

Bewertung von Brandlasten in größeren Räumen

T 2482/1

Zusammenfassender Abschlußbericht

T 2482/1

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

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

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Arbeitsgemeinschaft AGB

Brandsicherheit München/Kassel

BEWERTUNG VON BRANDLASTEN IN GRÖßEREN RÄUMEN

Nr. 23-80.00-312

Zusammenfassender Abschlußbericht

Dipl.-Phys. Thomas Ueberall
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Schneider
Dr.-Ing. Marita Kersken-Bradley
Dr.-Ing. Ulrich Max

Auftraggeber: Instituts für Bautechnik
Reichpietschufer 74

1000 Berlin 30

Nr. IV 1 - 5 - 467/86

Datum: 20.02.1992

1.	Allgemeines und Aufgabenstellung	1
2.	Beschreibung der Versuchsanordnung	1
2.1	Versuchsraum	1
2.2	Messung der Temperaturen	2
2.3	Druckmessungen	3
2.4	Abgaszusammensetzung	16
2.5	Wärmebelastung der Umfassungsbauteile	16
2.6	Abbrandrate	16
2.7	Volumenstrom der Zuluft	16
3.	Brandversuche	17
3.1	Versuche unter ETK-Belastung zur Kalibrierung der Versuchseinrichtung	17
3.2	Versuche zum Brandverhalten in Abhängigkeit von der Ventilation	21
3.3	Versuche zum Brandverhalten in Abhängigkeit von der Versuchsbrandmenge	25
4.	Bewertung der Versuchsergebnisse nach Abschnitt 3	28
4.1	Gegenüberstellung der Kalibrierkurven	28
4.2	Vergleich der Ergebnisse nach Abschnitt 3 mit den in der Literatur angegebenen Werten	29
5.	Ermittlungen von m-Faktoren durch Brandversuche im kleinen Brandhaus	30
6.	Theoretische Auswertungen	34
6.1	Ermittlung der m-Faktoren durch Brandversuche und Wärmebilanzrechnungen	34
6.2	Vergleiche mit den Einheitsbrandlast-Referenzversuchen	34
7.	Schlußfolgerungen	42
8.	Zusammenfassung	46
9.	Literaturverzeichnis	

1. Allgemeines und Aufgabestellung

In vorangegangenen Vorhaben/1,5/ wurden eine Reihe von Lagerstoffen Brandversuchen nach DIN 18 230 zur Ermittlung von Abbrandfaktoren unterzogen und in das Beiblatt zu dieser Norm aufgenommen. Durch die im Rahmen dieser Untersuchungsvorhaben ermittelten m-Faktoren wurden der Katalog der Abbrandfaktoren um eine Reihe wichtiger und häufig eingesetzter Lagerstoffe erweitert und wichtige Beurteilungsgrundlagen für den Katastrophenschutz sowie Brandschutzdienststellen und Baugenehmigungsbehörden geschaffen.

Gegen das derzeitige Prüfverfahren zur Ermittlung des Abbrandfaktors m nach DIN 18 230 Teil 2 wurden jedoch Bedenken erhoben. Dabei handelt es sich sowohl um Bedenken bezüglich der versuchstechnischen Durchführung als auch um Bedenken bezüglich der physikalischen Bewertung der ermittelten Werte. Zur Lösung dieser Probleme ist der Einsatz eines größeren Raumes erforderlich. Die vorgesehenen Versuche sollen in einem ca. 62 m³ großen Raum erfolgen und durch theoretische Modellrechnungen kontrolliert werden.

Die im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens durchgeführten Versuche sollen die Frage klären, ob die in dem 8 m³ großen Versuchsraum der m-Faktor Anlage ermittelten Faktoren bei einer Übertragung auf größere Räume eine ausreichende Sicherheit gewährleisten und ob – gegebenenfalls welche – Korrelation zwischen den bisher ermittelten m-Faktoren und den entsprechenden Daten aus den Versuchen in größeren Räumen besteht.

Die ausführlichen Ergebnisse der praktischen und theoretischen Untersuchungen sind in getrennten Abschlußberichten zusammengefaßt /7,8/.

2. Beschreibung der Versuchsanordnung

2.1 Versuchsraum

Die Versuche wurden in der Versuchsanlage für natürliche Brände (s. Abb. 1 bis 3) des MPA NRW durchgeführt. Der Raum hat ein Volumen von ca. 62 m³. Das ursprünglich angestrebte Volumen von 80 m³ konnte nicht erreicht werden, da der vorgesehene Bodenaushub – ohne kostspielige Abstützmaßnahmen des Bauwerkes – nicht tiefer erfolgen konnte. Die Innenwände des Raumes sind mit 12,3 cm dickem Schamottmauerwerk (Rohdichte = 1900 kg/m³) ausgekleidet. Die Außenverkleidung bestand aus 24 cm dickem Klinker und war durch einen Luftspalt von 20,7 cm zum innenliegenden Schamottmauerwerk getrennt. Weitere Einzelheiten zum Aufbau des Mauerwerks sind der Abb. 5 zu entnehmen.

Der untere Teile des Raumes bestand aus einer Wanne aus Stahlbeton, die mit einer thermischen Isolierung aus zwei Lagen Mineralfaserplatten sowie zwei Lagen Kaolinwolle "FOSECO-Platten" ausgekleidet waren. Die Gesamtdicke der Isolierung betrug 13 cm (s. Abb. 4).

Das zu prüfende Versuchsmaterial wurde auf einem abhängten Wägetisch aufgebaut. Durch vier im Dach vorhandene Öffnungen wurden hierzu Ketten aus temperaturbeständigem Stahl zur Übertragung des Gewichtsverlusts auf dem Dach befindliche Kraftmeßdosen geführt. Die Metallprofile des Wägetisches wurden durch 15 cm dicke Gasbetonplatten geschützt.

In der Mitte der Brandraumdecke befand sich das Vergleichsbauteil "Stahlklotz", das in Form und Ausstattung identisch mit dem bei den m-Faktorversuchen eingesetzten Vergleichsbauteil war (s. Abb. 7).

Die Zuluft wurde bei den Versuchen mit Holzkrippen und Lagerstoffen über zwei Öffnungen (Abmessungen: $0,245 \times 0,63 \text{ m}^2$ und $0,255 \times 0,63 \text{ m}^2$; Gesamtfläche $0,315 \text{ m}^2$) herangeführt und durch ein Diffusor-Blech nach den Seiten hin abgelenkt. Hierdurch sollten Strömungsspitzen im Bereich der Primärbrandlast vermieden werden, die unter Umständen bewirkt hätten, daß heiße Brandgase zu schnell in die Richtung der Abgasöffnung getrieben werden.

Zur Kalibrierung der Versuchseinrichtung durch Versuche mit der Einheitstemperaturkurve DIN 4102 Teil 2 wurde im Bereich der Zuluftöffnung ein Ölbrenner installiert.

Die Abluft wurde über drei Abluftöffnungen ($1,27 \times 0,32$, $1,27 \times 0,32$ und $1,27 \times 0,33 \text{ m}^2$; Gesamtfläche $1,23 \text{ m}^2$) abgeführt, die sich in einer thermisch isolierten Trennwand zum Abgaskanal befanden.

2.2 Messung der Temperaturen

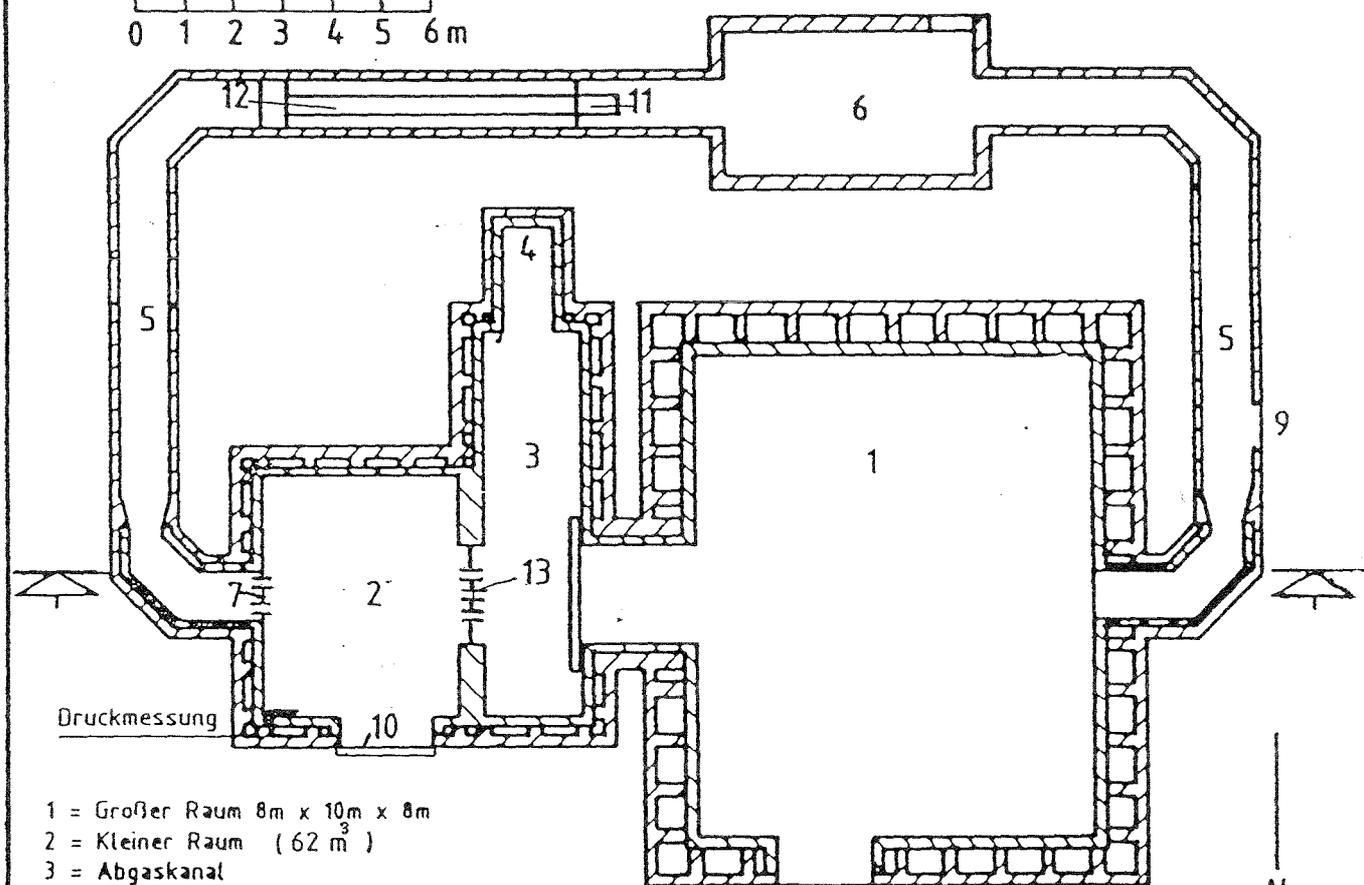
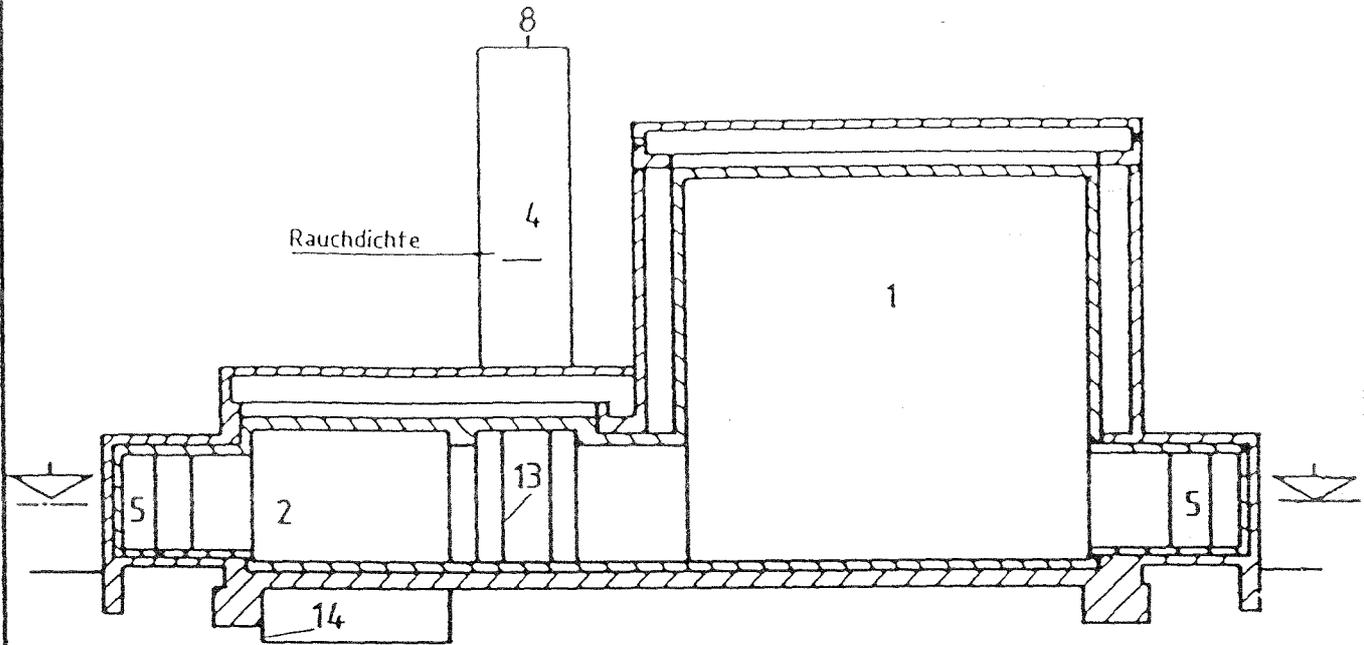
Während der Versuche wurden die Temperaturen an 11 Meßstellen 10 cm unterhalb der Brandraumdecke (s. Abb. 11 und 12) an vier Thermoelementsäulen (ABCD) zur Erfassung des Temperaturprofils in Abhängigkeit von der Brandraumhöhe (s. Abb. 9), in der Mitte der Zuluftmeßstrecke (s. Pos. 12 in Abb. 1) sowie in der Mitte des heißen Abgasstromes hinter der mittleren Abzugsöffnung (s. Pos. 8 in Abb. 1) gemessen. Die Zuordnung der einzelnen Meßstellen zu den Thermoelementsäulen ist der Abb. 12 zu entnehmen.

Aus dem Mittelwert der Deckentemperaturen wurde das Temperatur-Zeit-Integral berechnet.

2.3 Druckmessungen

Zur kontinuierlichen Aufzeichnung des Druckverlaufs während des Abbrandes wurde der statische Druck an der in Abb. 1 gekennzeichneten Stelle mit einem Schrägrohrmanometer gemessen.

Abb. 1: Versuchsanlage für natürliche Brände



- 1 = Großer Raum 8m x 10m x 8m
- 2 = Kleiner Raum (62 m³)
- 3 = Abgaskanal
- 4 = Schornstein
- 5 = Zuluftkanal
- 6 = Lüftungszentrale (bis 6000m³/h, 20°C)
- 7 = Zuluftöffnungen
- 8 = verstellbare Abzugsöffnung
- 9 = Zugangstür zu 5
- 10 = Verschluss aus feuerfestem Beton
- 11 = Heizregister
- 12 = Beruhigungsstrecke/Meißstrecke

13 = CO₂, CO, O₂ und Temperaturmessung der Abgase, Abgasöffnungen zu 3
 14 = Wanne aus Stahlbeton

<p>MPA Nordrhein-Westfalen</p>		<p>entw.: gez.: 19.4.88 <i>Leinweber</i> M Z.Nr. 9.23 5347 (4)</p>
------------------------------------	--	--

