

ISSN 0172-7613

Forschungsbericht 84

BUNDESANSTALT FÜR
MATERIALPRÜFUNG (BAM)

BERLIN

Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)

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

Juli 1982

27 Seiten, 38 Abbildungen, 17 Tabellen

Auswertung und Berichterstattung:

Dipl.-Inform. R. Müller; Dr.-Ing. R. Rudolphi
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin

Versuchsdurchführung:

1. Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin
2. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig,
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, Braunschweig
3. Staatliches Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen, Dortmund
4. Institut für Holzforschung der Universität München, München
5. Amtliche Forschungs- und Materialprüfungsanstalt für das Bauwesen,
Otto-Graf-Institut, Stuttgart
6. BASF Aktiengesellschaft, KCE/B — Prüfstelle Brandschutztechnik, Ludwigshafen
7. Bayer AG, FE-DPP /Brandtechnologie, Geb. B103, Leverkusen
8. DESOWAG-BAYER Holzschutz GmbH, Wissenschaftlich-Technische Abteilung, Krefeld
9. Grünzweig & Hartmann und Glasfaser AG, Ladenburg
10. Chemische Fabrik Grünau GmbH, Abteilung Feuerschutz, Illertissen

Die vorliegende Arbeit wurde durch den Innenminister des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert.

A.-Z.: VB 1-72.02-112/78

BAM-Vh 02423

Herausgegeben von der
Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45
Telefon 030/8104-1 Telex 1-083 261 bamb d

Copyright © 1982 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

Zusammenfassung

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurden bei fünf deutschen Materialprüfungsanstalten und fünf Industrieunternehmen Ringversuche in Kleinprüfständen nach DIN 4102 Teil 8 durchgeführt. Ziel der Arbeit war die Beurteilung der Ergebnisse der Brandversuche auf ihre Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit hin. Nach einer Diskussion der geeigneten Auswertungsverfahren werden die Versuchsergebnisse analysiert und die im Hinblick auf eine Weiterentwicklung von DIN 4102 Teil 8 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Kleinprüfstand“ daraus zu ziehenden Schlußfolgerungen formuliert.

Abstract

During this investigation comparative tests on small test furnaces according to DIN 4102 Teil 8 were carried out by five institutes for materials testing and five industrial companies of the Federal Republic of Germany. The aim was to compare the different test results with regard to reproducibility and repeatability. Different methods of evaluation are discussed, the test results are analysed. Proposals are made for a further development of DIN 4102 Teil 8 „Behaviour of building materials and components in fire; small test furnace“.

Vorwort

Unser besonderer Dank für das Zustandekommen dieses Forschungsvorhabens gilt Herrn Reg.-Baudirektor A. Klose als Obmann des SVA „Brandverhalten von Bauteilen“ sowie für die Bereitstellung von Versuchsmaterialien und die tatkräftige Unterstützung folgenden Firmen und Verbänden:

- Deutscher Stahlbau-Verband, Köln
- Grünzweig & Hartmann und Glasfaser AG, Ladenburg
- Herberts GmbH, Köln
- Westdeutsche Spritzputz GmbH, Düsseldorf

Für die organisatorische Abwicklung der Probekörperherstellung und -versendung sei Herrn Dipl.-Ing. J. Stanke gedankt, für die sorgfältige Durchführung der Versuche in der BAM Herrn J. König, für die Unterstützung bei der Auswertung Herrn Dipl.-Ing. G. Wehner, Herrn Ing. (grad.) E. Klement und Herrn D. Stielow.

Die grafischen Darstellungen wurden von Frau G. Blamberg, Frau G. Gabriel und Frau I. Walter gezeichnet.

Inhalt	Seite
1 Zielsetzung und Versuchsprogramm	1
2 Grundlegende Bemerkungen zu den angewendeten Auswertungsmethoden	1
2.1 Bestimmung der Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit	1
2.2 Varianzanalyse	2
2.3 Grafische Darstellung der Prüfergebnisse	2
2.4 Mehrfache nichtlineare Regressionsanalyse	2
2.5 Bestimmung der Wärmeübergangsverhältnisse im Brandraum	2
2.6 Überprüfung der Versuchsergebnisse auf Einhaltung der ETK	3
3 Beschreibung der Prüfstände und Versuchsbedingungen	3
3.1 Allgemeine Beschreibung	3
3.2 Beschreibung des BAM-Kleinprüfstandes mit Meß- und Regeleinrichtung	3
4 Versuche an Mineralfaserplatten zwischen Stahlblechen ohne Gegenheizung	8
4.1 Versuchsdurchführung und -ergebnisse	8
4.2 Auswertung der Versuchsergebnisse	8
5 Versuche an dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen auf Stahlplatten mit Gegenheizung	12
5.1 Versuchsdurchführung und -ergebnisse	12
5.2 Auswertung der Versuchsergebnisse	12
6 Versuche an Stahlplatten mit warmseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung	15
6.1 Versuchsdurchführung und -ergebnisse	15
6.2 Auswertung der Versuchsergebnisse	15
7 Versuche an Stahlplatten mit simulierter und tatsächlicher Gegenheizung	18
7.1 Versuchsdurchführung und -ergebnisse	18
7.2 Auswertung der Versuchsergebnisse	18
8 Schlußfolgerungen	25
9 Literatur	26

1 Zielsetzung und Versuchsprogramm

Der Kleinprüfstand nach DIN 4102 Teil 8 [1] dient z. Z. der Ermittlung der unter Brandversuchsbedingungen freiwerdenden Wärmemenge bei Baustoffen der Klasse A2 [2], der „Wärmedurchlässigkeit“ von Mineralfaser-Einlagen für Feuerschutzabschlüsse [3] sowie der Alterungsbeständigkeit und des Verhaltens bei Schwelfeuerbeanspruchung von dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen [4]. Die Ergebnisse der o. a. Prüfungen haben unmittelbaren Einfluß auf bauaufsichtliche Entscheidungen (Erteilung von Prüfzeichen und Zulassung bzw. deren Verlängerung). Eine objektive Beurteilung der Ergebnisse und Gleichbehandlung aller Antragsteller setzt voraus, daß eine Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit bei den in den Materialprüfungsanstalten vorhandenen Kleinprüfständen, auch unter Einbeziehung der vorhandenen Gegenheizeinrichtungen [5, 6], gegeben ist. Darüber hinaus ist die Privatindustrie an einem Vergleich ihrer Einrichtungen mit denen der Materialprüfungsanstalten sehr interessiert, da die firmeneigenen Kleinprüfstände außer für Vorversuche bei der Produktentwicklung auch für Eigenüberwachungszwecke eingesetzt werden.

Zur Überprüfung der Einrichtungen und der Zuverlässigkeit ihrer Aussage wurden daher bei fünf deutschen Materialprüfungsanstalten und fünf Industrieunternehmen Ringversuche in den jeweiligen Kleinprüfständen durchgeführt. Ziel der Untersu-

chungen war es ferner, wegen der unterschiedlichen Bauarten und Prüfstandsgeometrien der Prüfstände sowie unterschiedlichen Brennertypen die Wärmeübergangsverhältnisse in den einzelnen Prüfständen zu quantifizieren und die im Hinblick auf eine Weiterentwicklung von DIN 4102 Teil 8 [1] zu ziehenden Schlußfolgerungen zu formulieren.

Zur Klärung der aufgeworfenen Fragen wurde unter Berücksichtigung des gegebenen finanziellen Rahmens das in *Tabelle 1.1* aufgeführte *Versuchsprogramm* den Ringversuchen zugrundegelegt. Danach umfaßt das Versuchsprogramm folgende Kleinbrandversuche:

- Versuche ohne Gegenheizung
 - an Mineralfaserplatten zwischen Stahlblechen,
 - an Stahlplatten mit warmseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung und
 - an Stahlplatten mit kaltseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung,
- Versuche mit Gegenheizung
 - an dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen auf Stahlplatten und
 - an unbedeckten Stahlplatten.

Tabelle 1.1
Versuchsprogramm

Prüfstelle	Zahl der Versuche									
	MPA					Privatindustrie				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Probekörper										
Mineralfaserplatte (D = 30 mm) zwischen Stahlblechen nach DIN 18 082 Teil 2, Abschnitt 4.4 [3]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Dämmschichtbildner (Zweischichtsystem) auf Stahlplatte 500 mm x 500 mm x d mit Gegenheizung	d = 5 mm	10	10				10		10	
	10	1	1				1		1	
	15	1	1				1		1	
	20	1	1				1		1	
	25	1	1				1		1	
Warmseitig angeordnete, mineralisch gebundene Dämmplatte (Vermiculitplatte) 500 mm x 500 mm x D auf Stahlplatte 500 mm x 500 mm x 5 mm	D = 20 mm	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	30	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	40	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Stahlplatte 500 mm x 500 mm x 25 mm mit mineralisch gebundener Dämmplatte (2 x 50 mm dicke Vermiculitplatten) auf der dem Feuer abgekehrten Seite	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Stahlplatte 500 mm x 500 mm x 25 mm mit Gegenheizung	1	1				1		1		
Σ	35	35	20	20	20	35	20	35	20	20
	Σ MPA: 130					Σ Industrie: 130				

2 Grundlegende Bemerkungen zu den angewendeten Auswertungsmethoden

Unter Berücksichtigung der in Abschnitt 1 beschriebenen Zielsetzung für die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nach Tabelle 1.1 durchgeführten Ringversuche wurden im einzelnen folgende Auswertungsmethoden in Betracht gezogen:

- Bestimmung von Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit nach der Norm DIN/ISO 5725 [10],
- Varianzanalyse nach [11 bis 13] bzw. grafische Darstellung der Prüfergebnisse,
- Regressionsanalyse mit Berechnung der einseitigen Toleranzgrenzen nach [13 bis 16],

- Bestimmung der Wärmeübergangsverhältnisse im Brandraum [16, 17],
- Überprüfung der Versuchsergebnisse auf Einhaltung der nach DIN 4102 Teil 2 zulässigen Toleranzen der ETK.

2.1 Bestimmung der Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit

Die Bestimmung der Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit nach [10] wurde bereits von Egresi [18] bei einem Vergleich der Nichtbrennbarkeitsöfen angewendet. Diese Norm geht jedoch davon aus, daß die Unterschiede zwischen den Prüfständen,

vorausgesetzt, ein Prüfverfahren ist geeignet genormt worden, *klein sein sollten*, so daß es gerechtfertigt ist, einen gemeinsamen Wert für die prüfstelleninterne Varianz anzusetzen, der für alle Prüfstellen gilt, die das Standardverfahren benutzen. Wie die grafisch dargestellten Ergebnisse (Abschnitte 4 bis 7) und der in [10] zur Überprüfung der Varianzhomogenität (siehe obige Ausführungen) geforderte *Bartlett-Test* [12] zeigen, ist diese Ausgangshypothese für die Anwendung von [10] bei den vorliegenden Kleinbrand-Ringversuchen nicht erfüllt.

2.2 Varianzanalyse

Auch mit Hilfe der Varianzanalyse kann festgestellt werden, daß systematische Unterschiede zwischen den einzelnen Prüfstellen hinsichtlich der jeweils erhaltenen Prüfergebnisse im Kleinprüfstand bestehen. Schon die beiden Voraussetzungen für die Ausführung der Varianzanalyse

- Normalverteilung der einzelnen Stichproben, d. h. der Prüfergebnisse einer Prüfstelle hinsichtlich einer Prüfanordnung und einer Prüfgröße (z. B. die Temperaturerhöhung nach 30 Minuten Versuchsdauer der Mineralfaserplatten zwischen Stahlblechen der Prüfstelle 1), und
- Varianzhomogenität (Die Varianz der einzelnen Stichproben ist in allen Prüfstellen annähernd gleich)

sind in fast allen untersuchten Fällen bei Durchführung des *Tests auf Normalität nach David* [12] und Prüfung der Gleichheit mehrerer Varianzen nach *Bartlett* [12] gleichzeitig nicht erfüllt. Eine unter bestimmten Bedingungen [11] trotzdem noch zulässige Varianzanalyse zeigt weiterhin, daß in fast allen Fällen auch systematische Unterschiede zwischen den Stichproben-Mittelwerten der einzelnen Prüfstellen bestehen.

2.3 Grafische Darstellung der Prüfergebnisse

Daher wird im folgenden nur noch eine grafische Darstellung von Mittelwerten und Standardabweichungen der einzelnen Prüfstellen und der Prüfstellen insgesamt vorgenommen. Für die Prüfergebnisse einer Prüfstelle hinsichtlich einer Prüfanordnung und einer Prüfgröße werden der Gruppenmittelwert \bar{x}_i und die Gruppenstandardabweichung s_i nach den folgenden Gleichungen ermittelt:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (2.1)$$

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (2.2)$$

Zusätzlich wird für die gesamte Beobachtungsreihe, d. h. die Prüfergebnisse aller Prüfstellen hinsichtlich einer Prüfanordnung und einer Prüfgröße, der Gesamtmittelwert $\bar{x}..$ nach Gleichung (2.3) bestimmt sowie die entsprechende Gesamtstandardabweichung $s..$ nach Gleichung (2.4):

$$\bar{x}.. = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \bar{x}_i = \frac{1}{pn} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (2.3)$$

$$s.. = \sqrt{\frac{1}{(np-1)} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}..)^2} \quad (2.4)$$

Hierbei ist p die Anzahl der Gruppen oder Prüfstellen.

Die nach den Gleichungen (2.1) bis (2.4) errechneten Zahlenwerte sind in den grafischen Darstellungen von Mittelwerten und Standardabweichungen zusätzlich angegeben, um weitergehende Auswertungen zu ermöglichen, etwa

- die Berechnung der Variationszahl V nach Gleichung (2.5) für jede Gruppe (Prüfstelle)

$$V_i = s_i / \bar{x}_i, \quad (2.5)$$

- die Berechnung von einseitigen unteren oder oberen Toleranzgrenzen für jede Prüfstelle bei Vorliegen einer normalverteilten Stichprobe nach Stange [13] nach Gleichung (2.6)

$$T_U = \bar{x}_i - k'_T s_i \quad \text{bzw.} \quad (2.6)$$

$$T_O = \bar{x}_i + k'_T s_i$$

mit $k'_T = 2,4$ bei einer statistischen Sicherheit von $S = 1 - \alpha = 95\%$ und einem Anteil der Gesamtheit $(1 - \gamma) = 90\%$ und $n = 10$ [13]. Das bedeutet, daß 90 % aller Meßwerte oberhalb von T_U bzw. unterhalb von T_O zu erwarten sind. Diese Aussage kann in $\alpha = 5\%$ aller Fälle bei Wiederholung der Meßreihe falsch sein, vgl. [14, 1. Teil, bzw. 19].

2.4 Mehrfache nichtlineare Regressionsanalyse

Die Umrechnung von Prüfergebnissen in einem Kleinprüfstand auf die Verhältnisse anderer Kleinprüfstände ist mit Hilfe der mehrfachen nichtlinearen Regressionsrechnung bei Test des Gesamtansatzes und sukzessiver Elimination der nichtsignifikanten Einflußgrößen möglich. Damit sind Kennlinien zur Umrechnung der Ergebnisse von Brandprüfungen von Prüfstand zu Prüfstand aufstellbar. Durch die Berechnung einseitiger unterer oder oberer Toleranzgrenzen können auch hier für die untersuchten Prüfanordnungen und Prüfgrößen Aussagen über den jeweils zu erwartenden kleinsten bzw. größten Einzelwert gemacht werden. Das Verfahren ist ausführlich in [16] beschrieben. Es ist nur anwendbar, wenn ausreichend viele Prüfergebnisse an gleichartigen Prüfanordnungen vorliegen, die sich hinsichtlich mindestens einer Einflußgröße (z. B. Stahlplattendicke, Bekleidungsstärke, Wärmeleitfähigkeit der Bekleidung) systematisch unterscheiden. Somit ist das Verfahren im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit nur auf die Prüfanordnungen nach den *Abb. 5.1 und 6.1* anwendbar, d. h. auf

- die Kleinbrandversuche mit Gegenheizung an dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen auf unterschiedlich dicken Stahlplatten und auf
- die Kleinbrandversuche ohne Gegenheizung an Stahlplatten mit warmseitiger, unterschiedlich dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung.

Wird im ersten Falle im Prüfstand i beispielsweise die Zeitdauer $t_{500,i}$ bei einer Stahlplatte der Dicke d_i und der Gesamtschichtdicke $D_{tr,i}$ gemessen, so kann bei Vorliegen der gleichen Einflußgrößen im Prüfstand j die Zeitdauer $t_{500,j}$ nach folgendem allgemeinen Produktansatz errechnet werden:

$$t_{500,j} = C (t_{500,i})^a (d_j/d_i)^b (D_{tr,j}/D_{tr,i})^c \quad (2.7)$$

Hierbei wird vorausgesetzt, daß einer Zunahme der Gesamtschichtdicke D_{tr} auch eine Zunahme von t_{500} entspricht, vgl. [20]. Im zweiten Falle kann die Temperaturerhöhung im Prüfstand j bei einer Bekleidungsstärke D_j aus der Temperaturerhöhung im Prüfstand i bei einer Bekleidungsstärke D_i ebenfalls mit einem allgemeinen Produktansatz der folgenden Art errechnet werden:

$$\Delta \vartheta_j = C (\Delta \vartheta_i)^a (D_j/D_i)^b \quad (2.8)$$

2.5 Bestimmung der Wärmeübergangsverhältnisse im Brandraum

Grundsätzlich können die Wärmeübergangsverhältnisse Brandraum zu Probekörperoberfläche aus den Versuchsanordnungen rechnerisch bestimmt werden, wo die Wärmeleitfähigkeit λ und

die spezifische Wärmekapazität c_p aller am Probekörperaufbau beteiligten Baustoffe als Funktion der Temperatur bekannt sind. Unterschiedliche Wärmeübergangsverhältnisse in den ersten 30 Minuten bei den einzelnen Kleinprüfständen lassen sich jedoch am besten bei der Versuchsanordnung „Stahlplatte mit kaltseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung“ nach Abb. 7.1 nachweisen, da sich hier größere Temperaturdifferenzen zwischen Brandraum- und Probekörperoberflächentemperatur als bei den Versuchsanordnungen nach Abb. 4.1 und 6.1 einstellen. Zudem liegen von allen Prüfstellen Versuchsergebnisse vor, geräte- und steuertechnisch bedingte Unterschiede in der Gegenheizwirkung entfallen.

