r e c h t f e r t i g t.
2. Unter dieser Nebenbedingung hat die Größe der Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite einen relativ kleinen Einfluß auf das Rechenergebnis.

Damit konnten E m p f e h l u n g e n für die den Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes zugrundezulegenden Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite gegeben werden: Der W ä r m e d u r c h l a ß w i d e r s t a n d entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) sollte bei Durchrechnung bis zum B e h a r r u n g s z u s t a n d mit folgenden R a n d b e d i n g u n g e n bestimmt werden:

mittlere Innenwandtemperatur	$\vartheta_{0i,m}$	200	°C
Temperatur der Raumluft	ϑ_{La}	20	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_i	25	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	12	W/(m ² K)

Systematische Betrachtungen relevanter Einflußgrößen wie

- Wärmeübergangskoeffizient im Schornsteinzug und
- Wärmeübergangskoeffizient auf der Schornsteinaußenseite

auf die A u ß e n o b e r f l ä c h e n t e m p e r a t u r e n einschaliger Hausschornsteine führen bei einer A b g a s - t e m p e r a t u r $\vartheta_{M1} = 500$ °C im Meßquerschnitt 1 des Prüfschornsteins A nach DIN 18160 Teil 6 zu den nachstehenden Aussagen:

- Die berechneten Außenoberflächentemperaturen hängen bei Werten des Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug von $\alpha_i = 40 \dots 70$ W/(m²K) stark vom Wärmeübergangskoeffizienten auf der Schornsteinaußenseite α_a ab.

- Die berechneten Außenoberflächentemperaturen fallen mit steigenden Werten des Wärmeübergangskoeffizienten auf der Schornsteinaußenseite α_{A} .
- Die berechneten Außenoberflächentemperaturen steigen mit wachsenden Werten des Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug α_{I} .

Aus den Ergebnissen der an den einschaligen Hausschornsteinen (Schornsteintypen C bis E) nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) in Karlsruhe durchgeführten Versuche konnten folgende Wärmeübergangskoeffizienten ermittelt werden:

Schornsteintyp	C	D	E	i.M.
Wärmeübergangskoeffizient in W/(m ² K)				
- im Schornsteinzug α_{I}	74,5	26,2	49,8	50,2
- an der Außenoberfläche α_{A}	27,5	20,7	21,2	23,1

Wegen der unterschiedlichen Größe der Wärmeübergangskoeffizienten bei den Prüfungen an den Schornsteintypen C bis E wurden die Werte der Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug bzw. der Schornsteinaußenseite gemittelt und mit den Ergebnissen von Parametervariationen für die 5 einschaligen Hausschornsteine (Schornsteintypen A bis E) mit Wärmedurchlaßwiderständen zwischen 0,06 und 0,13 m²K/W abgesichert. Daraufhin werden folgende Randbedingungen zur Berechnung der Außenoberflächentemperaturen entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) vorgeschlagen:

Abgastemperatur	ϑ_{M1}	500	°C
Temperatur der Raumluft	ϑ_{LA}	20	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_{I}	50	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_{A}	24	W/(m ² K)
Simulationszeitdauer	t	360	min

E n t s c h e i d e n d e G e s i c h t s p u n k t e waren dabei eine möglichst gute Übereinstimmung von Meß- und Rechenergebnissen bei den untersuchten einschaligen Hausschornsteinen und, daß nach DIN 18160 Teil 6 an der Schornsteinaußenoberfläche nur eine Temperaturerhöhung von maximal 80 K zulässig ist. Das 80K-Kriterium führt bei Berechnungen mit den vorgeschlagenen Randbedingungen und einer Simulationszeit t gleich der Versuchsdauer oder $t = 6 \text{ h}$ bei allen 5 Schornsteintypen A bis E zu gleichen Aussagen wie die Karlsruher Messungen.

Es sei darauf hingewiesen, daß bereits B A M - V e r ö f f e n t - l i c h u n g e n zu Teilaspekten der vorliegenden Problemstellungen gemacht und in einer zusätzlichen Studie die Möglichkeiten zur Übertragbarkeit von Prüfungen an Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) auf größere lichte Querschnitte untersucht wurden. Die Studie liegt dem Institut für Bautechnik in Berlin als gesonderter Bericht vom Oktober 1984 vor und wurde in wksb 30 (1985), H. 19 veröffentlicht.

F ü r d i e F o r t f ü h r u n g der Arbeiten auf diesem Sektor werden folgende Anregungen gegeben bzw. Vorschläge gemacht:

- Bei den Versuchen an Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) ist die Wärmeübertragung durch Konvektion und Strahlung im Schornsteinzug entscheidend. Die Wärmeübergangsverhältnisse hängen damit wesentlich vom Abgasmassenstrom und der Abgaszusammensetzung ab. Es kann jedoch nur dann von vergleichbaren und reproduzierbaren Randbedingungen und Wärmeübergangsverhältnissen ausgegangen werden, wenn die Regelung der Abgastemperatur und der Abgaszusammensetzung sehr exakt vorgenommen wird. Dieses Ziel könnte am besten durch Einführung elektronisch geregelter Brenner mit funktionaler Abhängigkeit des Öl-Luft-Verhältnisses von der momentan verbrauchten Heizölmenge und geregelter, möglichst gleichbleibendem Luftüberschuß erreicht werden. Es sollten außerdem in jedem Prüfzeugnis Angaben über die verbrauchte Heizölmenge und den CO_2 - bzw. O_2 -Gehalt des Abgases gemacht werden.
- Für die Praxis wird empfohlen, die Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes inklusive der Ermittlung der mittleren Innen- und Außenoberflächentemperaturen in e i n e m Rechengang vorzu-

nehmen. Statt 4 Berechnungen brauchte nur noch e i n e ausgeführt zu werden. Die Handhabung eines derartigen Rechenprogramms wäre sehr viel einfacher.

- Es sollten auch Hilfsmittel zur Abschätzung des Wärmedurchlaßwiderstandes bei dreischaligen Hausschornsteinen unter besonderer Berücksichtigung des lichten Querschnitts, der Querschnittsform und der Auslegung der Wärmedämmschicht erarbeitet werden. Damit wäre eine wärmeschutztechnische Optimierung bei vorgegebenem Wärmedurchlaßwiderstand möglich.

1 Zielsetzung und Lösungsübersicht

Z i e l des Forschungsvorhabens war die Erarbeitung von R e - c h e n v e r f a h r e n zur Berechnung der Temperaturverteilung im Querschnitt von Hausschornsteinen (auch mit Zellen) bei Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) und des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C). Zur experimentellen Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes werden üblicherweise Versuche mit unterschiedlich hohen Umwälzlufttemperaturen gemacht. Bei einer mittleren Innenoberflächentemperatur von 200 °C ergeben sich der Wärmedurchlaßwiderstand und die Temperatur der Umwälzluft durch Interpolation [5].

D i e n u m e r i s c h e n V e r f a h r e n sollten mit entsprechenden Versuchsergebnissen der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe (DIN 18160 Teil 6, Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) [6], des Technischen Überwachungs-Vereins Bayern in München und des Landesamtes für Baustoffprüfung in Bremen (DIN 18160 Teil 6, Beanspruchung für Prüfschornstein C) a b g e s i c h e r t werden.

Es waren E m p f e h l u n g e n für die den Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Außenoberflächentemperaturen bei einer Abgastemperatur von 500 °C zugrundezulegenden W ä r m e ü b e r g a n g s k o e f f i z i e n t e n im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite zu geben.

In einer zusätzlichen S t u d i e waren die Möglichkeiten zur Ü b e r t r a g b a r k e i t von Prüfungen an Hausschornsteinen (Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) nach DIN 18160 Teil 6 auf größere lichte Querschnitte zu untersuchen.

Die F O R T R A N I V - R e c h e n p r o g r a m m e waren zu d o k u m e n t i e r e n, also unter Angabe der verwendeten mathematisch-physikalischen Verfahren aufzulisten und mit durchgerechneten Anwendungsbeispielen zu erläutern.

Die Lösung der vorstehenden Problemstellungen erfolgte in Form folgender Teilschritte:

Zur Berechnung der Temperaturverteilung im Querschnitt von Hausschornsteinen (auch mit Zellen) bei Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) und des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) wurden die FORTRAN IV - Rechenprogramme INSTRKS und LAMLKS erarbeitet. Die verwendeten physikalisch-mathematischen Verfahren wurden kurz beschrieben, die Rechenprogramme mit Anwendungsbeispielen komplett in den Abschnitten 10 und 11 aufgelistet. Damit stehen zur Ausführung o.a. Berechnungen folgende Rechenprogramme zur Verfügung:

- FORTRAN IV - Rechenprogramm STAT3D für rechteckige dreidimensionale Geometrien und stationäre Randbedingungen [21,22]
- FORTRAN IV - Rechenprogramm INSTRKS für beliebige aus allgemeinen Dreieckselementen zusammensetzbare zweidimensionale Geometrien und stationäre wie instationäre Randbedingungen. Das Programm ergab sich aus [18] durch Umprogrammierung von ALGOL in FORTRAN IV und Anpassung an die vorliegenden Problemstellungen.
- FORTRAN IV - Rechenprogramm LAMLKS zur Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit infolge Wärmetransport durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung für einen aus Polygonzügen zusammengesetzten Hohlraum ohne Hinterschneidung (alle Flächen "sehen sich") nach Kreith/Black [12] und Siegel/Howell [24]. Zur Berechnung der Netto-Wärmeströme wird hierbei ein Matrixverfahren aus [12], zur Berechnung der Konfigurationsfaktoren Hottels Crossed-String-Methode verwendet [7, 12, 24].

Zur Absicherung der numerischen Verfahren wurden folgende Messungen herangezogen:

- Messungen zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) an 2 Hausschornsteinen aus Zellenformstücken beim Technischen Überwachungs-Verein Bayern in München (Zellenformstück I) und beim Landesamt für Baustoffprüfung in Bremen (Zellenformstück II)
- Messungen der Versuchsanst. für Stahl, Holz und Steine der Univ. Karlsruhe an 5 einschaligen Hausschornsteinen nach DIN 18160

Teil 6 (Beanspr. für Prüfsch. A, Betriebsph. 2, Abgastemperatur 500 °C) und Angaben zu ihren Wärmedurchlaßwiderständen [6]. Im einzelnen wurden dort folgende Hausschornsteine untersucht:

Schornsteintyp A aus Leichtbeton-Zellenformstücken nach
DIN 18150 Teil 1 [3]

Schornsteintyp B aus vollwandigen Leichtbetonformstücken
mit 8 cm Wangendicke

Schornsteintyp C aus geschoßhohen vollwandigen
Leichtbetonformstücken

Schornsteintyp D aus Mauerziegeln niedriger Rohdichte nach
DIN 105 Mz 28-1,8-2DF (Vollz., 7,5% Lochanteil)

Schornsteintyp E aus Mauerziegeln hoher Rohdichte nach
DIN 105 Mz 28-2,2-NF

Systematische Betrachtungen des Einflusses relevanter Einflußgrößen bei o.a. Hausschornsteinen führen zu E m p f e h l u n g e n für die den Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Außenoberflächentemperaturen bei einer Abgastemperatur von 500 °C zugrundezulegenden Randbedingungen und Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite.

In einer zusätzlichen S t u d i e zur Ü b e r t r a g b a r - k e i t von Prüfungen an Hausschornsteinen (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsph. 2) nach DIN 18160 Teil 6 auf größere lichte Querschnitte wurde die Notwendigkeit festgestellt, noch systematisch auf experimentellem und theoretischem Wege die Wärmeübergangsbedingungen in Abhängigkeit vom Zugquerschnitt, dem Abgasmassenstrom oder der Nennwärmeleistung untersuchen zu müssen. Die Studie liegt dem Institut für Bautechnik in Berlin als gesonderter Bericht vom Oktober 1984 vor und ist veröffentlicht [15]. Sie soll hier nicht weiter diskutiert werden, da diese Problematik im Rahmen eines vom Institut für Bautechnik in Berlin geförderten Forschungsvorhabens mit dem Titel "Zur numerischen Übertragbarkeit von Prüfungsergebnissen an Hausschornsteinen auf Schornsteine mit anderen lichten Querschnitten" weiter untersucht wird.

2 Rechenverfahren und Wärmeübergangskoeffizienten

Z i e l des Forschungsvorhabens war die Erarbeitung von R e -
c h e n v e r f a h r e n zur Berechnung der Temperaturvertei-
lung im Querschnitt von Hausschornsteinen (auch mit Zellen) bei
Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüf-
schornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) und des
Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung
für Prüfschornstein C).

Die F O R T R A N I V - R e c h e n p r o g r a m m e waren unter
Angabe der verwendeten physikalisch-mathematischen Verfahren auf-
zulisten und mit durchgerechneten Anwendungsbeispielen verständ-
lich zu machen.

Es waren die den Berechnungen zugrundezulegenden Wärmeübergangs-
koeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite
abzuschätzen.

2.1 Rechenprogramm zur Bestimmung der Temperaturen und Wärmeströme unter den nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornsteine A und C) festgelegten Prüfbedingungen

Die Berechnung der Temperaturverteilung im Querschnitt von Haus-
schornsteinen (auch mit Zellen) bei Prüfbedingungen nach DIN 18160
Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) und
des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung
für Prüfschornstein C) ist mit folgenden F O R T R A N I V -
R e c h e n p r o g r a m m e n möglich:

- FORTRAN IV - Rechenprogramm STAT3D für rechteckige dreidimen-
sionale Geometrien und stationäre Randbedingungen, das bereits
vollständig dokumentiert ist [21,22]
- FORTRAN IV - Rechenprogramm INSTRKS für beliebige zweidimen-
sionale Geometrien und Randbedingungen

Das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens aufgestellte R e c h e n -
p r o g r a m m I N S T R K S ergab sich aus [18] durch Umpro-
grammierung von ALGOL i n F O R T R A N I V und Anpassung an
die vorliegenden Problemstellungen. Es ist für beliebige, aus all-
gemeinen Dreieckselementen zusammensetzbare zweidimensionale Geome-

trien und für stationäre wie instationäre Randbedingungen einsetzbar. Das Programm benutzt die Methode der `f i n i t e n D i f f e r e n z e n` (finite difference method). Das Differentialgleichungssystem wird mit dem `R u n g e - K u t t a - V e r f a h r e n` 4. Ordnung gelöst, also einem expliziten Einschrittverfahren großer Genauigkeit, und automatischer Schrittweitensteuerung. Bei den als Volumenelementen benutzten allgemeinen `D r e i e c k s e l e m e n t e n` darf kein Dreieckswinkel größer als 90° sein. Jeweils drei Knoten, in denen die Temperaturen bestimmt werden, bilden die Eckpunkte eines Dreieckselements der Tiefe $\Delta z = 1$ m. INSTRKS berücksichtigt nichtlineare Strahlungsrandbedingungen und Temperaturabhängigkeiten bei den Kennlinien für

- die Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha = f(\Delta\vartheta)$,
- die Wärmeleitfähigkeiten $\lambda = f(\vartheta)$,
- die spezifischen Wärmekapazitäten $c = f(\vartheta)$,
- die Rohdichten $\rho = f(\vartheta)$

sowie Zeitabhängigkeiten bei den

- Temperatur-Randfunktionen $\vartheta = f(t)$.

Für die an diskreten Stellen (punktweise, Äquidistanz nicht erforderlich) vorzugebenden Funktionen wird eine `k u b i s c h e S p l i n e - I n t e r p o l a t i o n` eingesetzt, die den Vorzug einer sehr glatten Interpolation besitzt. Die Koeffizienten der zur Interpolation von n Stützpunkten verwendeten $n-1$ Stützpolynome werden dabei nur einmal berechnet. Bei Überschreitung des Definitionsbereichs von Kennlinien werden die jeweiligen Funktionswerte am Rand der Funktion benutzt. Die Extrapolation wird angezeigt, führt jedoch nicht zum Abbruch der Rechnung. Das Programm ist auf aus verschiedenen Baustoffen zusammengesetzte Bauteilquerschnitte anwendbar.

Die Reihenfolge der `E i n g a b e d a t e n` ist dem Kommentar am Programmbeginn in Abschnitt 10.1 zu entnehmen. Die Eingabe erfolgt formatfrei. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Daten in einer Datei mit der logischen Geräte-Nr. 60 stehen und jedem Problem ein Datenblock zugeordnet ist, der bei Fehlern im Datenblock überlesen wird.

Die `A u s g a b e d e r E r g e b n i s s e` erfolgt auf eine Datei mit der logischen Geräte-Nr. 4. Entsprechend der vorgegebenen Ausdrucksschrittweite können die Temperaturen und optional zur schnelleren Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes die Summen-

wärmeströme der Wärmeübergangsbereiche in Abhängigkeit der Zeit numerisch ausgegeben werden. Es muß bis zum Erreichen des Beharrungszustandes oder bis zur maximal möglichen Versuchsdauer gerechnet werden.

Weitere Einzelheiten und Literaturhinweise sind [18] bzw. den komplett durchgerechneten Anwendungsbeispielen in Abschnitt 11 zu entnehmen.

2.2 Numerische Behandlung der Hohlräume

Zur Bestimmung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit infolge Wärmetransport durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung in Hohlräumen wurde das FORTRAN IV-Rechenprogramm LAM LKS aufgestellt. Es bestimmt die äquivalente Wärmeleitfähigkeit LAM LKS für einen aus Polygonzügen zusammengesetzten Hohlraum ohne Hinterschneidung (alle Flächen "sehen sich direkt", vgl.a. [7, 14]) nach Kreith/Black [12] und Siegel/Howell [24]. Zur Berechnung der Konfigurationsfaktoren wird Hottels Crossed-String-Methode nach [12, 24] verwendet, Abb. 1. Die Netto-Strahlungswärmeströme werden unter der Annahme, daß die einzelnen Flächen grau strahlen, über ein Matrixverfahren nach [12] errechnet. Der Wärmetransport infolge Wärmeleitung und Konvektion im vertikalen Rechteckhohlraum bei freier Konvektion errechnet sich in Abhängigkeit von $\Delta\vartheta$ und ϑ_m ebenfalls nach [12].

Hierbei sind

$\Delta\vartheta = \vartheta_{max} - \vartheta_{min}$ die in Hauptwärmestromrichtung auftretende maximale Temperaturdifferenz und

$\vartheta_m = (\vartheta_{max} + \vartheta_{min})/2$ die entsprechende Mitteltemperatur im Hohlraum.

Der Rechengang ist folgender:

1. Die tatsächliche Geometrie eines einzelnen Hohlräume und ein Bezugsstreckenzug bzw. -querschnitt werden in Form von Polygon- bzw. Streckenzügen vorgegeben. Daraus wird ein flächengleicher thermodynamisch äquivalenter Rechteckhohlraum ermittelt.
2. Auf der Grundlage der Abmessungen dieses äquivalenten Rechteckhohlraums werden die Konfigurationsfaktoren $CF(I,J)$ der 4 Ein-

zelflächen des Rechteckhohlraums mit Hottels Crossed-String-Methode ermittelt, Abb. 1.

3. Für eine Mitteltemperatur und eine geschätzte maximale Temperaturdifferenz im Hohlraum von z.B. 100 K wird mit einer Matrixmethode unter Auflösung eines Gleichungssystems eine Nettowärme-
strom-Energiebilanz dieses äquivalenten Rechteckhohlraums für den Wärmetransport durch Strahlung aufgestellt und daraus ein Wert für die äquivalente Wärmeleitfähigkeit LAMSTR errechnet.
4. Für dieselbe Mitteltemperatur und dieselbe maximale Temperaturdifferenz im Hohlraum wird nach den für vertikale Luftschichten bekannten Beziehungen für freie Konvektion ein Wert LAMLK für den Wärmetransport infolge Wärmeleitung und Konvektion im Rechteckhohlraum errechnet.
5. Die Aufsummierung von LAMSTR und LAMLK ergibt LAMLKS. Dieser Wert wird als Funktion der Mitteltemperatur ausgedruckt.
6. Wiederholung der Rechenschritte 3 bis 5 für alle in Hauptwärmestromrichtung möglicherweise auftretenden Mitteltemperaturen von z.B. 100 bis 300 °C mit einer Schrittweite von z.B. 25 K.

Damit hat man eine von den Programmen STAT3D, INSTRKS oder anderen Rechenprogrammen einlesbare Funktion $\lambda = f(\theta_m)$ für einen bestimmten, vor der ersten Berechnung geschätzten Wert für $\Delta\theta$ und kann die Temperaturverteilung und/oder die Summenwärmeströme auf der Kalt- bzw. Warmseite der Schornsteinkonstruktion berechnen. Unter Umständen muß die Funktion $\lambda = f(\theta_m)$ unter Zugrundelegung des neuen Wertes für $\Delta\theta$ mit dem Programm LAMLKS erneut berechnet werden. Meist wird dies jedoch nicht nötig sein, da die äquivalente Wärmeleitfähigkeit im Hohlraum überwiegend von der Mitteltemperatur und nicht von der auftretenden maximalen Temperaturdifferenz abhängt, vgl. die Abb. 10, 11, 22, 53 und 54.

Bei der Erfassung von Lufthohlräumen verkürzt sich die Rechenzeit von Programm INSTRKS durch Vermeidung nur von Luft umgebener Knotenpunkte in den Hohlräumen. Soll bis zum Beharrungszustand durchgerechnet werden, kann für die Dichte der Luft auch ein wesentlich höherer Wert von z.B. $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ angesetzt werden.

Die Reihenfolge der Eingabedaten ist dem Kommentar zu Beginn des Programms in Abschnitt 10.2 zu entnehmen. Die Eingabe

erfolgt formatfrei. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Daten in einer Datei mit der logischen Geräte-Nr. 60 stehen und jedem Problem ein Datenblock zugeordnet ist, der bei Fehlern im Datenblock überlesen wird. Das Rechenprogramm LAMLKS benötigt noch eine zweite Eingabedatei mit der logischen Geräte-Nr. 61, die die Stoffkennwerte von Luft wie Wärmeleitfähigkeit, kinematische Viskosität und Prandtl-Zahl als Funktion der Temperatur nach [16] enthält.

Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt auf eine Datei mit der logischen Geräte-Nr. 4. Zuerst werden alle Daten des ursprünglichen Hohlraums und des thermodynamisch äquivalenten Rechteckhohlraums inklusive der Konfigurationsfaktoren, danach für den vorgegebenen Mitteltemperaturbereich die äquivalenten Wärmeleitfähigkeiten infolge Wärmetransport durch Strahlung, Wärmeleitung und Konvektion ausgegeben, Abb. 10, 22 und 53.

Weitere Einzelheiten sind [12] bzw. den komplett durchgerechneten Anwendungsbeispielen in Abschnitt 11 zu entnehmen.

Beispiel: Berechnung von $\lambda = f(\vartheta_m)$ für den Eckhohlraum des Zellenformstücks I, vgl. Abb. 6 bis 13

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Der (ursprüngliche) Eckhohlraum wird gebildet aus den Knoten | 15-27-35-34-25-21-15 |
| 2. Als Knoten für den Bezugsstreckenzug (Bezugsquerschnitt) werden gewählt | 15-21-25 |
| 3. Die Höhe des Hohlraums beträgt | HE = 0,218 m |
| 4. Der Emissionskoeffizient einer Einzelfläche sei jeweils | $\epsilon = 0,9$ |
| 5. Die maximale Temperaturdifferenz betrage | $\Delta\vartheta = 50$ K |
| 6. Die Mitteltemperatur werde variiert von | $\vartheta_m = 25$ (25) 1000 °C |

Mit diesen Eingabedaten ermittelt das Rechenprogramm LAMLKS folgende Rechenergebnisse:

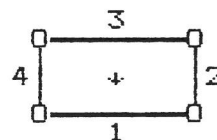
- a) Die Fläche des ursprünglichen Hohlraums ist $A = 0,0033125$ m²
- b) Die Abwicklungslänge des Bezugsstreckenzuges (identisch mit der Breite des äquival. Rechtecks) ist auf 1 mm gerundet $BE = 0,089$ m
- c) Aus der Breite BE des äquival. Rechtecks ergibt sich bei Flächengleichheit mit dem

ursprünglichen Hohlraum die auf 1 mm gerundete Hohlraumdicke zu $DE = A/BE$

$$DE = 0,037 \quad m$$

d) Bei Bezeichnung der Rechteckseiten im Gegenuhrzeigersinn mit

- 1...untere Breitseite ($l = 0,089 \text{ m}$)
- 2...rechte Schmalseite ($l = 0,037 \text{ m}$)
- 3...obere Breitseite ($l = 0,089 \text{ m}$)
- 4...linke Schmalseite ($l = 0,037 \text{ m}$)



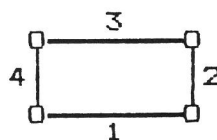
und unter Anwendung von Hottels Crossed-String-Methode entsprechend Abb. 1 auf den äquivalenten Rechteckhohlraum ergeben sich die Konfigurationsfaktoren:

$$CF_{1 \rightarrow 3} = CF_{3 \rightarrow 1} = 0,667243$$

$$CF_{2 \rightarrow 4} = CF_{4 \rightarrow 2} = 0,199585$$

$$CF_{1 \rightarrow 2} = CF_{1 \rightarrow 4} = 0,166378$$

$$CF_{3 \rightarrow 2} = CF_{3 \rightarrow 4} = 0,166378$$



$$CF_{2 \rightarrow 1} = CF_{2 \rightarrow 3} = 0,400207$$

$$CF_{4 \rightarrow 1} = CF_{4 \rightarrow 3} = 0,400207$$

e) Für eine Mitteltemperatur von z.B.

$$T_m = (T_{max} + T_{min})/2 = (125 + 75)/2$$

$$T_m = 100 \quad ^\circ C$$

und eine geschätzte max. Temperaturdifferenz von z.B.

$$\Delta T = T_{max} - T_{min} = 125 - 75$$

$$\Delta T = 50 \quad K$$

wird mit einer Matrixmethode unter Auflösung eines Gleichungssystems eine Netowärmestrom-Energiebilanz (graue Strahler) des äquivalenten Rechteckhohlraums für den Wärmetransport durch Strahlung aufgestellt und daraus die äquivalente Wärmeleitfähigkeit errechnet zu

$$LAMSTR = 0,308 \text{ W/(mK)}$$

f) Für dieselbe Mitteltemperatur und dieselbe maximale Temperaturdifferenz im Hohlraum ergibt sich die äquivalente

Wärmeleitfähigkeit für den Wärmetransport infolge Wärmeleitung und Konvektion im Rechteckhohlraum zu

$$\text{LAMLK} = 0,084 \text{ W/(mK)}$$

g) Die Aufsummierung von LAMSTR und LAMLK ergibt die äquivalente Wärmeleitfähigkeit für den Wärmetransport durch

Strahlung, Wärmeleitung und Konvektion $\text{LAMLKS} = 0,392 \text{ W/(mK)}$

2.3 Abschätzung der Wärmeübergangskoeffizienten auf der Innen- (Warmseite) und Außenoberfläche (Kaltseite) bei Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6

Zur Abschätzung der Wärmeübergangskoeffizienten auf der Innen- (Warmseite) und Außenoberfläche (Kaltseite) bei Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6 und Betriebsbedingungen existiert bereits eine Reihe von Darlegungen und Unterlagen [2, 8 - 11, 15, 17, 19, 20, 23, 25, 26, 28], vgl. auch die einschlägigen Tabellenwerke wie [1 und 27]. Wie in Abschnitt 1 bereits angesprochen, soll speziell die Problematik der Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) auf experimentellem und theoretischem Wege im Rahmen eines vom Institut für Bautechnik in Berlin geförderten Forschungsvorhabens mit dem Titel "Zur numerischen Übertragbarkeit von Prüfungsergebnissen an Hausschornsteinen auf Schornsteine mit anderen lichten Querschnitten" untersucht werden. Im folgenden sei daher nur ein kurzer Überblick über die prinzipielle Vorgehensweise zur Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten gegeben.

Beim Versuch zur Bestimmung des W ä r m e d u r c h l a ß w i - d e r s t a n d e s nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) kann der k o n v e k t i v e Wärmeübergangskoeffizient der U m w ä l z l u f t an der Schornstein - i n n e n o b e r f l ä c h e aus der mittleren Luftgeschwindigkeit (mindestens 4 m/s) bestimmt werden und zwar

- aus in der einschlägigen Literatur angegebenen Näherungsformeln, z.B. in [44], oder
- mit dem in DIN 4705 Teil 1 [2] angegebenen Verfahren.

Ein nach dem letztgenannten Verfahren berechnetes Diagramm zur Abschätzung des (konvektiven) Wärmeübergangskoeffizienten an der

Schornsteininnenoberfläche als Funktion des hydraulischen Durchmessers für verschiedene Umwälzluftgeschwindigkeiten zeigt Abb. 2. Es wurde für eine mittlere Temperatur der Umwälzluft von 200 °C, eine Schornsteinhöhe von 2,0 m und eine mittlere Rauigkeit an der Schornsteininnenwand von 0,002 m für L u f t berechnet.

Da der konvektive Wärmeübergangskoeffizient mit steigender Lufttemperatur sinkt und die mittlere Temperatur der Umwälzluft bei den Versuchsrandbedingungen zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes wegen der an der Schornsteininnenseite vorgeschriebenen mittleren Innenoberflächentemperatur von 200 °C immer größer als 200 °C sein muß, findet hier bereits eine Abschätzung zur sicheren Seite statt. Bei diesen Temperaturen braucht ein Strahlungsanteil der Umwälzluft nicht berücksichtigt zu werden.

Beim Versuch zur Bestimmung der A u ß e n o b e r f l ä c h e n - t e m p e r a t u r nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) kann der k o n v e k t i v e Wärmeübergangskoeffizient des A b g a s e s an der Schornsteininnenoberfläche aus der mittleren Abgasgeschwindigkeit nach dem in Abschnitt 7.1.2.3 von DIN 4705 Teil 1 angegebenen Verfahren errechnet werden.

Einen Anhalt für die anzusetzenden Kennwerte zur Bestimmung des konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten an der Schornsteininnenoberfläche gibt Bild 16 der DIN 4705 Teil 1. Es ist für die Berechnung von Schornsteinabmessungen gültig, vermutlich für Heizöl Abgastemperaturen stellen diese Werte ebenfalls eine Abschätzung zur schärferen Seite dar.

Ist die mittlere Abgasgeschwindigkeit nicht bekannt, kann sie nach DIN 4705 Teil 1 aus dem Abgasmassenstrom errechnet werden, wobei sich der Abgasmassenstrom bei vorgegebener Brennstoffart auch aus der Wärmeleistung des Wärmeerzeugers und dem CO₂- oder O₂-Gehalt des Abgases und einer Abgasanalyse bestimmen läßt, vgl. [11].

Bei Abgastemperaturen über 400 °C ist auch der Strahlungsanteil zu berücksichtigen, vgl. hierzu [10, 11, 26].

Bei Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchungen für Prüfschornstein C und für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) kann der Wärmeübergangskoeffizient an der Schornstein a u ß e n o b e r f l ä c h e nach der folgenden, unter Zugrundelegung

von [25], Gl. (15), abgeleiteten Beziehung abgeschätzt werden:

$$\alpha_{KB} = 8,65 + 0,07066 (t_w - t_{L_a})$$

Sie beinhaltet den Wärmetransport infolge S t r a h l u n g und K o n v e k t i o n und gilt für

- eine Lufttemperatur auf der
 Schornsteinaußenseite von 20 °C
- eine Wand-Außenoberflächentemperatur von 30 ... 150 °C
- einen result. Emissionskoeffizienten von 5,3/5,67 0,93

Bei einer Wandtemperatur von z.B. 70 °C ergibt diese Beziehung einen Wert von

$$\alpha_{KB} = 8,65 + 0,07066 (70 - 20) = 12,4 \text{ W/(m}^2\text{K)},$$

bei einer Wandtemperatur von 100 °C

$$\alpha_{KB} = 8,65 + 0,07066 (100 - 20) = 14,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

Leider haben alle Rechenverfahren und Überschlagsformeln zur Abschätzung der Wärmeübergangsverhältnisse auf der Innen- und Außenoberfläche bei den Prüfungen nach DIN 18160 Teil 6 den Nachteil, sich zu widersprechen und die tatsächlich bei den Prüfungen herrschenden Verhältnisse nicht richtig zu erfassen.

Es soll hier also ein anderer Weg eingeschlagen werden, der darin besteht, den t a t s ä c h l i c h bei den Prüfungen vorhandenen Verhältnissen gerecht zu werden. Bei der Wahl der Randbedingungen für Berechnungen sollte die bei Versuchen überhaupt erzielbare Genauigkeit und Reproduzierbarkeit berücksichtigt werden. Aus rechentechnischen Gesichtspunkten ist eine möglichst einfache Methode zur Abschätzung der Wärmeübergangskoeffizienten vorzuziehen. Aufgrund von systematischen Betrachtungen des Einflusses relevanter Einflußgrößen bzw. von Parametervariationen werden in A b s c h n i t t 6 entsprechende E m p f e h l u n g e n für die den Berechnungen zugrundezulegenden Randbedingungen und W ä r m e ü b e r g a n g s k o e f f i z i e n t e n im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite gegeben.

3 Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. C) bei einschaligen Hausschornsteinen

Zur Absicherung der numerischen Verfahren werden nach DIN 18160 Teil 6 [5] ausgeführte Messungen zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes (Beanspruchung für Prüfschornstein C) an 2 einschaligen Hausschornsteinen aus Zellenformstücken - vgl. Abschnitte 3.1 und 3.2 - herangezogen:

- eine beim Technischen Überwachungs-Verein Bayern in München durchgeführte Prüfung (Zellenformstück I)
- und eine beim Landesamt für Baustoffprüfung in Bremen durchgeführte Prüfung (Zellenformstück II)

In Abschnitt 3.3 werden dann entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) die Wärmedurchlaßwiderstände der in Abschnitt 1 aufgeführten Schornsteintypen A bis E berechnet. Damit soll außerdem die in [6] getroffene Aussage, daß die Wärmedurchlaßwiderstände $1/\Lambda$ der Schornsteintypen A bis D zwischen 0,10 und 0,12 m²K/W liegen, überprüft werden.

Die experimentelle Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes erfolgt nach [5]. Das Prüfverfahren sei im folgenden kurz skizziert:

- a) In einem geschlossenen Raum werden zwei gleiche, 2 m hohe Prüfschornsteine aufgebaut und durch wärmegeämmte Rohre an den oberen und unteren Enden miteinander verbunden, Abb. 3.
- b) Beide Prüfschornsteine werden über umgewälzte Warmluft elektrisch beheizt (Luftgeschwindigkeit ≥ 4 m/s).
- c) Die Warmlufttemperatur wird solange gesteigert, bis sich jeweils in halber Höhe der beiden Prüfschornsteine an der Innenoberfläche eine mittlere Beharrungstemperatur von 200 °C einstellt.
- d) Der Verlustwärmestrom Φ ergibt sich aus der Heizleistung unter Abzug des auf die Verbindungsrohre entfallenden Anteils.

e) Der Wärmedurchlaßwiderstand $1/\Lambda$ der Schornsteinwände wird dann wie folgt errechnet:

$$1/\Lambda = A_1 \Delta\vartheta / \Phi = A_1 (\vartheta_{01,m} - \vartheta_{02,m}) / \Phi$$

mit (thermische Größen beziehen sich auf den Beharrungszustand)

$1/\Lambda$ Wärmedurchlaßwiderstand in m^2K/W

Φ Verlustwärmestrom der beiden Prüfschornsteine in W

$\vartheta_{01,m}$ mittl. Innenwandtemperatur der Prüfschornsteine in $^{\circ}C$

$\vartheta_{02,m}$ mittl. Außenwandtemperatur der Prüfschornsteine in $^{\circ}C$

A_1 innere Oberfläche der beiden Prüfschornsteine in m^2

Zur r e c h n e r i s c h e n S i m u l a t i o n dieses Prüfverfahrens, d.h. Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes, wurden

- das FORTRAN IV - Rechenprogramm LAMLS zur Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit infolge Wärmetransport durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung für einen aus Polygon- oder Einzelstreckenzügen zusammengesetzten Hohlraum ohne Hinterschneidung sowie
- das FORTRAN IV - Rechenprogramm INSTRKS für beliebige aus Dreieckselementen zusammensetzbare zweidimensionale Geometrien

eingesetzt und die Berechnungen auf dem DEC-Rechner VAX B600 des Rechenzentrums der BAM ausgeführt.

Bei der Berücksichtigung der Hohlräume mit dem Rechenprogramm LAMLS wurde für HE entweder die Höhe der Zellen (Zellenformstück I bzw. Schornsteintyp A, Zellenformstück II) oder eines Mauerziegels (Schornsteintyp D) zugrundegelegt.

Zur Anwendung des Rechenprogramms INSTRKS wurde unter Ausnutzung der Symmetrie ein zweidimensionaler Teilausschnitt des jeweiligen Schornsteintyps der Rechnung zugrundegelegt. Bei den Schornsteintypen I bzw. A, II, B und C wurde ein Viertelausschnitt, bei den Schornsteintypen D und E mit asymmetrisch liegenden Mörtelfugen

der halbe Schornsteinquerschnitt betrachtet und in Dreiecksvolumenelemente der Tiefe $\Delta z = 1 \text{ m}$ aufgeteilt.

Bei Anwendung des Programms INSTRKS zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) auf die beiden Hausschornsteine aus Zellenformstücken wurde jeweils bis zum Beharrungszustand durchgerechnet.

Die Wärmeleitfähigkeiten und die spezifischen Wärmekapazitäten wurden simultan als Funktion der Temperatur bei der Amtlichen Materialprüfanstalt für Steine und Erden der Technischen Universität Clausthal nach dem Heißdraht-Parallelverfahren bestimmt.

Die ermittelten Kennlinien für die Wärmeleitfähigkeit $\lambda = f(\vartheta)$ sind den Abb. 4, 29 bis 31, die Kennlinien für die spezifische Wärmekapazität $c = f(\vartheta)$ den Abb. 5, 32 bis 34 zu entnehmen.

Für Ziegelsplitt-Leichtbeton wurde auch eine Kennlinie für die Rohdichte $\rho = f(\vartheta)$ ermittelt. Sie wird in Abschnitt 11.2 angegeben.

Die in Abhängigkeit der Temperatur ermittelten Einzelwerte jeder einzelnen Kennlinie wurden als Daten für das Rechenprogramm INSTRKS eingegeben und während der Berechnung nach Abschnitt 2.1 interpoliert. Spezifische Wärmekapazität und Rohdichte haben jedoch bei Durchrechnung bis zum Beharrungszustand keinen Einfluß auf die Ergebnisse. Es hätte also auch ausgereicht, nur die Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Temperatur zu bestimmen, z.B. auch mit dem Zweiplattengerät beim Forschungsinstitut für Wärmeschutz in München.

Für die Umwälzlufttemperatur, die Außenlufttemperatur und die Wärmeübergangskoeffizienten wurden konstante Werte eingesetzt.

In der e r s t e n S t u f e der Berechnungen wurde bei beiden Zellenformstücken I und II mit den aus den entsprechenden Prüfberichten der o.a. Prüfinstitute ersichtlichen oder ermittelbaren Werten der Innen- und Außenlufttemperaturen bzw. der inneren und äußeren Wärmeübergangskoeffizienten gerechnet.

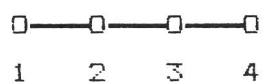
In der z w e i t e n S t u f e wurde zur Abklärung des Einflusses der Wärmeübergangskoeffizienten und Temperatur-Randbedingungen

auf den Wärmedurchlaßwiderstand für beide Zellenformstücke eine Parametervariation dieser Einflußgrößen vorgenommen.

Zur Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes sind die berechneten Innen- und Außenoberflächentemperaturen flächenanteilig zu mitteln. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

1. Bei Vorliegen von Radialsymmetrie - wie bei Zellenformstück I bzw. Schornsteintyp A - oder bei asymmetrisch liegenden Mörtelfugen - wie bei den Schornsteintypen D und E - werden jeweils die Oberflächentemperaturen des gesamten, der Rechnung zugrundegelegten Ausschnitts zur Mittelwertbildung herangezogen.
2. Bei Vorliegen von Symmetrie auch in Bezug auf die 45° - Diagonalen - wie beim Zellenformstück II sowie bei den Schornsteintypen B und C - werden nur die Oberflächentemperaturen eines Achtelausschnitts zur Mittelwertbildung benutzt.
3. Die flächenanteilige Mittelwertbildung erfolgt so, daß jedem Knotenpunkt jeweils eine der halben Entfernung zum Nachbarknoten entsprechende Fläche zugeordnet wird. Dies sind in der Regel zwei Flächen pro Knoten. Bei den direkt am Rande des Gebiets liegenden Knotenpunkten wird nur eine Fläche berücksichtigt.

Beispiel: Gegeben seien 4 Knotenpunkte auf der Außenoberfläche mit den Knotentemperaturen und die Knotendistanzen A



$$\theta_{\text{m,m}} = (\theta_1 A_{12} + \theta_2 (A_{12} + A_{23}) + \theta_3 (A_{23} + A_{34}) + \theta_4 A_{34}) / (2A_{14})$$

3.1 Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes

- Beispiel I: Zellenformstück I

Bei Anwendung des Programms INSTRKS zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) auf Zellenformstück I wurde zur Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes bis zum Beharrungszustand durchgerechnet. Er wurde nach etwa 10 h erreicht.

Den Berechnungen mit den Rechenprogrammen LAMLKS und INSTRKS liegen folgende Unterlagen, Daten, Kennwerte und Kennlinien zugrunde:

A l l g e m e i n e s

Prüfbericht des TÜV Bayern	vom 5.9.79
Ansicht (Photographie)	<u>Abb. 6</u>
Schnittdarstellung	<u>Abb. 7</u>
Prinzipielle Elementaufteilung mit Baustoffen und Farbzuordnung	<u>Abb. 8</u>
Elementaufteilung mit Knotenpunkten	<u>Abb. 9</u>

B a u s t o f f : Ziegelsplitt-Leichtbeton ($\rho = 1810 \text{ kg/m}^3$)

Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(\vartheta)$	<u>Abb. 4</u> ; Kurve I
spezifische Wärmekapazität	$c = f(\vartheta)$	<u>Abb. 5</u> ; Kurve I
Rohdichte	$\rho = f(\vartheta)$	s. Abschnitt 11.2

L u f t h o h l r ä u m e

(<u>Bezugs-</u>) Querschnitt	<u>15-21-25-34-35-27-15</u>
(<u>Bezugs-</u>) Querschnitt	<u>23-22(2)-7-12-8-3(30)-31-32-23</u>
Emissionskoeffizient ϵ	0,9

äquiv. Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(\vartheta)$	<u>Abb. 10</u>
spezifische Wärmekapazität	$c = f(\vartheta)$	nach [16], Werte s.
Dichte (1000facher Wert)	$\rho = f(\vartheta)$	Abschnitt 11.2

W ä r m e d u r c h l a ß w i d e r s t a n d Zellenformstück I

S t u f e 1 - Randbedingungen (Meßwerte TÜV Bayern)

Temperatur der Umwälzluft			
- Knoten 54,55	ϑ_{L1}	220,9	°C
Temperatur der Raumlufte			
- Knoten 56,57	ϑ_{La}	19,5	°C
Umwälzluftgeschwindigkeit	v_1	7,2	m/s
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	28,1	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	13,5	W/(m ² K)

S t u f e 1 - Meßergebnisse TÜV Bayern

mittl. Innenwandtemperatur	$\vartheta_{0i,m}$	180,5	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\vartheta_{0a,m}$	61,6	°C
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,105	m ² K/W

S t u f e 1 - Rechenergebnisse mit Randbedingungen TÜV Bayern

Isothermenverlauf		Abb. 13	
innere Oberfläche (1/4-Qu.)	A_i	0,1854	m ² /m
Verlustwärmestrom	Φ	195,05	W/m
mittl. Innenwandtemperatur	$\vartheta_{0i,m}$	183,45	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\vartheta_{0a,m}$	56,29	°C
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,121	m ² K/W

W ä r m e d u r c h l a ß w i d e r s t a n d Z e l l e n f o r m s t ü c k I

S t u f e 2 (ein Parametersatz) - Randbedingungen und Ergebnis

Temperatur der Umwälzluft			
- Knoten 54,55	ϑ_{L1}	230... <u>245,5</u> ...320	°C
Temperatur der Raumlufte			
- Knoten 56,57	ϑ_{La}	20	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	10... <u>25</u> ...30	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	8, <u>12</u> , 16	W/(m ² K)
Oberflächentemperaturen	ϑ_{0i} , ϑ_{0a}	Abb. 12	
innere Oberfläche (1/4-Qu.)	A	0,1854	m ² /m
Verlustwärmestrom	Φ	210,28	W/m
mittl. Innenwandtemperatur	$\vartheta_{0i,m}$	200,12	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\vartheta_{0a,m}$	64,62	°C
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,1194	m ² K/W

S t u f e 2 - Ergebnisse Parametervariation in Diagrammform

Oberflächentemperatur	$\vartheta_{0i,m} = f(\vartheta_{L1})$	Abb. 14	
- Parameter	α_1	20 (5) 30	W/(m ² K)
- Randbedingungen	ϑ_{La}	20	°C
	α_a	12	W/(m ² K)

Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda = f(\vartheta_{L_1})$	<u>Abb. 15</u>	
- Parameter	α_1	20 (5) 30	W/(m ² K)
- Randbedingungen	ϑ_{L_2}	20	°C
	α_2	12	W/(m ² K)
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda = f(\vartheta_{L_1})$	<u>Abb. 16</u>	
- Parameter	α_2	8 (4) 16	W/(m ² K)
$\alpha_1 = f(\vartheta_{L_1}, \alpha_2)$	α_1	10 (5) 30	W/(m ² K)
- Randbedingungen	ϑ_{L_2}	20	°C
	$\vartheta_{D_1, m}$	200	°C
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda = f(\alpha_1)$	<u>Abb. 17</u>	
- Parameter	α_2	8 (4) 16	W/(m ² K)
- Randbedingungen	ϑ_{L_2}	20	°C
	$\vartheta_{D_1, m}$	200	°C

3.2 Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes

- Beispiel II: Zellenformstück II

Bei Anwendung des Programms INSTRKS zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) auf Zellenformstück II wurde zur Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes bis zum Beharrungszustand durchgerechnet. Er wurde nach etwa 15 h erreicht.