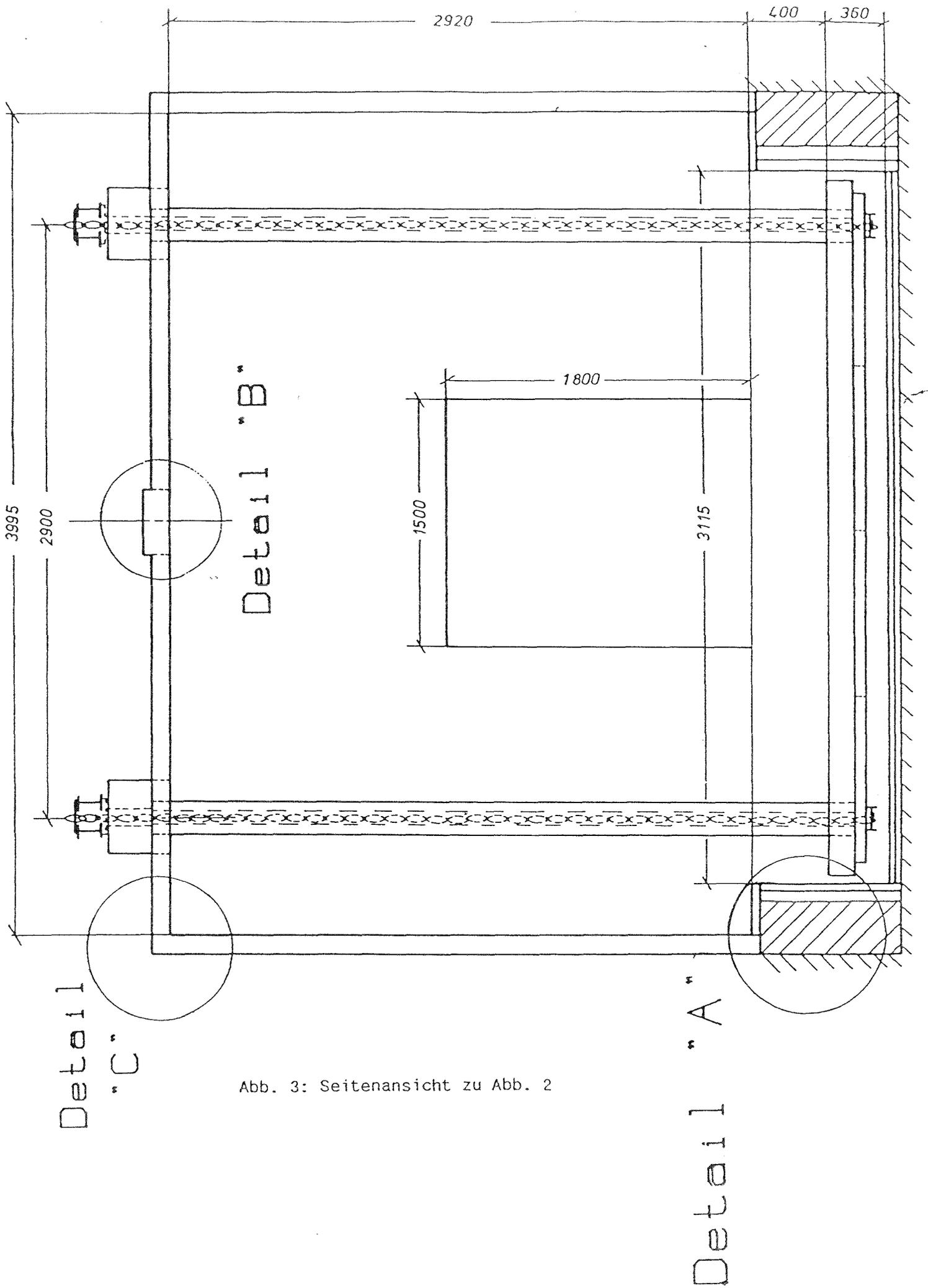


Abb. 3: Seitenansicht zu Abb. 2

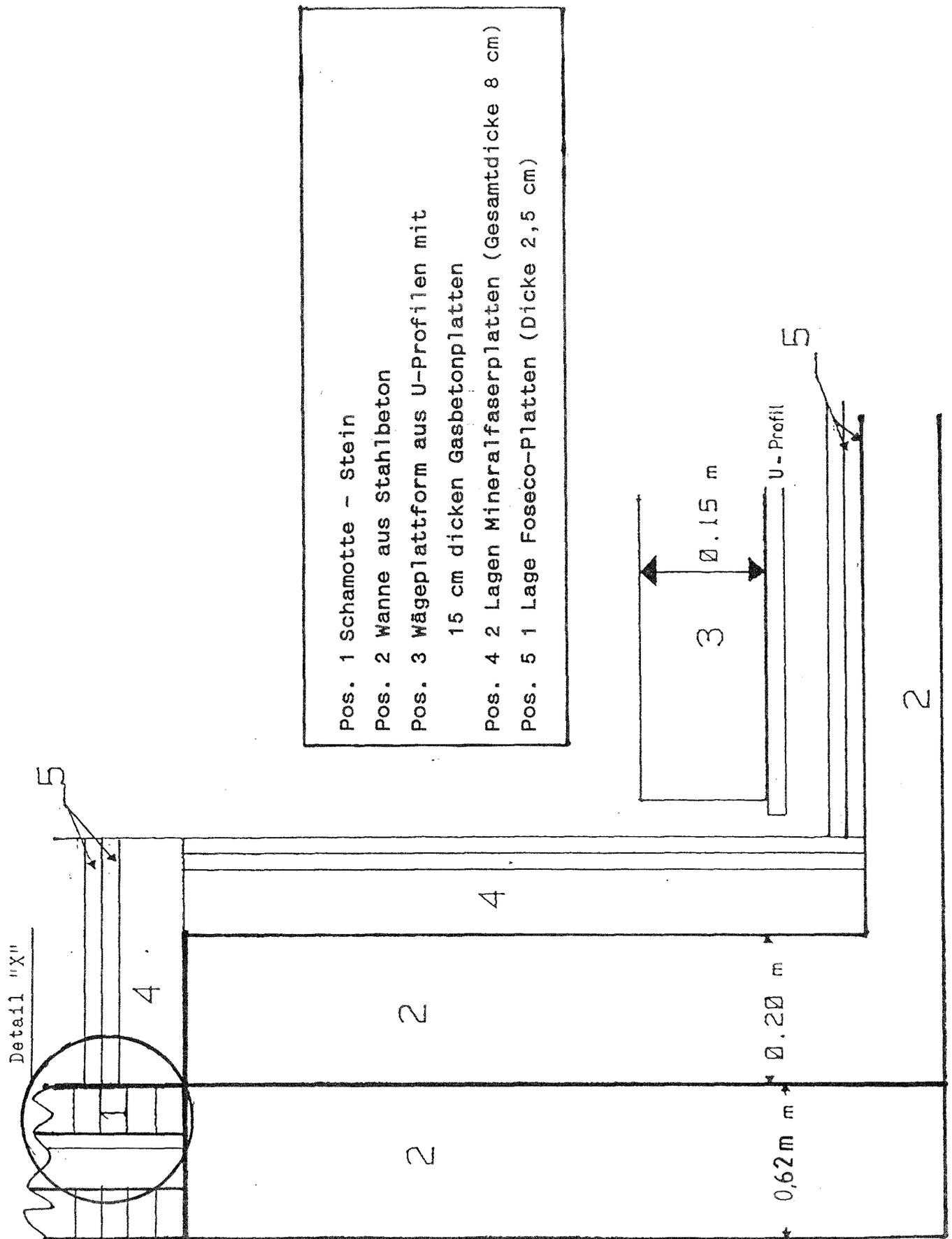


Abb. 4: Detail "A" zu Abb. 3

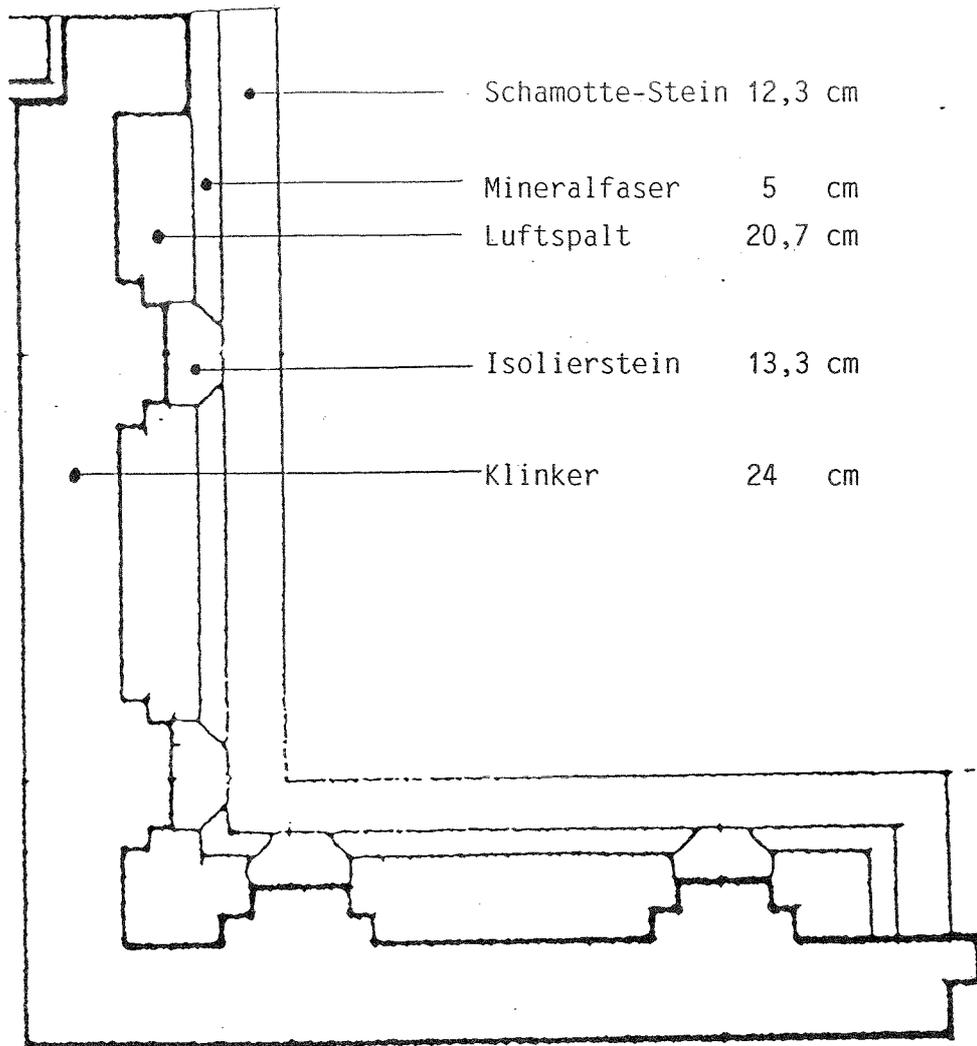


Abb. 5: Detail "X" zu Abb. 4 und 6

Dachhaut 3 mm Blech

Perliteisolierbeton

Schamotte-Steine

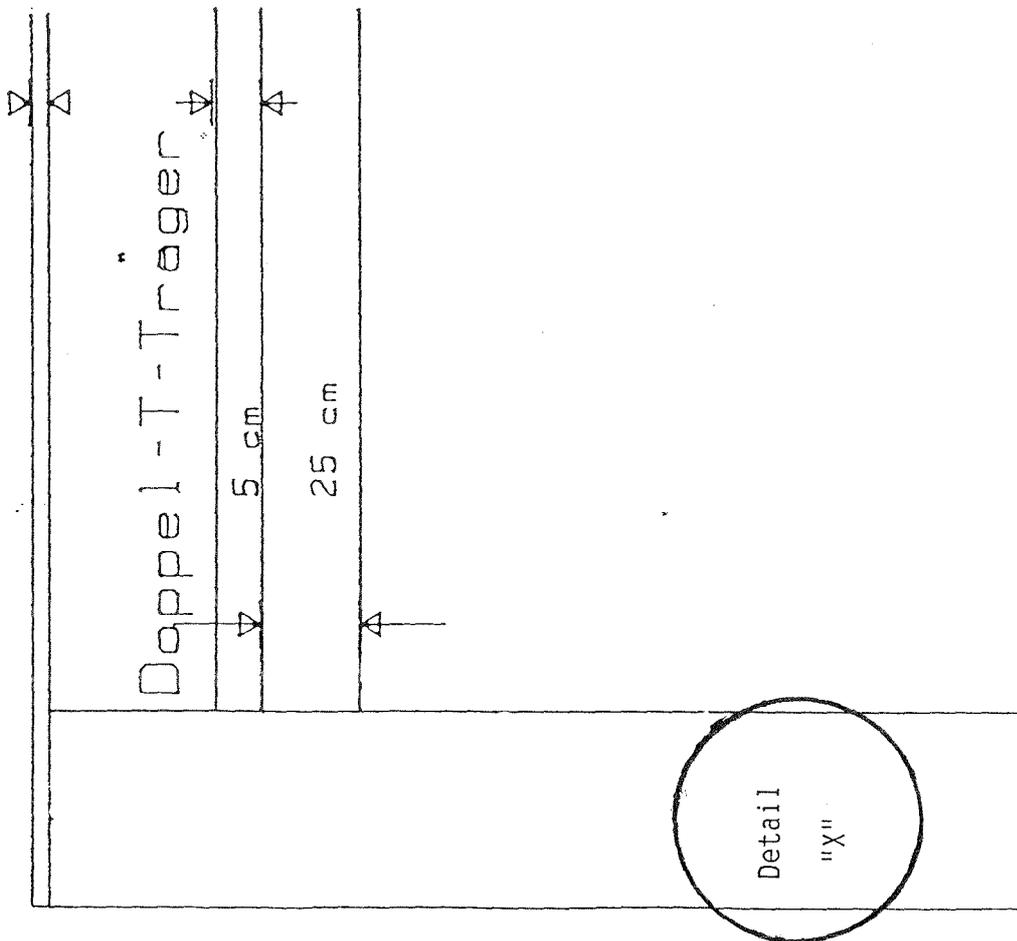
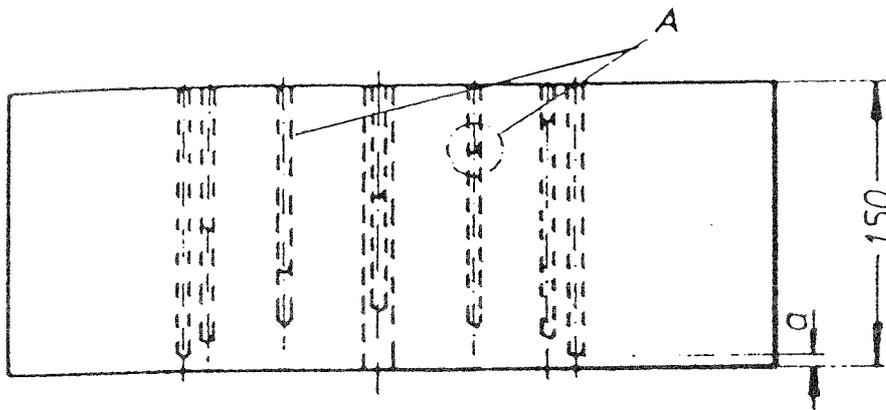
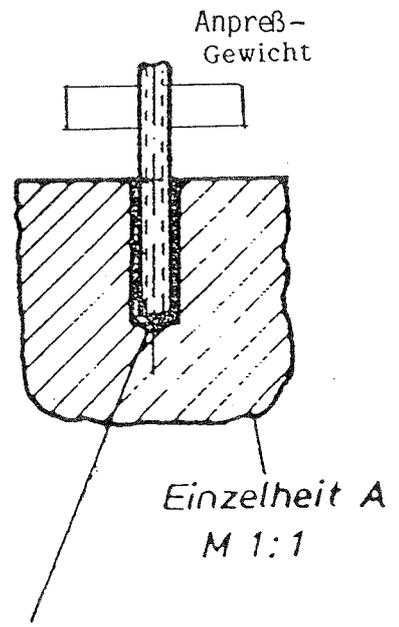
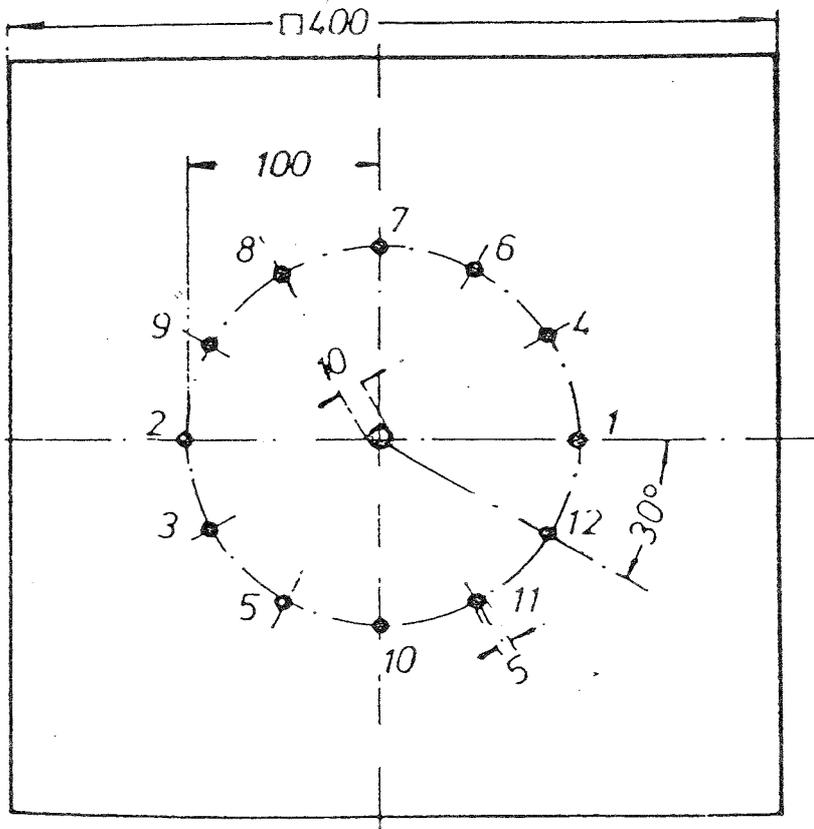


Abb. 6: Detail "C" zu Abb. 3

M 1:4



a	
2	mm
5	"
10	"
10	"
20	"
20	"
30	"
50	"
70	"
90	"
110	"
130	"

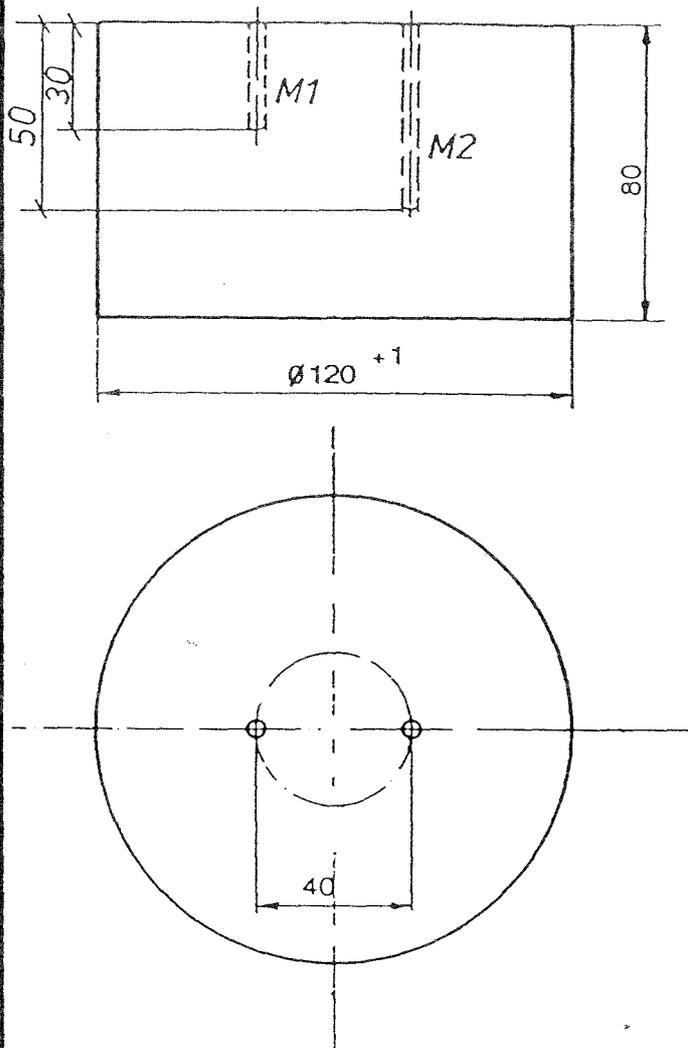


Mantelthermoelement ($\varnothing=4,8$ mm)

Basis für die Auswertung: Meßstelle in $a = 50$ mm

Abb. 7 : Detail "B" zu Abb. 3 - Vergleichsbauteil "Stahlklotz"