Die im einzelnen bereits am Beispiel unbedeckter Stahlstützen in [16, Abschnitt 6.2.3] beschriebene Vorgehensweise ist jetzt folgende:

- Unter Ausnutzung der Symmetrieverhältnisse (Symmetrieachse verläuft durch die Knoten 17 und 19) wird das in Abb. 7.11 dargestellte Rechenmodell für die Versuchsanordnung nach Abb. 7.1 (Anordnung links) aufgestellt. Den Knoten 29 und 30 wird die Einheits-Temperaturzeitkurve [23] bei einer Probekörper-Temperatur von 20°C zu Versuchsbeginn, den Knoten 31 und 32 eine Raumtemperatur (Außenlufttemperatur) von 20°C zugeordnet.
- Die thermodynamischen Kennwerte der Baustoffe sind den Abb. 7.7 bis 7.10 zu entnehmen.
- Der Wärmeübergang vom Brandraum zur Probekörperoberfläche (Index i) infolge Konvektion und Strahlung wird durch folgende Beziehung für den Wärmeübergangskoeffizienten α_i erfaßt [16, 24 bis 27]:

$$\alpha_i = \alpha_{\text{konv}, i} + \alpha_{\text{Strahl}, i} \quad (2.9)$$

$$\alpha_i = \alpha_{\text{konv}, i} + \frac{C_s \epsilon_{\text{res}, i} \left[\left(\frac{\vartheta_{\text{Br}} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\vartheta_{\text{St}} + 273}{100} \right)^4 \right]}{\vartheta_{\text{Br}} - \vartheta_{\text{St}}}$$

mit $\epsilon_{\text{res}, i} = \epsilon_{\text{ges}} \epsilon_{\text{St}}$, $C_s = 5,67 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K}^4)$, $\vartheta_{\text{Br}} = \vartheta_{29} = \vartheta_{30}$ und $\vartheta_{\text{St}} = \vartheta_{19} = \vartheta_{20}$.

- Der Wärmeübergang auf der Kaltseite von der Probekörperoberfläche zum Prüfraum (Index a) infolge Konvektion und Strahlung wird in Anlehnung an [28] mit

$$\alpha_a = 9,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$$

angesetzt.

3 Beschreibung der Prüfstände und Versuchsbedingungen

3.1 Allgemeine Beschreibung

In den Tabellen 3.1 und 3.2 werden Angaben zur Prüfeinrichtung bzw. zur Regel- und Meßeinrichtung der einzelnen Prüfstellen zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung gemacht. Die Art und Anordnung der Thermoelemente und die vorgeschriebenen Versuchsbedingungen gehen aus Tabelle 3.3 hervor.

3.2 Beschreibung des BAM-Kleinprüfstandes mit Meß- und Regeleinrichtung

Von den einzelnen Prüfstellen wurden über die in den Tabellen 3.1 und 3.2 enthaltenen Angaben hinaus relativ wenige detaillierte Unterlagen über den konstruktiven Aufbau der Kleinprüfstände und die benutzte Meß- und Regeleinrichtung der BAM zur Verfügung gestellt. Wegen der guten Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse und der hohen Genauigkeit bei

- Wendet man nun auf das „Erwärmungsmodell Kleinprüfstand-Stahlplatte mit simulierter Gegenheizung“ nach Abb. 7.11 eine FORTRAN IV-Version des in [17] dokumentierten Rechenprogramms zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen an, so lassen sich durch Vergleich der gemessenen (Meßstelle \odot 1 in Abb. 7.1) und errechneten (Knoten 1 in Abb. 7.11) Stahltemperatur-Zeit-Funktionen mittlere Werte für die Unbekannten $\alpha_{\text{konv}, i}$ und $\epsilon_{\text{res}, i}$ im betrachteten Zeitraum (hier 0 bis 24 min) bestimmen.

2.6 Überprüfung der Versuchsergebnisse auf Einhaltung der ETK

Wird die in Abschnitt 6.2.4 von DIN 4102 Teil 2 [23] vorgeschriebene Regelung für die zulässigen Abweichungen der mittleren Brandraumtemperatur- von der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) so interpretiert, daß sich zu jedem Zeitpunkt eine maximale Abweichung der Fläche unter der gemessenen, mittleren Brandraumtemperaturzeitkurve von der Fläche unter der ETK von $p = 10\%$ bis zu 30 Minuten Prüfdauer und von $p = 5\%$ bei einer längeren Prüfdauer ergeben darf, so ist die untere (–) bzw. obere (+) Toleranzgrenze der ETK durch folgende Beziehung gegeben:

$$(\vartheta - \vartheta_0)_{\text{TU bzw. TO}} = 345 \left(1 \pm \frac{p}{100} \right) \lg(8t + 1) \quad (2.10)$$

Damit erhält man bei Beflammungsende zu jedem möglichen Zeitpunkt die noch zulässige Fläche A wie folgt:

$$A_{\text{TU bzw. TO}} = 345 \left(1 \pm \frac{p}{100} \right) / (8 \ln 10) \times \\ \times [(8t + 1)(\ln(8t + 1) - 1) + 1] \quad (2.11)$$

Die nach Gl. (2.10) berechneten unteren (TU) bzw. oberen (TO) Toleranzgrenzen der ETK enthält Tabelle 7.5. Man sieht, daß die nach dem Flächenkriterium in Anlehnung an [23] errechneten zulässigen Temperaturabweichungen kleiner als 100 K sind.

Legt man nun einer Temperaturberechnung mit dem „Erwärmungsmodell Kleinprüfstand-Stahlplatte mit simulierter Gegenheizung“ nach Abb. 7.11 bei $\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$ die in Tabelle 7.5 angegebenen unteren bzw. oberen Toleranzgrenzen der ETK sowie die nach Abschnitt 2.5 für den betrachteten Zeitraum ermittelten mittleren Wärmeübergangsverhältnisse zugrunde, so kann man die nach dem betrachteten Zeitraum auftretende Stahltemperatur (Knoten 1 in Abb. 7.11) berechnen und mit den tatsächlichen Meßwerten der entsprechenden Einzelversuche (Meßstelle 1 in Abb. 7.1) jeder Prüfstelle vergleichen. Damit ist eine Aussage über die Genauigkeit der Einhaltung der ETK möglich.

der Einhaltung der ETK soll daher ausschließlich auf Veröffentlichungen zum BAM-Kleinprüfstand und zur BAM-Ölbrennerregelung — wie zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung benutzt — hingewiesen werden.

Ausführliche Beschreibungen des BAM-Prüfstandes finden sich in [1, 6, 30]. Eine detaillierte Beschreibung der Meß- und Regeleinrichtung und des Ölbrenners nebst Hilfsaggregaten enthält [29, 30], das Gegenheizverfahren wurde eingehend in [5, 6, 30] beschrieben. Eine Gesamtansicht des einen BAM-Kleinprüfstandes (mit Abmessungen nach Tabelle 3.2) und des Niederdruck-Ölbrenners in Kompaktbauweise mit Öldruck- und Verbrennungsluftzerzeugung sowie getrennt angeordnetem Gas-Zündbrenner zeigt Abb. 3.1. Der Brenner wird mit einem Öl-Luft-Verhältnis betrieben, das eine reproduzierbare Funktion der momentan verbrauchten Ölmenge ist, Abb. 3.2. Die Regelung des Ölbrenners wird wie folgt vorgenommen: Zunächst wird die

Regelgröße, also die Brandraumtemperatur, mit einem NiCr-Ni-Thermoelement nach [1] gemessen und auf einem elektronischen 12fach-Kompensations-Punktendrucker mit entsprechend der Thermospannungs-Temperatur-Charakteristik geteiltem Eichpapier registriert. Diesem Ist-Wert steht als Soll-Wert eine durch fotoelektrische Abtastung in kartesischen Koordinaten beliebig vorgebbare Soll-Wert-Temperaturzeitkurve (hier ETK) gegenüber, Abb. 3.3. Die durch Vergleich des Ist- und Soll-Wertes erzeugte Regelabweichung wirkt auf einen elektronischen Dreipunkt-Schrittregler, der eine Führungsgröße (Heizleistung) durch motorische Verstellung eines Potentiometers für eine variable Anzahl von Einzelbrennern (hier nur ein Brenner)

vorgibt. Der (oder die) Einzelbrenner wird jeweils nach Maßgabe der Führungsgröße durch entsprechende Folgeregler verstellt. Die Anlage arbeitet mit einer Genauigkeit von weniger als ± 5 K Abweichung von der vorgegebenen Soll-Kurve.

Abb. 3.4 zeigt das Schema eines Gegenheizversuches zur Simulation einer adiabatischen Wärmedämmung nach Abb. 3.5. Mit Hilfe eines elektronischen Nullgalvanometers mit verstellbarem Meßbereich und hohem Eingangswiderstand kann die Heizleistung des Heizwiderstandes so gesteuert werden, daß Temperaturdifferenzen zwischen Stahlplatten- und Gegenheizplattentemperatur von weniger als 5 K erreicht werden können.

Tabelle 3.1

Angaben zur Regel- und Meßeinrichtung zum Zeitpunkt der Versuchsausführung (Maße in mm)

Regeleinrichtung	Prüfstelle									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Handsteuerung des Brenners	(ja)	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
automatische Regelung des Brenners	ja	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Abweichung von der ETK, max.	± 5 K	± 20 K	± 15 K	± 10 K	± 10 K	± 10 K	± 50 K	± 20 K	± 10 K	± 25 K

Meßeinrichtung	Prüfstelle									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Angaben zum Brandraumthermoelement										
— Mantelthermoelement	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
— Außen \emptyset	3,2	3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2		
— Schutzrohr	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
— nach DIN 4102 Teil 8	ja		nein	ja	ja	ja	ja	ja	nein	
— Thermopaarart	NiCr-Ni									PtRh-Pt
Thermopaarart Oberflächenelement	NiCr-Ni	Fe-Konst	NiCr-Ni					Fe-Konst	NiCr-Ni	
Registrierung durch										
— Kompensations-Punktendrucker	ja	ja		ja	ja		ja	ja		ja
— Kompensations-Linienschreiber				ja		ja			ja	
— automatische Meßwerterfassungsanlage			ja							
Eichpapier	ja	nein		ja	nein				ja	nein
(Öl)mengenmessung										
— durch Zähler		ja	nein	ja	nein	ja	nein		ja	
— durch Auslitern	ja		nein		nein		nein	ja		ja

Tabelle 3.2
Angaben zur Prüfeinrichtung zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung (Maße in mm)

Prüfstand		Prüfstelle									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
lichte Maße des Brand- raumes	l	2 460	1 500	2 055	2 420	2 450	2 450	2 060	2 880	2 150	2 620
	b	410	400	400	400	400	400	400	430	500	390
	h	640	620	600	620	640	600	600	670	600	630
Wanddicke		120	200	120 25 115	120	115	195	208	110	180	120
Wandmaterial		Schamotte- stein, Feuerbeton	Feuerbeton	Schamotte- stein, MF-Platte, KSV-M.	Schamotte- stein	Feuer- leichtbeton	Schamotte- stein	Sillimanit- stein	Feuer- leichtstein	Schamotte- stein	Schamotte- stein
Wandmaterial ρ in kg/m ³		1 950 2 000	2 200	1 900 100 1 600	1 900	1 100	2 160	(2 350)	1 040	2 000	1 960
Deckendicke		100	200	100 25 100	60	100	100 70	70	100	180	65 60
Deckenmaterial		Feuerbeton	Feuerbeton	Feuerbet., MF-Platte, Stahlbet.pl.	Feuerbeton	Feuer- leichtbeton	Feuer- leichtbeton Schamotte	Schamotte	Caposil- platte	Schamotte	Schamotte, MF-Platte
Deckenmaterial ρ in kg/m ³		2 000	2 200	100	2 000	1 100	700 2 160	(2 000)	256	2 000	1 910 153
lichte Maße der Öffnung in der Seitenwand	b	460	450	450	460	450	450	450	450	450	435
	h	435	450	450	445	430	450	450	470	450	435
horizontaler Abstand Brennerwand (außen) — Mitte Öffnung		1 020	1 000	1 020	1 045	1 130	1 130	1 025	1 040	1 165	1 040
senkrechter Abstand Brennerachse — Mitte Öffnung		220	220	200	350	220	115	115	175	—	305

Beflammungseinrichtung	Prüfstelle										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Hersteller des Brenners	Körting, Hannover			Klöckner, Altena		Schmitz & Apelt, Wuppertal	Körting, Hannover	Schmitz & Apelt, Wuppertal	Küppers- busch, Gelsen- kirchen	Schmitz & Apelt Wuppertal	
Typenbezeichnung	t3ax	NW125	t2all	POL-N/h 15kG	BO Größe 80	NN4	t2all	TOM2	DKT4/37	TOM2	
Art der (Öl-)zerstäubung	Drucköl	Preßluft- Mehrfach- zerstäu- bung, 2fach	Drucköl	Drucköl u. Preßluft	Preßluft	Drucköl	Drucköl	Preßluft	Gas- brenner	Preßluft	
Zwangsluftzuführung?	ja		ja	ja	ja	ja	ja	nein	ja	nein	
Kopplung (Öl)menge — Luftmenge	über Kur- venscheibe	nein	über Kurvenscheibe					nein			
Regelverhältnis	1 : 3	1 : 6	1 : 3	1 : 8	1 : 8	1 : 9	1 : 3	1 : 3,3	—	—	

() ... nicht angegeben, ergänzt nach [9]

Tabelle 3.3
Versuchsanordnung und Versuchsbedingungen

Versuchsanordnung	Abb. 4.1	Abb. 5.1	Abb. 6.1	Abb. 7.1	
Art der Probekörper	Mineralfaserplatten zwischen Stahlblechen	Dämmschichtbildner auf Stahlplatten	Stahlplatte mit warmseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung	Stahlplatte mit kaltseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung	unbekleidete Stahlplatte mit Gegenheizung
Anzahl der Versuche	10	14	5	5	1
Temperaturmeßstelle im Brandraum	Anordnung nach DIN 4102 Teil 8 [1]				
Druckmeßstelle im Brandraum	Ausführung und Anordnung nach DIN 4102 Teil 8 [1]				
Brennstoff	Heizöl EL DIN 51 603 oder Dieselmkraftstoff DIN 51 601 1) 2)				
Beflammung	DIN 4102 Teil 2 Abschnitt 6.2.4 (ETK) [23]				
statischer Druck im Brandraum	(1 ± 1) Pa				
Temperaturmeßstellen am Probekörper	Ausführung und Befestigung nach ABM-Blatt 2 E [8], Abschnitt				
	1.1 + 1.2.2 (nicht überklebt) oder 1.2.3 (nicht überklebt) bei der 1,0 mm dicken Stahlplatte, 1.1 + 1.2.2 oder 1.2.3 bei der 1,5 mm dicken Stahlplatte, jeweils in der Mitte der vom Feuer abgekehrten Oberfläche	1.1 + 1.2.2 (nicht überklebt) oder 1.2.3 (nicht überklebt) in der Mitte der vom Feuer abgekehrten Oberfläche	1.1 + 1.2.2 oder 1.2.3; in der Mitte der vom Feuer abgekehrten Oberfläche der Stahlplatte (nicht überklebt)	1.1 + 1.2.2 (nicht überklebt) oder 1.2.3 (nicht überklebt) bei der 25 mm dicken Stahlplatte, 1.1 + 1.2.1 bei den 50 mm dicken Vermiculitplatten, jeweils in der Mitte 4) der vom Feuer abgekehrten Oberfläche	1.1 + 1.2.2 (nicht überklebt) oder 1.2.3 (nicht überklebt) in der Mitte der vom Feuer abgekehrten Oberfläche
Versuchsdauer in min	= 60	t ₅₀₀ 3)	= 90	t ₅₀₀ 3) ≥ 30	t ₅₀₀ 3) ≥ 30
Gegenheizung	ohne	mit	ohne	ohne	mit

- 1) falls nicht ein anderer Brennstoff benutzt wurde
- 2) möglichst unter Messung der Brennstoffmenge in l bis zum Ende der Beflammung
- 3) Zeitdauer bis zum Erreichen einer Temperatur von 500°C auf der dem Feuer abgekehrten Oberfläche des Probekörpers
- 4) durch entsprechende Einfräsungen war dafür zu sorgen, daß die beiden Vermiculit-Platten bündig anliegen

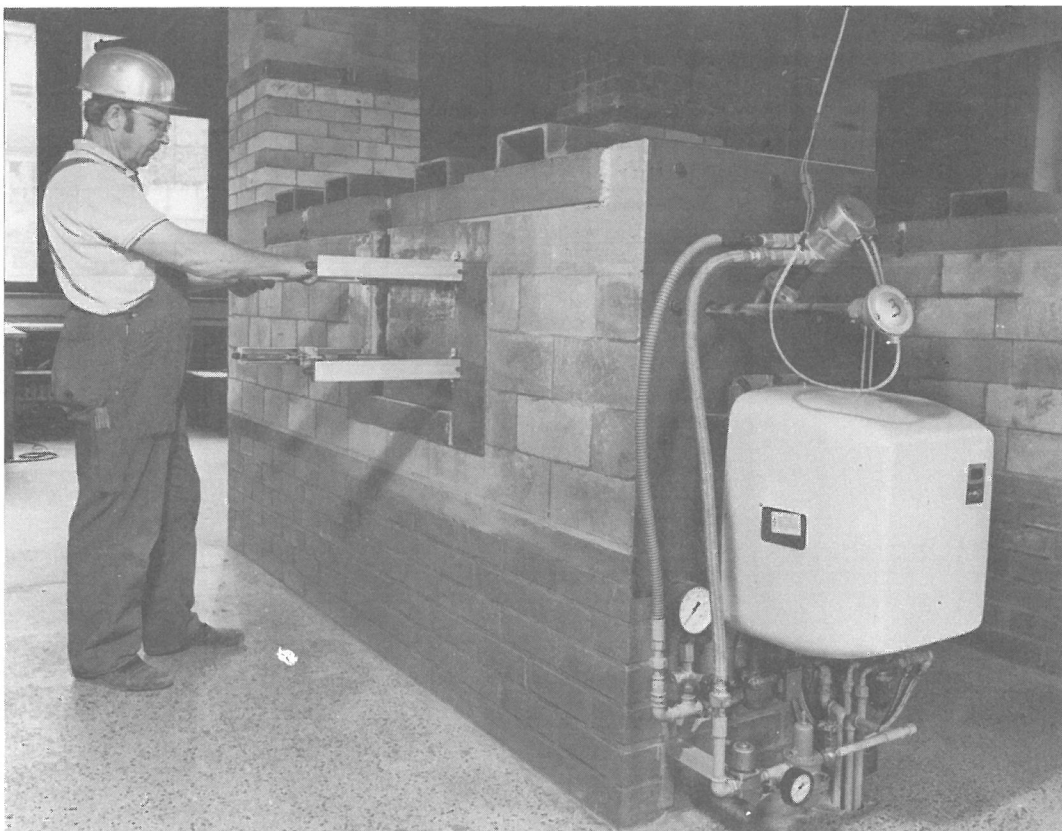


Abb. 3.1
Kleinprüfstand der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), Berlin, nach [1] zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung

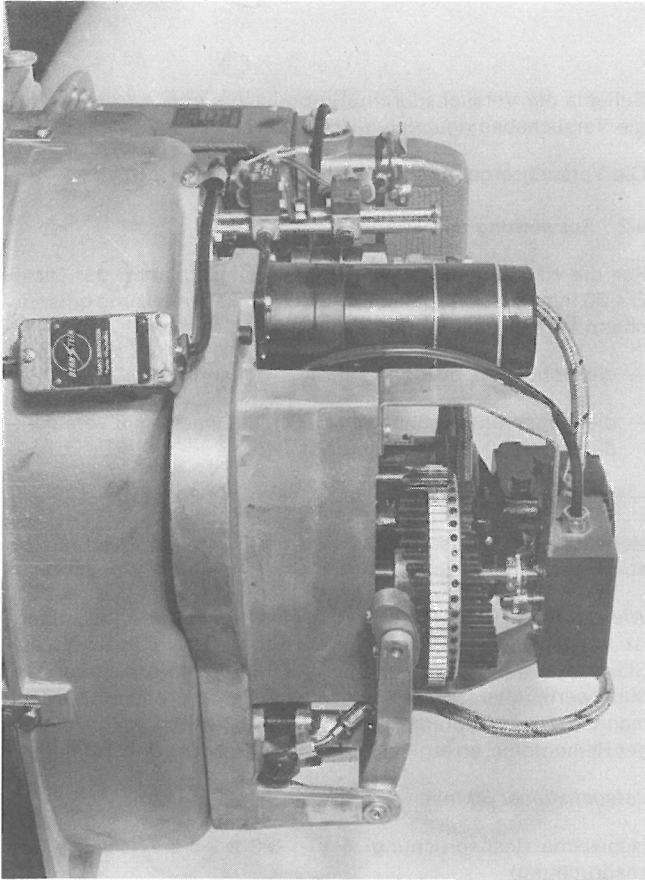


Abb. 3.2
Verstellbare, motorgetriebene Kurvenscheibe zur Regelung der Ölmenge in Abhängigkeit der Verbrennungsluftmenge des BAM-Niederdruck-Ölbrenners

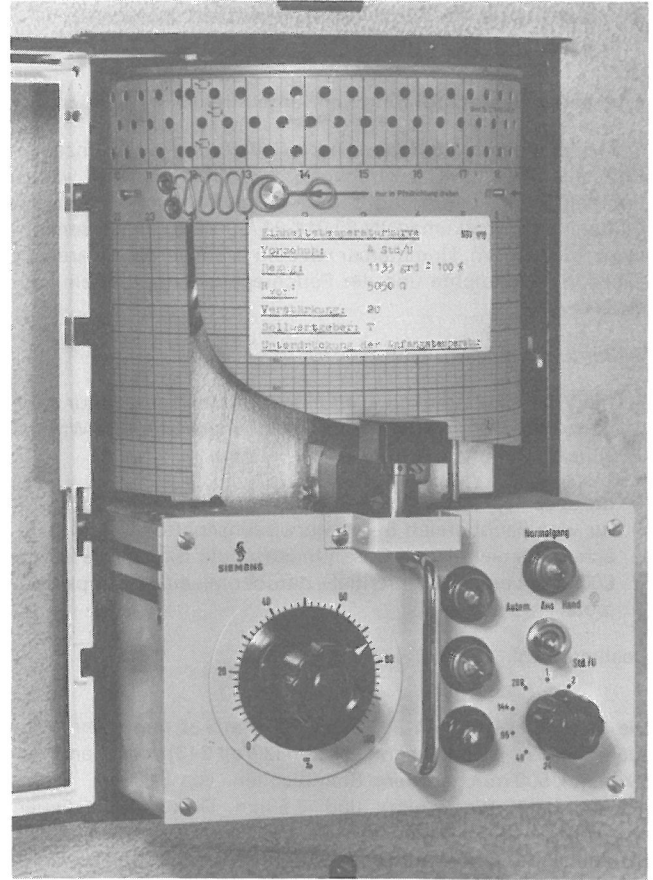


Abb. 3.3
Fotoelektrisch arbeitende Zeitplangebereinheit mit veränderlichem Vorschub für die Sollwertvorgabe

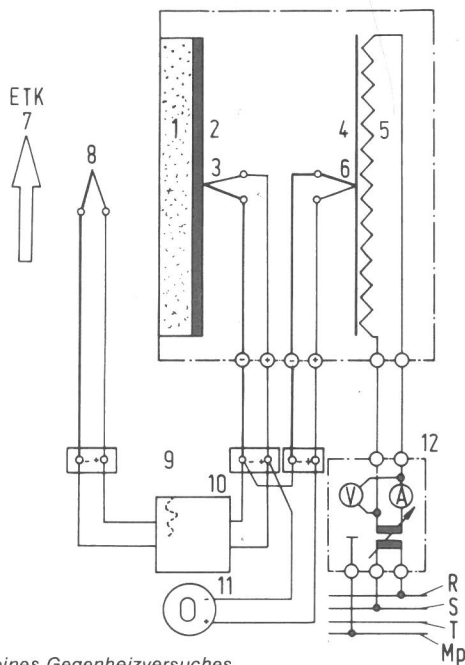


Abb. 3.4
Schema eines Gegenheizversuches
(1) Dämmschichtbildner bzw. Wärmedämmschicht
(2) Stahlplatte
(3) Stahltemperatur-Thermoelement
(4) Gegenheizplatte
(5) Heizwiderstand (Rohrheizkörper)
(6) Thermoelement zur Messung der Gegenheiztemperatur
(7) Beflammung durch Ölbrenner im Prüfstand
(8) Brandraumthermoelement
(9) Vergleichsstellen
(10) 12fach-Kompensations-Punktdrucker
(11) Nullgalvanometer
(12) Stelltransformator

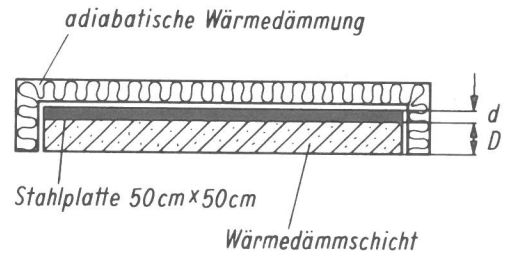


Abb. 3.5
Äquivalent zur Gegenheizvorrichtung durch an den Kanten umgreifende Vermiculitplatten-Wärmedämmung

4 Versuche an Mineralfaserplatten zwischen Stahlblechen ohne Gegenheizung

4.1 Versuchsdurchführung und -ergebnisse

Die Mineralfaserplatten waren nach Anlieferung in den einzelnen Prüfstellen bei 105°C zu trocknen. Ihre Trockenmasse war zu ermitteln. Vor Ausführung der Kleinbrandversuche waren die Platten im Normklima DIN 50 014-23/50-2 bis zur Massenkonstanz¹⁾ zu lagern. Unmittelbar vor dem Brandversuch waren die Dicke, die Rohdichte und der Feuchtegehalt zu ermitteln, vgl. *Tabelle 4.1*.

Außerdem wurden

- die Wärmeleitfähigkeit λ als Funktion der Temperatur nach dem Zweiplattenverfahren im Forschungsinstitut für Wärmeschutz, München, und
- die spezifische Wärmekapazität c_p als Funktion der Temperatur vom Fachbereich 8 — Naturwissenschaften II, Anorganische Chemie — der Gesamthochschule Siegen bis zu ca. 600°C mit einem Differential-, darüber mit einem Dropkalorimeter

bestimmt, vgl. *Abb. 4.2 und 4.3*.

Die Mineralfaserplatten 500 mm x 500 mm x 30 mm (zehn Versuche) waren jeweils nach DIN 18 082 Teil 2 [3] zwischen zwei 500 mm x 500 mm großen Stahlblechen von 1,0 mm Dicke (Feuer- bzw. Warmseite) und 1,5 mm Dicke (vom Feuer abgekehrte bzw. Kaltseite) anzuordnen. Das 1 mm dicke Stahlblech der Vorrichtung war nach jedem Versuch auszuwechseln. Abweichend von der oben angegebenen Norm mußten die Porzellanrohre 30 mm anstelle 52 mm lang sein. Die Probekörperherstellung erfolgte in der jeweiligen Prüfstelle. Der so gebildete Probekörper wurde entsprechend der o. a. Norm vor der seitlichen Öffnung des Kleinprüfstandes angeordnet. Das

Schema der Versuchsdurchführung ist aus *Abb. 4.1* ersichtlich, die Versuchsbedingungen aus *Tabelle 3.3*.

Die Versuchsergebnisse enthält *Tabelle 4.2*.

4.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

Für die Kleinbrandversuche an Mineralfaserplatten der Dicke $D = 30$ mm zwischen Stahlblechen ohne Gegenheizung entsprechend Versuchsordnung nach *Abb. 4.1* wurden

- die Rohdichte, bezogen auf die Trockenmasse,
- die Temperaturerhöhung an Meßstelle 2 nach einer Versuchsdauer von 30 bzw. 60 min und
- der mittlere Ölverbrauch pro Minute ($t = 60$ min)

statistisch nach Abschnitt 2.2 und grafisch nach Abschnitt 2.3 ausgewertet, vgl. *Tabelle 4.3* und die *Abb. 4.4 bis 4.7*.

Wie schon die Ergebnisse der statistischen Auswertung zeigen, ist auch bei der grafischen Auswertung eine Gleichheit der Standardabweichungen nur bei der Rohdichte erkennbar, die Mittelwerte unterscheiden sich in allen Fällen erheblich. Ordnet man die Temperaturerhöhungen der Größe nach in aufsteigender Reihenfolge, so ergibt sich folgende Reihung der Prüfstellen:

Versuchsdauer 30 min:

(schwache Beanspruchung) 4-10-1-8-9-2-3-5-6-7 (scharfe Beanspruchung)

Versuchsdauer 60 min:

(schwache Beanspruchung) 4-1-10-8-2-5-9-3-6-7 (scharfe Beanspruchung)

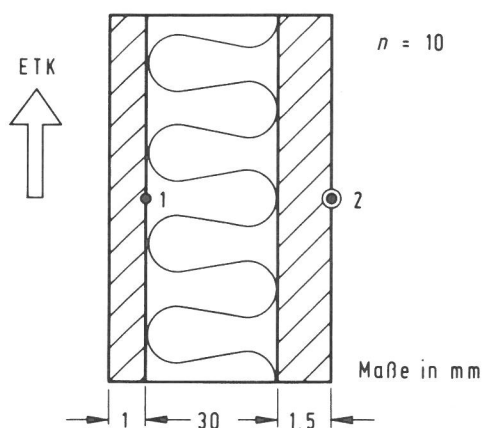


Abb. 4.1

Schema der Versuchsdurchführung der Kleinbrandversuche ohne Gegenheizung an 30 mm dicken Mineralfaserplatten zwischen Stahlblechen

1) Ausreichende Massenkonstanz gilt als erreicht, wenn die Differenz zweier Wägungen im Abstand von 48 Stunden kleiner als 0,1 % des Probengewichts ist [2].

Tabelle 4.1
Kennwerte der Mineralfaserplatten

Prüfstelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Dicke D in mm	30 4)	34	29,4	30,0	30,5	30	29,8	30 4)	30 4)	30 4)	
	30 4)	34	29,7	30,1	31,0	31	29,8	30 4)	30 4)	30 4)	
	30 4)	34	31,0	30,0	30,5	31	29,0	30 4)	30 4)	30 4)	
	30 4)	33	31,0	30,5	31,5	31	27,8	30 4)	30 4)	30 4)	
	1) 2)	29,7	35	31,8	30,1	31,5	30	27,3	30 4)	30 4)	30 4)
		30,8	34	30,2	30,2	30,0	30	28,7	30 4)	30 4)	30 4)
		32,0	34	31,2	30,9	31,0	30	28,9	30 4)	30 4)	30 4)
		31,1	33	31,7	31,1	31,5	30	28,8	30 4)	30 4)	30 4)
		32,2	33	31,5	29,9	30,5	30	29,6	30 4)	30 4)	30 4)
		32,0	32	29,7	30,0	30,0	31	29,5	—	30 4)	30 4)
i. M.	—	34	30,7	30,3	30,8	30	28,9	—	—	—	
Rohdichte ρ in kg/m ³	204 5)	189	208	210	212	70 6)	217	215 5)	216 5)	214 5)	
	224 5)	194	222	202	213	75 6)	217	209 5)	209 5)	214 5)	
	217 5)	184	203	202	213	76 6)	214	222 5)	209 5)	214 5)	
	218 5)	183	200	211	202	72 6)	228	209 5)	207 5)	209 5)	
	3)	210	192	198	202	196	69 6)	228	217 5)	212 5)	215 5)
		208	194	209	210	197	81 6)	224	212 5)	221 5)	216 5)
		201	194	204	203	216	83 6)	209	205 5)	213 5)	215 5)
		200	188	198	205	210	79 6)	217	217 5)	205 5)	215 5)
		196	196	199	205	208	79 6)	221	213 5)	220 5)	214 5)
		197	194	207	215	198	78 6)	205	—	215 5)	214 5)
i. M.	—	191	205	206	206	—	218	—	—	—	
Feuchtegehalt u_m in %	0	0,4	0	0	0,6	0	0,3	0,4	< 0,1	0	
	0	0,4	0	0	0,7	0	0,6	1,3	< 0,1	0	
	0	0,3	0	0	0,7	0	0,3	0,3	< 0,1	0	
	0	0,3	0	0	0,7	0	0,6	0,4	< 0,1	0	
	0	0,1	0	0	0,6	0	0,6	0,2	< 0,1	0	
	0	0,2	0	0,1	0,7	0	0,3	1,0	< 0,1	0	
	0	0,4	0	0,3	0,7	0	0,7	0,2	< 0,1	0	
	0	0,3	0	0	0,6	0	0,6	0,6	< 0,1	0	
	0	0,1	0	0	0,7	0	0,6	1,0	< 0,1	0	
	0	0,1	0	0,1	0,7	0	0,3	—	< 0,1	0	
i. M.	0	0,3	0	0	0,7	0	0,5	0,6	< 0,1	0	

- 1) ermittelt nach DIN 18 165 Teil 1, Abschnitt 7.3.2 [7] (jeweils ein Wert)
- 2) bezogen auf die Masse im Normklima nach Erreichen der Massenkonstanz [2]
- 3) bezogen auf die Trockenmasse (Trocknung bei 105°C)
- 4) es wurde nur die Nenndicke angegeben
- 5) Werte sind mit Folgefehlern behaftet aufgrund ungenau ermittelter Dicke
- 6) falsche Werte (vgl. Größenordnung anderer Prüfstellen)

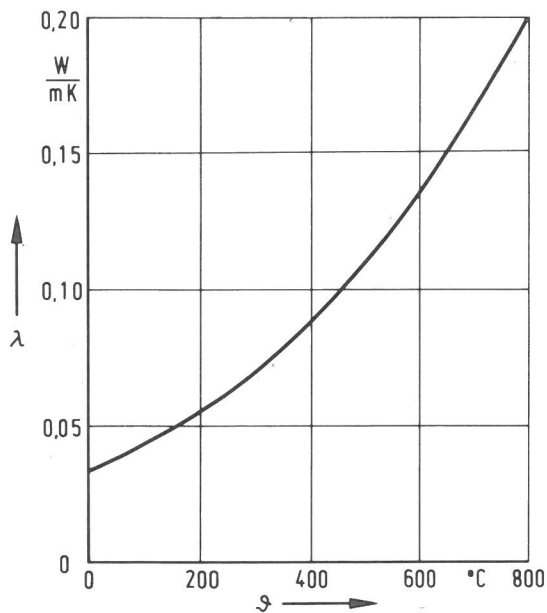


Abb. 4.2
Meßwerte der Wärmeleitfähigkeit an 30 mm dicken Mineralfaserplatten
($\rho = 208 \text{ kg/m}^3$) in Abhängigkeit der Temperatur

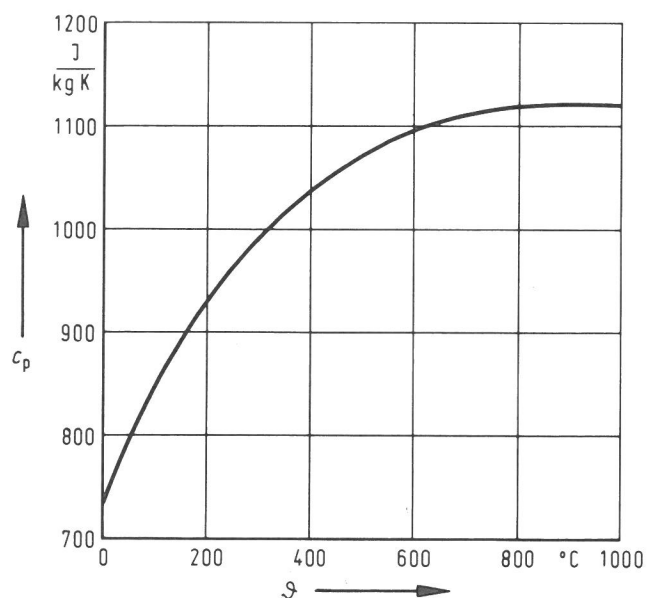


Abb. 4.3
Meßwerte der spezifischen Wärmekapazität an 30 mm dicken Mineralfaserplatten
($\rho = 200 \text{ kg/m}^3$) in Abhängigkeit der Temperatur

Tabelle 4.2

Ergebnisse der Kleinbrandversuche ohne Gegenheizung an 30 mm dicken Mineralfaserplatten zwischen Stahlblechen

Prüfstelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatur- erhöhung $\Delta\vartheta$ in K an Meßstelle 2 nach t = 30 min	96	119	104	78	129	110	152	105	107	80
	95	115	135	77	123	141	143	110	110	100
	91	129	127	86	126	142	158	95	114	75
	89	116	126	70	121	133	175	100	114	85
	85	127	125	83	124	152	163	105	110	80
	91	98	124	80	125	142	177	110	111	75
	91	113	139	82	116	147	151	110	109	80
	90	113	100	81	128	122	140	110	111	90
	92	116	118	83	124	118	144	110	107	80
	95	113	116	84	126	114	151	— 1)	102	105
i. M.	92	116	121	80	124	132	155	106	110	85
Temperatur- erhöhung $\Delta\vartheta$ in K an Meßstelle 2 nach t = 60 min	158	174	168	149	176	181	220	160	183	160
	156	167	224	150	177	233	213	160	185	160
	156	175	212	145	176	235	227	155	189	155
	146	147	218	134	174	223	236	155	190	145
	140	185	215	153	178	241	224	150	184	150
	140	149	208	155	181	228	226	165	184	150
	150	169	208	154	169	236	210	165	183	140
	148	172	149	156	176	207	207	160	183	180
	150	172	166	144	179	195	197	160	171	145
	158	171	174	154	179	190	218	— 1)	178	180
i. M.	150	168	194	149	176	217	218	159	183	156
mittlerer Ölverbrauch in l/min	0,162	0,338 2)	—	0,226	—	—	—	0,300	— 4)	0,292
	0,155	0,338	—	0,233	—	—	—	0,300	— 4)	0,323
	0,156	0,350	—	— 1)	—	— 3)	—	0,283	— 4)	0,290
	0,154	0,350	—	0,232	—	—	—	0,292	— 4)	0,283
	0,156	0,342	—	0,232	—	—	—	0,275	— 4)	0,318
	0,160	0,342	—	0,238	—	—	—	0,283	— 4)	0,280
	0,158	0,325	—	0,230	—	—	—	0,283	— 4)	0,283
	0,162	0,325	—	0,222	—	—	—	0,308	— 4)	0,312
	0,162	0,300	—	0,231	—	—	—	0,283	— 4)	0,288
	0,159	0,300	—	0,230	—	—	—	— 1)	— 4)	— 1)
i. M.	0,158	0,331	—	0,230	—	0,267	—	0,290	—	0,297

1) Angabe fehlte oder war offensichtlich völlig falsch

2) da immer zwei Versuche gleichzeitig durchgeführt wurden, ergeben sich zwei gleiche Werte für den mittleren Ölverbrauch pro Minute

3) es wurden keine Einzelwerte angegeben

4) Prüfstand mit Gas beheizt

Tabelle 4.3
Ergebnisse der statistischen Auswertung der Kleinbrandversuche an Mineralfaserplatten zwischen Stahlblechen

Versuchsanordnung nach Abb. 4.1	Prüfstelle	Prüfung auf Normalität nach David [12]	Prüfung auf Gleichheit der Varianzen nach Bartlett [12]	Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte — Varianzanalyse [11, 12]
PMF	2	+	+	— (5 %)
	3	+		
	4	+		
	5	— (5 %)		
	7	+		
$\Delta\vartheta_{30}$ Meßstelle 2	1	+	— (5 %)	— (5 %)
	2	— (10 %)		
	3	+		
	4	+		
	5	+		
	6	+		
	7	+		
	8	+		
	9	+		
	10	+		
$\Delta\vartheta_{60}$ Meßstelle 2	1	— (5 %)	— (5 %)	— (5 %)
	2	+		
	3	+		
	4	+		
	5	— (10 %)		
	6	— (10 %)		
	7	+		
	8	+		
	9	+		
	10	+		
mittlerer Ölverbrauch \bar{V}	1	— (10 %)	— (5 %)	— (5 %)
	2	— (10 %)		
	4	— (5 %)		
	8	+		
	10	+		

$\Delta\vartheta_x$ Temperaturerhöhung $\vartheta - \vartheta_0$ nach x Minuten
 + Testhypothese (vorläufig) angenommen
 — Testhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % bzw. 10 % abgelehnt

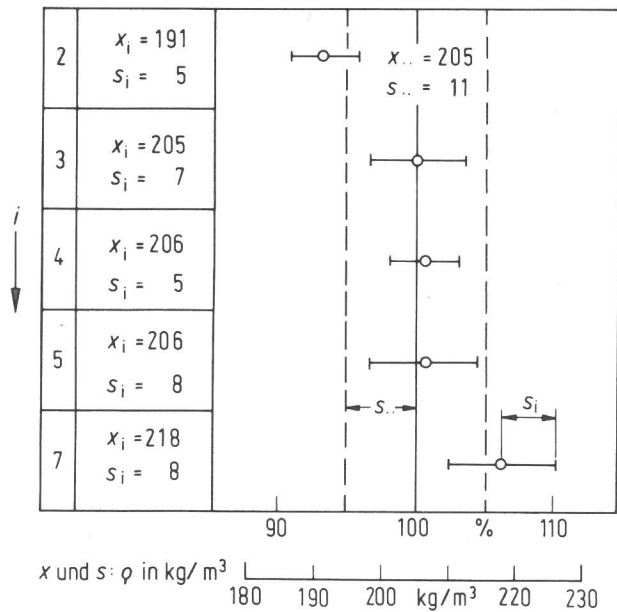


Abb. 4.4
Mineralfaserplatten $D = 30$ mm zwischen Stahlblechen ohne Gegenheizung ($n = 10$)
— Auswertung der auf die Trockenmasse bezogenen Rohdichte der Mineralfaserplatten

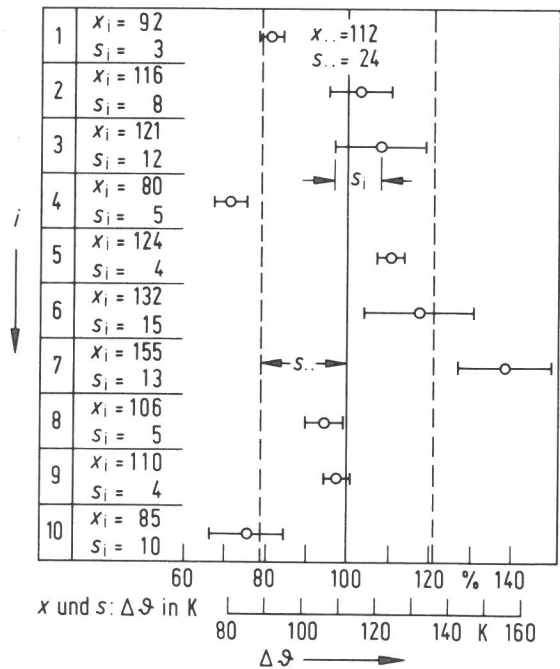


Abb. 4.5
Mineralfaserplatten $D = 30$ mm zwischen Stahlblechen ohne Gegenheizung ($n = 10$)
— Auswertung der Temperaturerhöhung an Meßstelle 2 nach 30 min

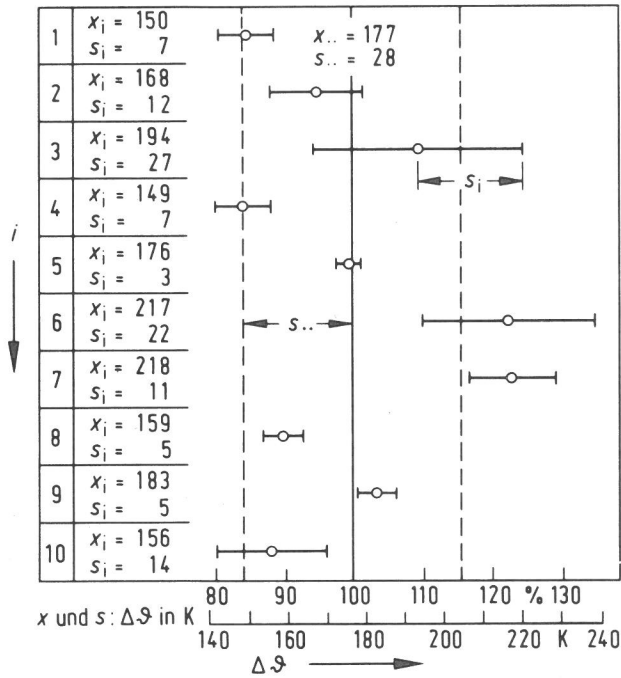


Abb. 4.6
Mineralfaserplatten $D = 30$ mm zwischen Stahlblechen ohne Gegenheizung ($n = 10$)
— Auswertung der Temperaturerhöhung an Meßstelle 2 nach einer Versuchsdauer von 60 min

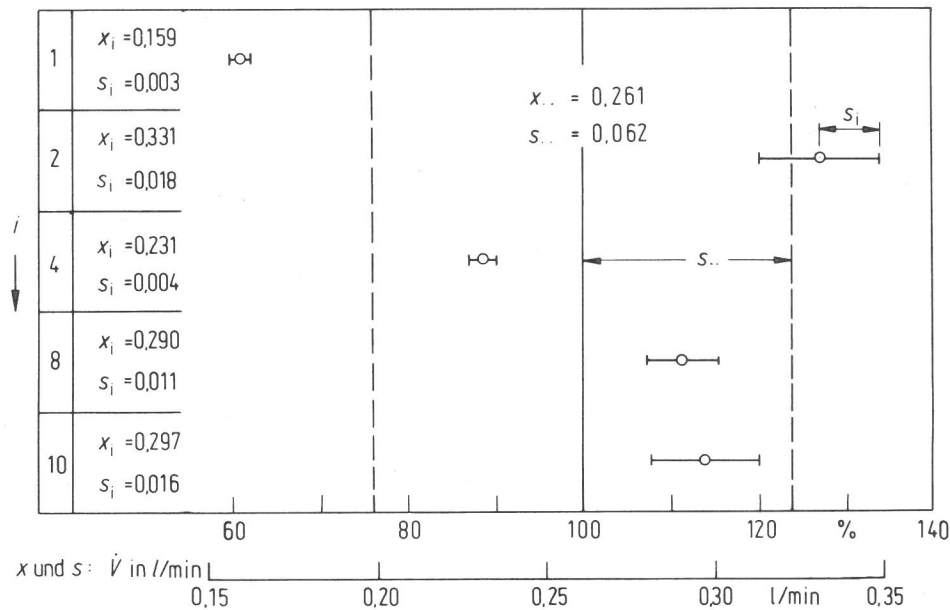


Abb. 4.7
Mineralfaserplatten $D = 30$ mm zwischen Stahlblechen ohne Gegenheizung ($n = 10$)
— Auswertung des mittleren Ölverbrauchs pro Minute ($t = 60$ min)

5 Versuche an dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen auf Stahlplatten mit Gegenheizung

5.1 Versuchsdurchführung und -ergebnisse

Die mit einem Zweischichtsystem (dämmschichtbildende Brandschutzbeschichtung für Innenanwendung mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung) beschichteten¹⁾ Stahlplatten waren bis unmittelbar vor dem Brandversuch im Normklima DIN 50 014-23/50-2 bis zur Massenkonstanz²⁾ zu lagern.

1) Beschichtung erfolgte entsprechend [4] durch Spritzen.

2) Ausreichende Massenkonstanz gilt als erreicht, wenn die Differenz zweier Wägungen im Abstand von 48 Stunden kleiner als 0,1 % des Probengewichts ist [2].

Unmittelbar vor dem Brandversuch waren die Gesamt-Trockenschichtdicke des Systems und die Gesamt-Trockenaufbringmenge zu bestimmen, vgl. *Tabelle 5.1*.

Die beschichteten Stahlplatten der Abmessungen 500 mm x 500 mm x d (14 Versuche) wurden mit der Gegenheizvorrichtung vor der seitlichen Öffnung des Kleinprüfstandes angeordnet. Das Schema der Versuchsdurchführung ist aus *Abb. 5.1* ersichtlich, die Versuchsbedingungen aus *Tabelle 3.3*.

Die Versuchsergebnisse enthält *Tabelle 5.2*.

5.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

Für die Kleinbrandversuche an dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen auf 5 mm dicken Stahlplatten mit

Gegenheizung entsprechend Versuchsanordnung nach Abb. 5.1 wurden

- die Gesamtschichtdicke,
- die Zeitdauer bis zum Erreichen von 500°C an Meßstelle 1 und
- der mittlere Ölverbrauch pro Minute

statistisch nach Abschnitt 2.2 und grafisch nach Abschnitt 2.3 ausgewertet, vgl. Tabelle 5.3 und die Abb. 5.2 bis 5.4.

Wie schon die Ergebnisse der statistischen Auswertung zeigen, ist auch bei der grafischen Auswertung eine Gleichheit der Standardabweichungen nur bei den Zeitdauern bis zum Erreichen von 500°C an Meßstelle 1 erkennbar. Eine Gleichheit der Mittelwerte ist nur bei der Gesamtschichtdicke gegeben. Bei allen sonstigen Versuchsergebnissen zeigen sich erhebliche Unterschiede. Hinsichtlich der Zeitdauern bis zum Erreichen von 500°C an Meßstelle 1 ist zwischen den Prüfstellen 1 und 2 lediglich eine Abweichung von 5 % bei Variationskoeffizienten von

$$V_1 = (1,7/39,9) 100 = 4,3 \% \text{ und}$$

$$V_2 = (1,9/37,9) 100 = 5,0 \%$$

und

$$t_{500,1} > t_{500,2}$$

festzustellen.

Eine Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse (t_{500} -Zeiten) mit unterschiedlicher Stahlplattendicke

- einmal als Funktion der Stahlplattendicke,
- zum anderen im Vergleich zu den Versuchsergebnissen der Prüfstelle 1

zeigen die Abb. 5.5 und 5.6. Den Versuchen für Stahlplattendicken $d > 5$ mm kommt hier nur eine geringe Aussagekraft zu, da es sich nur um Einzelversuche handelt. Auch hier gilt

$$t_{500,1} > t_{500,2}$$

für alle Stahlplattendicken. Ordnet man die t_{500} -Zeiten in absteigender Reihenfolge, so erhält man fast in allen Fällen das gleiche Ergebnis:

$$d = 10, 15, 20, 25 \text{ mm:}$$

(schwache Beanspruchung) 1-8-2-6 (scharfe Beanspruchung)

$$d = 5 \text{ mm:}$$

(schwache Beanspruchung) 8-1-2-6 (scharfe Beanspruchung)

Analysiert man entsprechend Abschnitt 2.4 mit Hilfe der Regressionsanalyse speziell die Relation zwischen Prüfstelle 1 und 2, so ergibt sich folgende Schätzfunktion zur Umrechnung der t_{500} -Zeiten von Prüfstelle 1 auf die Verhältnisse von Prüfstelle 2:

$$t_{500,2} = 3,144 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^{0,3621} \left(\frac{D_{tr,2}}{D_{tr,1}} \right)^{0,1800} (t_{500,1})^{0,6768} \quad (5.1)$$

mit

$$V = \frac{2,837}{43,66} 100 = 6,5 \%$$

Diese Beziehung gilt nur im durch die Versuche abgedeckten Bereich.

Setzt man in Gleichung (5.1) das Verhältnis der Stahlplattendicken und der Gesamtschichtdicken jeweils 1, erhält man

$$t_{500,2} = (t_{500,1})^{0,6768} \quad (5.2)$$

Berechnet man zusätzlich für den Sonderfall gleicher Stahlplatten- und Gesamtschichtdicke die einseitigen Toleranzgrenzen

(90/90), so ist eine Abschätzung der zu erwartenden unteren bzw. oberen Einzelwerte der Zielgröße t_{500} in der Prüfstelle 2 möglich, wenn in Prüfstelle 1 ein entsprechender Meßwert für t_{500} vorliegt, vgl. Abb. 5.7. Man erkennt auch hier, daß in allen Fällen die in der Prüfstelle 2 zu erwartenden Meßwerte (schärfere Prüfung) unter denen der Prüfstelle 1 liegen.

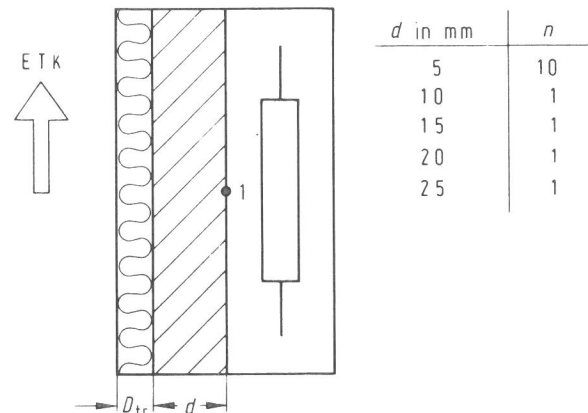


Abb. 5.1

Schema der Versuchsdurchführung der Kleinbrandversuche mit Gegenheizung an dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen auf Stahlplatten der Dicke d

Tabelle 5.1

Kennwerte der mit einem allgemein bauaufsichtlich zugelassenen Zweischichtsystem beschichteten Stahlplatten der Abmessungen 500 mm x 500 mm x d

Prüfstelle	1	2	6	8
Stahlplattendicke d in mm	5	5	5	5
Gesamtschichtdicke $D_{tr}^{1) 2)}$ in μm	1386	1660	1355	1400
	1421	1280	1740	1270
	1357	1415	1510	1300
	1415	1345	1440	1350
	1444	1300	1400	1550
	1382	1350	1400	1270
	1422	1360	1370	1300
	1503	1485	1380	1650
	1479	1320	1330	1250
	1478	1350	1400	1350
i. M.	1429	1386	1432	1369
Gesamtaufbringmenge $^{2)}$ in g	424	455	—	—
	438	465	—	—
	411	375	—	—
	432	445	—	—
	421	430	—	—
	434	432	—	—
	426	420	—	—
	432	400	—	—
	447	430	—	—
	466	435	—	—
i. M.	433	429	—	—
Stahlplattendicke d in mm	10	10	10	10
	15	15	15	15
	20	20	20	20
	25	25	25	25
	—	—	—	—
Gesamtschichtdicke $D_{tr}^{1) 2)}$ in μm	1439	1270	1310	1350
	1738	1235	1480	1400
	1685	1265	1330	1540
	1576	1115	1340	1400
	—	—	—	—
Gesamtaufbringmenge $^{2)}$ in g	425	410	—	—
	520	440	—	—
	600	415	—	—
	580	420	—	—
	—	—	—	—

1) Mittelwert nach [4] aus 20 Einzelmessungen in den Rasterpunkten $35\varnothing$ (Ordinate 100/100/100/100/100, Abszisse 80/85/85/85/85/80) einer 5 mm dicken Kunststoffschablone

2) nach Lagerung im Normalklima DIN 50 014-23/50-2 bis zur Massenkonstanz [2]

Tabelle 5.2
Ergebnisse der Kleinbrandversuche mit Gegenheizung an dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen auf Stahlplatten der Dicke d