Den Berechnungen mit den Rechenprogrammen LAMLKS und INSTRKS liegen folgende Unterlagen, Daten, Kennwerte und Kennlinien zugrunde:

A l l g e m e i n e s

Prüfbericht des LAB Bremen	vom 18.6.84
Ansicht (Photographie)	<u>Abb. 18</u>
Schnittdarstellung	<u>Abb. 19</u>
Prinzipielle Elementaufteilung mit Baustoffen und Farbzuordnung	<u>Abb. 20</u>
Elementaufteilung mit Knotenpunkten	<u>Abb. 21</u>

B a u s t o f f : Leichtbeton

Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(\vartheta)$	<u>Abb. 4</u> ; Kurve II
spezifische Wärmekapazität	$c = f(\vartheta)$	<u>Abb. 5</u> ; Kurve II
Rohdichte	ρ	1164 kg/m ³

L u f t h o h l r ä u m e		analog Abschn. 2.2
(Bezugs-) Querschnitt		<u>9-15-21-26-32-36-31-25-19-14-9</u>
(Bezugs-) Querschnitt		<u>33-38-43(7)-11-16-10-5-3-3(45)</u> -41-37-33
Emissionskoeffizient	ϵ	0,9
äquiv. Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(\xi)$	Abb. 22
spezifische Wärmekapazität	$c = f(\xi)$	nach [16], Werte
Dichte (1000facher Wert)	$\rho = f(\xi)$	s. Abschnitt 11.2

W ä r m e d u r c h l a ß w i d e r s t a n d Z e l l e n f o r m s t ü c k I I

S t u f e 1 - Randbedingungen (Meßwerte LAB Bremen)

Temperatur der Umwälzluft			
- Knoten 47,48	ξ_{L1}	244,3	°C
Temperatur der Raumlufte			
- Knoten 49,50	ξ_{L2}	20,8	°C
Umwälzluftgeschwindigkeit	v_1	5,9	m/s
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	18,75	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	10,30	W/(m ² K)

S t u f e 1 - Meßergebnisse LAB Bremen

mittl. Innenwandtemperatur	$\xi_{01,m}$	203,4	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\xi_{0a,m}$	48,9	°C
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,201	m ² K/W

S t u f e 1 - Rechenergebnisse mit Randbedingungen LAB Bremen

innere Oberfläche (1/4-Qu.)	A_1	0,1769	m ² /m
Verlustwärmestrom	Φ	132,44	W/m
mittl. Innenwandtemperatur	$\xi_{01,m}$	204,37	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\xi_{0a,m}$	48,28	°C
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,208	m ² K/W

Wärmedurchlaßwiderstand Zellenformstück II

Stufe 2 (ein Parametersatz) - Randbedingungen und Ergebnis

Temperatur der Umwälzluft			
- Knoten 47,48	ϑ_{L1}	210... <u>230</u> ...280	°C
Temperatur der Raumluft			
- Knoten 49,50	ϑ_{La}	20	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	10... <u>25</u> ...30	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	8, <u>12</u> , 16	W/(m ² K)
Oberflächentemperaturen			
innere Oberfläche (1/4-Qu.)	$\vartheta_{01}, \vartheta_{0a}$	<u>Abb. 23</u>	
Verlustwärmestrom	A_1	0,1769	m ² /m
Verlustwärmestrom	Φ	132,23	W/m
mittl. Innenwandtemperatur	$\vartheta_{01,m}$	200,10	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\vartheta_{0a,m}$	43,55	°C
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,2094	m ² K/W

Stufe 2 - Ergebnisse Parametervariation in Diagrammform

Oberflächentemperatur			
	$\vartheta_{01,m} = f(\vartheta_{L1})$	<u>Abb. 24</u>	
- Parameter	α_1	20 (5) 30	W/(m ² K)
- Randbedingungen	ϑ_{La}	20	°C
	α_a	12	W/(m ² K)
Wärmedurchlaßwiderstand			
	$1/\Lambda = f(\vartheta_{L1})$	<u>Abb. 25</u>	
- Parameter	α_1	20 (5) 30	W/(m ² K)
- Randbedingungen	ϑ_{La}	20	°C
	α_a	12	W/(m ² K)
Wärmedurchlaßwiderstand			
	$1/\Lambda = f(\alpha_1)$	<u>Abb. 26</u>	
- Parameter	α_a	8 (4) 16	W/(m ² K)
	$\alpha_1 = f(\vartheta_{L1}, \alpha_a)$	α_1	10 (5) 30
- Randbedingungen	ϑ_{La}	20	°C
	$\vartheta_{01,m}$	200	°C
Wärmedurchlaßwiderstand			
	$1/\Lambda = f(\alpha_1)$	<u>Abb. 27</u>	
- Parameter	α_a	8 (4) 16	W/(m ² K)
- Randbedingungen	ϑ_{La}	20	°C
	$\vartheta_{01,m}$	200	°C

3.3 Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes

- Schornsteintypen A bis E

Zur Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornst. C) bei den in Abschnitt 1 aufgeführten einschaligen Hausschornsteinen (Schornsteintypen A bis E) wurde mit dem Rechenprogramm INSTRKS jeweils bis 30 h durchgerechnet, so daß der Beharrungszustand in jedem Fall erreicht wurde.

Den Berechnungen mit den Rechenprogrammen LAMLKS und INSTRKS liegen folgende Unterlagen, Daten, Kennwerte und Kennlinien zugrunde:

A l l g e m e i n e s

Prüfbericht [6] Karlsruhe	von 11/86
Aufbau Schornsteintypen A bis E	<u>Abb. 35, 40, 45, 50, 57</u>
Prinzipielle Elementaufteilungen mit Baustoffen und Farbzuordnung	<u>Abb. 36, 41, 46, 51, 58</u>
Elementaufteilungen mit Knoten	<u>Abb. 37, 42, 47, 52, 59</u>

B a u s t o f f e

Wärmeleitfähigkeiten	$\lambda = f(\vartheta)$	<u>Abb. 29 bis 31</u>
spezif. Wärmekapazitäten	$c = f(\vartheta)$	<u>Abb. 32 bis 34</u>
Rohdichten A bis E	ρ	1900, 1600, 1760, 1650, 2200
- Mörtel		1760 kg/m ³

L u f t h o h l r ä u m e

Schornsteintyp A		analog Abschnitt 2.2, 3.1
Emissionskoeffizient	ϵ	0,9
äquiv. Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(\vartheta)$	<u>Abb. 10</u>

Schornsteintyp D		analog Abschnitt 2.2
Emissionskoeffizient	ϵ	0,9
äquiv. Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(\vartheta)$	<u>Abb. 53</u>

spezifische Wärmekapazität	$c = f(\vartheta)$	nach [16], Werte s.
Dichte (1000facher Wert)	$\rho = f(\vartheta)$	Abschnitte 11.2, 11.4

Wärmedurchlaßwiderstände Schornst. typen A-E

mittl. Innenwandtemperatur	$\vartheta_{01,m}$	200	°C
Temperatur der Raumluft	ϑ_{La}	20	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	25	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	12	W/(m ² K)

Schornsteintyp A Abb. 37

Temperatur der Umwälzluft	ϑ_{L1}	243,59	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\vartheta_{0a,m}$	60,83	°C
innere Oberfläche (1/4-Qu.)	A_1	0,1854	m ² /m
Verlustwärmestrom	Φ	227,05	W/m
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,1136	m ² K/W

Schornsteintyp B Abb. 42

Temperatur der Umwälzluft	ϑ_{L1}	249,37	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\vartheta_{0a,m}$	77,14	°C
innere Oberfläche (1/4-Qu.)	A_1	0,2000	m ² /m
Verlustwärmestrom	Φ	246,84	W/m
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,0996	m ² K/W

Schornsteintyp C Abb. 47

Temperatur der Umwälzluft	ϑ_{L1}	247,83	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\vartheta_{0a,m}$	58,69	°C
innere Oberfläche (1/4-Qu.)	A_1	0,1553	m ² /m
Verlustwärmestrom	Φ	185,70	W/m
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,1182	m ² K/W

Schornsteintyp D Abb. 52

Temperatur der Umwälzluft	ϑ_{L1}	242,99	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\vartheta_{0a,m}$	61,66	°C
innere Oberfläche (1/2-Qu.)	A_1	0,4000	m ² /m
Verlustwärmestrom	Φ	429,89	W/m
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,1287	m ² K/W

Schornsteintyp E Abb. 59

Temperatur der Umwälzluft	ϑ_{L1}	271,27	°C
mittl. Außenwandtemperatur	$\vartheta_{0a,m}$	89,06	°C
innere Oberfläche (1/2-Qu.)	A_1	0,4000	m ² /m
Verlustwärmestrom	Φ	712,70	W/m
Wärmedurchlaßwiderstand	$1/\Lambda$	0,0623	m ² K/W

4 Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten und Berechnung der Oberflächentemperaturen entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein A, Betriebsph. 2, Abgastemperatur 500 °C) bei einschaligen Hausschornsteinen

Zur Absicherung der numerischen Verfahren werden nach DIN 18160 Teil 6 [5] ausgeführte Messungen der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe [6] (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abb. 28) an 5 einschaligen Hausschornsteinen (Schornsteintypen A bis E) herangezogen:

- Schornsteintyp A aus Leichtbeton-Zellenformstücken nach DIN 18150 Teil 1 [3]
- Schornsteintyp B aus vollwandigen Leichtbetonformstücken mit 8 cm Wangendicke
- Schornsteintyp C aus geschoßhohen vollwandigen Leichtbetonformstücken
- Schornsteintyp D aus Mauerziegeln niedriger Rohdichte nach DIN 105 Mz 28-1,8-2DF (Vollz., 7,5% Lochanteil)
- Schornsteintyp E aus Mauerziegeln hoher Rohdichte nach DIN 105 Mz 28-2,2-NF

Zielsetzung dieser im Rahmen des Forschungsvorhabens "Vergleichende Brandversuche an Hausschornsteinen aus genormten und zugelassenen Formstücken zur Ermittlung der Oberflächentemperatur nach DIN 18160 Teil 6 und ISO 4736" [6] ausgeführten Versuche war es zu klären, ob die inzwischen in DIN 18160 Teil 6 [5] festgelegten zulässigen Temperaturerhöhungen auf der Schornsteinaußenseite von höchstens 80 K bei einer Heizbeanspruchung entsprechend Betriebsphase 2 und der Internationalen Norm ISO 4736 "Fire tests - Small chimneys - Testing at elevated temperatures" beibehalten werden können. Der Schwerpunkt des Vergleichs lag auf der Temperaturerhöhung beim Heizversuch bzw. der Heizbeanspruchung entsprechend Betriebsphase 2 nach ISO 4736. Die 5 o.a. Schornsteintypen wurden ausgewählt und davon je ein Schornstein nach DIN 18160 Blatt 6 bzw. nach ISO 4736 geprüft.

Für die geprüften Hausschornsteine A bis D wurden in [6] Wärme durchlaßwiderstände von 0,10 bis 0,12 m²K/W

(vgl. hierzu die in Abschnitt 3.3 errechneten Wärmedurchlaßwiderstände von I: 0,12, A: 0,11, B: 0,10, C: 0,12, D: 0,13, E: 0,06) hergeleitet. Aus einem Vergleich der Ergebnisse von Prüfungen zur Ermittlung des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein C) und der Heizbeanspruchung gemäß Betriebsphase 2 nach ISO 4736 wurde in [6] festgestellt, daß Schornsteine, die die Bedingungen der Wärmedurchlaßwiderstandsgruppe III ($1/\Lambda = 0,12$ bis $0,21 \text{ m}^2\text{K/W}$) erfüllen, auch hinsichtlich ihrer Außenoberflächentemperaturen Anforderungen von DIN 18160 Teil 1 [4] bzw. Teil 6 genügen. Schornsteine aus Leichtbeton-Zellenformstücken zeigen nach [6] die ungünstigsten Ergebnisse.

Zur r e c h n e r i s c h e n S i m u l a t i o n dieser Versuche, d.h. Berechnung der Oberflächentemperaturen auf der Schornsteinaußenoberfläche entsprechend den Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur $500 \text{ }^\circ\text{C}$) wurden folgende Programme eingesetzt:

- FORTRAN IV - Rechenprogramm LAMLKS zur Berechnung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit infolge Wärmetransport durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung für einen aus Polygonzügen zusammengesetzten Hohlraum ohne Hinterschneidung
- FORTRAN IV - Rechenprogramm INSTRKS für beliebige aus Dreieckselementen zusammensetzbare zweidimensionale Geometrien

Die Berechnungen wurden dabei auf dem DEC-Rechner VAX 8600 des Rechenzentrums der BAM ausgeführt.

Bei der Erfassung der Hohlräume mit dem Rechenprogramm LAMLKS wurde für HE entweder die Höhe der Zellen (Schornsteintyp A) oder eines Mauerziegels (Schornsteintyp D) angesetzt.

Zur Anwendung des Rechenprogramms INSTRKS wurde unter Ausnutzung der Symmetrie ein zweidimensionaler Teilausschnitt des jeweiligen Schornsteintyps der Rechnung zugrundegelegt. Bei den Schornsteintypen A, B und C wurde ein Viertelausschnitt, bei den Schornstein-

typen D und E mit asymmetrisch liegenden Mörtelfugen der halbe Schornsteinquerschnitt betrachtet und in Dreiecksvolumenelemente der Tiefe $\Delta z = 1 \text{ m}$ aufgeteilt.

Die Wärmeleitfähigkeiten und die spezifischen Wärmekapazitäten wurden simultan als Funktion der Temperatur bei der Amtlichen Materialprüfanstalt für Steine und Erden der Technischen Universität Clausthal nach dem Heißdraht-Parallelverfahren bestimmt.

Die ermittelten Kennlinien für die Wärmeleitfähigkeit $\lambda = f(\vartheta)$ sind den Abb. 29 bis 31, die Kennlinien für die spezifische Wärmekapazität $c = f(\vartheta)$ den Abb. 32 bis 34 zu entnehmen.

Die für die Rohdichte ρ ermittelten Werte gehen aus den Bildunterschriften der eben genannten Abbildungen oder aus den Daten in Abschnitt 4.1 bzw. 4.2 hervor.

Die Berücksichtigung der 5minütigen Anstiegsphase der Temperatur-Zeit-Funktion des Verbrennungsgas-Luft-Gemisches im Querschnitt 1 $\vartheta = f(t)$ nach Abb. 28 (Betriebsphase 2) erwies sich nicht als erforderlich. Eine entsprechende Vergleichsrechnung bei Schornsteintyp E mit dem kleinsten Wärmedurchlaßwiderstand ergab nur Abweichungen der maximalen Oberflächentemperatur von 0,1 K. Hier wie bei den Wärmeübergangskoeffizienten wurde jeweils mit konstanten Werten gerechnet.

Wie in Abschnitt 2.3 schon festgestellt, haben leider alle Rechenverfahren und Oberschlagsformeln zur Abschätzung der Wärmeübergangsverhältnisse auf der Innen- und Außenoberfläche bei den Prüfungen nach DIN 18160 Teil 6 den Nachteil, sich zu widersprechen und die tatsächlich bei den Prüfungen herrschenden Verhältnisse nicht richtig zu erfassen. Es soll hier also ein anderer Weg eingeschlagen werden, der darin besteht, die t a t s ä c h l i c h bei den Prüfungen vorhandenen Wärmeübergangsverhältnisse zu erfassen. Gleichzeitig ist damit eine Aussage über die bei den Versuchen überhaupt erzielbare Reproduzierbarkeit möglich.

In der e r s t e n S t u f e der Berechnungen werden daher für die Schornsteintypen C bis E durch systematischen Vergleich der aus dem Forschungsbericht [6] ersichtlichen und der mit dem Rechenprogramm INSTRKS errechneten Temperaturen die inneren und äußeren Wärmeübergangskoeffizienten bestimmt. Eine diesbezügliche Auswertung bei den Schornsteintypen A und B konnte nicht vorgenommen werden: Bei Schornsteintyp A lagen keine Meßwerte für die Innenwandtemperatur vor, bei Schornsteintyp B differierten die beiden Meß-

werte für die Innenwandtemperatur trotz Axialsymmetrie derart, daß nicht gesagt werden kann, welcher Meßwert der richtige ist. Die Temperaturen auf den Schornsteinoberflächen werden jeweils bei einer Abgastemperatur von 500 °C bis zum Zeitpunkt der Einstellung der Beflammung berechnet. Die Anfangstemperatur des Prüfschornsteins zu Versuchsbeginn wurde bei den Berechnungen einheitlich mit 23 °C angesetzt, die Außenlufttemperatur entsprechend den Versuchsbedingungen.

In der z w e i t e n S t u f e wurde zur Abklärung des Einflusses der Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite auf die Maximaltemperatur der Schornsteinaußenoberfläche für die Schornsteintypen A bis E eine Parametervariation vorgenommen. Die Temperaturen auf der Schornsteinaußenoberfläche wurden jeweils bei einer Abgastemperatur von 500 °C nach einer Zeitdauer von 6 h berechnet. Die Anfangstemperatur der Prüfschornsteine zu Versuchsbeginn und die Raumlufttemperatur wurden bei den Berechnungen einheitlich mit 20 °C angesetzt.

Aufgrund der in Stufe 1 für die einschaligen Hausschornsteine (Schornsteintypen C bis E) ermittelten Wärmeübergangskoeffizienten und der in Stufe 2 für die einschaligen Hausschornsteine (Schornsteintypen A bis E) vorgenommenen systematischen Betrachtungen des Einflusses relevanter Einflußgrößen bzw. aufgrund von Parametervariationen können in Abschnitt 6 Empfehlungen für die den Berechnungen zugrundezulegenden Randbedingungen und Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite gegeben werden.

4.1 Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten für die nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) an den Schornsteintypen C bis E ausgeführten Versuche

In der e r s t e n S t u f e der Berechnungen (vgl. Abschnitt 4) werden für die Schornsteintypen C bis E (A und B nicht auswertbar) durch systematischen Vergleich der aus dem Forschungsbericht [6] ersichtlichen und der mit dem Rechenprogramm INSTRKS errechneten Temperaturen die inneren und äußeren Wärmeübergangskoeffizienten bestimmt. Die Temperaturen auf den Schornsteinoberflächen werden jeweils bei einer Abgastemperatur von 500 °C bis zum Zeitpunkt der

Einstellung der Beflammung berechnet. Die Anfangstemperatur des Prüfschornsteins zu Versuchsbeginn wurde bei den Berechnungen einheitlich mit 23 °C angesetzt.

Den Berechnungen mit den Rechenprogrammen LAMLKS und INSTRKS liegen folgende Unterlagen, Daten, Kennwerte und Kennlinien zugrunde:

A l l g e m e i n e s

Prüfbericht [6] Karlsruhe	von 11/86
Aufbau Schornsteintypen C bis E	<u>Abb. 45, 50, 57</u>
Prinzipielle Elementaufteilungen mit Baustoffen und Farbzuordnung	<u>Abb. 46, 51, 58</u>
Elementaufteilungen mit Knoten	<u>Abb. 47, 52, 59</u>

B a u s t o f f e

Wärmeleitfähigkeiten	$\lambda = f(\xi)$	<u>Abb. 29 bis 31</u>
spezif. Wärmekapazitäten	$c = f(\xi)$	<u>Abb. 32 bis 34</u>
Rohdichten C bis E, Mörtel ρ		1760, 1650, 2200, 1760 kg/m ³

L u f t h o h l r ä u m e Abschnitt 2.2 (Beispiel)

Schornsteintyp D		analog Abschnitt 2.2
Emissionskoeffizient	ϵ	0,9
äquiv. Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(\xi)$	<u>Abb. 53</u>
spezifische Wärmekapazität	$c = f(\xi)$	nach [16], Werte s.
Dichte	$\rho = f(\xi)$	Abschnitt 11.4

W ä r m e ü b e r g a n g k o e f f i z i e n t e n S c h o r n s t e i n t y p e n C - E

Abgastemperatur, Meßqu. 1	ξ_{M1}	500	°C
<u>Schornsteintyp C</u>		<u>Abb. 45, 47</u>	
Temperatur der Raumluft	ξ_{La}	15	°C
Abbruch der Beflammung nach Innenwandtemperatur, Mitte		300	min
- gem. Wert, ZM1a/ZM1b	$\xi_{01,M}$	452 / 452	°C
Außenwandtemperatur, Mitte - gem. Wert, M1a / M1b	$\xi_{0a,M}$	78 / 82	°C

Wärmeübergangskoeffizient

- Schornsteinzug	α_1	74,5	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	27,5	W/(m ² K)

Schornsteintyp D

Abb. 50, 52

Temperatur der Raumlufte	ϑ_{L_a}	19	°C
Abbruch der Beflammung nach		330	min
Innenwandtemperatur, Mitte			
- gem. Wert, ZM1a/ZM1b	$\vartheta_{D1,M}$	414 / 416	°C
Außenwandtemperatur, Mitte			
- gem. Wert, M1a / M1b	$\vartheta_{D_a,M}$	92 / 100	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	26,2	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	20,7	W/(m ² K)

Schornsteintyp E

Abb. 57, 59

Temperatur der Raumlufte	ϑ_{L_a}	17	°C
Abbruch der Beflammung nach		360	min
Innenwandtemperatur, Mitte			
- gem. Wert, ZM1a/ZM1b	$\vartheta_{D1,M}$	418 / 418	°C
Außenwandtemperatur, Mitte			
- gem. Wert, M1a / M1b	$\vartheta_{D_a,M}$	144 / 147	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	49,8	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	21,2	W/(m ² K)

4.2 Berechnung der Oberflächentemperaturen entsprechend

DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornst. A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) bei den Schornsteintypen A bis E

In der z w e i t e n S t u f e wurde zur Abklärung des Einflusses der Wärmeübergangskoeffizienten und Temperatur-Randbedingungen auf die Maximaltemperatur der Schornsteinaußenoberfläche für die Schornsteintypen A bis E eine Parametervariation dieser Einflußgrößen vorgenommen. Die Temperaturen auf der Schornsteinaußenoberfläche wurden jeweils bei einer Abgastemperatur von 500 °C nach einer Zeitdauer von 6 h berechnet. Die Anfangstemperatur der Prüfschornsteine zu Versuchsbeginn und die Raumlufttemperatur wurden bei den Berechnungen einheitlich mit 20 °C angesetzt.

Den Berechnungen mit den Rechenprogrammen LAMLKS und INSTRKS liegen folgende Unterlagen, Daten, Kennwerte und Kennlinien zugrunde:

A l l g e m e i n e s

Prüfbericht [6] Karlsruhe	von 11/86
Aufbau Schornsteintypen A bis E	<u>Abb. 35, 40, 45, 50, 57</u>
Prinzipielle Elementaufteilungen mit Baustoffen und Farbzuordnung	<u>Abb. 36, 41, 46, 51, 58</u>
Elementaufteilungen mit Knoten	<u>Abb. 37, 42, 47, 52, 59</u>

B a u s t o f f e

Wärmeleitfähigkeiten	$\lambda = f(\vartheta)$	<u>Abb. 29 bis 31</u>
spezif. Wärmekapazitäten	$c = f(\vartheta)$	<u>Abb. 32 bis 34</u>
Rohdichten A bis E	ρ	1900, 1600, 1760, 1650, 2200
- Mörtel		1760 kg/m ³

L u f t h o h l r ä u m e

Schornsteintyp A		analog Abschnitt 2.2, 3.1
Emissionskoeffizient	ϵ	0,9
äquiv. Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(\vartheta)$	<u>Abb. 10</u>
Schornsteintyp D		analog Abschnitt 2.2
Emissionskoeffizient	ϵ	0,9
äquiv. Wärmeleitfähigkeit	$\lambda = f(\vartheta)$	<u>Abb. 53</u>
spezifische Wärmekapazität	$c = f(\vartheta)$	nach [16], Werte s.
Dichte	$\rho = f(\vartheta)$	Abschnitte 11.2, 11.4

A u ß e n w a n d t e m p e r a t u r e n Schornsteintypen A - E

Abgastemperatur, Meßqu. 1	ϑ_{M1}	500	°C
Temperatur der Raumluft	ϑ_{Lr}	20	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	50	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	24	W/(m ² K)
Simulationszeitdauer bis		360	min

Schornsteintyp A

Abb. 35 bis 37

Außenwandtemperatur, Mitte	$\vartheta_{DA,M}$	<u>Abb. 38</u>	
- Meßwert , 360min, M1a/M1b	$\vartheta_{DA,M}$	121 / 120	°C
- err. Wert, 360min, Knoten 47	$\vartheta_{DA,M}$	117,3	°C

Schornsteintyp BAbb. 40 bis 42

Außenwandtemperatur, Mitte	$\vartheta_{DA,M}$	<u>Abb. 43</u>	
- Meßwert , 270min, M1a/M1b	$\vartheta_{DA,M}$	109 / 107	°C
- err. Wert, 270min, Knoten 1	$\vartheta_{DA,M}$	120,9	°C
- err. Wert, 360min, Knoten 1	$\vartheta_{DA,M}$	123,3	°C

Schornsteintyp CAbb. 45 bis 47

Außenwandtemperatur, Mitte	$\vartheta_{DA,M}$	<u>Abb. 48</u>	
- Meßwert , 300min, M1a/M1b	$\vartheta_{DA,M}$	78 / 82	°C
- err. Wert, 300min, Knoten 1	$\vartheta_{DA,M}$	87,1	°C
- err. Wert, 360min, Knoten 1	$\vartheta_{DA,M}$	89,7	°C

Schornsteintyp DAbb. 50 bis 52

Außenwandtemperatur, Mitte	$\vartheta_{DA,M}$	<u>Abb. 55</u>	
- Meßwert , 330min, M1a/M1b	$\vartheta_{DA,M}$	92 / 100	°C
- err. Wert, 330min, Knot. 161/15	$\vartheta_{DA,M}$	97,0 / 95,8	°C
- err. Wert, 360min, Knot. 161/15	$\vartheta_{DA,M}$	97,5 / 96,3	°C

Schornsteintyp EAbb. 57 bis 59

Außenwandtemperatur, Mitte	$\vartheta_{DA,M}$	<u>Abb. 60</u>	
- Meßwert , 360min, M1a/M1b	$\vartheta_{DA,M}$	144 / 147	°C
- err. Wert, 360min, Knoten 41/80	$\vartheta_{DA,M}$	136,7 / 139,6	°C

Ergebnisse Parametervariation in Diagrammform
Maximale Außenoberflächentemperaturen
nach 360 min für die Schornsteintypen A - E

Abgastemperatur, Meßqu. 1	ϑ_{M1}	500	°C
Temperatur der Raumlufte	ϑ_{LA}	20	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	10... <u>50</u> ...70	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_a	18... <u>24</u> ...27	W/(m ² K)

Schornsteintyp AAbb. 35 bis 37

Außenwandtemperatur, Mitte	$\vartheta_{DA,M} = f(\alpha_a)$	<u>Abb. 39</u>	
- Meßwerte nach 360 min --	$\vartheta_{DA,M}$	121 u. 120	°C
- Parameter	α_1	10 (10) 70	W/(m ² K)

Schornsteintyp B

Abb. 40 bis 42

Außenwandtemperatur, Mitte	$\theta_{0a,m} = f(\alpha_a)$	<u>Abb. 44</u>
- Meßwerte nach 270 min --	$\theta_{0a,m}$	109 u. 107 °C
- Parameter	α_1	10 (10) 70 W/(m ² K)

Schornsteintyp C

Abb. 45 bis 47

Außenwandtemperatur, Mitte	$\theta_{0a,m} = f(\alpha_a)$	<u>Abb. 49</u>
- Meßwerte nach 300 min --	$\theta_{0a,m}$	78 u. 82 °C
- Parameter	α_1	10 (10) 70 W/(m ² K)

Schornsteintyp D

Abb. 50 bis 52

Außenwandtemperatur, Mitte	$\theta_{0a,m} = f(\alpha_a)$	<u>Abb. 56</u>
- Meßwerte nach 330 min --	$\theta_{0a,m}$	92 u. 100 °C
- Parameter	α_1	10 (10) 70 W/(m ² K)

Schornsteintyp E

Abb. 57 bis 59

Außenwandtemperatur, Mitte	$\theta_{0a,m} = f(\alpha_a)$	<u>Abb. 61</u>
- Meßwerte nach 360 min --	$\theta_{0a,m}$	144 u. 147 °C
- Parameter	α_1	10 (10) 70 W/(m ² K)

5 Vergleich von Berechnungen und Messungen des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Außenoberflächentemperaturen nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornst. C bzw. A, Betriebsphase 2, Abgastemp. 500 °C) bei einschaligen Hausschornsteinen

5.1 Vergleich von Berechnungen und Messungen des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornstein C) bei einschaligen Hausschornsteinen

Ein Vergleich von Berechnungen mit nach DIN 18160 Teil 6 [5] ausgeführten Messungen zur Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes (Beanspruchung für Prüfschornstein C) an 2 einschaligen Hausschornsteinen aus den Zellenformstücken I und II bzw. mit der in [6] getroffenen Aussage, daß die Wärmedurchlaßwiderstände $1/\Lambda$ der Schornsteintypen A bis D 0,10 bis 0,12 m²K/W betragen, ergab:

Schornstein	$1/\Lambda$ gem./angeg. m ² K/W	$1/\Lambda$ err. m ² K/W	Berechnungen ausgef. in Abschn.	Bemerkungen zur Ausführung der Berechnungen
I	0,105	0,121	3.1	TÜV-Randbedingungen
		0,119	3.1	BAM-Randbedingungen (s.u.)
II	0,201	0,208	3.2	LAB-Randbedingungen
		0,209	3.2	BAM-Randbedingungen (s.u.)
A	0,105	0,114		BAM-Randb. n. Abschn. 6.1
B	0,12	0,100		$\vartheta_{01,m} = 200 \text{ °C}$
C	0,12	0,118	3.3	$\alpha_1 = 25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
D	0,12	0,129		$\alpha_a = 12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
E	-	0,062		$\vartheta_{L,a} = 20 \text{ °C}$

Im Hinblick auf die Schornstein-Wärmedurchlaßwiderstandsgruppen IV bzw. III nach DIN 18160 Teil 1 [4] mit Wärmedurchlaßwiderständen von $< 0,12$ bzw. $0,12$ bis $0,21$ m²K/W kann festgestellt werden, daß eine Berechnung nur in den Fällen des Zellenformstücks I und des Schornsteintyps D zu einer unterschiedlichen (zu guten) Eingruppierung geführt hätte. Insgesamt ist die Übereinstimmung gut.

5.2 Vergleich von Berechnungen und Messungen der Außenoberflächentemperaturen nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) für die Schornsteintypen A-E

Ein Vergleich der Berechnungen nach Abschn. 4.2 mit nach DIN 18160 Teil 6 ausgeführten Messungen zur Bestimmung der Außenoberflächentemperaturen (Beanspr. für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500°C) [6] an den 5 Schornsteintypen A bis E ergab:

Schornsteintyp		A	B	C	D	E
Versuchsdauer	in min	360	270	300	330	360
$\vartheta_{0_{a,m}}$ gem., t=0	in °C	22	23	18	23	20
$\vartheta_{0_{a,m}}$ gemessen	in °C	121	109	78	92	144
		120	107	82	100	147
$\Delta\vartheta$ gemessen	in K	99	86	64	77	127
Simulationszeit	in min	360	270	300	330	360
$\vartheta_{0_{a,m}}$ err., t=0	in °C	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
$\vartheta_{0_{a,m}}$ errechn.	in °C	117,3	120,9	87,1	97,0	136,7
					95,8	139,6
$\Delta\vartheta$ errechn.	in K	97,3	100,9	67,1	77,0	119,6
Simulationszeit	in min	360	360	360	360	360
$\vartheta_{0_{a,m}}$ errechn.	in °C	117,3	123,3	89,7	97,5	136,7
					96,3	139,6
$\Delta\vartheta$ errechn.	in K	97,3	103,3	69,7	77,5	119,6

Nach DIN 18160 Teil 6 ist an der Schornsteinaußenoberfläche eine Temperaturerhöhung von maximal 80 K zulässig. Dieses Kriterium führt bei Berechnungen mit den BAM-Randbedingungen n. Abschn. 6.2 $\vartheta_{M_1} = 500 \text{ °C}$, $\vartheta_{L_1} = -20 \text{ °C}$, $\alpha_1 = 50 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, $\alpha_a = 24 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und einer Simulationszeit $t = \text{Versuchsdauer}$ oder $t = 6 \text{ h}$ zu gleichen Aussagen wie die Messungen nach [6]. Gemessene und berechnete maximale Temperaturerhöhungen stimmen meist gut überein.

6 Empfehlungen für die den Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Außenoberflächentemperaturen bei einer Abgastemperatur von 500 °C zugrundezulegenden Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite

Leider haben alle Rechenverfahren und Überschlagsformeln zur Abschätzung der Wärmeübergangsverhältnisse auf der Innen- und Außenoberfläche bei den Prüfungen nach DIN 18160 Teil 6 den Nachteil, sich zu widersprechen und die tatsächlich bei den Prüfungen herrschenden Verhältnisse nicht richtig zu erfassen.

Es sollen hier also Aussagen über die t a t s ä c h l i c h bei den Prüfungen an einschaligen Hausschornsteinen vorhandenen Wärmeübergangsverhältnisse gemacht werden. Bei der Wahl der Randbedingungen für Berechnungen soll die bei Versuchen überhaupt erzielbare Genauigkeit und Reproduzierbarkeit berücksichtigt werden. Aus rechentechnischen Gesichtspunkten soll außerdem auf eine möglichst einfache Methode zur Berücksichtigung der Wärmeübergangsverhältnisse Wert gelegt werden.

Es werden systematische Betrachtungen des Einflusses relevanter Einflußgrößen wie

- Wärmeübergangskoeffizient im Schornsteinzug,
- Wärmeübergangskoeffizient auf der Schornsteinaußenseite,
- Umwälzlufttemperatur und damit
- mittlere Innenoberflächentemperatur

auf den W ä r m e d u r c h l a ß w i d e r s t a n d bzw.

- Wärmeübergangskoeffizient im Schornsteinzug und
- Wärmeübergangskoeffizient auf der Schornsteinaußenseite

auf die A u ß e n o b e r f l ä c h e n t e m p e r a t u r e n bei einer Abgastemperatur von 500 °C ausgeführt. Aufgrund der Ergebnisse werden E m p f e h l u n g e n für die den entsprechenden Berechnungen zugrundezulegenden Randbedingungen, insbesondere die Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite, gegeben.

6.1 Empfehlungen für die den Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes zugrundezulegenden Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite

Systematische Betrachtungen relevanter Einflußgrößen wie

- Wärmeübergangskoeffizient im Schornsteinzug,
- Wärmeübergangskoeffizient auf der Schornsteinaußenseite,
- Umwälzlufttemperatur und damit
- mittlere Innenoberflächentemperatur

auf den W ä r m e d u r c h l a ß w i d e r s t a n d führen zu den nachstehenden Aussagen:

- Der berechnete Wärmedurchlaßwiderstand hängt stark von der Umwälzlufttemperatur und damit von der mittleren Innenoberflächentemperatur ab, Abb. 14, 15, 24 und 25
- Schreibt man eine mittlere Innenoberflächentemperatur von 200 °C zwingend vor, so ist im untersuchten Bereich der Einflußgrößen bei q u a d r a t i s c h e m Zugquerschnitt
 - q1) nur eine minimale Abhängigkeit des Wärmedurchlaßwiderstandes vom Wärmeübergangskoeffizienten auf der Schornsteinaußenseite festzustellen, Abb. 16, 17.
 - q2) Die Größe des Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug hat nur einen geringen Einfluß auf die Größe des errechneten Wärmedurchlaßwiderstandes, Abb. 17.
 - q3) Bei gegebenem Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und einer mittleren Innenoberflächentemperatur von 200 °C ergibt sich, abhängig vom Wert des Wärmeübergangskoeffizienten auf der Schornsteinaußenseite, ein ganz bestimmter Wert für die Umwälzlufttemperatur. Die so ermittelten Werte der Umwälzlufttemperatur haben nur einen geringen Einfluß auf die Größe des Wärmedurchlaßwiderstandes, Abb. 16.
- Schreibt man eine mittlere Innenoberflächentemperatur von 200 °C zwingend vor, so ist im untersuchten Bereich der Einflußgrößen bei k r e i s f ö r m i g e m Zugquerschnitt
 - k1) nur eine minimale Abhängigkeit des Wärmedurchlaßwiderstandes vom Wärmeübergangskoeffizienten auf der Schornsteinaußenseite festzustellen, Abb. 26, 27.

k2) Die Größe des Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug hat keinen Einfluß auf die Größe des errechneten Wärmedurchlaßwiderstandes, Abb. 27.

k3) Bei gegebenem Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und einer mittleren Innenoberflächentemperatur von 200 °C ergibt sich, praktisch unabhängig vom Wert des Wärmeübergangskoeffizienten auf der Schornsteinaußenseite, ein ganz bestimmter Wert für die Umwälzlufttemperatur. Der so ermittelte Wert der Umwälzlufttemperatur hat dann keinen Einfluß auf die Größe des Wärmedurchlaßwiderstandes, Abb. 26.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

1. Das in DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) zur meßtechnischen Bestimmung des Wärmedurchlaßwiderstandes bei Hausschornsteinen verankerte *V e r f a h r e n*, eine mittlere Oberflächentemperatur an der Schornsteininnenoberfläche von 200 °C vorzuschreiben, ist zwar versuchs- oder rechentechnisch aufwendig, wird aber durch die vorliegenden numerischen Untersuchungen *v o l l g e r e c h t f e r t i g t*.
2. Berechnet man den Wärmedurchlaßwiderstand mit der Nebenbedingung einer mittleren Innenoberflächentemperatur von 200 °C, so hat die Größe der Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite einen relativ kleinen Einfluß auf das Ergebnis. Die Wahl der Wärmeübergangskoeffizienten sollte lediglich in einer vernünftigen, auch von den entsprechenden Messungen der Prüfinstitute her bekannten Größenordnung liegen.

Der *W ä r m e d u r c h l a ß w i d e r s t a n d* entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) sollte bei Durchrechnung bis zum Beharrungszustand mit folgenden *R a n d b e d i n g u n g e n* bestimmt werden:

mittlere Innenwandtemperatur	$\theta_{01,m}$	200	°C
Temperatur der Raumluft	θ_{Lm}	20	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	25	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_2	12	W/(m ² K)

Die damit für die beiden einschaligen Hausschornsteine aus Zellenformstücken I und II und die Schornsteintypen A bis E erhaltenen Wärmedurchlaßwiderstände sind aus den Abschnitten 3 bzw. 5 zu ersehen und in Abschnitt 5 Meßergebnissen gegenübergestellt.

Der Rechengang zur Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes ist folgender:

1. Ausführung von mindestens 3 Berechnungen unter Zugrundelegung o. a. Randbedingungen mit unterschiedlich großen Umwälzlufttemperaturen, beginnend mit einem Wert von $\vartheta_{L1} = 250 \text{ °C}$. Je nachdem, ob die mittlere Innenoberflächentemperatur über oder unter 200 °C liegt, wird die Umwälzlufttemperatur vergrößert oder verkleinert. Für eine Abschätzung zur sicheren Seite kann bei Vorhandensein von Hohlräumen die Ermittlung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Mitteltemperatur zunächst mit einer max. Temperaturdifferenz von $\Delta\vartheta = 100 \text{ K}$ erfolgen.
2. Wie aus Abb. 14 ersichtlich, wird nunmehr aus der Funktion $\vartheta_{01,m} = f(\vartheta_{L1})$ die zu einer mittleren Innenoberflächentemperatur von $\vartheta_{01,m} = 200 \text{ °C}$ gehörende Umwälzlufttemperatur ϑ_{L1} durch rechnerische oder zeichnerische Interpolation bestimmt.
3. Mit diesem Wert von ϑ_{L1} wird in einer erneuten Berechnung der Wärmedurchlaßwiderstand $1/\Lambda$ nach Abschnitt 3 ermittelt.

6.2 Empfehlungen für die den Berechnungen der Außenoberflächentemperaturen bei einer Abgastemperatur von 500 °C zugrundezulegenden Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite

Systematische Betrachtungen relevanter Einflußgrößen wie

- Wärmeübergangskoeffizient im Schornsteinzug und
- Wärmeübergangskoeffizient auf der Schornsteinaußenseite

auf die Außenoberflächentemperaturen einschaliger Hausschornsteine (Schornsteintypen A bis E) führen bei gegebener Abgastemperatur $\vartheta_{M1} = 500 \text{ °C}$ im Meßquerschnitt 1 des Prüfschornsteins A nach DIN 18160 Teil 6 zu den nachstehenden Aussagen, Abb. 39, 44, 49, 56, 61:

- Die berechneten Außenoberflächentemperaturen hängen bei Werten des Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug von $\alpha_1 = 40 \dots 70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ stark vom Wärmeübergangskoeffizienten auf der Schornsteinaußenseite α_{Δ} ab.
- Die berechneten Außenoberflächentemperaturen fallen mit steigenden Werten des Wärmeübergangskoeffizienten auf der Schornsteinaußenseite α_{Δ} .
- Die berechneten Außenoberflächentemperaturen steigen mit wachsenden Werten des Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug α_1 .

Die aus den Ergebnissen der an den Schornsteintypen C bis E nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) [6] durchgeführten Versuche ermittelbaren Wärmeübergangskoeffizienten betragen nach Abschnitt 4.1:

Schornsteintyp	C	D	E	i.M.
Wärmeübergangskoeffizient in $\text{W/(m}^2\text{K)}$				
- im Schornsteinzug α_1	74,5	26,2	49,8	50,2
- an der Außenoberfläche α_{Δ}	27,5	20,7	21,2	23,1

Wegen der unterschiedlichen Größe der Wärmeübergangskoeffizienten bei den Prüfungen an den Schornsteintypen C bis E wurden die Werte der Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug bzw. der Schornsteinaußenseite gemittelt und mit den Ergebnissen von Parametervariationen für die 5 einschaligen Hausschornsteine (Schornsteintypen A bis E) mit Wärmedurchlaßwiderständen zwischen 0,06 und 0,13 $\text{m}^2\text{K/W}$ abgesichert, Abb. 39, 44, 49, 56, 61.

Daraufhin werden folgende Randbedingungen zur Berechnung der Außenoberflächentemperaturen entsprechend DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2, Abgastemperatur 500 °C) vorgeschlagen:

Abgastemperatur	ϑ_{M1}	500	°C
Temperatur der Raumluft	$\vartheta_{L\Delta}$	20	°C
Wärmeübergangskoeffizient			
- Schornsteinzug	α_1	50	W/(m ² K)
- Außenoberfläche	α_{Δ}	24	W/(m ² K)
Simulationszeitdauer	t	360	min

E n t s c h e i d e n d e G e s i c h t s p u n k t e waren dabei eine möglichst gute Übereinstimmung von Meß- und Rechenergebnissen bei den untersuchten einschaligen Hausschornsteinen und, daß nach DIN 18160 Teil 6 an der Schornsteinaußenoberfläche nur eine Temperaturerhöhung von maximal 80 K zulässig ist.

Das BOK-Kriterium führt bei Berechnungen mit den vorgeschlagenen Randbedingungen und einer Simulationszeit t gleich der Versuchsdauer oder t = 6 h bei allen 5 Schornsteintypen A bis E zu gleichen Aussagen wie die Messungen nach [6].

Gemessene und berechnete maximale Temperaturerhöhungen stimmen zudem meist gut überein. Die für die einschaligen Hausschornsteine (Schornsteintypen A bis E) aus Messung und Rechnung erhaltenen Außenoberflächentemperaturen und sich daraus ergebenden Temperaturerhöhungen sind aus den Abschnitten 4.2 und 5.2 zu ersehen.

7 Kurzfassung und Ausblick

Zur Berechnung der Temperaturverteilung im Querschnitt von Hausschornsteinen (auch mit Zellen) bei Prüfbedingungen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A) und des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C) wurden die FORTRAN IV-Rechenprogramme LAMLKS und INSTRKS erarbeitet.

Die Rechenergebnisse wurden mit Messungen an einschaligen Hausschornsteinen bei der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe (DIN 18160 Teil 6, Beanspr. für Prüfschornst. A, Betriebsphase 2), des Technischen Überwachungs-Vereins Bayern in München und des Landesamtes für Baustoffprüfung in Bremen (DIN 18160 Teil 6, Beanspr. für Prüfsch. C) abgesichert.

Für einschalige Schornsteine werden Empfehlungen für die den Berechnungen des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Außenoberflächentemperaturen bei einer Abgastemperatur von 500 °C zugrundezulegenden Wärmeübergangskoeffizienten im Schornsteinzug und auf der Schornsteinaußenseite gegeben.

In einer zusätzlichen Studie wurden die Möglichkeiten zur Übertragbarkeit von Prüfungen an Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) auf größere lichte Querschnitte untersucht. Es wurde die Notwendigkeit festgestellt, noch systematisch auf experimentellem und theoretischem Wege die Wärmeübergangsbedingungen in Abhängigkeit vom Zugquerschnitt und der Heizleistung zu erforschen. Die Studie liegt dem Institut für Bautechnik in Berlin als gesonderter Bericht vom Oktober 1984 vor und wurde Ende 1985 veröffentlicht.

Außer einer kurzen Beschreibung der physikalisch-mathematischen Grundlagen sowie der Auflistung der beiden FORTRAN IV-Rechenprogramme enthält der Forschungsbericht eine Reihe von durchgerechneten Anwendungsbeispielen.

Es sei darauf hingewiesen, daß bereits BAM-Veröffentlichungen zu Teilaspekten der vorliegenden Problemstellungen gemacht wurden.