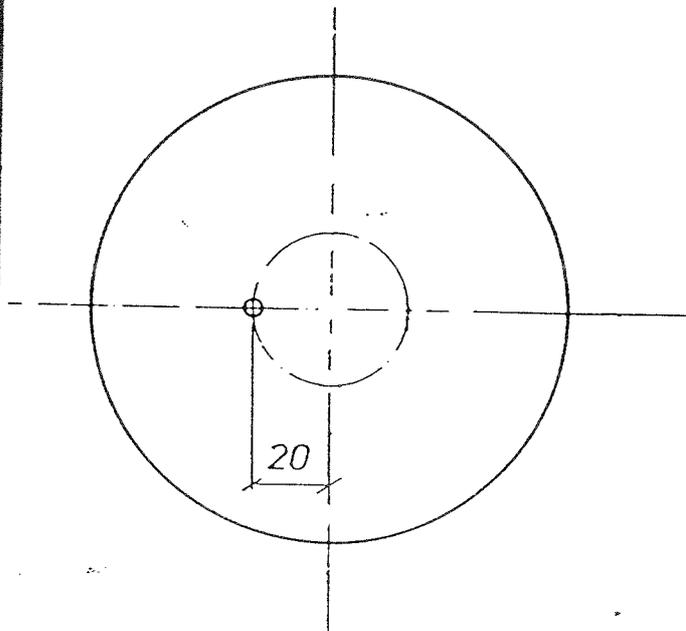
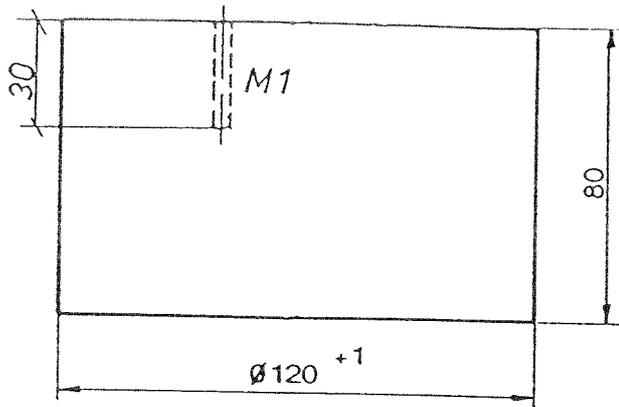
Vergleichselement "Stahl" (V 2A)



M1 = Bohrung 30 mm , Wanddicke 50 mm
M2 = Bohrung 50 mm , Wanddicke 30 mm

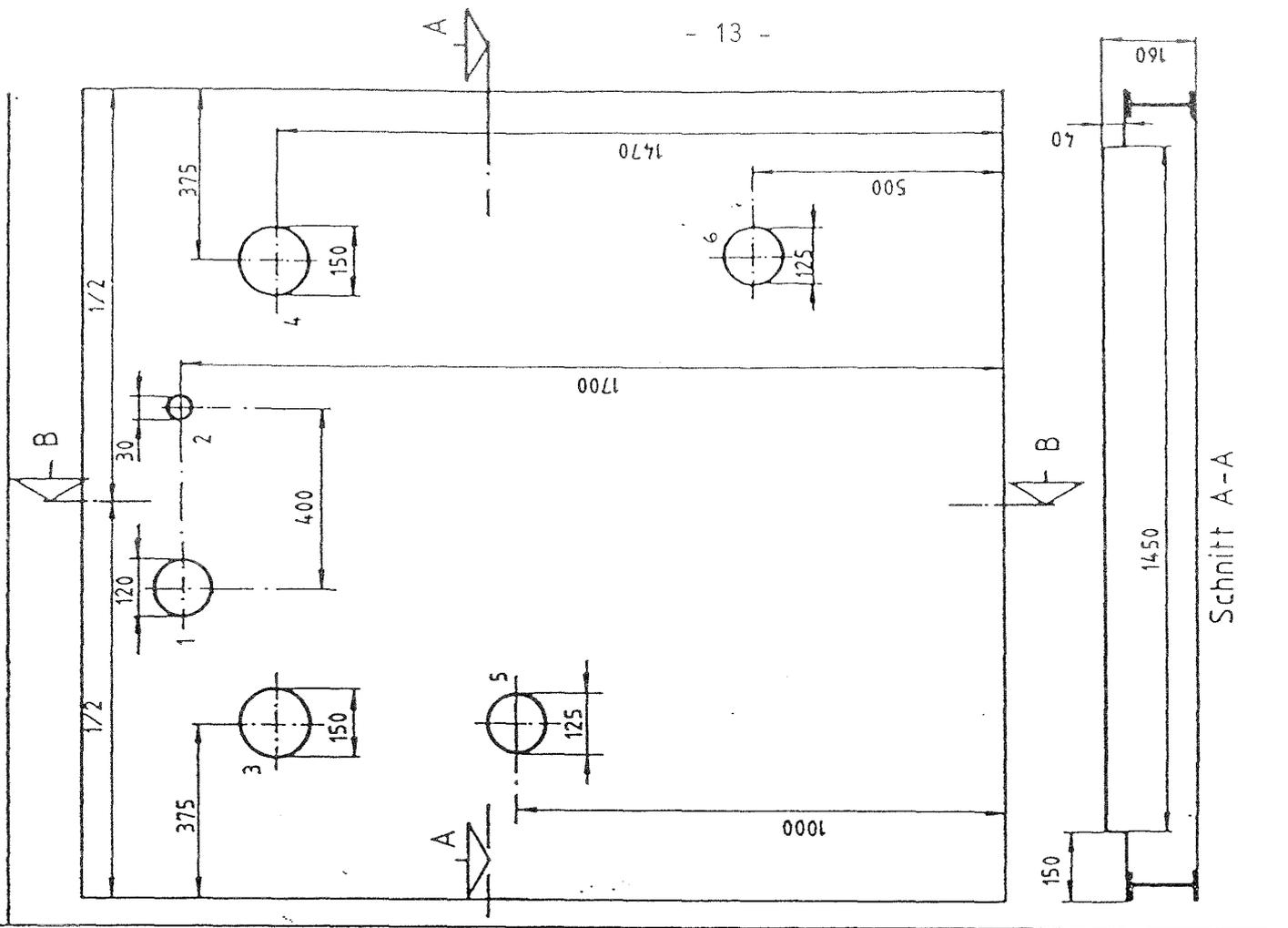
Abb. 8: Vergleichsbauteil "Stahlzylinder I" Pos. 5 in Abb.10

Vergleichselement "Stahl" (V 2A)



M1 = Bohrung 30 mm , Wanddicke 50 mm

Abb. 9: Vergleichsbauteil "Stahlzylinder II" Pos. 6 in Abb.10



Anordnung der Strahlungs- und Gesamtwärmestromdichte-Meßgeräte, der Beobachtungsöffnungen und Vergleichsbauerteile (Zylinder)

- 1 Gesamtwärmestromdichtemeßgerät
- 2 Strahlungswärmestromdichtemeßgerät
- 3,4 Beobachtungsöffnungen
- 5 Vergleichsbauerteile Stahlzylinder I
- 6 Vergleichsbauerteile Stahlzylinder II

Schnitt B-B

Schnitt A-A

Abb. 10: Brandraumverschluß aus feuerfestem Beton (Pos. 10 in Abb. 1)

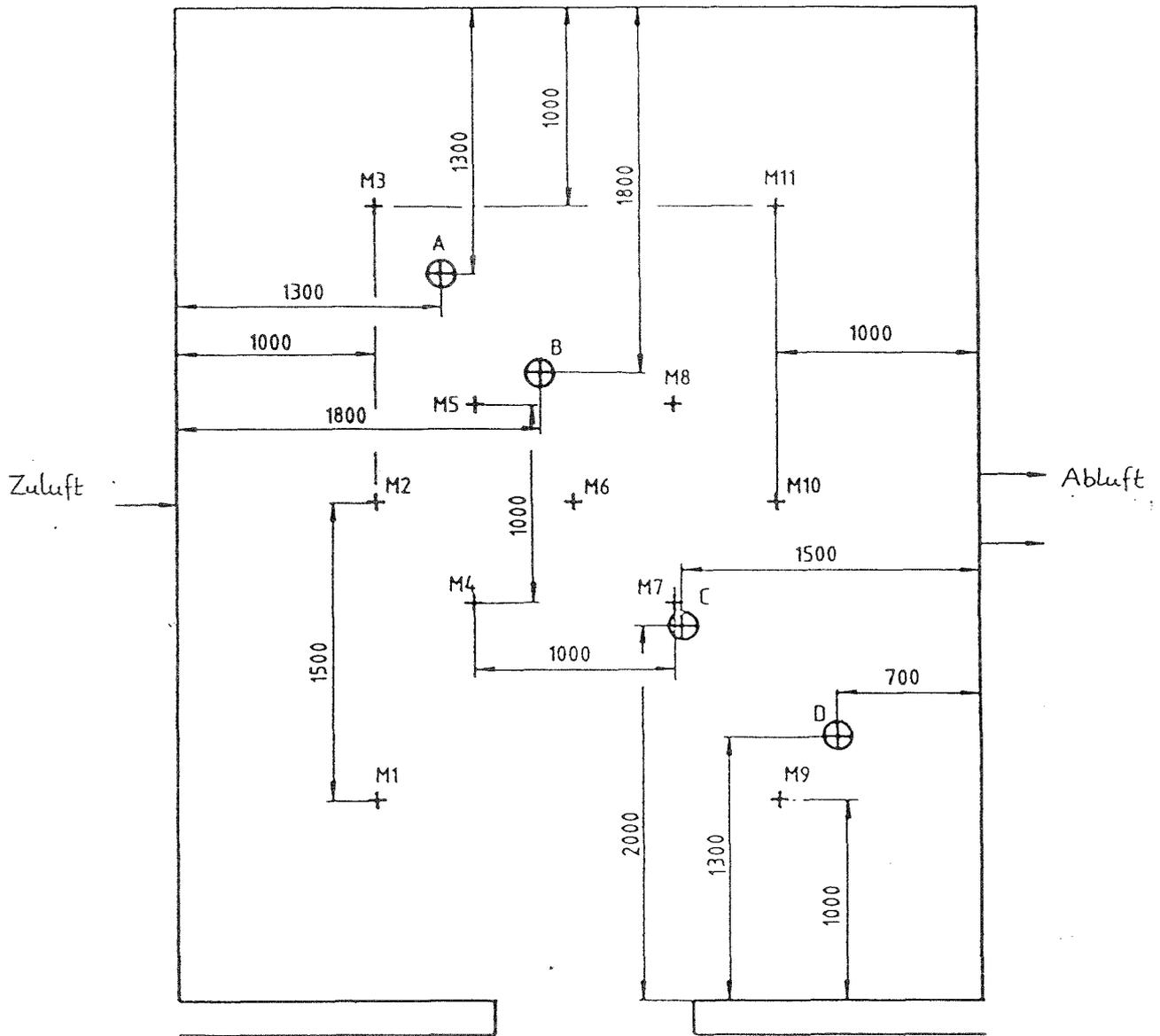


Abb. 11: Draufsicht auf die Anordnung der Temperaturmeßstellen unter der Brandraumdecke und die Thermosäulen A bis D

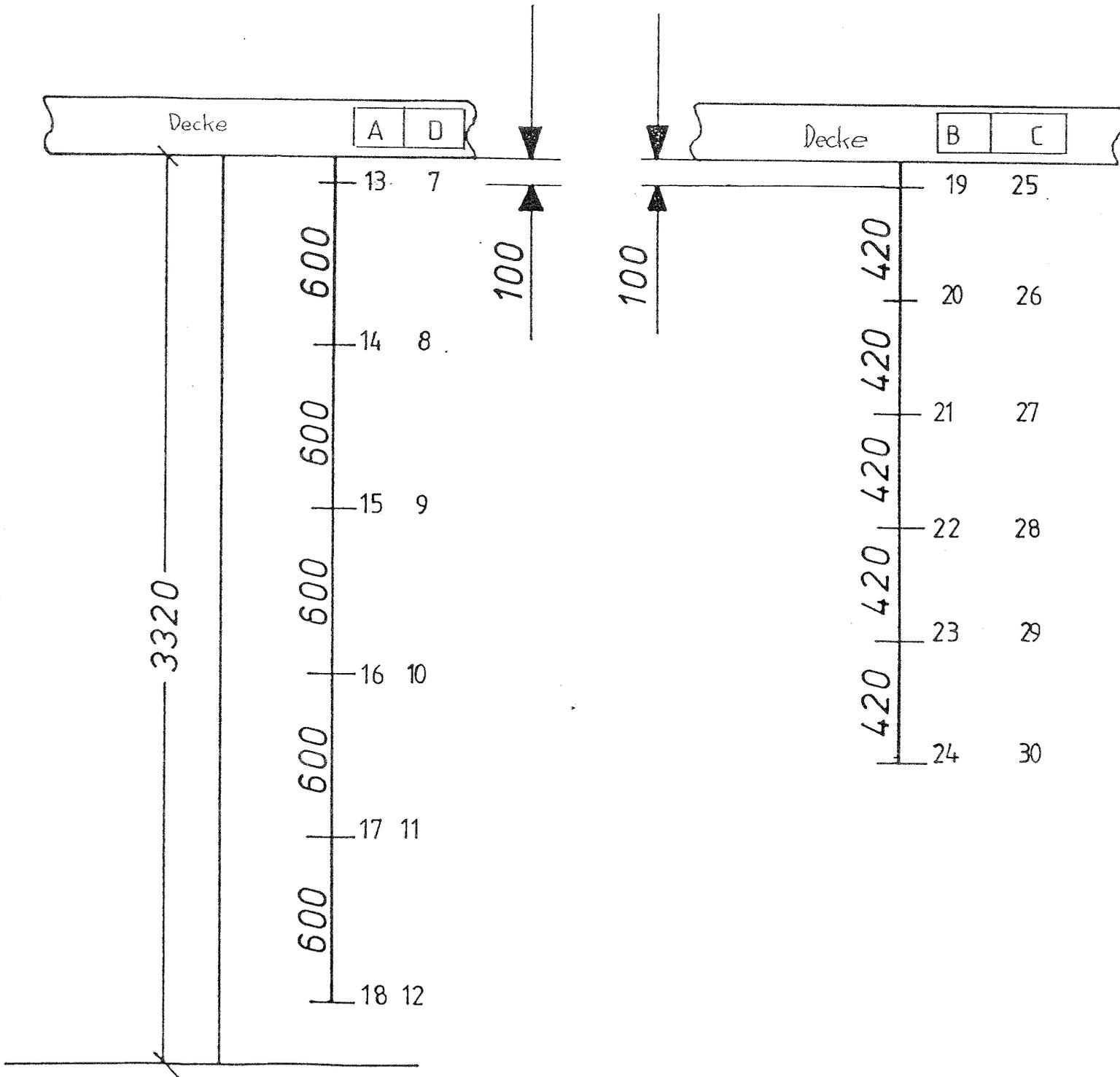


Abb. 12: Seitenansicht -, Anordnung der Thermoelementsäulen A bis D -

2.4 Abgaszusammensetzung

Die Gasproben für die kontinuierliche Messung der O₂-, CO₂- und CO-Abgaszusammensetzung wurden hinter der mittleren Abluftöffnung (s. Pos. 13 in Abb. 1) entnommen, da davon ausgegangen werden konnte, daß in diesem Bereich eine ausreichende Durchmischung der o.a. Gaskomponenten vorlag. Die O₂- und CO₂-Abgaswerte wurden ebenso wie der Zuluftvolumenstrom zur Bestimmung der mittleren Heat Release Rate (HRR) herangezogen, um einen Überblick über die mittlere Energiefreisetzung zu erhalten.

2.5 Wärmebelastung der Umfassungsbauteile

Zur Ermittlung der thermischen Belastung der Bauteile wurden mit NiCrNi-Mantelthermoelementen bestückte Vergleichsbauteile in der Decke und dem Verschluß des Brandraumzuganges eingesetzt. In der Mitte der Decke wurde eine 15 cm dicke Stahlplatte (Vergleichsbauteil "Stahlklotz" s. Abb. 7) - wie sie bei den m-Faktorversuchen nach DIN 18 230 Anwendung findet - mit der Brandraumdecke bündig abschließend, eingesetzt.

2.6 Abbrandrate

Die Abbrandrate wurde als Gewichtsverlust pro Zeiteinheit an vier auf dem Dach aufgestellten Kraftmeßdosen gemessen. Die Krafteinleitung erfolgte über Profilträger, an denen die Wägeplattform mit thermisch isolierten Ketten aufgehängt war.

2.7 Volumenstrom der Zuluft

Zur Ermittlung der Zulufrate diente eine ca. 5 m lange Meßstrecke (s. Pos. 12 in Abb. 1 und Abb. 12) aus einem glatten Rohr (Durchmesser 40 cm), die unmittelbar hinter der Lüftungszentrale (Pos 6 in Abb. 1) angeordnet war.

Auf halber Länge der Meßstrecke befand sich zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit ein in der Mitte des Querschnitts eingebautes Flügelradanemometer sowie ein Thermoelement zur Temperaturmessung der Zuluft. Es lassen sich Zuluft-raten mit einer Genauigkeit von $\pm 200 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $6000 \text{ m}^3/\text{h}$ messen.

3. Brandversuche

3.1 Versuche unter ETK-Belastung zur Kalibrierung der Versuchseinrichtung

Die Ermittlung der zur Brandbeanspruchung nach der Einheitstemperatur-Zeit-Kurve (ETK) äquivalenten Branddauer t_{am} erfolgt auf der Basis des Temperaturanstiegs des Vergleichsbauteils "Stahlklotz" in einer Tiefe von 50 mm - von der beanspruchten Oberfläche aus gemessen - .

Um die Frage nach einer Abhängigkeit des Verlaufs der äquivalenten Branddauer vom Volumen des jeweiligen Brandraumes zu klären, wurden mehrere Versuche in Versuchseinrichtungen mit unterschiedlichen Raumvolumina durchgeführt:

- 62 m³ Raum der jetzt benutzten Versuchsanlage
- 44,2 m³ Deckenbrandofen
- 1,5 m³ Kleinbrandversuchsstand nach DIN 4102 Teil 8

Die Versuchseinrichtungen bestanden im wesentlichen aus einer Schamotteausmauerung mit einer Rohdichte von ca. 1900 kg/m³.

Bei den Versuchen wurde eine Druckdifferenz (innen-außen) von 5 - 20 Pa eingestellt. Die Messung erfolgte in 2,26 m Höhe über dem Brandraumboden in der nördlichen Ecke des Versuchsraumes.

Der mittlere O₂-Gehalt lag bei diesen Versuchen zwischen 8 und 12 %, der mittlere CO₂-Gehalt zwischen 8 und 12 %.