Prüfstelle	1	2	6	8
Stahlplattendicke d in mm	5	5	5	5
t_{500} in min	41,7	38,3 1)	26,3	48,0
	41,4	35,0 1)	30,2	46,0
	38,4	39,6 1)	26,4	46,5
	41,5	39,2 1)	30,0	47,0
	39,6	39,1 1)	28,2	46,0
	36,4	38,6 1)	29,1	44,5
	38,6	35,4 1)	25,0	49,0
	40,1	40,3 1)	34,0	55,0
	40,7	38,0 1)	29,5	47,0
	40,7	35,4 1)	27,3	49,0
i. M.	39,9	37,9	28,6	47,8
mittlerer Ölverbrauch in l/min	0,158	0,498	0,267	0,260
	0,146	0,545	0,253	0,261
	0,148	0,454	0,286	0,290
	0,154	0,468	0,250	0,277
	0,156	0,418	0,273	0,261
	0,150	0,414	0,250	0,300
	0,155	0,380	0,286	0,280
	0,155	0,309	0,222	0,309
	0,160	0,343	0,250	0,277
	0,162	0,369	0,250	0,286
i. M.	0,154	0,420	0,259	0,280
Stahlplattendicke d in mm	10	10	10	10
	15	15	15	15
	20	20	20	20
	25	25	25	25
	25	25	25	25
t_{500} in min	64,0	45,2 1)	39,3	56,0
	77,0	61,5 1)	54,0	72,0
	84,5	62,9 1)	54,4	73,0
	92,1	62,7 1)	62,4	78,0
	92,1	62,7 1)	62,4	78,0
mittlerer Ölverbrauch in l/min	0,158	0,384	0,250	0,295
	0,160	0,369	0,267	0,299
	0,162	0,374	0,288	0,304
	0,163	0,492	0,277	0,308
	0,163	0,492	0,277	0,308

1) Werte durch lineare Interpolation aus (Zeit, Temperatur)-Wertepaaren ermittelt

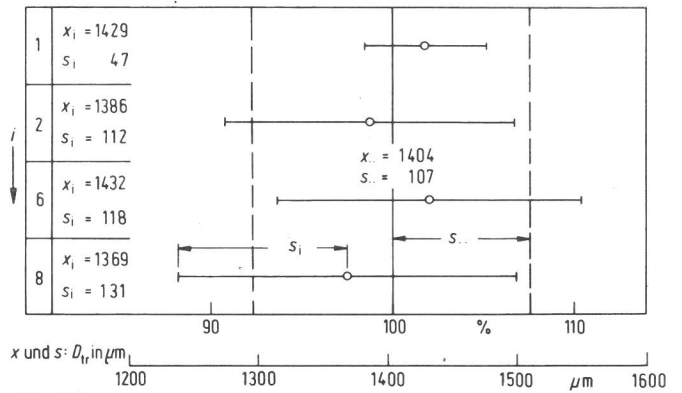


Abb. 5.2
Dämmschichtbildende Brandschutzbeschichtung auf 5 mm dicken Stahlplatten mit Gegenheizung ($n = 10$)
— Auswertung der Gesamtschichtdicke des Dämmschichtbildners

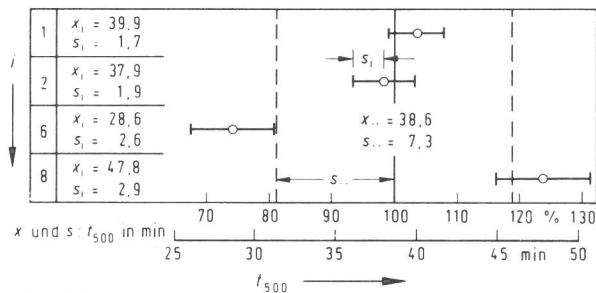


Abb. 5.3
Dämmschichtbildende Brandschutzbeschichtung auf 5 mm dicken Stahlplatten mit Gegenheizung ($n = 10$)
— Auswertung der Zeitdauer bis zum Erreichen von 500°C an Messstelle 1

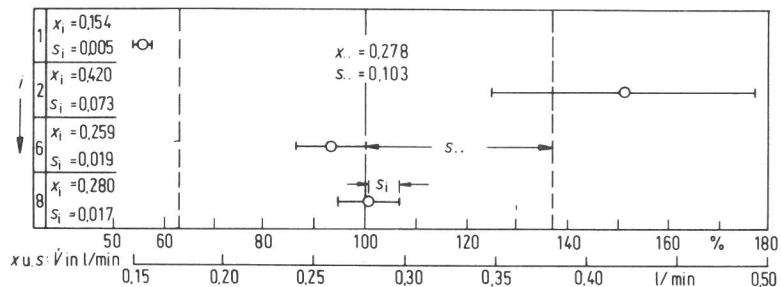


Abb. 5.4
Dämmschichtbildende Brandschutzbeschichtung auf 5 mm dicken Stahlplatten mit Gegenheizung ($n = 10$)
— Auswertung des mittleren Ölverbrauchs pro Minute

Tabelle 5.3
Ergebnisse der statistischen Auswertung der Kleinbrandversuche an dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen auf Stahlplatten mit Gegenheizung

Versuchsanordnung nach Abb. 5.1	Prüfstelle	Prüfung auf Normalität nach David [12]	Prüfung auf Gleichheit der Varianzen nach Bartlett [12]	Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte — Varianzanalyse [11, 12]
D_{tr}	1	+	— (5%)	+
	2	+		
	6	+		
	8	+		
t_{500}	1	+	+	— (5%)
	2	— (10%)		
	6	+		
	8	— (10%)		
mittlerer Ölverbrauch \dot{V}	1	+	— (5%)	— (5%)
	2	+		
	6	+		
	8	+		

+ Testhypothese (vorläufig) angenommen
— Testhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % bzw. 10 % abgelehnt

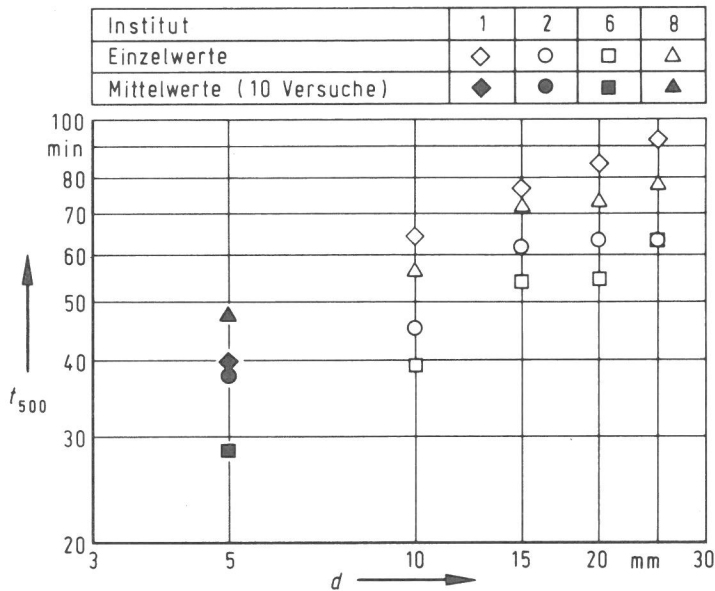


Abb. 5.5
Dämmschichtbildende Brandschutzbeschichtung auf Stahlplatten der Dicke d mit Gegenheizung
— Zeitdauer bis zum Erreichen von 500°C an Meßstelle 1 als Funktion der Stahlplattendicke

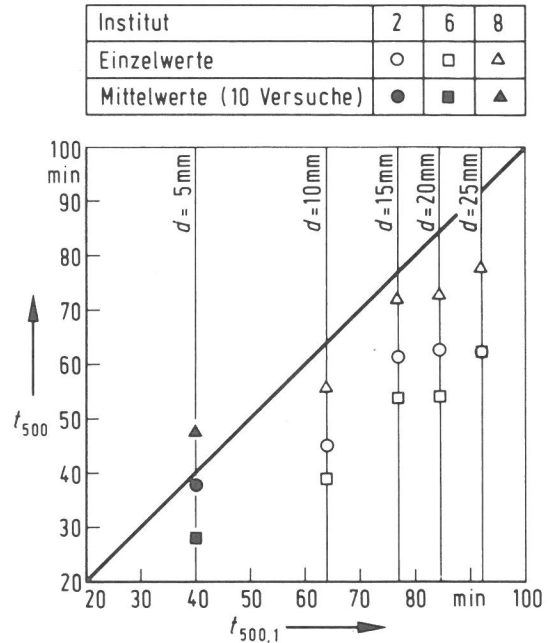


Abb. 5.6
Dämmschichtbildende Brandschutzbeschichtung auf Stahlplatten der Dicke d mit Gegenheizung
— Zeitdauer bis zum Erreichen von 500°C an Meßstelle 1 der Prüfstellen 2, 6, 8 als Funktion der entsprechenden Zeitdauer von Prüfstelle 1

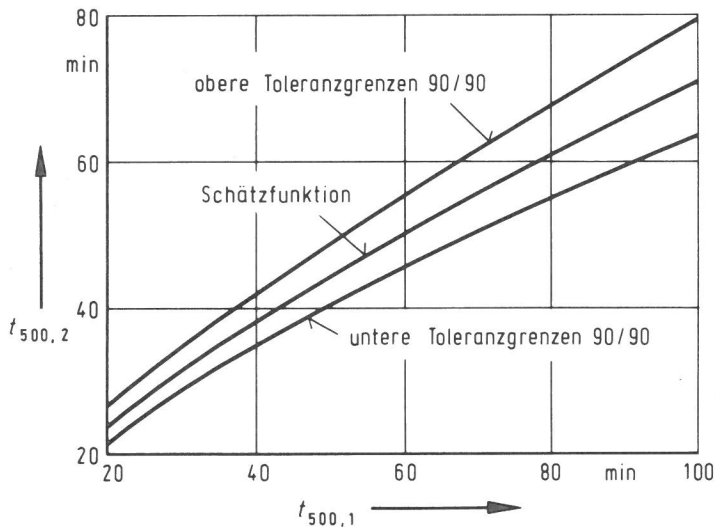


Abb. 5.7
Dämmschichtbildende Brandschutzbeschichtungen auf Stahlplatten mit Gegenheizung
— Schätzfunktion sowie einseitige untere bzw. obere Toleranzgrenzen (90/90) zur Umrechnung der Versuchsergebnisse von Prüfstelle 1 auf Prüfstelle 2 bei gleicher Stahlplatten- und Gesamtschichtdicke

6 Versuche an Stahlplatten mit warmseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung

6.1 Versuchsdurchführung und -ergebnisse

Die mineralisch gebundenen Vermiculitplatten waren nach Anlieferung in den einzelnen Prüfstellen bei 105°C zu trocknen. Ihre Trockenmasse war zu ermitteln. Vor Ausführung der Kleinbrandversuche im Normalklima DIN 50 014-23/50-2 waren die Vermiculitplatten bis zur Massenkonstanz¹⁾ zu lagern. Unmittelbar vor dem Brandversuch waren die Dicke, die Rohdichte und der Feuchtegehalt zu ermitteln, vgl. *Tabelle 6.1*.

Die Vermiculitplatten unterschiedlicher Dicke D mit den Abmessungen $500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ (fünf Versuche) wurden auf der vom Feuer abgekehrten bzw. Kaltseite jeweils mit einer $500\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ großen Stahlplatte von $5,0\text{ mm}$ Dicke hinter-

legt und vor der seitlichen Öffnung des Kleinprüfstandes angeordnet (ohne Gegenheizung). Das Schema der Versuchsdurchführung ist aus *Abb. 6.1* ersichtlich, die Versuchsbedingungen aus *Tabelle 3.3*.

Die Versuchsergebnisse enthält *Tabelle 6.2*.

6.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

Für die Kleinbrandversuche an 5 mm dicken Stahlplatten mit warmseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung entsprechend Versuchsordnung nach *Abb. 6.1* wurden die Temperaturerhöhungen an Meßstelle 1 nach einer Versuchsdauer von 90 min — jeweils für eine Vermiculitplattendicke und in aufsteigender Reihenfolge geordnet — dargestellt, vgl. *Abb. 6.2*. Es ist festzustellen, daß bei Prüfstelle 2 die größte Brandbeanspruchung und bei Prüfstelle 4 die kleinste Brandbeanspruchung vorliegen dürfte, alle anderen betrachteten

1) Ausreichende Massenkonstanz gilt als erreicht, wenn die Differenz zweier Wägungen im Abstand von 48 Stunden kleiner als $0,1\%$ des Probengewichts ist [2].

Prüfstellen (Prüfstelle 10 brach die Versuche jeweils nach 60 min ab) liegen etwa auf dem gleichen Niveau.

Weitere Aufschlüsse hierzu gibt die Regressionsanalyse entsprechend Abschnitt 2.4. Analysiert man nämlich speziell die Relationen zwischen Prüfstelle 1 und den Prüfstellen 2 bis 5, so ergeben sich folgende Schätzfunktionen zur Umrechnung der Temperaturerhöhungen nach einer Versuchsdauer von 90 min an Meßstelle 1 von Prüfstelle 1 auf die Verhältnisse der Prüfstellen 2 bis 5:

$$\Delta\vartheta_{90,2} = 1,799 (D_2/D_1)^{-0,7356} (\Delta\vartheta_{90,1})^{0,9073} \quad (6.1)$$

$$\Delta\vartheta_{90,3} = 4,500 (D_2/D_1)^{-0,5796} (\Delta\vartheta_{90,1})^{0,7149} \quad (6.2)$$

$$\Delta\vartheta_{90,4} = 1,294 (D_2/D_1)^{-0,7375} (\Delta\vartheta_{90,1})^{0,9096} \quad (6.3)$$

$$\Delta\vartheta_{90,5} = 3,063 (D_2/D_1)^{-0,6406} (\Delta\vartheta_{90,1})^{0,7902} \quad (6.4)$$

Diese Beziehungen gelten nur in den durch Versuche abgedeckten Bereichen. Setzt man in den Gleichungen (6.1) bis (6.4) das Verhältnis der Vermiculitplattendicken jeweils 1, so erhält man die in Abb. 6.3 für gleiche Plattendicken dargestellten Beziehungen zwischen Prüfstelle 1 und den Prüfstellen 2 bis 5. Danach liegen die Temperaturerhöhungen nach einer Versuchsdauer von 90 min in Prüfstelle 4 unter denen von Prüfstelle 1 (schwächere Beanspruchung), die der Prüfstelle 2 — auch im gesamten betrachteten Bereich — über denen von Prüfstelle 1 (schärfere Beanspruchung). Das ist eine Bestätigung der bereits zu Abb. 6.2 getroffenen Feststellungen. Die Prüfstellen 2 und 5 prüfen bis zu einer Temperaturerhöhung an Meßstelle 1 von 200 K bei einer Versuchsdauer von 90 min schärfer als Prüfstelle 1, darüber schwächer.

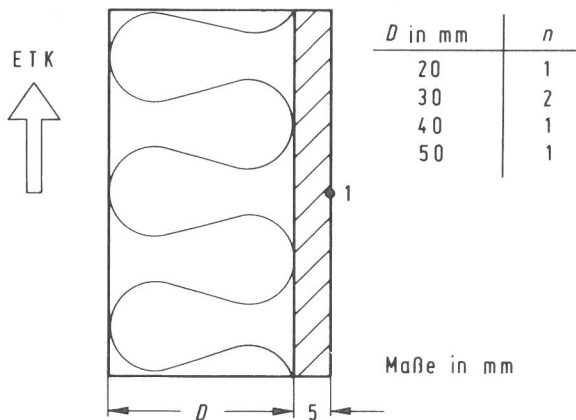


Abb. 6.1
Schema der Versuchsdurchführung der Kleinbrandversuche ohne Gegenheizung an Stahlplatten mit warmseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung

Tabelle 6.1
Kennwerte der Vermiculit-Platten unterschiedlicher Dicke

Prüfstelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dicke D in mm 1) 2)	21,1	20 4)	20,0	20,3	20,2	20,5	20,3	20 4)	20,1	20,0
	30,5	30 4)	30,2	30,5	30,5	30,0	30,5	30 4)	30,6	30,6
	30,8	30 4)	30,5	30,7	30,5	30,2	30,1	30 4)	30,6	30,4
	40,6	40 4)	40,6	41,3	41,1	41,2	41,2	40 4)	41,2	41,1
	51,2	50 4)	50,5	50,6	50,7	50,4	50,6	50 4)	50,6	50,0
Rohdichte ρ in kg/m³ 2)	374	372 5)	360	371	371	349	368	375 5)	360	360
	370	369 5)	391	367	383	367	377	385 5)	363	365
	369	369 5)	361	359	383	363	377	376 5)	358	363
	380	383 5)	369	367	375	379	388	368 5)	377	378
	403	369 5)	360	360	372	361	373	370 5)	363	369
Feuchtegehalt u _m in % 3)	1,9	2,4	0,6	2,4	2,2	1,9	2,2	2,2	2,3	2,2
	2,1	2,3	0,7	2,3	2,1	2,5	1,8	1,8	1,7	1,3
	2,1	2,3	0,7	2,3	2,1	1,6	1,6	1,4	2,2	1,8
	2,5	2,2	1,1	2,0	2,1	1,6	1,5	1,8	1,7	1,6
	2,0	4,0	0,7	2,5	2,1	1,8	1,6	2,7	3,3	1,3

- 1) Mittelwert aus sechs Messungen je Probe
- 2) bezogen auf die Masse im Normalklima nach Erreichen der Massenkonstanz
- 3) bezogen auf die Trockenmasse (Trocknung bei 105°C)
- 4) es wurde nur die Nenndicke angegeben
- 5) Werte sind mit Folgefehlern behaftet aufgrund ungenau ermittelter Dicke

Tabelle 6.2

Ergebnisse der Kleinbrandversuche ohne Gegenheizung an 5 mm dicken Stahlplatten mit warmseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung ($t = 90 \text{ min}$)

Prüfstelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bekleidungs- dicke D ^{1) 2)} in mm	21,1	20 3)	20,0	20,3	20,2	20,5	20,3	20 3)	20,1	20,0
	30,5	30 3)	30,2	30,5	30,5	30,0	30,5	30 3)	30,6	30,6
	30,8	30 3)	30,5	30,7	30,5	30,2	30,1	30 3)	30,6	30,4
	40,6	40 3)	40,6	41,3	41,1	41,2	41,2	40 3)	41,2	41,1
	51,2	50 3)	50,5	50,6	50,7	50,4	50,6	50 3)	50,6	50,0
Temperatur ϑ in $^{\circ}\text{C}$ nach $t = 90 \text{ min}$ an Meßstelle 1	293	— 4)	—	—	289	285	281	315	285	— 4)
	235	251	—	—	239	227	227	230	236	— 4)
	240	253	—	—	242	227	226	230	231	— 4)
	194	208	—	—	198	187	196	185	189	— 4)
	156	174	—	—	169	162	171	150	167	— 4)
Temperatur- erhöhung $\Delta\vartheta$ in K nach $t = 90 \text{ min}$ an Meßstelle 1	273	— 4)	259	229	264	263	260	295	260	— 4)
	215	231	215	166	214	205	206	210	213	— 4)
	220	233	201	169	220	205	204	210	205	— 4)
	174	188	177	136	175	168	174	165	164	— 4)
	132	154	148	113	144	145	148	130	142	— 4)
mittlerer (Öl)verbrauch in l/min	0,222	— 4)	—	0,236	—	0,267	—	0,350	279 5)	—
	0,218	0,278	—	0,167	—	0,276	—	0,311	279 5)	—
	0,220	0,278	—	0,234	—	0,286	—	0,367	279 5)	—
	0,214	0,311	—	0,233	—	0,288	—	0,294	279 5)	—
	0,223	0,311	—	0,250	—	0,290	—	0,300	278 5)	—