F ü r d i e F o r t f ü h r u n g d e r A r b e i t e n a u f d i e s e m S e k -
t o r w e r d e n f o l g e n d e A n r e g u n g e n g e g e b e n b z w . V o r s c h l ä g e g e m a c h t :

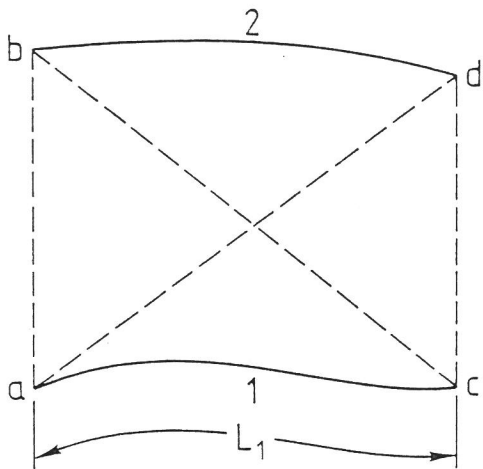
- Bei den Versuchen an Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) ist die Wärmeübertragung durch Konvektion und Strahlung im Schornsteinzug entscheidend [9,10]. Die Wärmeübergangsverhältnisse hängen damit wesentlich vom Abgasmassenstrom und der Abgaszusammensetzung ab. Es kann jedoch nur dann von vergleichbaren und reproduzierbaren Randbedingungen und Wärmeübergangsverhältnissen ausgegangen werden, wenn die Regelung der Abgastemperatur und der Abgaszusammensetzung sehr exakt vorgenommen wird. Dieses Ziel könnte am besten durch Einführung elektronisch geregelter Brenner mit funktionaler Abhängigkeit des Öl-Luft-Verhältnisses von der momentan verbrauchten Heizölmenge und geregelter, möglichst gleichbleibendem Luftüberschuß erreicht werden. Es sollten außerdem in jedem Prüfzeugnis Angaben über die verbrauchte Heizölmenge und den CO₂- bzw. O₂-Gehalt des Abgases gemacht werden.
- Für die Praxis wird empfohlen, die Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes inklusive der Ermittlung der mittleren Innen- und Außenoberflächentemperaturen in e i n e m R e c h e n g a n g v o r z u -
n e h m e n . S t a t t 4 B e r e c h n u n g e n b r a u c h t e n u r n o c h e i n e a u s -
g e f ü h r t z u w e r d e n . D i e H a n d h a b u n g e i n e s d e r a r t i g e n R e c h e n p r o -
g r a m m s w ä r e s e h r v i e l e i n f a c h e r .
- Es sollten auch Hilfsmittel zur Abschätzung des Wärmedurchlaßwiderstandes bei dreischaligen Hausschornsteinen unter besonderer Berücksichtigung des lichten Querschnitts, der Querschnittsform und der Auslegung der Wärmedämmschicht erarbeitet werden. Damit wäre eine wärmeschutztechnische Optimierung bei vorgegebenem Wärmedurchlaßwiderstand möglich.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Cammerer, J. S.: Tabellarium. 11. Auflage.
Mannheim: Rheinhold & Mahla, 1973
- [2] DIN 4705 Teil 1, Ausgabe September 1979
Berechnung von Schornsteinabmessungen; Begriffe; ausführliches Berechnungsverfahren
- [3] DIN 18150 Teil 1, Ausgabe September 1979
Baustoffe und Bauteile für Hausschornsteine; Formstücke aus Leichtbeton; Einschalige Schornsteine, Anforderungen
- [4] DIN 18160 Teil 1, Ausgabe April 1981
Hausschornsteine; Anforderungen, Planung und Ausführung
- [5] DIN 18160 Teil 6, Ausgabe Juli 1982
Hausschornsteine; Prüfbedingungen und Beurteilungskriterien für Prüfungen an Prüfschornsteinen
- [6] Ehlbeck, J., R. Freiseis u. P. Müller:
Vergleichende Brandversuche an Hausschornsteinen aus genormten und zugelassenen Formstücken zur Ermittlung der Oberflächentemperatur nach DIN 18160 Teil 6 und ISO 4736. Univ. Fridericiana Karlsruhe, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abt. Baukonstruktionen. Abgeschlossen 11/86, erhältlich als Bauforschungsbericht des Informationszentrums RAUM und BAU (IRB) der Fraunhofer Gesellschaft, Stuttgart, T 1817 (1988), 32 Seiten und 105 Anlagen
- [7] Eichberger, J.-I.: Calculation of geometric configuration factors in an enclosure whose boundary is given by an arbitrary polygon in the plane.
Wärme- und Stoffübertragung 19 (1985), H. 4, S. 269 - 271
- [8] Gareis, W.:
Die Bestimmung der Wärmeübergangszahlen eines Schornsteins. Wärme-, Lüftungs- und Gesundheitstechnik, Januar 1965, S. 11 - 14
- [9] Klement, E., R. Rudolphi und R. Rohrmann:
Zur numerischen Abschätzung der stationären Wärmebeanspruchung von Dämmschichten in dreischaligen Hausschornstein-Konstruktionen. Technik am Bau 8 (1977), H. 5, S. 485 - 490
- [10] Klement, E., u. R. Rudolphi:
Zur numerischen Abschätzung der stationären Temperaturverteilung im Querschnitt von Schornsteinen.
In: Kongreßband "Industrieschornsteine" der 3. Internationalen Schornstein-Tagung, München, 25. und 26. Oktober 1978 S. 241-248, Essen: Vulkan-Verlag Dr. W. Classen, bzw. Technische Mitteilungen 72 (1979), Heft 2/3/4, S. 323 - 330, Essen: Vulkan-Verlag Dr. W. Classen
- [11] Klement, E., R. Rudolphi u. R. Müller:
Beurteilung der Eignung von Dämmstoffen mehrschaliger Schornsteine.
Bauforschungsbericht des Informationszentrums RAUM und BAU (IRB) der Fraunhofer Gesellschaft, Stuttgart, T752 (1980/1981), 220 Seiten
- [12] Kreith, F., and W. Z. Black: Basic Heat Transfer.
New York: Harper & Row, Publishers, 1980
- [13] Landolt-Börnstein:
Zahlenwerte und Funktionen. IV. Band Technik. 2. Teil: Stoffwerte und Verhalten von metallischen Werkstoffen. 6. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1963
- [14] Mathiak, F. U.: Berechnung von Konfigurationsfaktoren polygonal berandeter ebener Gebiete. Wärme- und Stoffübertragung 19 (1985), H. 4, S. 273 - 278

- [15] Müller, R., u. R. Rudolphi: Zur Übertragbarkeit von Prüfungen an Hausschornsteinen (Prüfschornstein A, Betriebsphase 2) nach DIN 18160 Teil 6 auf größere lichte Querschnitte.
- Studie im Rahmen des BAM-Forschungsvorhabens 02432 für das Institut für Bautechnik in Berlin, Oktober 1984, 25 S.
- wksb 30 (1985), H. 19, Titelseite, S. 1 - 6
- [16] Raznjevic, K.: Handbook of Thermodynamic Tables and Charts. Washington, London: Hemisphere Publishing Corporation bzw. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1976
- [17] Recknagel-Sprenger:
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik.
60. Ausgabe. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag, 1979
- [18] Rudolphi, R., u. R. Müller:
ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz. Berlin: Bundesanstalt für Materialprüfung, 1980, 20 Seiten und 142 Seiten Anhang (Forschungsbericht/Bundesanstalt für Materialprüfung, Nr. 74)
- [19] Rudolphi, R., E. Klement u. R. Müller:
Zur numerischen Berechnung der Wärmeverluste dreischaliger Schornsteine unter stationären Randbedingungen.
- Bauphysik 3 (1981), H. 6, S. 219 - 221
- wksb 27 (1982), H. 15, S. 35 - 37 (Nachdruck)
- Rauchfangkehrer 34 (1982), H. 2, S. 7 - 9 (Nachdruck)
- [20] Rudolphi, R., E. Klement u. R. Müller:
On the Numerical Calculation of the Thermal Resistance of Chimneys under Steady-State Conditions.
Beitrag in: Proceedings of the Fourth International Symposium on Industrial Chimneys, Den Haag 1981, S. 67 - 75
- [21] Rudolphi, R., u. R. Müller: Bauphysikalische Temperaturberechnungen in FORTRAN. Band 1: Zwei- bzw. dreidimensionale stationäre Probleme des Wärmeschutzes.
Stuttgart: Teubner, 1985, 227 Seiten
(Enthält u.a. die komplette Berechnung der Wärmeverluste eines dreischaligen Hausschornsteins)
- [22] Rudolphi, R., et R. Müller:
Calculs FORTRAN des températures en bi- ou tridimensionnel liés à l'isolation thermique des bâtiments en régime stationnaire.
Texte accompagné du logiciel STAT3DD en FORTRAN, de 4 exemples d'application avec calculs complets, et 29 figures.
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Marne-la-Vallée (Erscheint 1989)
- [23] Schack, A.: Der industrielle Wärmeübergang.
7. Auflage. Düsseldorf: Verlag Stahleisen, 1969
- [24] Siegel, R., and J. R. Howell: Thermal Radiation Heat Transfer. Tokyo: Mc Graw-Hill, 1972
- [25] VDI 2055, Ausgabe März 1982
Wärme- und Kälteschutz für betriebs- und haustechnische Anlagen.
- [26] VDI-Wärmeatlas. Berechnungsblätter für den Wärmeübergang.
3. Auflage. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1977, bzw.
4. Auflage. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1984
- [27] Wärmetechnisches Handbuch.
23. Auflage. Ludwigshafen: Grünzweig+Hartmann und Glasfaser AG, G+H Montage GmbH, 1982
- [28] Weber, A. P.: Die Berechnung von Schornsteinen für Zentralheizungen. Schweizerische Technische Zeitschrift (STZ) (1964), Nr. 48, S. 969 - 981, Nr. 49, S. 989 - 997

9 Abbildungen



$$CF_{1-2} = \frac{1}{2L_1} [(\overline{ad} + \overline{cb}) - (\overline{ab} + \overline{cd})]$$

Abb. 1:
Berechnung des Konfigurationsfaktors nach Hottels Crossed-String-Methode

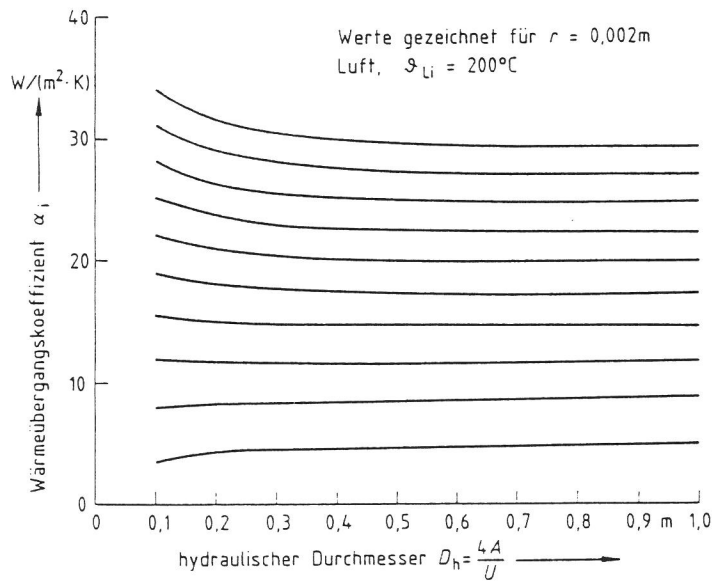
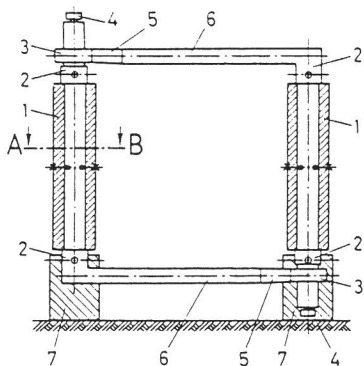


Abb. 2:
Innerer (konvektiver) Wärmeübergangskoeffizient als Fkt. des hydr. Durchmessers u. verschiedenen Umwälzluftgeschw. (err.n. DIN 4705 Teil 1 für 200°C)

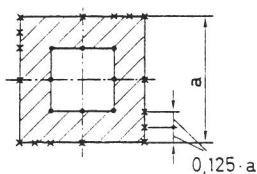


- 1 Versuchsschornstein C
- 2 Strömungsgleichrichter
- 3 Radialventilator
- 4 Elektromotor
- 5 elektrisches Heizaggregat
- 6 Verbindungsrohr
- 7 Prüfbock

Abb. 3:
Prüfeinrichtung für die Ermittlung des Wärmedurchlaßwiderstandes nach DIN 18160 Teil 6 (Beanspruchung für Prüfschornstein C)

- Meßstellen für Temperatur, Druck und Geschwindigkeit der Umwälzluft

Schnitt A-B (vergrößert)



Meßstellen für die Oberflächentemperatur

- innen
- × außen

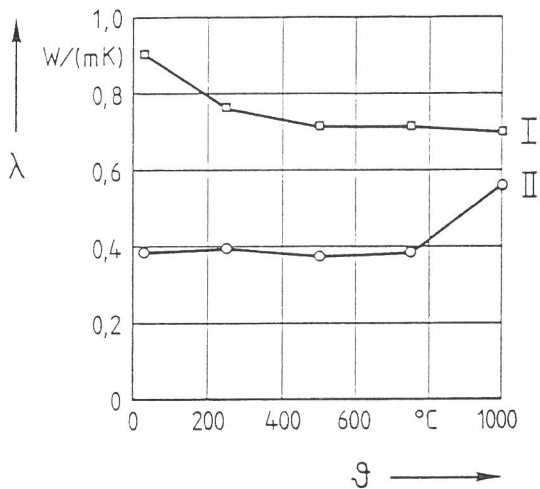


Abb. 4:
Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Temperatur für Ziegelsplitt-Leichtbeton (Zellenformst. I, $\rho = 1810$) und Leichtbeton (Zellenformstück II, $\rho = 1164 \text{ kg/m}^3$)

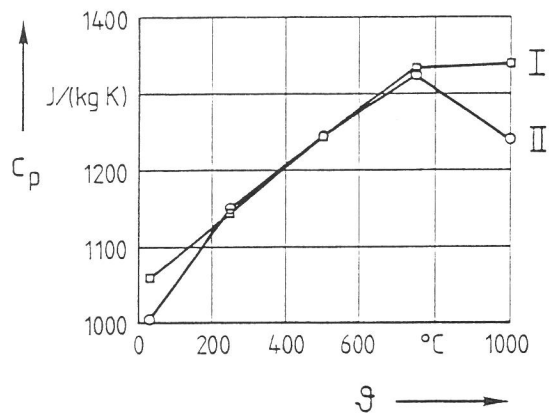


Abb. 5:
Spez. Wärmekapazität als Funktion der Temperatur für Ziegelsplitt-Leichtbeton (Zellenformst. I, $\rho = 1810$) und Leichtbeton (Zellenformstück II, $\rho = 1164 \text{ kg/m}^3$)

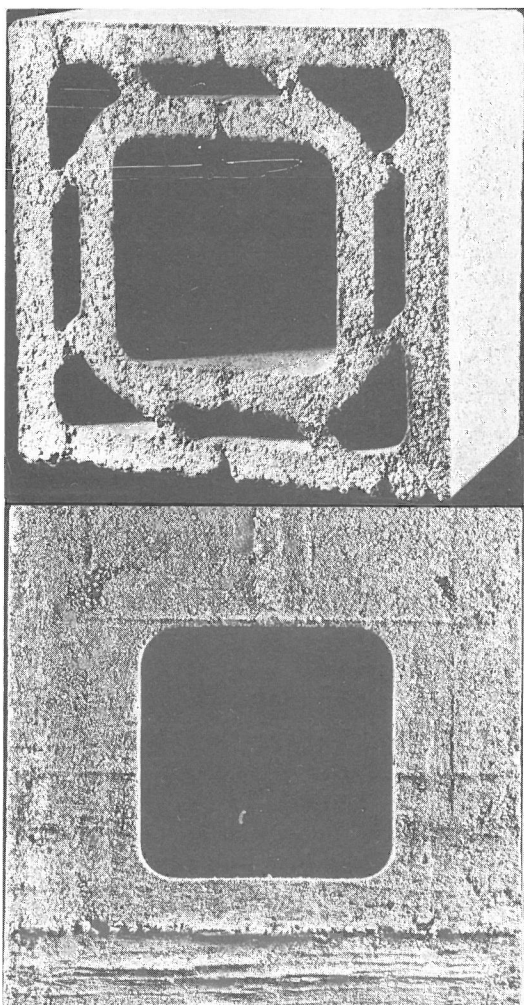


Abb. 6:
Ansichten von Zellenformstück I nach DIN 18150 Teil 1 aus Ziegelsplitt-Leichtbeton bzw. von Schornsteintyp A

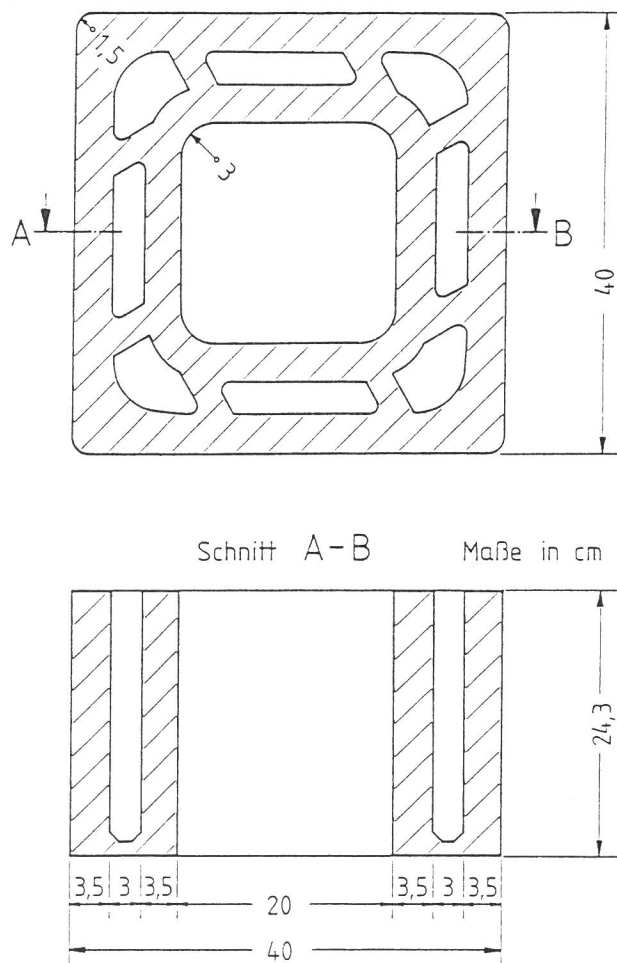
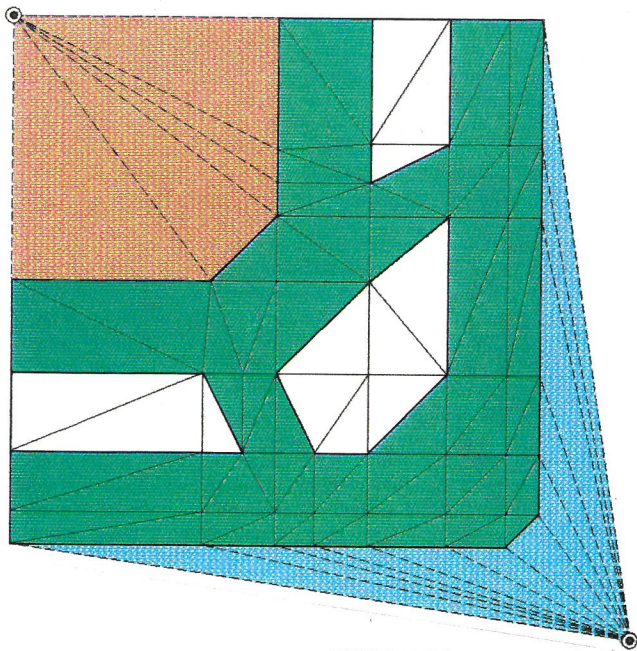


Abb. 7:
Schnittdarstellung von Zellenformstück I nach DIN 18150 Teil 1 aus Ziegelsplitt-Leichtbeton bzw. von Schornsteintyp A



- | | |
|---|--|
| Leichtbeton
$\lambda = f(\vartheta)$ | Waermeueberg. innen
α_i |
| Lufttemp. au\u00dfen
$\vartheta_{La} = 20.0^\circ\text{C}$ | Lufthohlr. Mitte
$\lambda = f(\vartheta)$ |
| Lufttemp. innen
$\vartheta_{Li} = 245.5^\circ\text{C}$ | Lufthohlr. Ecke
$\lambda = f(\vartheta)$ |
| Waermeueberg. au\u00dfen
α_a | |

Abb. 8:

Elementaufteilung mit Baustoffzuordnung zur Berechnung des W\u00e4rmedurchla\u00dfwiderstandes von Zellenformst\u00fcck I

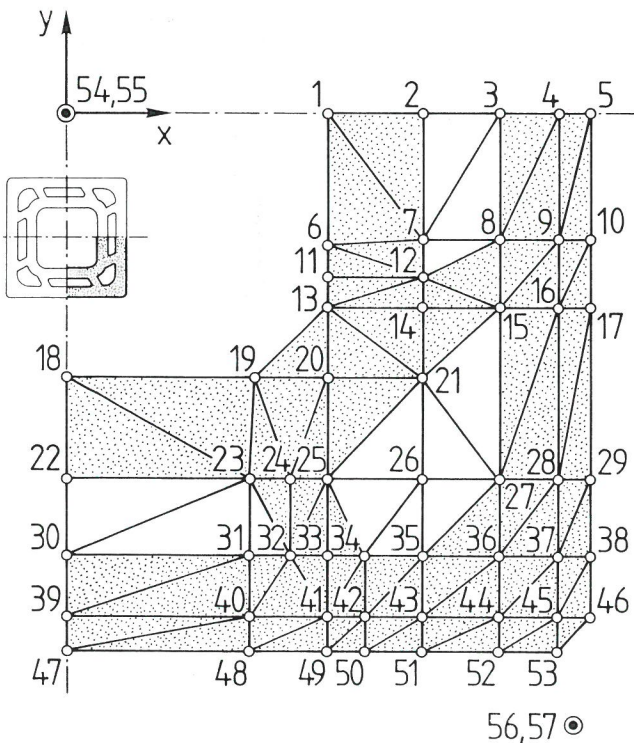


Abb. 9:

Elementaufteilung mit Knotennumerierung zur Berechnung des W\u00e4rmedurchla\u00dfwiderstandes von Zellenformst\u00fcck I

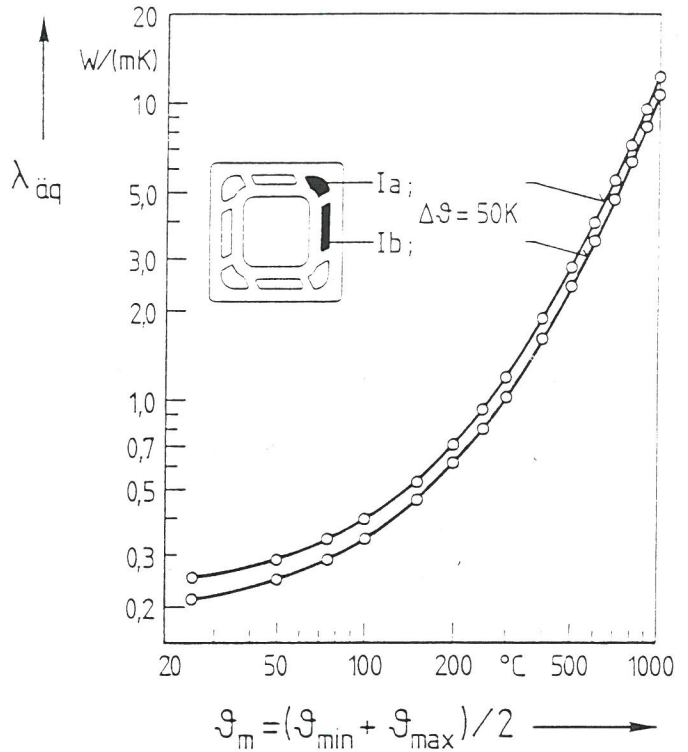


Abb. 10:

\u00c4qu. W\u00e4rmeleitf. als Funktion der Mitteltemperatur f\u00fcr den Eck- (Ia) und den Parallelogrammhohlr. (Ib) von Zellenformst\u00fcck I bzw. Schornsteintyp A

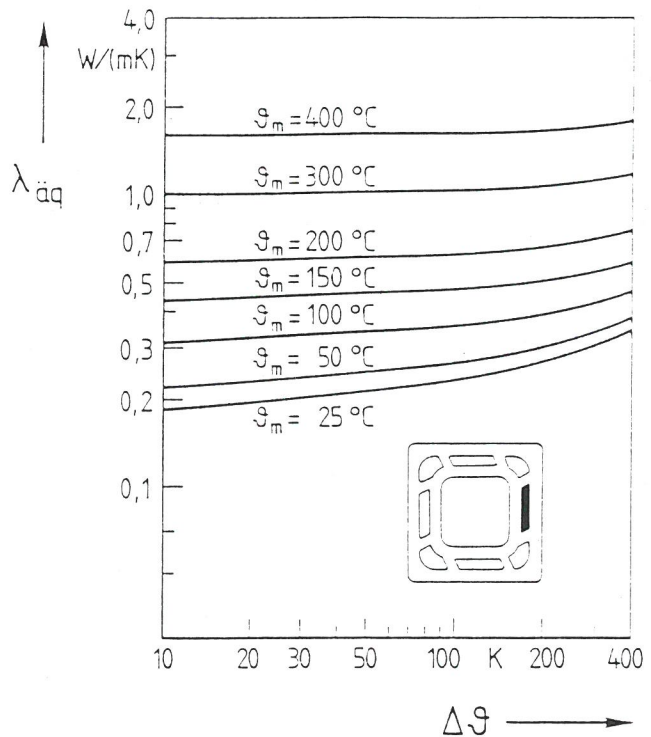


Abb. 11:

\u00c4qu. W\u00e4rmeleitf. als Funktion der Temperaturdifferenz bei verschiedenen Mitteltemperaturen f\u00fcr den Parallelogrammhohlr. v. Zellenformst\u00fcck I bzw. Schornsteintyp A

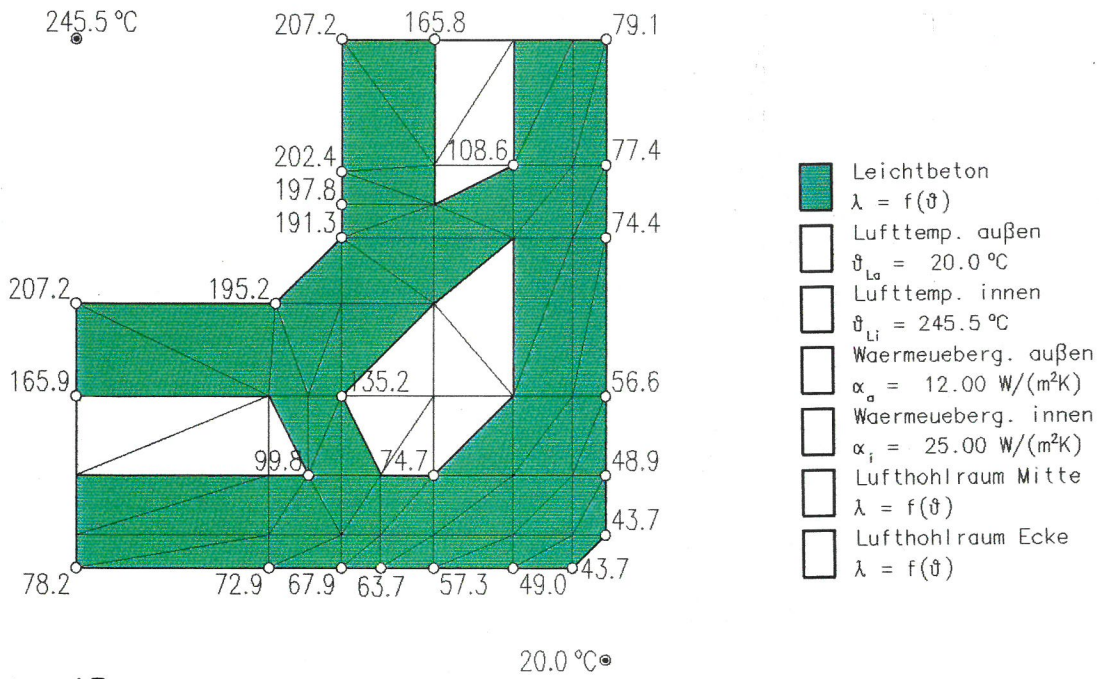


Abb. 12:

Für Zellenformstück I berechnete Temperaturen zur Ermittlung des Wärmedurchlaßwiderstandes und Randbedingungen (mittl. Innenoberflächentemperatur 200 °C)

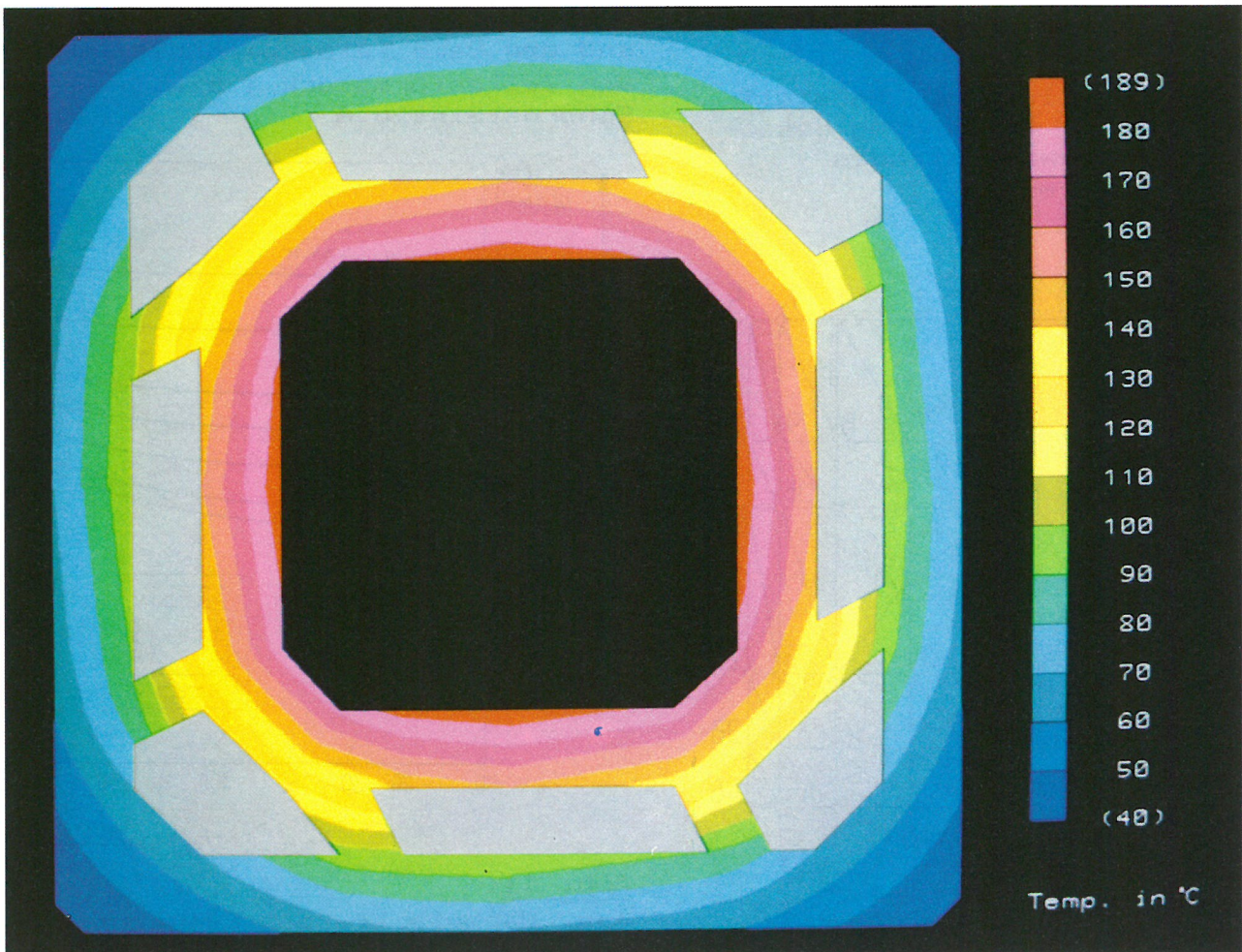


Abb. 13:

Isothermenverlauf bei Zellenformstück I, ermittelt anlässlich der Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes unter Zugrundelegung der TÜV-Randbed. nach Abschn. 3.1

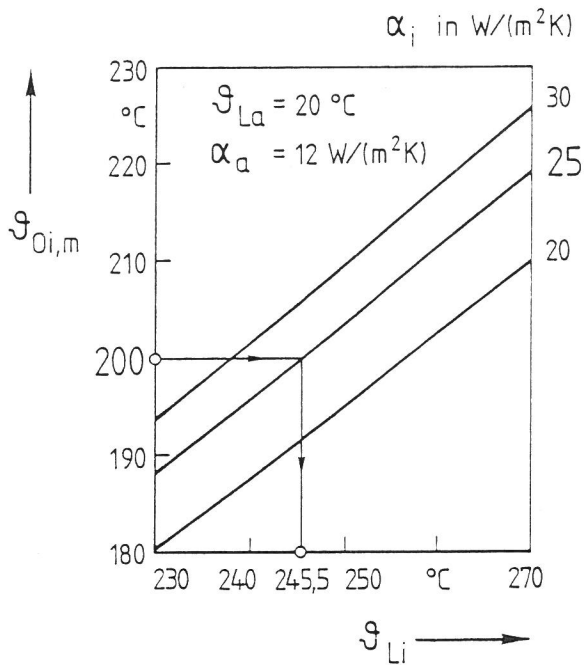


Abb. 14:

Mittl. Innenoberflächentemperatur als Funktion der Umwälzlufttemperatur bei verschiedenen inneren Wärmeübergangskoeffizienten für Zellenformstück I

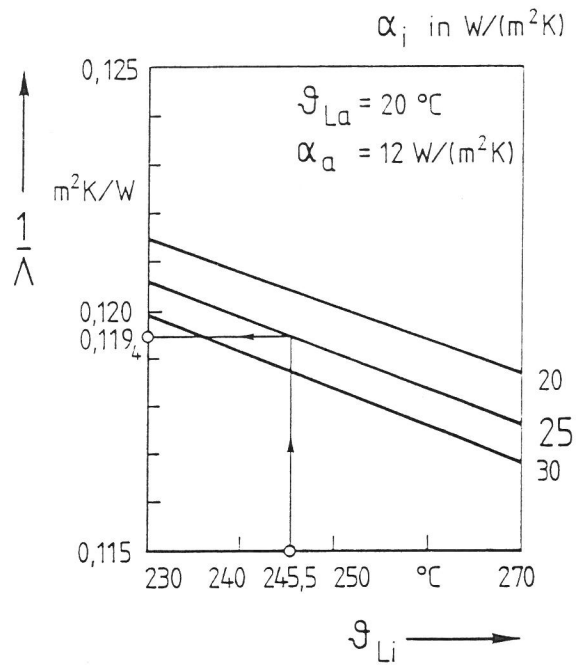


Abb. 15:

Wärmedurchlaßwiderstand als Funktion der Umwälzlufttemperatur bei verschiedenen inneren Wärmeübergangskoeffizienten für Zellenformstück I

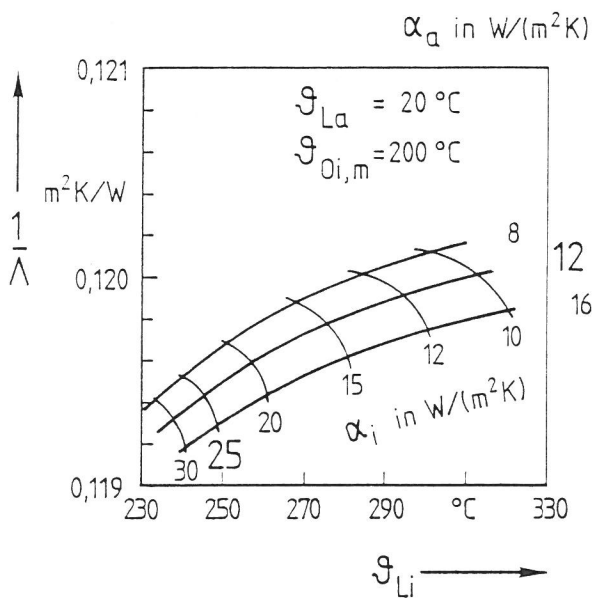


Abb. 16:

Wärmedurchlaßwiderstand als Fkt. der Umwälzlufttemperatur bei verschiedenen inneren und äußeren Wärmeübergangskoeffizienten u. konstanter mittl. Innenoberflächentemperatur für Zellenformstück I

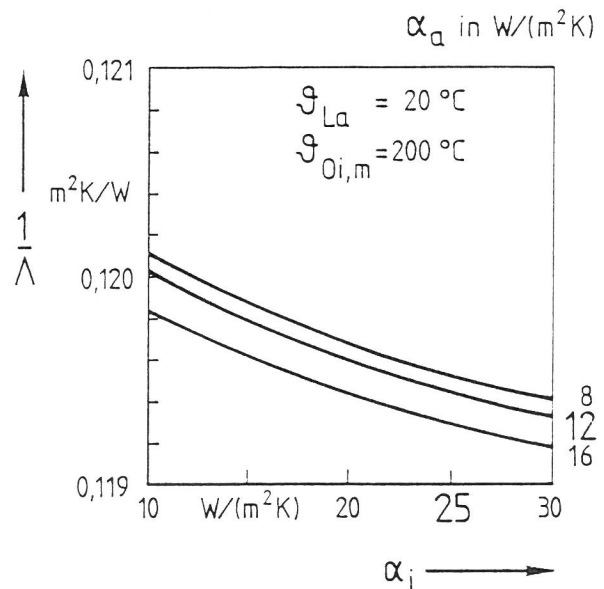


Abb. 17:

Wärmedurchlaßwiderstand als Fkt. des inneren Wärmeübergangskoeffizienten bei verschiedenen äußeren Wärmeübergangskoeffizienten u. konstanter mittl. Innenoberflächentemperatur für Zellenformstück I

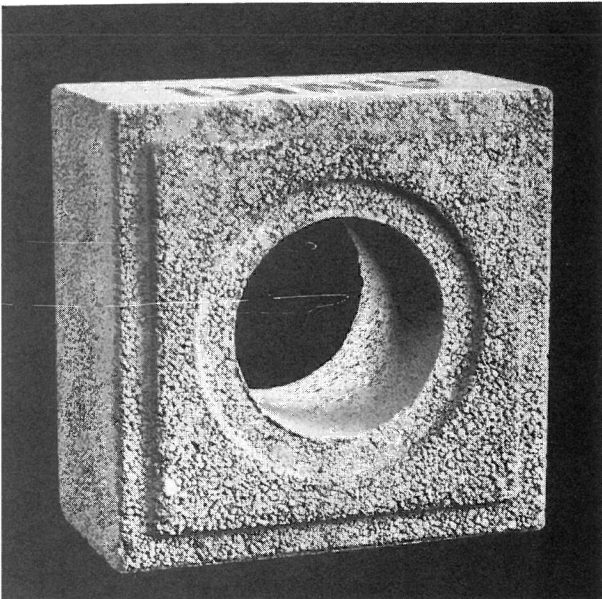
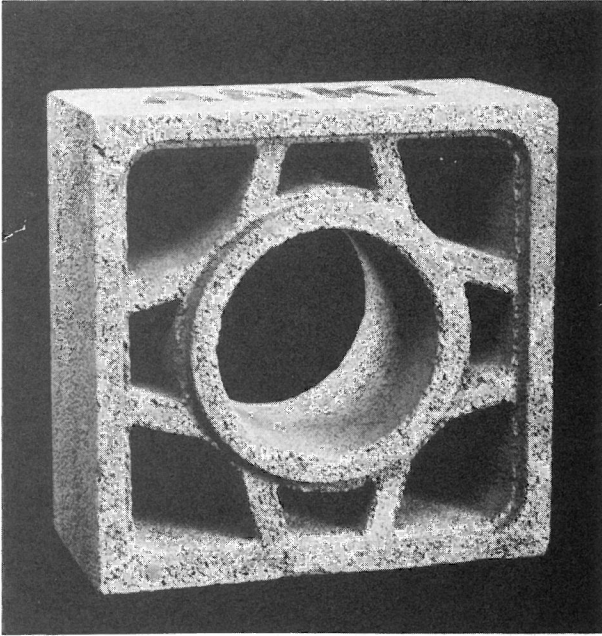
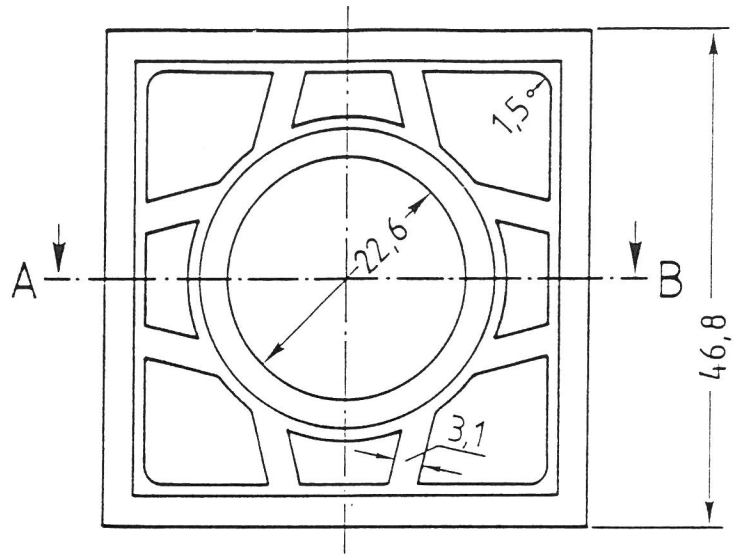


Abb. 18:
Ansichten von Zellenformstück II
aus Leichtbeton



Schnitt A-B Maße in cm

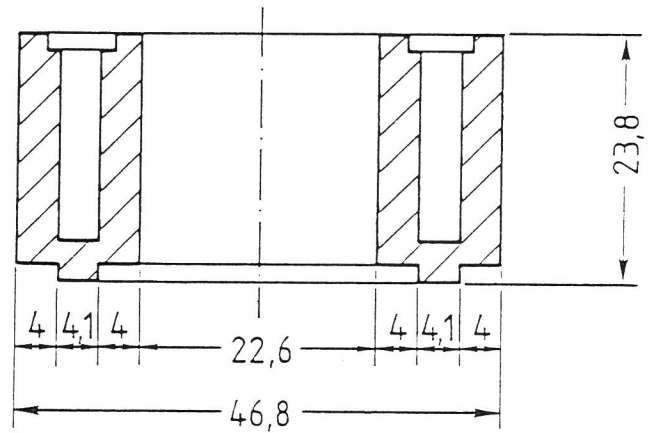
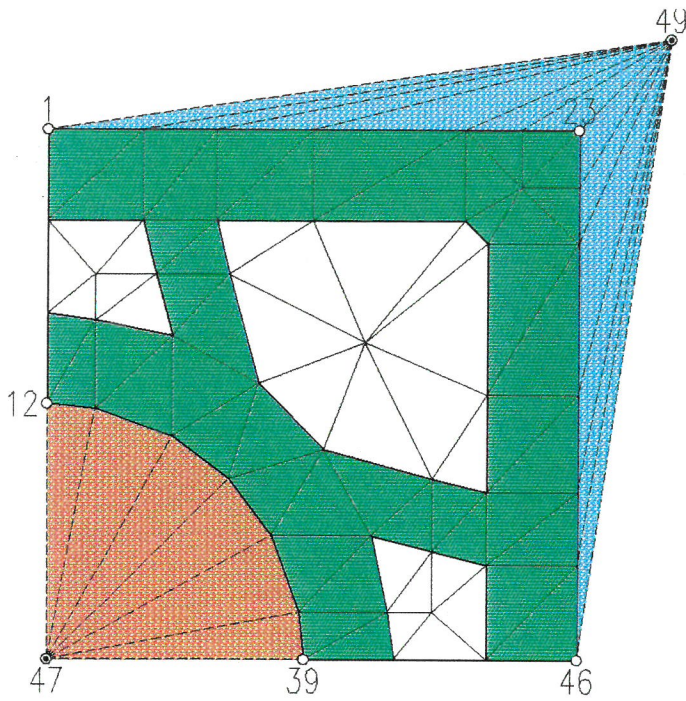


Abb. 19:
Schnittdarstellung von Zellen-
formstück II aus Leichtbeton



- | | |
|--|---|
| Leichtbeton
$\lambda = f(\vartheta)$ | Lufttemp. innen
$\vartheta_{Li} = 230.0\text{ °C}$ |
| Lufthohlraum Mitte
$\lambda = f(\vartheta)$ | Waermeueberg. außen
α_a |
| Lufthohlraum Ecke
$\lambda = f(\vartheta)$ | Waermeueberg. innen
α_i |
| Lufttemp. außen
$\vartheta_{La} = 20.0\text{ °C}$ | |

Abb. 20:

Elementaufteilung mit Baustoffzuordnung zur Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Zellenformstück II

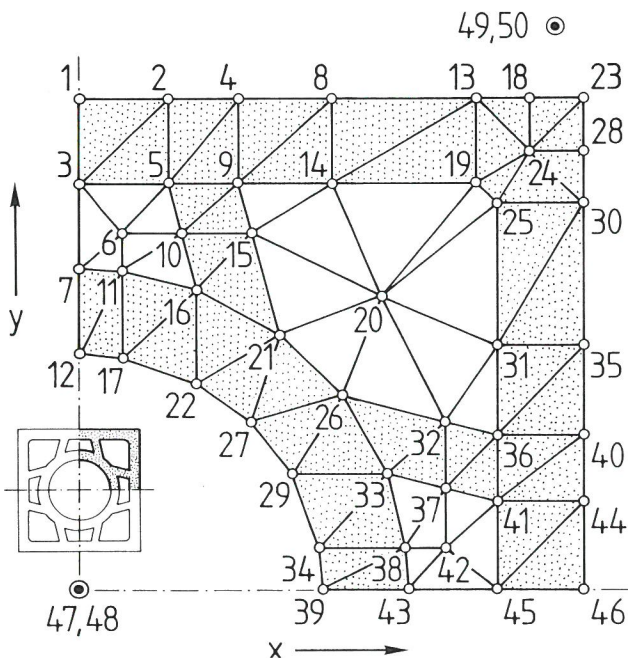


Abb. 21:

Elementaufteilung mit Knotennumerierung zur Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Zellenformstück II

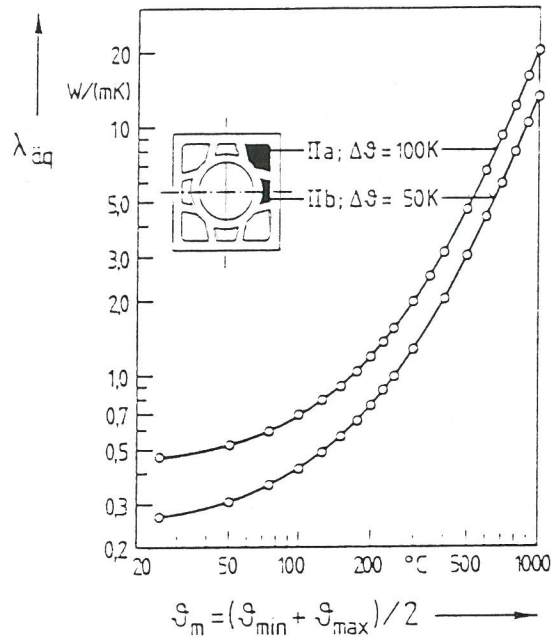
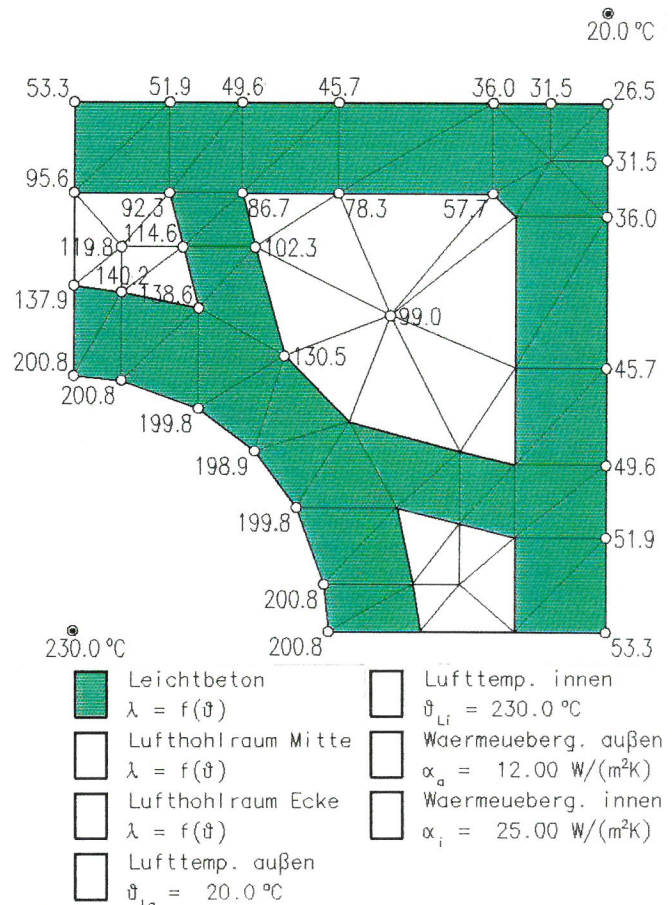


Abb. 22:

Äqu. Wärmeleitf. als Funktion der Mitteltemperatur für den Eck- (IIa) und den Trapezhohlraum (IIb) von Zellenformstück II



- | | |
|--|--|
| Leichtbeton
$\lambda = f(\vartheta)$ | Lufttemp. innen
$\vartheta_{Li} = 230.0\text{ °C}$ |
| Lufthohlraum Mitte
$\lambda = f(\vartheta)$ | Waermeueberg. außen
$\alpha_a = 12.00\text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Lufthohlraum Ecke
$\lambda = f(\vartheta)$ | Waermeueberg. innen
$\alpha_i = 25.00\text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Lufttemp. außen
$\vartheta_{La} = 20.0\text{ °C}$ | |

Abb. 23:

Für Zellenformstück II berechnete Temperaturen zur Ermittlung des Wärmedurchlaßwiderstandes und Randbedingungen (mittl. Innenoberflächentemperatur 200 °C)

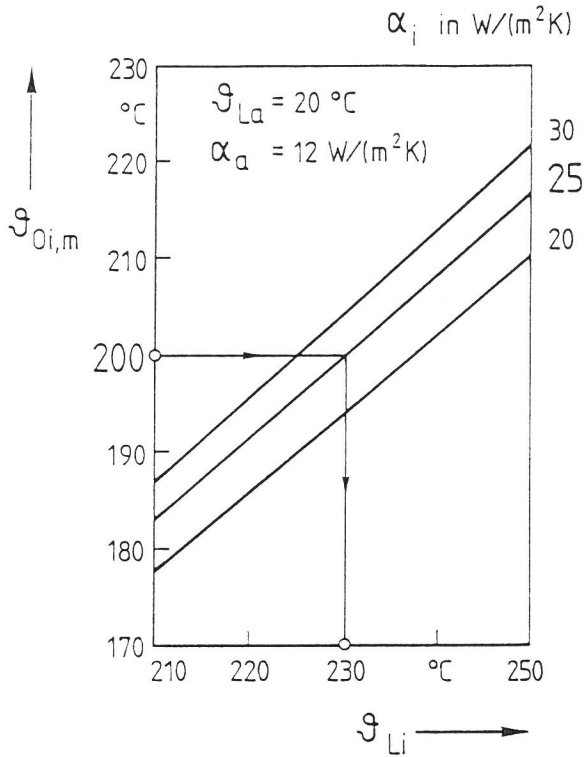


Abb. 24:
Mittl. Innenoberflächentemperatur als Funktion der Umwälzlufttemperatur bei verschiedenen inneren Wärmeübergangskoeffizienten für Zellenformstück II

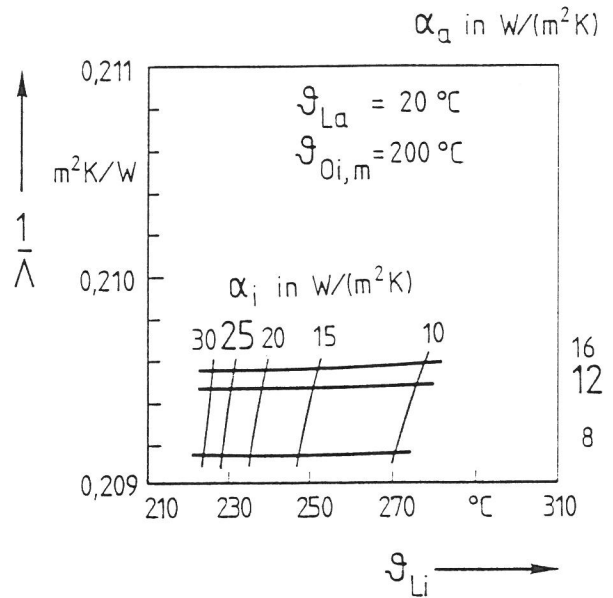


Abb. 26:
Wärmedurchlaßwiderstand als Fkt. der Umwälzlufttemperatur bei verschiedenen inneren und äußeren Wärmeübergangskoeffizienten u. konstanter mittl. Innenoberflächentemperatur für Zellenformstück II

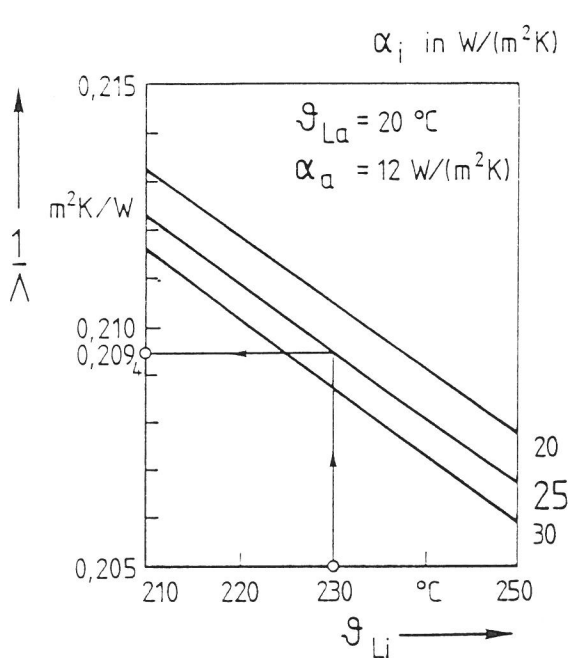


Abb. 25:
Wärmedurchlaßwiderstand als Funktion der Umwälzlufttemperatur bei verschiedenen inneren Wärmeübergangskoeffizienten für Zellenformstück II

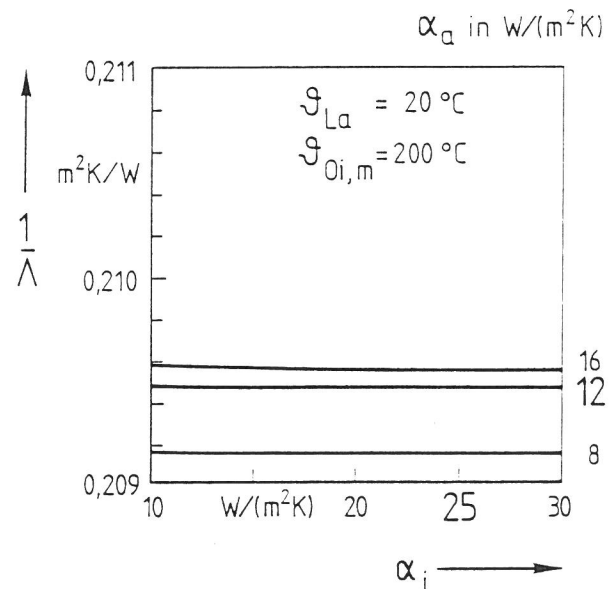
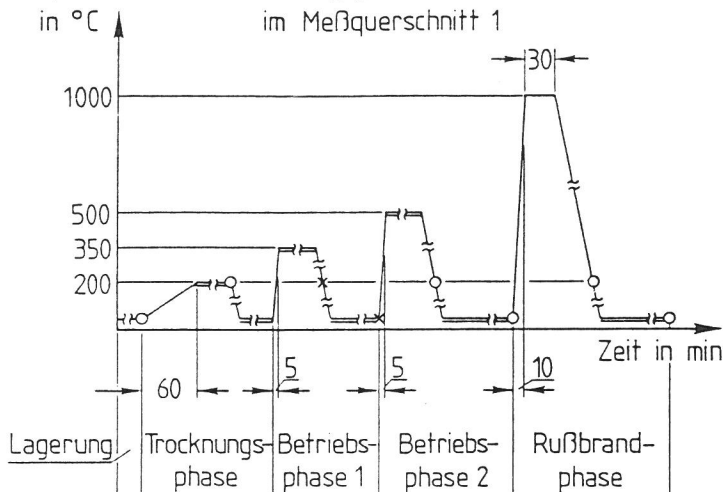


Abb. 27:
Wärmedurchlaßwiderstand als Fkt. des inneren Wärmeübergangskoeffizienten bei verschiedenen äußeren Wärmeübergangskoeffizienten u. konstanter mittl. Innenoberflächentemperatur für Zellenformstück II

Temperatur des Verbrennungsgas-Luft-Gemisches
in °C



- = Versuchsdauer bis zum Erreichen des Beharrungstemperaturzustands
- = Dichtheitsversuch
- × = Dichtheitsversuch nur für Schornsteine mit begrenzter Temperaturbeständigkeit

Abb. 28:

Temperatur des Verbrennungsgas-Luft-Gemisches im Meßquerschnitt 1 als Funktion der Zeit für Prüfschornstein A nach DIN 18160 Teil 6

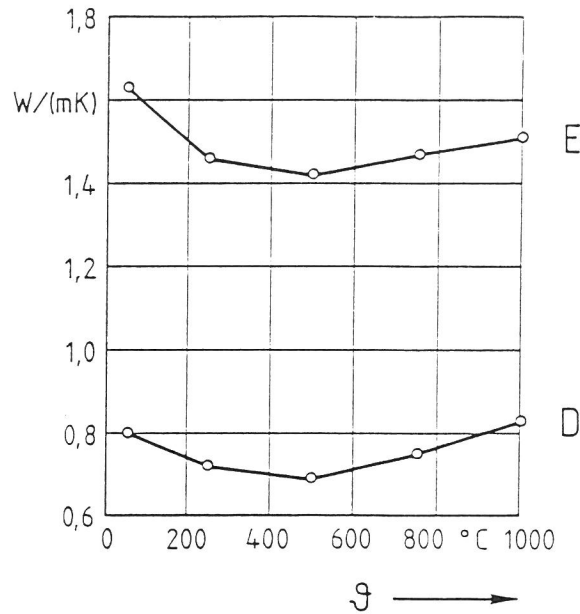


Abb. 30:

Wärmeleitfähigkeit des Scherbens als Funktion der Temperatur für Mauerziegel (Schornsteintyp D, Steinrohddichte $\rho = 1650$, Schornsteintyp E, $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$)

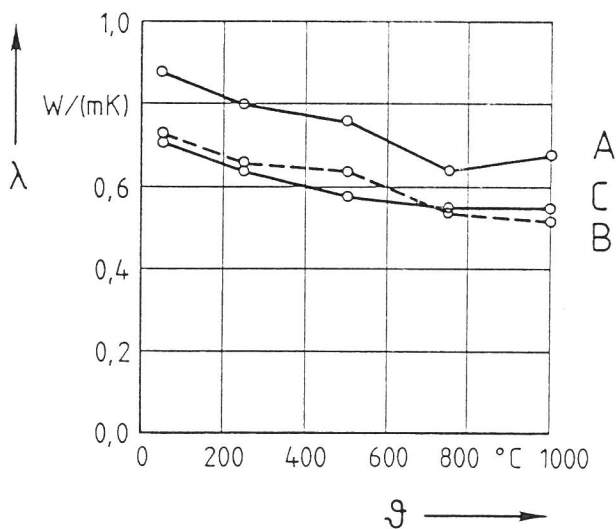


Abb. 29:

Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Temperatur für Leichtbeton (Schornsteintyp A, $\rho = 1900$, Schornsteintyp B, $\rho = 1600$, Schornsteintyp C, $\rho = 1760 \text{ kg/m}^3$)

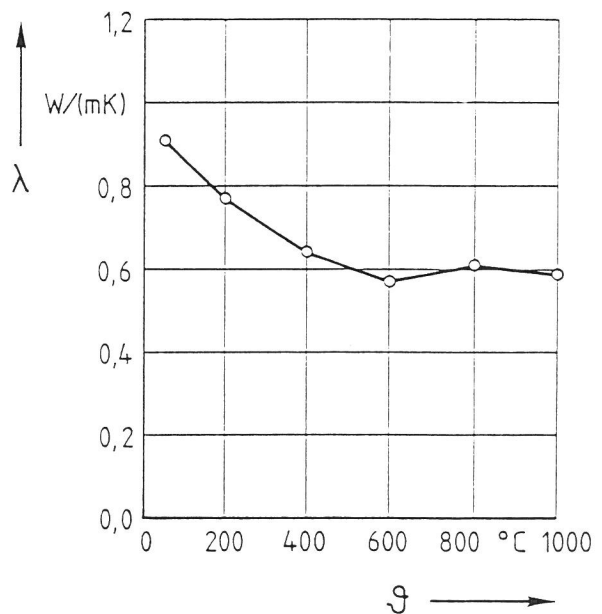


Abb. 31:

Wärmeleitfähigkeit als Funktion der Temperatur für Mauermörtel der Mörtelgr. II nach DIN 1053 Teil 1 (Mörtelrohddichte $\rho = 1760 \text{ kg/m}^3$)

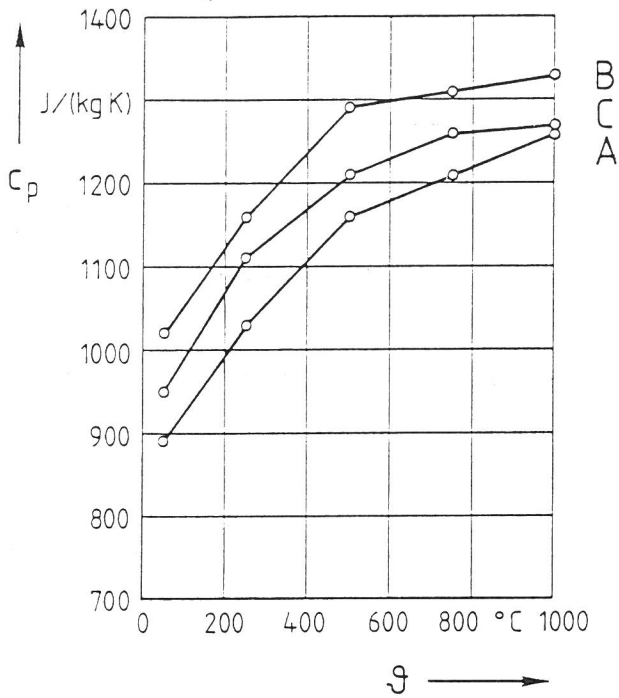


Abb. 32:
 Spez. Wärmekapazität als Funktion der Temperatur für Leichtbeton (Schornsteintyp A, $\rho = 1900$, Schornsteintyp B, $\rho = 1600$, Schornsteintyp C, $\rho = 1760 \text{ kg/m}^3$)

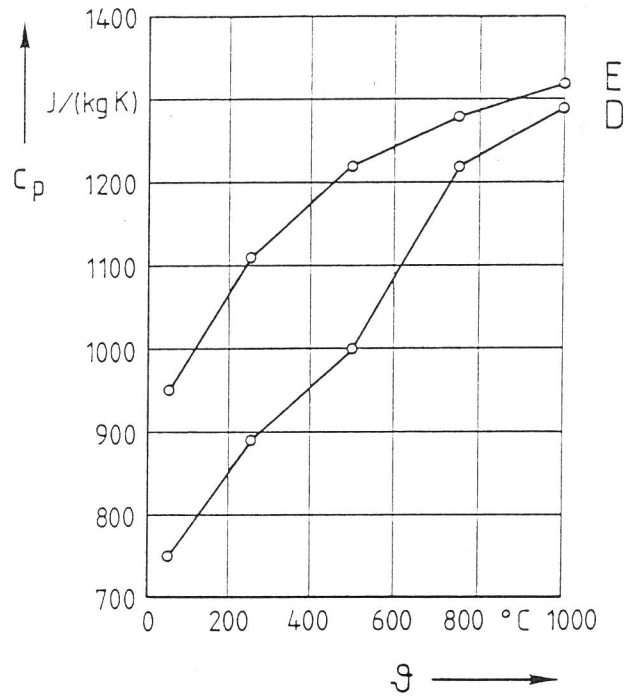


Abb. 33:
 Spez. Wärmekapazität als Funktion der Temperatur für Mauerziegel (Schornsteintyp D, Ziegelrohddichte $\rho = 1650$, Schornsteintyp E, $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$)

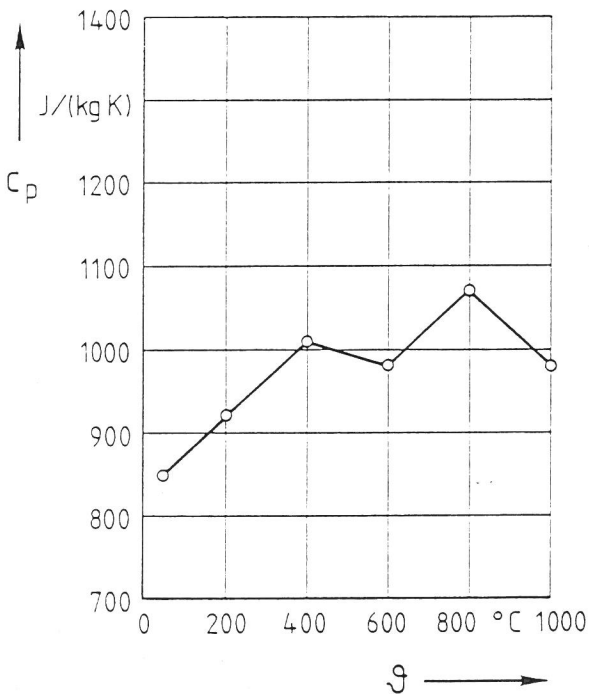
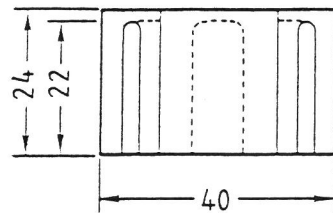
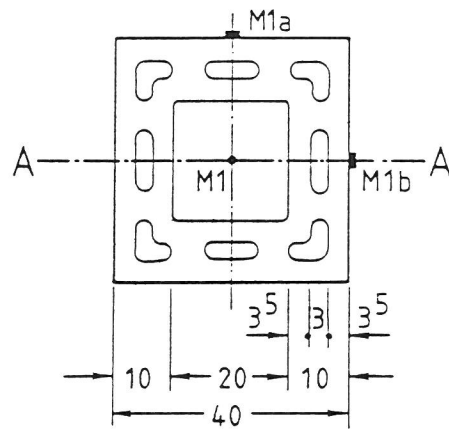


Abb. 34:
 Spez. Wärmekapazität als Funktion der Temperatur für Mauermörtel der Mörtelgr. II nach DIN 1053 Teil 1 (Mörtelrohddichte $\rho = 1760 \text{ kg/m}^3$)

Längsschnitt (Einzelformstück)
in der Schornsteinachse A-A



Querschnitt 1-1



Maße in cm

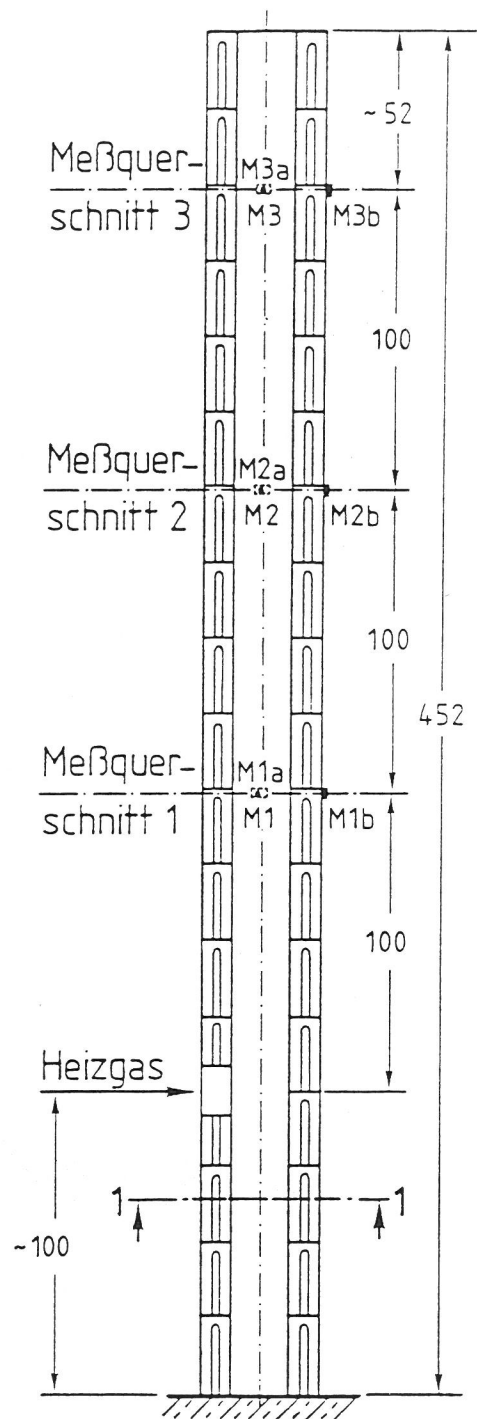


Abb. 35:

Schornsteinaufbau und Meßstellenanordnung nach [6]
bei Schornsteintyp A aus Leichtbeton-Zellenformstücken
nach DIN 18150 Teil 1

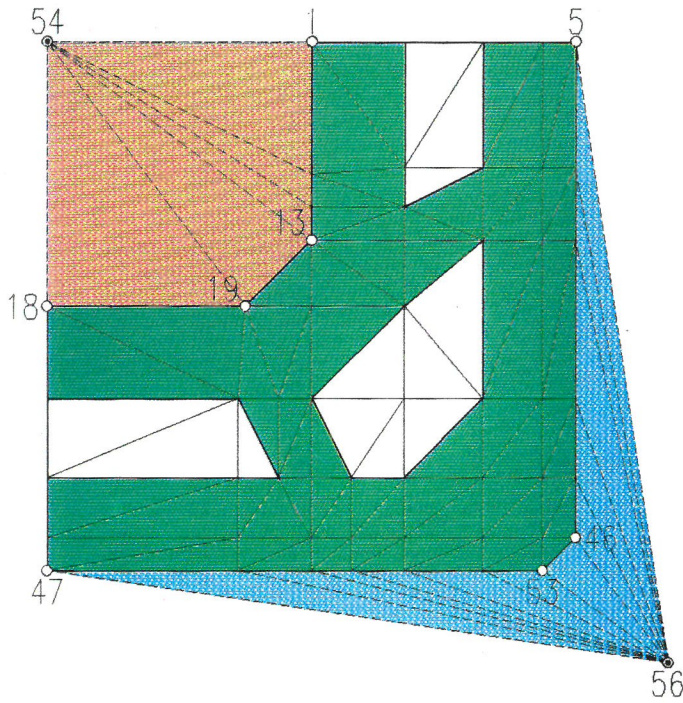


Abb. 36:

Elementaufteilung mit Baustoffzuordnung zur Berechnung der Oberflächentemperaturen entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsphase 2) von Schornsteintyp A

- | | |
|---|--|
| Leichtbeton
$\lambda = f(\vartheta)$ | Waermeueberg. innen
α_i |
| Lufttemp. außen
$\vartheta_{La} = 20.0 \text{ °C}$ | Lufthohlraum Mitte
$\lambda = f(\vartheta)$ |
| Abgastemp. innen
$\vartheta_{M1} = 500.0 \text{ °C}$ | Lufthohlraum Ecke
$\lambda = f(\vartheta)$ |
| Waermeueberg. außen
α_a | |

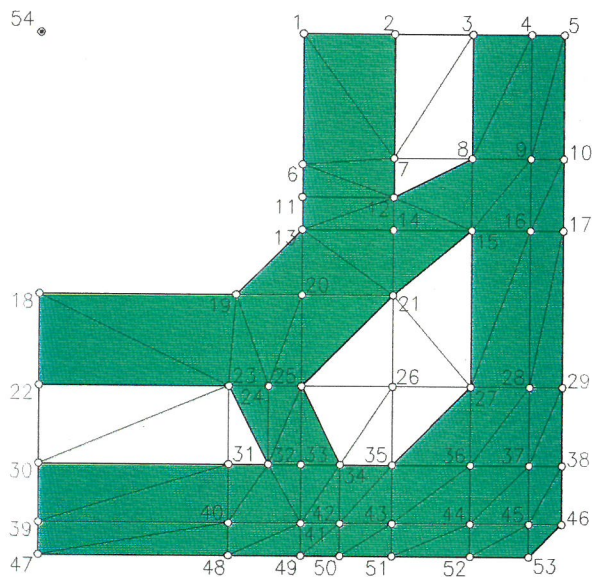


Abb. 37:

Elementaufteilung mit Knotennummerierung zur Berechnung der Oberflächentemperaturen entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsphase 2) von Schornsteintyp A

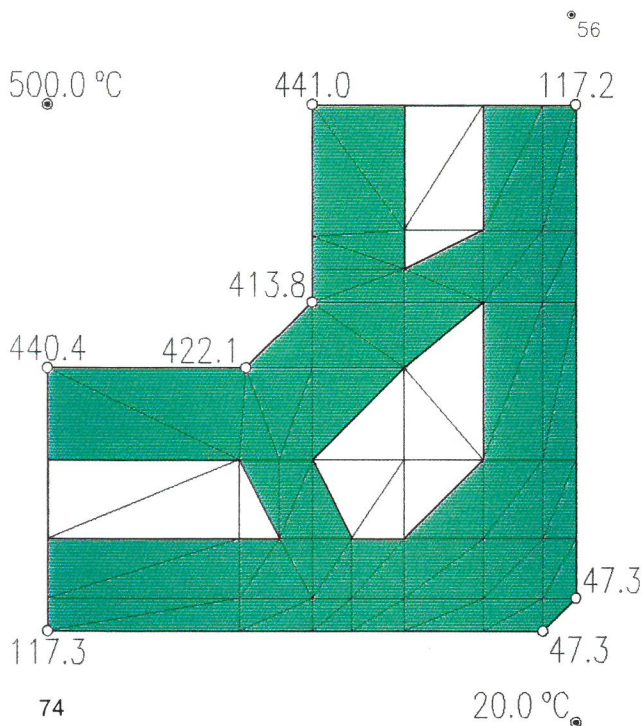


Abb. 38:

Oberflächentemperaturen nach 360 min, berechnet entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsph. 2), und Randbedingungen für Schornsteintyp A

- | | |
|---|---|
| Leichtbeton
$\lambda = f(\vartheta)$ | Waermeueberg. innen
$\alpha_i = 50.00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Lufttemp. außen
$\vartheta_{La} = 20.0 \text{ °C}$ | Lufthohlraum Mitte
$\lambda = f(\vartheta)$ |
| Abgastemp. innen
$\vartheta_{M1} = 500.0 \text{ °C}$ | Lufthohlraum Ecke
$\lambda = f(\vartheta)$ |
| Waermeueberg. außen
$\alpha_a = 24.00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ | |

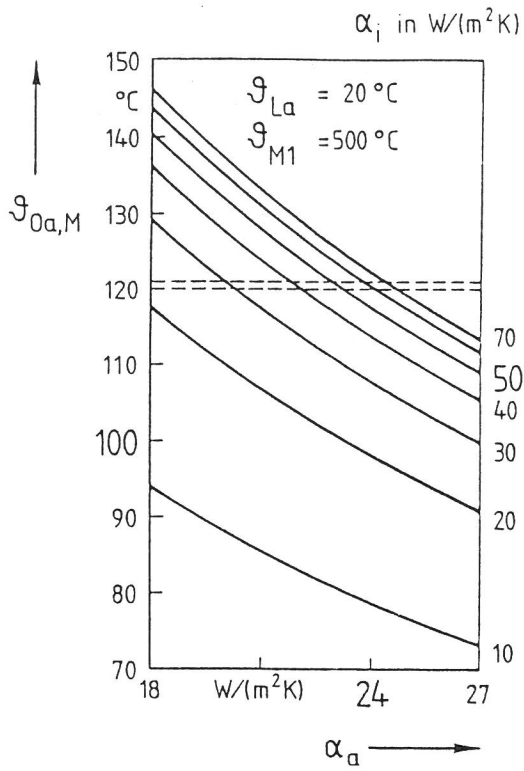


Abb. 39:

Außenoberflächentemperatur in Flächenmitte n. 360 min als Funktion des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten bei verschiedenen inneren Wärmeübergangskoeffizienten und Meßwerte nach 360 min für Schornsteintyp A

Längsschnitt und Ansicht des Einzelformstücks

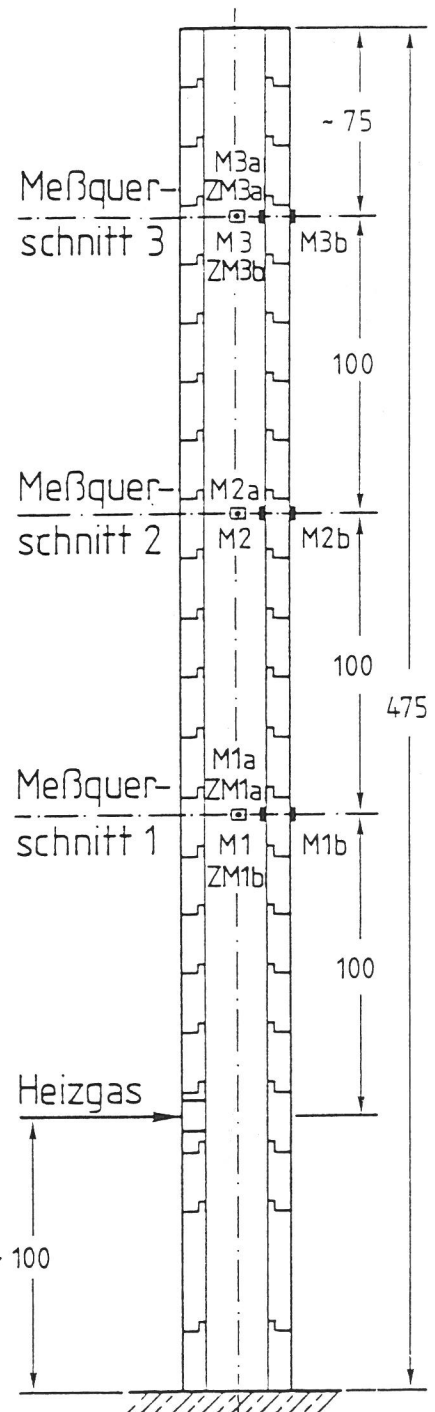
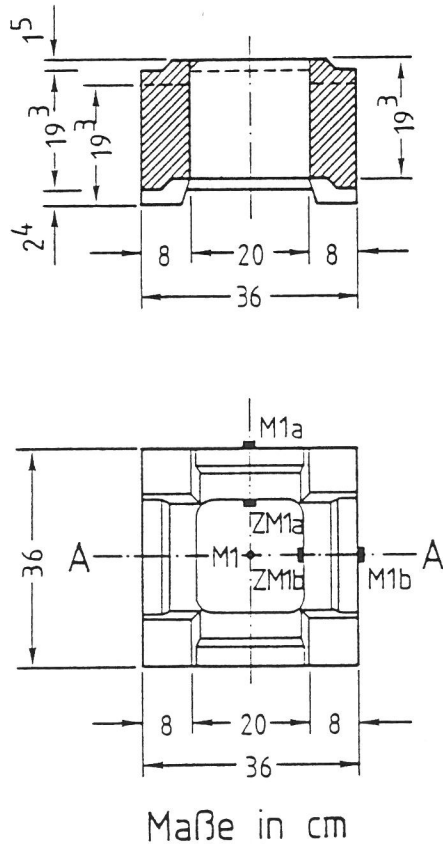


Abb. 40:

Schornsteinaufbau und Meßstellenanordnung nach [6] bei Schornsteintyp B aus vollwandigen Leichtbeton-Formstücken

Abb. 41:

Elementaufteilung mit Baustoffzuordnung zur Berechnung der Oberflächentemperaturen entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsphase 2) von Schornsteintyp B











-  Leichtbeton
 $\lambda = f(\vartheta)$
-  Lufttemp. außen
 $\vartheta_{La} = 20.0\text{ °C}$
-  Abgastemp. innen
 $\vartheta_{M1} = 500.0\text{ °C}$
-  Waermeueberg. außen
 α_a
-  Waermeueberg. innen
 α_i

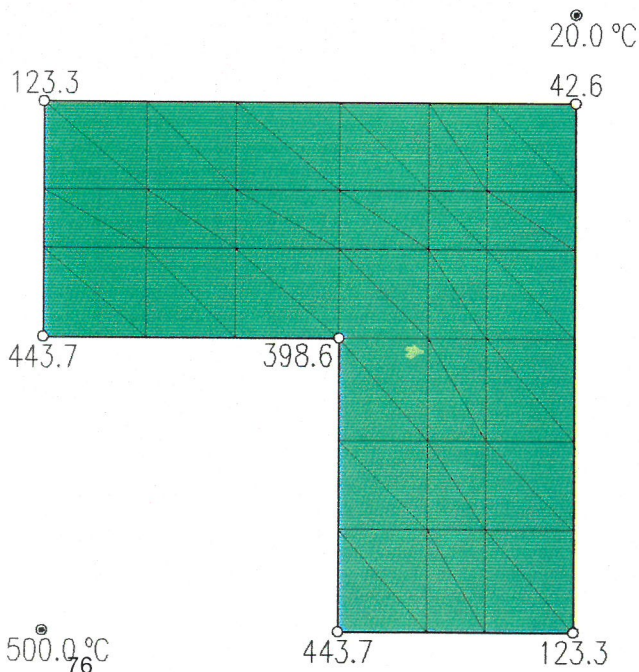
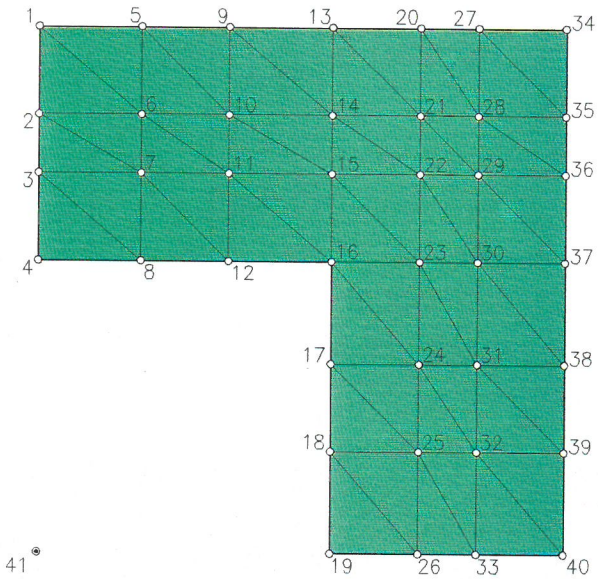
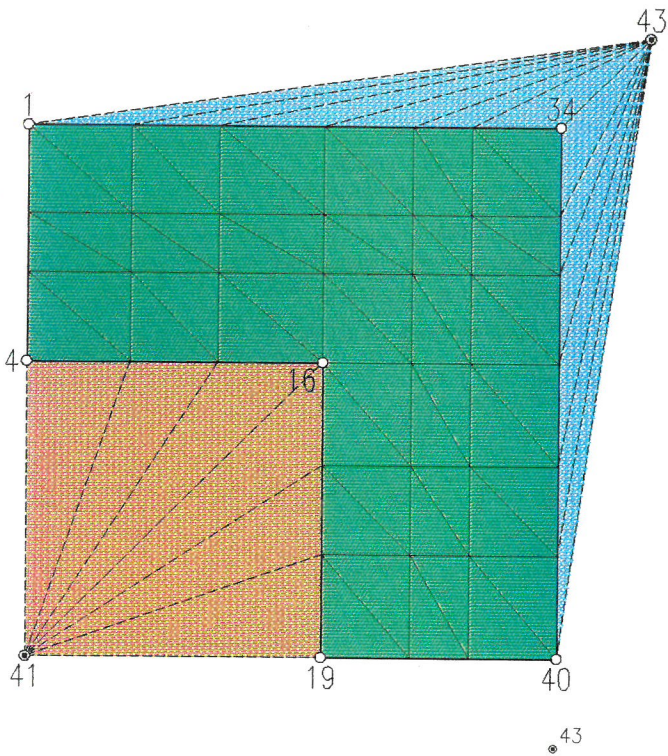
Abb. 42:

Elementaufteilung mit Knotennumerierung zur Berechnung der Oberflächentemperaturen entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsphase 2) von Schornsteintyp B

Abb. 43:

Oberflächentemperaturen nach 360 min, berechnet entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsph. 2), und Randbedingungen für Schornsteintyp B

-  Leichtbeton
 $\lambda = f(\vartheta)$
-  Lufttemp. außen
 $\vartheta_{La} = 20.0\text{ °C}$
-  Abgastemp. innen
 $\vartheta_{M1} = 500.0\text{ °C}$
-  Waermeueberg. außen
 $\alpha_a = 24.00\text{ W/(m}^2\text{K)}$
-  Waermeueberg. innen
 $\alpha_i = 50.00\text{ W/(m}^2\text{K)}$



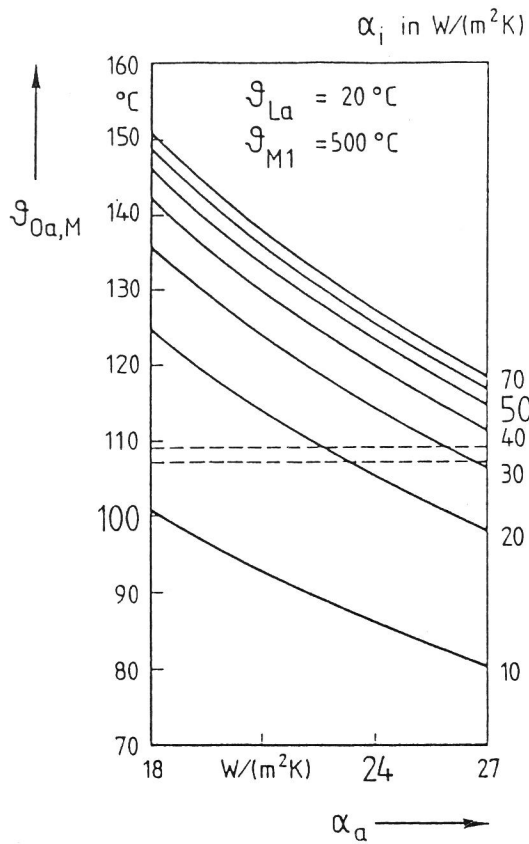
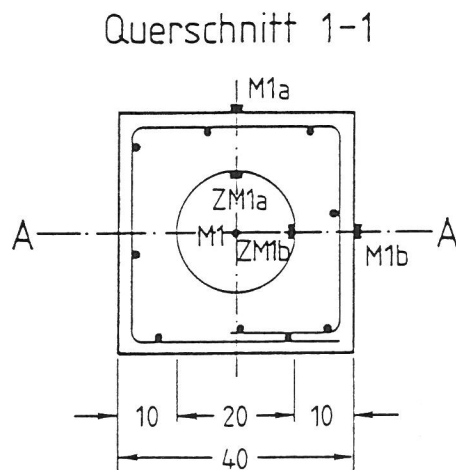
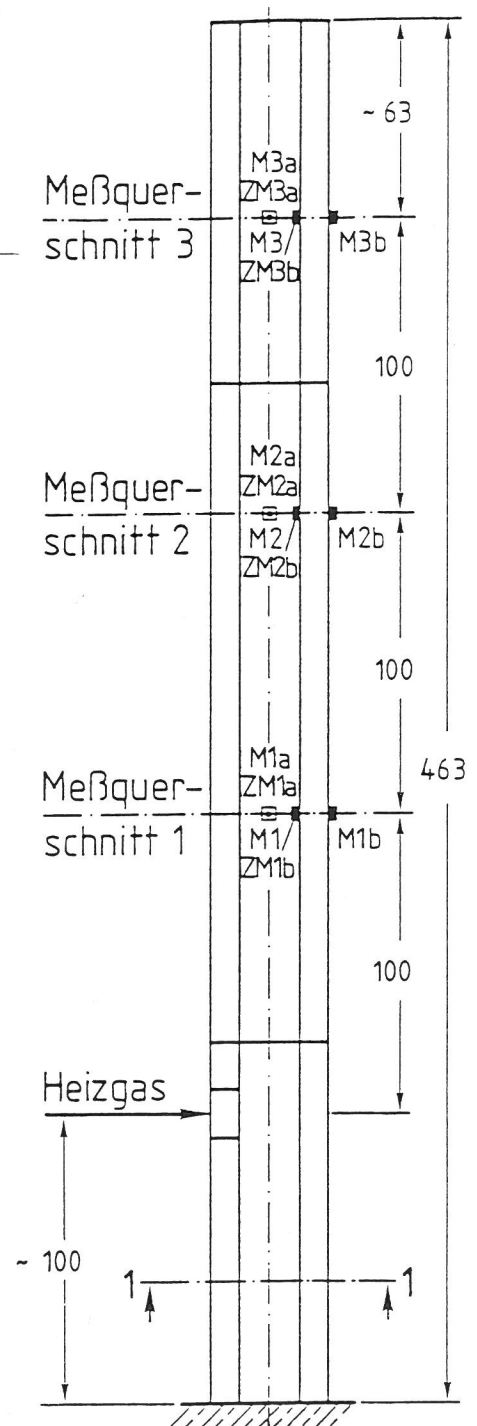


Abb. 44:
Außenoberflächentemperatur in
Flächenmitte n. 360 min als
Funktion des äußeren Wärmeüber-
gangskoeffizienten bei verschie-
denen inneren Wärmeübergangskoeffi-
zienten und Meßwerte nach 270 min
für Schornsteintyp B



Maße in cm

Abb. 45:
Schornsteinaufbau und Meßstellenanordnung
nach [6] bei Schornsteintyp C aus geschoß-
hohen vollwandigen Leichtbetonformstücken



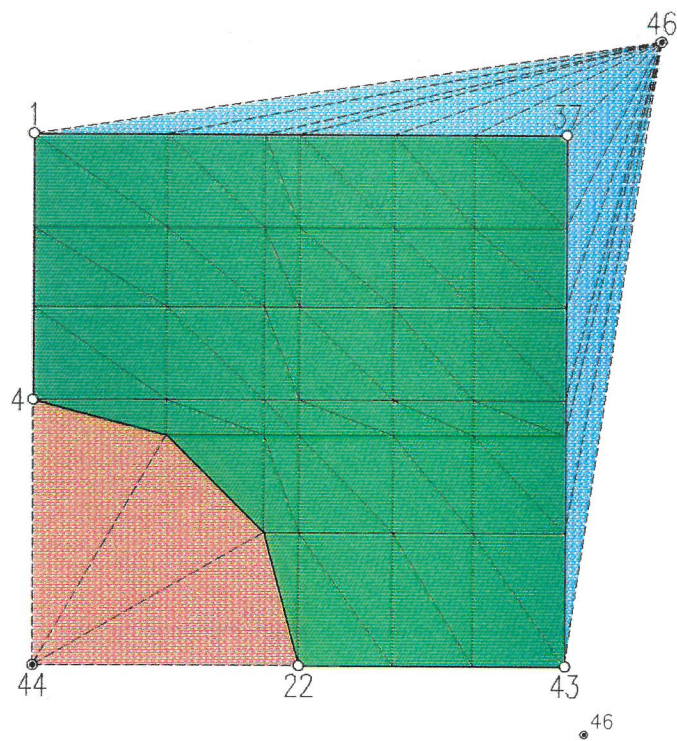


Abb. 46:

Elementaufteilung mit Baustoffzuordnung zur Berechnung der Oberflächentemperaturen entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsphase 2) von Schornsteintyp C

- Leichtbeton
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Lufttemp. außen
 $\vartheta_{La} = 20.0\text{ °C}$
- Abgastemp. innen
 $\vartheta_{M1} = 500.0\text{ °C}$
- Waermeueberg. außen
 α_a
- Waermeueberg. innen
 α_i

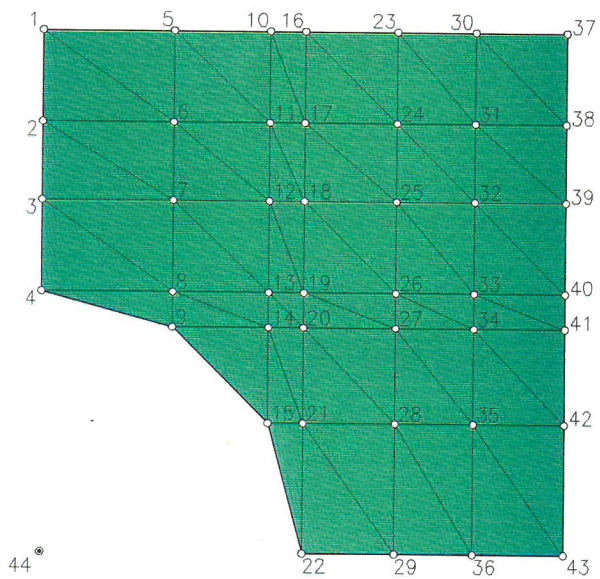


Abb. 47:

Elementaufteilung mit Knotennummerierung zur Berechnung der Oberflächentemperaturen entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsphase 2) von Schornsteintyp C

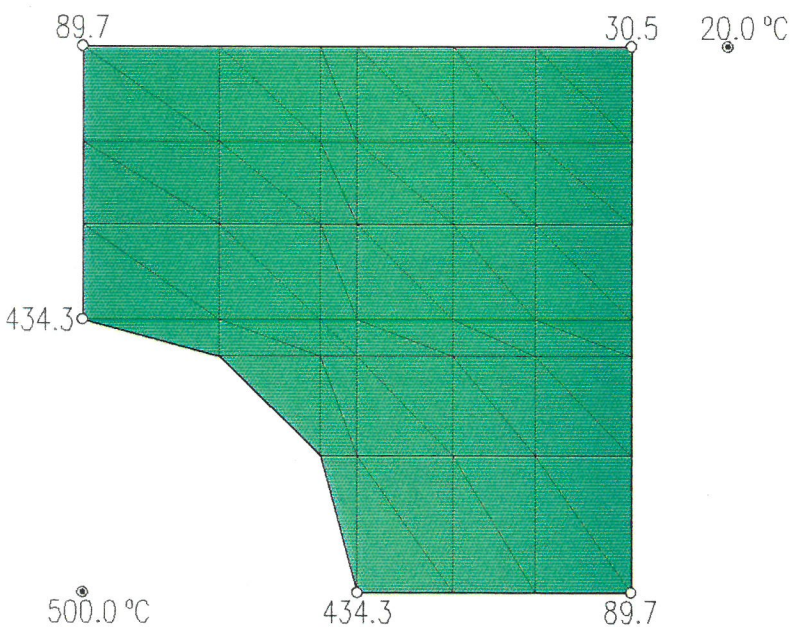


Abb. 48:

Oberflächentemperaturen nach 360 min, berechnet entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsph. 2), und Randbedingungen für Schornsteintyp C

- Leichtbeton
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Lufttemp. außen
 $\vartheta_{La} = 20.0\text{ °C}$
- Abgastemp. innen
 $\vartheta_{M1} = 500.0\text{ °C}$
- Waermeueberg. außen
 $\alpha_a = 24.00\text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Waermeueberg. innen
 $\alpha_i = 50.00\text{ W/(m}^2\text{K)}$

α_i in $W/(m^2K)$

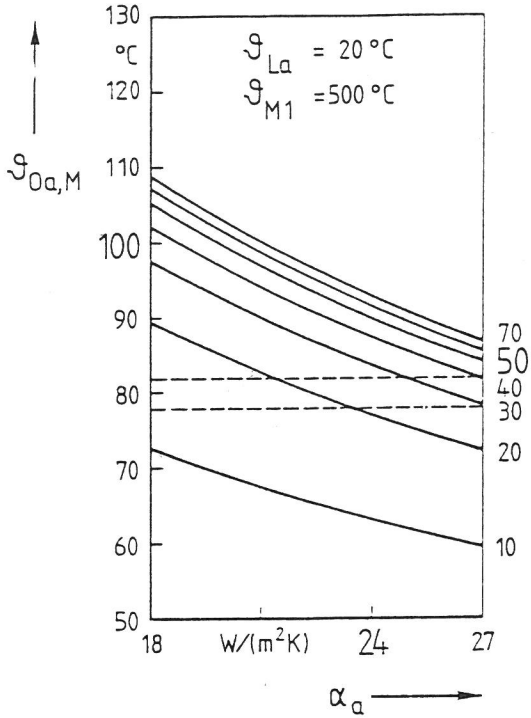
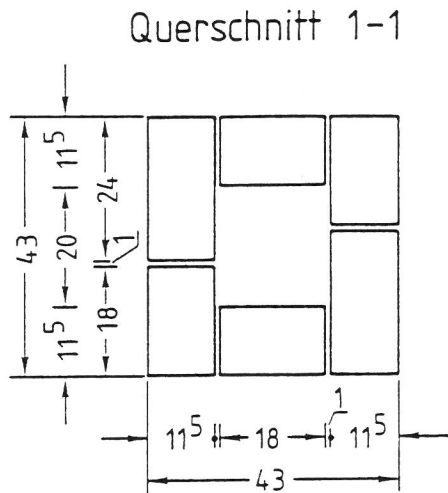


Abb. 49:

Außenoberflächentemperatur in Flächenmitte n. 360 min als Funktion des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten bei verschiedenen inneren Wärmeübergangskoeffizienten und Meßwerte nach 300 min für Schornsteintyp C



Querschnitt 2-2

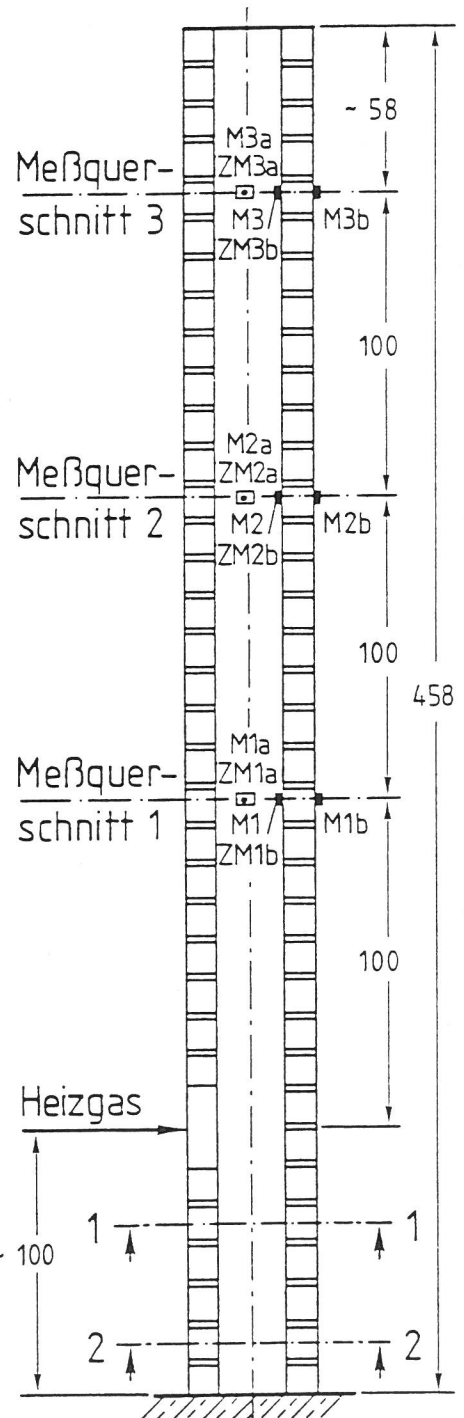
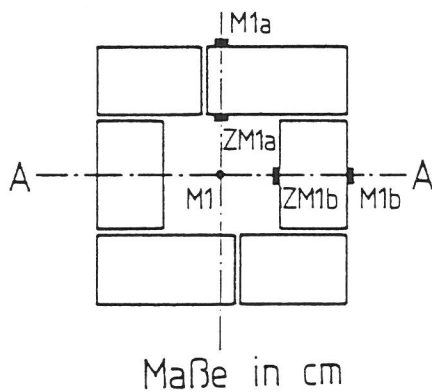
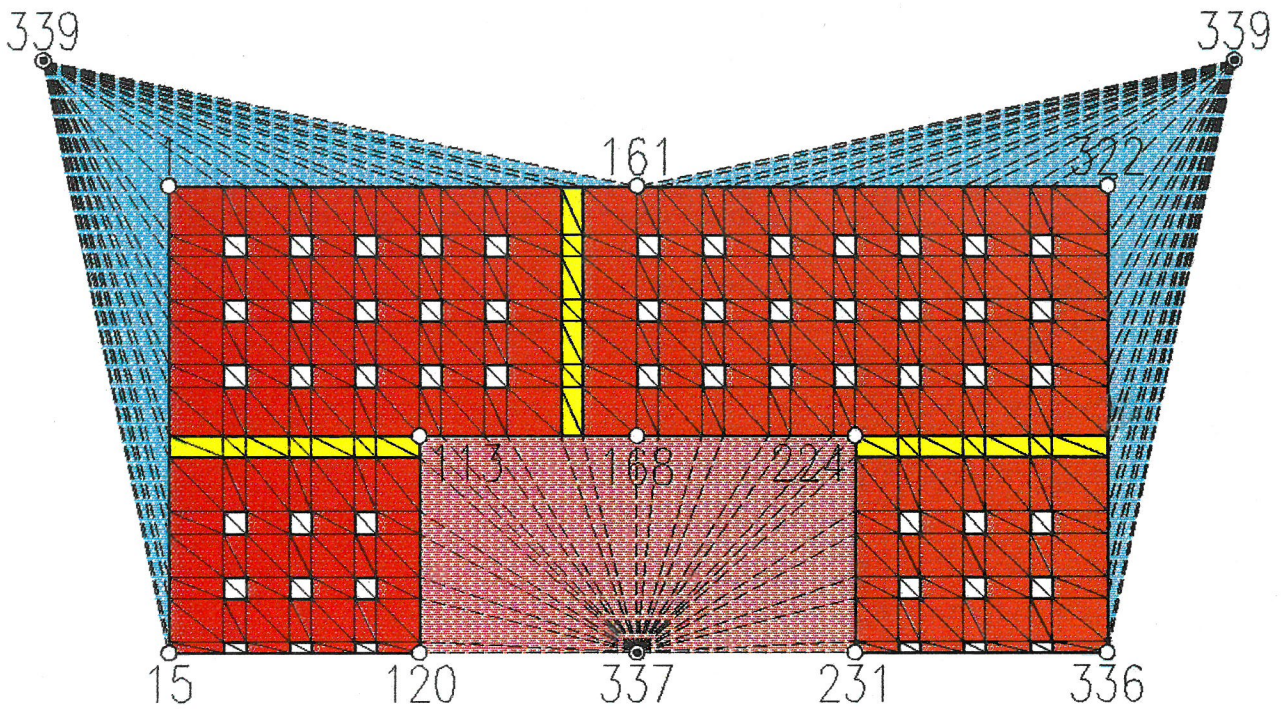


Abb. 50:

Schornsteinaufbau und Meßstellenanordnung nach [6] bei Schornsteintyp D aus Mauerziegeln niedriger Rohdichte nach DIN 105 (Vollz., 7,5 % Lochanteil)



- Gelochter Mauerziegel
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Luft, WL+K+STR
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Mauermoertel, MG II
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Lufttemp. außen
 $\vartheta_{La} = 20.0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Abgastemp. innen
 $\vartheta_{M1} = 500.0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Waermeueberg. außen
 α_a
- Waermeueberg. innen
 α_i

Abb. 51:

Elementaufteilung mit Baustoffzuordnung zur Berechnung der Oberflächentemperaturen entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüf. A, Betriebsphase 2) von Schornsteintyp D

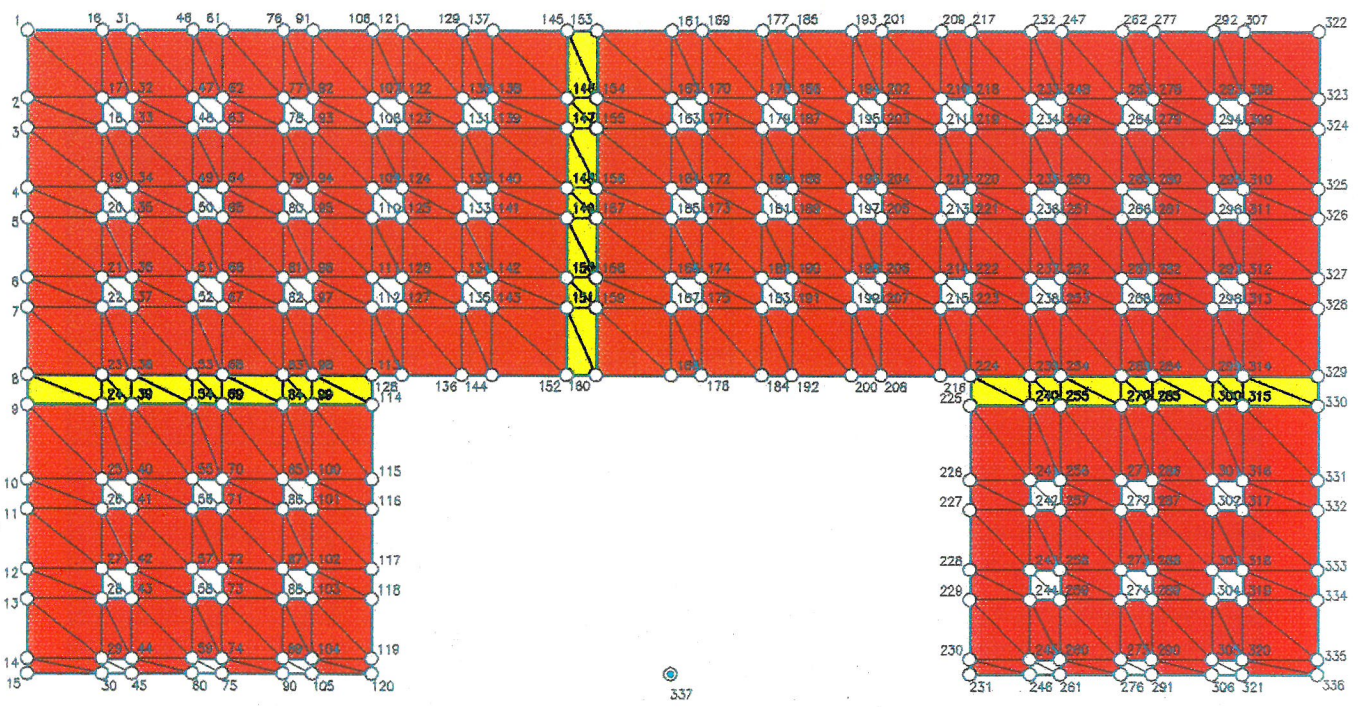


Abb. 52:
 Elementaufteilung mit Knotennumerierung zur Berechnung der Oberflächentemperaturen entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfch. A, Betriebsphase 2) von Schornsteintyp D

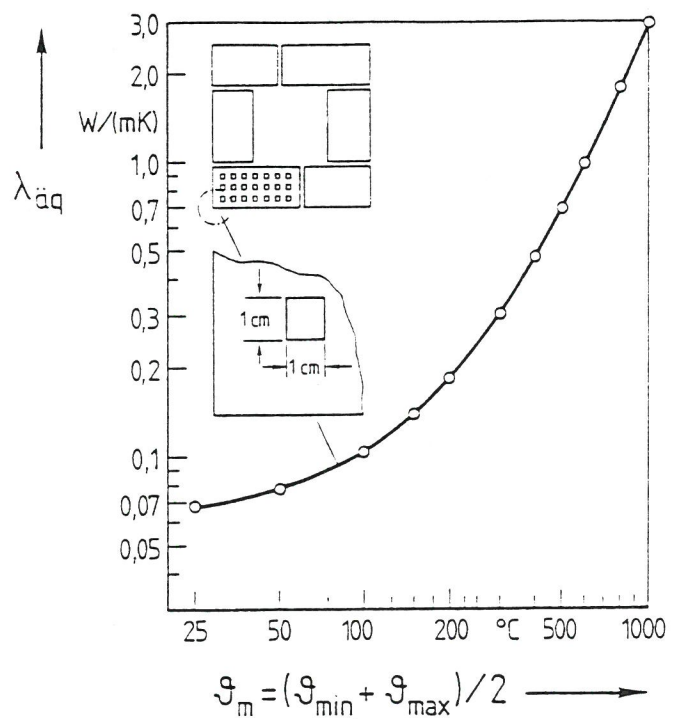


Abb. 53:
 Äqu. Wärmeleitf. als Funktion der Mitteltemperatur der quadratischen Hohlräume von Schornsteintyp D

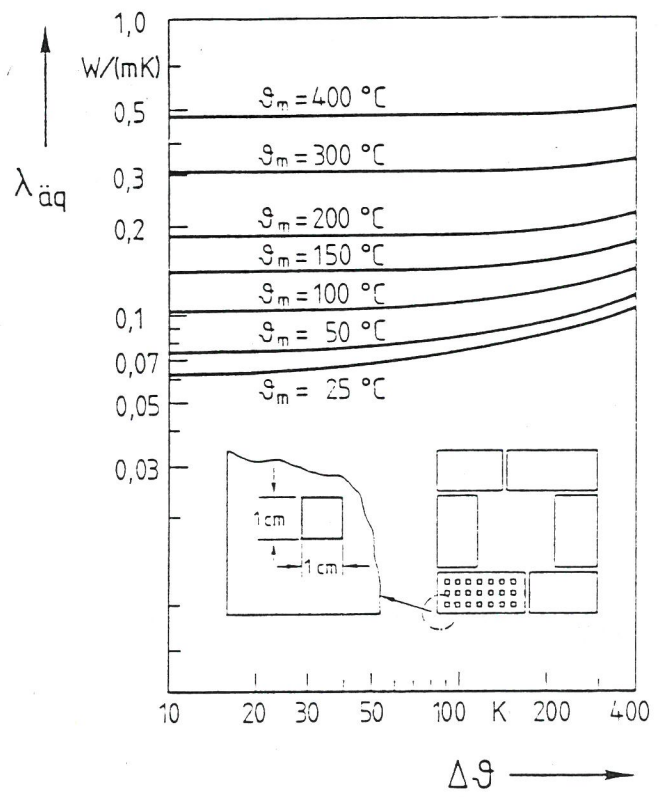
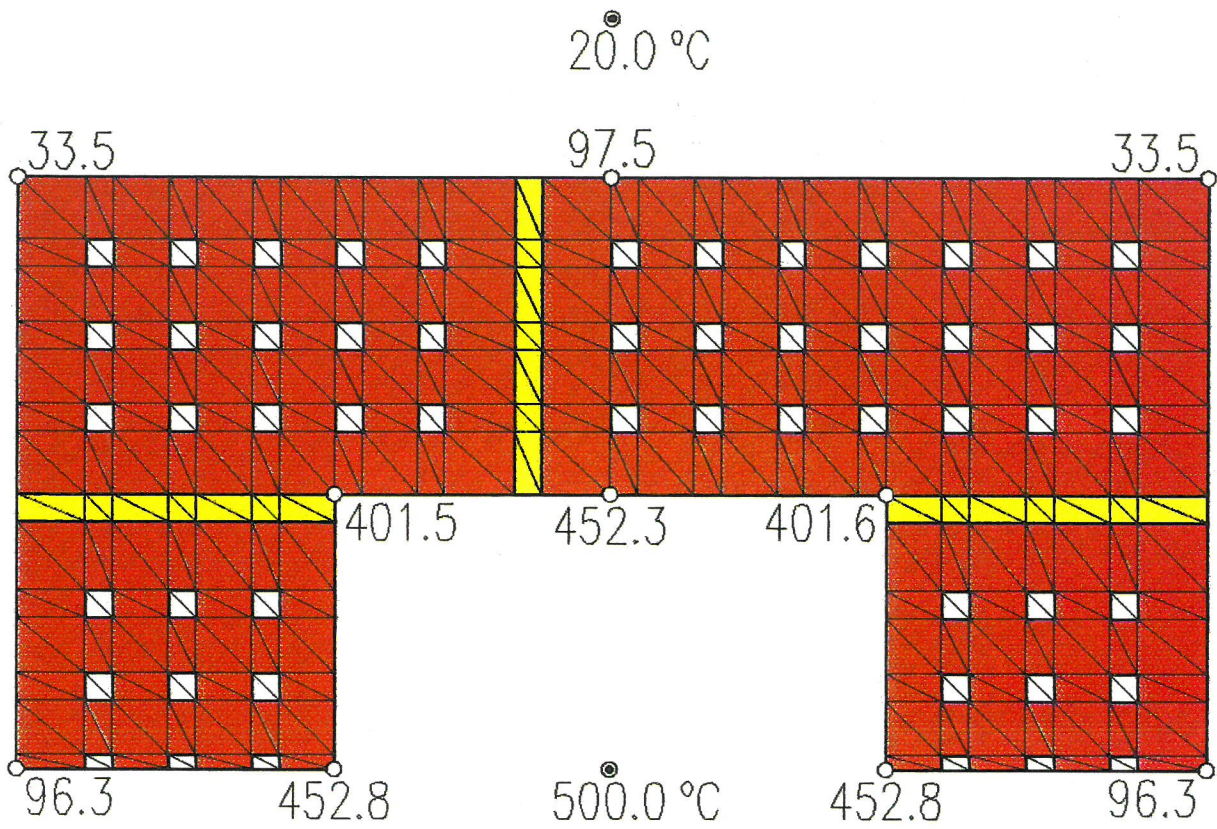


Abb. 54:
 Äqu. Wärmeleitf. als Fkt. der Temperaturdifferenz bei verschiedenen Mitteltemperaturen für die quadratischen Hohlräume von Schornsteintyp D



- Gelochter Mauerziegel
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Luft, WL+K+STR
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Mauermoertel, MG II
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Lufttemp. außen
 $\vartheta_{La} = 20.0 \text{ °C}$
- Abgastemp. innen
 $\vartheta_{M1} = 500.0 \text{ °C}$
- Waermeueberg. außen
 $\alpha_a = 24.00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Waermeueberg. innen
 $\alpha_i = 50.00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Abb. 55:

Oberflächentemperaturen nach 360 min, berechnet entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsph. 2), und Randbedingungen für Schornsteintyp D

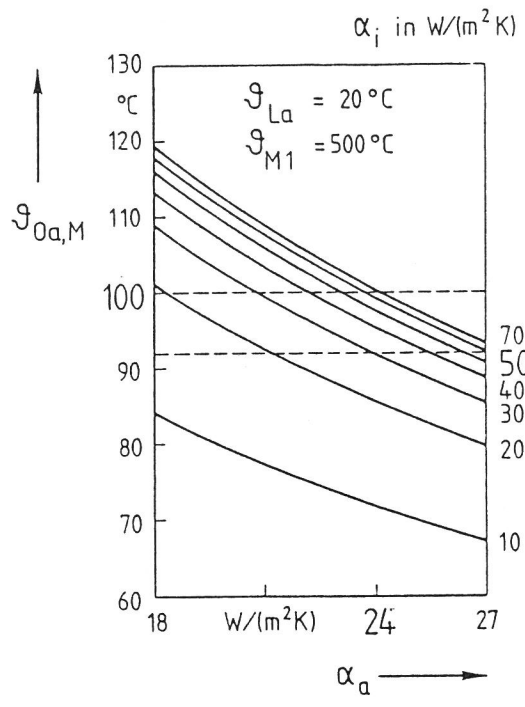


Abb. 56:
 Außenoberflächentemperatur in
 Flächenmitte n. 360 min
 als Funktion des inneren Wärme-
 übergangskoeffizienten
 b. verschiedenen äußeren Wärme-
 übergangskoeffizienten
 und Meßwerte nach 330 min für
 Schornsteintyp D

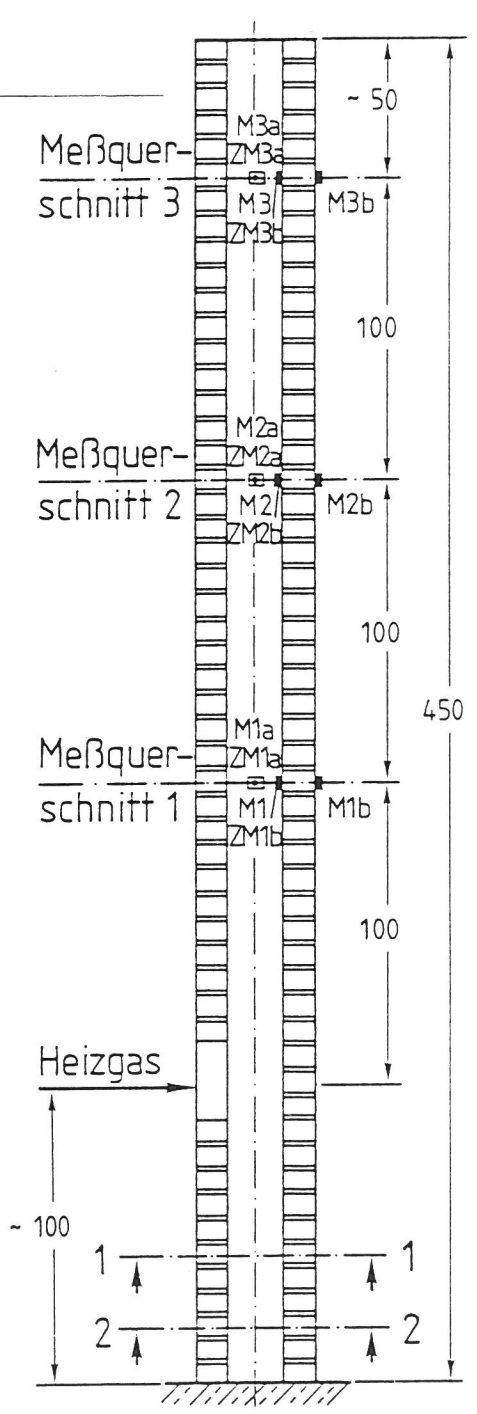
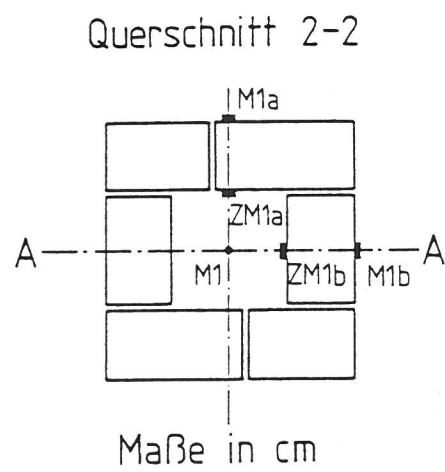
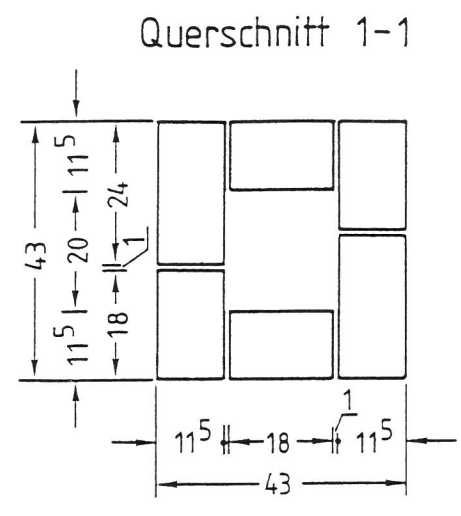
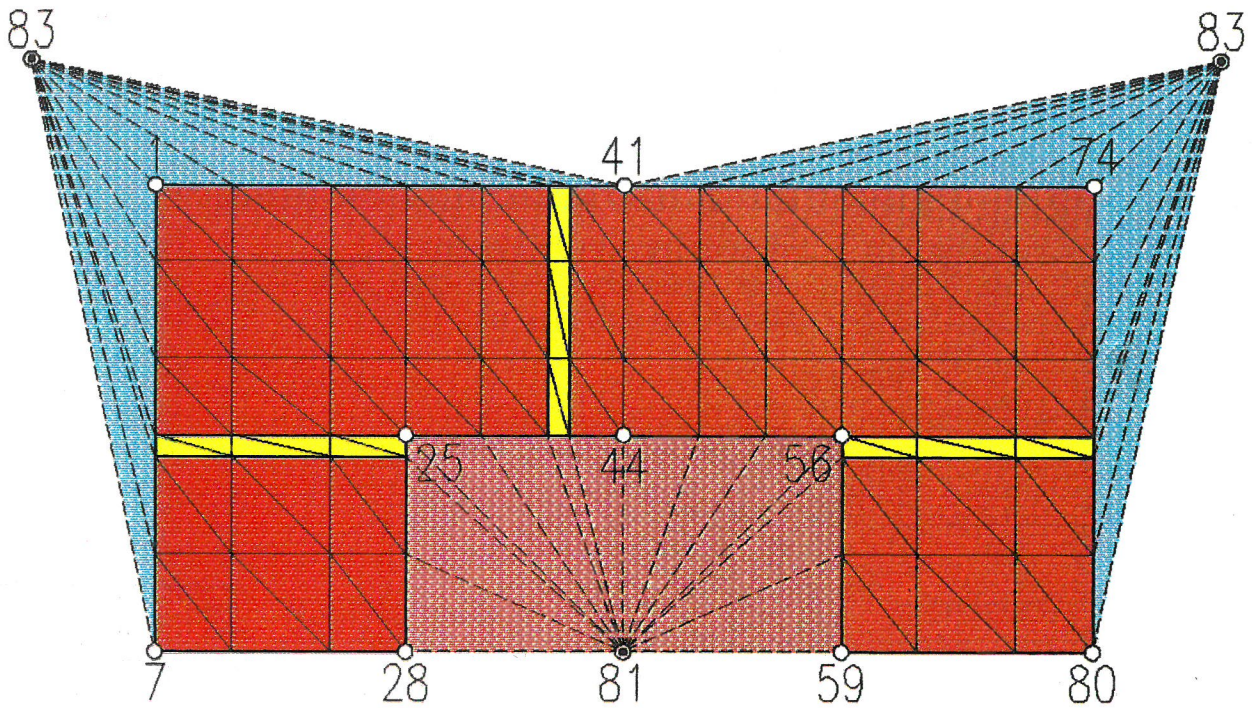


Abb. 57:
 Schornsteinaufbau und Meßstellenanordnung
 nach [6] bei Schornsteintyp E aus Mauer-
 ziegeln hoher Rohdichte



- Mauerziegel
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Mauermoertel, MG II
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Lufttemp. außen
 $\vartheta_{La} = 20.0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Abgastemp. innen
 $\vartheta_{M1} = 500.0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Waermeueberg. außen
 α_a
- Waermeueberg. innen
 α_i

Abb. 58:

Elementaufteilung mit Baustoffzuordnung zur Berechnung der Oberflächentemperaturen entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsphase 2) von Schornsteintyp E

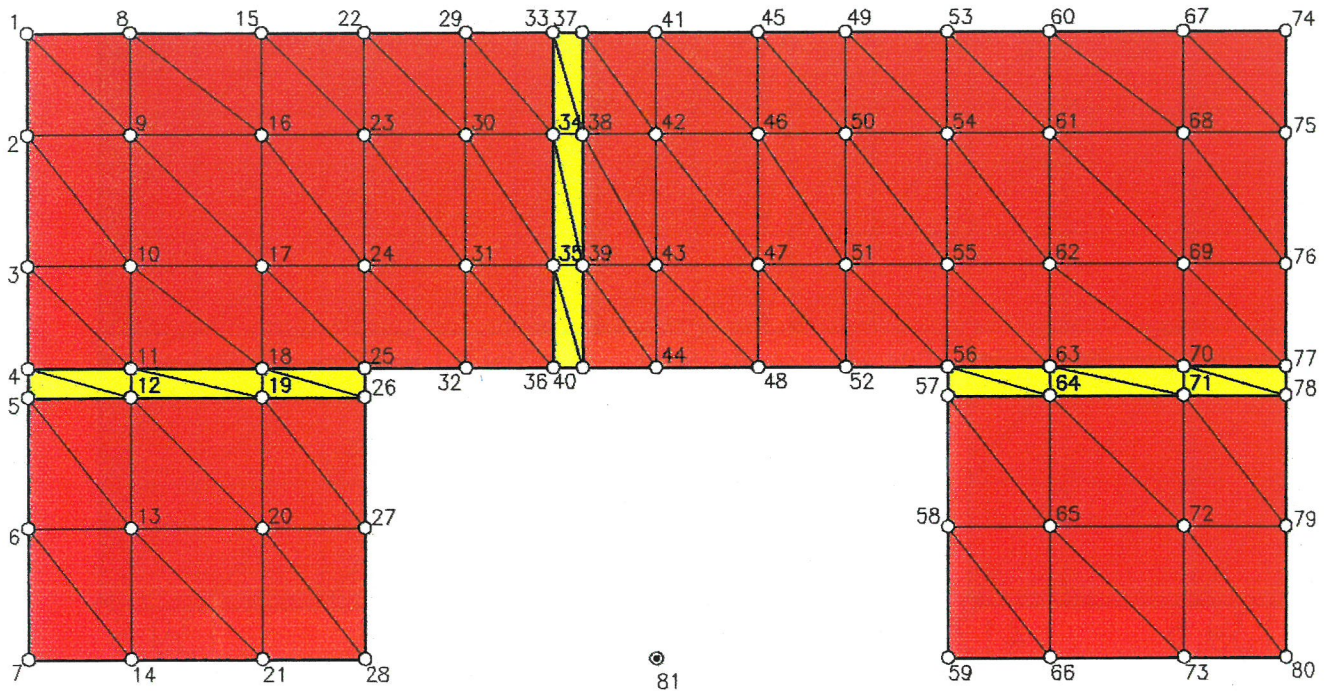
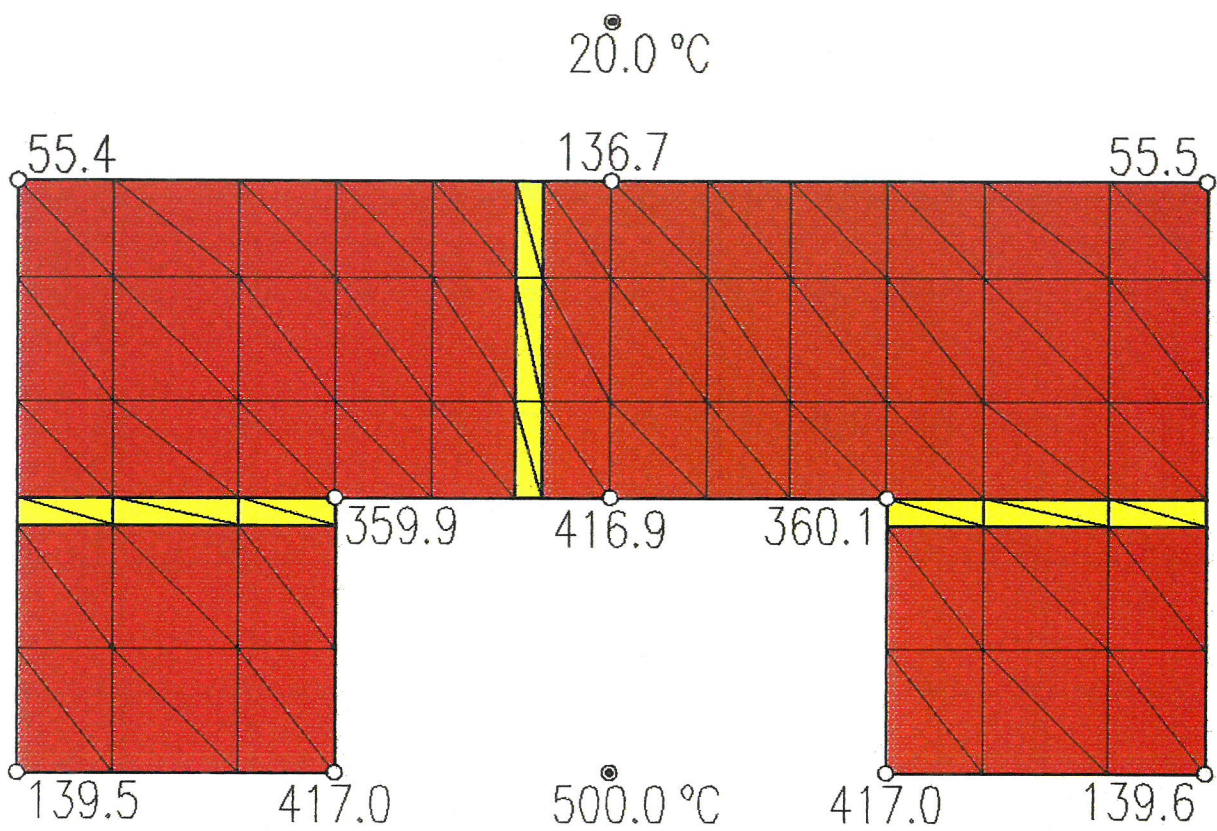


Abb. 59:

Elementaufteilung mit Knotennumerierung zur Berechnung der
 Oberflächentemperaturen entspr. DIN 18160 Teil 6
 (Prüfsch. A, Betriebsphase 2) von Schornsteintyp E



- Mauerziegel
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Mauermoertel, MG II
 $\lambda = f(\vartheta)$
- Lufttemp. außen
 $\vartheta_{La} = 20.0 \text{ °C}$
- Abgastemp. innen
 $\vartheta_{M1} = 500.0 \text{ °C}$
- Waermeueberg. außen
 $\alpha_a = 24.00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
- Waermeueberg. innen
 $\alpha_i = 50.00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Abb. 60:
Oberflächentemperaturen nach 360 min, berechnet entspr. DIN 18160 Teil 6 (Prüfsch. A, Betriebsph. 2), und Randbedingungen für Schornsteintyp E

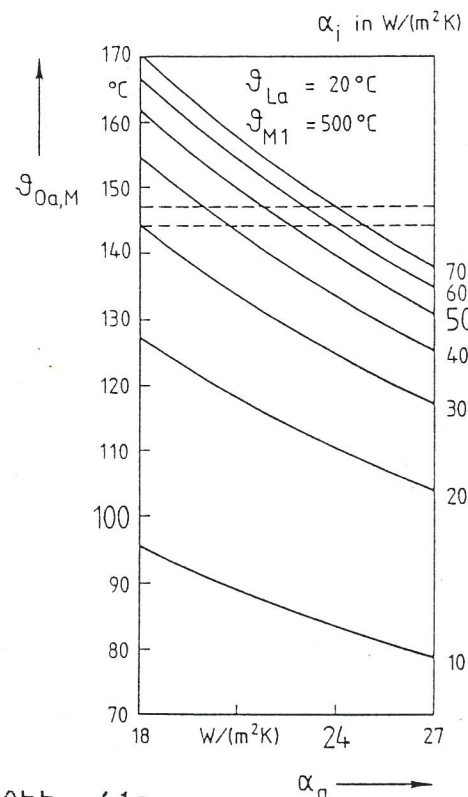


Abb. 61:
Außenoberflächentemperatur in Flächenmitte n. 360 min als Funktion des äußeren Wärmeübergangskoeffizienten bei verschiedenen inneren Wärmeübergangskoeffizienten und Meßwerte nach 360 min für Schornsteintyp E

10 Listings FORTRAN-Rechenprogramme INSTRKS und LAMLKS

10.1 Listing Rechenprogramm INSTRKS
zur Berechnung der Temperaturen und Wärmeströme unter den
nach DIN 18160 Teil 6 (Prüfschornsteine A und C) festgeleg-
ten Prüfbedingungen

```

C   FORTRAN-PROGRAMM INSTRKS - BAM 2.44 - VAX
C   LOESUNG VON ZWEIDIMEN. INSTATION. WAERMELEITUNGSPROBLEMEN UEBER
C   DREIECKSELEMENTE FUER SCHORNSTEINBERECHNUNGEN
C   MIT STRAHLUNGSBERUECKSICHTIGUNG
C   MIT AUSDRUCK DER SUMMENWAERMESTROEME BEI NR GROESSER 100000
C
C   PROGRAMMBESCHRAENKUNGEN
C
C   KNOTENANZAHL, NKN                500
C   DREIECKSANZAHL, NTRIGES         1000
C   FUNKTIONSANZAHL, NMA             50
C   FUNKTIONSWERTEPAARANZAHL, NMALI 275
C   ANZ. D. FUNKTIONSKONFIGURATIONEN, NMAKO 1000
C
C   REIHENFOLGE DER EINGABEDATEN:
C   1.VOR JEDEM DATENBLOCK WIE 2. BIS 16.
C     /* IN DER ERSTEN U. ZWEITEN SPALTE,
C   2.NR DES PROBLEMS, NR
C   3.TEXT MAX. 74 SPALTEN, EINGESCHLOSSEN ZWISCHEN '(' UND ')'
C   4.KNOTENANZAHL, NKN
C     DREIECKSANZAHL, NTRIGES
C   5.DUMMY-INTEGER-GROESSE, NMAXIT
C     SCHRITTFEHLER IN K, EPS
C     DUMMY-REAL-GROESSE, EPS10
C     ANFANGSSCHRITTWEITE IN S, H
C     STEUERFAKTOR UNTERGRENZE (MEIST 50), TIME2
C     STEUERFAKTOR SCHRITTWEITE(MEIST 2), DK2MAX
C   6.TABELLIERWERTETUPEL
C     ZEITANFANG      , ZEIT1
C     ZEITSCHRITTWEITE, DZEIT
C     ZEITENDE       , ZEIT2
C     ZEITEN IN S
C   7.ANZAHL DER LAENGENKONFIGURATIONEN IN X-RICHTUNG, NRI
C   8.NRI WERTETUPEL DER ART:
C     LAENGE X IN M, LX
C     KENNZIFFER F. KARTES.(0) BZW. POLARKOORDINATEN(1), KK
C     KNOTENANFANGSINDEX, IMUV
C     KNOTENSCHRITTWEITE, DIMV
C     KNOTENENDINDEX  , IMOV
C   9.ANZAHL DER LAENGENKONFIGURATIONEN IN Y-RICHTUNG, NRJ
C   10.NRJ WERTETUPEL DER ART:
C     LAENGE Y IN M, LY
C     KNOTENANFANGSINDEX, IMUV
C     KNOTENSCHRITTWEITE, DIMV
C     KNOTENENDINDEX   , IMOV
C   11.ANZAHL DER VERSCHIEDENEN FUNKTIONEN, NMA
C     ANZAHL DER FUNKTIONSWERTEPAARE, NMALI
C   12.NMA WERTETUPEL DER ART:
C     CHARAKTERISIERUNGSUEBERSCHRIFT BIS ZU 74 ZEICHEN,
C     EINGESCHLOSSEN ZWISCHEN '(' UND ')'
C     ANZAHL DER WERTEPAARE, NLA
C     KENNZIFFER FUER FUNKTIONSPORT, KZT
C     KENNZIFFER FUER FUNKTIONSPORT, KZF
C
C   BEI NEGATIVEM NLA FAKTOR ZUR MULTIPLIKATION DER FUNKTIONSWERTE
C   WERTE DER FOLGENDEN EINZELFUNKTIONSWERTE, FCT

```

C
 C NLA WERTETUPEL (X,FX) FUER JEDE FUNKTION (NLA=1 ODER NLA>=3):
 C
 C TEMPERATUR-ZEIT-FUNKTION
 C
 C KZT= 2 KZF=BEL. THETA=F(ZEIT) THETA IN GRAD C
 C ZEIT IN S
 C
 C KONVEKTIVER WAERMEUEBERGANG
 C
 C KZT= 3 KZF=BEL. ALPHA=F(DTHETA) ALPHA IN W/(M*M*K)
 C
 C MATERIALKENNLINIEN
 C
 C KZT= 4 KZF=1 LAMBDA=F(THETA) LAMBDA IN W/(M*K)
 C KZT= 5 KZF=1 C=F(THETA) C IN J/(KG*K)
 C KZT= 6 KZF=1 RHO=F(THETA) RHO IN KG/M3
 C
 C WAERMEUEBERGANG(KONVEKTION+STRAHLUNG)-FORM1 (VIER FUNKTIONEN)
 C
 C KZT=13 KZF=1 ALPHAKONV=F(DTHETA) QP/A =ALPHAKONV*(THETA2-
 C KZT=14 KZF=1 EPSGES=F(THETA2) -THETA1)+PHI*CS*EPSGES*
 C KZT=15 KZF=1 EPSOFP=F(THETA1) *EPSOFP*((THETA2+273)/100)
 C KZT=16 KZF=1 THETA, PHI 'POWER' 4-((THETA1+273)/100)
 C 'POWER' 4)
 C
 C WAERMEUEBERGANG(KONVEKTION+STRAHLUNG)-FORM2 (FUENF FUNKTIONEN)
 C
 C KZT=13 KZF=2 ALPHAKONV=F(DTHETA) QP/A =ALPHAKONV*(THETA2-
 C KZT=14 KZF=2 EPSGES=F(THETA2) -THETA1)+PHI*CS*(AABS*
 C KZT=15 KZF=2 EPSOFP=F(THETA1) *EPSGES*((THETA2+273)/100)
 C KZT=16 KZF=2 THETA, PHI 'POWER' 4-EPSOFP*((THETA1+
 C KZT=17 KZF=2 AABS=F(THETA1) +273)/100)' POWER' 4)
 C
 C 13.ANZAHL DER FUNKTIONSKONFIGURATIONEN, NMAKO
 C 14.NMAKO WERTETUPEL DER ART:
 C FUNKTIONSNR, NRM
 C KNOTENINDEX I, KNI
 C KNOTENINDEX J, KNJ
 C KNOTENINDEX K, KNK
 C BEI BAUSTOFFEN MIT KZT=3 BZW. KZT=13 MUSS JEWEILS DER
 C KNOTENINDEX, DER EINER DREIECKSSEITE MIT WAERMEUEBERGANG
 C GEGENUEBERLIEGT, NEGATIV VORGEGEBEN WERDEN
 C 15.ANZAHL DER RANDKONFIGURATIONEN
 C ZUM ANFANGSZEITPUNKT ZEIT1, NLR
 C 16.NLR WERTETUPEL DER ART:
 C KENNZIFFER, KZT
 C RANDTEMPERATUR IN GRAD C, TKN
 C KNOTENANFANGSINDEX, IMUV
 C KNOTENSCHRITTWEITE, DIMV
 C KNOTENENDINDEX , IMOV
 C 17.WEITERE DATEN WIE 1 BIS 16, SONST
 C 18.ALS ENDEZEICHEN
 C /* IN DER ERSTEN U. ZWEITEN SPALTE,
 C /* IN DER ERSTEN U. ZWEITEN SPALTE,
 C
 C