Die Zerstäubung des zugeführten Heizöls war bei den Versuchen auf dem Deckenofen zufriedenstellend. Bei den Versuchen im Kleinbrandversuchsstand war die Zerstäubung und damit die Verbrennung weniger gut.

Die ermittelten Meßkurven wurden mit der Kalibrierkurve der kleinen m-Faktor-Anlage gemäß DIN 18 230 Teil 2 verglichen.

Versuch 1 und 5 mußten nach 80 Minuten, Versuch 2 nach 50 Minuten und Versuch 3 nach 38 Minuten abgebrochen werden, da sich die für Versuchszwecke aufgebaute Deckenkonstruktion zu stark verformte.

Der Temperaturverlauf in 50 mm Tiefe des Vergleichsbauteils "Stahlklotz" unter ETK-Belastung ist bei den Versuchen in den verschiedenen Räumen in der nachfolgenden Abb. 13 dargestellt.

Bei den Versuchen 1 bis 3 und 6 wurden punktverschweißte NiCrNi-Thermoelemente (Kurve 1 bis 3 und 6) und aus versuchstechnischen Gründen bei den Versuchen 4 und 5 - abweichend von der Norm DIN 18 230 - 4,8 mm dicke Mantelthermoelemente (Kurve 4 und 5) in das Vergleichsbauteil "Stahlklotz" eingesetzt.

Die Mantelthermoelemente wurden eingesetzt, da sich bei der Vorbereitung des Vergleichsbauteils gezeigt hatte, daß eine Befestigung der NiCrNi-Thermoelemente mit Punktschweißung in den Bohrungen des Vergleichsbauteils problematisch ist. Bei einem Austausch defekter Thermoelemente ist häufig eine vollständige Beseitigung der Rückstände in den Bohrungen nicht möglich (Keramikreste der Isolierung, Fragmente oxidierter Thermoelemente).

Die eingesetzten Mantelthermoelemente sind in der Anzeige etwas träger, sie haben jedoch eine bessere Meßgenauigkeit, da sie werkmäßig hergestellt sind und da das eigentliche Thermoelement durch den Mantel gegen äußere Alterungs- bzw. Korrosionsangriffe geschützt ist. Ferner wurde dafür Sorge getragen, daß die Elemente einen guten Wärmekontakt zum Stahlklotz hatten. Hierzu wurde, damit die Spitze dieser Elemente immer gegen das Ende der Bohröffnung gedrückt wird, an den außerhalb der Bohrung befindlichen Teil des Mantelthermoelementes jeweils ein kleines Gewicht angebracht.

Die Kurve 6 stammt aus den ursprünglichen Versuchen mit einem neuen Vergleichsbauteil, die Kurve 6a aus einer späteren Wiederholung. Neben den o.a. diskutierten Meßproblemen kommen als Ursache für die dargestellten Abweichungen zwischen der Kurve 6 bzw. 6a und den übrigen Kurven vermutlich in erster Linie auch der Einsatz unterschiedlicher Brenner sowie unterschiedliche Materialien der Brandraumwände und -decken in Betracht.

Bei den Versuchen 1 bis 4 mit gleichem Wandaufbau der Versuchseinrichtungen jedoch unterschiedlichen Brandraumvolumina waren die Unterschiede in den Temperaturerhöhungen in der Stahlplatte bei gleicher Branddauer sehr gering. Die Kurven 4', 5, 5' und 7' bestätigen dies.

Trotz unterschiedlicher Raumgröße ergaben sich nahezu gleiche Vergleichsbauteiltemperaturen. Diese lagen jedoch - offensichtlich wegen der dabei eingesetzten Mantelthermoelemente mit 4,8 mm Durchmesser - um ca. 30 K höher als die der Versuche 1 bis 4 mit eingeschweißten Thermoelementen.

Dies erklärt sich vermutlich dadurch, daß die eingeschweißten Thermoelemente entweder bereits durch Alterung beeinträchtigt waren oder bei einer Erneuerung aufgrund der o.a. Schwierigkeiten nicht einwandfrei ausgeführt waren.

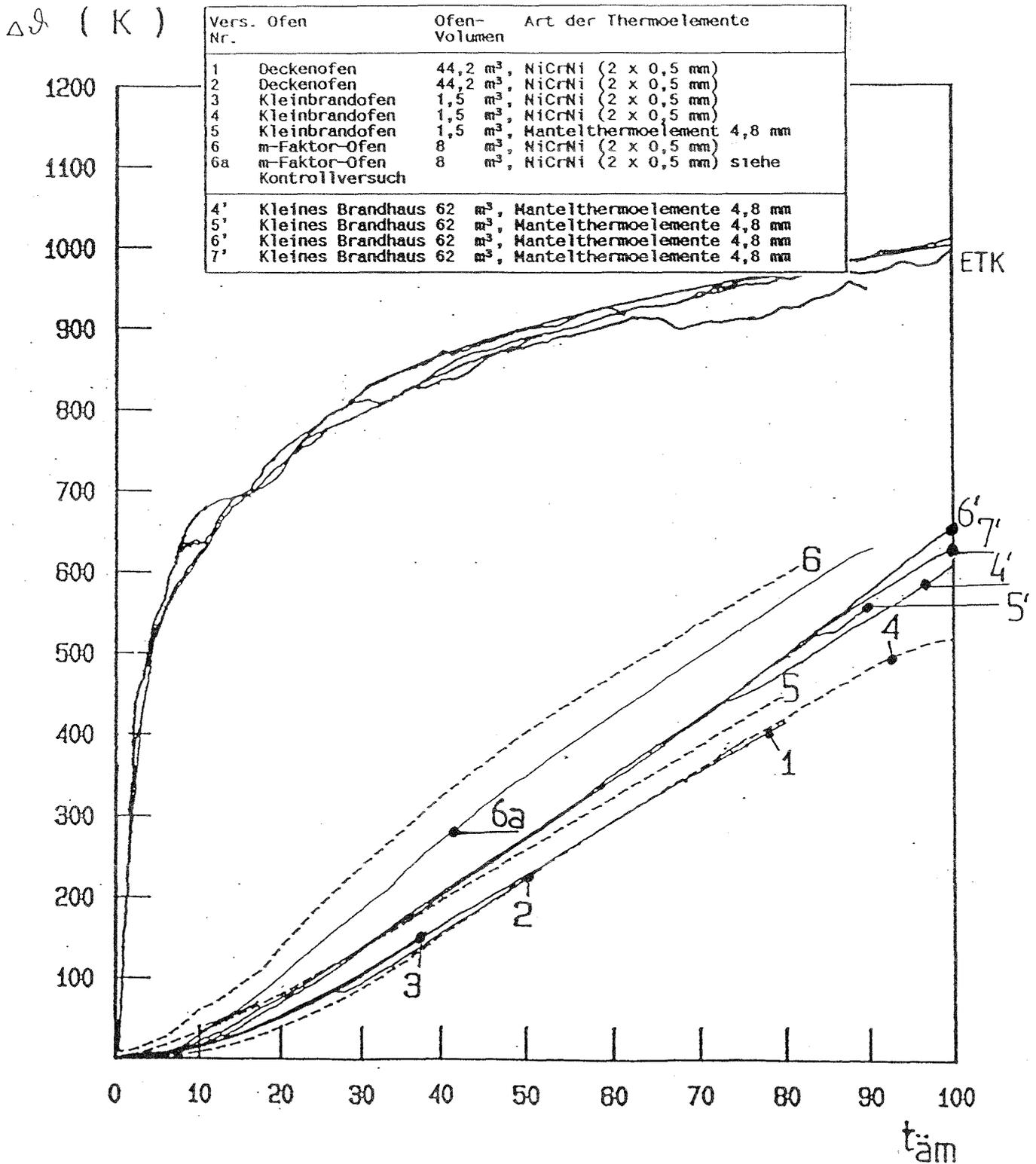


Abb. 13: Temperaturmeßergebnisse bei den Versuchen mit ETK
 Temperaturverlauf im Brandraum und in 50 mm Tiefe des
 Vergleichsbauteils "Stahlklotz"

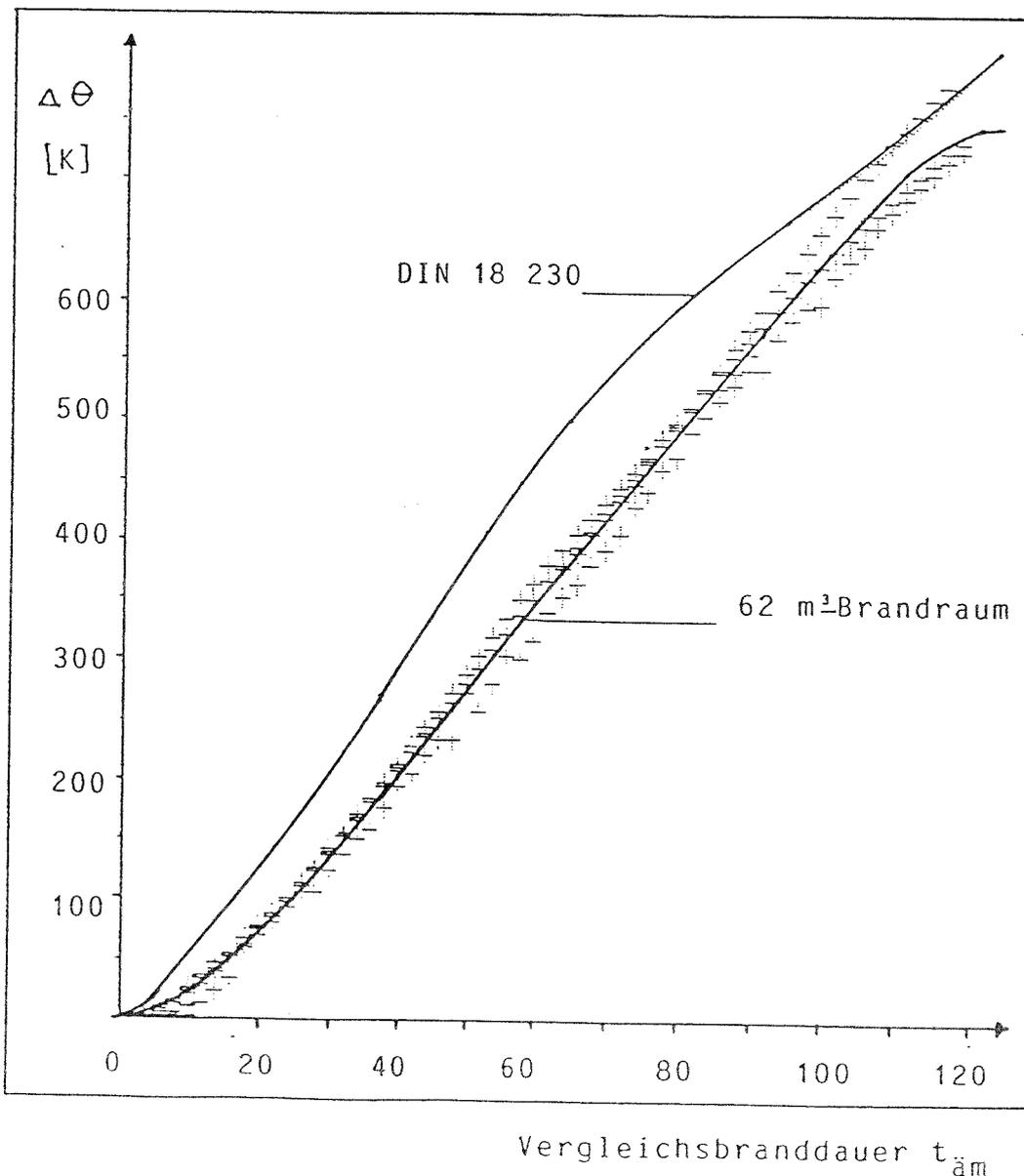
Entsprechend der jetzt vorhandenen Ausführung des Vergleichsbauteils werden die Ergebnisse der Versuche 4', 5', 6' und 7' als Basis für die weitere Auswertung herangezogen, die zur besseren Übersichtlichkeit in Abb. 14 nochmals dargestellt sind. Um diese Auswertung zu vereinfachen, wurde ein Ausgleichspolynom für die Vergleichsbranddauer t_{am} als Funktion der Temperaturerhöhung gebildet.

$$t_{\text{am}}(\Delta\theta) = \sum a_i \cdot \Delta\theta^i$$

mit den Koeffizienten a_i ($a_0..6 = 3,7008; 0,27982, -0,103538E-02, 0,413233E-05, -0,918015E-08, 0,104774E-10, -0,4718206E-14$).

Die Streuung von t_{am} betrug $\pm 2,27$ Minuten. Dieser Wert liegt deutlich günstiger als der entsprechende früherer Untersuchungen /2/.

Abb. 14: Temperaturerhöhung $\Delta\theta$ in 50 mm Wanddicke des Vergleichsbauteils in Abhängigkeit von der Vergleichsbranddauer t_{am}



3.2 Versuche zum Brandverhalten in Abhängigkeit von der Ventilation

Für diese Versuchsreihe wurden jeweils Fichtenholzkrippen (40/40/100) mit einem Gewicht von 750 kg im Verhältnis Holz zu Luft wie 1:1 eingesetzt.

Die Brandmengen 250 kg bei Versuch 3.1.1 und von 1500 kg bei Versuch 3.1.7 wurden gewählt, um Daten aus einem Versuch mit geringer Brandlast bzw. mit einer Maximalbrandlast zu erhalten.

Die Zündung erfolgte durch 4 mit Petroleum getränkte Weichfaserdämmstreifen, die in der 2. Lage (vom Boden aus gezählt) mittig an 4 Seiten der Fichtenholzkrippe eingelegt wurden.

Um einen Überblick über das Brandverhalten bei Luftwechselzahlen von 8/h bis 80/h zu bekommen, wurden Zuluftraten von 500, 2500, 4000, 5000 und 6000 m³/h gewählt. Hierdurch sollte auch erreicht werden, daß Ergebnisse mit eingeschlossen sind, die bei 60fachem Luftwechsel der Abbrandversuche (entsprechend DIN 18 230 Teil 2) ermittelt wurden. Mit Hilfe einer Stellklappe auf dem Schornstein wurde während der Versuche ein geringer Differenzdruck von $2,5 \pm 2$ Pa im Brandraum eingestellt.

Die vollständigen Versuchsergebnisse sind im Versuchsbericht /7/ zusammengestellt. Für eine Bewertung der Ergebnisse werden nachfolgend für die betrachteten Meßgrößen die zeitlichen Mittelwerte (Zeitintegral bezogen auf die Versuchsdauer) dargestellt. Sie sind anschließend in Form von Diagrammen wiedergegeben. Die Durchsicht der Einzeldiagramme über den O₂-Gehalt im Brandraum zeigt einen grundsätzlich ähnlichen Verlauf.

Wie das Diagramm Abb. 15 ausweist, ergibt sich für eine eingesetzte Brandmenge von 750 kg Fichtenholz bei allen Versuchen ausreichende mittlere O₂-Konzentrationen (16 - 19 %).

Wie die Analysedaten mit der Maximalbrandlast von 1500 kg (Versuch 3.1.7) zeigten, sank der O₂-Gehalt für die Dauer von ca. 25 Minuten auf 1%. Für die übrige Versuchsdauer betrug der O₂-Gehalt mehr als 10 %, so daß im Mittel 12,7 % Sauerstoff zur Verfügung standen.

Da bei den später durchzuführenden Versuchen größere Brandmengen eingesetzt werden sollen, wurde für diese Versuche in Abstimmung mit der Betreuungsgruppe eine konstante Zuluftrate von 6000 m³/h gewählt. Hierdurch sollte auch berücksichtigt werden, daß mit einem entsprechenden Zuluftvolumenstrom in einer größeren Lagerhalle bzw. bei üblichen Lüftungsverhältnissen bereits ab Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 0,5 m/s zu rechnen ist.

Tabelle 1: Zeitliche Mittelwerte der Versuchsergebnisse zu Abschnitt 3.2

Versuch Nr.	Wärmestromdichte		Decke	Temperatur-Mittelwert	
	Strahlung	Gesamt W/cm ²		Abgas (°C)	Decke (°C)
V_3.1.1	0,70	2,00	0,30	237	282
V_3.1.2	2,18	2,75	1,32	434	539
V-3.1.3	3,23	4,20	1,81	550	570
v_3.1.6	1,81	3,88	2,14	417	578
V_3.1.4	2,20	3,34	1,69	350	548
V_3.1.5	2,25	3,81	1,69	338	549
V_3.1.7	5,88	7,72	3,63	721	696

Versuch Nr.	Zuluftvolumenstrom		Vergleichsbauteilwerte		t _{am} (min)
	Sollwert	Mittelwert	Stahlklotz T _{max} (50mm) (°K)	- Decke - Dauer (min)	
V_3.1.1	500	511	149	177	32
V_3.1.2	500	534	467	278	75
V-3.1.3	2500	2559	365	138	63
v_3.1.6	4000	4023	387	151	66
V_3.1.4	5000	5110	378	131	64
V_3.1.5	6000	6020	360	133	62
V_3.1.7	6000	5916	567	130	91

Versuch Nr.	Abgasanalyse - Werte			Brandmenge Fichtenholz (kg)
	O ₂ (Min.)	CO (Maximum)	CO ₂ (Maximum) in %	
V_3.1.1	19,81	0,31	1,38	250
V_3.1.2	15,69	6,50	0,10	750
V-3.1.3	16,54	0,23	5,73	750
v_3.1.6	17,94	0,09	3,80	750
V_3.1.4	17,32	0,05	4,92	750
V_3.1.5	18,50	0,02	3,06	750
V_3.1.7	12,66	0,27	8,68	1500