1) Mittelwert aus sechs Messungen je Probe

2) bezogen auf die Masse im Normklima nach Erreichen der Massenkonstanz

3) es wurde nur die Nenndicke angegeben

4) Versuch wurde bereits nach 60 Minuten abgebrochen

5) Prüfstand mit Gas beheizt

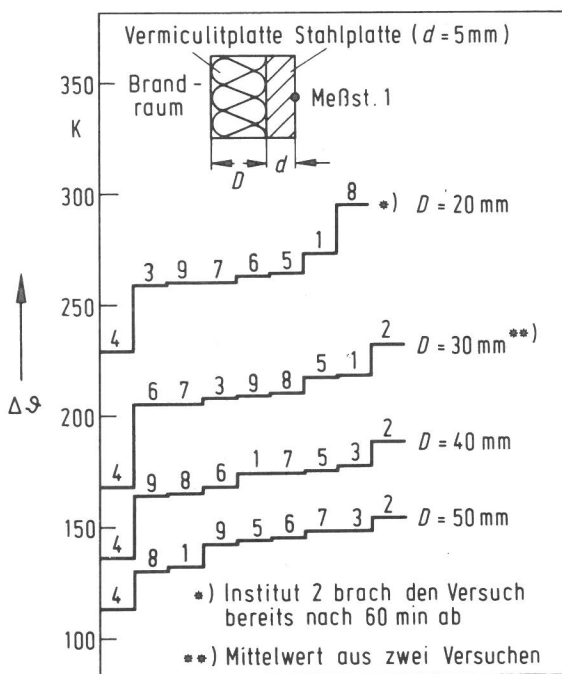


Abb. 6.2

5 mm dicke Stahlplatten mit warmseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung

— Darstellung der Temperaturerhöhung an Meßstelle 1 nach einer Versuchsdauer von 90 min für die verschiedenen Prüfstellen in Abhängigkeit von der Vermiculitplattendicke

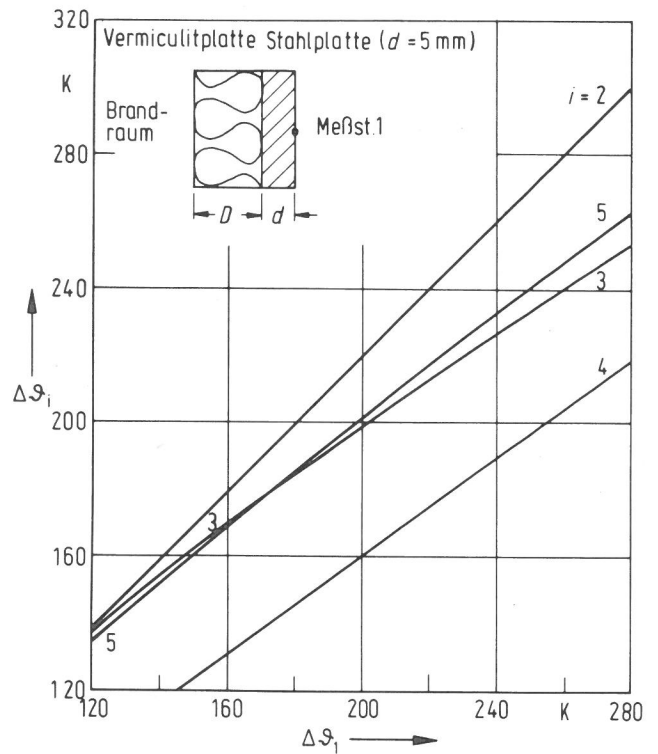


Abb. 6.3

5 mm dicke Stahlplatten mit warmseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung

— Schätzfunktionen zur Umrechnung der Temperaturerhöhungen nach einer Versuchsdauer von 90 min von Prüfstelle 1 auf Prüfstelle i bei gleicher Vermiculitplattendicke

7 Versuche an Stahlplatten mit simulierter und tatsächlicher Gegenheizung

7.1 Versuchsdurchführung und -ergebnisse

Die mineralisch gebundenen Vermiculitplatten waren nach Anlieferung in den einzelnen Prüfstellen bei 105°C zu trocknen. Ihre Trockenmasse war zu ermitteln. Vor Ausführung der Kleinbrandversuche waren die Platten im Normalklima DIN 50 014-23/50-2 bis zur Massenkonstanz¹⁾ zu lagern. Unmittelbar vor dem Brandversuch waren die Dicke, die Rohdichte und der Feuchtegehalt zu ermitteln, vgl. *Tabelle 7.1*. Außerdem wurden

- die Wärmeleitfähigkeit λ als Funktion der Temperatur nach dem Zweiplattenverfahren im Forschungsinstitut für Wärmeschutz, München, und
- die spezifische Wärmekapazität c_p als Funktion der Temperatur vom Fachbereich 8 — Naturwissenschaften II, Anorganische Chemie — der Gesamthochschule Siegen bis zu ca. 600°C mit einem Differential-, darüber mit einem Dropkalorimeter

bestimmt, vgl. die *Abb. 7.7 und 7.8*.

Zur Simulation der Gegenheizung wurden 500 mm x 500 mm große Stahlplatten von 25 mm Dicke (fünf Versuche) auf der vom Feuer abgekehrten bzw. Kaltseite jeweils mit zwei 500 mm dicken Vermiculitplatten hinterlegt und vor der seitlichen Öffnung des Kleinprüfstandes angeordnet. Zum Vergleich wurde eine 500 mm x 500 mm große Stahlplatte von 25 mm Dicke (ein Versuch) mit der Gegenheizvorrichtung vor der seitlichen Öffnung des Kleinprüfstandes angeordnet. Das Schema der Versuchsdurchführung ist jeweils aus *Abb. 7.1* ersichtlich, die Versuchsbedingungen aus *Tabelle 3.3*.

Die Versuchsergebnisse enthalten die *Tabellen 7.2 und 7.3*.

7.2 Auswertung der Versuchsergebnisse

Für die Kleinbrandversuche an 25 mm dicken Stahlplatten mit simulierter Gegenheizung (kaltseitiger, 2 x 50 mm dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung) entsprechend Versuchsanordnung nach *Abb. 7.1* wurden

- die Rohdichte, bezogen auf die Trockenmasse,
- der massebezogene Feuchtegehalt,
- die Zeitdauer bis zum Erreichen von 500°C an Meßstelle 1,
- die Temperaturerhöhung an Meßstelle 1 nach 24 min,
- der mittlere Ölverbrauch pro Minute,
- der Wärmeübergangskoeffizient infolge Konvektion im Brandraum,
- der resultierende Emissionskoeffizient im Brandraum und
- der Wärmeübergangskoeffizient infolge Konvektion und Strahlung im Brandraum

statistisch nach Abschnitt 2.2 und grafisch nach Abschnitt 2.3 ausgewertet, vgl. *Tabelle 7.4* und die *Abb. 7.2 bis 7.6* sowie *7.12 bis 7.14*. Dabei wurden die Kennwerte für die Wärmeübergangsverhältnisse im Brandraum nach Abschnitt 2.5 bestimmt, vgl. auch die *Abb. 7.7 bis 7.11*.

Wie schon die Ergebnisse der statistischen Auswertung zeigen, ist auch bei der grafischen Auswertung eine Gleichheit der Standardabweichungen nur bei den Zeitdauern bis zum

Erreichen von 500°C an Meßstelle 1 erkennbar, eine Gleichheit der Mittelwerte ist in keinem Fall gegeben. Mithin zeigen sich bei allen Versuchsergebnissen erhebliche Unterschiede. Offensichtlich weicht sogar die Art der Klimatisierung bei den einzelnen Prüfstellen stark voneinander ab.

Ordnet man die Zeitdauern bis zum Erreichen von 500°C bzw. die Temperaturerhöhungen nach 24 min an Meßstelle 1 in ab- bzw. aufsteigender Reihenfolge, so ergibt sich folgende Reihung der Prüfstellen:

(schwache Beanspruchung) 10-1-3-4-8-6-7-9-2-5 (scharfe Beanspruchung)

Zu der grafischen Auswertung der Wärmeübergangsverhältnisse entsprechend den *Abb. 7.12 bis 7.14* ist festzustellen:

- Voraussetzung für die Ermittlung der einzelnen Kennwerte für die Wärmeübergangsverhältnisse war die genaue Einhaltung der ETK, vgl. Abschnitt 2.5. Starke Abweichungen von der ETK — auch in nach Abschnitt 2.6 noch zulässigem Umfang — führen speziell bei Prüfstelle 2 zu einer ungewöhnlich großen Standardabweichung der Kennwerte.
- Teilweise physikalisch nicht sinnvolle, zu große ($\epsilon_{\text{res}} \geq 1$) bzw. zu kleine Werte ($\alpha_{\text{konv}} \leq 0$) bedingen sich gegenseitig und könnten auf ungenaue Temperaturmeßwerte oder anomale Druckverhältnisse im Brandraum zurückzuführen sein. Dies gilt speziell für die Prüfstellen 4 und 5.
- Ansonsten unterscheiden sich die Prüfstände hinsichtlich der Wärmeübergangsverhältnisse infolge Konvektion und Strahlung stark.

Abb. 7.15 enthält eine Gegenüberstellung gemessener und für die einseitigen Toleranzgrenzen der ETK entsprechend Abschnitt 2.6 errechneter Temperaturerhöhungen nach 24 min. Hieraus ist erkennbar, daß die Prüfstellen 2 und 3 die ETK am schlechtesten einhalten, während die Prüfstellen 1, 4 und 5 wesentlich genauer steuern. Keine der Prüfstellen scheint die in *Tabelle 7.5* enthaltenen Toleranzgrenzen zu über- bzw. zu unterschreiten.

In *Abb. 7.16* sind die Zeitdauern bis zum Erreichen einer Stahltemperatur von 500°C an Meßstelle 1 — in absteigender Reihenfolge geordnet — für die beiden Versuchsanordnungen nach *Abb. 7.1* gegenübergestellt. Hierbei wurden nur die Prüfstellen berücksichtigt, bei denen für beide Versuchsanordnungen Ergebnisse vorlagen, vgl. a. die *Tabellen 7.2 und 7.3*. Zwischen simulierter und tatsächlicher Gegenheizung treten bei den Prüfstellen 1/2/8 Zeitdifferenzen von + 0,5/+ 8,5/+ 1,8 min auf. Die unterschiedlichen Versuchsergebnisse bei Prüfstelle 2 sind entweder auf geräte- bzw. steuertechnische Mängel der Gegenheizrichtung oder ungenaue Einhaltung der ETK zurückzuführen. Für beide Versuchsanordnungen gilt, daß die Prüfstellen 2 und 8 schärfer als Prüfstelle 1 prüfen.

1) Ausreichende Massenkonstanz gilt als erreicht, wenn die Differenz zweier Wägungen im Abstand von 48 Stunden kleiner als 0,1 % des Probengewichts ist [2].

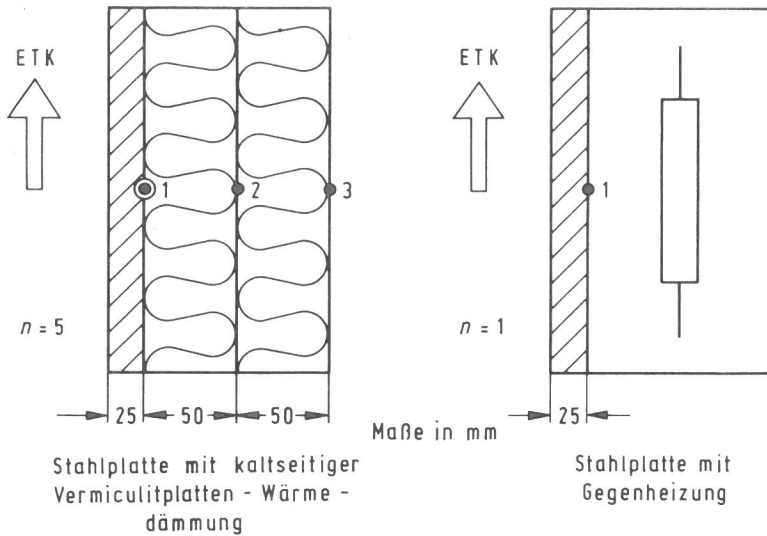


Abb. 7.1
 Schema der Versuchsdurchführung der Kleinbrandversuche an Stahlplatten mit simulierter und tatsächlicher Gegenheizung

Tabelle 7.1
 Kennwerte der Vermiculit-Platten (Simulation der Gegenheizung)

Prüfstelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dicke D in mm 1) 2)	50,2	50 4)	50 4)	50,5	50,8	50,3	50,5	50 4)	50,8	50,5
	50,8	50 4)	50 4)	50,5	50,5	50,2	50,8	50 4)	50,5	50,2
	51,0	50 4)	50 4)	50,7	50,3	50,3	50,7	50 4)	50,6	50,5
	50,8	50 4)	50 4)	50,5	51,0	50,7	50,5	50 4)	50,7	50,5
	50,5	50 4)	50 4)	50,4	50,7	50,4	50,5	50 4)	50,7	50,5
	50,4	50 4)	50 4)	50,3	50,7	50,5	50,6	50 4)	50,6	50,8
	50,7	50 4)	50 4)	50,7	50,3	50,1	50,7	50 4)	50,6	50,2
	50,8	50 4)	50 4)	50,8	50,8	50,8	50,4	50 4)	50,7	50,8
	50,4	50 4)	50 4)	50,6	50,6	50,2	50,7	50 4)	50,6	50,5
	50,6	50 4)	50 4)	50,7	50,5	50,6	50,7	50 4)	50,7	50,2
i. M.	50,6	—	—	50,6	50,6	50,4	50,6	—	50,6	50,5
Rohdichte ρ in kg/m ³ 2)	392	360 5)	370 5)	362	370	373	366	366 5)	354	371
	381	363 5)	368 5)	366	368	373	357	364 5)	355	356
	380	355 5)	356 5)	359	375	376	361	369 5)	353	369
	379	357 5)	364 5)	357	367	361	359	367 5)	355	379
	384	353 5)	362 5)	360	371	356	360	372 5)	357	362
	377	360 5)	365 5)	365	370	364	363	363 5)	358	382
	408	360 5)	382 5)	367	373	376	368	440 5)	351	363
	394	370 5)	371 5)	360	366	365	370	445 5)	363	358
	376	375 5)	370 5)	370	369	379	363	368 5)	352	379
	384	366 5)	365 5)	364	372	365	356	380 5)	353	372
i. M.	386	—	—	363	370	369	362	—	355	369
Feuchtegehalt u_m in % 3)	1,8	4,5	0,4	2,8	1,6	1,0	1,8	1,7	3,5	1,5
	1,8	4,0	0,4	1,6	1,5	1,1	1,9	1,8	2,7	1,4
	1,8	4,5	0,0	2,2	1,6	1,3	2,0	1,7	3,2	1,5
	1,9	4,3	0,5	1,8	1,7	1,6	1,7	1,4	3,0	1,7
	1,8	4,2	0,7	1,9	1,8	1,7	1,8	2,3	3,6	2,6
	1,8	4,7	0,4	2,2	1,7	1,7	1,4	2,3	3,0	1,8
	2,1	2,6	0,4	2,8	1,3	1,2	2,0	2,2	4,6	1,4
	2,1	3,1	0,9	2,9	1,5	1,6	2,2	2,3	3,9	1,1
	1,9	3,1	0,6	2,8	1,5	1,8	2,1	1,9	3,4	1,6
	2,1	4,0	0,9	3,0	1,8	1,8	2,3	1,9	3,8	1,8
i. M.	1,9	3,9	0,5	2,4	1,6	1,5	1,9	2,0	3,5	1,6

- 1) Mittelwert aus sechs Messungen je Probe
- 2) bezogen auf die Masse im Normklima nach Erreichen der Massenkonstanz
- 3) bezogen auf die Trockenmasse (Trocknung bei 105°C)
- 4) es wurde nur die Nenndicke angegeben
- 5) Werte sind mit Folgefehlern behaftet aufgrund ungenau ermittelter Dicke

Tabelle 7.2
Ergebnisse der Kleinbrandversuche ohne Gegenheizung an 25 mm dicken Stahlplatten mit kaltseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung

Prüfstelle	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bekleidungs- dicke D in mm	2 x 50	2 x 50	2 x 50	2 x 50	2 x 50	2 x 50	2 x 50	2 x 50	2 x 50	2 x 50
t_{500} in min Meßstelle 1	31,2	18,6 1)	27,9 2)	29,4 2)	21,7	27,3	24,8 1)	27,7	25,5	32,0 1)
	30,4	22,2 1)	29,3 2)	28,3 2)	21,0	26,0	28,8 1)	27,5	25,0	34,4 1)
	30,6	23,7 1)	30,8 2)	27,8 2)	21,4	26,3	26,1 1)	26,0	24,5	32,9 1)
	30,7	20,6 1)	28,5 2)	28,8 2)	21,4	26,4	25,1 1)	28,0	26,5	34,0 1)
	30,6	22,7 1)	27,1 2)	27,4 2)	20,1	25,4	27,2 1)	27,0	26,5	32,0 1)
i. M.	30,7	21,6	28,7	28,3	21,1	26,3	26,0	27,2	25,6	33,1
Temperatur- erhöhung $\Delta\vartheta$ in K Meßstelle 1 nach t = 30 min	464	657	512	492	> 600	534	568	— 3)	551	450
	474	605	491	508	> 600	— 3)	530	— 3)	561	415
	472	571	468	518	> 600	— 3)	544	— 3)	568	440
	471	634	505	503	> 600	— 3)	560	— 3)	532	415
	471	596	523	521	> 600	— 3)	526	— 3)	540	440
i. M.	470	613	500	508	—	—	546	—	550	432
Temperatur- erhöhung $\Delta\vartheta$ in K Meßstelle 2 nach t = 30 min	44	91	37	48	65	68	45	— 3)	41	35
	43	82	34	40	43	— 3)	62	— 3)	64	35
	40	76	26	28	65	— 3)	65	— 3)	59	40
	42	86	45	11	65	— 3)	42	— 3)	46	30
	42	84	51	29	65	— 3)	59	— 3)	48	35
i. M.	42	84	39	31	61	—	55	—	52	35
Temperatur- erhöhung $\Delta\vartheta$ in K Meßstelle 3 nach t = 30 min	1	0	0	0	0	4	0	— 3)	2	5
	3	0	0	0	0	— 3)	4	— 3)	0	5
	1	0	3	0	0	— 3)	2	— 3)	3	5
	1	0	1	0	0	— 3)	2	— 3)	1	5
	2	0	0	0	0	— 3)	2	— 3)	1	5
i. M.	2	0	1	0	0	—	2	—	1	5
mittlerer Ölverbrauch in l/min	0,191	0,333	—	0,273	—	0,333	—	0,321	—	0,297
	0,203	0,350	—	0,268	—	0,361	—	0,286	—	0,311
	0,200	0,350	—	0,252	—	0,321	—	0,308	—	0,311
	0,200	0,333	—	0,248	—	0,286	—	0,286	—	0,294
	0,194	0,333	—	0,258	—	0,289	—	0,333	—	0,300
i. M.	0,198	0,340	—	0,260	—	0,318	—	0,307	—	0,303