C*****

C
C
C

SUBROUTINE R E C A L L (DN,KZ,IN,RE,TE,FL)
INTEGER DN,STERN
INTEGER S1,S2,S3,TE
LOGICAL FL,DP,EX,ST
DIMENSION IS(80),IZ(28),TE(81)
COMMON/SDR/NAM
COMMON/DEA/IS,IZ,NS

C

```
100 DP=.FALSE.  
    EX=DP  
    ST=DP  
    FL=DP  
    STERN=0  
    R=0.  
    I=0  
    NEXP=0  
    NPKT=0  
    MFAKT=1  
    NFAKT=1  
200 CALL B U C H S T (DN,S1)  
    IF(KZ.NE.4) GOTO 250  
210 IF(S1.EQ.IZ(26)) GOTO 600  
    IF(STERN.NE.1) GOTO 230  
    NS=0 GOTO 700  
  
230 NS=80  
    CALL B U C H S T (DN,S1) GOTO 210  
  
250 IF(S1.NE.IZ(26)) GOTO 260  
    NS=0  
251 WRITE(NAM,252)  
252 FORMAT(1H0,'FALSCH KENNZIFFER')  
253 FL=.TRUE. GOTO 700  
  
260 IF(S1.NE.IZ(11).AND.S1.NE.IZ(12)) GOTO 265  
263 IF(ST) GOTO 300  
    GOTO 200  
  
265 IF(S1.NE.IZ(19)) GOTO 270  
    IF(EX) NFAKT=-1  
    IF(.NOT.EX) MFAKT=-1  
    ST=.TRUE. GOTO 200  
  
270 IF(S1.NE.IZ(13)) GOTO 275  
    IF(KZ.NE.2) GOTO 251  
    DP=.TRUE.  
    ST=DP GOTO 200  
  
275 IF(S1.NE.IZ(25).AND.S1.NE.IZ(23).AND.S1.NE.IZ(24)) GOTO 280  
    IF(KZ.NE.2) GOTO 251  
    EX=.TRUE.  
    ST=EX  
    IF(I.EQ.0) I=1 GOTO 200
```

```

280 IF(S1.EQ.IZ(20))                                GOTO 400
      DO 282 J=1,10
      IF(S1.EQ.IZ(J))                                GOTO 284
282 CONTINUE
      WRITE(NAM,283) S1
283 FORMAT(1H0,'DATENFEHLER: FALSCH E ZEICHEN=',1A1)
                                                    GOTO 100

284 S1 = J-1
285 ST=.TRUE.
      IF(.NOT.EX)                                    GOTO 288
      NEXP=NEXP*10+S1
                                                    GOTO 200

288 IF(DP)                                           NPKT=NPKT+1
      II=IFIX((1 999 999 999-S1)/10.)
      IF(I.LE.II)                                    GOTO 289
      WRITE(NAM,286)
286 FORMAT(1H0,'DATENFEHLER: MEHR ALS 10 STELLIGE ZAHL')
                                                    GOTO 253

289 I=I*10+S1
                                                    GOTO 200

300 R=MFAKT*I*10.0**(NFAKT*NEXP-NPKT)
      IF(KZ.NE.1)                                    GOTO 310
      IN=R
                                                    GOTO 700

310 IF(KZ.NE.2)                                    GOTO 251
      RE=R
                                                    GOTO 700

400 CALL B U C H S T (DN,S2)
      CALL B U C H S T (DN,S3)
      IF(S2.NE.IZ(21).OR.S3.NE.IZ(20))              GOTO 500
      IF(KZ.NE.3)                                    GOTO 251
      L=1
      NTE=1
410 S1=S2
      S2=S3
      CALL B U C H S T (DN,S3)
      IF(S1.NE.IZ(20).OR.S2.NE.IZ(22).OR.S3.NE.IZ(20)) GOTO 420
      L=L-1
      IF(L.GT.0)                                     GOTO 420
      TE(1)=NTE-2
                                                    GOTO 700

420 IF(S1.EQ.IZ(20).AND.S2.EQ.IZ(21).AND.S3.EQ.IZ(20)) L=L+1
      NTE=NTE+1
      TE(NTE)=S3
                                                    GOTO 410

500 IF(S2.NE.IZ(17).OR.S3.NE.IZ(18))              GOTO 520
510 CALL B U C H S T (DN,S3)
      IF(S3.EQ.IZ(28))                                GOTO 100
                                                    GOTO 510

520 WRITE(NAM,522)S2,S3
522 FORMAT(1H0,'DATENFEHLER: ',1A1,1X,1A1)
                                                    GOTO 253

600 CALL B U C H S T (DN,S2)
      IF(S2.NE.IZ(27))                                GOTO 650
      IF(STERN.EQ.1)                                  GOTO 253
      STERN=1
      NS=80

```

```

                                                    GOTO 200
650 WRITE(NAM,652) S2
652 FORMAT(1H0,'DATENFEHLER: FALSCHE ZEICHEN=/',1A1)
                                                    GOTO 200
700 RETURN
    END
    SUBROUTINE B U C H S T (DN,S)
    INTEGER S
    INTEGER DN
    DIMENSION IS(80),IZ(28)
    COMMON/DEA/IS,IZ,NS
C
    NS=NS+1
    IF(NS.LE.80)
                                                    GOTO 10
    READ(DN,20) (IS(I),I=1,80)
    NS=1
10 S=IS(NS)
20 FORMAT(80A1)
    RETURN
    END
    SUBROUTINE O U T T E X (NAM,FELD)
    INTEGER FELD(81)
    LFELD=FELD(1)
    IF(LFELD.LT.2) GO TO 99
    WRITE(NAM,12) (FELD(I),I=2,LFELD)
12 FORMAT(1H ,80A1)
99 CONTINUE
    RETURN
    END
    SUBROUTINE U E B E R S (NAM)
    INTEGER AUS,STERN,POLKO,TEXT
    COMMON
    *
    *   AUS,NMA,NTRIGE,NBLOCK,NITER,NKN,NKNI,NKNU,NLA,NLISTE,
    *   NLR,NMAKO,NMAXIT,NFKDUM,NDYN,NMALI,NKNIB,NR,NMALIE,NRI,NTRI,
    *   N1,N2,N3,STERN,
    *
    *   KNI(1000),KNJ(1000),KNK(1000),KZF1(50),KZF2(50),NRMA(1000),
    *   N1MAF(50),N2MAF(50),POLKO(500),TEXT(81)
C
    NAMZ=IABS(NAM)
    IF(NAM) 1,1,3
1 WRITE(NAMZ,10)
                                                    GOTO 5
3 WRITE(NAMZ,20)
5 WRITE(NAMZ,30) NR
    CALL O U T T E X (NAMZ,TEXT)
    RETURN
10 FORMAT(1H )
20 FORMAT(1H1)
30 FORMAT(1H+,'FORTRAN-PROGR. INSTRKS - BAM 2.44 - VAX',/1X,
*'LOESUNG VON ZWEIDIMENS. INSTATION. WAERMELEITUNGSPROBLEMEN UEBER
*DREIECKSELEMENTE-PROBLEM NR. ',I12)
    END
    INTEGER FUNCTION I S I G N U (I)
    IS=0
    IF(I.EQ.0)
                                                    GOTO 10

```

```

      IS=ISIGN(1,I)
10  ISIGNU=IS
      RETURN
      END
      SUBROUTINE U E B E R P (NR,NMIN,NMAX,IJ)
      INTEGER AUS
      COMMON AUS
      COMMON/SDR/NAM
      II=IABS(IJ)
      IF(.NOT.(II.LT.NMIN.OR.II.GT.NMAX))          GOTO 99
      II=NMIN*ISIGNU(IJ)
      WRITE(NAM,10) NR
10  FORMAT(1H , 'IN DREIECKSELEMENT NR.',I20,/,
*      'UEBERSCHREITUNG DER INDEXGRENZEN')
      AUS=1
99  RETURN
      END
      INTEGER FUNCTION P O S (I)
      POS=IABS(I)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE INPR(NI,I1,DI,I2,II1,DII,II2)
      INTEGER DI,DII
      II1 = I1
      DII = DI
      II2 = I2
      IF(I1.EQ.0) II1 = 1
      IF(DI.EQ.0) DII = 1
      IF(I2.EQ.0) II2 = 1
      IF(IABS(II1).GT.IABS(NI)) II1=ISIGNU(II1)*IABS(NI)
      IF(IABS(II2).GT.IABS(NI)) II2=ISIGNU(II2)*IABS(NI)
      IF(IABS(II2).GE.IABS(II1)) GO TO 1
      II2 = II1
      DII = DII
1  CONTINUE
      IF(II1.GE.0.AND.DII.GE.0.AND.II2.GE.0) GOTO 2
      II1 = -IABS(II1)
      DII = -IABS(DII)
      II2 = -IABS(II2)
2  RETURN
      END
      SUBROUTINE SPLIKO(N1,N2,X,F,A,B,C,D)
      DIMENSION X(N2),F(N2),A(N2),B(N2),C(N2),D(N2)
      M1=N1+1
      M2=N2-1
      S=0.
      DO 100 I=N1,M2
      D(I)=X(I+1)-X(I)
      R=(F(I+1)-F(I))/D(I)
      C(I)=R-S
100 S=R
      S=0.
      R=0.
      C(N1)=0.
      C(N2)=0.
      IF(M1.GT.M2)          GOTO 125
      DO 110 I=M1,M2

```



```

      C(I)=C(I)+R*C(I-1)
      B(I)=(X(I-1)-X(I+1))*2.-R*S
      S=D(I)
110  R=S/B(I)
      K=M2
120  C(K)=(D(K)*C(K+1)-C(K))/B(K)
      K=K-1
      IF (K.GE.M1)                                GOTO 120
125  DO 130 I=N1,M2
      S=D(I)
      R=C(I+1)-C(I)
      D(I)=R/S
      C(I)=C(I)*3.
      B(I)=(F(I+1)-F(I))/S-(C(I)+R)*S
130  A(I)=F(I)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE SPLINE(N1,N2,X,A,B,C,D,XS,YS,BOXF)
      DIMENSION X(N2),A(N2),B(N2),C(N2),D(N2)
      LOGICAL BOXF
      P=X(N1)
      Q=X(N2)
      IF(XS.GE.P)                                GOTO 10
      YS=A(N1)
      BOXF=.TRUE.
      RETURN
10  IF(XS.LE.Q)                                GOTO 20
      YS=A(N2-1)
      BOXF=.TRUE.
      RETURN
20  K=N1-1
50  I=K
      K=K+1
      IF(XS.GE.X(K).AND.K.LT.N2)                GOTO 50
      Q=XS-X(I)
      YS=((D(I)*Q+C(I))*Q+B(I))*Q+A(I)
      RETURN
      END
      SUBROUTINE D R U F (UKNF)
      INTEGER AUS
      DIMENSION UKNF(500)
      COMMON
*
*   AUS,NMA,NTRIGE,NBLOCK,NITER,NKN
      COMMON/SDR/NAM
C
      WRITE(NAM,10)
10  FORMAT(1H0,' KNOTEN-NR',7X,'+01',8X,'+02',8X,'+03',8X,'+04',8X,
*         '+05',8X,'+06',8X,'+07',8X,'+08',8X,'+09',8X,'+10')
      WRITE(NAM,40)
      I2=0
C
20  J = I2
      I1=I2+1
      I2=I2+10
      IF(NKN.LT.I2)  I2=NKN
      FMAX=ABS(UKNF(I1))

```

```

      III=II+1
      DO 21 II=III ,I2
      UZW=ABS(UKNF(II))
      IF(FMAX.LT.UZW)          FMAX=UZW
21  CONTINUE
      IF(ABS(FMAX).GT.9.9E6)   G O T O 32
      WRITE(NAM,30) J,(UKNF(I),I=I1,I2)
30  FORMAT(1H ,I5,4X,10(1X,F10.2))
      G O T O 37
32  WRITE(NAM,35) J ,(UKNF(I),I=I1,I2)
35  FORMAT(1H ,I5,4X,10(1X,E10.4))
37  IF(I2.LT.NKN) GOTO 20
      WRITE(NAM,40)
40  FORMAT(1H )
      RETURN
      END
      SUBROUTINE D R U K N F (TIM)
      REAL LAMBDA
C*****BEGIN BLANK COMMON BLOCK*****
      INTEGER AUS,STERN,POLKO,TEXT,UEMA

      REAL KIF,LX,LY,MCKNF
      LOGICAL BOX1,BOXF
      COMMON
      *
      *   AUS,NMA,NTRIGE,NBLOCK,NITER,NKN,NKNI,NKNU,NLA,NLISTE,
      *   NLR,NMAKO,NMAXIT,NFKDUM,NDYN,NMALI,NKNIB,NR,NMALIE,NRI,NTRI,
      *   N1,N2,N3,STERN,
      *
      *
      *   KNI(1000),KNJ(1000),KNK(1000),KZF1(50),KZF2(50),NRMA(1000),
      *   N1MAF(50),N2MAF(50),POLKO(500),TEXT(81),UEMA(81),
      *
      *
      *   DELMAX,DK1MAX,H,HMIN,HMAX,SIJ,SKI,SJK,
      *
      *   A(275),B(275),C(275),D(275),FXF(275),GKNF(500),KIF(500),
      *   LX(500),LY(500),MCKNF(500),SIJF(1000),SKIF(1000),SJKF(1000),
      *   UHKN1F(500),UHKNF(500),VIF(1000),VJF(1000),VKF(1000),
      *   VZWF(3),XF(275),
      *
      *   BOX1,BOXF
C*****END BLANK COMMON BLOCK*****
      COMMON/SDR/NAM
      COMMON/EXTRA/LAMBDA
      WRITE(NAM,22)
22  FORMAT(1H ///3X,'ZEIT IN H',
      A          2X,'ZEIT MIN',
      A          2X,'ZEIT IN S',
      A          5X,'H IN S',
      A          2X,'HMIN IN S',
      A          2X,'HMAX IN S',
      A          2X,'DKM O C/S',
      A          2X,'H*DKM O C',
      A          4X,'EXTRAP.'/)
      TIH=TIM/3600.
      TIM60=TIM/60
      WRITE(NAM,32)TIH,TIM60,TIM,H,HMIN,HMAX,DK1MAX,DELMAX,BOXF
32  FORMAT(1H ,F11.2,F11.1,F11.0,5E11.4,6X,L5,/)
      RETURN

```

```

END
REAL FUNCTION C O T C (A2,B2,C2)
C
  AZW=A2+B2-C2
  AZW=AZW/SQRT(4*A2*B2-AZW*AZW)
  COTC=AZW
  IF(ABS(AZW).LT.1.E-6) COTC = 0.
  RETURN
END
SUBROUTINE V E R T A U (I,J)
INTEGER POS
IF(IABS(J).GE.IABS(I)) GOTO 99
II=I
I=J
J=II
99 RETURN
END
REAL FUNCTION L A E N G 2 (I,J)
INTEGER POS
INTEGER AUS, STERN
INTEGER POLKO, TEXT, UEMA
REAL KIF, LX, LY
COMMON
*
*   AUS, NMA, NTRIGE, NBLOCK, NITER, NKN, NKNI, NKNU, NLA, NLISTE,
*   NLR, NMAKO, NMAXIT, NFKDUM, NDYN, NMALI, NKNIB, NR, NMALIE, NRI, NTRI,
*   N1, N2, N3, STERN,
*
*   KNI(1000), KNJ(1000), KNK(1000), KZF1(50), KZF2(50), NRMA(1000),
*   N1MAF(50), N2MAF(50), POLKO(500), TEXT(81), UEMA(81),
*
*   DELMAX, DK1MAX, H, HMIN, HMAX, SIJ, SKI, SJK,
*
*   A(275), B(275), C(275), D(275), FXF(275), GKNF(500), KIF(500),
*   LX(500), LY(500)
C
  II=IABS(I)
  JJ=IABS(J)
  AZW=LX(II)-LX(JJ)
  BZW=LY(II)-LY(JJ)
  LAENG2=AZW*AZW+BZW*BZW
  RETURN
END
SUBROUTINE M A T E R I (NRM,BOXF)
LOGICAL UHKRI, UHKRJ, UHKRK
REAL LAMIJ, LAMKI, LAMJK
C*****BEGIN BLANK COMMON BLOCK*****
  INTEGER AUS, STERN
  INTEGER POLKO, TEXT, UEMA
  REAL KIF, LX, LY, MCKNF
  LOGICAL BOXF
  COMMON
*
*   AUS, NMA, NTRIGE, NBLOCK, NITER, NKN, NKNI, NKNU, NLA, NLISTE,
*   NLR; NMAKO, NMAXIT, NFKDUM, NDYN, NMALI, NKNIB, NR, NMALIE, NRI, NTRI,
*   N1, N2, N3, STERN,
*
*
```

```

*   KNI(1000),KNJ(1000),KNK(1000),KZF1(50),KZF2(50),NRMA(1000),
*   N1MAF(50),N2MAF(50),POLKO(500),TEXT(81),UEMA(81),
*
*   DELMAX,DK1MAX,H,HMIN,HMAX,SIJ,SKI,SJK,
*
*   A(275),B(275),C(275),D(275),FXF(275),GKNF(500),KIF(500),
*   LX(500),LY(500),MCKNF(500),SIJF(1000),SKIF(1000),SJKF(1000),
*   UHKN1F(500),UHKNF(500),VIF(1000),VJF(1000),VKF(1000),
*   VZWF(3),XF(275)

```

C

C*****END BLANK COMMON BLOCK*****

```

COMMON/C1DTH/
*   I,K,L,NZ,LAMIJ,LAMKI,LAMJK,UHKIJ,UHKKI,UHKJK,DIFUIJ,DIFUKI,
*   DIFUJK,UHKRI,UHKRJ,UHKRK,IMUV,JMUH,KMUT,UGIJ,UGKI,UGJK,
*   CKLJ,CKLK,UHKNI,UHKNJ,UHKNK,RHOJ,RHOK
COMMON/C2DTH/
*   CKLI,RHOI
NZ=NRM
L=N1MAF(NZ)
K=N2MAF(NZ)
IF(L.NE.K)                                GOTO 4703
LAMIJ=FXF(L)
LAMKI=LAMIJ
LAMJK=LAMIJ
GOTO 474
4703 CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKIJ,LAMIJ,BOXF)
      CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKKI,LAMKI,BOXF)
      CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKJK,LAMJK,BOXF)
474  UGIJ=LAMIJ*SIJ*DIFUIJ
      UGKI=LAMKI*SKI*DIFUKI
      UGJK=LAMJK*SJK*DIFUJK
      NZ=NRM+1
      L=N1MAF(NZ)
      K=N2MAF(NZ)
      IF(L.NE.K)                                GOTO 4833
      CKLI=FXF(L)
      CKLJ=CKLI
      CKLK=CKLI
      GOTO 487
4833 IF(UHKRI)    CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNI,CKLI,BOXF)
      IF(UHKRJ)    CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNJ,CKLJ,BOXF)
      IF(UHKRK)    CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNK,CKLK,BOXF)
487  NZ=NRM+2
      L=N1MAF(NZ)
      K=N2MAF(NZ)
      IF(L.NE.K)                                GOTO 4903
      RHOI=FXF(L)
      RHOJ=RHOI
      RHOK=RHOI
      GOTO 494
4903 IF(UHKRI)    CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNI,RHOI,BOXF)
      IF(UHKRJ)    CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNJ,RHOJ,BOXF)
      IF(UHKRK)    CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNK,RHOK,BOXF)
494  IF(UHKRI)    MCKNF(IMUV)=MCKNF(IMUV)+VIF(I)*RHOI*CKLI
      IF(UHKRJ)    MCKNF(JMUH)=MCKNF(JMUH)+VJF(I)*RHOJ*CKLJ
      IF(UHKRK)    MCKNF(KMUT)=MCKNF(KMUT)+VKF(I)*RHOK*CKLK
      RETURN

```

```

END
SUBROUTINE D T H N D T (UHKNF,ZEI,BOXF,BOX1)
INTEGER POS
REAL LAENG2
INTEGER VZIMUV,VZJMUH,VZKMUT
REAL LAMBDA
DIMENSION UHKNF(500)
REAL LAMIJ,LAMKI,LAMJK
LOGICAL UHKRI,UHKRJ,UHKRK
C*****BEGIN BLANK COMMON BLOCK*****
INTEGER AUS,STERN,POLKO,TEXT,UEMA
REAL KIF,LX,LY,MCKNF
LOGICAL BOX1,BOXF
COMMON
*
*   AUS,NMA,NTRIGE,NBLOCK,NITER,NKN,NKNI,NKNU,NLA,NLISTE,
*   NLR,NMAKO,NMAXIT,NFKDUM,NDYN,NMALI,NKNIB,NR,NMALIE,NRI,NTRI,
*   N1,N2,N3,STERN,
*
*
*   KNI(1000),KNJ(1000),KNK(1000),KZF1(50),KZF2(50),NRMA(1000),
*   N1MAF(50),N2MAF(50),POLKO(500),TEXT(81),UEMA(81),
*
*   DELMAX,DK1MAX,H,HMIN,HMAX,SIJ,SKI,SJK,
*
*   A(275),B(275),C(275),D(275),FXF(275),GKNF(500),KIF(500),
*   LX(500),LY(500),MCKNF(500),SIJF(1000),SKIF(1000),SJKF(1000),
*   UHKN1F(500),DUMMY(500),VIF(1000),VJF(1000),VKF(1000),
*   VZWF(3),XF(275)
C
C*****END BLANK COMMON BLOCK*****
COMMON/C1DTH/
*   I,K,L,NZ,LAMIJ,LAMKI,LAMJK,UHKIJ,UHKKI,UHKJK,DIFUIJ,DIFUKI,
*   DIFUJK,UHKRI,UHKRJ,UHKRK,IMUV,JMUH,KMUT,UGIJ,UGKI,UGJK,
*   CKLJ,CKLK,UHKNI,UHKNJ,UHKNK,RHOJ,RHOK
COMMON/C2DTH/
*   CKLI,RHOI
COMMON/SDR/NAM
COMMON/EXTRA/LAMBDA
C
ZEIT=ZEI
BOX1=.FALSE.
C...
C...EINSPEICHERN DER TEMPERATURRANDBEDINGUNGEN
C...
DO 534 I = 1,NKN
NRM=POLKO(I)
IF(NRM.LE.0) GOTO 534
KZT=KZF2(NRM)
IF(KZT.NE.2) GOTO 534
L=N1MAF(NRM)
K=N2MAF(NRM)
IF(L.NE.K) GOTO 528
AZW=FXF(L)
GOTO 530
528 CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,ZEIT,AZW,BOXF)
530 UHKNF(I)=AZW
534 CONTINUE

```

C

DO 552 I=1,NKN
GKNF(I)=0.
MCKNF(I)=0.

552 CONTINUE

C

DO 718 I=1,NMAKO
NZ=NRMA(I)
NRM=NZ
KZF=KZF1(NRM)
KZT=KZF2(NRM)
IF(KZT.LE.2)
IMUV=KNI(I)
VZIMUV=I S I G N U (IMUV)
IMUV = VZIMUV * IMUV
JMUH=KNJ(I)
VZJMUH=I S I G N U (JMUH)
JMUH=VZJMUH*JMUH
KMUT=KNK(I)
VZKMUT=I S I G N U (KMUT)
KMUT=VZKMUT*KMUT
UHKNI = UHKNF(IMUV)
UHKNJ = UHKNF(JMUH)
UHKNK = UHKNF(KMUT)
SIJ=SIJF(I)
SJK=SJKF(I)
SKI=SKIF(I)
UGIJ=0
UGJK=0
UGKI=0
L=N1MAF(NRM)
K=N2MAF(NRM)

GOTO 718

C***** INDEX ABFRAGE *****

UHKRI=.TRUE.
IPOL=POLKO(IMUV)
IF(IPOL.EQ.0)
IPOL=KZF2(IPOL)
IF(IPOL.EQ.2) UHKRI=.FALSE.
5751 UHKRJ=.TRUE.
IPOL=POLKO(JMUH)
IF(IPOL.EQ.0)
IPOL=KZF2(IPOL)
IF(IPOL.EQ.2) UHKRJ=.FALSE.
5752 UHKRK=.TRUE.
IPOL=POLKO(KMUT)
IF(IPOL.EQ.0)
IPOL=KZF2(IPOL)
IF(IPOL.EQ.2) UHKRK=.FALSE.

GOTO 5751

GOTO 5752

GOTO 5753

C

5753 DIFUIJ=UHKNJ-UHKNI
DIFUKI=UHKNI-UHKNK
DIFUJK=UHKNK-UHKNJ
UHKIJ=(UHKNI+UHKNJ)/2.
UHKKI=(UHKNI+UHKNK)/2.
UHKJK=(UHKNJ+UHKNK)/2.
IF(KZT.NE.3)
IF(VZIMUV.GE.0)

GOTO 607

GOTO 590

```

IF(L.NE.K)                                GOTO 5826
LAMIJ=FXF(L)
LAMKI=LAMIJ
LAMJK=LAMIJ
GOTO 584
5826 CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,ABS(DIFUIJ),LAMIJ,BOXF)
CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,ABS(DIFUKI),LAMKI,BOXF)
584 UGIJ=LAMIJ*SIJ*DIFUIJ
UGKI=LAMKI*SKI*DIFUKI
GO TO 717
590 IF(VZJMUH.GE.0)                        GOTO 598
IF(L.NE.K)                                GOTO 5905
LAMIJ=FXF(L)
LAMKI=LAMIJ
LAMJK=LAMIJ
GOTO 593
5905 CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,ABS(DIFUIJ),LAMIJ,BOXF)
CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,ABS(DIFUJK),LAMJK,BOXF)
593 UGIJ=LAMIJ*SIJ*DIFUIJ
UGJK=LAMJK*SJK*DIFUJK
GO TO 717
598 IF(VZKMUT.GE.0)                        GOTO 717
IF(L.NE.K)                                GOTO 5985
LAMIJ=FXF(L)
LAMKI=LAMIJ
LAMJK=LAMIJ
GOTO 601
5985 CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,ABS(DIFUKI),LAMKI,BOXF)
CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,ABS(DIFUJK),LAMJK,BOXF)
601 UGKI=LAMKI*SKI*DIFUKI
UGJK=LAMJK*SJK*DIFUJK
GO TO 717
607 IF(KZT.NE.4)                            GOTO 631
CALL M A T E R I (NRM,BOXF)
GO TO 717
631 IF(KZT.NE.13) GO TO 717
IF(L.NE.K) GO TO 6319
LAMIJ=FXF(L)
LAMKI=LAMIJ
LAMJK=LAMIJ
GOTO 635
6319 CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,ABS(DIFUIJ),LAMIJ,BOXF)
CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,ABS(DIFUKI),LAMKI,BOXF)
CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,ABS(DIFUJK),LAMJK,BOXF)
635 NZ=NRM+1
L=N1MAF(NZ)
K=N2MAF(NZ)
IF(L.NE.K) GO TO 6383
EPSGI=FXF(L)
EPSGJ=EPSGI
EPSGK=EPSGI
GOTO 642
6383 IF(VZIMUV.LT.0.)CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNI,EPSGI,BOXF)
IF(VZJMUH.LT.0.)CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNJ,EPSGJ,BOXF)
IF(VZKMUT.LT.0.)CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNK,EPSGK,BOXF)
642 NZ=NRM+2
L=N1MAF(NZ)

```

```

K=N2MAF(NZ)
IF(L.NE.K)          GO TO 6453
EPSOI=FXF(L)
EPSOJ=EPSOI
EPSOK=EPSOI
GOTO 649
6453 IF(UHKRI)      CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNI,EPSOI,BOXF)
      IF(UHKRJ)      CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNJ,EPSOJ,BOXF)
      IF(UHKRK)      CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNK,EPSOK,BOXF)
649  NZ=NRM+3
      L=N1MAF(NZ)
      K=N2MAF(NZ)
      IF(L.NE.K)          GOTO 6523
      PHI=FXF(L)
      GO TO 655
6523 WRITE(NAM,6524)  NZ
6524  FORMAT(1H ,5X,'KEINE TEMP. ABH. BEI FUNKTION-NR',I6)
      BOX1 = .TRUE.
      RETURN
655  IF(KZF.NE.2)          GOTO 663
      NZ=NRM+4
      L=N1MAF(NZ)
      K=N2MAF(NZ)
      IF(L.NE.K)          GOTO 6583
      AOI=FXF(L)
      AOJ=AOI
      AOK=AOI
      GOTO 663
6583 IF(UHKRI)      CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNI,AOI,BOXF)
      IF(UHKRJ)      CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNJ,AOJ,BOXF)
      IF(UHKRK)      CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D,UHKNK,AOK,BOXF)
663  IF(VZIMUV.GE.0.)          GOTO 680
      UHKNG=(UHKNI+273.)/100.
      UHKNG=UHKNG*UHKNG
      UHKNG=UHKNG*UHKNG
      AZW=(UHKNJ+273.)/100.
      AZW=AZW*AZW
      AZW=AZW*AZW
      BZW=(UHKNK+273.)/100.
      BZW=BZW*BZW
      BZW=BZW*BZW
      IF(KZF.NE.1)          GOTO 674
      UGIJ=SIJ*(LAMIJ*DIFUIJ-EPSOJ*5.67*EPSGI*PHI*(UHKNG-AZW))
      UGKI=SKI*(LAMKI*DIFUKI+EPSOK*5.67*EPSGI*PHI*(UHKNG-BZW))
      GO TO 717
674  IF(KZF.NE.2)          GOTO 717
      UGIJ=SIJ*(LAMIJ*DIFUIJ-5.67*PHI*(EPSGI*AOJ*UHKNG-EPSOJ*AZW))
      UGKI=SKI*(LAMKI*DIFUKI+5.67*PHI*(EPSGI*AOK*UHKNG-EPSOK*BZW))
      GO TO 717
680  IF(VZJMUH.GE.0)          GOTO 697
      UHKNG=(UHKNJ+273.)/100.
      UHKNG=UHKNG*UHKNG
      UHKNG=UHKNG*UHKNG
      AZW=(UHKNI+273.)/100.
      AZW=AZW*AZW
      AZW=AZW*AZW
      BZW=(UHKNK+273.)/100.

```



```

BZW=BZW*BZW
BZW=BZW*BZW
IF(KZF.NE.1)                                GOTO 691
UGIJ=SIJ*(LAMIJ*DIFUIJ+EPSOI*5.67*EPSGJ*PHI*(UHKNG-AZW))
UGJK=SJK*(LAMJK*DIFUJK-EPSOK*5.67*EPSGJ*PHI*(UHKNG-BZW))
GO TO 717
691 IF(KZF.NE.2)                                GOTO 717
UGIJ=SIJ*(LAMIJ*DIFUIJ+5.67*PHI*(EPSGJ*AOI*UHKNG-EPSOI*AZW))
UGJK=SJK*(LAMJK*DIFUJK-5.67*PHI*(EPSGJ*AOK*UHKNG-EPSOK*BZW))
GO TO 717
697 IF(VZKMUT.GE.0)                            GO TO 717
UHKNG=(UHKNK+273.)/100.
UHKNG=UHKNG*UHKNG
UHKNG=UHKNG*UHKNG
AZW=(UHKNI+273.)/100.
AZW=AZW*AZW
AZW=AZW*AZW
BZW=(UHKNJ+273.)/100.
BZW=BZW*BZW
BZW=BZW*BZW
IF(KZF.NE.1)                                GOTO 708
UGKI=SKI*(LAMKI*DIFUKI-EPSOI*5.67*EPSGK*PHI*(UHKNG-AZW))
UGJK=SJK*(LAMJK*DIFUJK+EPSOJ*5.67*EPSGK*PHI*(UHKNG-BZW))
GO TO 717
708 IF(KZF.NE.2)                            GO TO 717
UGKI=SKI*(LAMKI*DIFUKI-5.67*PHI*(EPSGK*AOI*UHKNG-EPSOI*AZW))
UGJK=SJK*(LAMJK*DIFUJK+5.67*PHI*(EPSGK*AOJ*UHKNG-EPSOJ*BZW))
C
C***AUFSUMMIERUNG DER KNOTENSTROEME
C
717 GKNF(IMUV)=GKNF(IMUV)-UGKI+UGIJ
GKNF(JMUH)=GKNF(JMUH)-UGIJ+UGJK
GKNF(KMUT)=GKNF(KMUT)-UGJK+UGKI
718 CONTINUE
RETURN
END
C
SUBROUTINE RUNGE(H, ZEIT, UHKN, UHZWF, DKMAX, BOXF, BOXM)
LOGICAL BOXM, BOXF
DIMENSION SUMKF(500), UHKN(500), UHZWF(500)
INTEGER AUS, STERN, POLKO, TEXT, UEMA
REAL KIF, LX, LY, MCKNF, KZW
COMMON
*
*   AUS, NMA, NTRIGE, NBLOCK, NITER, NKN, NKNI, NKNU, NLA, NLISTE,
*   NLR, NMAKO, NMAXIT, NFKDUM, NDYN, NMALI, NKNIB, NR, NMALIE, NRI, NTRI,
*   N1, N2, N3, STERN,
*
*
*   KNI(1000), KNJ(1000), KNK(1000), KZF1(50), KZF2(50), NRMA(1000),
*   N1MAF(50), N2MAF(50), POLKO(500), TEXT(81), UEMA(81),
*
*   DELMAX, DK1MAX, HXX, HMIN, HMAX, SIJ, SKI, SJK,
*
*   A(275), B(275), C(275), D(275), FXF(275), GKNF(500), KIF(500),
*   LX(500), LY(500), MCKNF(500), SIJF(1000), SKIF(1000), SJKF(1000),
*   UHKN1F(500), UHKNF(500), VIF(1000), VJF(1000), VKF(1000),
*   VZWF(3), XF(275)

```

```

C      HHALBE=0.5*H
      DKMAX=0.
C
C      *BOXK1*
C
      CALL D T H N D T (UHKN, ZEIT, BOXF, BOXM)
      IF (BOXM) RETURN
      DO 736 I = 1, NKN
      IPOL=POLKO(I)
      IF (KZF2(IPOL).EQ.2)          GOTO 736
      KZW=GKNF(I)/MCKNF(I)
      SUMKF(I)=KZW
      UHZWF(I)=UHKN(I)+HHALBE*KZW
736 CONTINUE
C
C      *BOXK2*
C
      CALL D T H N D T (UHZWF, ZEIT+HHALBE, BOXF, BOXM)
      IF (BOXM) RETURN
      DO 743 I = 1, NKN
      IPOL=POLKO(I)
      IF (KZF2(IPOL).EQ.2)          GOTO 743
      KZW=GKNF(I)/MCKNF(I)
      KIF(I)=KZW
      SUMKF(I)=SUMKF(I)+2*KZW
      UHZWF(I)=UHKN(I)+HHALBE*KZW
743 CONTINUE
C
C      *BOXK3*
C
      CALL D T H N D T (UHZWF, ZEIT+HHALBE, BOXF, BOXM)
      IF (BOXM) RETURN
      DO 753 I = 1, NKN
      IPOL=POLKO(I)
      IF (KZF2(IPOL).EQ.2)          GOTO 753
      AZW=KIF(I)
      KZW=GKNF(I)/MCKNF(I)
      SUMKF(I)=SUMKF(I)+2*KZW
      UHZWF(I)=UHKN(I)+H*KZW
      KZW=ABS(AZW-KZW)
      IF (KZW.GT.DKMAX)          DKMAX=KZW
753 CONTINUE
C
C      *BOXK4*
C
      CALL D T H N D T (UHZWF, ZEIT+H, BOXF, BOXM)
      IF (BOXM) RETURN
      AZW=H/6.
      DO 759 I=1, NKN
      IPOL=POLKO(I)
      IF (KZF2(IPOL).EQ.2)          GOTO 759
      KZW=GKNF(I)/MCKNF(I)
      UHZWF(I)=AZW*(SUMKF(I)+KZW)+UHKN(I)
759 CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

BLOCK DATA
DIMENSION IS(80),IZ(28)
COMMON/DEA/ IS,IZ,NS
DATA IZ/'0','1','2','3','4','5','6','7','8','9',' ',' ',' ',' ',' ',' ',
*      'D','A','T','C','O','-','1H','(',' ')','%','!','E','/',' ',
*      '*',';','/
END
INTEGER DN, DNPLUS, DIMV, SORT, VZIMUV, VZJMUH, VZKMUT, ZW1, ZW2
INTEGER AUS, STERN, POLKO, POS, TEXT, UEMA

REAL KIF, LX, LY, MCKNF, LIJ, LIK, LJK, LAMBDA, LAENG2
LOGICAL BAND, BOX1, BOXF, BOX9, BOX91, BOOFCT, HALT
DIMENSION IS(80), IZ(28)
COMMON
*
*   AUS, NMA, NTRIGE, NBLOCK, NITER, NKN, NKNI, NKNU, NLA, NLISTE,
*   NLR, NMAKO, NMAXIT, NFKDUM, NDYN, NMALI, NKNIB, NR, NMALIE, NRI, NTRI,
*   N1, N2, N3, STERN,
*
*
*   KNI(1000), KNJ(1000), KNK(1000), KZF1(50), KZF2(50), NRMA(1000),
*   N1MAF(50), N2MAF(50), POLKO(500), TEXT(81), UEMA(81),
*
*   DELMAX, DK1MAX, H, HMIN, HMAX, SIJ, SKI, SJK,
*
*   A(275), B(275), C(275), D(275), FXF(275), GKNF(500), KIF(500),
*   LX(500), LY(500), MCKNF(500), SIJF(1000), SKIF(1000), SJKF(1000),
*   UHKN1F(500), UHKNF(500), VIF(1000), VJF(1000), VKF(1000),
*   VZWF(3), XF(275),
*
*   BOX1, BOXF
COMMON/SDR/NAM
COMMON/EXTRA/LAMBDA
COMMON/DEA/IS, IZ, NS

```

```

C
C   ***BOX1***
C
   NAM=4
   DN=60
   NS=80
   BAND=.FALSE.