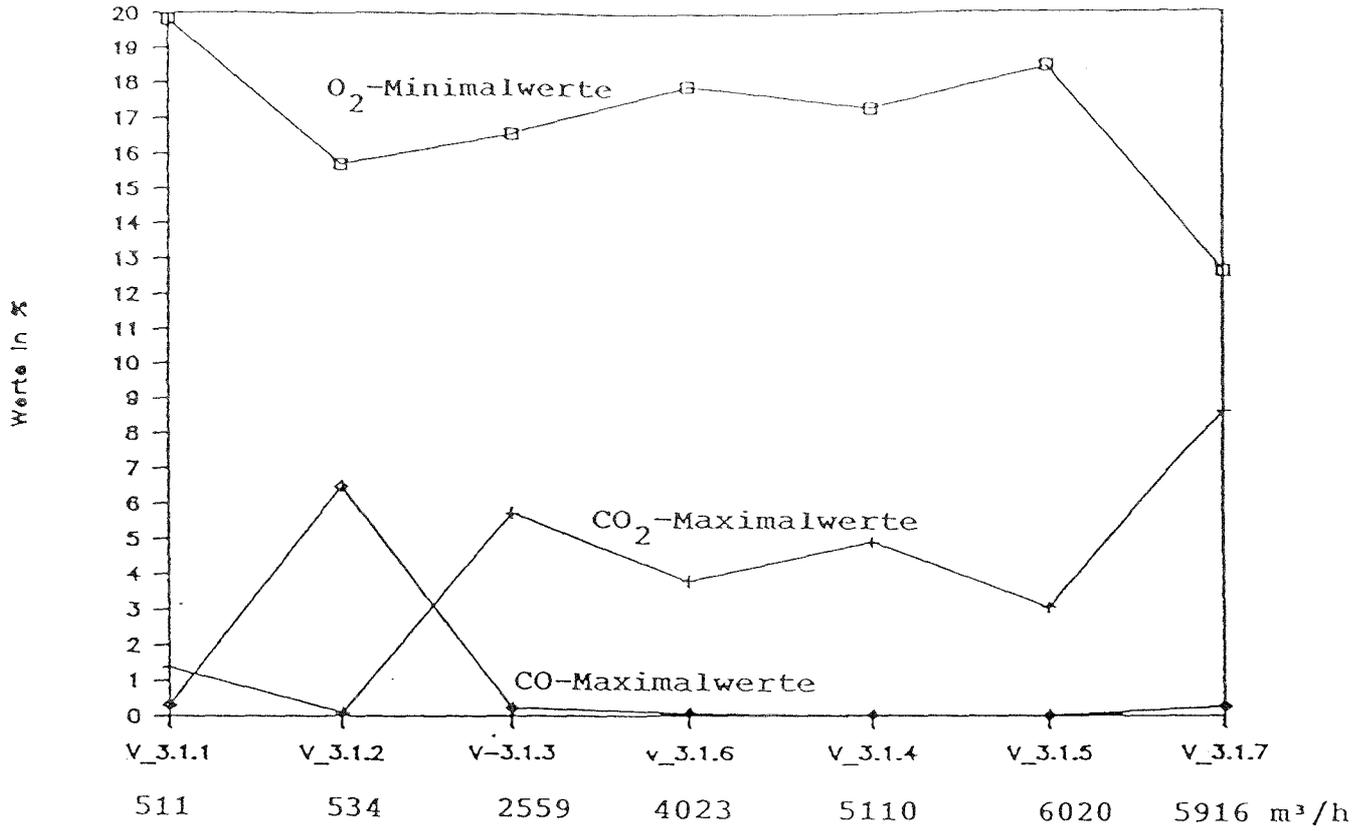


Abb. 15: Mittlere Analysewerte in Abhängigkeit von der Lüftungsrate

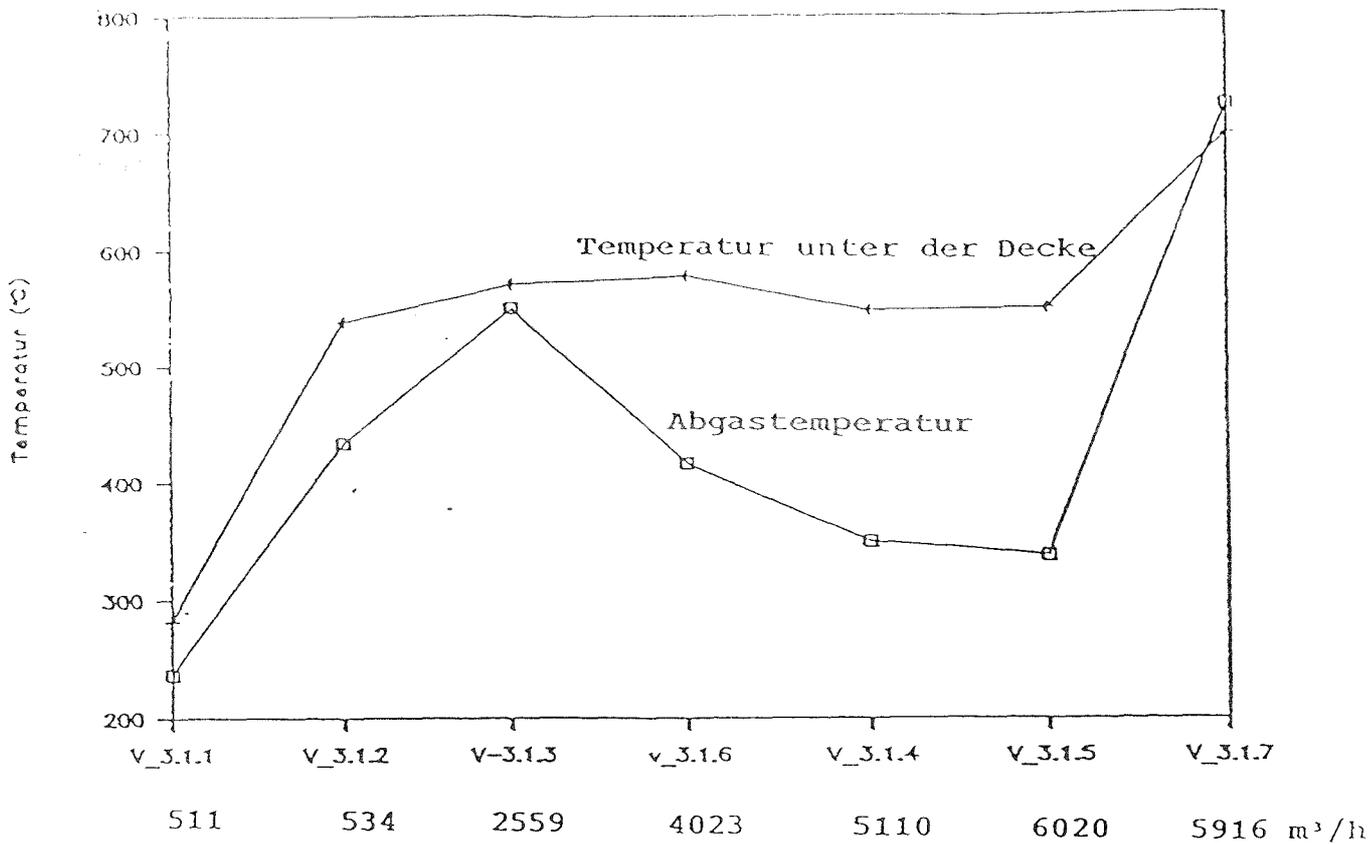


Abb. 16: Mittelwerte der Temperaturen in Abhängigkeit von der Lüftungsrate

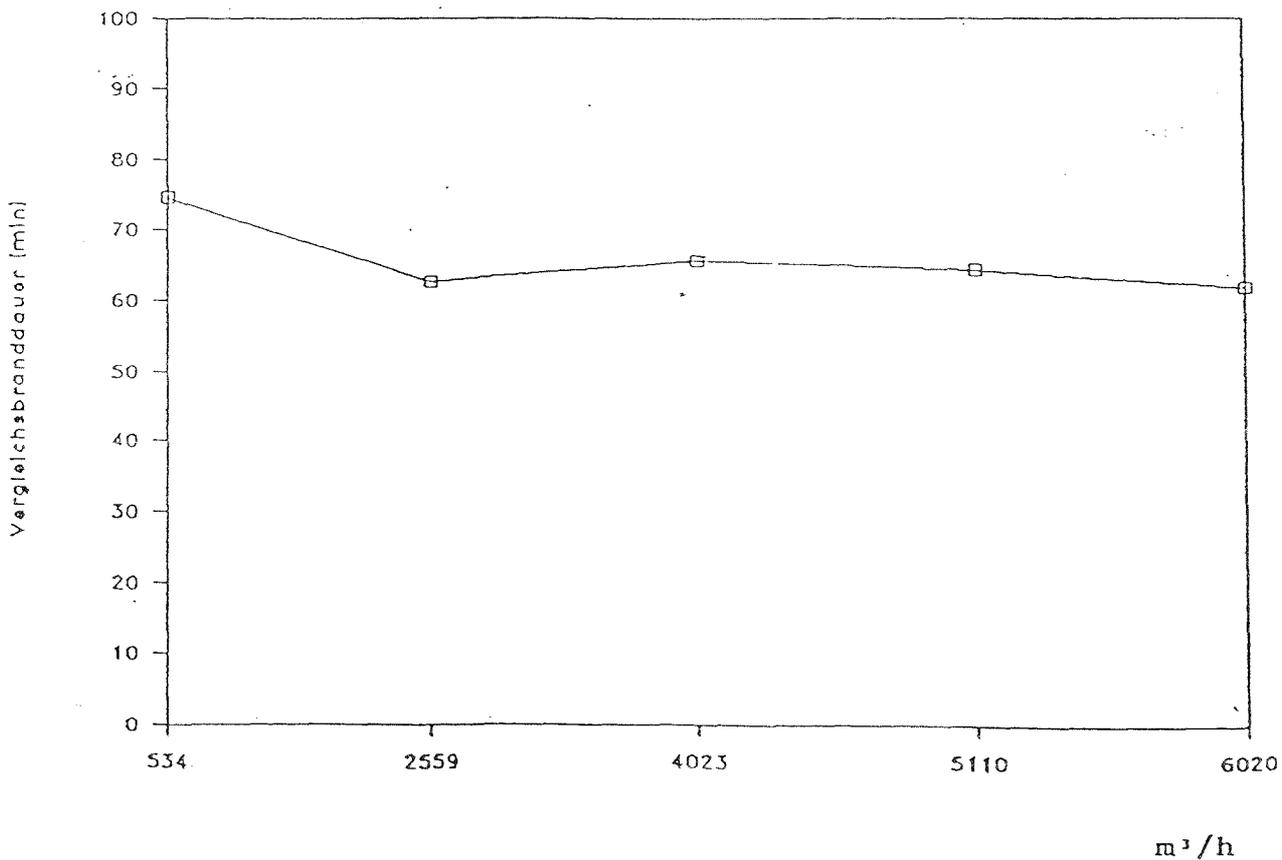


Abb. 17: Vergleichsbranddauer t_{am} in Abhängigkeit von der Lüftungsrate (Brandmenge 750 kg)

3.3 Versuche zum Brandverhalten in Abhängigkeit von der Versuchsbrandmenge

Für die weitere Kalibrierung der Versuchseinrichtung wurde die Vergleichsbrandlast Q_v in Abhängigkeit von der Vergleichsbranddauer t_{am} sowie der Zeit t_v bis zum Erreichen des Temperaturmaximums $\delta\theta$ an der Meßstelle in 50 mm Wanddicke des Vergleichselementes ermittelt.

Hierzu wurden insgesamt 15 Versuche mit Holzkrippen mit einer Stapelhöhe von 125 cm und unterschiedlichen Gewichten bzw. Grundfläche eingesetzt. Die Zuluft-rate betrug - wie in Abschnitt 3.2 ausgeführt - 6000 m³/h.

Versuch Nr.	Q_v (kg)	t_v (min)	$\delta\theta$ (K)	t_{am} (min)
3.2.1	135,2	92	46,9	14,9
3.2.1 a	126	92	61,8	17,9
3.2.2	257	56	206,4	40,6
3.2.2 a	267	90	108	25,9
4.1.2	291	144	142	31,2
3.2.3	322	104	164,5	34,5
3.2.3 a	340	156	166	34,7
3.2.4	395,5	90	221	42,6
3.2.5	583	96	302,3	54
4.1.3	600	130	303	54,1
3.1.5	750	133	360	61,9
3.2.6	830	114	423,3	70,5
3.2.7	1055	136	510,7	82,7
3.1.7	1500	130	567	91,2

Tabelle 2: Ergebnisse der Kalibrierversuche mit Fichtenholzkrippen

Die in der Tabelle 2 angegebenen Wertepaare Vergleichsbranddauer t_{am} und Vergleichsbrandlast Q_v sowie der Temperatur $\delta\theta$ und die Zeit t_v bis zum Erreichen des Maximums in 50 mm Tiefe des Vergleichsbauteils "Stahlklotz" wurden durch Ausgleichspolynome 3. Grades bzw. einer logarithmischen Funktion angenähert. Für die Vergleichsbranddauer t_{am} in Abhängigkeit von der Vergleichsbrandlast erhält man

$$t_{am} = 0,132733 \times Q_v - 7,4766E-05 \times Q_v^2 + 1,80924E-08 \times Q_v^3$$

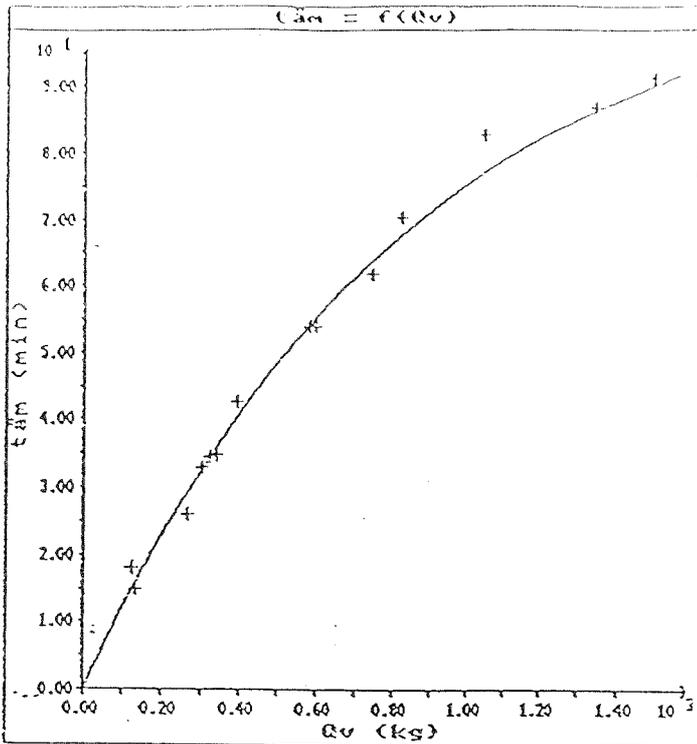
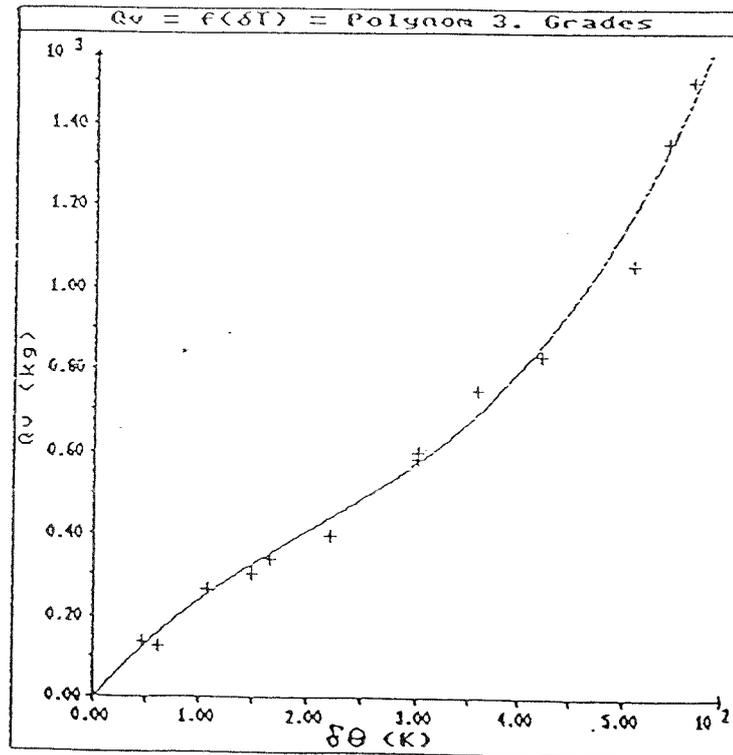


Abb. 18a:
Vergleichsbranddauer $t_{äm}$
in Abhängigkeit von der
Vergleichsbrandlast Q_v

Abb. 18b:
Vergleichsbrandlast Q_v
in Abhängigkeit von der
Temperaturerhöhung $\delta\theta$



Zur vereinfachten Auswertung wurde unter Einbeziehung des Polynoms $t_{äm} = f(\delta\theta)$ (s. Abb. 14) ebenfalls die Funktion

$$Q_v = Q_v(\delta\theta) = 2.9254 \times \delta\theta - 6.568E-03 \times \delta\theta^2 + 1.04929E-05 \times \delta\theta^3$$

ermittelt. (s. Abb. 18b)

Für die Zeit zum Erreichen des Temperaturmaximums im Vergleichsbauteil in 50 mm Wanddicke erhält man mit einer Standardabweichung von $\pm 14,2$ min

$$t_v = 17,8 \times \ln (Q_v + 1).$$

Die bei einer Lüftungsrate von 6000 m^3 ermittelten Meßwerte sowie die Ausgleichspolynome sind in der Abb. 19 den entsprechenden Werten für den 8 m^3 großen Prüfstand nach DIN 18 230 Teil 2, der mit einer Lüftungsrate von $500 \text{ m}^3/\text{h}$ betrieben wird, gegenübergestellt. Es zeigte sich, daß in dem großen Brandraum unter den gewählten Bedingungen die Vergleichsbranddauer t_v nahezu unabhängig von der Brandlast ist und unterhalb 400 kg Vergleichsbrandmenge um mehr als 100% streut. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß die Bestimmung von t_v gemäß DIN 18 230 Teil 2 meßtechnisch nur schwer zu erfassen ist, weil das Temperaturmaximum bei vielen Versuchen nahezu asymptotisch erreicht wird, d.h. die Meßkurven sind sehr flach. Dies gilt vor allem bei Bränden mit vergleichsweise kurzer Branddauer und geringer Temperaturentwicklung. Dadurch ergeben sich große Streuungen in den Meßwerten und Unsicherheiten in der zugehörigen $Q_v(t_v)$ -Beziehung aufgrund der wesentlich größeren Trägheit in der Anzeige an der Bezugsmeßstelle in 50 mm Wanddicke. Die entsprechenden Werte in 2 mm Wanddicke weisen deutlich geringere Streuungen auf. Diesbezüglich sollte die Meßvorschrift der Norm verbessert werden.