- 1) Werte werden durch lineare Interpolation aus (Zeit, Temperatur)-Wertepaaren ermittelt
- 2) bei Angabe von Temperaturerhöhungen wurde eine Anfangstemperatur von 20°C zugrundegelegt
- 3) Versuch wurde bereits abgebrochen, bevor eine Temperaturerhöhung von 500 K bzw. 30 Minuten Versuchsdauer erreicht wurde

Tabelle 7.3
Ergebnisse der Kleinbrandversuche mit Gegenheizung an unbedeckten,
25 mm dicken Stahlplatten

Prüfstelle	1	2	8
t_{500} in min Meßstelle 1	31,2	30,1	29,0
mittlerer Ölverbrauch in l/min	0,197	0,360	0,293

Tabelle 7.4

Ergebnisse der statistischen Auswertung der Kleinbrandversuche an Stahlplatten mit kaltseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung

Versuchsanordnung nach Abb. 7.1	Prüfstelle	Prüfung auf Normalität nach David [12]	Prüfung auf Gleichheit der Varianzen nach Bartlett [12]	Prüfung auf Gleichheit der Mittelwerte — Varianzanalyse [11, 12]
ρ	1	+	— (5 %)	— (5 %)
	4	+		
	5	+		
	6	+		
	7	+		
	10	+		
u_m	1	— (0,5%)	— (5 %)	— (5 %)
	2	+		
	3	+		
	4	— (5 %)		
	5	+		
	6	— (10 %)		
	7	+		
	8	+		
	9	+		
	10	— (2,5%)		
t_{500}	1	+	+	— (5 %)
	2	+		
	3	+		
	4	+		
	5	+		
	6	— (5 %)		
	7	+		
	8	+		
	9	+		
	10	— (10 %)		
mittlerer Ölverbrauch \dot{V}	1	+	— (5 %)	— (5 %)
	2	— (0,5%)		
	4	+		
	6	+		
	8	+		
	10	— (5 %)		

- + Testhypothese (vorläufig) angenommen
- Testhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,5 %, . . . , 10 % abgelehnt

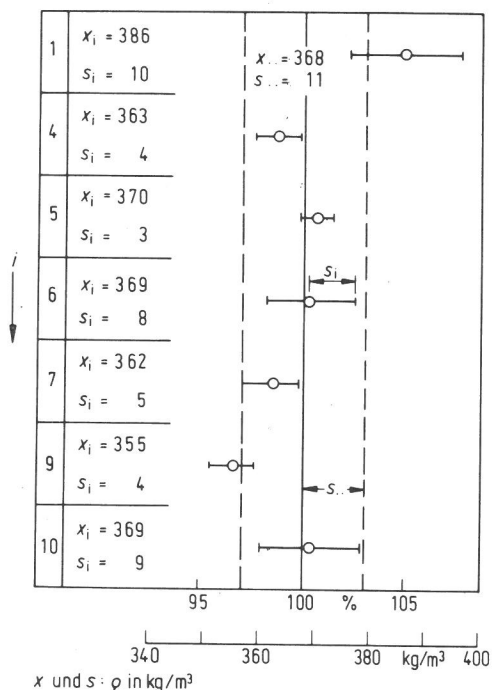


Abb. 7.2
25 mm dicke Stahlplatten mit kaltseitiger, 2 x 50 mm dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung
— Auswertung der auf die Trockenmasse bezogenen Rohdichte der 50 mm dicken Vermiculitplatten (n = 10)

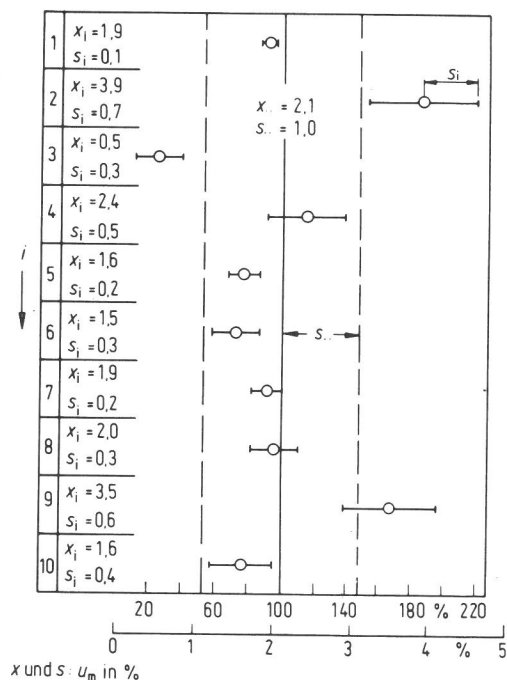


Abb. 7.3
25 mm dicke Stahlplatten mit kaltseitiger, 2 x 50 mm dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung
— Auswertung des massebezogenen Feuchtegehalts der 50 mm dicken Vermiculitplatten (n = 10)

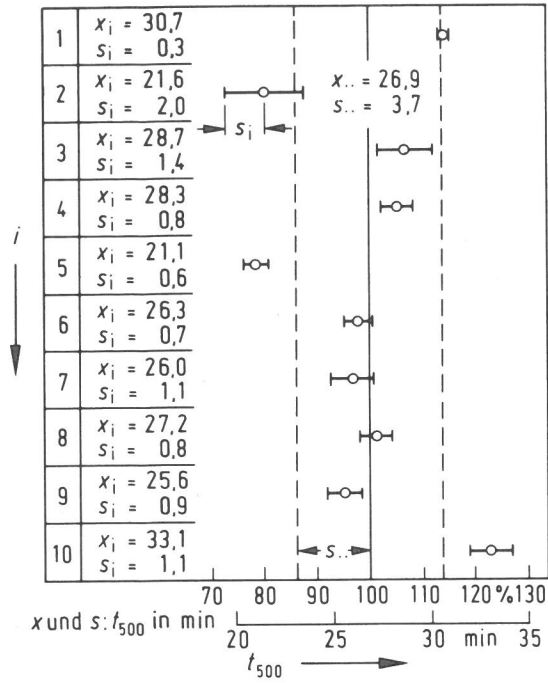


Abb. 7.4
25 mm dicke Stahlplatten mit kaltseitiger, 2 x 50 mm dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung (n = 5)
— Auswertung der Zeitdauer bis zum Erreichen von 500°C an Meßstelle 1

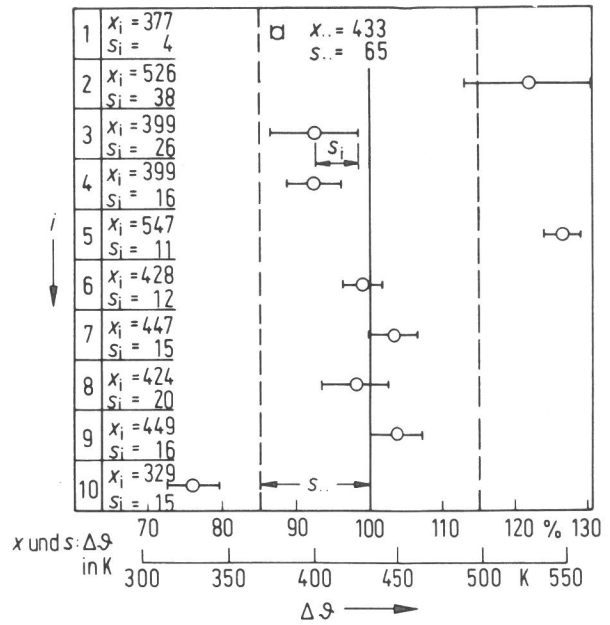


Abb. 7.5
25 mm dicke Stahlplatten mit kaltseitiger, 2 x 50 mm dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung (n = 5)
— Auswertung der Temperaturerhöhung an Meßstelle 1 nach 24 min

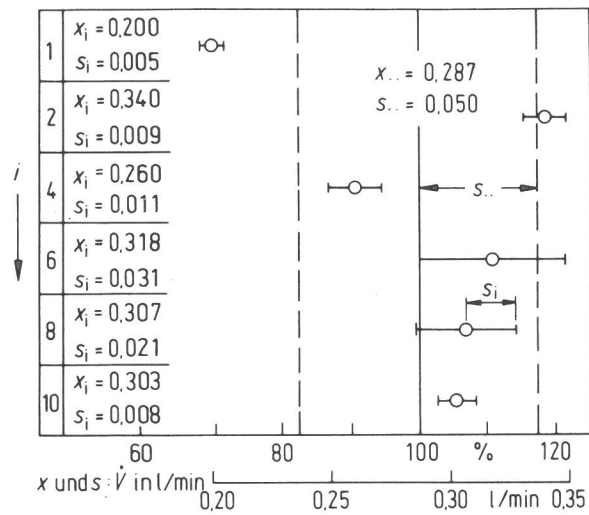


Abb. 7.6
25 mm dicke Stahlplatten mit kaltseitiger, 2 x 50 mm dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung (n = 5)
— Auswertung des mittleren Ölverbrauchs pro Minute

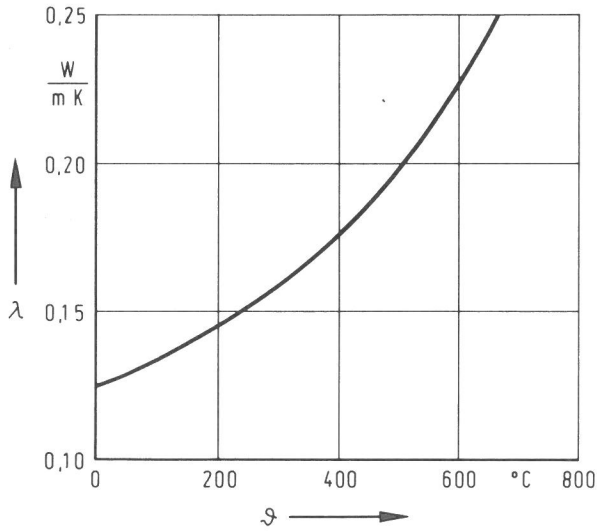


Abb. 7.7
 Meßwerte der Wärmeleitfähigkeit an 30 mm dicken Vermiculitplatten ($\rho = 342 \text{ kg/m}^3$ vor dem Versuch) in Abhängigkeit der Temperatur

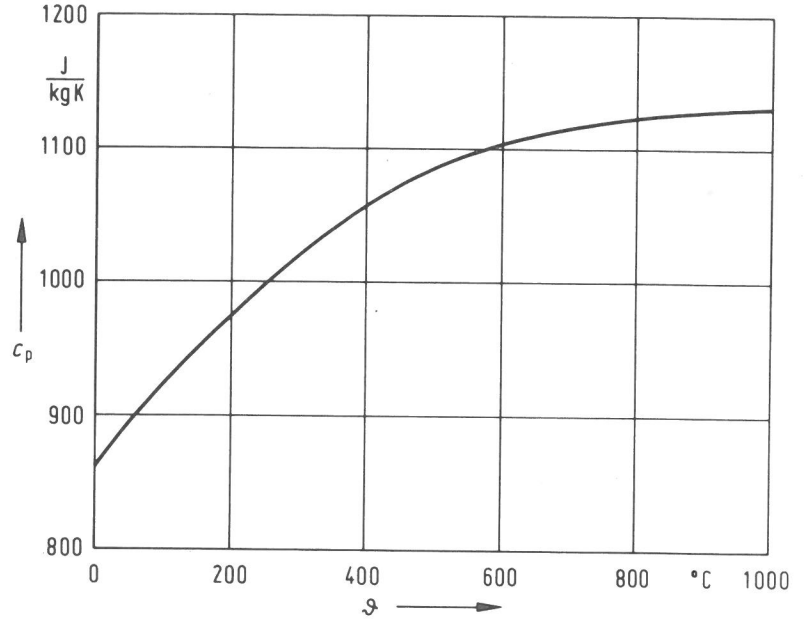


Abb. 7.8
 Meßwerte der spezifischen Wärmekapazität an 30 mm dicken Vermiculitplatten ($\rho = 370 \text{ kg/m}^3$) in Abhängigkeit der Temperatur

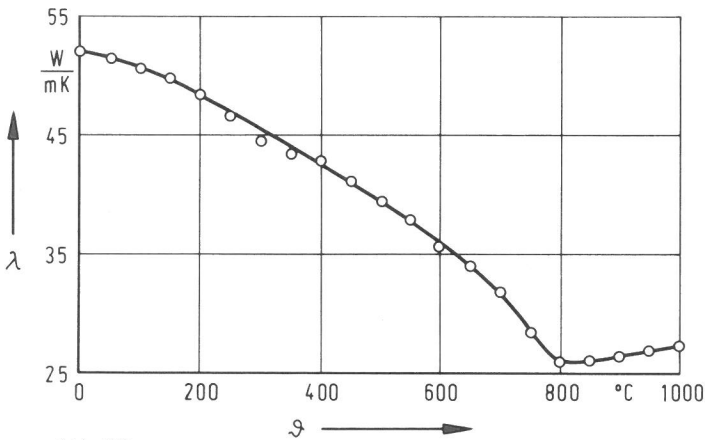


Abb. 7.9
 Wärmeleitfähigkeit von Baustahl ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$) in Abhängigkeit der Temperatur nach [21]

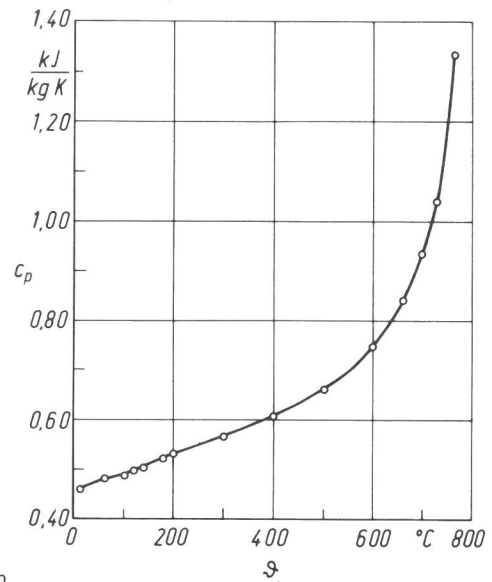
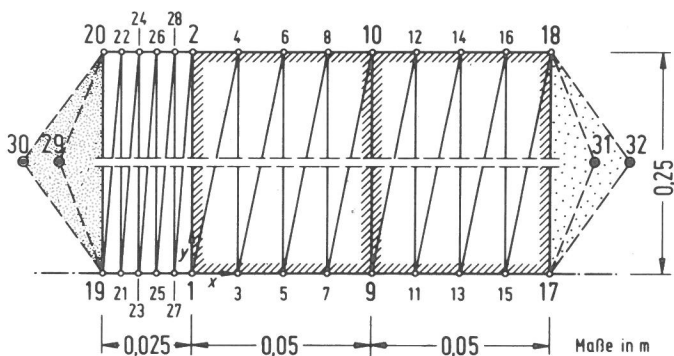


Abb. 7.10
 Spezifische Wärmekapazität von Baustahl ($\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$) in Abhängigkeit der Temperatur nach [22]



- Stahlplatte
- Wärmeübergang innen, α_i
- Vermiculitplatte
- Wärmeübergang außen, α_a

Abb. 7.11
 Für die Versuchsanordnung „Stahlplatte mit kaltseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung“ unter Verwendung von Dreieckselementen aufgestelltes 32-Knoten-Modell der Tiefe $z = 1 \text{ m}$ zur Ermittlung der Wärmeübergangsverhältnisse im Brandraum

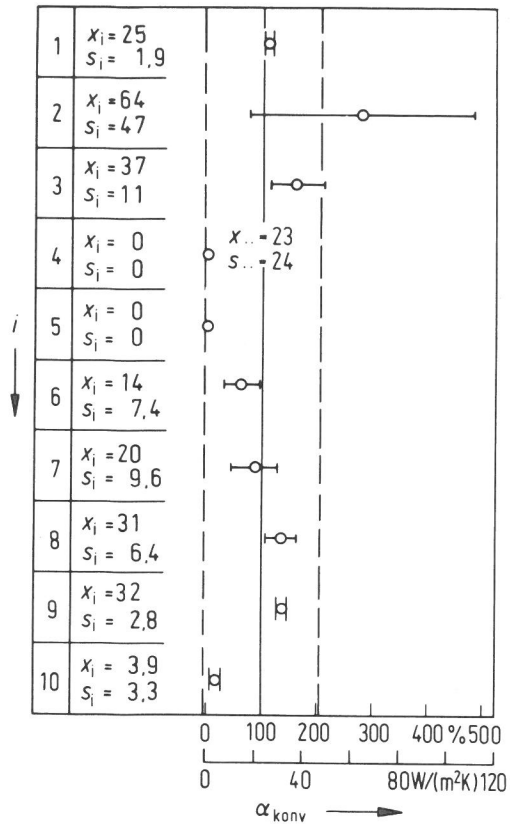


Abb. 7.12
25 mm dicke Stahlplatten mit kaltseitiger, 2 x 50 mm dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung (n = 5)
— Auswertung des Wärmeübergangskoeffizienten infolge Konvektion im Brandraum für eine Zeitdauer von 24 min