```

```

C
C   ***BOX10***
C
10 AUS=0
   CALL RECALL(DN, 4, I, R, TEXT, HALT)
   IF(HALT)      GOTO 990
   CALL RECALL(DN, 1, NR, R, TEXT, HALT)
   IF(HALT)      GOTO 950
   CALL RECALL(DN, 3, I, R, TEXT, HALT)
   IF(HALT)      GOTO 950
   CALL RECALL(DN, 1, NKN, R, TEXT, HALT)
   IF(HALT)      GOTO 950
   CALL RECALL(DN, 1, NTRIGE, R, TEXT, HALT)
   IF(HALT)      GOTO 950
   CALL RECALL(DN, 1, NMAXIT, R, TEXT, HALT)
   IF(HALT)      GOTO 950
   CALL RECALL(DN, 2, I, EPS, TEXT, HALT)
   IF(HALT)      GOTO 950

```

```

CALL RECALL(DN,2,I,EPS10,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,2,I,TIMEN,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,2,I,TIME2,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,2,I,DK2MAX,TEXT,HALT)
IF (HALT) GO TO 950
CALL RECALL(DN,2,I,ZEIT1,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,2,I,DZEIT,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,2,I,ZEIT2,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
NKN=P O S (NKN)
IF(ZEIT1.LT.0.)   ZEIT1=0.
DZEIT=ABS(DZEIT)
ZEIT2=ABS(ZEIT2)
IF(ZEIT2.GT.0..AND.DZEIT.EQ.0.)  DZEIT=(ZEIT2-ZEIT1)/10.
C
C   ***BOX2***
C
DO 100 I=1,NKN
LX(I)=-10000.
LY(I)=-10000.
POLKO(I)=0
MCKNF(I)=0.
100 GKNF(I)=0.
C
C   ***BOX3***
C
CALL U E B E R S (NAM)
WRITE(NAM,110)
110 FORMAT(1H0,/,1X,'KARTESISCHE BZW.POLARKOORDINATEN DER KNOTENPKTE.
*' ,/,2X,'KNOTEN-NR',14X,'X IN M',14X,'Y IN M',14X,'R IN M',
*      9X,'PHI IN GRAD',///)
CALL RECALL(DN,1,NRI,R,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
IF(NRI.GT.NKN)   NRI=NKN
C
DO 120 K=1,NRI
CALL RECALL(DN,2,I,XS,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,1,KK,R,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,1,IMUV,R,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,1,DIMV,R,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,1,IMOV,R,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL INPR(NKN,IMUV,DIMV,IMOV,IMUV,DIMV,IMOV)
DO 120 I=IMUV,IMOV,DIMV
LX(I)=XS
IF(KK.GT.0)  POLKO(I) = 1
120 CONTINUE
CALL RECALL(DN,1,NRI,R,TEXT,HALT)

```

```

IF(HALT)          GOTO 950
IF(NRI.GT.NKN)   NRI=NKN
DO 130 K=1,NRI
CALL RECALL(DN,2,I,XS,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,1,KK,R,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,1,IMUV,R,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,1,DIMV,R,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL RECALL(DN,1,IMOV,R,TEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 950
CALL I N P R (NKN,IMUV,DIMV,IMOV,IMUV,DIMV,IMOV)
C
DO 130 I=IMUV,IMOV,DIMV
LY(I)=XS
IF(KK.GT.0) POLKO(I)=POLKO(I)+1
130 CONTINUE
C
DO 150 K=1,NKN
ELX=LX(K)
ELY=LY(K)
KK=POLKO(K)
IF(.NOT.(KK.EQ.2.OR.KK.EQ.0.AND.ELX.GT.-9999.AND.
*ELY.GT.-9999.)) GOTO 135
IF(KK.NE.2) GOTO 1401
RR=ABS(ELX)
AZW=0.01745329252*ELY
XS=RR*COS(AZW)
LX(K)=XS
YS=RR*SIN(AZW)
LY(K)=YS
GO TO 140
135 AUS=1
WRITE(NAM,137) K
137 FORMAT(1H , 'DATENFEHLER BEI KOORDINANTENVORGABE IN KNOTEN',I12)
140 IF(KK.EQ.2) GOTO 141
1401 WRITE(NAM,142) K,ELX,ELY
142 FORMAT(1H ,I10,2F20.5)
GOTO 150
141 WRITE(NAM,143) K,XS,YS,ELX,ELY
143 FORMAT(1H ,I10,4F20.5)
150 CONTINUE
C
C ***BOX4***
C
WRITE(NAM,152)
152 FORMAT(1H0,/,/, ' FUNKTIONSLISTE' ,/)
CALL RECALL(DN,1,NMA,R,TEXT,HALT)
IF(HALT) GOTO 950
CALL RECALL(DN,1,NMALI,R,TEXT,HALT)
IF(HALT) GOTO 950
NMA=P O S (NMA)
IF(NMALI.LE.0) NMALI=20*NMA
K=0
C

```

```

DO 300 I=1,NMA
WRITE(NAM,153)I
153 FORMAT(1H /1X,'FUNKTIONS NR.',I6)
CALL RECALL (DN,3,I,R,UEMA,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
CALL O U T T E X (NAM,UEMA)
CALL RECALL (DN,1,NLA,R,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
CALL RECALL (DN,1,KZT,R,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
CALL RECALL (DN,1,KZF,R,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
C
BOOFCT = .FALSE.
IF(NLA.GE.0) GO TO 4131
NLA = -NLA
BOOFCT = .TRUE.
CALL RECALL (DN,2,I,AZW,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
4131 CONTINUE
DO 250 J=1,NLA
K=K+1
CALL RECALL (DN,2,I,TE,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
CALL RECALL (DN,2,I,LAMBDA,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GOTO 950
IF(KZT.NE.1.AND.KZT.NE.12) GOTO 161
WRITE(NAM,227) I
161 IF(J.NE.1) GOTO 230
WRITE(NAM,162)
162 FORMAT(1H /,5X,'INDEX')
IF(KZT.NE.2) GOTO 165
WRITE(NAM,163)
163 FORMAT(1H+,21X,'ZEIT IN S')
GO TO 1661
C
165 WRITE(NAM,166)
166 FORMAT(1H+,15X,'TEMP. IN GRAD C')
1661 IF(KZT.GT.17.OR.KZT.LT.2) GOTO 210
GOTO (210,170,173,175,178,180,210,210,210,210,210,210,190,193,195,
A 200,205),KZT
170 WRITE(NAM,172)
172 FORMAT(1H+,37X,'TKN IN GRAD C')
GOTO 220
173 WRITE(NAM,174)
174 FORMAT(1H+,32X,'ALPHA IN W/(M*M*K)')
GOTO 220
175 WRITE(NAM,177)
177 FORMAT(1H+,31X,' LAMBDA IN W/(M*K)')
GOTO 220
178 WRITE(NAM,179)
179 FORMAT(1H+,34X,' C IN J/(KG*K)')
GOTO 220
180 WRITE(NAM,182)
182 FORMAT(1H+,33X,'RHO IN KG/(M*M*M)')
GOTO 220
190 WRITE(NAM,192)

```

```

192 FORMAT(1H+,31X,'ALPHAK IN W/(M*M*K)')
                                                    GOTO 220
193 WRITE(NAM,194)
194 FORMAT(1H+,44X,'EPSGES')
                                                    GOTO 220
195 WRITE(NAM,197)
197 FORMAT(1H+,44X,'EPSOFF')
                                                    GOTO 220
200 WRITE(NAM,202)
202 FORMAT(1H+,47X,'PHI')
                                                    GOTO 220
205 WRITE(NAM,207)
207 FORMAT(1H+,46X,'AABS')
                                                    GOTO 220
210 WRITE(NAM,212)
212 FORMAT(1H+,50X)
220 WRITE(NAM,222)
222 FORMAT(1H+,57X,'KZT',7X,'KZF')
    IF(.NOT.BOOFCT) WRITE(NAM,2222)
2222 FORMAT(1H )
    IF(BOOFCT) WRITE(NAM,2221)
2221 FORMAT(1H+,75X,'FXFVORH/FXFORIG'//)
    IF(.NOT.(KZT.GT.13.OR.KZT.GT.4.AND.KZT.LT.12)) GOTO 4301
    IF(.NOT.(KZF2(I-1).NE.KZT-1.OR.KZF1(I-1).NE.KZF)) GO TO 4301
    WRITE(NAM,227) I
227 FORMAT(1H ,5X,'FALSCH KENNZIFFER KZ IN FKT-NR.',I10)
    AUS=1
    GO TO 4301
230 IF(TE-XF(K-1).GT.0)
                                                    GOTO 4301
    AUS=1
    WRITE(NAM,232) I
232 FORMAT(1H ,5X,'FALLENDE X-WERTE BEI FKT-NR',I10)
4301 IF(BOOFCT) LAMBDA = LAMBDA*AZW
    XF(K)=TE
    FXF(K)=LAMBDA
    WRITE(NAM,242) K,TE,LAMBDA,KZT,KZF
242 FORMAT(1H ,I9,1X,F20.2,F20.5,2I10)
    IF(BOOFCT) WRITE(NAM,4341) AZW
4341 FORMAT(1H+,70X,F20.5)
250 CONTINUE
C
    L = K-NLA+1
    N1MAF(I) = L
    N2MAF(I) = K
    KZF1(I) =KZF
    KZF2(I) =KZT
    IF(NLA.GT.1) CALL S P L I K O (L,K,XF,FXF,A,B,C,D)
300 CONTINUE
    NMALIE=K
C
C ***BOX41***
C
    CALL RECALL (DN,1,NMAKO,R,TEXT,BOX1)
    IF(BOX1) GO TO 950
    NMAKO=P O S (NMAKO)
    NKNU=0
    NTRI=0

```

```

C
310 DO 320 I=1,NMAKO
      NRMA(I)=0
      KNI(I)=0
      KNJ(I)=0
      KNK(I)=0
      VIF(I)=0
      VJF(I)=0
      VKF(I)=0
      SIJF(I)=0
      SKIF(I)=0
320 SJKF(I)=0
C
C
      DO 321 I = 1,NKN
321 POLKO(I)=0
      J=0
      II=1
C
C   ***BOX411***
C
325 WRITE(NAM,322)
322 FORMAT(1H ///1X,'KONFIGURATIONSLISTE'///
A      1X,'D-NR',
A      1X,'NRM',
A      1X,'KZT',
A      1X,'KZF',
A      1X,'KNI',
A      1X,'KNJ',
A      1X,'KNK',
A      2X,'LIJ IN M',
A      2X,'LIK IN M',
A      2X,'LJK IN M',
A      5X,'SIJ',
A      7X,'SKI',
A      7X,'SJK',
A      3X,'AI IN M*M',
A      1X,'AJ IN M*M',
A      1X,'AK IN M*M'///)
C
      I=II
510 CALL RECALL (DN,1,NRM,R,TEXT,BOX1)
      IF(BOX1) GO TO 950
      CALL U E B E R P(I,1,NMA,NRM)
      CALL RECALL (DN,1,IMUV,R,TEXT,BOX1)
      IF(BOX1) GO TO 950
      CALL RECALL (DN,1,JMUH,R,TEXT,BOX1)
      IF(BOX1) GO TO 950
      CALL RECALL (DN,1,KMUT,R,TEXT,BOX1 )
      IF(BOX1) GO TO 950
      IF(KZF2(NRM).LE.2) GOTO 330
      CALL U E B E R P (I,1,NKN,IMUV)
      CALL U E B E R P (I,1,NKN,JMUH)
      CALL U E B E R P (I,1,NKN,KMUT)
GOTO 340
330 CALL U E B E R P (I,0,NKN,IMUV)
      CALL U E B E R P (I,0,NKN,JMUH)

```



```

CALL U E B E R P (I,O,NKN,KMUT)
340 IF(.NOT.(NRM.NE.O.AND.(IMUV.NE.O.OR.JMUH.NE.O.OR.KMUT.NE.O)))
A
CALL V E R T A U (IMUV,JMUH)
CALL V E R T A U (JMUH,KMUT)
CALL V E R T A U (IMUV,JMUH)
GOTO 350
350 NMAKO=NMAKO-1
II = I
GOTO 325
360 KZF=KZF1(NRM)
KZT=KZF2(NRM)
IF(KZT.LE.2) GOTO 400
IF(.NOT.(((IMUV.GT.O.AND.JMUH.GT.O.AND.KMUT.GT.O).OR.
A (IMUV.LT.O.AND.JMUH.LT.O).OR.
A (JMUH.LT.O.AND.KMUT.LT.O).OR.
A (IMUV.LT.O.AND.KMUT.LT.O)). AND .
A ((KZT.EQ.3.OR.KZT.EQ.13).OR.
A (IMUV.LT.O.OR.JMUH.LT.O.OR.KMUT.LT.O). AND .
A (KZT.EQ.4)))) GOTO 370
AUS=1
WRITE(NAM,362) IMUV,JMUH,KMUT
362 FORMAT(1H ,1X,'FALSCH E RICHTUNGS- UND FUNKTIONSVORGABE IN
A DREIECKSELEMENT'/1X,'I=',I10,' J=',I10,' K=',I10)
C
370 K=0
IF(I.LE.1.OR.AUS.NE.O) GOTO 385
IM1=I-1
DO 380 J=1,IM1
IF(NRMA(J).EQ.NRM.AND.KNI(J).EQ.IMUV.AND.
A KNJ(J).EQ.JMUH.AND.KNK(J).EQ.KMUT) K=1
380 CONTINUE
385 IF(K.EQ.0) NTRI=NTRI+1
IF(K.EQ.0) GOTO 450
NMAKO=NMAKO-1
II=I
GOTO 325
400 IF(KZT.NE.2) GOTO 450
DO 430 IHILF=1,3
GOTO (401,402,403),IHILF
401 IHILF1=IMUV
GOTO 405
402 IHILF1=JMUH
GOTO 405
403 IHILF1=KMUT
405 IH=P O S (IHILF1)
IF(IH.LE.0) GOTO 430
IF(POLKO(IH).NE.O) GOTO 420
POLKO(IH) = NRM
NKNU=NKNU+1
GOTO 430
420 GOTO (4201,4202,4203), IHILF
4201 IMUV=0
GOTO 430
4202 JMUH=0
GOTO 430
4203 KMUT=0

```

```

430 CONTINUE
450 IF(IMUV.NE.0.OR.JMUH.NE.0.OR.KMUT.NE.0)      GOTO 460
    NMAKO=NMAKO-1
    II=I
                                                    GOTO 325
460 CALL V E R T A U    (IMUV,JMUH)
    CALL V E R T A U    (JMUH,KMUT)
    CALL V E R T A U    (IMUV,JMUH)
    LIK=0.
    LJK=0.
    LIJ=0.
    SIJ=0.
    SJK=0.
    SKI=0.
    VI=0.
    VJ=0.
    VK=0.
    IF(AUS.NE.0)      GOTO 500
    NRMA(I)=NRM
    KNI(I)=IMUV
    KNJ(I)=JMUH
    KNK(I)=KMUT
    IF(.NOT.(KZT.EQ.13.OR.KZT.EQ.3.OR.KZT.EQ.4)) GOTO 500
    VZIMUV=I S I G N U (IMUV)
    VZJMUH=I S I G N U (JMUH)
    VZKMUT=I S I G N U (KMUT)
    LIJ=L A E N G 2(IMUV,JMUH)
    LJK=L A E N G 2(JMUH,KMUT)
    LIK=L A E N G 2(IMUV,KMUT)
    IF(KZT.NE.4)  GO TO 480
    WI=C O T C (LIK,LIJ,LJK)
    WJ=C O T C (LIJ,LJK,LIK)
    WK=C O T C (LIK,LJK,LIJ)
    IF(.NOT.(WI.LT.-0.001.OR.WJ.LT.-0.001.OR.WK.LT.-0.001)) GOTO 470
    WRITE(NAM,462) IMUV,JMUH,KMUT
462 FORMAT(1H ,2X,'WINKEL GROESSER 90 GRAD IN DREIECKSELEMENT',3I12)
    AUS=1
470 SIJF(I)=WK/2.
    SIJ=WK/2.
    SJK=WI/2.
    SJKF(I)=WI/2.
    SKI=WJ/2.
    SKIF(I)=WJ/2.
    VI=(LIK*WJ+LIJ*WK)/8.
    VIF(I)=VI
    VJ=(LIJ*WK+LJK*WI)/8.
    VJF(I)=VJ
    VK=(LJK*WI+LIK*WJ)/8.
    VKF(I)=VK
                                                    GOTO 500
480 IF(KZT.NE.3.AND.KZT.NE.13)      GOTO 500
    IF(VZIMUV.GE.0.OR.VZJMUH.LE.0.OR.VZKMUT.LE.0) GOTO 485
    SQRTJK=SQRT(LJK)
    SIJ=0.5*SQRTJK
    SKI=SIJ
    SIJF(I)=SIJ
    SKIF(I)=SIJ

```

```

                                                    GOTO 500
485 IF(VZJMUH.GE.0.OR.VZIMUV.LE.0.OR.VZKMUT.LE.0) GOTO 490
    SQRTIK=SQRT(LIK)
    SIJ=0.5*SQRTIK
    SJK=SIJ
    SIJF(I)=SIJ
    SJKF(I)=SIJ

                                                    GOTO 500
490 IF(VZKMUT.GE.0.OR.VZIMUV.LE.0.OR.VZJMUH.LE.0) GOTO 500
    SQRTIJ=SQRT(LIJ)
    SKI=0.5*SQRTIJ
    SJK = SKI
    SKIF(I)=SKI
    SJKF(I)=SKI
500 SQRTIJ=SQRT(LIJ)
    SQRTIK=SQRT(LIK)
    SQRTJK =SQRT(LJK)
    WRITE(NAM,512)I,NRM,KZT,KZF,IMUV,JMUH,KMUT,SQRTIJ,SQRTIK,SQRTJK,
A      SIJ,SKI,SJK,VI,VJ,VK
512 FORMAT(1H ,7(I4),3(F10.5),6(1X,E9.4))
    I=I+1
    IF(I.LE.NMAKO) GOTO 510
525 IF(NTRI.EQ.NTRIGE ) GOTO 530
    AUS=1
    WRITE(NAM,527)NTRI,NTRIGE
527 FORMAT(1H ,2X,'NTRI UNGLEICH NTRIGES',2I12)
C
C ***BOX412***
C
530 WRITE(NAM,532) NKN,NTRIGE,ZEIT1,DZEIT,ZEIT2,NMA,NMALI,NMALIE,
A      NMAKO,NTRI,NKNU
532 FORMAT(1H ///2X,'KNOTENZAHL',25X,'NKN=',17X,I3/2X,
A      'ANZAHL DER DREIECKSELEMENTE',4X,'NTRIGES=',17X,I3/2X,
A      'ZEITANFANG IN S',18X,'ZEIT1=',3X,G17.5/2X,
A      'ZEITSCHRITTWEITE IN S',12X,'DZEIT=',3X,G17.5/2X,
A      'ZEITENDE IN S',20X,'ZEIT2=',3X,G17.5/2X,
A      'ANZAHL DER FUNKTIONEN',14X,'NMA=',17X,I3/2X,
A      'ANZAHL DER FUNKTIONSWERTEPAARE',3X,'NMALI=',17X,I3/2X,
A      'ANZAHL DER FUNKTIONSWERTEPAARE,NMALIEFF=',17X,I3/2X,
A      'ANZAHL D. DREIECKSKONFIGURATIONEN,NMAKO=',17X,I3/2X,
A      'ANZAHL DER DREIECKSELEMENTE',7X,'NTRI=',17X,I3/2X,
A      'KNOTENANZAHL MIT TEMP.RAND.BED.',4X,'NKNT=',17X,I3/2X)
C
C ***BOX43***
C
    DO 550 I=1,NKN
550 UHKNF(I)=-10000.
    WRITE(NAM,552)
552 FORMAT(1H //2X,'LISTE DER ANFANGSKONFIGURATIONEN',
A      //4X,'KONF-NR',7X,'KZT',7X,'TKN IN GRAD C',
A      6X,'IKNU',6X,'DIKN',6X,'IKNO'/)
C
C ***BOX431***
C
    CALL RECALL (DN,1,NLR,R,TEXT,BOX1)
    IF(BOX1) GO TO 950
C

```

C...EINSPEICHERN UND AUSDRUCKEN DER ANFANGSKONFIGURATIONEN

```
C
DO 560 K=1,NLR
CALL RECALL (DN,1,KZT,R,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
CALL RECALL (DN,2,I,XS,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
CALL RECALL (DN,1,IMUV,R,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
CALL RECALL (DN,1,DIMV,R,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
CALL RECALL (DN,1,IMOV,R,TEXT,BOX1)
IF(BOX1) GO TO 950
CALL I N P R (NKN,IMUV,DIMV,IMOV,IMUV,DIMV,IMOV)
DO 555 I=IMUV,IMOV,DIMV
UHKNF(I)=XS
555 CONTINUE
WRITE(NAM,5621) K,KZT,XS,IMUV,DIMV,IMOV
5621 FORMAT(1H ,2I10,F20.5,3I10)
560 CONTINUE
ZEIT=ZEIT1
```

C
C...UEBERSPEICHERN TEMPERATUR-RANDFUNKTIONEN

```
C
DO 600 I=1,NKN
NRM=POLKO(I)
IF(NRM.LE.0) GOTO 600
KZF=KZF1(NRM)
KZT=KZF2(NRM)
IF(KZT.NE.2) GOTO 600
K=N2MAF(NRM)
IF(KZF.NE.2) GOTO 570
DT=XF(K)
IF(ZEIT.GT.DT) GOTO 570
UHKNF(I)=(FXF(K)-20)*ZEIT/DT+20
GOTO 600
570 UHKNF(I)= FXF(K)
600 CONTINUE
```

C
C...UEBERPRUEFEN AUF VOLLSTAENDIGKEIT DER RANDTEMPERATUREN
C...UND VORBELEGUNG UHKN1F(I)

```
C
DO 620 I=1,NKN
AZW=UHKNF(I)
UHKN1F(I)=AZW
IF(AZW.GE.-9999.) GOTO 620
AUS=1
WRITE(NAM,612)I
612 FORMAT(1H ,2X,'FEHLENDE ANFANGSTEMPERATUR-VORGABE IN KNOTEN-NR',
A I10)
620 CONTINUE
```

C
C ***BOX45***

```
C
H=TIMEN
DK1MAX=0.
DELMAX=0.
```

```

C
  CALL U E B E R S (NAM)
  BOXF=.FALSE.
  CALL D R U K N F (ZEIT1)
C
C   ***BOX5***
C
  WRITE(NAM,722)
722 FORMAT(1H ,2X,'KNOTENTEMPATUREN TKN(I) IN GRAD C')
  CALL D R U F (UHKNF)
  IF(AUS.EQ.1)                                GOTO 10
  TIM=ZEIT1
  ENUL15=EPS/TIME2
C
C...ZEITSCHLEIFE
C
  ZEIT = ZEIT1
733 ZEIT = ZEIT + DZEIT
  IF(ZEIT.GT.ZEIT2+DZEIT/2.0)    GO TO 910
  IAUSDR=0
  HMIN=1.E10
  HMAX=0.
C
C   ***BOX51***
C
735 SORT=0
  DELM=H
  DKM=DK1MAX
  HDKM=DELMAX
  IF(DELM.LT.HMIN)    HMIN=H
  IF(DELM.GT.HMAX)    HMAX=H
  IF(TIM+2*H.LT.ZEIT)                                GOTO 740
  H=ABS(TIM-ZEIT)
  SORT=1
C
C   ***BOX514***
C
740 BOXF=.FALSE.
  CALL R U N G E (H,TIM,UHKNF,UHKN1F,DK1MAX,BOXF,BOX91)
  IF(BOX91)                                GOTO 920
  DELMAX=H*DK1MAX
  IF(DELMAX.LE.EPS)                                GOTO 750
  H=H/DK2MAX
  IF(SORT.EQ.0)                                GOTO 735
  IAUSDR=0
  GOTO 740
C
C   ***BOX517***
C
750 DO 800 I=1,NKN
  UHKNF(I)=UHKN1F(I)
800 CONTINUE
C
  TIM=TIM+H
  IF(ABS(TIM-ZEIT).LT.H/10.)    IAUSDR=1
  IF(NR.GE.0)                                GOTO 850
  CALL D R U K N F (TIM)

```

```

        WRITE(NAM,802)
802  FORMAT(1H /2X,'KNOTENTEMP. TKN(I) IN GRAD C')
        CALL D R U F (UHKNF)
C
850  NITER=0
        IF(SORT.EQ.1)                                GOTO 851
        IF(DELMAX.LT.ENUL15)  H=DK2MAX*H
        GOTO 735
851  IF(IAUSDR.EQ.0)                                GOTO 740
        H=DELM
        DK1MAX=DKM
        DELMAX=HDKM
        CALL D R U K N F (TIM)
        WRITE(NAM,852)
852  FORMAT(1H /2X,'KNOTENTEMPERATUREN TKN(I) IN GRAD C')
        CALL DRUF(UHKNF)
C
C      AUSDRUCK DER KNOTENSUMMENSTROEME BEI ECHTEN TEMPERATURRANDBEDINGUNGEN
C
        IF(NR.LT.1000000)  GO TO 733
        WRITE(NAM,853)
853  FORMAT(1H ,/,2X,'SUMMENKNOTENSTROEME',//,
*      2X,'NRM',
*      2X,'KZT',
*      2X,'KZF',
*      2X,'KNI',
*      4X,'SUMQHI IN W'/)
C
        CALL D T H N D T (UHKNF,TIM,BOXF,BOX91)
        IF(BOX91)          GOTO 920
C
        DO 854 I=1,NKN
        NRM=POLKO(I)
        IF(NRM.LE.0)          GOTO 854
        KZT=KZF2(NRM)
        IF(KZT.NE.2)          GOTO 854
        KZF=KZF1(NRM)
        QHEI=GKNF(I)
        WRITE(NAM,8540) NRM,KZT,KZF,I,QHEI
8540  FORMAT(4I5,E15.5)
854  CONTINUE
C
        GOTO 733
C
910  CALL U E B E R S (NAM)
                                           GOTO 950
C
920  CALL U E B E R S (NAM)
        WRITE(NAM,922)
922  FORMAT(1H 2X,'IRREPARABLER FEHLER')
C
950  WRITE(NAM,962)
962  FORMAT(1H /3X,'ENDE DER RECHNUNG')
        GOTO 10
990  STOP
        END

```

10.2 Listing Rechenprogramm L A M L K S
zur Bestimmung der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit
infolge Wärmetransport durch Wärmeleitung, Konvektion
und Strahlung in einem Hohlraum nach Kreith/Black

```

C   PROGRAM LAMLKS
C
C   FORTRAN-PROGRAMM PR1180/1 - VAX - 02.11.84 - BAM 2.44
C   FASSUNG VOM 29.11.88
C
C   BERECHNUNG DER AEQUIVALENTEN WAERMELEITFAEHIGKEIT INFOLGE
C   WAERMETRANSPORT DURCH WAERMELEITUNG, KONVEKTION UND STRAHLUNG
C   IN EINEM HOHLRAUM NACH KREITH/BLACK
C
C   - BESTIMMUNG DER FLAECHE DES POLYGONZUGS APOLY
C   - BESTIMMUNG DER ABMESSUNGEN BE = BMAX UND DE = APOLY/BMAX
C   DES AEQUIVALENTEN RECHTECKS AUF 0.001 M GENAU
C   - BERECHNUNG DER KONFIGURATIONSFAKTOREN FUER DAS AEQUIVALENTE
C   RECHTECK UNTER BENUTZUNG VON HOTTELS CROSSED-STRING-METHODE
C
C   FUER THETAM = THMU (DTHM) THMO UND DTHETA:
C
C   - TEMPF(1) = THETAM - DTHETA/2 + 273
C   TEMPF(2) = THETAM + DTHETA/2 + 273
C   - BERECHNUNG DES NETTOWAERMESTROMES DURCH DIE QUERSCHNITTS-
C   FLAECHE BMAX
C   - BERECHNUNG DER AEQUIVALENTEN WAERMELEITFAEHIGKEIT INFOLGE
C   WAERMETRANSPORT DURCH STRAHLUNG NACH DER BEZIEHUNG
C   LAMAEQSTR = DE * ABS(QNET/DTHETA) MIT DTHETA=THETAMAX-THETAMIN
C   - BERECHNUNG DER AEQUIVALENTEN WAERMELEITFAEHIGKEIT INFOLGE
C   WAERMETRANSPORT DURCH WAERMELEITUNG UND KONVEKTION NACH DER
C   BEZIEHUNG
C   LAMAEQLK = LAMLUFT * NU MIT NU = NUSSELTZAHL >= 1
C   - BERECHNUNG DER AEQUIVALENTEN WAERMELEITFAEHIGKEIT INFOLGE
C   WAERMETRANSPORT DURCH WAERMELEITUNG, KONVEKTION UND STRAHLUNG
C   NACH DER BEZIEHUNG
C   LAMAEQLKSTR = LAMAEQLK + LAMAEQSTR
C
C   BENOETIGTE DATEIEN:
C   KENNWERTE DER LUFT      FOR061
C
C   PROGRAMMBESCHRAENKUNGEN
C
C   KNOTENANZAHL, N                      1000
C   ANZAHL DER POLYGONZUEGE, NPOL        50
C
C   REIHENFOLGE DER EINGABEDATEN (FORMATFREI MAX. 7 STELLEN):
C
C   1.VOR JEDEM DATENBLOCK WIE 2. BIS 14.
C   /* IN DEN SPALTEN 1 UND 2,
C   DIE SPALTEN 4 BIS 80 KOENNEN BEL. KOMMENTAR ENTHALTEN
C   2.NR DES PROBLEMS,                      NO
C   3.TEXT BIS ZU 74 ZEICHEN, EINGESCHLOSSEN ZWISCHEN '( ' UND ' ) '
C   4.KNOTENANZAHL,                          N
C   5.VORGABE DER X-KOORDINATEN:
C   ANZAHL DER X-KONFIGURATIONEN,           NX
C   NX KONFIGURATIONEN WIE FOLGT:
C   X-KOORDINATE IN M,                       LX
C   ANZAHL DER KNOTEN,                       NNOL
C   NNOL KNOTENINDIZES                       KNOTENINDIZES
C   BEI NNOL = 0 ODER NNOL = -3 LAUFANWEISUNG
C   FUER DIE KNOTENNUMMERN IN DER FORM

```

```

C      ANFANGSINDEX, SCHRITTWEITE, ENDINDEX
C      6.VORGABE DER Y-KOORDINATEN:
C      ANZAHL DER Y-KONFIGURATIONEN,          NY
C      NY KONFIGURATIONEN WIE FOLGT:
C      Y-KOORDINATE IN M,                    LY
C      ANZAHL DER KNOTEN,                    NNOL
C      NNOL KNOTENINDIZES                    KNOTENINDIZES
C      BEI NNOL = 0 ODER NNOL = -3 LAUFANWEISUNG
C      FUER DIE KNOTENNUMMERN IN DER FORM
C      ANFANGSINDEX, SCHRITTWEITE, ENDINDEX
C      7.ANZAHL DER STRECKENZUEGE, DIE DEN HOHLRAUM BILDEN  NPOL
C      8.NPOL STRECKENZUGDATEN WIE FOLGT:
C      ANFANGSKNOTENINDEX,                  I1
C      ENDKNOTENINDEX,                      I2
C      DIE STRECKENZUEGE MUESSEN IN EINEM DREH-
C      SINN OHNE UNTERBRECHUNG VORGEGEBEN WERDEN
C      9.ANZAHL DER STRECKENZUEGE ZUR BESTIMMUNG DER
C      BREITE BE = BMAX DES AEQUIVALENTEN RECHTECKS      NPOLLM
C      10.NPOLLM STRECKENZUGDATEN WIE FOLGT:
C      ANFANGSKNOTENINDEX,                  I1
C      ENDKNOTENINDEX,                      I2
C      11.HOEHE DES HOHLRAUMS IN M          HE
C      12.EMISSIONSGRAD,                    EPSI
C      13.TEMPERATURDIFFERENZ IM AEQUIVALENTEN RECHTECK  DTHETA
C      14.MITTELTEMPERATUR IN FORM EINER LAUFANWEISUNG
C      ANFANGSWERT DER MITTELTEMPERATUR IN GRAD C,      THMU
C      SCHRITTWEITE DER MITTELTEMPERATUR IN K,          DTHM
C      ENDWERT      DER MITTELTEMPERATUR IN GRAD C,      THMO
C      15.WEITERE DATEN WIE 1 BIS 14, SONST
C      ALS ENDEZEICHEN
C      /* IN DEN SPALTEN 1 UND 2,
C      /* IN DEN SPALTEN 1 UND 2,
C      DIE SPALTEN 4 BIS 80 KOENNEN BELIEBIGEN KOMMENTAR ENTHALTEN

```

```

C-----
C      HAUPTPROGRAMM
C-----

```

```

C      REAL LAMSTR, LAMLK, LAMLKS
C      LOGICAL HALT
C
C      DIMENSION IAF(50), IEF(50), ISTRF(50), ISTRSF(50), ITSTF(1000, 2),
*      IXYF(2)
C      DIMENSION SIJF(50), XYF(50, 2)
C      COMMON/CINTE / N, NO
C      COMMON/CDIR  / IXYZ, XYCF(1000, 2)
C      COMMON/CIO   / NINP, NOUT
C      COMMON/CITEXT/ ITEXT(80)
C      COMMON/CONF  / CF(50, 50), DIST(50, 50)
C      COMMON/CRAD  / CFSF(50, 50), EPSF(50), TEMPF(50), QNET(50)
C      COMMON/CONV  / A(100), B(100), C(100), D(100), XF(100), FXF(100)
C
C      DATA IXYF /1HX, 1HY/
C
C...INITIALISIERUNGEN
C
C      10 IHPANF=0

```

!VAX


```

CALL LIB$INIT_TIMER(IHPANF)                                !VAX
NOUT=4
NINP=60
NDAT61=61
REWIND NDAT61
HALT=.FALSE.
C
C...FEHLERTOLERANZ
C
    EPS=1.OE-5
C
    CALL RECALL(4,I,R,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9990
    CALL RECALL(1,NO,R,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    CALL RECALL(3,I,R,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    CALL RECALL(1,N,R,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
C
    N=IABS(N)
C
    DO 30 J=1,2
    DO 30 I=1,N
    XYCF(I,J)=-10000.
    ITSTF(I,J)=0
30 CONTINUE
C
C...EINGABE UND AUSDRUCK DER KNOTENPUNKTSKOORDINATEN
C
    DO 70 J=1,2
    CALL RECALL(1,NXY,R,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    NXY=IABS(NXY)
C
    DO 70 I=1,NXY
    CALL RECALL(2,I,XY,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    CALL RECALL(1,NNOL,R,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    IF(NNOL.EQ.-3.OR.NNOL.EQ.0)          GOTO 50
    NNOL=IABS(NNOL)
    DO 40 K=1,NNOL
    CALL RECALL(1,INO,R,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    INO=IABS(INO)
    CALL I N P R (INO,INO,INO,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    ITSTF(INO,J)=ITSTF(INO,J)+1
    XYCF(INO,J)=XY
40 CONTINUE
    GOTO 70
C
50 CALL RECALL(1,I1,R,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    CALL RECALL(1,IDI,R,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950

```

```

CALL RECALL(1,I2,R,ITEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 9950
CALL I N P R (I1,IDI,I2,HALT)
IF(HALT)          GOTO 9950
C
DO 60 K=I1,I2,IDI
ITSTF(K,J)=ITSTF(K,J)+1
XYCF(K,J)=XY
60 CONTINUE
C
70 CONTINUE
C
DO 100 I=1,N
DO 90 J=1,2
KK=ITSTF(I,J)
IF(KK.EQ.1)          GOTO 90
WRITE(NOUT,80) IXYF(J),I,KK
80 FORMAT(5H *** ,1A1,22H-KOORDINATE VON KNOTEN,I5,3X,I2,
*      12H-FACH BELEGT)
GOTO 9950
90 CONTINUE
100 CONTINUE
C
CALL T I T L E
DO 150 ICO=1,2
I2=0
110 WRITE(NOUT,115) IXYF(ICO)
115 FORMAT(/, 1H ,1A1,34H-KOORDINATEN DER KNOTENPUNKTE IN M,
*      //,10H KNOTEN-NR,8X,3H+01,8X,3H+02,8X,3H+03,8X,3H+04,8X,
*      3H+05,8X,3H+06,8X,3H+07,8X,3H+08,8X,3H+09,8X,3H+10,/)
GOTO 140
C
120 IF(MOD(I2,500).NE.0)          GOTO 130
WRITE(NOUT,125)
125 FORMAT(1H1)
WRITE(NOUT,115) IXYF(ICO)
130 IF(MOD(I2, 50).EQ.0) WRITE(NOUT,135)
135 FORMAT(1H )
C
140 J=I2
I1=I2+1
I2=I2+10
IF(N.LT.I2) I2=N
WRITE(NOUT,145) J,(XYCF(I,ICO),I=I1,I2)
145 FORMAT(1H ,I5,4X,10F11.6)
IF(I2.LT.N)          GOTO 120
IF(N.GT.150.AND.ICO.LT.2) WRITE(NOUT,125)
150 CONTINUE
C
C...EINGABE DER STRECKENZUGDATEN ZUR BERECHNUNG DER HOHLRAUMFLAECHE
C
CALL RECALL(1,NPOL,R,ITEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 9950
C
APOLY=0.
DO 160 I=1,NPOL
CALL RECALL(1,IA,R,ITEXT,HALT)

```

```

IF(HALT)          GOTO 9950
CALL RECALL(1,IE,R,ITEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 9950
IAF(I)=IA
IEF(I)=IE
X1=XYCF(IA,1)
X2=XYCF(IE,1)
Y1=XYCF(IA,2)
Y2=XYCF(IE,2)
SIJF(I)=SQRT((X2-X1)**2+(Y2-Y1)**2)
APOLY=APOLY+X2*Y1-X1*Y2
160 CONTINUE
C
  APOLY=ABS(APOLY/2.)
C
C...AUSDRUCK DER STRECKENZUGDATEN
C
  WRITE(NOUT,180)
180 FORMAT(/,31H STRECKENZUGDATEN DES HOHLRAUMS,/,2X,9HSTRECKE I,
*      1X,9HKNOTEN I1,1X,9HKNOTEN I2,1X,9HDIST IN M,/)
  DO 190 I=1,NPOL
  IA=IAF(I)
  IE=IEF(I)
  SIJ=SIJF(I)
  WRITE(NOUT,185) I,IA,IE,SIJ
185 FORMAT(1H ,3I10,F10.6)
190 CONTINUE
C
  WRITE(NOUT,195) APOLY
195 FORMAT(/,31H HOHLRAUMFLAECHE APOLY IN M2 = ,E12.6)
C
C...EINGABE DER STRECKENZUGDATEN ZUR BESTIMMUNG VON BMAX
C
  CALL RECALL(1,NPOLLM,R,ITEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 9950
C
  WRITE(NOUT,197)
197 FORMAT(/,41H STRECKENZUGDATEN ZUR BESTIMMUNG VON BMAX,/,
*      2X,9HSTRECKE J,1X,9HKNOTEN J1,1X,9HKNOTEN J2,
*      1X,9HDIST IN M,/)
  BMAX=0.
  DO 200 I=1,NPOLLM
  CALL RECALL(1,IA,R,ITEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 9950
  CALL RECALL(1,IE,R,ITEXT,HALT)
IF(HALT)          GOTO 9950
  X1=XYCF(IA,1)
  X2=XYCF(IE,1)
  Y1=XYCF(IA,2)
  Y2=XYCF(IE,2)
  SIJ=SQRT((X2-X1)**2+(Y2-Y1)**2)
  BMAX=BMAX+SIJ
  WRITE(NOUT,198) I,IA,IE,SIJ
198 FORMAT(1H ,3I10,F10.6)
200 CONTINUE
C
C...RUNDUNG VON BMAX AUF 0.001 M

```

```

C
    BMAX=0.001*ANINT(1000*BMAX)
C
C...BERECHNUNG DER DICKE DES AEQUIVALENTEN RECHTECKHOHLRAUMS
C
    DE=APOLY/BMAX
C
C...RUNDUNG VON DE AUF 0.001 M
C
    DE=0.001*ANINT(1000*DE)
C
C...EINGABE DER HOEHE DES HOHLRAUMS, DES EMISSIONSKOEFFIZIENTEN,
C    DER TEMPERATURDIFFERENZ
C
    CALL RECALL(2,I,HE,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    CALL RECALL(2,I,EPSI,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    CALL RECALL(2,I,DTHETA,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
C
C...EINGABE DES ANFANGSWERTES, DER SCHRITTWEITE UND DES ENDWERTES
C    DER MITTELTEMPERATUR
C
    CALL RECALL(2,I,THMU,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    CALL RECALL(2,I,DTHM,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
    CALL RECALL(2,I,THMO,ITEXT,HALT)
    IF(HALT)          GOTO 9950
C
C...AUSDRUCK DER ABMESSUNGEN DES AEQUIVALENTEN RECHTECKHOHLRAUMS
C
    WRITE(NOUT,205) BMAX,DE,HE
205  FORMAT(/,26H HOHLRAUMBREITE BE IN M = ,F12.4,
*      /,26H HOHLRAUMDICKE DE IN M = ,F12.4,
*      /,26H HOHLRAUMHOEHE HE IN M = ,F12.4)
C
C...AUFSTELLUNG DER STRECKENZUGDATEN FUER DAS AEQUIVALENTE RECHTECK
C
    NPOL=4
    NT=2
    DO 210 I=1,NPOL
    IA=I
    IE=I+1
    IF(I.EQ.NPOL) IE=1
    IAF(I)=IA
    IEF(I)=IE
210  CONTINUE
C
C...VORGABE DER KNOTENPUNKTKOORDINATEN DES AEQUIVALENTEN RECHTECKHOHLRAUMS
C
    XYF(1,1)=0.
    XYF(1,2)=0.
    XYF(2,1)=BMAX
    XYF(2,2)=0.
    XYF(3,1)=BMAX

```

```

        XYF(3,2)=DE
        XYF(4,1)=0.
        XYF(4,2)=DE
C
C...VORGABE DER STRECKENZUGLAENGEN
C
        SIJF(1)=BMAX
        SIJF(2)=DE
        SIJF(3)=BMAX
        SIJF(4)=DE
C
C...AUSDRUCK DER STRECKENZUGLISTE FUER DEN AEQUIVALENTEN RECHTECKHOHLRAUM
C
        CALL T I T L E
        WRITE(NOUT,370)
370 FORMAT(/,53H STRECKENZUGDATEN DES AEQUIVALENTEN RECHTECKHOHLRAUMS,
*        //,4X,9HSTRECKE I,3X,9HKNOTEN I1,3X,9HKNOTEN I2,
*        1X,9HDIST IN M,6X,4HEPSI,/)
        DO 400 I=1,NPOL
        IA=IAF(I)
        IE=IEF(I)
        SIJ=SIJF(I)
        WRITE(NOUT,390) I,IA,IE,SIJ,EPSI
390 FORMAT(1H ,3I12,F10.6,F10.4)
400 CONTINUE
C
C...BERECHNUNG DER KONFIGURATIONSFAKTOREN
C
        CALL CONFIG(NPOL,XYF)
C
C...AUSDRUCK DER KNOTENABSTAENDE
C
        WRITE(NOUT,215)
215 FORMAT(/,21H KNOTENABSTAENDE IN M)
        DO 240 I=1,NPOL
        WRITE(NOUT,220)
220 FORMAT(1H )
        IA=IAF(I)
        J1=I+1
        DO 240 J=J1,NPOL
        IE=IEF(J-1)
        WRITE(NOUT,230) IA,IE,DIST(I,J)
230 FORMAT(1H ,5HDIST(,I4,1H,,I4,3H) =,F10.6,6X)
240 CONTINUE
C
C...AUSDRUCK DER KONFIGURATIONSFAKTOREN
C
        WRITE(NOUT,250)
250 FORMAT(/,31H KONFIGURATIONSFAKTOREN CF(I,J),/)
        DO 270 I=1,NPOL
        J1=I+1
        DO 270 J=J1,NPOL
        WRITE(NOUT,260) I,J,CF(I,J),J,I,CF(J,I)
260 FORMAT(1H ,2(5HCF (,I4,1H,,I4,3H)= ,F10.6,6X))
270 CONTINUE
C
C...SETZEN DES ISTRF-FELDES, SO DASS

```

```

C      NT STRECKENZUEGE MIT VORGEGEBENER TEMPERATUR AM ANFANG,
C      NPOL-NT STRECKENZUEGE MIT VORGEGEBENEM NETTOWAERMESTROM
C      DAHINTER STEHEN
C
C      URSPR. REIHENFOLGE          REIHENFOLGE DER STRECKEN
C      DER STRECKENZUEGE          IN SORTIERTER LISTE
C
C                                  TEMPF(2)=THETAO
C
C          3                          2
C          o---o                      o---o
C      4 I   I 2          QNET(4)=0  4 I   I 3  QNET(3)=0
C          o---o                      o---o
C          1                          1
C
C                                  TEMPF(1)=THETAU
C
C      ISTRF(1)=1
C      ISTRF(2)=3
C      ISTRF(3)=2
C      ISTRF(4)=4
C
C...UMSORTIEREN DER MATRIX DER KONFIGURATIONSFAKTOREN CF(I,J), SO DASS
C      DIE UMSORTIERTE MATRIX CFSF(I,J) AUF NT STRECKENZUEGE MIT VORGE-
C      GEBENER TEMPERATUR AM ANFANG UND NPOL-NT STRECKENZUEGE MIT VORGE-
C      GEBENEM NETTOWAERMESTROM DAHINTER BEZOGEN WIRD. DAS IST VORAUS-
C      SETZUNG FUER DAS UNTERPROGRAMM RADENC.
C
C      DO 450 I=1,NPOL
C      II=ISTRF(I)
C      ISTRSF(II)=I
C 450 CONTINUE
C
C      DO 500 I=1,NPOL
C      DO 500 J=1,NPOL
C      II=ISTRSF(I)
C      JJ=ISTRSF(J)
C      CFSF(II,JJ)=CF(I,J)
C 500 CONTINUE
C
C...AUSDRUCK DER UMSORTIERTEN MATRIX DER KONFIGURATIONSFAKTOREN
C
C      WRITE(NOUT,530)
C 530 FORMAT(/,47H UMSORTIERTE KONFIGURATIONSFAKTOREN CFSF(IS,JS),/)
C      DO 550 I=1,NPOL
C      J1=I+1
C      DO 550 J=J1,NPOL
C      WRITE(NOUT,540) I,J,CFSF(I,J),J,I,CFSF(J,I)
C 540 FORMAT(1H ,2(5HCFSF(,I4,1H,,I4,3H)= ,F10.6,6X))
C 550 CONTINUE
C
C...INITIALISIERUNGEN
C
C      DO 600 I=1,NPOL
C      EPSF(I)=EPSI
C      TEMPF(I)=0
C 600 CONTINUE

```

```

C
C...EINLESEN DER KENNWERTE LAM, NUE, PR = F(THETA) FUER LUFT AUS DATEI FOR061
C   LAM   WAERMELEITZAHL DER LUFT IN W/(M*K)
C   NUE   KINEMATISCHE VISKOSITAET DER LUFT IN 1.E6 M*M/S
C   PR    PRANDTL-ZAHL
C
      NINP=NDAT61
      CALL RECALL(1,N1,R,ITEXT,HALT)
      IF(HALT)          GOTO 9950
      CALL RECALL(1,N2,R,ITEXT,HALT)
      IF(HALT)          GOTO 9950
C
      DO 700 I=1,N1
      DO 700 J=1,N2
      CALL RECALL(2,I,R,ITEXT,HALT)
      IF(HALT)          GOTO 9950
      IF(J.NE.1)        GOTO 650
      TEMP=R
      GOTO 700
650  K=(J-2)*N1+I
      XF (K)=TEMP
      FXF(K)=R
700  CONTINUE
C
C...BERECHNUNG DER SPLINE-KOEFFIZIENTEN FUER LAM,NUE,PR=F(TM)
C
      N2=N2-1
      DO 750 J=1,N2
      K=J*N1
      L=K-N1+1
      CALL S P L I K O (L,K,XF,FXF,A,B,C,D)
750  CONTINUE
C
C...BERECHNUNG DER AEQUIVALENTEN WAERMELEITFAEHIGKEIT INFOLGE
C   WAERMETRANSPORT DURCH WAERMELEITUNG, KONVEKTION UND STRAHLUNG
C   IN EINEM VERTIKALEN HOHLRAUM NACH KREITH/BLACK
C
      CALL T I T L E
      WRITE(NOUT,770)
770  FORMAT(/,51H          THETAM      DTHETA      LAMSTR      LAMLK      LAMLKS,/,
      *          51H          GRAD C          K          ----- W/(M*K) -----,/)
C
      ITHMU=NINT(THMU)
      IDTHM=NINT(DTHM)
      ITHMO=NINT(THMO)
      DO 800 ITHM=ITHMU,ITHMO, IDTHM
      THETAM=FLOAT(ITHM)
      THETAU=THETAM-DTHETA/2.
      THETAO=THETAM+DTHETA/2.
      TEMPF(1)=THETAU+273.
      TEMPF(2)=THETAO+273.
      CALL R A D E N C (NPOL,NT)
      ALPSTR=ABS(QNET(1)/DTHETA)
      LAMSTR=ALPSTR*DE
      CALL C O N V E C (N1,BMAX,DE,HE,THETAM,DTHETA,LAMLK)
      LAMLKS=LAMSTR+LAMLK
      WRITE(NOUT,780) THETAM,DTHETA,LAMSTR,LAMLK,LAMLKS

```

```

780 FORMAT(1X,2F10.1,3F10.3)
    IF(MOD(THETAM,100.).LT.EPS) WRITE(NOUT,790)
790 FORMAT(1H )
800 CONTINUE
C
9950 WRITE(NOUT,9960)
9960 FORMAT(//,18H ENDE DER RECHNUNG)
    CALL LIB$STAT TIMER(2,ITIMHP,IHPANF)
    TIMEHP=ITIMHP
    TIMEHP=TIMEHP/100.
    WRITE(NOUT,9961) TIMEHP
9961 FORMAT(1H+,18X,18H - CPU-ZEIT IN S =,F10.1)
    GOTO 10
9990 STOP
    END
C
C-----
    BLOCK DATA
C-----
C
    COMMON/CSYM / IS(80),IZ(28),NS
    DATA NS /80/
    DATA IZ /1H0,1H1,1H2,1H3,1H4,1H5,1H6,1H7,1H8,1H9,1H ,1H,,1H.,
*           1HD,1HA,1HT,1HC,1HO,1H-,1H',1H(,1H),1H+,1H ,1HE,1H/,
*           1H*,1H;/
    END
C
C-----
    SUBROUTINE R E C A L L (KZ,IN,RE,TE,HALT)
C-----
C
    INTEGER TE(80)
    LOGICAL DP,EX,ST
    LOGICAL HALT
C
    COMMON/CIO / NINP,NOUT
    COMMON/CSYM / IS(80),IZ(28),NS
C
100 I=0
    ISTAR=0
    NEXP=0
    NDOT=0
    MFACT=1
    NFACT=1
    R=0.
    DP=.FALSE.
    EX=.FALSE.
    ST=.FALSE.
    HALT=.FALSE.
200 CALL I N P C H (IS1)
    IF(KZ.NE.4) GOTO 250
210 IF(IS1.EQ.IZ(26)) GOTO 600
    IF(ISTAR.NE.1) GOTO 230
    NS=0
    RETURN
C
C...BLOCKANFANG /* GEFUNDEN

```



```

C
230 NS=80
    CALL I N P C H (IS1)
    GOTO 210
C
C...ALLE DATEN UEBERLESEN, BIS / GEFUNDEN
C
250 IF(IS1.NE.IZ(26))                                GOTO 260
    NS=0
251 WRITE(NOUT,252)
252 FORMAT(1H0,18HFALSCH KENNZIFFER)
253 HALT=.TRUE.
    RETURN
C
C...BLANK, TRENNZEICHEN OD. ZEILENWECHSEL ?
C
260 IF(IS1.NE.IZ(11).AND.IS1.NE.IZ(12))              GOTO 265
263 IF(ST)                                            GOTO 300
    GOTO 200
C
C...MINUS-ZEICHEN ?
C
265 IF(IS1.NE.IZ(19))                                GOTO 270
    IF(EX)      NFACT=-1
    IF(.NOT.EX) MFACT=-1
    ST=.TRUE.
    GOTO 200
C
C...PUNKT ?
C
270 IF(IS1.NE.IZ(13))                                GOTO 275
    IF(KZ.NE.2)                                       GOTO 251
    DP=.TRUE.
    ST=.TRUE.
    GOTO 200
C
C...EXPONENT E ODER ! ?
C
275 IF(IS1.NE.IZ(25).AND.IS1.NE.IZ(24)) GOTO 280
    IF(KZ.NE.2)                                       GOTO 251
    EX=.TRUE.
    ST=.TRUE.
    IF(I.EQ.0)    I=1
    GOTO 200
C
C...HOCHSTRICH FUER KOMMENTAR ODER TEXT ?
C
280 IF(IS1.EQ.IZ(20))                                GOTO 400
C
C...PLUS-ZEICHEN ?
C
    IF(IS1.EQ.IZ(23))                                GOTO 200
C
C...ZIFFER ?
C
DO 282 J=1,10
    IF(IS1.EQ.IZ(J))                                  GOTO 284