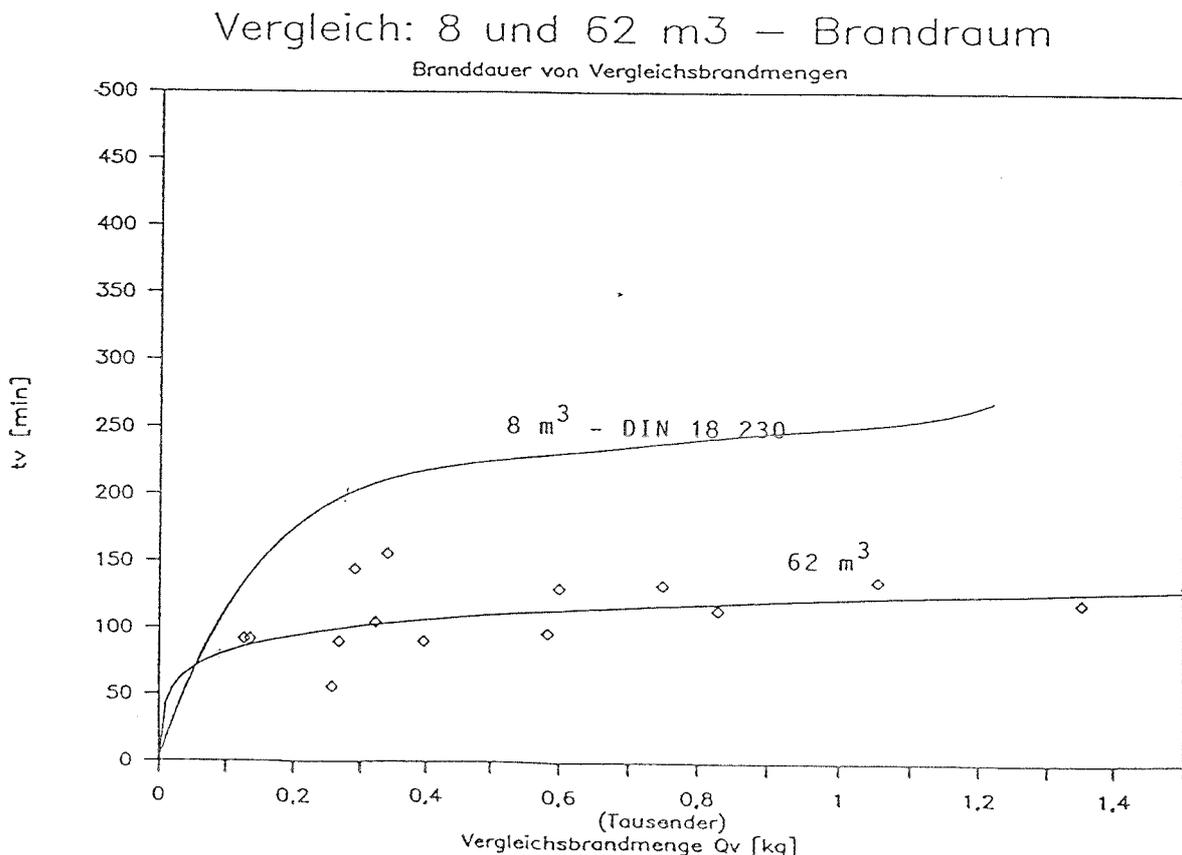


Abb. 19: Zeit bis zum Erreichen des Temperaturmaximums im Vergleichsbauteil t_v in Abhängigkeit von der Vergleichsbrandlast Q_v .

4. Bewertung der Versuchsergebnisse nach Abschnitt 3

4.1 Gegenüberstellung der Kalibrierkurven

Ein Vergleich der entsprechenden Kurven für die Vergleichsbranddauer t_{am} in Abhängigkeit von der Vergleichsbrandmenge Q_v zeigte, daß der Kurvenverlauf im kleinen Brandhaus deutlich weniger steil ausfiel als bei der entsprechenden Kurve für die m-Faktor-Versuchseinrichtung (s. Abb. 20). D.h. zur Erzeugung einer gleichen Vergleichsbranddauer t_{am} ist eine wesentlich größere Vergleichsbrandmenge Q_v in einem größeren Brandraum erforderlich. Dies entspricht einerseits erwartungsgemäß dem vergrößerten Raumvolumen des kleinen Brandhauses andererseits wirkt sich hier auch die Kühlwirkung der zum Brandherd strömenden Frischluft aus. Insoweit ist ein Vergleich der Kalibrierkurven $t_a = f(Q_v)$ nicht möglich! Dieses kann für Vergleichsbrandmengen < 250 kg ungefähr erreicht werden, wenn man Q_v auf die Brandkammergrundfläche normiert (s. Abschnitt 4.2).

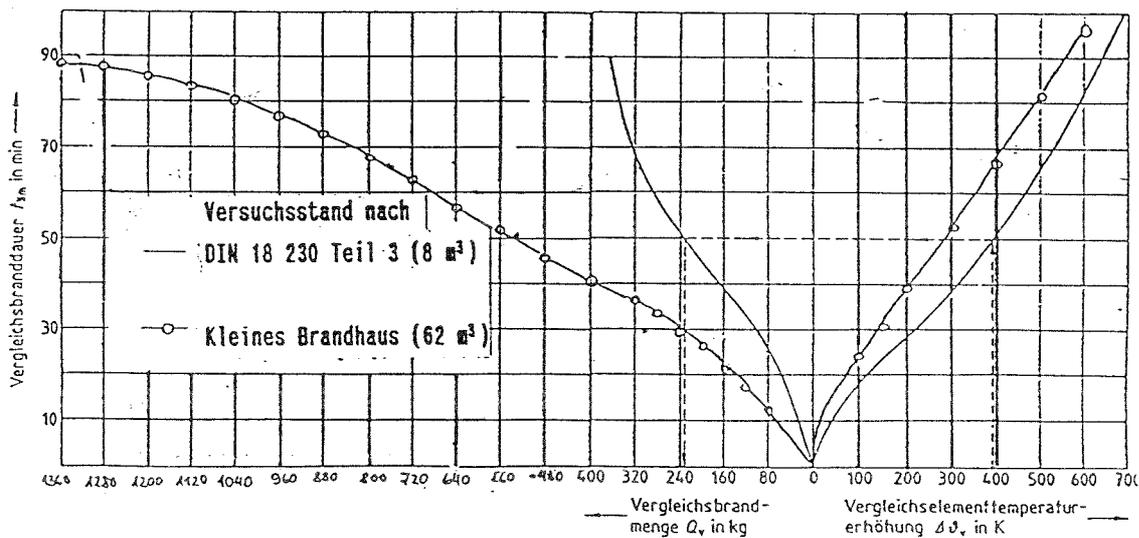


Abb. 20: Gegenüberstellung der Kalibrierkurven m-Faktoranlage zu den Werten, die im kleinen Brandhaus ermittelt wurden

Der Vollständigkeit halber ist im rechten Teil des Nomogramms auch noch die in den neueren Versuchen ermittelte Kalibrierkurve $t_{am} = f(Q_v)$ der bei den früheren Versuchen zugrunde gelegten Kurve gegenübergestellt. Man erkennt daran die große Diskrepanz in den beiden Kalibrierkurven (s. Abschnitt 2.5).

4.2 Vergleich der Ergebnisse nach Abschnitt 3 mit den in der Literatur angegebenen Werten

Bei der Festlegung der **Berechnung des m-Faktors** nach DIN 18 230 wurde davon ausgegangen, daß er als der Zahlenwert zu verstehen ist, mit dem die zu beurteilende Brandlast ($m_i \cdot h_{u,i}/A$) zu multiplizieren ist, um sie mit einer Einheitsbrandlast (Fichtenholzkrippen) entsprechender Menge zu vergleichen. Der Vergleich erfolgt bei festgelegten Lüftungsbedingungen über das Maximum des Temperaturanstiegs $\delta\theta$ in einem Stahlklotz (Vergleichsbauteil) in 50 mm Tiefe. Als Vergleichsmaßstab dient weiterhin die Zeitdauer bis gleiche Temperaturerhöhungen erreicht werden.

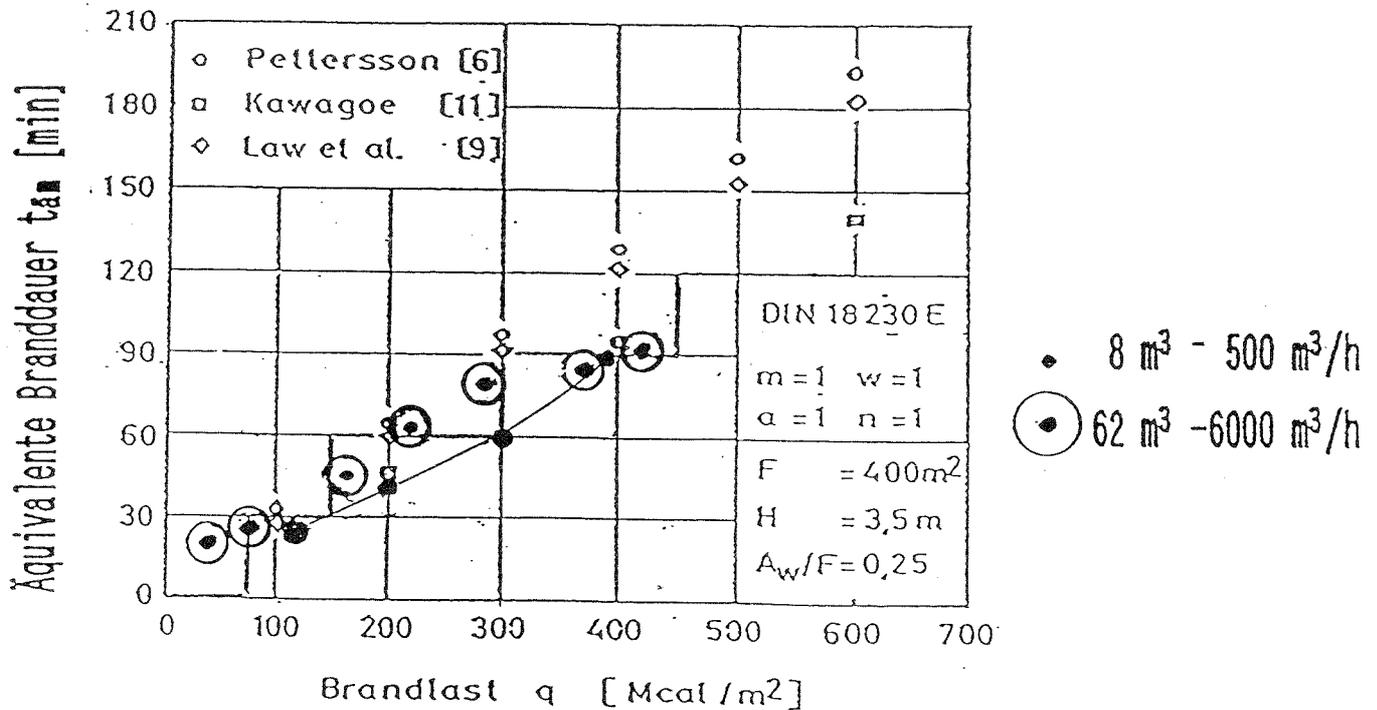


Abb. 21: Äquivalente Branddauer bei natürlichen Bränden

Um den im Rahmen dieser Untersuchungen ermittelten Zusammenhang zwischen der **Vergleichsbrandlast** und der **äquivalenten Branddauer** mit den vorliegenden Ergebnissen natürlicher Brände von **Petterson, Kawagoe und Law** zu vergleichen, wurden die entsprechenden Werte $Q_v = f(t_{\text{äq}})$ für den 62 m³ und 8 m³ großen Brandraum in Mcal/m² umgerechnet und in die Abb. 21 eingetragen.

Wie die Abb. 21 zeigt, fügen sich die Werte für das größere Raumvolumen von 62 m³ und die gewählte Lüftungsrate von 6000 m³/h des kleinen Brandhauses in die nach DIN 18 230 eingetragene Treppenfunktion gut ein. Die Ergebnisse stimmen bis zu einer Brandlast von 300 Mcal/m² auch gut mit den Ergebnissen der o.a. Forscher überein. Bei höheren Brandlasten gleichen sich die ermittelten Werte an die Messungen von Kawagoe an. Für die Versuchsergebnisse des 8 m³-Brandraumes deutet sich an, daß die Treppenkurve gemäß DIN 18 230 noch weiter nach rechts verschoben werden kann, um bessere Übereinstimmungen zu erreichen.

5. Ermittlungen von m-Faktoren durch Brandversuche im kleinen Brandhaus

Um einen Vergleich mit den in vorangegangenen Forschungsvorhaben ermittelten m-Faktoren durchführen zu können, wurden an Materialien, für die bereits ein Abbrandfaktor vorlag, Brandversuche unter den in Abschnitt 3.2 genannten Bedingungen durchgeführt. Bei der Auswahl dieser Stoffe und der Zahl der Versuche wurden Umweltschutzgründe berücksichtigt. Aus der Gruppe I - **Holz - und Holzwerkstoffe** - wurden Kanthölzer (200 mm x 200 mm), aus der Gruppe II - **Papier, Karton** - wurden Sanitärkrepp - Papierrollen, aus der Gruppe III der **Flüssigkeiten** wurden Isopropylalkohol und Methanol und aus der Gruppe IV der **Kunststoffe** wurden Polypropylen-Formteile ausgewählt.

Die eingesetzten Sanitärkrepprollen entsprachen nicht genau den früher untersuchten, zu Paketen zusammengefaßten kleineren Sanitärkrepprollen. Diese waren nicht mehr verfügbar. Die später dargestellten Ergebnisse gestatten daher nur einen eingeschränkten Vergleich.

Die Ergebnisse der Versuche sind in der folgenden Tabelle 3 zusammengestellt. Dabei wurden die in Tabelle 3 ermittelten Einzelwerte zur Bestimmung des Abbrandfaktors nach der Formel entsprechend DIN 18 232 (Bedeutung der einzelnen Größen siehe u.a. Erläuterung)

$$m = (4,8 * Q_v) / (h_u * Q) * k_t$$

auf der Basis der für den 62 m³ großen Versuchsraum ermittelten Kalibrierfunktionen bestimmt und im einzelnen bewertet.

Erläuterungen zu den einzelnen Spalten in der nachstehenden Tabelle 3:

$\delta\theta_v$	= für die Berechnung einzusetzende maximale Temperaturerhöhung (K) an der Meßstelle in 50 mm Wanddicke
t_{am}	= Vergleichsbranddauer (min)
Q_v	= Vergleichsbrandmenge (kg)
t	= Anstiegszeit für $\delta\theta_v$ (min)
t_v	= Zeit bis zum Erreichen des Temperaturmaximums an der Meßstelle des Vergleichselements bei dem Abbrand der Vergleichsbrandmenge Q_v
Q	= Versuchsbrandmenge (kg)
h_u	= unterer Heizwert (kwh / kg)
mf	= $4,8 Q_v / (Q \times H_u)$ m-Faktor nach DIN 18 230 ohne den Faktor k_t
k_t	= $\exp(-0,4 (t/t_v - 1))$
\tilde{m}	= $mf \times k_t$

Versuch	Material	δθ	t _{äm}	Q _v	t	t _v	Q	h _u	mf	kt	$\tilde{\eta}$
Versuch 3.2.1	Kanthölzer 40 x 40	47.	14.9	133.9	92.0	87.3	135.2	4.8	0.99	0.98	0.97
Versuch 3.2.1a		62.	17.9	159.2	92.0	90.4	126.0	4.8	1.26	0.99	1.25
Versuch 3.2.2		206.	40.6	373.8	56.0	105.5	257.0	4.8	1.45	1.21	1.75
Versuch 3.2.2a		108.	25.9	229.1	90.0	96.8	267.0	4.8	0.86	1.03	0.88
Versuch 3.2.3		164.	34.6	310.0	104.0	102.2	322.0	4.8	0.96	0.99	0.96
Versuch 3.2.3a		166.	34.8	312.2	140.0	102.3	340.0	4.8	0.92	0.86	0.79
Versuch 3.2.3b		143.	31.4	278.9	90.0	100.3	265.0	4.8	1.05	1.04	1.10
Versuch 3.2.4		221.	42.7	397.6	90.0	106.6	395.5	4.8	1.01	1.06	1.07
Versuch 3.2.5		302.	54.0	549.8	96.0	112.3	583.0	4.8	0.94	1.06	1.00
Versuch 3.1.5	DIN 18230	360.	61.9	683.2	133.0	116.2	750.0	4.8	0.91	0.94	0.86
Versuch 3.2.6	m = 1,0	423.	70.6	860.4	114.0	120.3	830.0	4.8	1.04	1.02	1.06
Versuch 3.2.7		511.	82.8	1181.2	136.0	125.9	1055.0	4.8	1.12	0.97	1.08
Versuch 3.2.8		543.	87.5	1331.4	120.0	128.1	1353.0	4.8	0.98	1.03	1.01
Versuch 3.1.7		567.	91.2	1456.9	130.0	129.7	1500.0	4.8	0.97	1.00	0.97
Versuch 4.1.1	Kanthölzer 200x200	149.	32.3	287.5	172.0	100.8	302.0	4.8	0.95	0.75	0.72
Versuch 4.1.2		142.	31.2	277.5	144.0	100.2	291.0	4.8	0.95	0.84	0.80
Versuch 4.1.3	DIN 18230	303.	54.1	551.2	130.0	112.4	600.0	4.8	0.92	0.94	0.86
	m = 0,3										
Versuch 4.2.1	Isopropanol	27.	10.6	96.2	12.0	81.5	10.0	7.5	6.16	1.41	8.66
Versuch 4.2.2		135.	30.2	267.5	30.0	99.6	60.0	7.5	2.85	1.32	3.77
Versuch 4.2.3		146.	31.8	283.2	26.0	100.6	90.0	7.5	2.01	1.35	2.71
Versuch 4.2.4	DIN 18230	103.	25.1	221.9	26.0	96.2	60.0	7.5	2.37	1.34	3.17
Versuch 4.2.5	m = 1,1	171.	35.5	319.5	38.0	102.7	75.0	7.5	2.73	1.29	3.51
Versuch 4.3.1	Methylalkohol	64.	18.3	162.8	54.0	90.8	60.0	5.4	2.41	1.18	2.84
Versuch 4.3.2		69.	19.2	170.8	38.0	91.6	90.0	5.4	1.69	1.26	2.13
Versuch 4.3.3	DIN 18230	51.	15.8	141.1	30.0	88.2	60.0	5.4	2.09	1.30	2.72
Versuch 4.3.4	m = 1,0	180.	36.8	332.9	42.0	103.4	180.0	5.4	1.64	1.27	2.09
Versuch 4.3.5		146.	31.8	283.2	32.0	100.6	160.0	5.4	1.57	1.31	2.07
Versuch 4.3.6		160.	33.9	303.4	30.0	101.8	160.0	5.4	1.69	1.33	2.23
Versuch 4.4.2		60.	17.5	156.3	567.0	90.0	443.0	3.7	0.46	0.12	0.05
Versuch 4.4.3	Sanitärkrepp	66.	18.7	166.2	474.0	91.1	467.0	3.7	0.46	0.19	0.09
Versuch 4.4.4	DIN 18230	72.	19.7	175.0	500.0	92.0	706.0	3.7	0.32	0.17	0.05
	m = 1,3										
Versuch 4.5.1	Polypropylen-Teile	117.	27.4	241.9	68.0	97.8	51.0	12.2	1.87	1.13	2.11
Versuch 4.5.2		134.	30.0	266.1	66.0	99.5	50.0	12.2	2.09	1.14	2.40
Versuch 4.5.3	DIN 18230	143.	31.4	278.9	66.0	100.3	51.0	12.2	2.15	1.15	2.47
	m = 0,8										

Tabelle 3: Bewertung der Versuchsergebnisse nach DIN 18 230, Teil 2, Abschnitt 7.1

Die in der Tabelle 3 genannten Abbrandfaktoren der nicht flüssig abbrennenden Lagerstoffe (Kanthölzer 40 mm x 40 und 200 mm x 200 und Sanitärkrepp) sind im Hinblick auf die Versuchsrandbedingungen plausibel bzw. Abweichungen von den im Beiblatt 1 veröffentlichten m-Faktoren lassen sich durch Art des Lagerstoffes bzw. Höhe der Zuluftrate erklären:

Der nach DIN 18 230 ermittelte m-Faktor für **Kanthölzer** 200 mm x 200 mm von **0,3** (Versuchsbrandmenge 612 bzw. 617 kg) wurde mit einem deutlichen Luftunterschub ermittelt, da bei einer konstanten Zuluftrate von 500 m³/h ab einer Brandmenge von mehr als 256 kg keine stöchiometrische Verbrennung mehr möglich ist. Daher erscheint der mit **0,79** im 62 m³ großen Brandraum bei einer Zuluftrate von 6000 m³/h ermittelte Abbrandfaktor durchaus plausibel.

Zu dem mittleren Abbrandfaktor für **Sanitärkrepp** von **0,06** ist festzustellen, daß die eingesetzten Sanitärkrepprollen sehr eng gewickelt waren und nicht den früher untersuchten, zu Paketen zusammengefaßten kleineren Sanitärkrepprollen (**m = 1,3**) entsprachen. Diese konnten leider nicht mehr zur Verfügung gestellt werden. Das Ergebnis der Versuche an den eng gewickelten Großrollen läßt sich daher nicht mit dem im Beiblatt 1 veröffentlichten vergleichen, weil eine deutlich größere Lagerungsdichte vorlag.

Bei der Mittelwertbildung der Abbrandfaktoren für die übrigen Lagerstoffe wurden folgende Werte ermittelt:

- Isopropanol m = 3,29 (ohne Versuch 4.2.1)
- Methylalkohol m = 2,13 (ohne Versuch 4.3.1 und 4.3.3)
- Polypropylen m = 2,33

Versuche mit einer relativ kurzen Vergleichsbranddauer (Versuch 4.2.1, 4.3.1, 4.3.3) wurden dabei nicht berücksichtigt.

Bei den brennbaren Flüssigkeiten wurden erheblich höhere Abbrandfaktoren ermittelt als bei den Versuchen nach DIN 18 230 Teil 2. Das gleiche gilt für die mit einem ähnlichen Mechanismus abbrennenden Polypropylen-Formteile. Als Ursache hierfür kommt in erster Linie die deutlich geringere Lüftungsrate von 500 m³/h des Prüfverfahrens nach DIN 18 230 in Betracht. Dies zeigt sich auch in dem wesentlich flacheren Verlauf der Kurve $Q_v = Q_v(t_{am})$ für den 62 m³-Raum (s. Abb. 20). Die entsprechende Kurve für den 8 m³-Raum der Versuchseinrichtung steigt relativ steil an und hat bei ca. 250 kg einen Wendepunkt.

Durch diese zuluftbedingten Unterschiede der Kalibrierkurven war eine von der DIN 18 230 abweichende Berechnungsgrundlage gegeben, auf die die in DIN 18 230 festgelegte Formel – die Vergleichsbrandlast Q_v ist dort im Zähler aufgeführt – nicht zugeschnitten ist.

Grundsätzlich ist festzustellen, daß die ermittelten Abbrandfaktoren im Vergleich zu den bisher größten m -Faktoren von 2,1 bzw. 2,0 für dünnwandige Polystyrol-Formteile und loses Altpapier sehr hoch erscheinen. Hierdurch wird die im Rahmen der ISO-Diskussionen geäußerte Vermutung gestützt, daß brennende Flüssigkeiten einen deutlich über 1 liegenden Abbrandfaktor haben sollten. Dennoch bleibt die Frage zu klären, ob diese Abbrandfaktoren noch als proportional zur Brandwirkung anzusehen sind.

6. Theoretische Auswertungen

6.1 Ermittlung der m -Faktoren durch Brandversuche und Wärmebilanzrechnungen

Die in Abschnitt 5 dargestellten Ergebnisse der Versuche wurden verschiedenartig ausgewertet und verglichen:

- a) Auswertung gemäß der Rechenvorschrift in DIN 18 230, Teil 2, ohne Berücksichtigung der Tatsache, daß die gefundenen Kalibrierkurven nicht mit den Normkurven übereinstimmen.
- b) Auswertung gemäß Wärmebilanzrechnung /8/ unter Berücksichtigung von Temperaturgradienten und veränderten Wärmeübergangszahlen im Brandraum.
- c) Vergleich mit Meßwerten aus früheren Versuchen im 8 m³-Brandraum.

6.2 Vergleiche mit den Einheitsbrandlast-Referenzversuchen

Für diesen Vergleich werden zunächst die Ergebnisse der Wärmebilanzrechnung nach dem in /8/, Abschnitt 4.4, beschriebenen Verfahren ausgewertet. Das bedeutet, daß mit den Ergebnissen unter Verwendung der dort angegebenen Interpolationspolynome rechnerische m -Faktoren ermittelt und mit den Ergebnissen der Versuche verglichen werden. Die Berechnungen beziehen sich auf für jede Stoffgruppe typische Versuchsergebnisse, d.h. es wurden nicht alle Brandversuche rechnerisch simuliert.

Die Ergebnisse für die Auswertung der Wärmebilanzrechnung sind in Tabelle 4 unter Verwendung des Stahlvergleichsbauteiles dargestellt. In der linken Spalte der Tabellen ist jeweils die zugehörige Versuchsnummer angegeben (z.B. 321R2W oder 321HR2W). Die Zusatzbezeichnungen R2W und HR2W bedeuten, daß die Berechnungen aufgrund der gemessenen Restbrandlast oder in Anlehnung an die Heat Release Rate mit dem 2-Raum-Modell bei Simulation der Schamottebauteile mit den Stoffgesetzen für Beton durchgeführt wurden.

Im Wärmebilanzmodell wird davon ausgegangen, daß im Brandraum zwei homogene Schichten für das Gasvolumen berücksichtigt werden. Die untere Schicht kann dabei verschwinden, so daß nur noch eine Heißgasschicht vorliegt (vgl. /8/, Abschnitt 3.1). Die Auswertung erfolgte nun derart, daß ein Vergleichselement mit der Temperaturverteilung der Heißgasschicht und ein zweites mit der für die untere Schicht erwärmt wird. In der Praxis, d.h. im Versuch wird das Vergleichselement über die Heißgase und durch Flammenstrahlung erwärmt. Bei größeren Räumen spielt dagegen die räumliche Verteilung der Gastemperaturen jedoch eine größere Rolle als bei sehr kleinen Brandräumen. Die Temperaturverteilung ist u.U. sehr inhomogen über die Raumhöhe aber auch im Grundriß.

Zwei Gründe sprechen für eine Berücksichtigung der beiden Komponenten:

- Im Versuch in der kleinen m-Faktor-Anlage ist das Vergleichselement in der Nähe des Brandherdes angeordnet und dadurch bei sehr intensiven Flammen auch einer hohen Belastung durch die Flammenstrahlung ausgesetzt, die in der Praxis zu einer erhöhten Bauteilbelastung führt.
- Bei der kleinen m-Faktor-Anlage kann eher von einer homogenen Temperaturverteilung ausgegangen werden als bei der großen Anlage. Eine Berücksichtigung der Temperaturschichtung über die Raumhöhe wird mit zunehmender Raumgröße von größerer Bedeutung für die Übertragbarkeit von Versuchsergebnissen.

Die Fälle erhöhter lokaler Brandbelastung werden aber nicht von dem vorgelegten Berechnungsverfahren abgedeckt.

In der Tabelle 4 sind somit für jede Berechnung für einen Versuch die Temperaturbelastungen für die Vergleichselemente dargestellt. In der oberen Zeile die für das Element in der Heißgasschicht und in der zweiten Zeile für das in der Kaltgasschicht. In der dritten Zeile sind jeweils die Mittelwerte angegeben. Letztere sollten ehestens den mittleren m-Faktor des Brandgutes beschreiben.

Tabelle 4: Rechenergebnisse der Abbrandfaktoren ausgewählter Lagerstoffe aus Berechnungen mit Stahlklotz

Versuch	$\delta\theta_v$	t_{am}	Q_v	t	t_v	Q	m_f	k_t	m
Kanthölzer 40 x 40 $h_u = 4.8$									
321R2W	52	14.9	136,9	22.2	87.7	126	1.09	1.35	1.47
	28	10.5	75,8	22.7	77.3		0.60	1.33	0.80
	40	12.7	106,3	22.4	83.2		0.84	1.34	1.13
321HR2W	56	15.5	144.7	69.5	88.7	126	1.15	1.09	1.25
	1	2.2	1.7	84.9	17.7		0.01	0.22	0.00
	28	8.8	73.2	77.2	76.7		0.58	1.00	0.58
323R2W	77	18.7	190.9	39.0	93.6	265	0.72	1.26	0.91
	52	14.8	136.1	37.8	87.6		0.51	1.26	0.64
	64	16.8	163.5	38.4	90.8		0.62	1.26	0.78
323HR2W	69	17.4	173.0	94.3	91.8	265	0.66	0.99	0.65
	34	11.8	93.1	102.1	80.9		0.35	0.90	0.32
	51	14.6	133.0	98.2	87.2		0.50	0.95	0.48
326R2W	240	41.9	469.2	87.6	109.5	830	0.57	1.08	0.62
	233	40.9	457.9	85.9	109.1		0.55	1.09	0.60
	237	41.4	463.6	86.8	109.3		0.56	1.09	0.61
Kanthölzer 200 x 200 $h_u = 4.8$									
412R2W	89	20.5	216.3	143.0	95.8	291	0.74	0.82	0.61
	18	8.5	50.9	144.0	70.3		0.17	0.66	0.11
	54	14.5	133.6	143.5	87.3		0.46	0.77	0.35

Tabelle 4 (Fortsetzung): Rechenergebnisse der Abbrandfaktoren ausgewählter Lagerstoffe aus Berechnungen mit Stahlklotz

Versuch	$\delta\theta_v$	t_{am}	Q_v	t	t_v	Q	m_f	k_t	m
Isopropanol $h_u = 7.5$									
422R2W	49	14.4	129.9	32.5	86.8	60	1.39	1.28	1.78
	0	2.0	1.2	37.7	14.0		0.01	0.51	0.00
	25	8.2	65.6	35.1	74.7		0.70	1.24	0.87
423R2W	54	15.2	141.7	21.2	88.3	90	1.01	1.36	1.37
	33	11.5	89.7	21.5	80.2		0.64	1.34	0.86
	44	13.4	115.7	21.3	84.7		0.82	1.35	1.11
Methylalkohol $h_u = 5.4$									
432R2W	54	15.1	140.0	28.4	88.1	90	1.38	1.31	1.81
	0	2.0	1.2	28.2	14.0		0.01	0.67	0.01
	27	8.6	70.6	28.3	76.0		0.70	1.29	0.90
435R2W	49	14.4	129.8	25.7	86.8	160	0.72	1.33	0.96
	45	13.6	118.9	25.0	85.2		0.66	1.33	0.88
	47	14.0	124.4	25.3	86.0		0.69	1.33	0.92
Sanitärkrepp + 17.7 kg Zündquelle $h_u = 3.7$									
443R2W	107	23.2	251.3	330.5	98.4	467	0.69	0.39	0.27
	2	3.5	6.1	444.5	34.9		0.01	0.01	0.00
	55	13.4	128.7	387.5	86.6		0.36	0.25	0.09
Polypropylen-Teile $h_u = 12.2$									
451R2W	76	18.6	188.9	71.7	93.4	51	1.46	1.10	1.61
	1	2.3	2.0	72.4	19.6		0.02	0.34	0.01
	38	10.5	95.5	72.0	81.3		0.74	1.05	0.78

In den folgenden Tabellen 5 bis 8 sind für die äquivalente Branddauer, Vergleichsbrandmenge, den Zeitfaktor k_t und den endgültigen m-Faktor alle Ergebnisse vergleichend zusammengefaßt. Bei den Rechenergebnissen wurden jeweils nur die für die Heißgasschicht ermittelten Werte angegeben. Eine Ausnahme davon ist in Tabelle 8 vorgesehen.

Die Angabe "Stahlklotz (mittel)" bedeutet, daß in diesem Fall der m-Faktor aus dem Mittelwert der beiden m-Faktoren für die obere und die untere Rauchgasschicht berechnet wurde ($m = (m_{\text{oben}} + m_{\text{unten}}) / 2$).

Dadurch sollte eine mittlere Brandwirkung dargestellt werden. Nähere Erläuterungen hierzu können aus /8/ entnommen werden.

Bei den Holzversuchen sind in der ersten Zeile die Ergebnisse für die Simulationen angegeben, die aus der Restbrandlast abgeleitet wurden. Darunter sind teilweise Ergebnisse angegeben, die aus der Heat Release Rate berechnet sind. Die Brandlasten der kleinen und der großen m-Faktor-Anlage sind nicht immer identisch.

Tabelle 5: Äquivalente Branddauern $t_{\Delta m}$ für verschiedene Vergleichsbauerteile

Versuch	kleine m-Faktor- Anlage	große m-Faktor- Anlage	Stahl- klotz (max)	Quotient Spalten 4:3
1	2*)	3	4	5
3.2.1.a	33,6	17,9	14,9	0,83
	33,6	17,9	15,5	0,87
3.2.3.b	68,0	31,4	18,7	0,60
	68,0	31,4	17,4	0,55
3.2.6	-	70,6	41,9	0,59
4.1.2	-	31,2	20,5	0,66
4.2.2	26,1	30,2	14,4	0,48
4.2.3	34,6	31,8	15,2	0,48
4.3.2	19,5	19,2	15,1	0,79
4.3.5	-	31,8	14,4	0,45
4.4.3	-	18,7	23,2	1,24
4.5.1	29,0	27,4	18,6	0,68

Tabelle 6: Vergleichsbrandmenge Q_v für verschiedene Vergleichsbauerteile

Versuch	kleine m-Faktor- Anlage	große m-Faktor- Anlage	Stahl- klotz (max)	Quotient Spalten 4:3
1	2*)	3	4	5
3.2.1.a	123,4	159,2	136,9	0,86
	123,4	159,2	144,7	0,91
3.2.3.b	316,8	278,9	190,9	0,68
	316,8	278,9	173,0	0,62
3.2.6	-	860,4	469,2	0,55
4.1.2	-	277,5	216,3	0,78
4.2.2	87	267,5	129,9	0,49
4.2.3	127,8	283,2	141,7	0,50
4.3.2	53,9	174,8	140,0	0,80
4.3.5	-	283,2	129,8	0,46
4.4.3	-	166,2	251,3	1,51
4.5.1	96,2	241,9	188,9	0,78

*) Brandlasten sind teilweise nur ungefähr mit der großen Anlage identisch

***) Simulationen mit an Heat Release Rate angeglichenener Abbrandrate

Tabelle 7: Faktor k_t für verschiedene Vergleichsbauteile

Versuch	kleine m-Faktor- Anlage	große m-Faktor- Anlage	Stahl- klotz (max)	Quotient Spalten 4:3
1	2*)	3	4	5
3.2.1.a	0,97	0,99	1,35	1,36
	0,97	0,99	1,09	1,10
3.2.3.b	1,04	1,04	1,26	1,21
	1,04	1,04	0,99	0,95
3.2.6	-	1,02	1,08	1,06
4.1.2	-	0,84	0,82	0,98
4.2.2	1,25	1,32	1,28	0,97
4.2.3	1,13	1,33	1,36	1,02
4.3.2	1,15	1,26	1,31	1,04
4.3.5	-	1,31	1,33	1,02
4.4.3	-	0,19	0,39	2,05
4.5.1	1,05	1,13	1,10	0,97

Tabelle 8: m-Faktor für verschiedene Vergleichsbauteile

Versuch	Norm- wert	kleine m-Faktor- Anlage	große m-Faktor- Anlage	Stahl- klotz (max)	Stahl- klotz (mittel)
1		2*)	3	4	5
3.2.1.a	1,0	1,00	1,25	1,47	1,13
**)	1,0	1,00	1,25	1,25	0,58
3.2.3.b	1,0	0,98	1,10	0,91	0,78
**)	1,0	0,98	1,10	0,65	0,48
3.2.6	1,0	-	1,06	0,62	0,61
4.1.2	0,3	-	0,80	0,61	0,35
4.2.2	1,1	1,09	3,77	1,78	0,87
4.2.3	1,1	0,72	2,71	1,37	1,11
4.3.2	1,0	0,84	2,18	1,81	0,90
4.3.5	1,0	-	2,07	0,96	0,92
4.4.3	1,3	-	0,09	0,27	0,09
4.5.1	0,8	0,79	2,11	1,61	0,78

*) Brandlasten sind teilweise nur ungefähr mit der großen Anlage identisch

***) Simulationen mit an Heat Release Rate angeglichenener Abbrandrate

In Tabelle 5 sind die aus den gemessenen Temperaturen bzw. berechneten Maximaltemperaturen abgeleiteten äquivalenten Branddauern dargestellt. Es ist festzustellen, daß die Abweichungen zwischen Messung und Rechnung zwischen 0 und 50 % liegen. Die gleiche Tendenz gilt auch für den Vergleich der berechneten Vergleichsbrandlasten in Tabelle 6.

Der Vergleich der Faktoren k_t in Tabelle 7 zeigt, daß mit drei Ausnahmen die k_t -Werte aus der Simulation um weniger als 10 % von den aus den Versuchen berechneten Faktoren abweichen. Der Grund für die Abweichung bei den 3 Versuchen liegt vermutlich darin, daß die Temperaturverläufe bei der Simulation nicht genügend genau wiedergegeben werden. Dies gilt am meisten für Versuch 4.4.3 (Sanitärkrepp) aber auch für die beiden ersten Holzkrippenversuche mit an den Verlauf der Restbrandlastkurve angepaßter Abbrandrate. Die Abweichung zwischen den verschiedenen Materialien liegt mit einer Ausnahme ebenfalls bei 10 %.

Der Vergleich der m -Faktoren in Tabelle 8 zeigt schließlich, daß die aus der Simulation errechneten m -Faktoren mit vier Ausnahmen teilweise deutlich unter den aus dem Versuch ermittelten Werten liegen. Dieses trifft vor allem auf die Holzkrippenversuche zu, wenn man den mittleren m -Wert als Vergleichswert zugrundelegt. Besonders deutlich ist die Abweichung (um bis zu 50 %) auch bei den brennbaren Flüssigkeiten.

Dieses Ergebnis ist durch die Einwirkung lokaler Effekte bedingt. Im großen Versuchsraum werden von dem im Deckenbereich zentral angeordneten Vergleichselement offenbar überwiegend die direkt unter der Decke auftretenden Temperaturen erfaßt, im Rechenmodell wird dagegen ehestens eine integrale Temperaturverteilung erfaßt. Es liegen aber alle berechneten m -Faktoren im Bereich der Normwerte, teilweise bis zu 80 % darüber. Der m -Faktor für die Holzkrippen ($m = 1,0$) wird für die Berechnungen mit dem Stahlklotz bei größeren Abweichungen etwa bestätigt. Der berechnete Mittelwert von 0,98 bei einer Standardabweichung von 0,31 stimmt etwa mit dem Wert von 1,05 bei einer Standardabweichung von 0,23 aller Holzkrippenversuche überein.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß der m -Faktor für Holzkrippen durch die Simulation etwa bestätigt wird. Bei den brennbaren Flüssigkeiten erfolgt im großen Brandraum wegen sehr intensiver Flammenstrahlung auf das zentral angeordnete Vergleichselement eine viel stärkere Erwärmung des Vergleichselementes als bei der Simulation, bei der davon ausgegangen wird, daß das Bauteil über die anliegende Gasschicht erwärmt wird.

Dies gilt möglicherweise auch in der kleinen m -Faktor-Anlage, bei der eher von homogenen Bedingungen z.B. hinsichtlich der Luftzuführung und Durchmischung ausgegangen werden kann.

Dieser Effekt ist lokal begrenzt und erschwert die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf größere Hallen. Dabei ist zu beachten, daß die Temperaturverläufe im Brandraum bei der Simulation dieser Versuche recht gut wiedergegeben wird.

Der gleiche Effekt ist bei den Versuchen mit Polypropylen-Teilen beobachtet worden. Während der mittlere m-Faktor (Rechenwert) von 0,78 mit dem Normwert von 0,79 sehr gut übereinstimmt, liegt der maximale m-Faktor (Rechenwert) bei 1,61 und der Versuchswert dazu bei 2,11.

7. Schlußfolgerungen

Der Vergleich der Ergebnisse aus den Kalibrierversuchen in der großen m-Faktor-Anlage ergab, daß zwischen den Normwerten und den Meßergebnissen bereichsweise größere Diskrepanzen vorhanden sind. Die festgestellten Unterschiede sind jedoch physikalisch begründbar bzw. anhand von Plausibilitätsbetrachtungen erklärbar. Zunächst wurde festgestellt, daß die Kalibrierkurven gemäß DIN 18 230 Teil 1 in der großen Versuchsanlage nicht nachvollziehbar waren. Dies gilt überraschenderweise auch für den ETK-Referenzversuch.

Weiterhin haben auch die Holzkrippen-Referenzversuche zu anderen Kalibrierkurven geführt. Insbesondere ist die t_v -Beziehung neu definiert worden, d.h. die k_t -Werte der DIN-Versuche sind nicht mehr anwendbar. Die vorgenommene Approximation von t_v -Meßwerten durch eine logarithmische Beziehung ist vergleichsweise grob, so daß sich vor allem im Bereich kleiner Brandlasten Q_v große Abweichungen gegenüber den Meßwerten ergeben.

Der Vergleich der Beziehungen zwischen den Vergleichsbrandmengen Q_v und der Vergleichsbranddauern t_v in Abb. 19 läßt den Eindruck entstehen, daß bei beiden Anlagen gravierende Änderungen in der Abbrandcharakteristik feststellbar sind. Bei der kleinen Anlage treten diese etwa im Bereich von Q_v von etwa 300 bis 400 kg auf. Bei der großen Anlage ist bis 400 kg eine sehr große Streuung der Versuchsergebnisse feststellbar. Diese werden durch die logarithmische Beziehung nicht erfaßt.

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß die Bestimmung von t_v gemäß DIN 18 230 Teil 2 meßtechnisch nur schwer zu erfassen ist, weil das Temperaturmaximum bei vielen Versuchen nahezu asymptotisch erreicht wird, d.h. die Meßkurven sind sehr flach. Dies gilt vor allem bei Bränden mit vergleichsweise kurzer Branddauer und geringer Temperaturentwicklung. Dadurch ergeben sich große Streuungen in den Meßwerten und Unsicherheiten in der zugehörigen $Q_v(t_v)$ -Beziehung aufgrund der wesentlich größeren Trägheit in der Anzeige an der Bezugsmeßstelle in 50 mm Wanddicke. Die entsprechenden Werte in 2 mm Wanddicke weisen deutlich geringere Streuungen auf. Diesbezüglich sollte die Meßvorschrift der Norm verbessert werden.

Es konnte rechnerisch gezeigt werden, daß die Wärmeübergangsverhältnisse unter ETK-Temperaturbelastung in der großen Anlage deutliche Unterschiede zu den Verhältnissen in der Normanlage aufweisen. Es wurde festgestellt, daß die unterschiedlichen Temperaturverläufe in beiden Anlagen rechnerisch gut simuliert werden können. Die gefundenen Parameter von $\epsilon = 0,9$ für die Strahlungszahl und $w = 20$ m/s für die Geschwindigkeit der Heißgase zur Bestimmung des Wärmeüberganges in der kleinen Anlage sind als nicht praxisgerecht anzusehen.

Dies liegt vermutlich an dem sehr großen Einfluß der Flammenstrahlung auf das Vergleichselement. Bei der großen Anlage erscheint die Strahlungszahl von $\epsilon = 0.75$ im Rahmen von praktischen Größen zu liegen.

Die rechnerische Untersuchung von 10 m-Faktor-Versuchen in einer "großen" Versuchsanlage hat zu differenzierten Ergebnissen geführt. Bezüglich der Temperatursimulation ist zu sagen, daß die berechneten Temperaturverläufe sehr empfindlich bezüglich der vorgegebenen Abbrandrate reagieren. Bei einigen Simulationen sind die gemessenen Temperaturen nicht gut wiedergegeben. Dies gilt besonders bei den Holzversuchen bei an die Messung angepaßtem Verlauf der Restbrandlast. Für diese Versuche konnte durch eine Modellierung des Abbrandes anhand des Verlaufes der HRR eine deutliche Verbesserung der Ergebnisse erzielt werden.

Die berechneten t_{am} -Werte sind in den meisten Fällen 25 bis 50 % kleiner als die Meßwerte. Dieses kann zu einem geringen Teil an den Eingabedaten für die Stoffwerte der Versuchskammer liegen. Ein wesentlicher Effekt ist vor allem bei den brennbaren Flüssigkeiten und Thermoplasten der Einfluß der Flammenstrahlung auf das Vergleichselement im Brandraum, der bei der Berechnung der äquivalenten Branddauer nach DIN 18 230 Teil 2 nicht definiert erfaßt werden kann.

Die gemessenen und berechneten Gaskonzentrationen sind im Umfang von Brandraum zum Abgaskanal ehestens qualitativ vergleichbar. Insbesondere kann der teilweise gemessene geringe CO-Gehalt bei deutlichem Luftüberschuß im Brandraum rechnerisch nicht nachvollzogen werden. Da sich die gemessene Heat Release Rate aus den gemessenen O₂-Konzentrationen ergibt, erscheint es notwendig und sinnvoll, die Messungen zu optimieren und anhand von Rechnungen zu prüfen, ob die Meßergebnisse jeweils theoretisch nachvollziehbar sind.

Die gemessenen Restbrandlasten und HRR's erscheinen in einigen Fällen hinsichtlich der gemessenen Temperaturverläufe als inkonsistent. Auch die Gesamtbilanzierung mit den angegebenen Meßwerten ist nicht plausibel. Bei einigen Versuchen wurde allerdings festgestellt, daß eine Modellierung der Abbrandrate am Verlauf der HRR zu sehr guten Übereinstimmungen bei den Temperaturverläufen führen kann. In diesem Fall weichen aber die gerechneten Verläufe für die Restbrandlast deutlich von den gemessenen ab.

Bei der Bestimmung der m-Faktoren aus der Simulation fällt auf, daß bei den brennbaren Flüssigkeiten möglicherweise wegen sehr intensiver Flammenstrahlung eine teilweise viel stärkere Erwärmung des Vergleichselementes erfolgt als bei der Simulation, bei der davon ausgegangen wird, daß das Bauteil über die anliegende Gasschicht erwärmt wird.

Dieser Effekt ist lokal begrenzt und erschwert die Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf größere Hallen. Dabei ist zu beachten, daß die Temperaturverläufe im Brandraum bei der Simulation dieser Versuche recht gut wiedergegeben wird. Insoweit ist die gewählte Versuchsmethodik zum Nachweis des m-Faktors in größeren Hallen zu hinterfragen. Dies bezieht sich vor allem auch auf die gewählte Form der Zwangsbelüftung. Eine natürliche Ventilation ist bei entsprechenden Großversuchen auf alle Fälle vorzuziehen. Die Anbindung an den Kleinversuch (Normversuch) kann dann allerdings nur durch aufwendige Berechnungen erfolgen.

Die Abweichungen zwischen den m-Faktoren in der kleinen und großen Versuchsanlage werden somit neben den festgestellten lokalen Einflüssen hauptsächlich auf Einflüsse in der Ventilation zurückgeführt, die nur im Rahmen weiterer Versuche mit natürlicher Ventilation geklärt werden können. Darüber hinaus haben die Berechnungen ergeben, daß die Meßergebnisse in der großen Versuchsanlage vor allem durch lokale Energiestromkonzentrationen (Temperaturschichtungen, Plumeeinwirkung, hohe Wärmeübergangszahlen) zu gegenüber den Normwerten überhöhten m-Faktoren geführt haben. Dies betrifft vor allem die Versuche mit Isopropanol, in denen eine Wanne von nur 1 m² Fläche direkt unterhalb des Vergleichsbauteils angeordnet war.

Die Berechnungen liegen tendenzmäßig bei den Normwerten, wenn die Temperaturschichtung berücksichtigt wird, wohingegen die Großversuche deutlich darüber liegen. Letztere spiegeln überwiegend die Brandwirkung in der oberen Heißgaszone wieder. Bei dem Vergleich der Ergebnisse von Messung und Rechnung des Versuches mit Polypropylenteilen ergeben sich ähnliche Verhältnisse wie bei den brennbaren Flüssigkeiten.

Grundsätzlich ist somit festzustellen, daß die vorliegenden Meßergebnisse aus der großen m-Faktor-Anlage die bekannten m-Faktoren nur deshalb überschreiten, weil sich bei den Großversuchen lokale Energiestromkonzentrationen im Brandraum ausgebildet haben, welche direkt auf das Temperatur-Meßelement einwirken konnten. Bei der rechnerischen Simulation tritt dagegen eine Homogenisierung der Energieverteilung auf, die zu kleineren m-Faktoren führt. Dieser Effekt wird besonders deutlich, wenn man den m-Faktor im großen Brandraum für jede Zone (Heißgasschicht, untere Gasschicht) gesondert berechnet und einen Mittelwert bildet. In der kleinen m-Faktor-Anlage sind aufgrund der Strömungsverhältnisse ebenfalls eher homogene Energieverteilungen zu erwarten, so daß sich die rechnerischen Ergebnisse den Meßwerten der kleinen Anlage anpassen. Aus den Rechenergebnissen läßt sich somit ableiten, daß die m-Faktoren voraussichtlich auf größere Lagereinheiten übertragbar sind, soweit lokal dominierende Effekte ausgeschlossen werden können. Zur Absicherung dieser Aussage sind ergänzende Versuche in größeren Räumen bei natürlicher Ventilation erforderlich.

8. Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht umfaßt die Ergebnisse zum Teil 1 des laufenden Forschungsvorhabens "Bewertung von Brandlasten in größeren Räumen" /7, 8/.

Im Rahmen der experimentellen und theoretischen Untersuchungen ist die Übertragung der m-Faktoren der kleinen Versuchsanlage (8 m³) auf m-Faktoren der großen Versuchsanlage (62 m³) nicht gelungen.

Für das Beiblatt 1 zu DIN 18 230 Teil 1, Ausgabe November 1989, ergeben sich aus den Forschungen keine Konsequenzen, weil m-Faktoren für die Normung nicht ermittelt wurden.

Für die vorliegende Norm DIN 18 230 Teil 2 ergeben sich dagegen folgende Konsequenzen:

Die Meßanordnung der m-Faktor-Prüfanlage ist in folgenden Bereichen zu überprüfen und ggf. zu verbessern:

- Messung des Gewichtsverlustes
- Messung der Energiefreisetzung
- Messung der Abgaszusammensetzung (O₂, CO₂, CO)
- Messung der Vergleichsbranddauer t_v an einer weiteren Meßstelle z.B. in 2 mm Wanddicke des Vergleichsbauteils
- Bei erheblichem Luftunterschub (s. Abgaszusammensetzung) sollte der m-Faktor-Versuch mit entsprechend erhöhter Zuluftrate wiederholt werden. Wie eine Kontrollrechnung des Luftbedarfs für eine stöchiometrische Verbrennung gezeigt hat, ergibt sich bei Kalibrierversuchen mit Fichtenholzkrippen in der kleinen Versuchsanlage (8 m³) ab ca. 256 kg ein Luftunterschub. Es sollte daher geprüft werden, ob die Kalibrierkurve ($Q_v = f(t_{am})$) nicht mit einer Zuluftrate von ca. 1000 m³/h ermittelt werden sollte. Bei diesem Wert würde für Vergleichsbrandlasten von maximal 500 kg Fichtenholz ausreichend Verbrennungsluft zur Verfügung stehen. In diesem Zusammenhang wird daraufhingewiesen, daß bei Kalibrierversuchen mit Einheitstemperaturbelastung die Verbrennungsluftzufuhr entsprechend dem Massenstrom des zu verbrennenden Heizöls gesteuert wird, so daß auch für die Verbrennung des Heizöls ausreichend Luft zur Verfügung steht.

Das Normblatt kann in der vorliegenden Form beibehalten werden und ist entsprechend der o.a. Maßnahmen im Zuge der neuen Normungsperiode zu überarbeiten.

Das Forschungsvorhaben sollte im Rahmen einer zweiten Stufe wie ursprünglich geplant fortgesetzt werden. Die vorgesehene Methode und der Arbeitsplan sind jedoch grundsätzlich zu überarbeiten und neu festzulegen.

Huberall

9. Literaturverzeichnis:

/1/ Forschungsvorhaben

"Untersuchungen über das Abbrandverhalten von Lagergütern", 1983,

Bearbeitungsnummer: 23 - 5.2 - 238

Forschungsauftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen
und Städtebau vom 5.10.1978 - BI7 - 810705,

Dipl.-Phys. T. Ueberall: Abschlußbericht Teil II

Dipl.-Ing. H.G. Klingelhöfer: Abschlußbericht Teil III

/2/ Dr.-Ing. Schneider: **Entwicklung eines Prüfverfahrens zur
Bewertung der Brandlasten in Industriebauten**
- Auswertung der Versuchsergebnisse -
Februar 1977

/3/ Dr.-Ing. Schneider: **Bewertung des unterschiedlichen Brandverhaltens
von Stoffen bei natürlichen Bränden**
- Auswertung der Versuchsergebnisse -
März 1974

/4/ Dr.-Ing. Marita Kersken-Bradley:

**Auswertung von m-Faktoren mit großem Variations-
koeffizienten, NABau XII 4/2 Nr. 1 - 83**

/5/ Forschungsvorhaben

"Abbrandfaktoren von Lagerstoffen Teil IV", 1988,

Bearbeitungsnummer: 23 - 80.01 - 304

Forschungsauftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen
und Städtebau vom 12.12.1985 - BI7 - 810784-7

Dipl.-Phys. T. Ueberall: Abschlußbericht Teil IV und IV.I

Forschungsvorhaben

"Abbrandfaktoren von Lagerstoffen Teil V", 1989,

Bearbeitungsnummer: 23 - 80.01 - 304

Forschungsauftrag des Instituts für Bautechnik, vom 08.01.1985
(Az.:IV 1 - 5 - 416/84) und des Deutschen Stahlbauverbandes, Köln

Dipl.-Phys. T. Ueberall: Abschlußbericht Teil V und V.I

/6/ Forschungsvorhaben

**"Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bewertung der
Brandlasten in Industriebauten"**

- Bewertungsfaktor m - DIN 18 230 - 1977,

Bearbeitungsnummer: 23 - 80.01 - 304, Forschungsauftrag des
Innenministers des Landes Nordrhein-Westfalen vom 07.06.1978
Az. V B 1 - Nr. 5 (For)

Dipl.-Ing. H.G. Klingelhöfer

/7/ Forschungsvorhaben

Bewertung von Brandlasten in größeren Räumen

Ergebnisse von m -Faktor-Versuchen in größeren Räumen, Dortmund 1990

Bearbeitungsnummer: 23 - 80.00 - 312, Forschungsauftrag des IfBt
Nr. IV-1-5-467/86, Abschlußberichte Teil I, Teil II/2 bis Teil II/4

Dipl.-Phys. Ueberall

/8/ Forschungsvorhaben

Bewertung von Brandlasten in größeren Räumen

Theoretische Untersuchungen, Kassel, Oktober 1991

Forschungsauftrag des IfBt Nr. IV-1-5-467/86

Arbeitsgemeinschaft Brandsicherheit, München/Kassel

Prof. Dr.-Ing. habil. U. Schneider

Dr.-Ing. M. Kersken-Bradley

Dr.-Ing. Ulrich Max