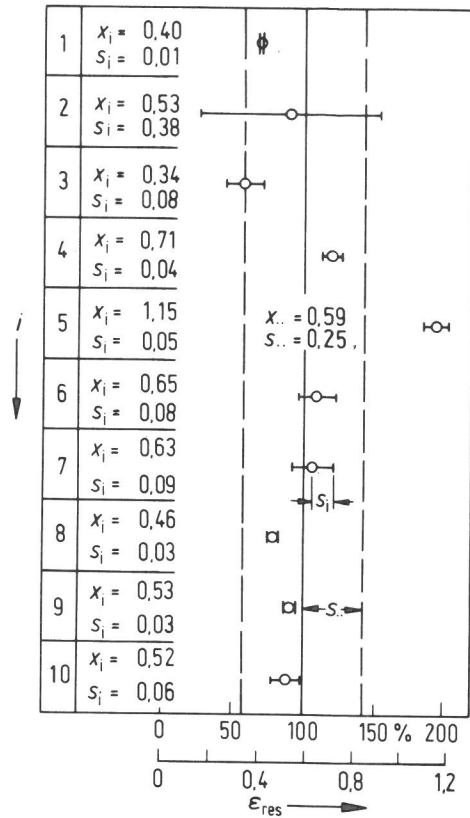


Abb. 7.13
25 mm dicke Stahlplatten mit kaltseitiger, 2 x 50 mm dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung (n = 5)
— Auswertung des resultierenden Emissionskoeffizienten im Brandraum für eine Zeitdauer von 24 min

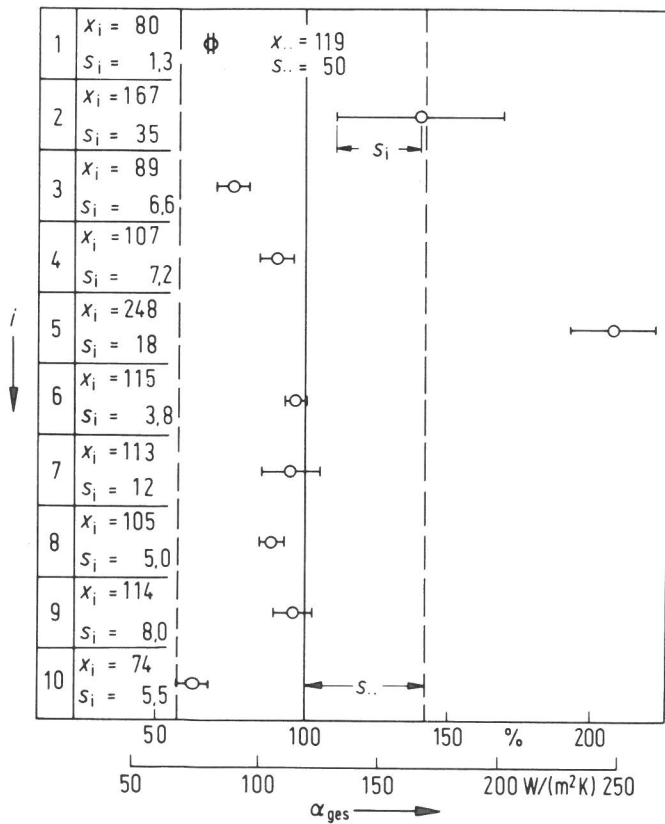


Abb. 7.14
25 mm dicke Stahlplatten mit kaltseitiger, 2 x 50 mm dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung (n = 5)
— Auswertung des Wärmeübergangskoeffizienten infolge Konvektion und Strahlung im Brandraum für eine Zeitdauer von 24 min

Tabelle 7.5
In Anlehnung an DIN 4102 Teil 2 zulässige Toleranzgrenzen der ETK

t	$(\vartheta - \vartheta_0)_{TU}$	$\vartheta - \vartheta_0$	$(\vartheta - \vartheta_0)_{TO}$	$\Delta \vartheta_{max}$	Bemerkung
min	K				
0	0	0	0	0	
5	501	556	612	56	
10	593	658	724	66	p = ± 10 %
15	647	719	790	72	
20	685	761	837	76	
25	715	795	874	80	
30	740	822	904	82	
60	879	925	972	47	
90	937	986	1 035	49	p = ± 5 %
120	978	1 029	1 080	51	
150	1 009	1 062	1 116	54	
180	1 035	1 090	1 144	55	

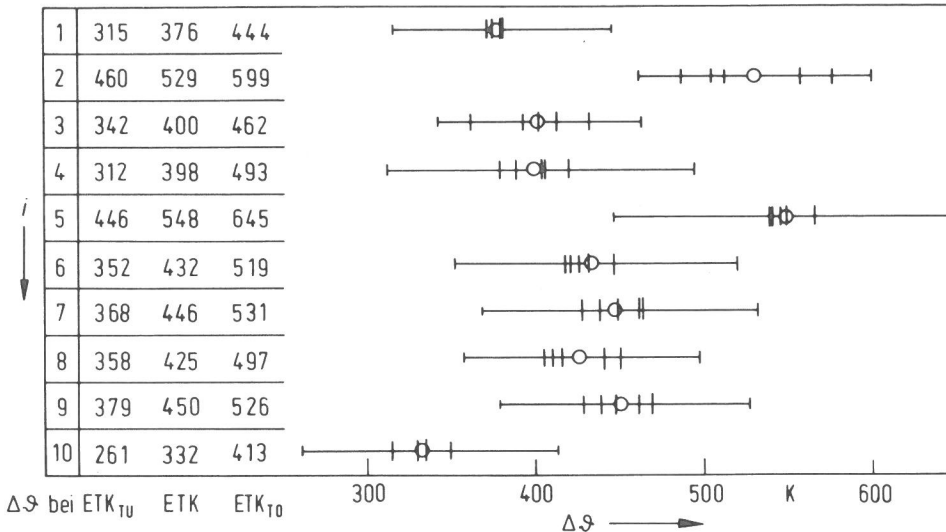


Abb. 7.15
25 mm dicke Stahlplatten mit kaltseitiger, 2 x 50 mm dicker Vermiculitplatten-Wärmedämmung ohne Gegenheizung (n = 5)
— Gegenüberstellung gemessener und für die einseitigen Toleranzgrenzen der ETK errechneter Temperaturerhöhungen nach 24 min

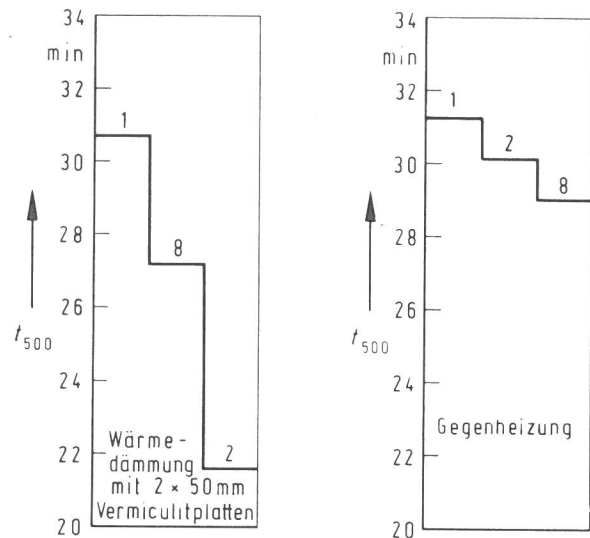


Abb. 7.16
25 mm dicke Stahlplatten mit simulierter (n = 5) bzw. tatsächlicher (n = 1) Gegenheizung
— Gegenüberstellung der Zeitdauern bis zum Erreichen von 500°C an Meßstelle 1

8 Schlußfolgerungen

Bei der Bestimmung des massebezogenen Feuchtegehalts (vgl. Abb. 7.3), der Rohdichtebestimmung (vgl. Abb. 4.4, 7.2), der ermittelten Temperaturerhöhung zu einem festen Zeitpunkt (vgl. Abb. 4.5, 4.6, 6.2, 6.3, 7.5) bzw. der Zeitdauer bis zum Erreichen einer Temperatur von 500°C (vgl. Abb. 5.3, 5.5, 5.6, 5.7, 7.4) und dem gemessenen Ölverbrauch pro Minute (vgl. Abb. 4.7, 5.4, 7.6) ergeben sich zwischen den einzelnen Prüfstellen erhebliche systematische Unterschiede sowohl hinsichtlich der Mittelwerte als auch der Standardabweichungen.

Die teilweise festgestellte, schlechte Reproduzierbarkeit (große Standardabweichung) bei den Ergebnissen der Kleinbrandversuche ist vor allem auf eine zwar nach DIN 4102 Teil 2 [23] zulässige, aber in dieser Größenordnung nicht vertretbare Abweichung von der ETK zurückzuführen. Nichtreproduzierbare Rauchgasabfuhrverhältnisse und eine von Versuch zu Versuch unterschiedliche Handhabung der Gegenheizvorrichtung dürften hier auch nicht ohne Einfluß sein, vgl. a. Tabelle 3.1.

Die systematisch unterschiedlichen Prüfergebnisse (unterschiedlich große Mittelwerte) resultieren aus zur Zeit vorhandenen geometrie- und baustoffbedingten Unterschieden in der Bauart der Kleinprüfstände, unterschiedlichen Brenntypen

(vgl. Tabelle 3.2) und Rauchgasabfuhrverhältnissen, deren Gesamtwirkung die systematisch unterschiedlichen Wärmeübergangsverhältnisse vom Brandraum zur Probekörperoberfläche ergibt.

Eine Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse ist nur möglich, wenn die Steuerung des Ölbrenners — dem Stand der Technik entsprechend — automatisch und mit hoher Genauigkeit (± 5 K) erfolgt. Dabei muß das Öl-Luft-Verhältnis des Brenners eine reproduzierbare Funktion der momentan verbrauchten Ölmenge sein. Die o. a. Genauigkeit bei der Einhaltung der Brandraumtemperatur kann dann bereits mit der in Abschnitt 3.2 bzw. [29] beschriebenen, konventionellen Brennerregelung ohne Schwierigkeiten erreicht werden. Ähnliche Aussagen gelten für die Steuerung der Unterdruckverhältnisse. Die in Abschnitt 3.2 beschriebene Gegenheizvorrichtung — ohnedies nur bei wenigen Prüfstellen vorhanden und nicht einheitlich — sollte durch eine z. B. 100 mm dicke, u. U. an den Kanten umgreifende Vermiculitplatten-Wärmedämmung ersetzt werden, vgl. Abb. 3.5. Erst eine erheblich verbesserte Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse bei den einzelnen Prüfstellen würde eine sinnvolle Übertragung von Prüfergebnissen von Prüfstelle zu Prüfstelle ermöglichen.

Eine Gleichheit der Prüfergebnisse bei Brandversuchen gleicher Versuchsanordnung, also eine Vereinheitlichung der Wärmeübergangsverhältnisse, in den Kleinprüfständen der einzelnen Prüfstellen erscheint nur dann erreichbar, wenn in DIN 4102 Teil 8 eine gegenüber dem jetzigen Stand wesentlich weitergehende Festlegung der Prüfstandsgeometrie (alles muß vermaßt sein; Mindestabmessungen sind zur Festlegung der Wärmeverluste nicht ausreichend), der verwendeten Baustoffe (keine physikalisch unterschiedlichen Alternativlösungen), der Zahl der seitlichen Öffnungen (generell nur ein oder generell nur zwei Probekörper je Brandversuch), des Brenntyps mit reproduzierbarem Öl-Luft-Mengenverhältnis unter Angabe des Herstellers

und der Rauchgasabfuhrverhältnisse vorgenommen wird. Diese Festlegungen müßten dann von den einzelnen Prüfstellen auch eingehalten werden. Es sollte auch noch einmal die Frage des Zeit in [1] vorgeschriebenen statischen Druckes im Brandraum von ± 10 Pa überprüft werden, da Überdruck im Brandraum instabile und nichtreproduzierbare Beflammungsverhältnisse bedingt.

Eine Überprüfung der Effektivität von Verbesserungsmaßnahmen ist jeder Prüfstelle mit Hilfe der Versuchsanordnung „Stahlplatte mit kaltseitiger Vermiculitplatten-Wärmedämmung“ nach Abb. 7.1 kurzfristig und wirkungsvoll möglich.

9 Literatur

- [1] DIN 4102 Teil 8, Entwurf 1977:
Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Kleinprüfstand.
- [2] DIN 4102 Teil 1, Ausgabe 1981:
Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.
- [3] DIN 18 082 Teil 2, Ausgabe 1976:
Feuerschutzabschlüsse; Stahltüren T30-1; Mineralfaser-Einlagen.
- [4] Richtlinien für Prüfung und Zulassung von dämmschichtbildenden Brandschutzbeschichtungen auf Stahlbauteilen zum Nachweis der Feuerwiderstandsklasse F30 nach DIN 4102, Fassung 1978, Institut für Bautechnik, Berlin.
- [5] Rudolphi, R., u. E. Knublauch:
Beschreibung und Diskussion des Gegenheizverfahrens zur näherungsweise Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer bekleideter Stahlstützen.
Zeitschrift der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes 18 (1969), H. 4, S. 149 — 152
- [6] Rudolphi, R., u. E. Knublauch:
Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen.
Berichte der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin, BAM-Berichte Nr. 22 (1973), 22 Seiten
- [7] DIN 18 165 Teil 1, Ausgabe 1975:
Faserdämmstoffe für das Bauwesen; Dämmstoffe für die Wärmedämmung.
- [8] ABM-Blatt 2, Entwurf 1969:
Oberflächen-Thermoelemente (Bauteile).
- [9] Schack, A.:
Der industrielle Wärmeübergang. 7. Auflage.
Düsseldorf: Verlag Stahleisen, 1969
- [10] DIN/ISO 5725, Entwurf 1978:
Präzision von Prüfverfahren; Bestimmung von Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit.
- [11] Glaser, W. R.:
Varianzanalyse. 1. Auflage. Uni-Taschenbücher 584.
Stuttgart, New York: Gustav-Fischer-Verlag, 1978
- [12] Sachs, L.:
Angewandte Statistik.
Statistische Methoden und ihre Anwendungen. 5. Auflage.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1978
- [13] Graf, H.-J. Henning u. K. Stange:
Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik.
2. Auflage.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1966
- [14] Stange, K.:
Angewandte Statistik.
Teil 1: Eindimensionale Probleme.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1970
Teil 2: Mehrdimensionale Probleme.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1971
- [15] Ralston, A., u. H. S. Wilf:
Mathematische Methoden für Digitalrechner.
München, Wien: R. Oldenbourg-Verlag, 1967
- [16] Rudolphi, R.:
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen.
Berichte der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin, BAM-Berichte Nr. 72 (September 1980), 127 Seiten bzw. gleichlautender
Schlußbericht zum Forschungsvorhaben 02411 des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Aktenzeichen BII9-810705-204, erhältlich über das Informationszentrum Raum und Bau (IRB), Silberburgstr. 119 A, 7000 Stuttgart 1)
Berlin: Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM), 1978, 284 Seiten und *Anhang Rechenprogramme*
- [17] Rudolphi, R., u. R. Müller:
ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz.
Berichte der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin, BAM-Berichte Nr. 74 (November 1980), 20 Seiten und 143 Seiten Anhang
- [18] Egresi, M.:
Mathematisch-statistische Auswertung der Brandversuche an Nichtbrennbarkeitsöfen.
Anlage zum Forschungsbericht T 745 „Auswertung von Rundversuchen zum Prüfverfahren nach DIS 1182 und zum Prüfverfahren nach DIN 4102 Teil 1 Abschnitt 5.1“/
G. Klingelhöfer
Stuttgart: Informationszentrum Raum und Bau, 1981
- [19] Stange, K.:
Eine Bemerkung zur Abgrenzung einseitiger Toleranzbereiche mit Hilfe von Mittelwert und Standardabweichung einer Probe.
Mitteilungsblatt für Mathematische Statistik und ihre Anwendungsgebiete 9 (1957), H. 3, S. 233 — 239
- [20] Knublauch, E., u. R. Rudolphi:
Dämmschichtbildende Brandschutzanstriche.
Der Stahlbau 41 (1972), H. 9, S. 273 — 277

- [21] Landolt-Börnstein:
Zahlenwerte und Funktionen. IV. Band Technik. 2. Teil:
Stoffwerte und Verhalten von metallischen Werkstoffen.
6. Auflage.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1963
- [22] Landolt-Börnstein:
Zahlenwerte und Funktionen. IV. Band Technik. 4. Teil:
Wärmetechnik. 6. Auflage.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1967
- [23] DIN 4102 Teil 2, Ausgabe 1977:
Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile;
Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- [24] Ehm, H.:
Ein Beitrag zur rechnerischen Bemessung von brandbean-
spruchten balkenartigen Stahlbetonbauteilen.
Dissertation, Technische Hochschule Braunschweig, 1967
- [25] Ehm, H., u. W. Bongard:
Feuerwiderstandsfähigkeit von wassergekühlten Stahl-
stützen.
Der Stahlbau 37 (1968), H. 6, S. 161 — 164
- [26] Petterson, O., S.-E. Magnusson u. J. Thor:
Fire Engineering Design of Steel Structures.
Stockholm: Swedish Inst. of Steel Construction, 1976,
232 Seiten
- [27] VDI-Wärmeatlas. Berechnungsblätter für den Wärmeüber-
gang.
2. Auflage. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1974
- [28] Cammerer, J. S.:
Tabellarium. 11. Auflage.
Mannheim: Reinhold & Mahla, 1973
- [29] Rudolphi, R.:
Entwicklung eines vielseitig für Balken-, Decken- und
Modellversuche einsetzbaren Brandprüfstandes.
Amts- und Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Material-
prüfung (BAM) 5 (1975), Nr. 1, S. 11 — 19
- [30] Knublauch, E.:
Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrand-
versuches nach DIN 4102 Teil 2 im Hinblick auf die
Nachbildung natürlicher Schadensfeuer.
Berichte der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin,
BAM-Berichte Nr. 16 (August 1972), 54 Seiten

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 Feuchtigkeitsschutzes 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 Kenntnis 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 Dir. 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 Sprödbruchverhalten 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-Linearbeschleuniger 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 ionitriertem 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 Sprödbruchverhalten 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 Andrae 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 Rohrman 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 Biegewechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke

Nr. 56/Januar 1979

Stabilität von Sandwichbauteilen
von Dipl.-Ing. W. Brünner 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 Farbmeterik 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 volleuzentrischen Präzisions-Goniometers

von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn

Nr. 69/Juni 1980

Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitschillen (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 Biegebelastung 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 Kalttribneigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch

von Dr.-Ing. Volker Neumann

Nr. 80/Dezember 1981

Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten

von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch

Nr. 81/Dezember 1981

Graphisch-rechnerisches 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 Siegmund 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