```

```

282 CONTINUE
    WRITE(NOUT,283) IS1
283 FORMAT(1H0,29HDATENFEHLER: FALSCH E ZEICHEN=,1A1)
    GOTO 100
C
284 IS1=J-1
285 ST=.TRUE.
    IF(.NOT.EX)                                GOTO 288
C
C...EXPONENTEN ZUSAMMENSETZEN
C
    NEXP=NEXP*10+IS1
    GOTO 200
C
C...ANZAHL DER STELLEN HINTER DEM KOMMA ERMITTELN
C
288 IF(DP)          NDOT=NDOT+1
    II=IFIX((9 999 999-IS1)/10.)
    IF(I.LE.II)     GOTO 289
    WRITE(NOUT,286)
286 FORMAT(1H0,38HDATENFEHLER: MEHR ALS 07 STELLIGE ZAHL)
    GOTO 253
C
C...BERECHNUNG DER INTEGER-ZAHL
C
289 I=I*10+IS1
    GOTO 200
C
C...BERECHNUNG DER REAL-ZAHL
C
300 R=MFACT*I*10.0**(NFACT*NEXP-NDOT)
C
C...FALLS KZ=1, UMWANDLUNG IN EINE INTEGER-ZAHL
C
    IF(KZ.NE.1)    GOTO 310
    IN=R
    RETURN
C
C...FALLS KZ=2, UMWANDLUNG IN EINE REAL-ZAHL
C
310 IF(KZ.NE.2)   GOTO 251
    RE=R
    RETURN
C
400 CALL I N P C H (IS2)
    CALL I N P C H (IS3)
C
C...IDENTIFIZIERUNG DES TEXTANFANGS
C
    IF(IS2.NE.IZ(21).OR.IS3.NE.IZ(20)) GOTO 500
    IF(KZ.NE.3) GOTO 251
    L=1
    NTE=1
410 IS1=IS2
    IS2=IS3
    CALL I N P C H (IS3)
C

```

```

C...IDENTIFIZIERUNG DES TEXTENDES
C
    IF(IS1.NE.IZ(20).OR.IS2.NE.IZ(22).OR.IS3.NE.IZ(20)) GOTO 420
    L=L-1
    IF(L.GT.0) GOTO 420
    TE(1)=NTE-2
    RETURN
C
C...IDENTIFIZIERUNG DES TEXTANFANGS INNERHALB DES TEXTES
C
420 IF(IS1.EQ.IZ(20).AND.IS2.EQ.IZ(21).AND.IS3.EQ.IZ(20)) L=L+1
    NTE=NTE+1
    TE(NTE)=IS3
    GOTO 410
C
C...KOMMENTAR ?
C
500 IF(IS2.NE.IZ(17).OR.IS3.NE.IZ(18)) GOTO 520
510 CALL I N P C H (IS3)
    IF(IS3.EQ.IZ(28)) GOTO 100
    GOTO 510
C
520 WRITE(NOUT,522)IS2,IS3
522 FORMAT(1H0,13HDATENFEHLER: ,1A1,1X,1A1)
    GOTO 253
C
600 CALL I N P C H (IS2)
C
C...STERN ?
C
    IF(IS2.NE.IZ(27)) GOTO 650
    IF(ISTAR.EQ.1) GOTO 253
    ISTAR=1
    NS=80
    GOTO 200
C
650 WRITE(NOUT,652) IS2
652 FORMAT(1H0,30HDATENFEHLER: FALSCH E ZEICHEN=/,1A1)
    GOTO 200
    END
C
C-----
SUBROUTINE G E T L I N
C-----
C
COMMON /CSYM / IS(80),IZ(28),NS
COMMON /CIO / NINP,NOUT
C
7 I=IZ(11)
DO 10 J=1,80
    IS(J)=I
10 CONTINUE
READ(NINP,20,ERR=99,END=7) (IS(I), I=1,80)
20 FORMAT(80A1)
C
99 RETURN
END

```

```

C
C-----
C      SUBROUTINE  I N P C H (S)
C-----
C
C      INTEGER S
C
C      COMMON/CSYM  / IS(80),IZ(28),NS
C
C      NS=NS+1
C      IF(NS.LE.80)                                GOTO 10
C      CALL  G E T L I N
C      NS=1
C 10 S=IS(NS)
C
C      RETURN
C      END
C
C-----
C      SUBROUTINE  O U T T E X (STRING)
C-----
C
C      INTEGER STRING(80)
C
C      COMMON/CIO   / NINP,NOUT
C
C      LSTR=STRING(1)
C      IF(LSTR.LT.2) RETURN
C      WRITE(NOUT,10) (STRING(I),I=2,LSTR)
C 10 FORMAT(1H ,80A1)
C
C      RETURN
C      END
C
C-----
C      SUBROUTINE  T I T L E
C-----
C
C      COMMON/CINTE / N,NO
C      COMMON/CIO   / NINP,NOUT
C      COMMON/CITEXT/ ITEXT(80)
C
C      WRITE(NOUT,10) NO
C 10 FORMAT(1H1,/,48H FORTRAN-PROGRAMM PR1180/1 - 02.11.84 - BAM 2.44,
C      *      23H - FASSUNG VOM 29.11.88,/,
C      *      44H BERECHNUNG DER AEQUIV. WAERMELEITFAEHIGKEIT,
C      *      37H LAMLS ALS FKT. V. THETAM U. DTHETA,/,
C      *      35H BEI BERUECKS. DES WAERMETRANSPORTS,
C      *      45H DURCH WAERMELEITUNG, KONVEKTION U. STRAHLUNG,/,
C      *      47H IN EINEM VERTIKALEN HOHLRAUM NACH KREITH/BLACK,
C      *      14H - PROBLEM NR.,I12)
C      CALL O U T T E X (ITEXT)
C
C      RETURN
C      END
C
C-----

```

SUBROUTINE P R F (RNOF)

```

C-----
C
  DIMENSION RNOF(1)
C
  COMMON/CINTE / N,NO
  COMMON/CIO   / NINP,NOUT
C
  WRITE(NOUT,10)
10 FORMAT(1H0,9HKNOTEN-NR,8X,3H+01,8X,3H+02,8X,3H+03,8X,3H+04,8X,
*        3H+05,8X,3H+06,8X,3H+07,8X,3H+08,8X,3H+09,8X,3H+10)
  WRITE(NOUT,40)
  I2=0
C
20 J = I2
  I1=I2+1
  I2=I2+10
  IF(NNO.LT.I2) I2=NNO
  FMAX=ABS(RNOF(I1))
  IF(I2.EQ.I1) GOTO 25
  III=I1+1
  DO 21 II=III,I2
  AZW=ABS(RNOF(II))
  IF(AZW.GT.FMAX) FMAX=AZW
21 CONTINUE
25 IF(ABS(FMAX).GT.9.9E6) GOTO 32
  WRITE(NOUT,30) J,(RNOF(I),I=I1,I2)
30 FORMAT(1H ,I5,4X,10(1X,F10.2))
  GOTO 37
32 WRITE(NOUT,35) J ,(RNOF(I),I=I1,I2)
35 FORMAT(1H ,I5,4X,10(1X,E10.4))
37 IF(MOD(I2,50).EQ.0) WRITE(NOUT,40)
  IF(I2.LT.NNO) GOTO 20
  WRITE(NOUT,40)
40 FORMAT(1H )
C
  RETURN
  END

```

SUBROUTINE I N P R (I1,DI,I2,HALT)

```

C-----
C
  INTEGER DI,DII
  LOGICAL HALT
C
  COMMON/CINTE / N,NO
  COMMON/CIO   / NINP,NOUT
C
  HALT=.FALSE.
  III=IABS(I1)
  DII=IABS(DI)
  II2=IABS(I2)
C
  IF(MOD(II2-III,DII).NE.0) GOTO 10

  IF(III.GT.0.AND.DII.GT.0.AND.II2.GT.0.AND.

```

```

*   III1.LE.N.AND.DII.LE.N.AND.II2.LE.N.AND.
*   III1.LE.II2.AND.DII.LE.II2)           GOTO   30
10 WRITE(NOUT,20) I1,DI,I2
20 FORMAT(36H *** INDIZES UNZULAESSIG FUER KNOTEN,3I5)
   HALT=.TRUE.
   RETURN
C
30 IF(I1.GE.0.AND.DI.GE.0.AND.I2.GE.0)           RETURN
   I1=-II1
   DI=-DII
   I2=-II2
C
   RETURN
   END
C
C-----
SUBROUTINE C O N F I G (N,XYF)
C-----
C
C...BERECHNUNG DER KONFIGURATIONSFAKTOREN VON ZWEIDIMENSIONALEN HOHLRAEUMEN,
C   DIE DURCH BELIEBIGE POLYGON- BZW. STRECKENZUEGE VORGEGEBEN SIND, UNTER
C   BENUTZUNG VON HOTTEL'S CROSSED STRING METHOD
C   DIE STRECKENZUEGE MUESSEN IM GEGENUHRZEIGERSINN FORTLAUFEND VORGEGEBEN
C   WERDEN, ALLE STRECKENZUEGE MUESSEN SICH GEGENSEITIG VOLL "SEHEN" KOENNEN
C
REAL XYF(50,2)
C
COMMON/PREC / EPS
COMMON/CIO  / NINP,NOUT
COMMON/CONF / CF(50,50),DIST(50,50)
C
D2F(X1,Y1,X2,Y2) = SQRT((X1-X2)**2 + (Y1-Y2)**2)
C
DO 10 I=1,N
  DIST(I,I)=0.0
10 CONTINUE
C
C...BERECHNUNG DER KNOTENABSTAENDE
C
  NM1=N-1
  DO 100 I=1,NM1
    IP1=I+1
    DO 100 J=IP1,N
      XI=XYF(I,1)
      YI=XYF(I,2)
      XJ=XYF(J,1)
      YJ=XYF(J,2)
      DD=D2F(XI,YI,XJ,YJ)
      DIST(I,J)=DD
      DIST(J,I)=DD
100 CONTINUE
C
C...BERECHNUNG DER KONFIGURATIONSFAKTOREN
C
  DO 850 I=1,N
850 CF(I,I)=0.0
C

```

```

NM1=N-1
DO 920 I=1,NM1
  IP1=I+1
  DO 920 J=IP1,N
    JP1=J+1
    IF(J.EQ.N) JP1=1
    AI=DIST(I,IP1)*2.0
    AJ=DIST(J,JP1)*2.0
    XX=DIST(I,JP1)+DIST(IP1,J)-DIST(I,J)-DIST(IP1,JP1)
    XX=ABS(XX)
    IF(XX .LE. EPS) XX=0.0
    CF(I,J)=XX/AI
    CF(J,I)=XX/AJ
  920 CONTINUE

```

```

C
  RETURN
  END

```

```

C

```

```

C

```

```

-----
SUBROUTINE R A D E N C (NPOL,L)
-----

```

```

C

```

```

C

```

```

C...BERECHNUNG DER NETTOWAERMESTROEME DURCH STRAHLUNG IN EINEM DURCH
C  NPOL POLYGONZUEGE ZUSAMMENGESetzten HOHLRAUM UNTER BENUTZUNG
C  DER MATRIX-METHODE NACH
C  KREITH, F.; BLACK, W.Z.:
C  BASIC HEAT TRANSFER
C  NEW YORK: HARPER & ROW, 1980, SEITE 338

```

```

C

```

```

C...BENUTZTE VARIABLEN

```

```

C

```

```

C  NPOL      ANZAHL DER STRECKEN
C  L         ANZAHL DER STRECKEN MIT VORGEGBENER TEMPERATUR
C  F(I,J)    NPOL x NPOL - MATRIX DER KONFIGURATIONSFAKTOREN
C  EMIS(I)   NPOL EMISSIONSKOEFFIZIENTEN
C  T(I)      NPOL TEMPERATUREN IN K
C
C  L         STRECKEN MIT VORGEGBENER TEMPERATUR MUESSEN AM ANFANG,
C  NPOL-L   STRECKEN MIT VORGEBENEM NETTOWAERMESTROM DAHINTER STEHEN

```

```

C

```

```

-----
BEISPIEL FUER DIE EINGABE BEI EINEM QUADRATISCHEN HOHLRAUM
-----

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

C

```

```

          T(2)=373
            2
          o-----o
          I         I
QNET(4)=0  4 I         I 3  QNET(3)=0
          I         I
          o-----o
            1
          T(1)=273
          NPOL=4      L=2
          F(1,1)=0.0   F(1,2)=0.41421   F(1,3)=0.29289   F(1,4)=0.29289
          F(2,1)=0.41421  F(2,2)=0.0       F(2,3)=0.29289   F(2,4)=0.29289

```

```

C      F(3,1)=0.29289    F(3,2)=0.29289    F(3,3)=0.0        F(3,4)=0.41421
C      F(4,1)=0.29289    F(4,2)=0.29289    F(4,3)=0.41421    F(4,4)=0.0
C      EMIS(1)=0.9        EMIS(2)=0.9        EMIS(3)=0.9        EMIS(4)=0.9
C      T(1)=273          T(2)=373          QNET(3)=0.0        QNET(4)=0.0
C
C

```

```

C      REAL J
C
C      DIMENSION A(50,50),B(50),C(50,50),G(50),J(50),W(50),IW(50)
C
C      COMMON/CRAD / F(50,50),EMIS(50),T(50),QNET(50)
C
C      LL=L+1
C      SIGMA=5.67E-08
C
C      DO 20 I=1,NPOL
C      DO 20 K=1,NPOL
20  A(I,K)=-F(I,K)
C      DO 60 I=1,L
C      IF(EMIS(I).EQ.1.0)                                GOTO 40
C      A(I,I)=1.0-F(I,I)+EMIS(I)/(1.0-EMIS(I))
C      GO TO 60
40  DO 50 K=1,NPOL
50  A(I,K)=0.0
C      A(I,I)=1.0
60  CONTINUE
C      DO 80 I=1,L
C      B(I)=SIGMA*T(I)**4
C      IF(EMIS(I).EQ.1.0)                                GOTO 80
C      B(I)=EMIS(I)*B(I)/(1.0-EMIS(I))
80  CONTINUE
C      DO 85 I=LL,NPOL
C      A(I,I)=1.0-F(I,I)
C      B(I)=QNET(I)
85  CONTINUE
C      CALL G J (NPOL,50,A,W,IW,IER)
C      DO 100 I=1,NPOL
C      SUM=0.0
C      DO 90 K=1,NPOL
90  SUM=SUM+A(I,K)*B(K)
100 J(I)=SUM
C      DO 120 I=1,NPOL
C      SUM=0.0
C      DO 110 K=1,NPOL
110 SUM=SUM+F(I,K)*J(K)
120 G(I)=SUM
C      DO 125 I=1,L
125 QNET(I)=J(I)-G(I)
C      DO 140 I=LL,NPOL
C      IF(EMIS(I).EQ.0.0)                                GOTO 130
C      T(I)=(((1.0-EMIS(I))*QNET(I)/EMIS(I)+J(I))/SIGMA)**0.25
C      GO TO 140
130 T(I)=(J(I)/SIGMA)**0.25
140 CONTINUE
C
C      RETURN
C      END
C

```



```

C-----
C      SUBROUTINE G J (N,N1,A,W,IW,IER)
C-----
C
C...GAUSS-JORDAN-ALGORITHMUS ZUR INVERTIERUNG EINER MATRIX
C
C...BEDEUTUNG DER PARAMETER :
C
C      N      - SPALTEN- UND ZEILENLAENGE DER MATRIX A
C      N1     - VEREINBARTE MAX. ZEILENLAENGE DER MATRIX A IM RUFENDEN PRGR.
C      A      - ZU INVERTIERENDE MATRIX; WIRD MIT DER ERGEBNISMATRIX
C              UEBERSCHRIEBEN !
C      W      - HILFSVEKTOR DER LAENGE N (REAL)
C      IW     - HILFSVEKTOR DER LAENGE N (INTEGER),
C              DER INFORMATION UEBER DIE PIVOTIERUNG ENTHAELT
C      IER    - FEHLERKENNUNG :
C              IER = 0 , KEIN FEHLER
C              IER = 1 , MATRIX SINGULAER
C
C      DIMENSION A(N1,1),W(1),IW(1)
C
C      DO 10 J=1,N
10      IW(J)=J
C
C      DO 80 J=1,N
C
C...PIVOTSUCHE
C
C      BIG=ABS(A(J,J))
C      JP1=J+1
C      IR=J
C      DO 20 I=JP1,N
C      XX=ABS(A(I,J))
C      IF(XX.LE.BIG)          GOTO 20
C      BIG=XX
C      IR=I
20      CONTINUE
C      IF(BIG.LE.0.0)          GOTO 120
C
C...ZEILENTAUSCH
C
C      IF(IR.LE.J)            GOTO 40
C      DO 30 K=J,N
C      XX=A(J,K)
C      A(J,K)=A(IR,K)
30      A(IR,K)=XX
C      II=IW(J)
C      IW(J)=IW(IR)
C      IW(IR)=II
C
C...TRANSFORMATION
C
C      XX=1./A(J,J)
C      DO 50 I=1,N
50      A(I,J)=XX*A(I,J)
C      A(J,J)=XX
C      DO 70 K=1,N

```

```

        IF (K.EQ.J)                GOTO 70
        DO 60 I=1,N
        IF(I.EQ.J)                GOTO 60
        A(I,K)=A(I,K)-A(I,J)*A(J,K)
60     CONTINUE
        A(J,K)=-XX*A(J,K)
70     CONTINUE
C
80     CONTINUE
C
C...SPALTENTAUSCH
C
        DO 110 I=1,N
        DO 90 K=1,N
        II=IW(K)
90     W(II)=A(I,K)
        DO 100 K=1,N
100    A(I,K)=W(K)
110    CONTINUE
C
        IER=0
        RETURN
C
120    IER=1
        RETURN
        END
C
C-----
        SUBROUTINE  C O N V E C (N1,BE,DE,HE,TM,DT,LAMLK)
C-----
C
C...BERECHNUNG DER AEQUIVALENTEN WAERMELEITFAEHIGKEIT
C   INFOLGE WAERMETRANSPORT DURCH WAERMELEITUNG UND KONVEKTION BEI
C   FREIER KONVEKTION IN EINEM HOHLRAUM MIT VERTIKALER LUFTSCHICHT
C   NACH
C   KREITH, F.; BLACK, W.Z.:
C   BASIC HEAT TRANSFER
C   NEW YORK: HARPER & ROW, 1980, SEITE 262
C
C...BENUTZTE VARIABLEN
C
C   N1      ANZAHL DER LAM, NUE, PR - WERTETUPEL
C   BE      BREITE DES HOHLRAUMS IN M
C   DE      DICKE  DES HOHLRAUMS IN M
C   HE      HOEHE  DES HOHLRAUMS IN M
C   TM      MITTLERE LUFTTEMPERATUR IN GRAD C
C   DT      TEMPERATURDIFFERENZ IN K
C   LAMLK   AEQUIVAL. WAERMELEITFAEHIGKEIT INFOLGE WAERMETRANSPORT
C           DURCH WAERMELEITUNG UND KONVEKTION
C
C   REAL LAM,LAMLK,NUE,PR,NUB
C   LOGICAL BOOGRB,EXTRAP,HALT
C
C   COMMON/CIO  /NINP,NOUT
C   COMMON/CCONV / A(100),B(100),C(100),D(100),XF(100),FXF(100)
C
C...BERECHNUNG DER FUNKTIONSWERTE FUER LAM,NUE,PR=F(TM) MIT SPLINE

```

C

```
L=1
K=N1
CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D, TM, LAM, EXTRAP)
L=N1+1
K=2*N1
CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D, TM, NUE, EXTRAP)
L=2*N1+1
K=3*N1
CALL S P L I N E (L,K,XF,A,B,C,D, TM, PR, EXTRAP)
```

C

C...BERECHNUNG DER GRASHOF-ZAHL

C

```
NUE=NUE*1.E-6
BETA=1./(TM+273.)
GRB=9.81*BETA*DT*DE**3/NUE**2
```

C

C...BERECHNUNG DER NUSSELTZAHL

C

```
BOOGRB=.FALSE.
IF(.NOT.(GRB.LT.2000))          GOTO 380
NUB=1.
GOTO 500
380 IF(.NOT.(GRB.GT.2.E3.AND.GRB.LT.2.E5))  GOTO 400
    NUB=0.180*GRB**(1./4.)/(HE/DE)**(1./9.)
    GOTO 500
400 IF(.NOT.(GRB.GE.2.E5.AND.GRB.LT.1.E7))  GOTO 450
    NUB=0.065*GRB**(1./3.)/(HE/DE)**(1./9.)
    GOTO 500
450 BOOGRB=.TRUE.
```

C

C...BERECHNUNG DES AEQUIVALENTEN WAERMEUEBERGANGSKOEFFIZIENTEN UND
C DER AEQUIVALENTEN WAERMELEITFAEHIGKEIT

C

```
500 IF(NUB.LT.1.) NUB=1.
    ALPLK=LAM*NUB/DE
    LAMLK=ALPLK*DE
```

C

```
IF(.NOT.BOOGRB)                RETURN
WRITE(NOUT,550)
550 FORMAT(26H *** GRASHOFF-ZAHL > 1.E+7)
```

C

```
RETURN
END
```

C

C-----
SUBROUTINE S P L I K O (N1,N2,X,F,A,B,C,D)
C-----

C

C...BERECHNUNG DER SPLINE-KOEFFIZIENTEN

C

```
DIMENSION X(1),F(1),A(1),B(1),C(1),D(1)
```

C

```
IF(N1.NE.N2)                   GOTO 50
A(N2)=F(N2)
B(N2)=0.
C(N2)=0.
```

```

        D(N2)=0.
        RETURN
C
50 M1=N1+1
   M2=N2-1
   S=0.
   DO 100 I=N1,M2
   D(I)=X(I+1)-X(I)
   R=(F(I+1)-F(I))/D(I)
   C(I)=R-S
100 S=R
   S=0.
   R=0.
   C(N1)=0.
   C(N2)=0.
   IF(M1.GT.M2)                                GOTO 125
   DO 110 I=M1,M2
   C(I)=C(I)+R*C(I-1)
   B(I)=(X(I-1)-X(I+1))*2.-R*S
   S=D(I)
110 R=S/B(I)
   K=M2
120 C(K)=(D(K)*C(K+1)-C(K))/B(K)
   K=K-1
   IF(K.GE.M1)                                GOTO 120
125 DO 130 I=N1,M2
   S=D(I)
   R=C(I+1)-C(I)
   D(I)=R/S
   C(I)=C(I)*3.
   B(I)=(F(I+1)-F(I))/S-(C(I)+R)*S
130 A(I)=F(I)
   A(N2)=F(N2)

```

```

C
        RETURN
        END

```

```

C
C-----
SUBROUTINE S P L I N E (N1,N2,X,A,B,C,D,XS,YS,EXTRAP)
C-----
C

```

```

        LOGICAL EXTRAP
        DIMENSION X(1),A(1),B(1),C(1),D(1)
C
        IF(N1.NE.N2)                            GOTO 5
        YS=A(N1)
        RETURN
C
5 P=X(N1)
  Q=X(N2)
  IF(XS.GT.P)                                GOTO 10
  YS=A(N1)
  IF(P-XS.LT.1.E-6)                          RETURN
  EXTRAP=.TRUE.
  RETURN
C
10 IF(XS.LT.Q)                                GOTO 20

```

```

      YS=A(N2)
      IF(XS-Q.LT.1.E-6)
      EXTRAP=.TRUE.
      RETURN
C
20 K=N1-1
50 I=K
   K=K+1
   IF(XS.GE.X(K).AND.K.LT.N2)
   Q=XS-X(I)
   YS=((D(I)*Q+C(I))*Q+B(I))*Q+A(I)
C
      RETURN
      END

```


Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

- Nr. 1/September 1968
Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft
- Nr. 2/Juli 1970 (vergriffen)
Zum Problem des Feuchtigkeitschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern
von Dr.-Ing. Götz Andreae
- Nr. 3/September 1970 (vergriffen)
Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungsseilen als Beispiel für Verbundbauteile
von Dr.-Ing. Josef Ziebs
- Nr. 4/Dezember 1970 (vergriffen)
Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren
von Dr. rer. nat. Arno Burmester
- Nr. 5/März 1971
Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken
von Dr. rer. nat. Norbert Steiner
- Nr. 6/April 1971
Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen
von Prof. Dr.-Ing. Paul Schneider
- Nr. 7/Juli 1971
Chromatographie und chemische Konstitution — Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Petrowitz
- Nr. 8/November 1971
Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Helmut Veith
- Nr. 9/November 1971
Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller
- Nr. 10/Januar 1972
Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode
von Dr.-Ing. Dietmar Aurich und Prof. Dr. phil. Erich Martin
- Nr. 11/Februar 1972
Beitrag zur Kenntniss der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Krause
- Nr. 12/Mai 1972
Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren
von Dr. u. Prof. Dr. rer. nat. Hubert Feuerberg
- Nr. 13/Juni 1972
Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und $2 \cdot 10^{-7}$ Torr
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig (Berichter), Prof. Dr.-Ing. Kurt Kirschke, Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig und Dipl.-Phys. Harald Tischer
- Nr. 14/Juli 1972
Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz
von Eberhard Fischer
- Nr. 15/August 1972
Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Heinz Pohl
- Nr. 16/August 1972
Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer
von Dr.-Ing. Erwin Knublauch
- Nr. 17/August 1972
Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen
von Dr.-Ing. Peter Reimers
- Nr. 18/Januar 1973
Das Spröbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 19/Januar 1973
Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. K. Kaffanke und Dr.-Ing. H. Czichos
- Nr. 20/April 1973
Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi
- Nr. 21/Juli 1973
Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. D. Klaffke und Dr.-Ing. W. Maennig
- Nr. 22/Juli 1973
Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi und Dr.-Ing. E. Knublauch
- Nr. 23/November 1973
Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen
von Prof. Dr. rer. nat. habil. Walter Ruske
- Nr. 24/November 1973
Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung
von Dipl.-Ing. J. Stanke, Ing. grad. E. Klement und Dipl.-Ing. R. Rudolphi
- Nr. 25/Dezember 1973
Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen
von Dr.-Ing. E. Knublauch
- Nr. 26/August 1974
Der Elektronen-Linearschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen —
von Dipl.-Ing. P. Jost, Dr.-Ing. P. Reimers und Dr.-Ing. P. Weise
- Nr. 27/August 1974
Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall
von Dr.-Ing. Hermann Wüstenberg
- Nr. 28/August 1974
Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern
von Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heinrich
- Nr. 29/August 1974
Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall
von Prof. Dr.-Ing. P. Schneider
- Nr. 30/September 1974 (vergriffen)
The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology
von Dr. Horst Czichos und Dr. Geert Salomon
- Nr. 31/August 1975
Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung
von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann
- Nr. 32/September 1975
Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen
von Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Bernhard Böttcher
- Nr. 33/November 1975
Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens
von Dipl.-Ing. Armin Wagner, Dipl.-Phys. Gerhard Kieper und Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 34/Januar 1976 (vergriffen)
Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoffen
von Dipl.-Forsting. Dr. rer. sylv. Hans-Joachim Deppe
- Nr. 35/Januar 1976
Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper — Vorschlag für ein Prüfverfahren —
von Dipl.-Ing. Ernst Limberger
- Nr. 36/Januar 1976 (vergriffen)
Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles
von Dipl.-Ing. Jürgen Hundt
- Nr. 37/Februar 1976
Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen — Vorschlag für ein Prüfverfahren —
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 38/Juni 1976
Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionisiertem Stahl 42 CrMo 4
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 39/Juni 1976
Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newtonschem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung
von Prof. Dr.-Ing. K. Kirschke und Dipl.-Phys. G. Kempf
- Nr. 40/Juni 1976
Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren
von Dr. rer. nat. H. Hantsche
- Nr. 41/Okttober 1976
Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten
von Dr. rer. nat. Bernhard Böttcher
- Nr. 42/Okttober 1976
Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft
von Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 43/Okttober 1976
Das Spröbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 44/November 1976
Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“
von Dipl.-Ing. W. Matthees
- Nr. 45/Dezember 1976
Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten
von Dr.-Ing. W. Paatsch
- Nr. 46/Mai 1977 (vergriffen)
Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses
von Dipl.-Ing. Gerald Schickert und Dipl.-Ing. Helmut Winkler
- Nr. 47/Juni 1977
Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen
von Dr.-Ing. Arno Plank
- Nr. 48/Okttober 1977
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn
von Dr.-Ing. U. Holzlöhner
- Nr. 49/Dezember 1977
Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung
von Dr.-Ing. Günther Wittig
- Nr. 50/Juni 1978 (vergriffen)
Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern
von Prof. Dipl.-Phys. Norbert Czaika, Dipl.-Phys. Norbert Mayer, Dipl.-Ing. Claus Amberg, Dipl.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Götz Andreae und Dipl.-Ing. Winfried Markowski
- Nr. 51/Juni 1978
Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen
von Dr. rer. nat. J. Sickfeld
- Nr. 52/August 1978
Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung
von Dr.-Ing. Aleksandar Tomov
- Nr. 53/Okttober 1978
Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge
von Rolf Günter Rohrmann und Reinald Rudolphi

- Nr. 54/Okttober 1978
Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Harro Sander
- Nr. 55/November 1978
Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegebeanspruchung
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke
- Nr. 56/Januar 1979
Stabilität von Sandwichbauteilen
von Dipl.-Ing. W. Brüner und Prof. Dr.-Ing. C. Langlie
- Nr. 57/März 1979
Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung
Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing
von Dipl.-Ing. Meinhard Stadthaus
- Nr. 58/März 1979
Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 59/Juli 1979
Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl
von Dr.-Ing. Günther Plauk
- Nr. 60/August 1979
Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken
von Dr.-Ing. H. Spreckelmeyer, Dr.-Ing. R. Helms und Dr.-Ing. J. Ziebs
- Nr. 61/Dezember 1979
Beschreibung von Problemen der höheren Farbmetrik mit Hilfe des Gegenfarbensystems
von Dr. Klaus Richter
- Nr. 62/Dezember 1979
Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerisch und Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Günther Becker
- Nr. 63/Dezember 1979
Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase
von Dipl.-Ing. E. Behrend und Dipl.-Ing. J. Ludwig
- Nr. 64/Februar 1980
Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 65/Februar 1980
Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte
von Dr.-Ing. Peter Schmidt, Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms, Dr.-Ing. Helmut Veith und Dr.-Ing. Josef Ziebs
- Nr. 66/Mai 1980
Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung
von Dr. rer. nat. Martin Hattwig
- Nr. 67/Mai 1980
Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees
- Nr. 68/Mai 1980
Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik. Entwicklung eines vollezentrischen Präzisions-Goniometers
von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn
- Nr. 69/Juni 1980
Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitsbehältern (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise
von Dr.-Ing. Frank Buchhardt und Dipl.-Ing. Peter Brandl
- Nr. 70/August 1980 (vergriffen)
Schwellenwerte beim Betondruckversuch
von Dr.-Ing. Gerald Schickert
- Nr. 71/August 1980
Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees und Dipl.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 72/September 1980
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 73/November 1980
Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen
von Dipl.-Ing. Peter Wegener
- Nr. 74/November 1980
ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dipl.-Inform. Renate Müller
- Nr. 75/November 1980
Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen
von Dir. u. Prof. Dr. Hans-Jürgen Heinrich
- Nr. 76/November 1980
Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegebeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig
- Nr. 77/April 1981
Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen
von Dipl.-Ing. Michael Gierloff und Dr.-Ing. Matthias Maultzsch
- Nr. 78/September 1981
Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwellensystems mit dem Untergrund
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 79/Dezember 1981
Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kaltritzung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch
von Dr.-Ing. Volker Neumann
- Nr. 80/Dezember 1981
Ursachen des Einsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten
von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch
- Nr. 81/Dezember 1981
Graphisch-rechnerische Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik
von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt
- Nr. 82/April 1982
Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches
Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test
von Rolf Helms, Hans-Joachim Kühn und Siegmard Ledworuski
- Nr. 83/Juli 1982
Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen
— Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen —
von Prof. Dr.-Ing. Horst Czichos und Dr.-Ing. Paul Feinle
- Nr. 84/Juli 1982
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)
von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/Okttober 1982
Technische Materialforschung und -prüfung
— Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ —
Materials Research and Testing
— Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme “Basic Technological Research“ —
von Prof. Dr. Horst Czichos
- Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/November 1982
Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügemerkmale
von Dr.-Ing. Konrad Niesel und Dr. rer. nat. Peter Schimmelwitz
- Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/Dezember 1982
Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren
von Dr.-Ing. Bernd Isecke und Dr.-Ing. Wolfgang Stichel
- Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/Februar 1983
Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall
von Dr.-Ing. Anton Erhard
- Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/April 1983
Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid
von Dr. rer. nat. Dietrich Conrad und Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/April 1983
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/April 1983
Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz
von Dr.-Ing. Michael Weber
- Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/August 1983
Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/August 1983
Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen
von Dr. rer. nat. Peter Studt
- Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/August 1983
Untersuchungen der Störsschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen
von Dr.-Ing. Xian-Quan Dong
- Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/August 1983
Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten
von Dr.-Ing. Manfred Römer
- Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/Okttober 1983
Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken
von Dr.-Ing. Heinz Eifler
- Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/November 1983
Typische Bruchflächenbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung
von Dipl.-Ing. Gerhard Fuhrmann und Prof. Dr. rer. nat. Wolfram Schwarz
- Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/Dezember 1983
Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschenwaren
— Stretch- und Erholungsvermögen —
von Dr. rer. nat. Edmund Schnabel
- Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/Dezember 1983
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/Januar 1984
Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand
von Günter Klamrowski und Paul Neustupny
- Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/Februar 1984
Röntgen- und Gammastrahlen Computer-Tomographie
von Dr.-Ing. Peter Reimers, Dr. rer. nat. Jürgen Goebbels, Dr.-Ing. Heinrich Heidt, Dr.-Ing. Hans-Peter Weise und Dipl.-Phys. Kay Wilding
- Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/März 1984
Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens zur Druckspannungsmessung in Beton
von Dr.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/März 1984
Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien
von Dr.-Ing. Dierk Schnitger
- Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/April 1984
Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen
von Dr.-Ing. Michael Gierloff
- Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/Juni 1984
Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen
von Dr.-Ing. Bernd Schulz-Forberg
- Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/Okttober 1984
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last
von Dr.-Ing. Jan Lehnert

- Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/Oktober 1984
Korrosion von Stahlradiatoren
von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel und Jörg Ehreke
- Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/Oktober 1984
Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen — Ergebnisse von Modellrechnungen
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/Februar 1985
Zur Wirkung der Schruppbehinderung auf den Schweißspannungszustand und das Spröbruchverhalten von unterpulvergeschweißten Blechen aus St E 460 N
von Dr.-Ing. Mohamed Omar
- Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/Februar 1985
Wasserstoff als Energieträger
von Dr. Hermann Walde (Mitglied des Kuratoriums der BAM i. R.) und Dr. Bernhard Kropf
- Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/Februar 1985
Über den Einfluß der Initiierung auf die detonative Umsetzung von Analex-Sprengstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte
von Dr.-Ing. Kurt Ziegler
- Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/Juli 1985
Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen
von Dr.-Ing. Wolfgang Lützwow
- Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/Juli 1985
Untersuchungen zum Frequenzeinfluß auf die Schwingungskorrosion von Offshore-Konstruktionen
von Rolf Helms, Horst Henke, Gerhard Oelrich (BAM, Berlin) und Tetsuya Saito (NRIM, Japan)
- Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/Juli 1985
Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktoranteilen mittels Röntgen- und Gammastrahlen
von Dipl.-Ing. Peter Rose, Dipl.-Ing. Peter Raabe, Dipl.-Ing. Werner Daum und Andreas Szameit
- Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/Juli 1985
Farbempfindungsmerkmal Elementarblau und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld
von Privatdozent Dr. Klaus Richter
- Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/Oktober 1985
Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik
von Dr. rer. nat. Franz-Josef Kasper, Dipl.-Inform. Renate Müller, Dr.-Ing. Reinald Rudolph und Dr.-Ing. Armin Wagner
- Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/Oktober 1985
Materials Technologies and Techno-Economic Development
A study for the German Foundation for International Development (Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)
by Prof. Dr. H. Czichos in cooperation with Dr. G. Sievers, Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Bonn
- Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/Oktober 1985
Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung
Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen
von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Dipl.-Ing. Hilmar Andre, Dr. rer. nat. Eduard Blossfeld, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Ing. grad. Matthias-Michael Zindler
- Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/November 1985
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I
von Dipl.-Ing. Jürgen Herter, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Ernst Limberger
- Nr. 120/ISBN 3-88314-514-9/April 1986
Zerstörungsfreie Korngrößenbestimmung an austenitischen Feinblechen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung
von Dr.-Ing. Andreas Hecht
- Nr. 121/ISBN 3-88 314-530-0/Juni 1986
Versagenskriterien von Stahlgleitpaarungen unter Mischreibungsbedingungen: Einflüsse von Stahlsammensetzung und Wärmebehandlung
von Dr.-Ing. Paul Feinle und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 122/ISBN 3-88 314-521-1/Juli 1986
Entsorgung kerntechnischer Anlagen
von J. Mischke
Sonderkolloquium der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) am 10. 12. 1985 mit Beiträgen von B. Schulz-Forberg, K. E. Wieser und B. Droste
- Nr. 123/ISBN 3-88 314-531-9/Juli 1986
Physikalisch-chemische Analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organischemischer Baustoffe entstehenden Brandgase
von Dr. rer. nat. Detlef Rennoch
- Nr. 124/ISBN 3-88 314-538-6/Juli 1986
Zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens in der zerstörungsfreien Materialprüfung
von Dr.-Ing. Hans-Martin Thomas
- Nr. 125/ISBN 3-88 314-540-8/Juli 1986 (vergriffen)
Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssiggas-Lagertanks
von Dr.-Ing. Bernhard Droste und Dipl.-Ing. Ulrich Probst
- Nr. 126/ISBN 3-88 314-547-5/August 1986
Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmhallen
von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel
- Nr. 127/ISBN 3-88 314-564-5/November 1986 (vergriffen)
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
Versuche an Stahlbetonbalken, Teil I
Tests on Reinforced Concrete Beams, Part I
von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner
- Nr. 128/ISBN 3-88 314-568-8/November 1986 (vergriffen)
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
Versuche an Stahlbetonbalken, Teil II
Tests on Reinforced Concrete Beams, Part II
von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner
- Nr. 129/ISBN 3-88 314-569-6/November 1986 (vergriffen)
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load
Zugversuche an Betonstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit
Reinforcing Steel Tension Tests with high strain rates
von / by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner
- Nr. 130/ISBN 3-88 314-570-X/November 1986
Einfache Abschätzung der Durchbiegung und der Energieaufnahme von Trägern aus duktilem Material bei Belastung durch eine Einzelkraft
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 131/ISBN 3-88 314-585-8/November 1986
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load
Versuche an Stahlbetonplatten, Teil II
Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part II
von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 132/ISBN 3-88 314-595-5/Januar 1987
Ermittlung der Ursachen von Schäden an bituminösen Dachabdichtungen unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Beanspruchungen
von Dipl.-Ing. Christian Herold und Dipl.-Ing. Frank-Ulrich Vogdt
- Nr. 133/ISBN 3-88 314-609-9/Januar 1987 (vergriffen)
Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe
von Dipl.-Ing. Mathias Woydt und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 134/ISBN 3-88 314-615-3/Februar 1987
Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen
von Dr. Götz Andreae und Gottfried Niessen
- Nr. 135/ISBN 3-88 314-618-8/Februar 1987
Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen
von Dipl.-Ing. Jörg Ludwig, Dipl.-Ing. Wolf-Dietrich Mischke und Dipl.-Ing. Armin Ulrich
- Nr. 136/ISBN 3-88314-636-6/April 1987
Untersuchung zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzbau
von Prof. Dr. rer. silv. Hans-Joachim Deppe und Klaus Schmidt
- Nr. 137/ISBN 3-88314-637-4/Mai 1987
Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Komponentensicherheit
Projektleiter: Dr. Dietmar Aurich
- Nr. 138/ISBN 3-88314-635-8/Mai 1987
Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben.
von Dipl.-Geol. Michael Dogunke und Dr.-Ing. Frank Buchhardt
- Nr. 139/ISBN 3-88314-658-7/Juni 1987
Numerische Untersuchung zum Verhalten des Hochtemperaturwerkstoffes Nimonic PE 16 unter monotoner und zyklischer Belastung bei Verwendung verschiedener plastischer und viskoplastischer Materialmodelle.
von Dipl.-Ing. Jürgen Olschewski und Sven-Peter Scholz
- Nr. 140/ISBN 3-88314-643-9/Juni 1987
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
von / by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 141/ISBN 3-88314-694-3/Oktober 1987
Zum Einfluß des Sicherheits- und Auslegungserdebens auf die Bemessung von Kernkraftwerken
von Dr.-Ing. Frank Buchhardt, Dr.-Ing. Wolfgang Mathees, Dr.-Ing. Götz Magiera und Dr.-Ing. Friedrich Mathiak
- Nr. 142/ISBN 3-88314-695-1/Oktober 1987
Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrezahlen binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen
von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Ing. Günter Krüger, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Dr. rer. nat. Sigrid von Zahn-Ullmann
- Nr. 143/ISBN 3-88314-701-X/November 1987
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members
Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen bei Stoßbelastung
Experimental and numerical Investigations concerning Load Bearing Behaviour of Reinforced Concrete Members under Impact Load
von/by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 144/ISBN 3-88314-702-8/November 1987
Nichtlineare dynamische Berechnungen zum Penetrationsverhalten des AVR-Reaktorgebäudes
von Dr.-Ing. Frank Buchhardt, Dr.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Wolfgang Mathees, Dr.-Ing. Michael Weber, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Dr.-Ing. Jürgen Altes,
Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA)
- Nr. 145/ISBN 3-88314-711-7/November 1987
Untersuchung selbständlicher Systeme zur Bestimmung von Materialeigenschaften von Reibungsböden
von Dr.-Ing. Ulrich Holzlhöner
- Nr. 146/ISBN 3-88314-714-1/November 1987
Untersuchungen zur Wirksamkeit von Wasserberieselungseinrichtungen als Brandschutzmaßnahme für Flüssiggas-Lagertanks
von Dipl.-Ing. Wolfgang Schön und Dipl.-Ing. Michael Mallon
- Nr. 147/ISBN 3-88314-720-6/Dezember 1987
Lösung dynamischer Biege- und Torsionsprobleme von Stabsystemen aus dünnwandigen elastischen Stäben mit offenem Querschnitt mittels frequenzabhängiger Ansatzfunktionen
von Dipl.-Ing. Hans-Dieter Kleinschrodt
- Nr. 148/ISBN 3-88314-774-5/Mai 1988
Theoretische Untersuchung von Variationsprinzipien für elastoplastisches Materialverhalten sowie Entwicklung und numerische Erprobung von Finite-Element-Verfahren für den ebenen Spannungszustand
von Dipl.-Ing. Wilfried Müller
- Nr. 149/ISBN 3-88314-775-3/Mai 1988
Bestimmung baugrunderdynamischer Kenngrößen aus der Untersuchung von Bodenproben
von Dr.-Ing. Ulrich Holzlhöner

- Nr. 150/ISBN 3-88314-776-1/Mai 1988
VG3D Zeichenprogramm für die Vektorgraphische Darstellung dreidimensionaler Strukturen
 von Dr.-Ing. Michael Weber
- Nr. 151/ISBN 3-88314-785-0/Juni 1988
Wechselwirkung starrer und flexibler Strukturen mit dem Baugrund insbesondere bei Anregung durch Bodenerschütterungen
 von Dipl.-Ing. Lutz Auersch-Saworski
- Nr. 152/ISBN 3-88314-796-6/Juli 1988
Untersuchung des baulichen Zustandes und der Tragfähigkeit vorgespannter Riegel von Verkehrszeichenbrücken der Berliner Stadtautobahn
 von Dr.-Ing. Günther Plauk, Dipl.-Ing. Günter Kretschmann, Dipl.-Ing. Rolf-G. Rohrman
- Nr. 153/ISBN 3-88314-797-4/Juli 1988
Magnetisches Verhalten von Eisenproben bei mechanischer Wechselbeanspruchung
 von Dr.-Ing. Harro Sander, Professor Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig
- Nr. 154/ISBN 3-88314-822-9/Okttober 1988
Druckgesinterte Stähle als zertifiziertes Referenzmaterial für die Spektrometrie
 von Dr. rer. nat. Konrad Breitreutz, Dr. rer. nat. Rüdiger Uttech, Dr.-Ing. Kurt Haedecke
- Nr. 155/ISBN 3-88314-825-3/Okttober 1988
Zur Entstehung und Ausbreitung von Schienenverkehrserschütterungen: Theoretische Untersuchungen und Messungen am Hochgeschwindigkeitszug Intercity Experimental
 von Dr.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 156/ISBN 3-88314-887-3/April 1989
Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von Faserzementen
 von Dr.-Ing. Günter Klamrowski, Dipl.-Ing. Paul Neustupny, Prof. Dr. habil. Hans-Joachim Deppe, Ing. Klaus Schmidt und Dr.-Ing. Jürgen Hundt
- Nr. 157/ISBN 3-88314-888-1/April 1989
Versuche zum Verhalten von Stahlbetonbalken mit Übergreifungsstößen der Zugbewehrung unter stoßartiger Belastung
 von Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dr.-Ing. Klaus Brandes
- Nr. 158/ISBN 3-88314-889-X/April 1989
Physikalisch-chemische Grundlagen der Feststoffschmierung — Literaturübersicht —
 von Dr.-Ing. Rolf Wasche und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 159/ISBN 3-88314-890-3/Mai 1989
Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Temperaturverteilung im Querschnitt von Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6
 von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi