

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Bestimmung der Parameter für einen zur Prüfung persönlicher Schutzausrüstung vorgesehenen Versuchsraum unter Berücksichtigung der Integration einer gasbetriebenen Wärmestrahlerwand

116

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V – AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHRANGELEGENHEITEN,
KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG

**Bestimmung der Parameter für einen zur Prüfung
persönlicher Schutzausrüstung vorgesehenen
Versuchsraum unter Berücksichtigung der Integration
einer gasbetriebenen Wärmestrahlerwand**

Forschungsbericht Nr. 116

Im Auftrag
der Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer
Arbeitskreis V - Ausschuß „Feuerwehrangelegenheiten“

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Ulrich Pasch (Projektleiter)
Dipl.-Phys. Friedrich-Wilhelm Wienecke

Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt
Heyrothsberge
März 1999

ISSN 0170-0060

FA: Nr.14 (2/95) H

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Inhaltsverzeichnis	1
Verzeichnis der Bilder	2
Verzeichnis der Tabellen	3
Verzeichnis der Anlagen	4
1 Vorwort	6
2 Konzipierung der Hotbox	7
3 Konzipierung des Originalbrandraumes	9
4 Festlegung des Messrasters für die Temperaturmessstellen (Thermoelemente)	10
5 Abstimmung der Versuchsbedingungen zwischen Hotbox und Originalbrandraum	12
6 Messwerterfassung und –auswertung	12
7 Untersuchungen in der Hotbox	13
7.1 Nachweis der Eignung der Hotbox durch Vorversuche	13
7.2 Versuchsablauf	16
7.3 Untersuchungsergebnisse Hotbox 3x4 m	18
7.4 Untersuchungsergebnisse Hotbox 3x2 m	20
8 Untersuchungen im Originalbrandraum des Brandhauses	22
8.1 Vorversuche im Originalbrandraum	22
8.2 Versuchsablauf	24
8.3 Untersuchungsergebnisse Originalbrandraum	25
9 Versuchsauswertungen und Bewertung der Ergebnisse	27
10 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	32
Literatur	34
Anlagen	35

Verzeichnis der Bilder

		Seite
Bild 1	In Stirnwand der Hotbox integrierte Wärmestrahlerwand	8
Bild 2	Hotbox in voller Größe	9
Bild 3	Integrierte Wärmestrahlerwand	9
Bild 4	Fensterseite Originalbrandraum	10
Bild 5	Anordnung der Messstellen im Brandhaus (Ebenendarstellung)	11
Bild 6	Messkette in der Hotbox	12
Bild 7	Thermografieaufnahmen der Hotbox während der Vorversuche	14
Bild 8	Temperaturverlauf an den Messstellen – Hotbox 3x4 m – Reihe 4	19
Bild 9	3 D – Darstellung	20
Bild 10	Projektion der 3 D – Darstellung	20
Bild 11	Temperaturverlauf an den Messstellen – Hotbox 3x2 m – Reihe 4	21
Bild 12	Ansichten Normbrandholzstapel	23
Bild 13	Temperaturverlauf an den Messstellen – Brandhaus – Reihe 4	26
Bild 14	Wärmestrahlung im Brandraum des Brandhauses	27
Bild 15	Wärmestrahlung in der Hotbox	28
Bild 16	Hotbox 3x4 m – Temperaturprofil nach 40 Minuten	30
Bild 17	Brandraum – Temperaturprofil nach 8 Minuten	30

Verzeichnis der Tabellen

		Seite
Tabelle 1	Beispiele gemessener Temperaturen an ausgewählten Positionen der Hotbox der Größe 3x4 m bei Vorversuchen	13
Tabelle 2	Weitere Temperaturwerte im Ergebnis von Vorversuchen	13
Tabelle 3	Messergebnisse der Luftanalysen	15
Tabelle 4	Zeitaufwand für Untersuchungen in der Hotbox	17
Tabelle 5	Hotbox 3x4 m – Vorgenommene Auswertungen der Messergebnisse	18
Tabelle 6	Hotbox 3x2 m – Vorgenommene Auswertungen der Messergebnisse	20
Tabelle 7	Brandhaus – Vorgenommene Auswertungen der Messergebnisse	25
Tabelle 8	Vergleich Hotbox 3x4 m – Brandraum Zeiträume des Auftretens gleicher Temperaturen	29
Tabelle 9	Vergleich Hotbox 3x2 m – Brandraum Zeiträume des Auftretens gleicher Temperaturen	29
Tabelle 10	Verweise auf die Darstellung weiterer vergleichbarer Ergebnisse in den Anlagen	30

Anlagen

Anlage	Inhalt	Seite
1.1	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Ebene 2 nach 25 Minuten	35
1.1.1	Tabelle 1: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Ebene 2 nach 25 Minuten	36
1.2	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Ebene 4 nach 40 Minuten	37
1.2.1	Tabelle 2: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Ebene 4 nach 40 Minuten	38
1.3	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Ebene 6 nach 40 Minuten	39
1.3.1	Tabelle 3: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Ebene 6 nach 40 Minuten	40
1.4	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Schicht C nach 40 Minuten	41
1.4.1	Tabelle 4: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Schicht C nach 40 Minuten	42
1.5	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Reihe 4 über die Schichten A bis F nach 10 Minuten	43
1.5.1	Tabelle 5: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Reihe 4 über die Schichten A bis F nach 10 Minuten	44
1.6	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Ebene 4 nach Zeiten	45
1.7	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Schicht C nach Zeiten	46
2.1	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Ebene 2 nach 30 Minuten	47
2.1.1	Tabelle 6: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Ebene 2 nach 30 Minuten	48
2.2	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Ebene 4 nach 40 Minuten	49
2.2.1	Tabelle 7: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Ebene 4 nach 40 Minuten	50
2.3	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Schicht C nach 40 Minuten	51
2.3.1	Tabelle 8: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Schicht C nach 40 Minuten	52
2.4	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Reihe 4 über die Schichten A bis F nach 40 Minuten	53
2.4.1	Tabelle 9: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Reihe 4 über die Schichten A bis F nach 40 Minuten	54
2.5	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Ebene 4 nach Zeiten	55
2.6	Grafik: Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Schicht C nach Zeiten	56
3.1	Grafik: Temperaturprofil Brandhaus Ebene 2 nach 8 Minuten	57

	Inhalt	Seite
Anlage		
3.1.1	Tabelle 10: Messwerte Temperaturprofil Brandhaus Ebene 2 nach 8 Minuten	58
3.2	Grafik: Temperaturprofil Brandhaus Ebene 4 nach 8 Minuten	59
3.2.1	Tabelle 11: Messwerte Temperaturprofil Brandhaus Ebene 4 nach 8 Minuten	60
3.3	Grafik: Temperaturprofil Brandhaus Ebene 6 nach 10 Minuten	61
3.3.1	Tabelle 12: Messwerte Temperaturprofil Brandhaus Ebene 6 nach 10 Minuten	62
3.4	Grafik: Temperaturprofil Brandhaus Schicht C nach 8 Minuten	63
3.4.1	Tabelle 13: Messwerte Temperaturprofil Brandhaus Schicht C nach 8 Minuten	64
3.5	Grafik: Temperaturprofil Brandhaus Reihe 4 über die Schichten A bis F nach 8 Minuten	65
3.5.1	Tabelle 14: Messwerte Temperaturprofil Brandhaus Reihe 4 über die Schichten A bis F nach 8 Minuten	66
3.6	Grafik: Temperaturprofil Brandhaus Ebene 4 nach Zeiten	67
3.7	Grafik: Temperaturprofil Brandhaus Schicht C nach Zeiten	68
4	Hotbox 3x4 m: Maximalwerte gemessener Temperaturen an den Messstellen der Ebenen (zeitunabhängig)	69
5	Hotbox 3x2 m: Maximalwerte gemessener Temperaturen an den Messstellen der Ebenen (zeitunabhängig)	70
6	Brandhaus: Maximalwerte gemessener Temperaturen an den Messstellen der Ebenen (zeitunabhängig)	71
7	Konstruktionszeichnung: Größenveränderbarer Versuchsraum mit Integration einer Wärmestrahlerwand	72
8	Anordnung der Messstellen und Raumgeometrie Hotbox	73
9	Details Hotbox	74
10	Anordnung der Messstellen und Raumgeometrie Brandhaus	75
11	Raumgeometrie Brandhaus Be- und Entlüftung	76
12	Anordnung der abgeschirmten Thermoelemente an der Messkette	77
13	Messstellenplan Ebenen 1 bis 8	78
14	Messstellen-Schichtenplan (Höhen) A bis F	80
15	Bildergalerie (Bilder 1 bis 12)	82

1 Vorwort

Versuche und Prüfungen unter Originalbrandbedingungen im Brandhaus des Instituts der Feuerwehr belegen, dass eine Vielzahl von Parametern den dort ablaufenden Brandprozess beeinflussen, wodurch Versuchs- und Prüfergebnisse beeinflusst bzw. verfälscht werden können. Dieses Problem stellt sich insbesondere unter dem Aspekt der unabdingbaren Forderung nach Reproduzierbarkeit der Rahmenbedingungen bei Prüfverfahren dar, da hier eine Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse zur eindeutigen Bewertung der Prüfobjekte untereinander gewährleistet sein muß. Als Parameter, welche Einfluss auf die Reproduzierbarkeit der Ausgangsbedingungen bei Untersuchungen unter Originalbrandbedingungen haben, können beispielsweise gewertet werden:

- Die jahreszeitlich bedingten unterschiedlichen Außentemperaturen, die Auswirkungen auf die Brandraumausgangstemperatur haben und damit auf die Temperatur der Versuchs- und Prüfobjekte sowie auf die der einzusetzenden Brandmedien schon vor Versuchsbeginn.
- Die Lüftungsbedingungen in Zusammenhang mit der durch die Außentemperatur bestimmten Lufttemperatur und -geschwindigkeit.
- Die Holzfeuchte, im Falle des Einsatzes von Normbrandholz als Brandmedium.

Originalbrandversuche sind neben ihrer ökologischen Bedenklichkeit zudem sehr kostenintensiv wegen des damit verbundenen hohen Personaleinsatzes für den Versuchsauf und -abbau. Nicht unbeträchtliche Kosten entstehen außerdem durch die notwendigen Brandmedien und deren erforderlicher Entsorgung nach Versuchsbeendigung.

Um die genannten Nachteile bei Originalbrandversuchen auszuschließen bzw. zu kompensieren, lag der Gedanke nahe, zumindest für bestimmte Anwendungsfälle (z.B. für Prüfungen) und für bestimmte Brandlasten, Originalbrände in Räumen in einer dem vorgesehenen Anwendungszweck angemessenen Größe in einem Modellraum in geeigneter Art und Weise nachzuvollziehen bzw. zu simulieren.

Insofern bestand im Rahmen des zu bearbeitenden Forschungsvorhabens die Aufgabe darin, entsprechende Vergleichsuntersuchungen im Brandhaus des IdF LSA und in einem eigens dafür zu konzipierenden größenvariablen Raum, in den die vorhandene Wärmestrahlerwand des IdF LSA zu integrieren war, durchzuführen. Zielstellung war, diesen Raum mittels der Wärmestrahlerwand aufzuheizen und die zeitabhängig auftretenden Temperaturen an den durch ein definiertes Messraster vorgegebenen Messstellen zu ermitteln und zu vergleichen mit den an gleichen Messorten zeitabhängig gemessenen Temperaturen in einem Raum annähernder Größenordnung des Brandhauses. Auf diese Art und Weise sollte es möglich sein, zu Aussagen zu gelangen, in und über welche Zeiträume sich, aus der Sicht des sich einstellenden Temperaturregimes, nahezu vergleichbare Bedingungen sowohl im Brandraum des Brandhauses als auch im Modellraum, der im Weiteren mit Hotbox bezeichnet wird, einstellen. Im Falle der sich im Ergebnis der Untersuchungen herausstellenden Übereinstimmungen der Parameter im Brandraum des Brandhauses und in der Hotbox wäre eine Übertragbarkeit der Bedingungen gegeben und durch die Hotbox jederzeit reproduzierbar zu gestalten.

Folgende Arbeitsschritte wurden in Realisierung des Forschungsvorhabens abgearbeitet:

1. Konzipierung und Aufbau der Hotbox unter Berücksichtigung der Integration der Wärmestrahlerwand des IdF LSA und der örtlichen Gegebenheiten am Einbauort
2. Konzipierung des Originalbrandraumes
3. Festlegung des Messrasters für die Temperaturmessstellen (Thermoelemente) und der konstruktiven Ausführung des Rasters unter Berücksichtigung der Verhinderung des Einflusses der Wärmestrahlung auf die Messergebnisse
4. Abstimmung der Versuchsbedingungen zwischen Hotbox und Originalbrandraum
5. Bestimmung der Art und Weise der Messwerverfassung und -auswertung
6. Untersuchungen in der Hotbox
7. Untersuchungen im Brandhaus
8. Versuchsauswertungen und Bewertung der Ergebnisse

2 Konzipierung der Hotbox

Zur Erreichung äquivalenter räumlicher Bedingungen mit dem für die Vergleichsuntersuchungen vorgesehenen Brandraum im Brandhaus wurde für die Hotbox die gleiche Brandraumgröße angestrebt. Unter den gegebenen örtlichen Bedingungen musste jedoch davon abgewichen werden.

Bei der Konzipierung der Hotbox war von folgenden Voraussetzungen und Anforderungen auszugehen:

- Der Standort des Raumes war zwangsläufig vorgegeben durch die stationär installierte Wärmestrahlerwand in der Prüfhalle des IdF LSA.
- Bedingt durch einen am vorgesehenen Standort bereits vorhandenen Prüfplatz mit Nutzung der Wärmestrahlerwand bestand die Notwendigkeit, die Hotbox verfahrbar zu gestalten, um diesen Prüfplatz auch weiterhin in der bisherigen Form nutzen zu können.
- Die am Standort vorhandene Bebauung ließ, unter Berücksichtigung der notwendigen Verfahrbarkeit der Hotbox, nur eine Größe von 3 x 4 m zu. Die Höhe der Hotbox wurde mit 3 m festgelegt.

- Die Größenvariabilität dieses Raumes sollte durch die Möglichkeit der Verschiebbarkeit der der Wärmestrahlerwand gegenüberliegenden Stirnseite des Raumes hin zur Wärmestrahlerwand gesichert werden. Die ursprüngliche Raumgröße von 3 x 4 m sollte dann auf eine Mindestraumgröße von 3x2 m reduziert werden können.
- Das Innere der Hotbox sollte für Beobachtungs- und Dokumentationszwecke von der der Wärmestrahlerwand gegenüberliegenden Stirnseite des Raumes einzusehen sein. Von gleicher Seite war der Raum über eine Tür begehbar zu gestalten.

Unter Berücksichtigung der genannten Voraussetzungen und Anforderungen für die Hotbox und der beabsichtigten Nutzung des kleinsten Brandraumes im Brandhaus des IdF LSA (4,7x4,75x2,83 m) für die Vergleichsuntersuchungen ist folgendes festzustellen:

Für die Vergleichsuntersuchungen zwischen Hotbox und Originalbrandraum kommt die Hotbox der Größe 3x4 m zur Anwendung. Hinsichtlich der Grundfläche der Hotbox der Größe 3x4 m ist diese um 10,32 m² kleiner als die des für die Untersuchungen in Frage kommenden kleinsten Brandraumes im Brandhaus. In Bezug auf die Raumhöhen ist die Hotbox mit 3 m Höhe um 17 cm höher als der Brandraum im Brandhaus mit 2,83 m Höhe.

Der Brandraum des Brandhauses weist somit ein Gesamtvolumen von 63,18 m³, der der großen Hotbox von 36 m³ auf. Das sich ergebende Differenzvolumen beträgt somit 27,18 m³.

Aus den Anlagen 7 und 9 ist der konstruktive Aufbau der Hotbox ersichtlich. Dieser besteht aus einem U-förmigen Grundgestell und einer, zwecks Variierung der

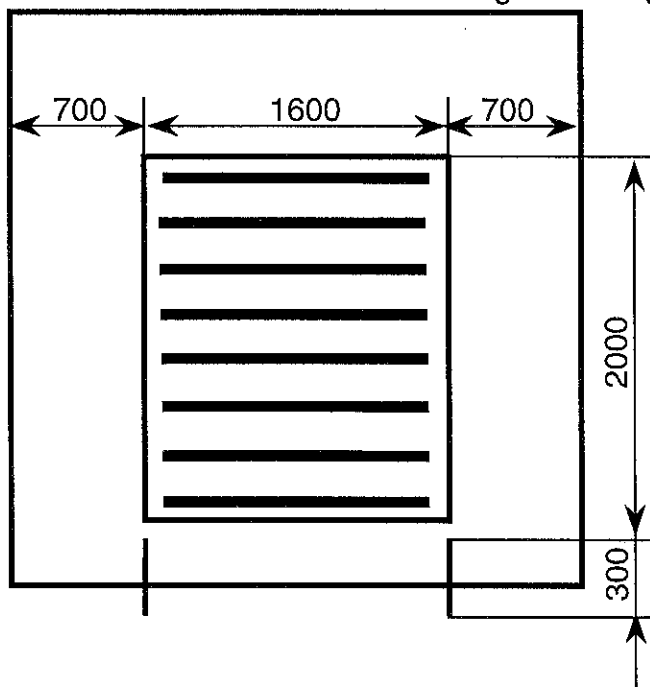


Bild 1: In Stirnwand des Modellraumes integrierte Wärmestrahlerwand

Raumgröße, in Führungsschienen hängenden Frontseite. Diese steht im Ruhezustand am vorderen Anschlag (Raumgröße 3 x 4 m) und wird gegen Verschieben mit einem Winkel gesichert. Zur Größenveränderung des Raumes kann die Front in Längsrichtung im Grundgestell verschoben werden. In der Front wurden eine Tür zum Betreten des Raumes und zwei Fensterscheiben in der Größe 700 x 900 mm für die visuelle Überwachung des Versuchsraumes vorgesehen. In die Rückfront des Raumes wurde die Wärmestrahlerwand (Bild 1) integriert. Das Grundgestell wurde aus Aluminiumprofilen des BOSCH-MGE-Baukastensystems aufgebaut und an der Innenseite komplett mit

PROMAT® - Brandschutzplatten verkleidet. Die Platten schützen die tragende Konstruktion vor Erwärmung und isolieren den Versuchsraum gegen Wärmeverluste ab. Die Außenseiten des Versuchsraumes wurden mit Aluminiumplatten verkleidet.

Zum Verfahren der Hotbox steht diese auf sechs Rädern (Lenkrollen mit Feststellbremse). Die Bilder 2 und 3 zeigen die fertig aufgebaute Hotbox mit integrierter Wärmestrahlerwand. Anlage 15 enthält Detaildarstellungen der Hotbox.

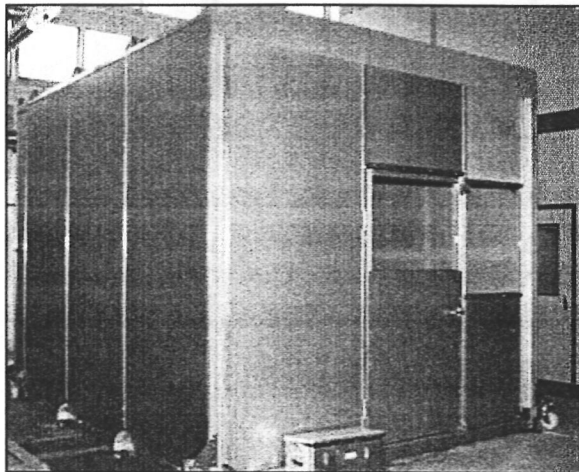


Bild 2: Hotbox in voller Größe

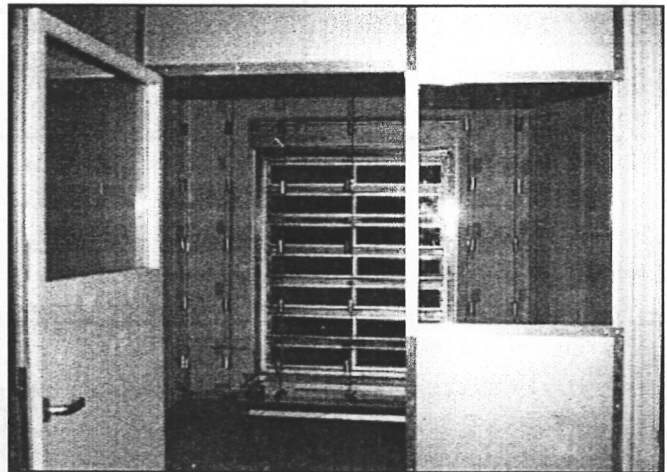


Bild 3: Integrierte Wärmestrahlerwand

Die in der Hotbox an einer Stirnseite integrierte Wärmestrahlerwand sollte Verwendung finden für die Simulation eines brennenden Normbrandholzstapels, wie er im Originalbrandraum des Brandhauses zum Einsatz gelangen soll. Um gleichzeitig die durch die Wärmestrahlerwand zu erreichenden höchsten Temperaturen in der Hotbox erzielen zu können, wurde während der Untersuchungen die Wärmestrahlerwand mit allen sieben Strahlerreihen bei höchster Leistung sowie über einen Zeitraum von 1 Stunde betrieben. Die Festlegung dieses Zeitraumes resultiert aus Vorversuchen, auf die später noch eingegangen wird. Dabei wurde festgestellt, dass nach ca. einer Stunde der Temperaturbeharrungszustand in der Hotbox eingetreten ist, also auch bei längerem Betrieb der Wärmestrahlerwand keine weitere Raumtemperaturerhöhung auftritt.

3 Konzipierung des Originalbrandraumes

Die Raumgeometrie des Brandhauses ist aus Anlage 11 ersichtlich. Die fensterseitige Ansicht des Originalbrandraumes wird außerdem im Bild 4 dargestellt. Dem ist zu entnehmen, dass sich mittig der Fensterseite des Originalbrandraumes das Brandobjekt in Form eines Normbrandholzstapels unterhalb der Fensteröffnung für die Abluft befindet. Auf die Auslegung des Normbrandholzstapels in Bezug auf dessen Brandlast und auf die Realisierung der Lüftungsbedingungen im Brandraum wird im Abschnitt 8. eingegangen.

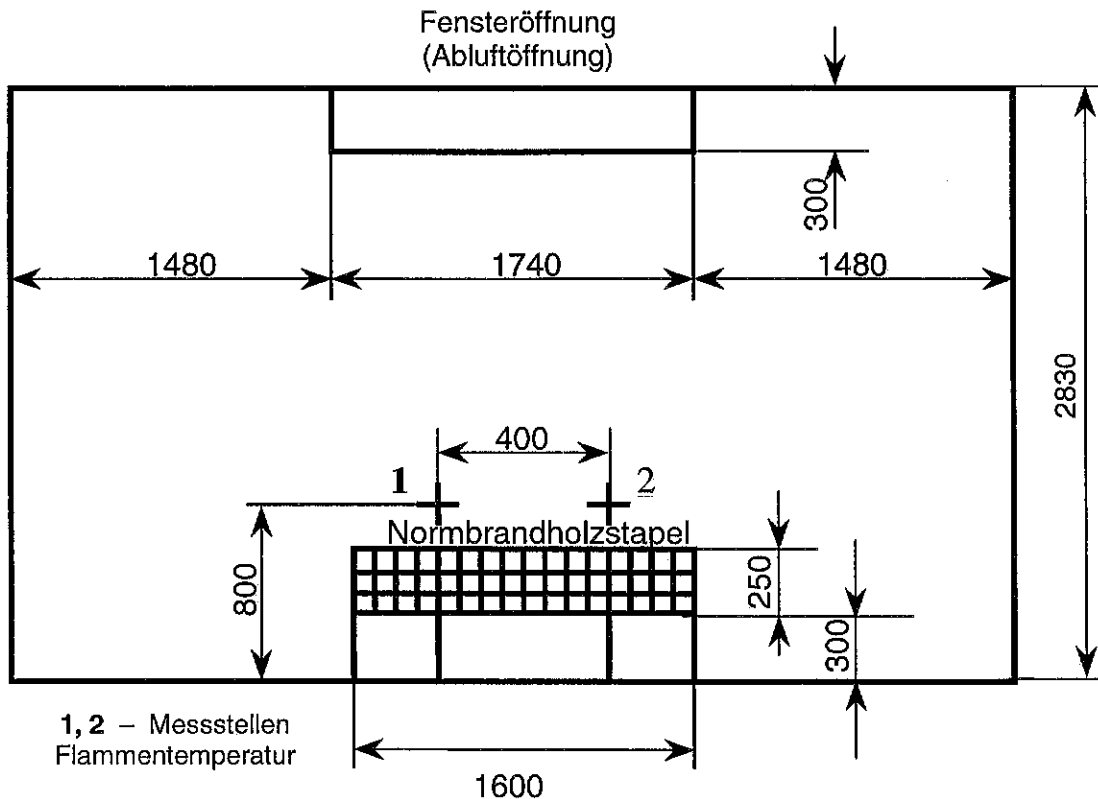


Bild 4: Fensterseite Originalbrandraum

Mit der Hotbox und dem Originalbrandraum im Brandhaus standen nunmehr zwei Räume für die durchzuführenden Vergleichsuntersuchungen zur Verfügung. Obwohl in gewissem Maße von der Raumgeometrie und der Raumgröße voneinander abweichend, sollte, ausgehend vom Bezugspunkt Brandobjekt (Normbrandholzstapel im Originalbrandraum und Wärmestrahlerwand in der Hotbox) versucht werden, an definierten Messpunkten (gleiche Ortskoordinaten der Messpunkte) in beiden Räumen annähernd gleiche Temperaturverhältnisse über gewisse Zeiträume zu realisieren. Um die Messpunkte zu definieren, war es erforderlich, ein entsprechendes Messraster für beide Räume festzulegen.

4 Festlegung des Messrasters für die Temperaturmessstellen (Thermoelemente)

Zur Ermittlung der während der Untersuchungen zeitabhängig auftretenden Temperaturen an jedem Messort in der Hotbox und im Brandraum des Brandhauses wurde ein Messraster festgelegt.

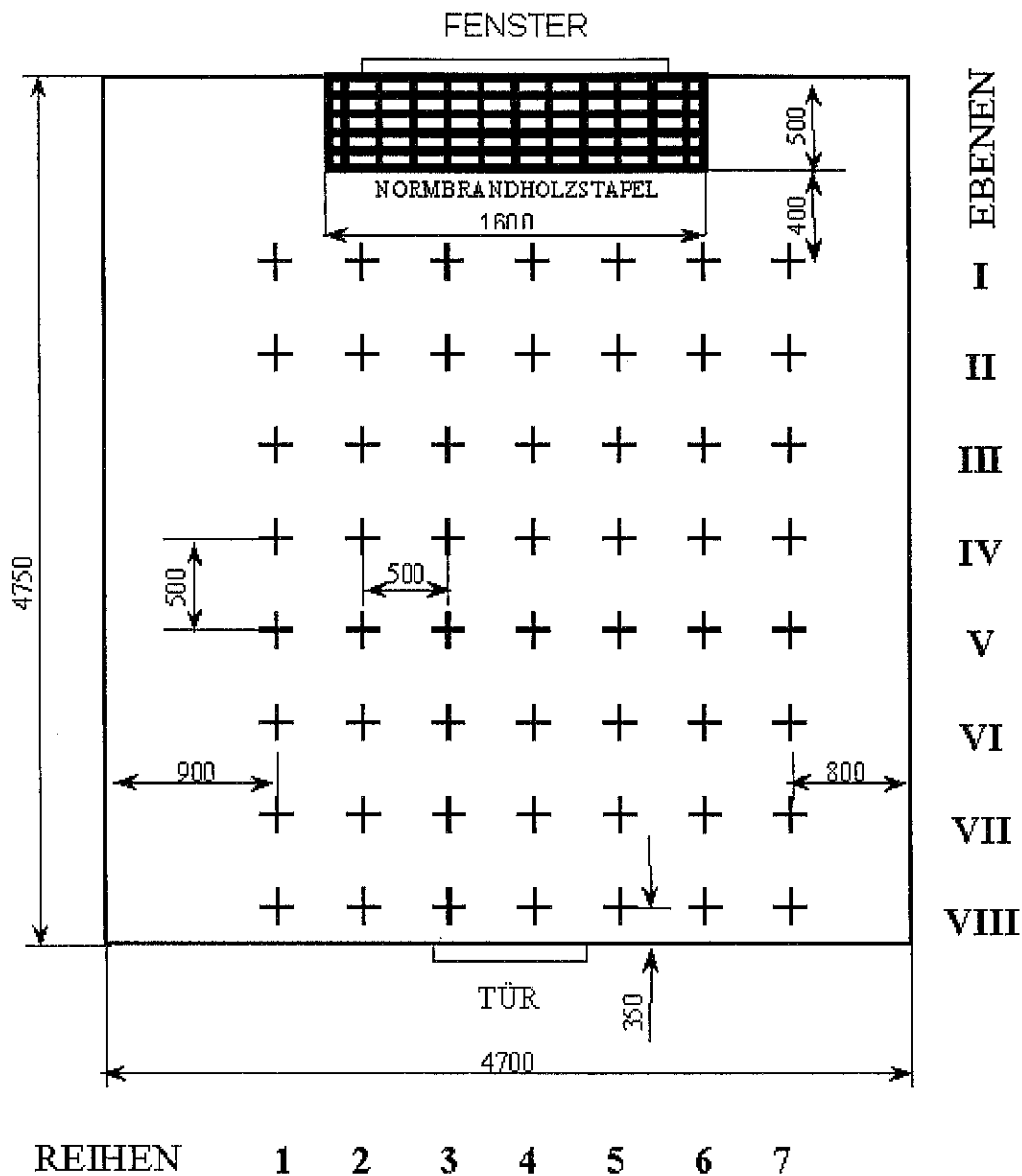


Bild 5: Anordnung der Messstellen im Brandhaus (Ebenendarstellung)

Insgesamt wurden acht Messebenen mit jeweils sieben Messreihen gebildet. Somit ergaben sich insgesamt 56 nach Bild 5 gleichmäßig über den Raum verteilte Messpunkte (Messkoordinaten). Jedem dieser Messpunkte wurden, verteilt über die Raumhöhe, jeweils 6 Messstellen zugeordnet. So ergaben sich je Messreihe insgesamt $8 \times 6 = 48$ und je Ebene insgesamt $7 \times 6 = 42$ Messstellen. Daraus resultiert dann eine Gesamtmesstellenanzahl von 336 in der Hotbox 3×4 m und im Brandraum des Brandhauses. Die Hotbox 3×2 m mit nur 4 Messebenen verfügt demzufolge über nur 168 Messstellen. Durch die acht parallel zur Wärmestrahlerwand verlaufenden Messebenen entstanden die sechs senkrecht zur Wärmestrahlerwand über die Raumhöhe verlaufenden Mess-Schichten A bis F. Anlage 13 enthält den Messstellenplan der Ebenen 1 bis 8, Anlage 14 den Messstellen-Schichtenplan der Schichten A bis F.

Anlage 8 zeigt die Anordnung der Messstellen in der Hotbox als Ebenendarstellung, in Anlage 10 bzw. im Bild 5 wird die Anordnung der Messstellen im Originalbrand-

raum des Brandhauses ebenfalls als Ebenendarstellung ausgewiesen. Zur Realisierung des vorgestellten Messrasters wurde für jede Messreihe eine Messkette mit in definierten Abständen daran befestigten Thermoelementen gefertigt. Die Thermoelemente selbst wurden zur Verhinderung des Einflusses der Wärme-

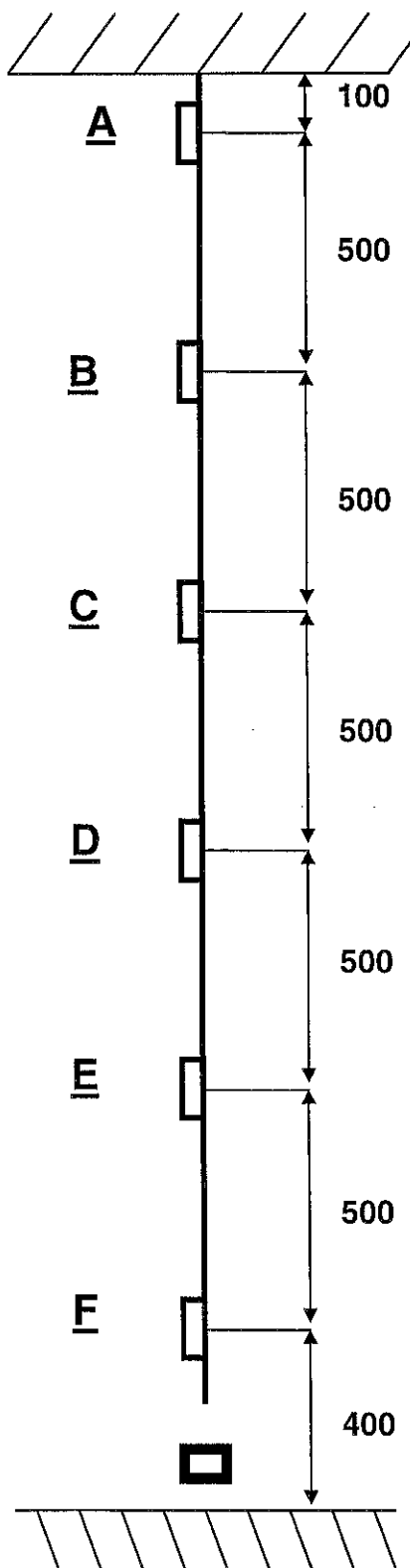


Bild 6: Messkette in der Hotbox

strahlung auf die Messergebnisse der jeweiligen Raumtemperatur allseitig abgeschirmt. Ein dem Ebenenmessraster entsprechendes Raster wurde an die jeweiligen Decken der Brandräume gezeichnet. An den Rasterschnittpunkten wurden Deckenhaken zur Aufnahme der Messketten angebracht. Aus Anlage 12 ist die Anordnung der abgeschirmten Thermoelemente an der Messkette für die Hotbox und den Originalbrandraum im Brandhaus ersichtlich. Bild 6 zeigt diese Anordnung am Beispiel einer Messkette in der Hotbox.

5 Abstimmung der Versuchsbedingungen zwischen Modellraum und Originalbrandraum

Bezüglich des Temperaturverhaltens der Hotbox mit integrierter und unter Volllast fahrender Wärmestrahlerwand lagen, außer den während der Voruntersuchung gewonnenen, noch keine Erkenntnisse vor. Um die für die Untersuchungen im Originalbrandraum des Brandhauses erforderlichen Parameter in Abhängigkeit von den dortigen örtlichen Bedingungen entsprechend einstellen und festlegen zu können, mussten zunächst die Untersuchungen in der Hotbox stattfinden. Dabei wurde grundsätzlich davon ausgegangen, dass die in der Hotbox unter Volllast der Wärmestrahlerwand realisierten Parameter auf jeden Fall im Originalbrandraum durch Variation der Parameter Brandlast und Lüftung nachzustellen bzw. anzupassen sind. Der umgekehrte Fall konnte ausgeschlossen werden. Im Abschnitt 8.1 wird die vorgenannte Anpassungsproblematik ausführlich dargelegt.

6 Messwernerfassung und -auswertung

Die von den Thermoelementen kommenden Messleitungen wurden mit einem Vielstellen – Messwernerfassungssystem, welches sich auf dem Mobilien Brandtechnischen Labor (MOBLAB) des IdF LSA befindet, gekoppelt. Die während der Untersuchungen gewonnenen Messwerte wurden

online zu diesem Messsystem übertragen und grafisch am Monitor des Messwernerfassungsrechners dargestellt. Die Auswertung der erfassten Rohdaten erfolgte

nach deren Konvertierung mit der grafischen Auswertesoftware DIA-DAGO und mit dem Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL.

7 Untersuchungen in der Hotbox

7.1 Nachweis der Eignung der Hotbox durch Vorversuche

Zunächst musste die Eignung der Hotbox für die vorgesehenen Untersuchungen mit hoher thermischer Belastung nachgewiesen werden. Deshalb wurden nach Aufbau der Hotbox, jedoch vor der Verplankung der Außenfassade mit Aluminiumplatten und vor der Belegung der Innenseite der Tür mit PROMAT® - Brandschutzplatten geeignete Vorversuche durchgeführt. Dazu wurden an ausgewählten Positionen innerhalb und außerhalb der Hotbox Thermoelemente angebracht, um so die zeitabhängig auftretenden Temperaturen an diesen Positionen bestimmen zu können. Untersucht wurden die Raumgrößen der Hotbox 3x4 m und 3x2 m.

Tabelle 1: Beispiele gemessener Temperaturen an ausgewählten Positionen der Hotbox der Größe 3x4 m bei Vorversuchen

<i>Temperaturmessung nach</i> <i>[min]</i>	<i>Aluprofil an der Tür (ungeschützt)</i> <i>[°C]</i>	<i>Aluprofil rechts neben der Tür (geschützt)</i> <i>[°C]</i>	<i>Türklinke außen</i> <i>[°C]</i>	<i>Glasscheibe Tür</i> <i>[°C]</i>
5	32	27	23,2	-
14	62,2	44,0	25,6	-
20	73,8	58,5	28,1	78,4
26	88,1	67,5	31,2	89,3
39	95,4	72,5	38,0	104,2

An weiteren Positionen wurden beispielsweise folgende Temperaturen gemessen:

Tabelle 2: Weitere Temperaturwerte im Ergebnis von Vorversuchen

<i>Position</i>	<i>Temperatur [°C]</i>	<i>gemessen nach [min]</i>
Luftspalt über der verschiebbaren Wand	198,6	29
Profil Oberkante verschiebbare Wand	117,1	28
Fachwerkweld rechts im Diagonalenmittelpunkt	58,0	26
	71,4	39
Luftspalt rechts neben Strahlerwand	92,0	27

In den Tabellen 1 und 2 werden die gemessenen Temperaturwerte ausgewiesen. Auf Grund der in den Vorversuchen gemessenen Temperaturen und der dadurch an einzelnen Positionen erkennbaren Wärmeverluste (siehe Bild 7), wurden an der Hotbox noch einige konstruktive Veränderungen vorgenommen.

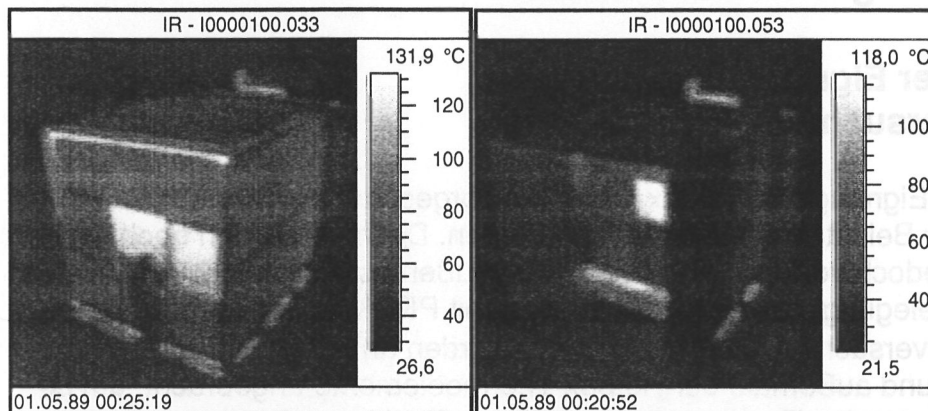


Bild 7: Thermografieaufnahmen der Hotbox während der Vorversuche (Raumgröße links 3x4 m, rechts 3x2 m)

Im Ergebnis der vorgenommenen konstruktiven Veränderungen konnte nachgewiesen werden, dass die Hotbox einer einstündigen thermischen Belastung, wie sie auch für die Hauptuntersuchungen vorgesehen war, standhält.

Aber nicht nur die thermische Stabilität der Hotbox wurde überprüft. Im Rahmen der Vorversuche wurde festgestellt, dass, insbesondere bei Inbetriebnahme der Wärmestrahlerwand über einen Zeitraum von bis zu einer Stunde, sich die Qualität der Luft in der Prüfhalle, in der die Hotbox aufgebaut war, offenbar wesentlich verschlechterte. Um eventuelle daraus resultierende gesundheitliche Schädigungen des Bedienpersonals feststellen zu können, ergab sich aus Gründen der Gewährleistung des Gesundheits- und Arbeitsschutzes das Erfordernis der Durchführung von Luftmessungen.

Zwei Aspekte sollten Berücksichtigung finden.

1. In erster Hinsicht sollte zeitabhängig der prozentuale Anteil von Kohlendioxid in der Luft und die zeitabhängige Entwicklung der Kohlenmonoxidkonzentration festgestellt werden.
2. Des Weiteren sollten die auf Grund der thermischen Einwirkung offenbar aus den PROMAT® - Brandschutzplatten freigesetzten Stoffe analysiert und bewertet werden.

Die Untersuchungen zu 1. wurden einmal ohne und danach mit zugeschalteten Deckenlüftern der Prüfhalle durchgeführt, um deren Einfluß auf die Qualität der Raumluft zu überprüfen. Die durchzuführenden Messungen wurden mit Gasanalysatoren der Firma Fisher-Rosemount, Typ BINOS 100 (für CO und CO₂), realisiert.

Die nachfolgende Tabelle 3 weist die Messergebnisse der Untersuchungen aus.

Tabelle 3: Messergebnisse der Luftanalysen

Deckenlüfter ausgeschaltet						Deckenlüfter eingeschaltet					
Zeit [min]	CO ₂ [%]	CO [ppm]	Zeit [min]	CO ₂ [%]	CO [ppm]	Zeit [min]	CO ₂ [%]	CO [ppm]	Zeit [min]	CO ₂ [%]	CO [ppm]
0	0,1	6	36	0,5	31	0	0,1	3	36	0,1	7
1	0,1	7	37	0,5	31	1	0,1	4	37	0,1	8
2	0,1	6	38	0,5	33	2	0,1	5	38	0,1	8
3	0,1	6	39	0,5	32	3	0,1	5	39	0,1	9
4	0,1	6	40	0,5	33	4	0,1	5	40	0,1	8
5	0,1	6	41	0,5	34	5	0,1	5	41	0,1	7
6	0,1	7	42	0,5	36	6	0,1	5	42	0,1	8
7	0,1	8	43	0,5	35	7	0,1	4	43	0,1	8
8	0,1	9	44	0,5	35	8	0,1	5	44	0,1	8
9	0,2	10	45	0,5	37	9	0,1	4	45	0,1	8
10	0,2	12	46	0,5	36	10	0,1	5	46	0,1	8
11	0,2	12	47	0,5	39	11	0,1	5	47	0,1	10
12	0,2	13	48	0,5	39	12	0,1	6	48	0,1	8
13	0,2	13	49	0,5	38	13	0,1	5	49	0,1	8
14	0,2	15	50	0,6	40	14	0,1	5	50	0,1	7
15	0,2	15	51	0,6	40	15	0,1	6	51	0,1	8
16	0,3	16	52	0,6	41	16	0,1	6	52	0,1	8
17	0,3	18	53	0,6	42	17	0,1	6	53	0,1	9
18	0,3	18	54	0,6	41	18	0,1	6	54	0,1	8
19	0,3	19	55	0,6	43	19	0,1	7	55	0,1	9
20	0,3	19	56	0,6	43	20	0,1	7	56	0,1	9
21	0,3	20	57	0,6	43	21	0,1	8	57	0,1	8
22	0,3	21	58	0,6	45	22	0,1	8	58	0,1	10
23	0,3	21	59	0,6	47	23	0,1	8	59 ⁵⁾	0,1	9
24	0,4	24	60	0,6	46	24	0,1	7	60 ⁵⁾	0,1	11
25	0,4	24	61	0,6	40	25	0,1	8	61 ⁵⁾	0,1	9
26	0,3	20	62 ¹⁾	0,7	56	26	0,1	7	62 ⁵⁾	0,1	9
27	0,4	24	63 ¹⁾	0,7	58	27	0,1	7	63 ⁶⁾	0,1	11
28	0,4	25	64 ¹⁾	0,7	60	28	0,1	7	64 ⁷⁾	0,1	10
29	0,4	27	65 ²⁾	0,7	51	29	0,1	8	65 ⁷⁾	0,1	12
30	0,4	25	66 ²⁾	0,5	38	30	0,1	10	66 ⁷⁾	0,1	10
31	0,4	28	67 ³⁾	0,5	41	31	0,1	9	67 ⁷⁾	0,1	8
32	0,4	26	68 ³⁾	0,9	125	32	0,1	8	68 ⁷⁾	0,1	8
33	0,4	29	69 ³⁾	0,5	50	33	0,1	7	69 ⁷⁾	0,1	8
34	0,4	28	70 ³⁾	0,5	36	34	0,1	8	70 ⁷⁾	0,1	7
35	0,4	29	71 ⁴⁾	0,2	13	35	0,1	8	71 ⁷⁾	0,1	7

Erläuterungen zu *) - Messorte
 - ohne *) - mittig vor Hotbox, 1600 mm Höhe
 1) Dach MOBLAB, 3500 mm Höhe
 2) in der Halle, 1600 mm Höhe
 3) Luftansaugung aus der Tür der Hotbox

4) nach Öffnung Hallentore und Einschalten Dachlüfter
 5) Tür Hotbox wird geöffnet
 6) Hallentore werden geöffnet
 7) Abschalten Lüfter Wärmestrahlerwand

Im Ergebnis dieser Untersuchungen konnte auf Grund der Messergebnisse eingeschätzt werden, dass ohne Zuschaltung der Deckenlüfter in der Versuchshalle die für Kohlenmonoxid mit 30 ppm und für Kohlendioxid mit 0,5 % festgelegten

kritischen MAK-Werte bereits nach 15 Minuten Betriebsdauer der Wärmestrahlerwand überschritten wurden. Daraus, und wegen eines nur geringfügigen Einflusses der Deckenlüfter auf die Ergebnisse der Temperaturmessungen im Bodenbereich der Hotbox, resultierte die Festlegung, dass sämtliche Untersuchungen nur mit zugeschalteten Deckenlüftern durchgeführt werden dürfen.

Für die Untersuchungen zu 2. wurden GC –MS – Messungen mit dem EM 640 durchgeführt. Proben wurden genommen auf dem Dach des MOBLAB in ca. 3,50 m Höhe und direkt vor der Hotbox in 1,60 m Höhe. Folgende Probenvolumina wurden genommen: mit Hand-Gasspürpumpe je 20 Hübe Luft, was einem Probenvolumen von 2 Liter entspricht, und je 50 Hübe Luft, was einem Probenvolumen von 5 Liter entspricht, sowie 10 Minuten Probenahme mit automatischer Pumpe auf TENAX-Adsorptionsröhrchen. Die Proben wurden unter Verwendung der Standard-Einsatz-Methode analysiert.

Als Hauptbestandteile konnten identifiziert werden:

Acetophenon, Benzoesäure, Toluol, Benzaldehyd, 2-Butoxy-ethanol, Dimethylbenzol und Dibutyl-phthalat.

Anhand der Flächenintegrale und durch Vergleiche mit Internen Standards können die aufgetretenen Mengen dieser Stoffe als sehr gering angesehen werden. Zudem konnte nicht ausgeschlossen werden, dass es sich hier um Stoffe handelt, die bereits durch andere in der Prüfhalle stattgefundene Versuche in die Umgebungsluft ausgetragen wurden (Blindprobe mit nicht kontaminierter Luft konnte nicht durchgeführt werden). Da die genannten Stoffe einen sehr hohen bzw. keinen MAK-Wert haben, konnte davon ausgegangen werden, dass, ableitend aus den durchgeführten Analysen, keine akute Gefährdung für das Bedienpersonal vorliegt. Vermutlich handelt es sich bei den identifizierten Stoffen um Ausdünstungen der PROMAT® - Brandschutzplatten, da es sich bei den nachgewiesenen Substanzen vorwiegend um Bestandteile von Lacken/Farben, Klebstoffen und Lösemitteln handelt.

7.2 Versuchsablauf

Die Untersuchungen wurden in der Hotbox der Größe 3x4 m sowie in der Hotbox der Größe 3x2 m durchgeführt.

Die Versuchsabläufe gestalteten sich bei beiden Varianten wie folgt:

Da die normalerweise erforderliche gleichzeitige Erfassung der Temperaturen an insgesamt 336 Messstellen bei der Raumgröße 3x4 m und an 168 Messstellen bei der Raumgröße 3x2 m wegen der Begrenztheit der Erfassungskapazität des zur Anwendung gelangenden Messwerterfassungssystems nicht möglich und aus Kostengründen auch nicht sinnvoll war, wurde eine ebenenbezogene Erfassung der Temperaturen realisiert. Das bedeutet, dass jede der insgesamt 8 Ebenen im großen Raum und jede der 4 Ebenen im kleinen Raum separat vermessen wurde. Nachdem sich durch die Vorversuche gezeigt hatte, dass nach einem über eine Stunde dauernden Versuch die Maximaltemperaturen an den Messstellen erreicht wurden und dass nach dieser Zeit keine weiteren Temperaturerhöhungen an den Messstellen auftraten, wurde die jeweilige Versuchszeit mit einer Stunde festgelegt. Hintergrund dieser Festlegung war, in der Hotbox mittels der zur Aufheizung des Raumes zur Anwendung gelangenden Wärmestrahlerwand die maximal möglichen Temperaturen zu erreichen.

Für jede der insgesamt 12 (8+4) in der Hotbox zu vermessenden Ebenen war es erforderlich, vor jeder Ebenenvermessung im Raum das gleiche

Ausgangstemperaturniveau herzustellen. Das bedeutet, dass nach jedem Versuch die Hotbox auf das Ausgangstemperaturniveau herunterzukühlen war. Das Herunterkühlen wurde beschleunigt durch eine Zwangsbelüftung der Hotbox mittels eines Gebläses (siehe Anlage 15, Bild 9). Dabei dienten die in der Hotbox von der vorhergehenden Messung noch in der Ebene hängenden Thermoelemente als Referenzmessstellen. Erst wenn diese die vor Versuchsbeginn gemessene Raumtemperatur auswiesen, konnten der Kühlprozess abgebrochen und die Messketten in die nächste zu vermessende Ebene umgehängt werden, um sodann die nächste Ebene vermessen zu können.

Den somit für die Untersuchungen in der Hotbox benötigten Zeitfonds weist Tabelle 4 aus.

Tabelle 4: Zeitaufwand für Untersuchungen in der Hotbox

	Hotbox 3x4 m		Hotbox 3x2 m		Summe
	8 Ebenen Aufheizung	7 Ebenen Abkühlung	4 Ebenen Aufheizung	3 Ebenen Abkühlung	
Aufheizdauer in Stunden (je Ebene 1 Stunde)	8	-	4	-	12
Abkühldauer in Stunden (je Ebene 2 Stunden)	-	14	-	6	20
GESAMT					32

Zum Nachweis reproduzierbarer Versuchsbedingungen wurde je Ebenenvermessung eine gesonderte Messkette in einer in Bezug auf die Wärmestrahlwand immer gleichen Position belassen. So konnte durch Vergleich der bei jeder Messung an den Thermoelementen der Messkette auftretenden Temperaturen auf reproduzierbare Verhältnisse geschlossen werden.

Nachfolgend sollen die in der Hotbox erzielten Untersuchungsergebnisse dargelegt werden. Erläuternd dazu folgender Hinweis.

Die gewonnenen Messergebnisse lassen eine Vielzahl von Auswertemöglichkeiten zu. So könnten beispielsweise die Ergebnisse der Messungen in Abhängigkeit von der Raumgröße gesondert für jede Reihe, jede Ebene oder jede Schicht zu beliebigen Zeitpunkten der Versuchsdurchführung und in jeder Form dargestellt werden. Das hätte jedoch zur Folge, dass der Auswertumfang doch erheblich wäre und mit Sicht auf die angestrebten Vergleichsuntersuchungen Hotbox – Brandhaus sicher auch Auswertungen vorgenommen werden würden, die unter diesem Aspekt möglicherweise gar nicht relevant wären. So erschien es sinnvoll, an dieser Stelle ausschließlich auf die Untersuchungsergebnisse zu verweisen, die in Relation zu denen im Brandhaus stehen, um letztlich relevante Aussagen in Bezug auf die angestrebte Zielstellung des Forschungsvorhabens treffen zu können.

Diese Verfahrensweise setzte natürlich zunächst eine umfassende Analyse aller Untersuchungsergebnisse, sowohl der durch Untersuchungen in der Hotbox als auch der im Brandhaus gewonnenen voraus. Das Ergebnis der Analyse in Form der hotboxbezogenen Messergebnisse, wird nachfolgend aufgezeigt.

7.3 Untersuchungsergebnisse Hotbox 3x4 m

In Tabelle 5 wird ausgewiesen, nach welchen Gesichtspunkten und in welcher Form die Auswertung der Messergebnisse in der Hotbox 3x4 m erfolgte und welche Anlage die Ergebnisse in der entsprechenden Form enthält. Als Formen der Darstellung der Ergebnisse wurden gewählt:

- 3 D – Darstellung des Temperaturprofiles
- Projektion der 3 D – Darstellung auf die Ebene
- Tabellarische Darstellung der Messwerte (interpoliert) oder Listing

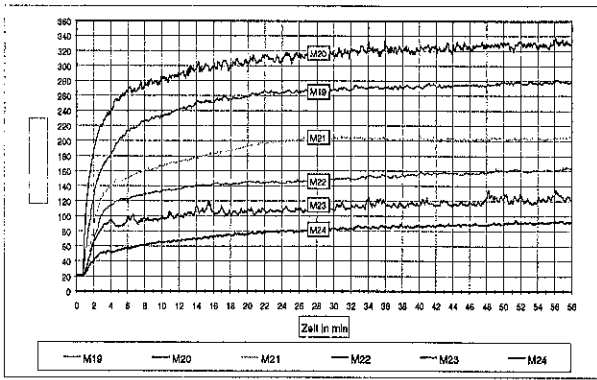
Beispielhaft werden die zwei erstgenannten Darstellungsformen in den Bildern 9 und 10 gezeigt.

Tabelle 5: Hotbox 3x4 m - Vorgenommene Auswertungen der Messergebnisse

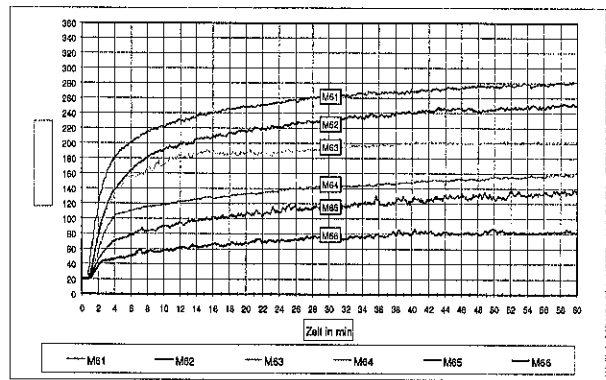
Darstellung	Zeitpunkte	Form der Darstellung	Anlage	
HOTBOX 3x4 m				
Ebene	2	25. Minute	3 D - Darstellung Projektion	1.1
			Listing	1.1.1
	4	40. Minute	3 D Projektion	1.2
			Listing	1.2.1
	6	40. Minute	3 D Projektion	1.3
Listing			1.3.1	
Schicht	C	40. Minute	3 D Projektion	1.4
			Listing	1.4.1
Reihe 4	über die Schichten A bis F	40. Minute	Projektion	1.5
			Listing	1.5.1
Zeitlicher Verlauf	Ebene 4	nach 0, 10, 30, 50 Minuten	Projektion	1.6
	Schicht C	nach 0, 10, 30, 50 Minuten	3 D	1.7

In Anlage 4 werden die Maximalwerte gemessener Temperaturen an den Messstellen der Ebenen (zeitunabhängig) grafisch dargestellt. Gleichzeitig werden dort die Messstellen und deren Orte, wo diese Maximaltemperaturen auftraten, in den einzelnen Ebenen ausgewiesen. Die gemessene Maximaltemperatur aller Ebenen wurde in Ebene 1 an Messstelle 20 mit 338,54 °C gemessen.

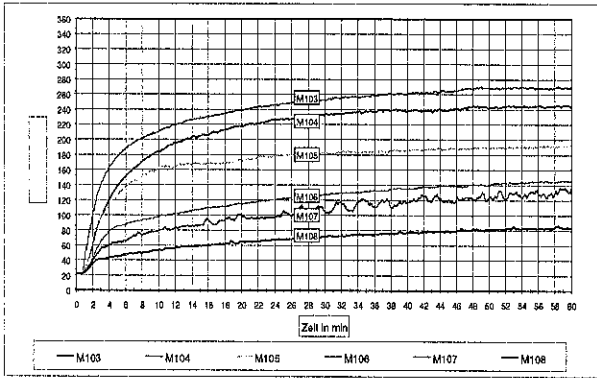
Für die mittig zur Wärmestrahlerwand gelegene Reihe 4 werden die Ergebnisse der Temperaturmessung in der Hotbox 3x4 m an den Messstellen der einzelnen Ebenen in Bild 8 dargestellt.



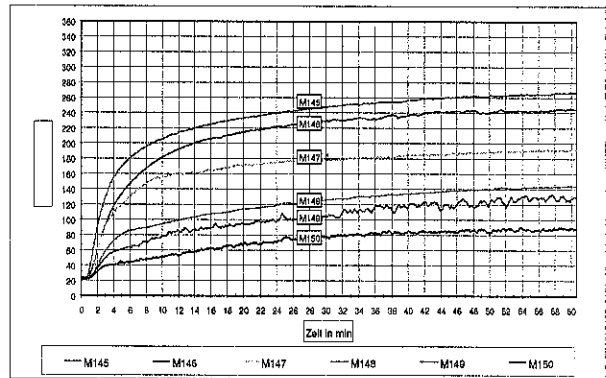
EBENE 1



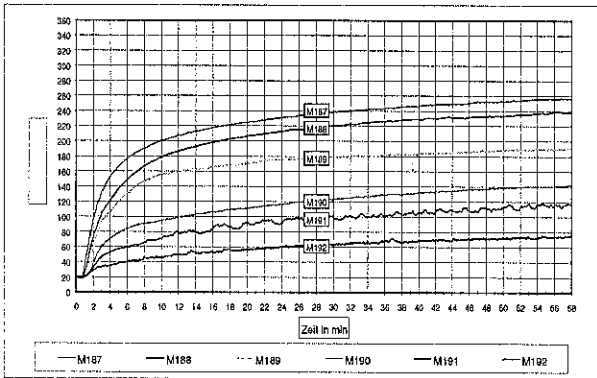
EBENE 2



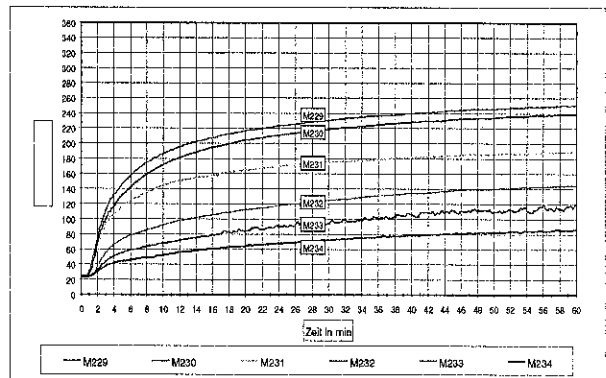
EBENE 3



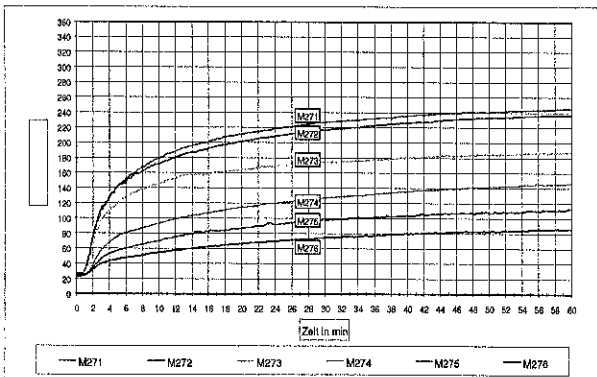
EBENE 4



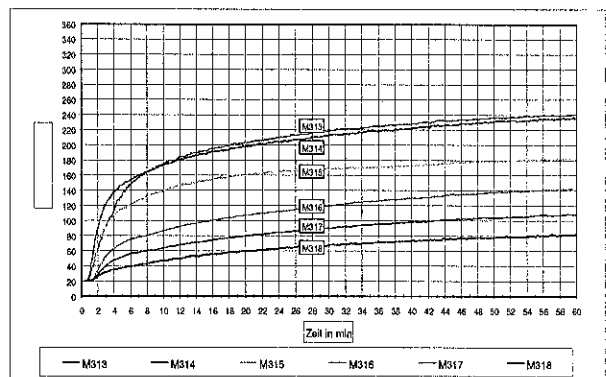
EBENE 5



EBENE 6



EBENE 7



EBENE 8

Bild 8: Temperaturverlauf an den Messstellen - Hotbox 3x4 m – Reihe 4

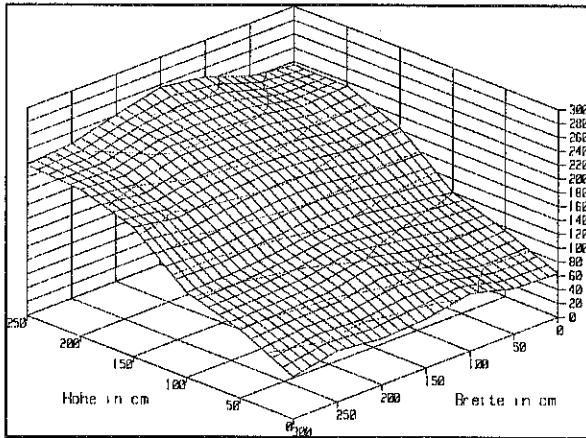


Bild 9: 3 D - Darstellung

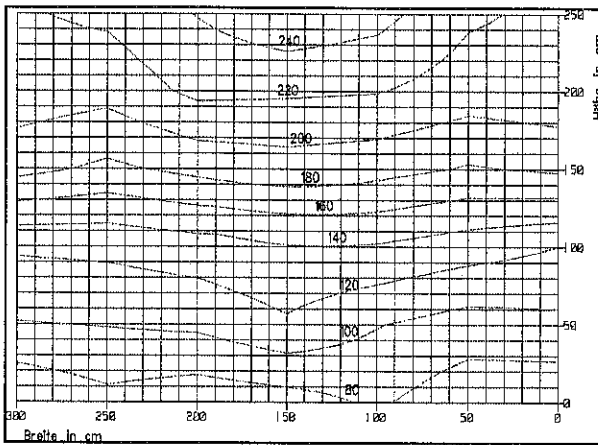


Bild 10: Projektion der 3 D – Darstellung

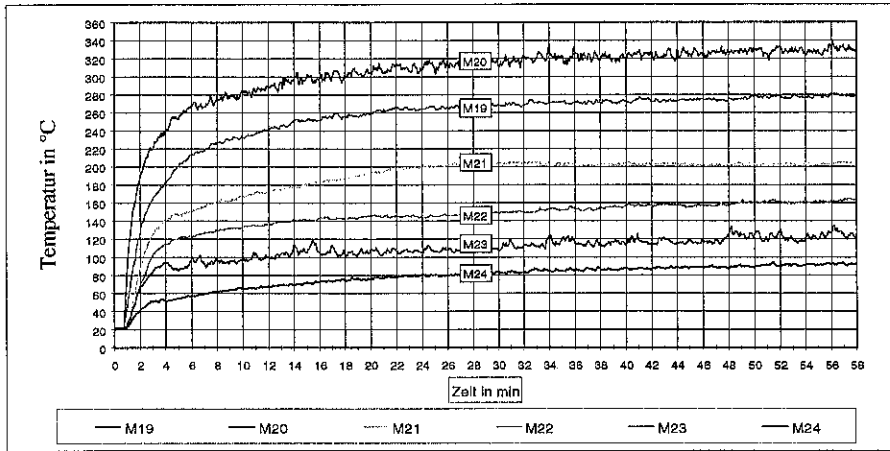
7.4 Untersuchungsergebnisse Hotbox 3x2 m

In Tabelle 6 wird ausgewiesen, nach welchen Gesichtspunkten und in welcher Form die Auswertung der Messergebnisse in der Hotbox 3x2 m erfolgte und welche Anlage die Ergebnisse in der entsprechenden Form enthält. Die Darstellungsformen entsprechen denen nach Abschnitt 7.3.

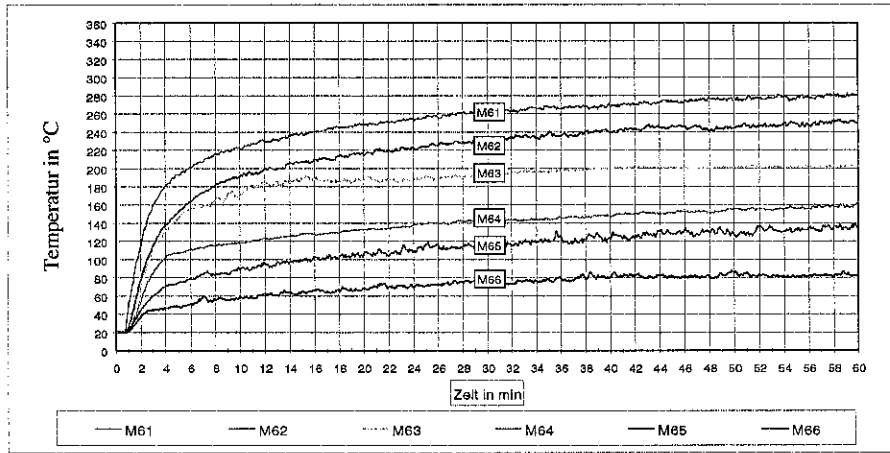
Tabelle 6: Hotbox 3x2 m - Vorgenommene Auswertungen der Messergebnisse

Darstellung	Zeitpunkte	Form der Darstellung	Anlage
HOTBOX 3x2 m			
Ebene	2	30. Minute	3 D - Darstellung Projektion
			Listing
	4	40. Minute	3 D Projektion
			Listing
Schicht	C	40. Minute	3 D Projektion
			Listing
Reihe 4	über die Schichten A bis F	40. Minute	Projektion
			Listing
Zeitlicher Verlauf	Ebene 4	nach 0, 10, 30, 50 Minuten	Projektion
	Schicht C	nach 0, 10, 30, 50 Minuten	3 D

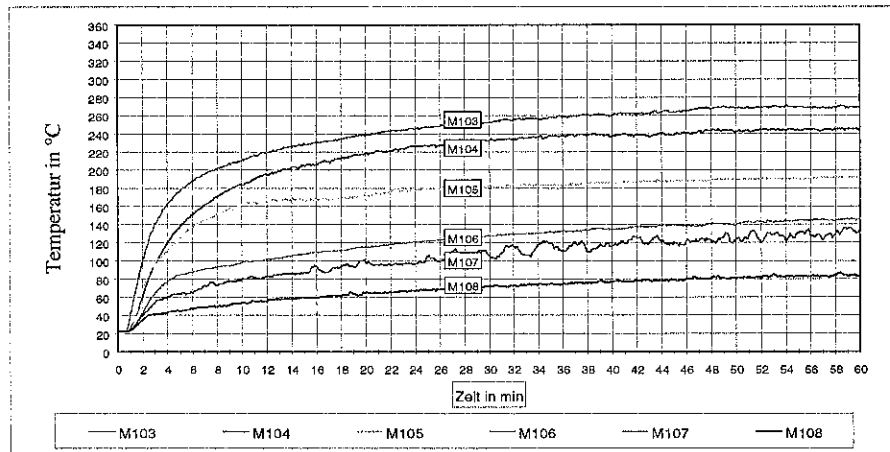
In Anlage 5 werden die Maximalwerte gemessener Temperaturen an den Messstellen der Ebenen (zeitunabhängig) grafisch dargestellt. Gleichzeitig werden dort die Messstellen und deren Orte, wo diese Maximaltemperaturen auftraten, in den einzelnen Ebenen ausgewiesen. Die gemessene Maximaltemperatur aller Ebenen wurde auch hier in Ebene 1 an Messstelle 20 mit 334,94 °C gemessen. Für die mittig zur Wärmestrahlerwand gelegene Reihe 4 werden die Ergebnisse der Temperaturmessung in der Hotbox 3x2 m an den Messstellen der einzelnen Ebenen in Bild 11 dargestellt.



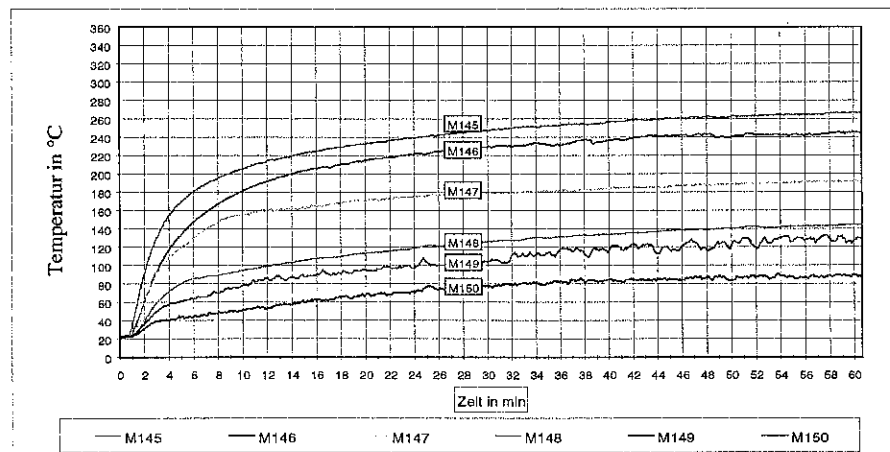
EBENE 1



EBENE 2



EBENE 3



EBENE 4

Bild 11: Temperaturverlauf an den Messstellen - Hotbox 3x2 m – Reihe

8 Untersuchungen im Originalbrandraum des Brandhauses

8.1 Vorversuche im Originalbrandraum

Zielstellung der Vorversuche im Originalbrandraum war es, auf der Grundlage der bekannten Messergebnisse aus den Untersuchungen in der Hotbox, analoge Verhältnisse im Originalbrandraum zu realisieren. Im Idealfall würde das beispielsweise bedeuten, dass in Analogie zu den Temperaturverhältnissen in der Hotbox 3 x4 m, an den an gleicher Position im Originalbrandraum sich befindenden Messstellen auch die gleichen Temperaturen zu gleichen Zeiten gemessen werden. Damit wäre eine 100-prozentige Übertragbarkeit der Verhältnisse gegeben. Da dieses jedoch nicht sehr wahrscheinlich war, galt es zu überprüfen, ob es sich zumindest einrichten läßt, an bestimmten Messstellen, die beispielsweise besonders relevant sind für Untersuchungen zur thermischen Belastung von persönlicher Schutzausrüstung, ein thermisches Gleichmaß der Bedingungen herzustellen. Um ein thermisches Äquivalent zwischen einem Originalbrand und einem „simulierten Brand“, gegeben durch die Bedingungen in der Hotbox, herzustellen, mussten die dieses Äquivalent bestimmenden Parameter ermittelt werden. Diese Parameterbestimmung lief auf eine Optimierung der Höhe der Brandlast und der Lüftungsbedingungen im Originalbrandraum hinaus.

Festgelegt wurde, dass die Brandlast realisiert werden sollte durch Normbrandholz, was den Vorteil mit sich brachte, die Brandlast durch einfache Wegnahme oder das Hinzulegen einzelner Lagen des Normbrandholzstapels variieren zu können. In Analogie zur Hotbox, wo die den Brand simulierende Wärmestrahlerwand (imaginäre Flammenfront) in eine Stirnwand des Raumes integriert war, wurde der Normbrandholzstapel auch an der Stirnseite des Originalbrandraumes direkt unterhalb und mittig der Abluftöffnung platziert. Die Breite des Normbrandholzstapels entsprach genau der Breite der Wärmestrahlerwand, so dass davon ausgegangen werden konnte, dass das Flächenmaß der sich einstellenden Flammenfront beim Abbrand des Normbrandholzstapels dem der Gesamtfläche der Wärmestrahlerwand entsprach. Die Vorderkante des Normbrandholzstapels stellte, ebenso wie die Oberfläche der Wärmestrahlerwand, das Bezugsmaß für die Installation der Messketten im vorgegebenen Messraster dar. Für die Regulierung und letztlich Optimierung der Lüftungsbedingungen im Originalbrandraum standen einerseits die Türöffnung des Raumes als Zuluftöffnung, andererseits die Fensteröffnung als Abluftöffnung zur Verfügung. Beide Öffnungen wurden zur Variierung und Fixierung ihrer Öffnungsfläche mit jeweils zwei gegenseitig verschiebbaren und arretierbaren Durasteel-Platten versehen. Zu- und Abluftöffnung standen sich, höhenversetzt, parallel gegenüber (siehe Anlage 11).

Zur Erfassung der Temperaturen während der Untersuchungen zur Optimierung der Bedingungen im Brandraum wurden die Messketten in Ebene 4 gehängt. Diese Ebene wurde gewählt, weil ihr Abstand von 1,9 m zur beim Brand entstehenden Flammenfront vordergründig relevant ist für eine Vielzahl von Untersuchungen, die im Brandhaus durchgeführt werden. Deshalb galt es also insbesondere in dieser Ebene die Raumbrandbedingungen zu realisieren, die denen in der Hotbox realisierten ähnelten.

Durch insgesamt sechs Vorversuche, bei denen eine unterschiedliche Anzahl Lagen von Normbrandholz unter Variierung der Zuluftöffnungsfläche und der Menge des zur Entzündung des Normbrandholzstapels erforderlichen Siedegrenzenbenzins zur

Anwendung kamen, konnten im Ergebnis der Vorversuche folgende Parameter für die durchzuführenden Vergleichsversuche ermittelt werden:

- Anzahl der Lagen des Normbrandholzstapels = 6

Die Holzstäbe der jeweils zum Einsatz gelangten Normbrandholzstapel bestanden, wie nach DIN EN 3, Teil 1 vorgeschrieben, aus pinus silvestris (Kiefer) mit einem Querschnitt (39 ± 2) mm, Oberflächen gesägt. Der Feuchtegehalt lag im Bereich 10 bis 15 %. In Bild 12 ist der für die Vergleichsuntersuchungen verwendete Normbrandholzstapel dargestellt. Auf die diesen Normbrandholzstapel kennzeichnenden Parameter wird verwiesen. Unter Zugrundelegung einer Abbrandrate von $0,67 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ ergibt sich eine rechnerische Branddauer des Normbrandholzstapels von 7,23 Minuten.

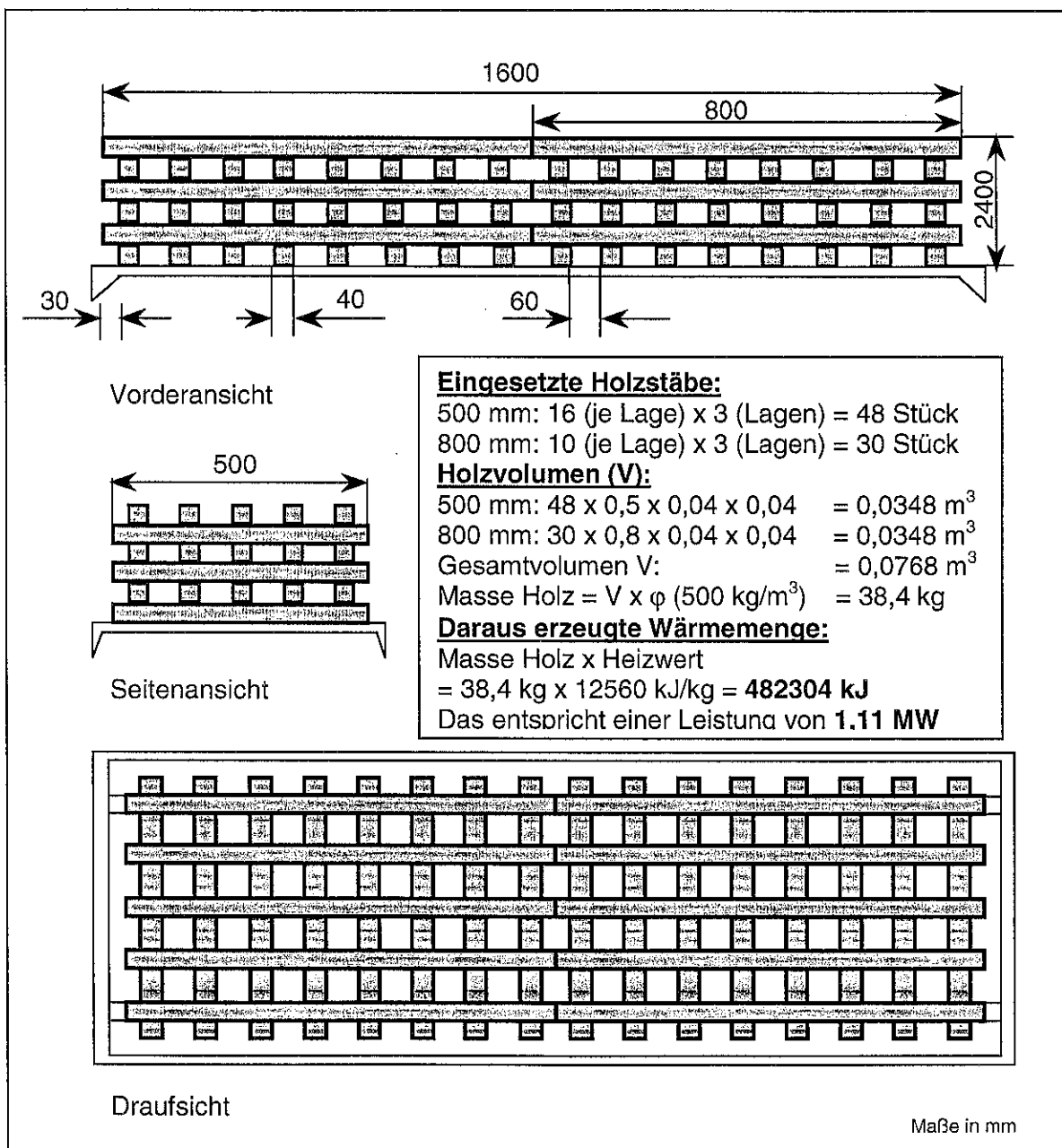


Bild 12: Ansichten Normbrandholzstapel

- Menge Siedegrenzenbenzin für Entzündung des Normbrandholzstapels = 2 Liter (verteilt zu jeweils 0,5 Liter in 4 Brandwannen, die gleichmäßig verteilt unterhalb des Gestells, auf dem das Normbrandholz aufgelegt war, aufgestellt waren)
- Größe der Abluftöffnung: 1740 x 300 mm = 0,522 m²
- Größe der Zuluftöffnung: 830 x 150 mm = 0,125 m²

Die Fläche der Abluftöffnung entspricht demzufolge der 4,2fachen Zuluftöffnung. Die während der Untersuchungen im Bereich der Zuluftöffnung gemessenen Luftgeschwindigkeiten lagen unter den genannten Bedingungen im Mittel bei 2,4 m/s.

Der Vergleich der erzeugten Wärmemenge bzw. Leistung zwischen Wärmestrahlerwand und Normbrandholzstapel ergibt folgendes Bild:

Bezogen auf den Zeitraum der vollständigen Verbrennung des Normbrandholzstapels von 7,23 min erzeugt der Normbrandholzstapel mit 482304 kJ eine ca. 45 fach größere Wärmemenge als die Wärmestrahlerwand (Berechnungsbasis 240 kW nach Herstellerangabe) mit 10625 kJ. Zur Erzeugung der gleichen Wärmemenge wie die des Normbrandholzstapels müsste die Wärmestrahlerwand ca. 0,5 Stunden unter Vollast in Betrieb sein. Da die Versuche in der Hotbox über einen Zeitraum von 1 Stunde geführt wurden, kann demzufolge davon ausgegangen werden, dass über diesen Zeitraum im Vergleich zum Normbrandholzstapel die doppelte Wärmemenge durch die Wärmestrahlerwand freigesetzt wurde. Auf Grund der vergleichsweise geringen Wärmefreisetzungsrates der Wärmestrahlerwand waren deshalb auch die unterschiedlichen Versuchszeiten erforderlich, um überhaupt zu vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen. Das erklärt auch die im Abschnitt 8 ausgewiesenen Zeitverschiebungen der vergleichbaren Messergebnisse zwischen Originalbrand im Brandraum des Brandhauses und der Hotbox.

8.2 Versuchsablauf

Insgesamt wurde für jede im Brandraum zu vermessende Ebene ein Versuch durchgeführt. Somit wurden insgesamt acht Versuche bzw. Untersuchungen durchgeführt. Für jeden Versuch wurde der in den Vorversuchen und im Abschnitt 8.1 dargelegte Versuchsaufbau realisiert. Zur Erlangung reproduzierbarer Messergebnisse musste gewährleistet werden, dass nach jedem Versuch die Ausgangstemperaturbedingungen im Brandraum immer die gleichen waren. Das bedeutete, dass immer nur ein Versuch pro Tag stattfinden konnte, um die erforderliche Abkühlung des Brandraumes auf den Ausgangszustand realisieren zu können. So dauerte die Versuchsreihe insgesamt acht Tage.

Der Versuchsablauf selbst gestaltete sich wie folgt:

Das sich unter dem Normbrandholzstapel in den Brandwannen befindende Siedegrenzenbenzin wurde gezündet. Mit der Zündung erfolgte die Zeitnahme und das Starten der Messwerterfassung. Die Türöffnung des Brandraumes wurde mit den dafür vorgesehenen Durasteel - Platten mit definierter Zuluftöffnung verschlossen. Die Versuchsdauer pro Versuch wurde mit 20 Minuten festgelegt.

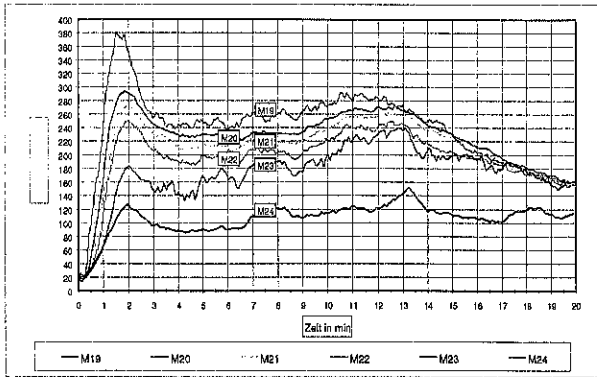
8.3 Untersuchungsergebnisse Originalbrandraum

In Tabelle 7 wird ausgewiesen, nach welchen Gesichtspunkten und in welcher Form die Auswertung der Messergebnisse im Brandhaus erfolgte und welche Anlage die Ergebnisse in der entsprechenden Form enthält. Die Darstellungsformen entsprechen denen nach Abschnitt 7.3.

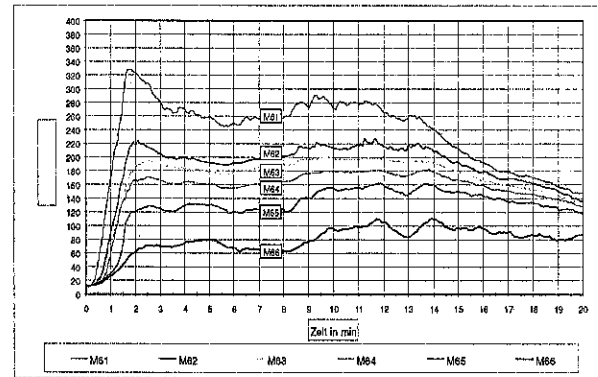
Tabelle 7: Brandhaus - Vorgenommene Auswertungen der Messergebnisse

Darstellung	Zeitpunkte	Form der Darstellung	Anlage	
Brandhaus				
Ebene	2	8. Minute	3 D - Darstellung Projektion	3.1
			Listing	3.1.1
	4	8. Minute	3 D Projektion	3.2
			Listing	3.2.1
	6	10. Minute	3 D Projektion	3.3
			Listing	3.3.1
Schicht	C	8. Minute	3 D Projektion	3.4
			Listing	3.4.1
Reihe 4	über die Schichten A bis F	8. Minute	Projektion	3.5
			Listing	3.5.1
Zeitlicher Verlauf	Ebene 4	nach 0, 6, 10, 14 Minuten	Projektion	3.6
	Schicht C	nach 0, 6, 10, 14 Minuten	3 D	3.7

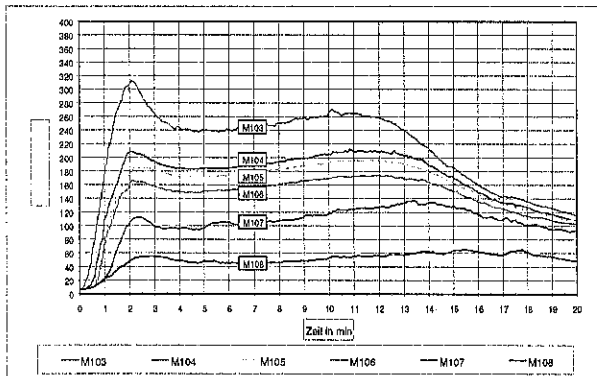
In Anlage 6 werden die Maximalwerte gemessener Temperaturen an den Messstellen der Ebenen (zeitunabhängig) grafisch dargestellt. Gleichzeitig werden dort die Messstellen und deren Orte, wo diese Maximaltemperaturen auftraten, in den einzelnen Ebenen ausgewiesen. Die gemessene Maximaltemperatur aller Ebenen wurde hier in Ebene 2 an Messstelle 67 mit 383,41 °C gemessen. Für die mittig zur Flammenfront gelegene Reihe 4 werden die Ergebnisse der Raumtemperaturmessung an den Messstellen der einzelnen Ebenen in Bild 13 dargestellt.



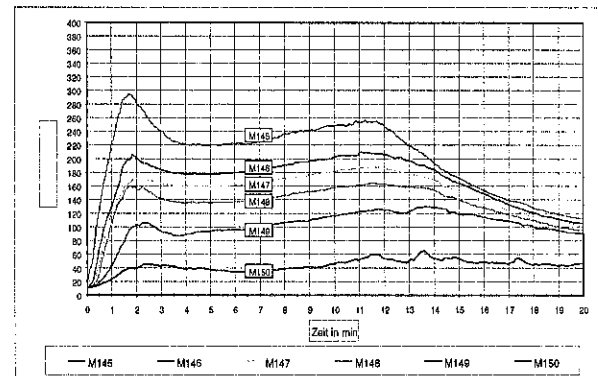
EBENE 1



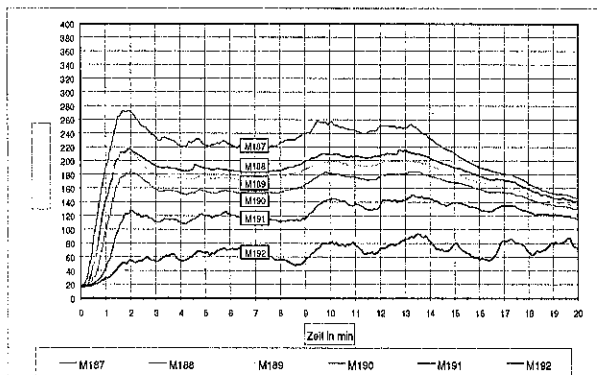
EBENE 2



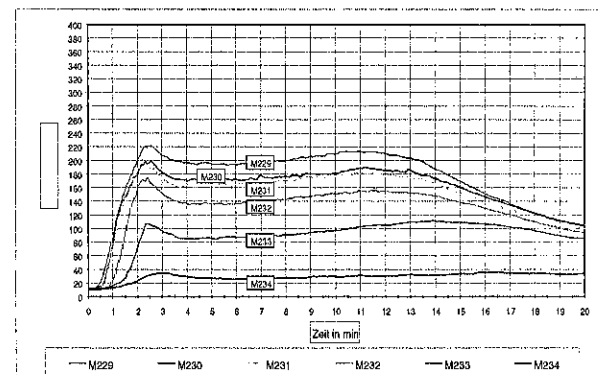
EBENE 3



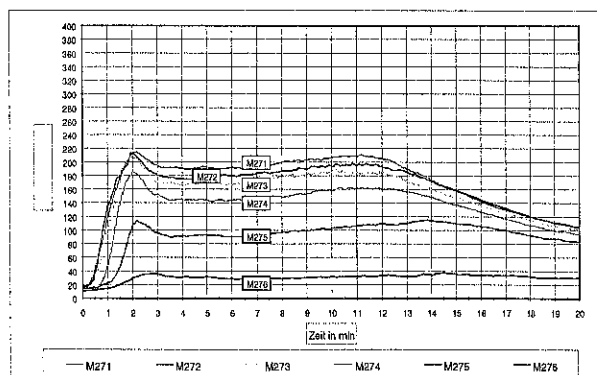
EBENE 4



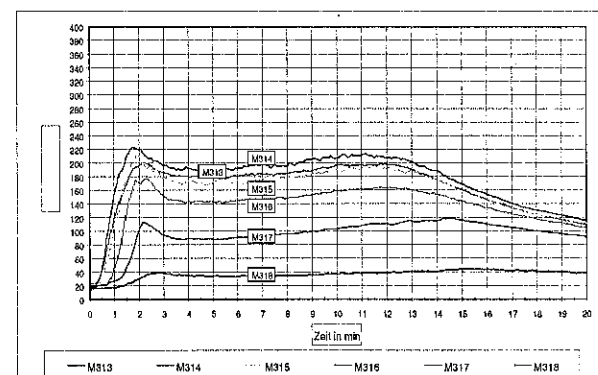
EBENE 5



EBENE 6



EBENE 7



EBENE 8

Bild 13: Temperaturverlauf an den Messstellen - Brandhaus – Reihe 4

9 Versuchsauswertungen und Bewertung der Ergebnisse

Nachfolgend soll durch Gegenüberstellung der in der Hotbox und im Brandraum des Brandhauses ermittelten räumlichen Temperaturprofile der Nachweis einer möglichen Übertragung der thermischen Verhältnisse im Brandraum auf die in der Hotbox erbracht werden.

Obwohl bei der Messung der jeweiligen Raumtemperaturen bewusst der Einfluss der Wärmestrahlung durch die Flammen bzw. die Wärmestrahlerwand auf die die Temperatur messenden Thermoelemente durch Abschirmung unterbunden wurde, ist natürlich die Wärmestrahlung mit verantwortlich für die Aufheizung der jeweiligen Räume und lässt demzufolge diesbezügliche Rückschlüsse zu. Deshalb sei den Versuchsauswertungen eine quantitative Gegenüberstellung des zeitabhängig auftretenden Anteils an Wärmestrahlung in der Hotbox 3x4 m (am Beispiel einer Messung) und im Brandraum des Brandhauses während der Vermessung aller Ebenen vorangestellt. Die Wärmestrahlung wurde mittels eines Radiometers gemessen. Im Brandhaus kam das Radiometer mit der Ser.-Nr. 92581 (Umrechnungsfaktor in $W \cdot cm^{-2} = 1,129$), in der Hotbox das Radiometer mit der Ser.-Nr. 97802 (Umrechnungsfaktor in $W \cdot cm^{-2} = 0,226$) zum Einsatz.

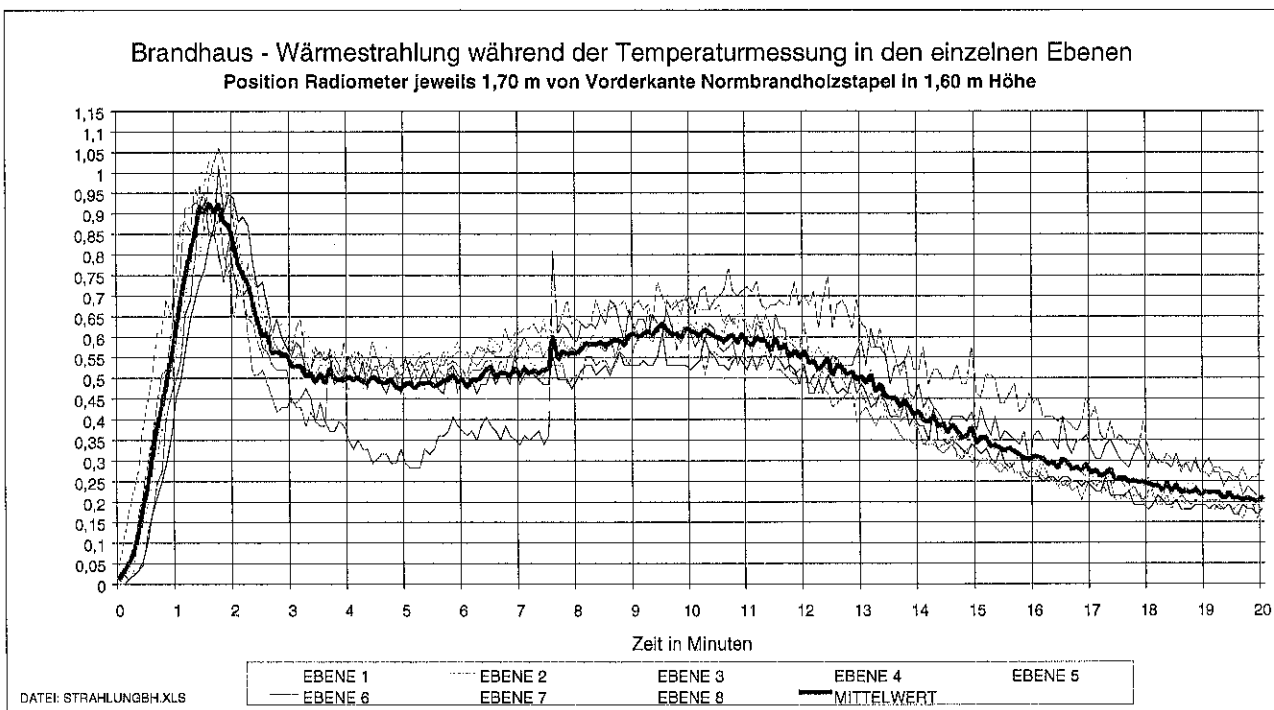


Bild 14: Wärmestrahlung im Brandraum des Brandhauses

Bild 14 zeigt die zeitabhängige Darstellung der Wärmestrahlung im Brandraum des Brandhauses über den gesamten Untersuchungszeitraum. Deutlich ist hier die in den ersten zwei Minuten nach Zündung des Stützfeuers mittels Siedegrenzenbenzin auftretende hohe Strahlungsintensität mit ca. $1 W \cdot cm^{-2}$ erkennbar, die nach zwei weiteren Minuten auf den ungefähr halben Wert abgesunken ist, der dann ca. drei Minuten konstant bleibt. Danach entwickelt sich der Brand des Normbrandholzstapels zum Vollbrand mit einem während der Brandzeit des Stapels von ca. sieben Minuten auftretenden Maximum an Wärmestrahlungsintensität von ca. $0,6 W \cdot cm^{-2}$.

Die danach kontinuierlich geringer werdende Wärmestrahlungsintensität resultiert aus der Strahlung der Glut des Brandgutes und den Wänden des Brandraumes.

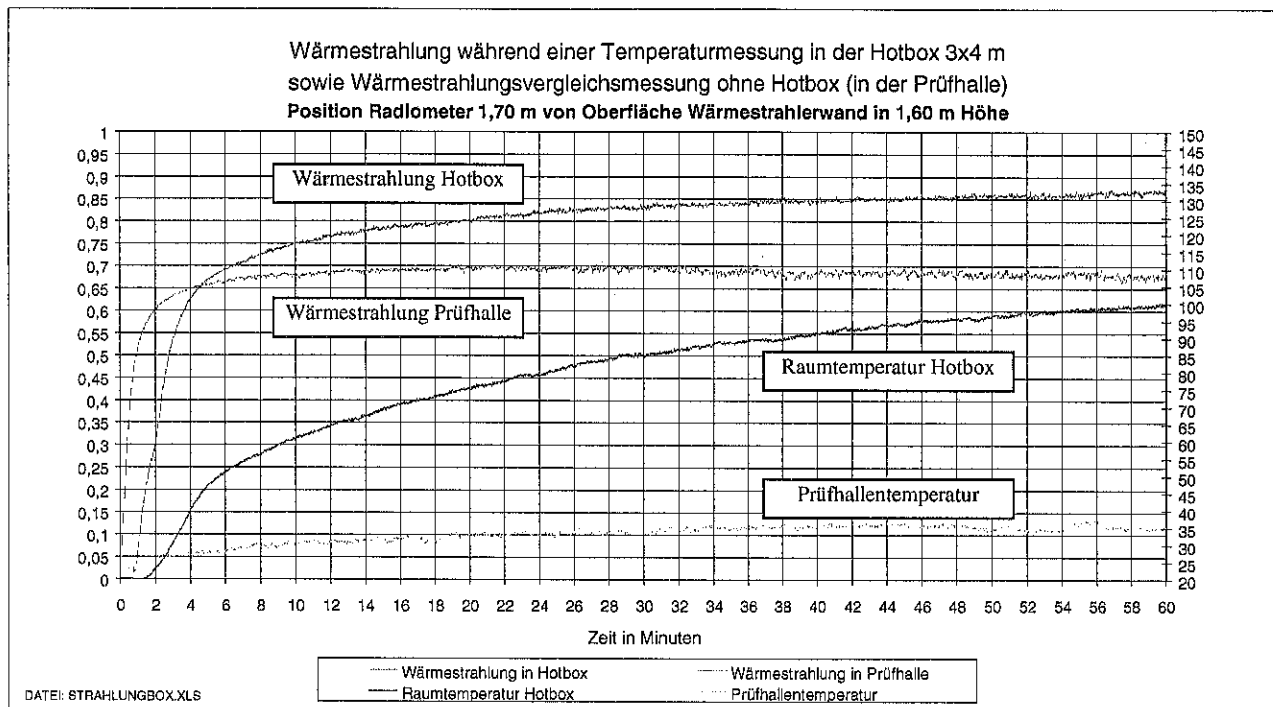


Bild 15: Wärmestrahlung in der Hotbox 3x4 m

Durch Bild 15 wird die zeitabhängige Darstellung der Wärmestrahlung in der Hotbox 3x4 m über einen gesamten Untersuchungszeitraum aufgezeigt. Um den Einfluss der räumlichen Umhausung durch die Hotbox auf die Wärmestrahlungswerte nachzuweisen, wurde, bei sonst gleichen Bedingungen, die Wärmestrahlung auch ohne Hotbox am frei in der Prüfhalle stehenden Radiometer gemessen. Der Kurvenverlauf der Messwerte unter Verwendung der Hotbox weist hier, gegenüber der Darstellung in Bild 14 (Brandraum), nach Zündung der Wärmestrahlerwand einen zunächst steilen Anstieg der Messkurve bis zur 4. Minute auf und läuft dann, kontinuierlich ansteigend, dem Maximalwert von ca. $0,87 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ nach Erreichen der 60. Minute entgegen. Vergleicht man diesen Kurvenverlauf mit dem im obigen Bild 15 ohne Verwendung der Hotbox dargestellten, so erkennt man unschwer das durch die zusätzlichen Strahlungsanteile der aufgeheizten Hotbox anfallende Wärmestrahlungspotential. Dieses durch die Wärmestrahlungsintensitätsdifferenz beider Messkurven deutlich werdende Potential beträgt immerhin nach Erreichen der 60. Minute $0,19 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$. Zu bemerken ist außerdem, dass der Kurvenverlauf ohne Hotbox ab der 20. Minute einen konstanten Wert beibehält, also kein weiterer Anstieg zu verzeichnen ist.

Zum Vergleich der Messwerte zwischen Hotbox 3x4 m und Brandhaus einerseits und Hotbox 2x3 m und Brandhaus andererseits läßt sich im Ergebnis der Untersuchungen feststellen, dass die größte Übereinstimmung der Messwerte jeweils in den Ebenen 2 und 4, sowie, bezogen auf den Vergleich Hotbox 3x4 m und Brandhaus, in der Ebene 6 gegeben war. Einbezogen in den folgenden Vergleich wurde hier jeweils die Reihe 4 in den einzelnen Ebenen, da diese mittig der Wärmestrahlerwandfläche bzw. mittig der Flammenfläche angeordnet war, wo auch die höchsten Temperaturen zu erwarten waren.

Die folgenden Tabellen 8 und 9 weisen, ebenen- und messstellenbezogen, die Zeiträume aus, bei denen an den Messstellen der jeweiligen Reihe 4 vergleichbare Temperaturen (± 10 K) auftraten. Das bedeutet, dass in dem aufgezeigten Zeitintervall die in den Tabellen ebenfalls ausgewiesenen Temperaturanfangs- und -endwerte sowie die zwischen diesen Werten liegenden Temperaturwerte weitestgehend übereinstimmen, die Temperaturverhältnisse des Brandraumes an den ausgewiesenen Orten und Zeiten demzufolge nachgewiesenermaßen in der Hotbox an gleichen Orten, jedoch zu verschiedenen Zeiten und Zeiträumen auftreten. Zur Identifizierung der einzelnen Messstellen siehe Messstellenplan – Anlage 13.

Tabelle 8: Vergleich Hotbox 3x4 m – Brandraum
Zeiträume des Auftretens gleicher Temperaturen

Ebene	Hotbox 3x4 m			Brandhaus		
	Messstellen	Zeitraum (Minute)	Temperatur Bereich in °C	Messstellen	Zeitraum (Minute)	Temperatur Bereich in °C
2	61	26. bis 60.	260 – 280	61	04. bis 11.	260 – 280
	62	12. bis 24.	200 – 220	62	04. bis 12.	200 – 220
	63	12. bis 60.	180 – 200	63	04. bis 12.	180 – 200
	65	36. bis 60.	130 – 140	65	04. bis 09.	130 – 140
4	146	19. bis 60.	210 – 240	146	05. bis 10.	210 – 240
	147	24. bis 60.	180 – 190	147	04. bis 09.	180 – 190
	149	32. bis 60.	110 – 130	149	04. bis 07.	110 – 130
	150	10. bis 24.	50 – 70	150	04. bis 10.	50 – 70
6	229	14. bis 18.	200 – 210	229	04. bis 12.	200 – 210
	230	10. bis 15.	170 – 190	230	04. bis 12.	170 – 190
	231	16. bis 40.	160 – 180	231	04. bis 12.	160 – 180
	232	46. bis 60.	140 – 143	232	04. bis 08.	140 – 143
	233	22. bis 40.	90 – 110	233	04. bis 12.	90 – 110

Tabelle 9: Vergleich Hotbox 3x2 m – Brandraum
Zeiträume des Auftretens gleicher Temperaturen

Ebene	Hotbox 3x2 m			Brandhaus		
	Messstellen	Zeitraum (Minute)	Temperatur Bereich in °C	Messstellen	Zeitraum (Minute)	Temperatur Bereich in °C
2	61	22. bis 40.	270 – 280	61	04. bis 12.	270 – 280
	62	10. bis 14.	200 – 220	62	04. bis 12.	200 – 220
	63	22. bis 60.	180 – 210	63	04. bis 12.	180 – 210
	64	40. bis 60.	160 – 170	64	04. bis 08.	160 – 170
	65	30. bis 60.	120 – 130	65	04. bis 08.	120 – 130
	66	08. bis 60.	70 – 100	66	04. bis 12.	70 – 100
4	145	24. bis 60.	260 – 290	145	05. bis 10.	260 – 290
	146	07. bis 30.	200 – 260	146	04. bis 11.	200 – 260
	147	30. bis 60.	180 – 200	147	04. bis 09.	180 – 200
	149	30. bis 60.	110 – 120	149	04. bis 07.	110 – 120
	150	05. bis 60.	50 – 100	150	04. bis 13.	50 – 100

Die zur Reihe 4 in den Ebenen gehörenden, in den Tabellen 8 und 9 jedoch nicht ausgewiesenen Messstellen, weisen bezüglich des Vergleiches der Temperaturwerte keine Übereinstimmung in der geforderten Genauigkeit ± 10 K auf.

Tabelle 10: Verweise auf die Darstellung weiterer vergleichbarer Ergebnisse in den Anlagen

Darstellung		Zeitpunkte	Anlage
HOTBOX 3x4 m			
Ebene	2	25. Minute	1.1
	4	40. Minute	1.2
	6	40. Minute	1.3
Schicht	C	40. Minute	1.4
Reihe 4	über die Schichten A bis F	40. Minute	1.5
Zeitlicher Verlauf	Ebene 4	nach 0, 10, 30, 50 Minuten	1.6
	Schicht C	nach 0, 10, 30, 50 Minuten	1.7
HOTBOX 3x2 m			
Ebene	2	30. Minute	2.1
	4	40. Minute	2.2
	C	40. Minute	2.3
Reihe 4	über die Schichten A bis F	40. Minute	2.4
Zeitlicher Verlauf	Ebene 4	nach 0, 10, 30, 50 Minuten	2.5
	Schicht C	nach 0, 10, 30, 50 Minuten	2.6
Brandhaus			
Ebene	2	8. Minute	3.1
	4	8. Minute	3.2
	6	10. Minute	3.3
Schicht	C	8. Minute	3.4
Reihe 4	über die Schichten A bis F	8. Minute	3.5
Zeitlicher Verlauf	Ebene 4	nach 0, 6, 10, 14 Minuten	3.6
	Schicht C	nach 0, 6, 10, 14 Minuten	3.7

Weitere ausgewählte Ergebnisse, die die Vergleichbarkeit bzw. mögliche Übertragbarkeit der thermischen Verhältnisse im Brandraum des Brandhauses auf die in der Hotbox belegten, werden durch Verweis auf die entsprechenden Anlagen in Tabelle 10 ausgewiesen. In den Anlagen werden diese Ergebnisse grafisch in Form von 3 D – Grafiken und deren Projektionen dargestellt. Die Basis für diese Darstellungen stellen die den Grafiken jeweils zugeordneten Listings der Messwerte dar. Dabei bilden die jeweiligen Messwerte der realen Messstelle die

Stützwerte als Ausgangspunkte für die durch Interpolation ermittelten Werte zwischen den Stützstellen. Am Beispiel der Gegenüberstellung der grafischen 3 D - Darstellungen des räumlichen Temperaturprofils in der jeweiligen Ebene 4 in der Hotbox 3x4 m und im Brandraum des Brandhauses durch Bild 16 und Bild 17 soll die Vergleichbarkeit der Ergebnisse belegt werden.

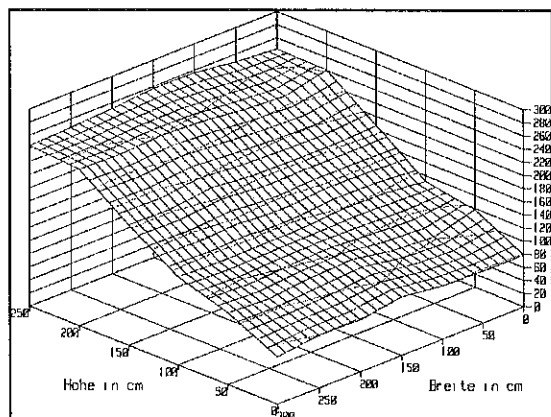


Bild 16: Hotbox 3x4 m – Temperaturprofil nach 40 Minuten

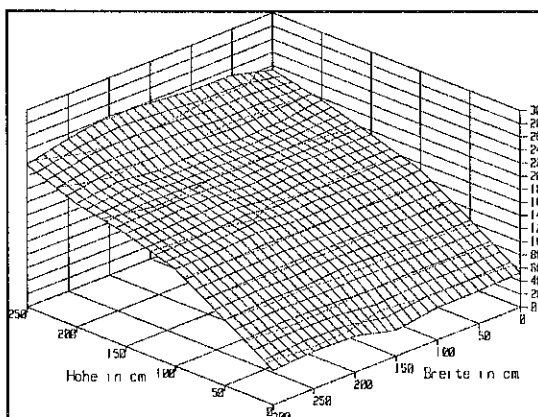


Bild 17: Brandraum – Temperaturprofil nach 8 Minuten

Durch die vorgenommenen Untersuchungen zur Übertragbarkeit der thermischen Verhältnisse eines Realbrandes auf die eines, durch eine Wärmestrahlerwand aufgeheizten, Modellraumes (Hotbox), konnte unter den angenommenen Bedingungen nachgewiesen werden, dass derartige Realbrände bis zu einer bestimmten Größenordnung mittels des im Rahmen der Untersuchungen praktizierten Verfahrens und bei Einhaltung der entsprechenden Randbedingungen durchaus simuliert werden können. Das setzt natürlich voraus, dass durch Untersuchungen, wie die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten, die jeweils relevanten Parameter eindeutig bestimmt und bei zu realisierenden Simulationen exakt eingehalten werden. Die mit der Durchführung eines derartigen Verfahrens verbundenen Vorteile liegen klar auf der Hand. Sie wurden im Vorwort zu dem vorliegenden Bericht eindeutig beschrieben und waren an sich der Ausgangspunkt bzw. die Begründung für die Notwendigkeit der vorzunehmenden Untersuchungen.

An Hand eines konkreten Beispiels soll nunmehr noch eine reale Möglichkeit der Anwendung des beschriebenen Verfahrens der Übertragbarkeit der Parameter von Realbränden auf die in Modellräumen simulierten Brände dargelegt werden.

Am Institut der Feuerwehr wurden in den vergangenen Jahren mehrere Prüfungen von Hitzeschutzanzügen nach den Richtlinien der Seeberufsgenossenschaft Hamburg durchgeführt. Diese Prüfungen wurden im gleichen Brandraum des Brandhauses, in dem auch die Untersuchungen zum vorliegenden Bericht realisiert wurden, durchgeführt und waren mit einem hohen zeitlichen und personellen Aufwand sowie mit den bei Originalbränden üblichen Schadstofffreisetzungen, Entsorgungsproblemen etc. verbunden. Auch bei diesen Prüfungen kam zur Erzeugung eines definierten Brandes mit den geforderten Parametern ein Normbrandholzstapel, wenn auch anderer Größenordnung, zum Einsatz. Gemäß den vorgegebenen Prüfbedingungen einerseits sowie aus den Ergebnissen der Messung während der Prüfung andererseits waren folgende Parameter für die im Prüfungsraum zu realisierenden Bedingungen maßgebend.

- ⇒ Flammentemperatur = 1000 °C
- ⇒ Brandraumtemperatur = 200 – 220 °C
- ⇒ Wärmestrahlung am Messort in 1,90 m Höhe und in einer Entfernung von 1,70 m ab Vorderkante Normbrandholzstapel = 0,7 ... 0,85 W·cm⁻²
- ⇒ Prüfungszeit unter den gegebenen Bedingungen = 7 Minuten

Sollte eine Aussage getroffen werden können hinsichtlich der Eignung der Hotbox für das o. g. Prüfverfahren, dann müsste eine Parameterübereinstimmung gegeben sein.

Eine diesbezügliche Überprüfung mit beispielsweise den Untersuchungsergebnissen in der Hotbox 3x4 m (Ebene 4, Messstelle 146 – siehe hierzu grau unterlegte Felder in Tabelle 8) kommt zu folgendem Ergebnis:

- ⇒ Temperatur auf Oberfläche Wärmestrahlerwand ca. 1000 °C
- ⇒ Hotboxraumtemperaturtemperatur = 210 – 240 °C
- ⇒ Wärmestrahlung am Messort in 1,90 m Höhe und in einer Entfernung von 1,70 m ab Oberfläche Wärmestrahlerwand = 0,7 ... 0,85 W·cm⁻²
- ⇒ Zeitraum, in dem die vorgenannten Bedingungen stabil sind = 41 Minuten

Dieses Ergebnis belegt eindeutig, dass für den genannten konkreten Anwendungsfall der Einsatz der Hotbox sinnvoll und zweckmäßig wäre. Bedenkt man außerdem, dass, neben den bereits genannten Nachteilen der Untersuchungen im Brandhaus, in der Regel pro Tag wegen der erforderlichen Abkühlung des Brandraumes (Schaffung reproduzierbarer Bedingungen) nur eine Prüfung stattfinden konnte, während in der Hotbox täglich sogar mehrere durchgeführt werden könnten (geringere Wärmekapazität der Hülle der Hotbox, verbunden mit der Möglichkeit ihrer Zwangskühlung durch Lüfter), so wird die Effektivität eines solchen Verfahrens, insbesondere für Prüfungen, erst recht deutlich.

Auf einen Aspekt in Zusammenhang mit den geführten Untersuchungen sei abschließend noch hingewiesen. Die im Rahmen der Konzipierung der Aufgabenstellung vorgesehene Variation der Lüftungsverhältnisse und der damit angestrebten Regulation des Temperaturregimes in der Hotbox durch eine stufenlos einstellbare Zwangsbe- bzw. -entlüftung konnte wegen des damit verbundenen Versuchs- und Zeitaufwandes im Rahmen der Bearbeitung des Forschungsvorhabens keine Berücksichtigung finden. Unabhängig davon wurde aus Mitteln des Vorhabens die elektronische Ansteuereinheit für einen Lüfter zur Regulierung der Lüftungsverhältnisse in der Hotbox beschafft. Der Einsatz bleibt späteren diesbezüglichen Untersuchungen vorbehalten.

10 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Anliegen und zugleich Zielstellung der vorliegenden Arbeit bestand darin, den experimentellen Nachweis der Übertragbarkeit der Parameter realer Brände in Räumen auf die Verhältnisse in einem großengleichen Modellraum zu erbringen. Unter dem Aspekt des Erreichens dieser Zielstellung sollte es perspektivisch möglich sein, insbesondere thermische Prüfverfahren wegen der mit Originalbränden verbundenen Nachteile, in einem entsprechenden Modellraum zu realisieren. Von besonderem Nutzen erschien in diesem Zusammenhang die möglich werdende Realisierung der für Prüfverfahren unabdingbaren Reproduzierbarkeit der Prüfbedingungen.

Projektiert und aufgebaut wurde ein entsprechend dimensionierter Modellraum (Hotbox) der Größe 3x4 m in der Prüfhalle des IdF LSA, in dessen einer Stirnseite eine propangasbetriebene Wärmestrahlerwand integriert war. Die andere Stirnseite der Hotbox war konstruktiv so ausgelegt, dass sie sich in den Raum hinein verschieben ließ, um dadurch die Raumgröße bis auf ein Mindestmaß von 3x2 m variieren zu können. Ein für den Einsatz sowohl in der Hotbox als auch in einem Brandraum des Brandhauses des IdF LSA, in dem die Originalbrände realisiert werden sollten, vorgesehene System zur Messwerterfassung der räumlichen

Literatur

- Die Darstellung in Anlage 7 wurde der Dokumentation „Größenvariabler Raum mit Integration einer Wärmestrahlerwand“ (Auftrags-Nr. FER-PA: A3/98/037) der Firma Prozessautomatisierung GmbH, Magdeburg, entnommen.
- Die Angaben zur Wärmestrahlerwand wurden der diesbezüglichen Dokumentation der Firma WELDOTHERM GmbH, Essen, entnommen.

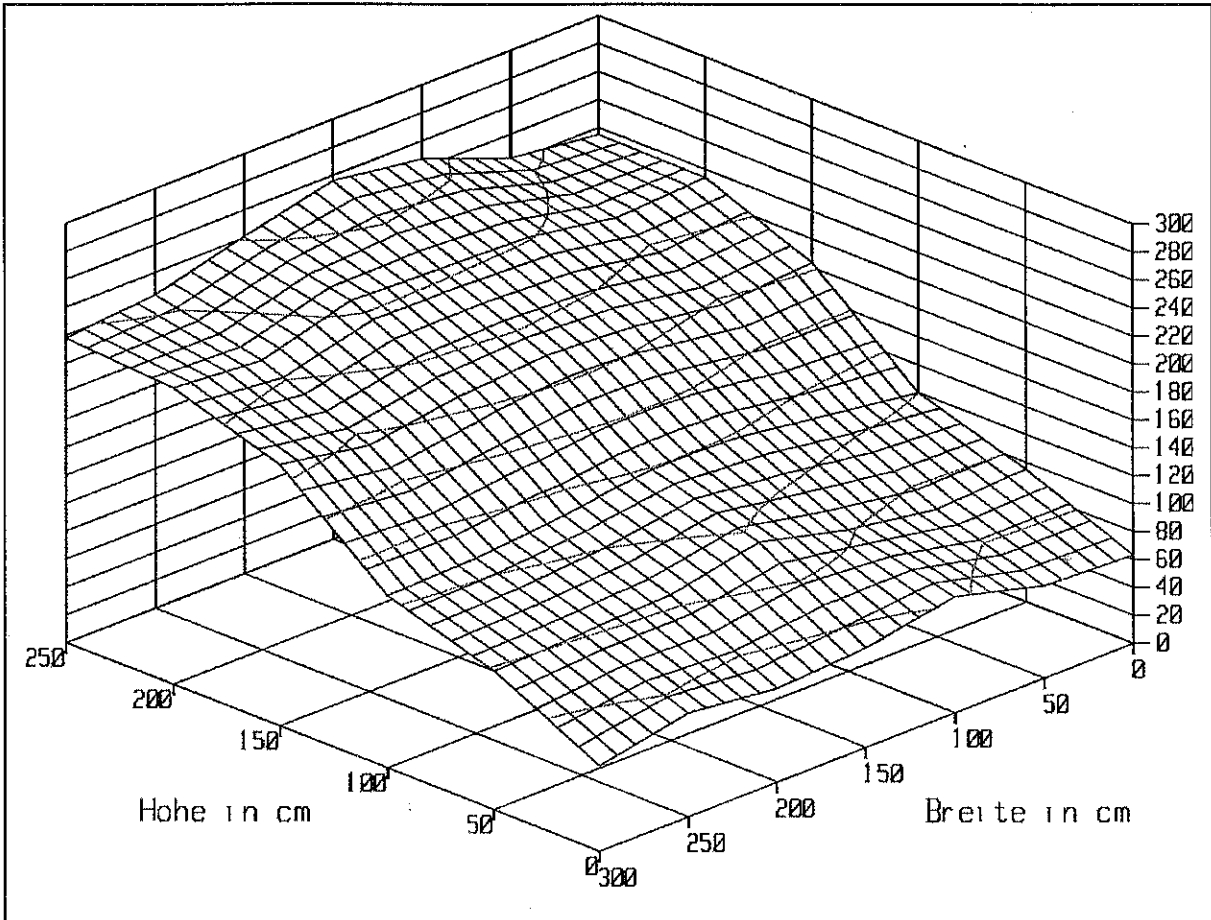
Temperaturfelder in beiden Räumen wurde entwickelt. Dieses bestand aus sogenannten Messketten, an denen nach einem vorgegebenen Messraster gegen Wärmestrahlung abgeschirmte Thermoelemente befestigt waren. Diese Ketten wurden zur Verwirklichung der Erfassung der räumlichen Temperaturfelder im Rastermaß an den Decken der Räume aufgehängt. Auf Grund des gewählten Messrasters waren somit insgesamt 336 Messstellen im Raum vorhanden. Zur Messwerterfassung wurde das sich auf dem Mobilien Brandtechnischen Labor (MOBLAB) befindende Vielstellen-Messwerterfassungssystem eingesetzt. Durch entsprechende Vorversuche mit positivem Ausgang wurde zunächst die Eignung der Hotbox für die vorzunehmenden Untersuchungen in Bezug auf deren thermische Belastbarkeit getestet. Es folgten die Untersuchungen zur Erfassung der räumlichen Temperaturfelder in der Hotbox 3x4 m und in der auf 3x2 m räumlich reduzierten Hotbox unter Vollastbedingungen der Wärmestrahlerwand. Im Brandraum des Brandhauses wurden ebenfalls Vorversuche zur Dimensionierung der Brandlast und der für den Brandverlauf maßgebenden Zu- und Abluftbedingungen durchgeführt. Dabei bildeten die in der Hotbox 3x4 m gewonnenen thermischen Parameter die Orientierung für die im Brandraum anzustrebenden thermischen Verhältnisse. Als Brandobjekt wurde ein Normbrandholzstapel gewählt, der, in Analogie zur Wärmestrahlerwand in der Hotbox, an der Stirnseite des Brandraumes, unterhalb der Abluftöffnung stationiert war. Durch die Vorversuche konnte in annähernder Weise ein den Verhältnissen in der Hotbox entsprechendes räumliches Temperaturregime nachvollzogen werden. Die so gewählte Konstellation von Brandlast sowie Zu- und Abluftbedingungen bildete die Basis für die Hauptuntersuchungen im Brandraum des Brandhauses, die anschließend durchgeführt wurden.

Durch die so vollzogenen Vergleichsuntersuchungen zur Übertragbarkeit der thermischen Verhältnisse eines Realbrandes auf die eines, durch eine Wärmestrahlerwand aufgeheizten, Modellraumes (Hotbox), konnte unter den angenommenen Bedingungen nachgewiesen werden, dass derartige Realbrände bis zu einer bestimmten Größenordnung mittels des im Rahmen der Untersuchungen praktizierten Verfahrens und bei Einhaltung der entsprechenden Randbedingungen durchaus simuliert werden können. Das setzt natürlich voraus, dass durch Untersuchungen, wie die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten, die jeweils relevanten Parameter eindeutig bestimmt und bei zu realisierenden Simulationen exakt eingehalten werden. Zu beachten ist im Ergebnis der Untersuchungen außerdem, dass die sich im Brandraum an den ausgewiesenen Orten und Zeiten einstellenden Temperaturverhältnisse nachgewiesenermaßen in der Hotbox zwar an gleichen Orten, jedoch zu verschiedenen Zeiten und innerhalb unterschiedlicher Zeiträume auftreten. Das kann beispielsweise bedeuten, dass zwecks Erreichung eines bestimmten und notwendigen thermischen Zustandes für eine vorgesehene Prüfung die Hotbox vor dem eigentlichen Beginn der Prüfung erst 20 Minuten aufzuheizen ist.

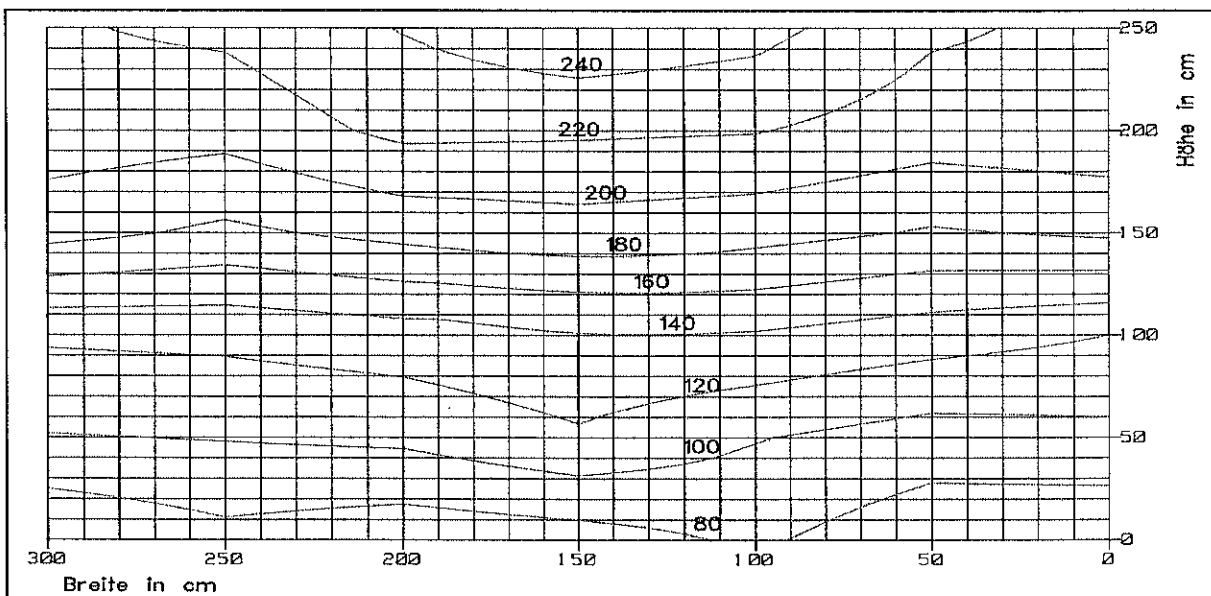
Es ist grundsätzlich einzuschätzen, dass sich das Verfahren der Simulation von Raumbränden für bestimmte thermische Prüfverfahren besonders eignet, insbesondere wegen der besseren Realisierbarkeit der Reproduzierbarkeit des Verfahrens gegenüber Originalbränden.

Durchaus denkbar ist die Verwendung der Hotbox auch für die Gewöhnung der Feuerwehrmänner an thermische Belastungssituationen, beispielsweise im Rahmen ihres Ausbildungsprozesses.

**TEMPERATURPROFIL HOTBOX
3 x 4 m EBENE 2 NACH 25 MINUTEN**



3 D - Darstellung

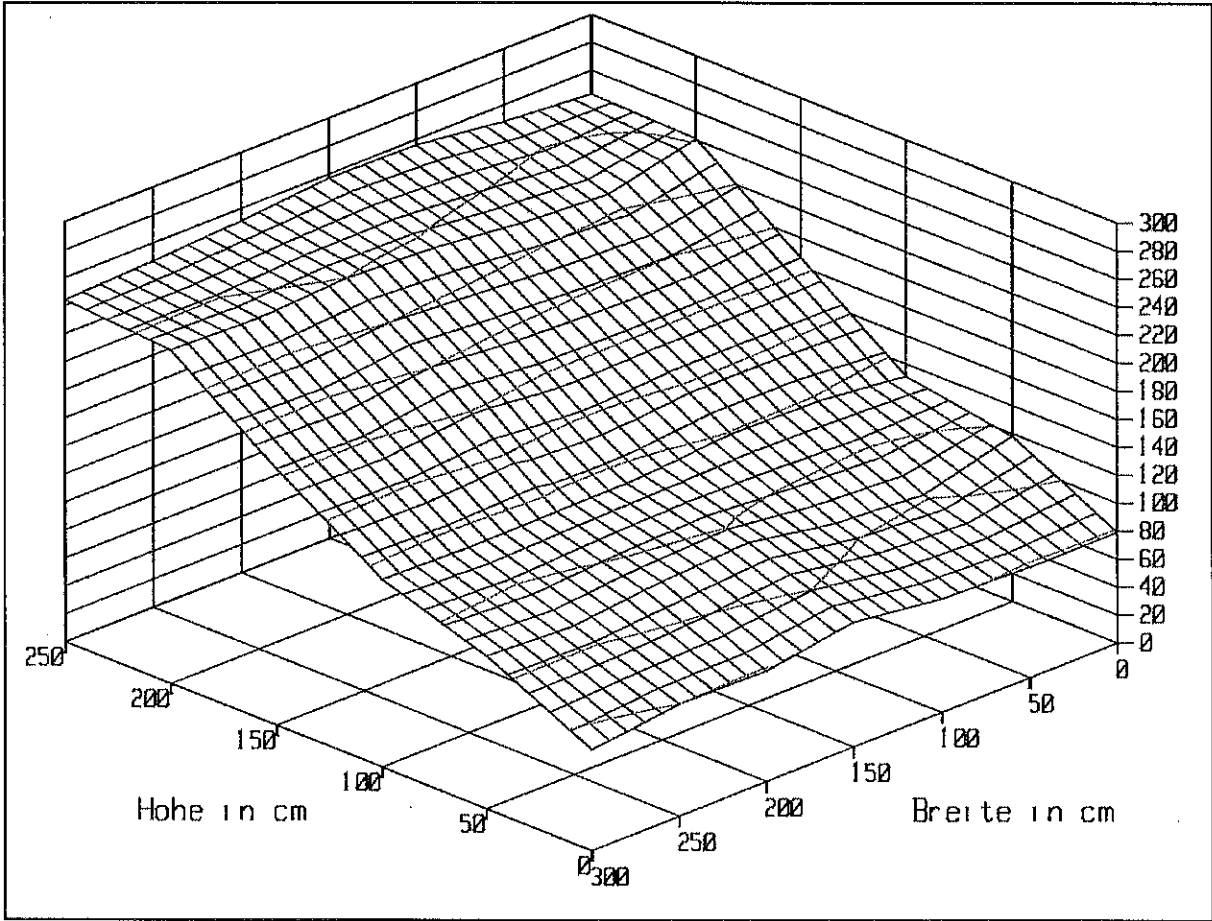


Projektion

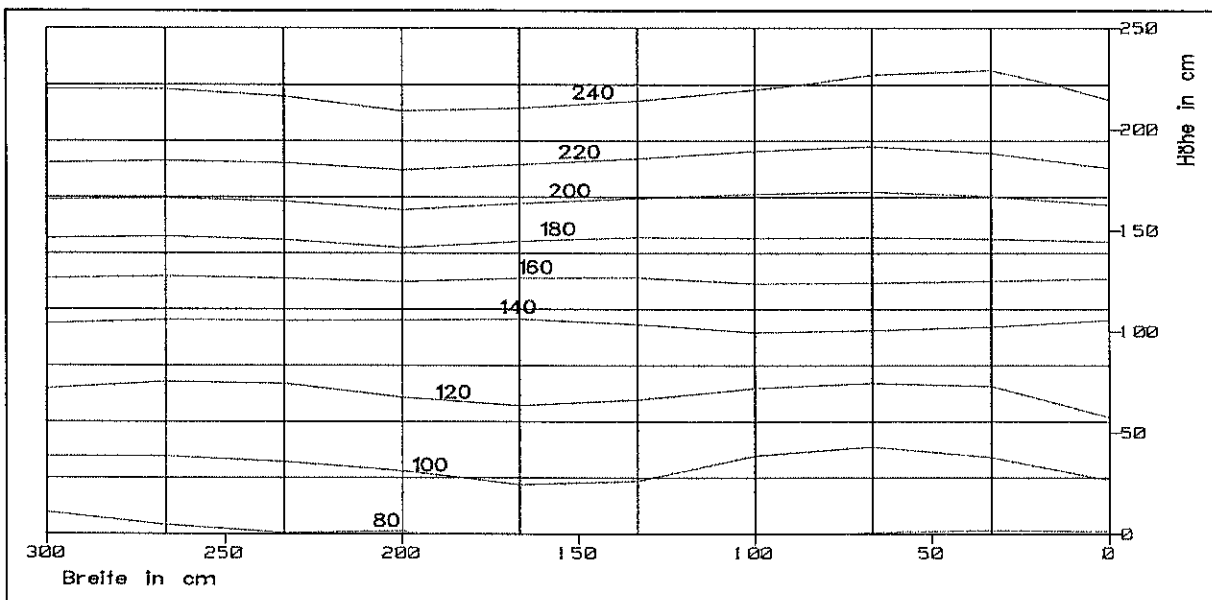
Tabelle 1: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Ebene 2 nach 25 Minuten

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
63	69	76	82	89	96	100	105	110	115	120	133	145	158	170	183	189	195	202	208	214	214	214	215	215	215
64	70	76	82	88	94	100	105	111	116	122	134	146	158	170	182	188	194	201	207	213	214	215	215	216	217
64	70	76	82	88	93	99	105	112	118	124	135	147	158	170	181	187	194	200	206	212	214	215	216	217	218
65	70	76	81	87	93	99	106	112	119	125	136	147	158	169	180	186	193	199	205	212	213	215	217	218	220
65	71	76	81	87	92	99	106	113	120	127	138	148	158	169	179	185	192	198	204	211	213	215	217	219	221
66	71	76	81	86	91	99	106	114	121	129	139	149	158	168	178	184	191	197	204	210	213	215	218	220	223
69	74	79	84	88	93	101	108	116	123	131	141	150	160	170	180	186	193	199	206	212	215	218	222	225	228
73	77	82	86	91	96	103	110	118	125	133	142	152	162	172	182	188	195	201	208	214	218	222	225	229	233
76	80	85	89	93	97	104	112	119	127	134	144	154	164	174	183	190	197	203	210	217	221	225	229	233	237
80	83	87	91	95	99	106	114	121	129	136	146	156	166	175	185	192	199	205	212	219	223	228	233	238	242
83	87	90	94	97	101	108	116	123	131	138	148	158	167	177	187	194	201	207	214	221	226	231	237	242	247
81	85	90	95	99	104	111	118	125	131	139	148	158	169	179	188	195	201	208	215	221	227	232	238	243	249
78	84	90	96	102	107	114	120	126	132	139	148	159	170	180	189	195	202	209	215	222	228	233	239	245	251
76	83	90	97	104	111	116	122	127	133	140	149	159	170	181	189	196	203	209	216	222	228	234	240	246	252
73	81	90	98	106	114	119	124	129	134	140	148	159	170	181	190	197	203	210	216	223	229	235	242	248	254
71	80	89	99	108	117	121	126	130	135	139	148	159	170	181	191	197	204	210	217	223	230	236	243	249	256
70	79	88	97	106	114	119	124	128	133	138	147	158	170	181	190	197	203	210	217	223	229	235	241	247	253
69	78	86	95	103	112	117	121	126	131	136	145	156	168	180	189	196	203	210	217	224	229	234	240	245	250
69	77	85	93	101	109	114	119	124	129	134	144	155	167	179	188	195	202	210	217	224	229	233	239	245	250
68	76	83	91	99	107	112	117	122	127	133	142	153	165	177	187	195	202	210	217	225	228	232	236	242	247
67	74	82	89	97	104	109	115	120	126	131	142	153	164	175	186	194	202	209	217	225	228	231	235	238	241
68	75	82	89	96	103	109	114	119	125	130	141	151	162	173	184	191	199	206	214	221	225	228	231	234	238
70	76	83	90	96	103	108	113	118	123	129	139	150	161	171	182	189	196	203	211	218	221	224	228	231	234
71	77	84	90	96	102	107	112	117	122	127	138	148	159	169	180	187	194	201	207	214	218	221	224	227	231
73	78	84	90	96	102	107	111	116	121	126	137	147	157	168	178	185	191	198	204	211	214	217	221	224	227
74	79	85	90	96	101	106	111	115	120	125	135	145	156	166	176	182	188	195	201	207	210	214	217	221	224
71	77	83	89	95	101	105	110	115	120	125	135	146	157	167	178	184	190	196	202	208	211	214	217	220	223
69	75	81	88	94	100	105	110	115	119	124	135	147	158	169	180	186	192	198	203	209	212	214	217	219	222
66	73	80	86	93	100	105	109	114	119	124	136	147	158	171	183	188	194	199	205	210	212	214	216	218	220
64	71	78	85	92	99	104	109	114	119	123	136	148	160	173	185	190	195	201	206	211	213	214	216	218	219
61	69	76	84	91	99	104	109	113	118	123	136	149	161	174	187	192	197	202	207	212	213	214	216	217	218

**TEMPERATURPROFIL HOTBOX
3 x 4 m EBENE 4 NACH 40 MINUTEN**



3 D - Darstellung

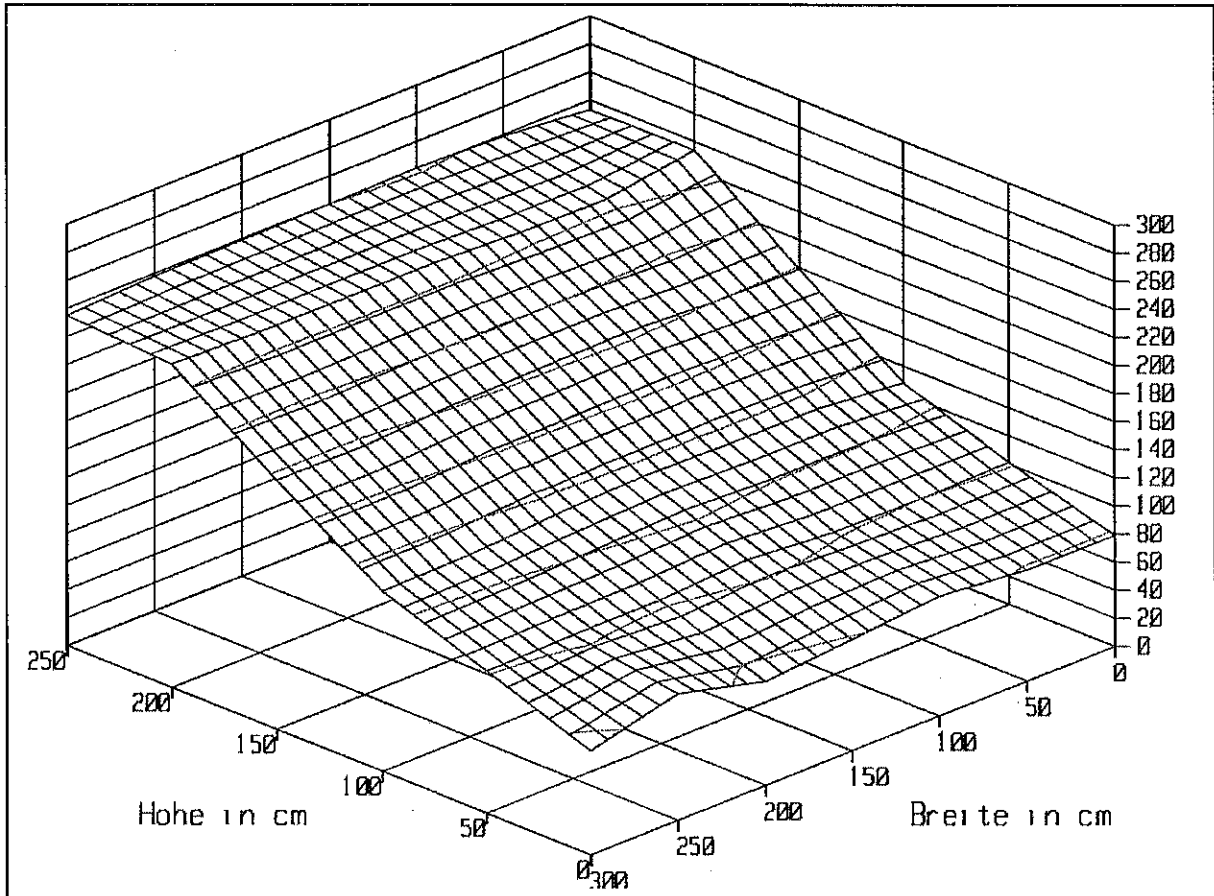


Projektion

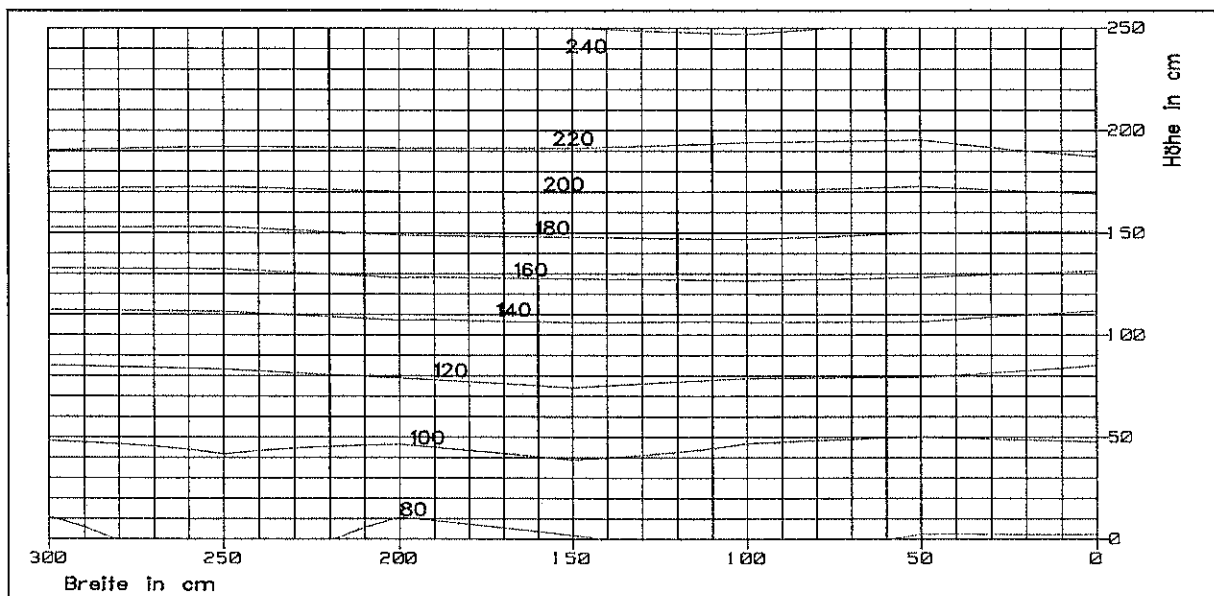
Tabelle 2: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Ebene 4 nach 40 Minuten

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
0	79	87	95	102	110	118	121	123	126	128	131	142	153	164	175	186	197	208	219	230	241	241	242	242	243	243
10	79	86	93	100	107	115	118	122	125	129	132	143	154	164	175	185	196	206	217	227	238	239	240	242	243	244
20	79	85	92	98	105	111	116	120	125	129	134	144	154	164	175	185	195	205	215	225	235	237	239	241	243	245
30	79	85	91	96	102	108	113	119	124	130	135	145	155	165	174	184	194	203	213	222	232	235	238	240	243	246
40	79	84	89	94	99	104	111	117	124	130	137	146	155	165	174	184	193	202	211	220	229	233	236	240	243	247
50	79	83	88	92	97	101	108	116	123	131	138	147	156	165	174	183	192	200	209	217	226	230	235	239	244	248
60	79	84	88	93	97	102	109	116	124	131	138	147	156	165	174	183	192	201	209	218	227	231	236	240	245	250
70	80	84	89	93	98	103	110	117	124	131	138	147	156	165	174	183	192	201	210	219	228	232	237	242	246	251
80	80	85	89	94	99	103	110	117	125	132	139	147	156	165	174	183	192	201	210	219	228	233	238	243	248	253
90	81	85	90	95	99	104	111	118	125	132	139	148	156	165	174	183	192	201	211	220	229	234	239	244	249	254
100	81	86	91	95	100	105	112	119	125	132	139	148	157	165	174	183	192	202	211	221	230	235	240	246	251	256
110	83	88	92	97	102	107	113	120	126	132	138	146	155	164	174	183	193	202	212	222	231	236	241	246	251	256
120	84	89	94	99	104	109	115	120	126	131	137	145	154	164	173	183	193	203	213	223	233	238	242	247	252	256
130	86	91	96	101	106	112	116	121	126	131	136	144	153	163	173	184	194	204	214	224	234	239	243	248	252	257
140	87	93	98	103	109	114	118	122	127	131	135	143	152	162	173	184	194	205	215	225	236	240	244	248	253	257
150	89	94	100	105	111	116	120	123	127	130	134	142	152	162	173	184	195	205	216	226	237	241	245	249	253	257
160	87	93	98	104	110	115	119	123	126	130	134	142	152	163	174	185	196	206	217	227	238	241	245	249	252	256
170	85	91	97	103	109	115	119	122	126	130	133	142	152	164	176	186	197	207	217	228	238	241	245	248	251	255
180	83	89	95	102	108	114	118	122	126	130	133	142	153	165	177	188	198	208	218	229	239	242	245	248	250	253
190	81	88	94	101	107	114	118	121	125	129	133	142	153	166	178	189	199	209	219	229	239	242	245	247	250	252
200	79	86	93	99	106	113	117	121	125	129	133	144	156	167	179	190	200	210	220	230	240	242	244	247	249	251
210	79	86	92	99	105	112	116	120	124	129	133	144	155	166	177	188	199	209	219	229	239	241	244	246	248	250
220	79	86	92	98	104	110	115	119	124	128	133	143	154	165	176	187	197	207	218	228	238	241	243	245	247	249
230	80	85	91	97	103	109	114	118	123	128	132	143	154	164	175	185	196	206	217	227	238	240	242	244	246	249
240	80	85	91	96	102	107	112	117	122	127	132	142	153	163	173	184	194	205	216	226	237	239	241	243	246	249
250	80	85	90	96	101	106	111	116	122	127	132	142	152	162	172	182	193	204	214	225	236	238	240	243	245	247
260	78	84	90	95	101	107	112	117	122	127	132	142	152	162	172	182	193	204	215	226	237	239	240	242	244	246
270	77	83	89	95	101	107	112	117	123	128	133	143	153	163	172	182	193	204	215	226	237	239	240	242	244	246
280	75	82	88	95	101	108	113	118	123	128	133	143	153	163	173	183	194	204	215	226	237	239	240	242	244	246
290	74	81	88	94	101	108	113	118	124	129	134	143	153	163	173	183	194	205	216	227	238	239	240	242	244	246
300	72	79	87	94	102	109	114	119	124	129	134	144	154	163	173	183	194	205	216	227	238	239	240	242	243	244

**TEMPERATURPROFIL HOTBOX
3 x 4 m EBENE 6 NACH 40 MINUTEN**



3 D - Darstellung

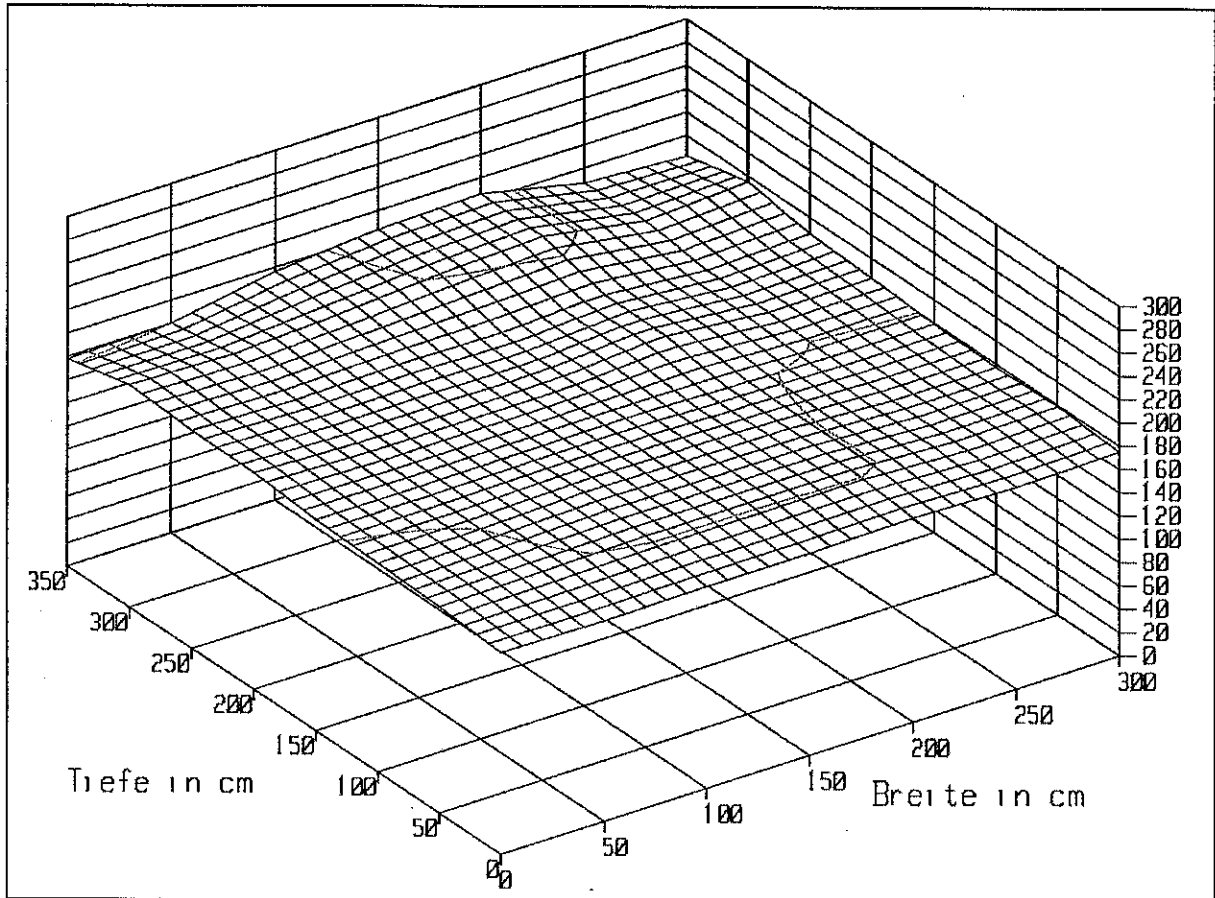


Projektion

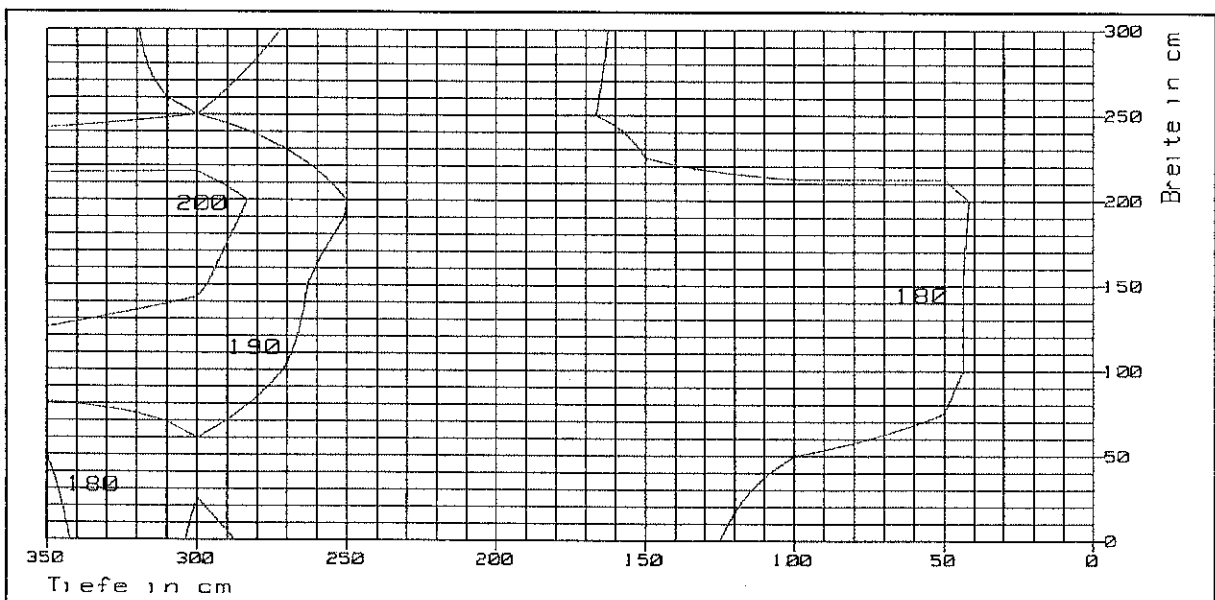
Tabelle 3: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Ebene 6 nach 40 Minuten

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
0	79	83	88	92	97	101	106	112	117	123	128	138	148	159	169	179	190	201	212	223	234	234	234	233	233	233
10	79	83	88	92	96	101	106	112	118	124	129	139	149	159	169	179	190	200	211	221	232	232	233	233	234	234
20	79	83	88	92	96	101	107	113	118	124	130	140	150	160	170	179	190	200	210	220	230	231	232	233	234	236
30	79	83	88	92	96	100	107	113	118	125	132	141	151	160	170	180	189	199	209	218	228	230	231	233	235	237
40	79	83	87	92	96	100	107	113	120	126	133	142	152	161	170	180	189	198	208	217	226	228	231	233	235	238
50	79	83	87	92	96	100	107	114	120	127	134	143	152	162	171	180	189	198	206	215	224	227	230	233	236	239
60	80	84	88	92	96	100	107	114	120	127	134	143	153	162	171	181	189	198	207	215	224	227	230	233	236	239
70	81	85	89	93	97	100	107	114	121	127	134	143	153	162	172	181	190	198	207	216	224	227	231	234	237	240
80	83	86	90	93	97	101	107	114	121	127	134	144	153	163	173	182	190	199	207	216	225	228	231	234	237	240
90	84	87	91	94	97	101	107	114	121	127	134	144	153	163	173	182	191	199	208	216	225	228	231	234	237	241
100	85	88	91	95	98	101	108	114	121	127	134	144	154	163	173	183	191	200	208	217	225	228	231	235	238	241
110	84	87	91	95	98	102	108	115	121	128	134	143	153	163	173	183	191	200	208	217	226	229	232	235	238	241
120	83	87	91	95	99	103	109	116	122	128	134	143	153	163	173	183	191	200	209	217	226	229	232	235	238	241
130	81	86	90	95	99	104	110	116	122	128	135	143	153	163	173	182	191	200	209	218	227	230	232	235	238	241
140	80	85	90	95	100	105	111	117	123	129	135	143	153	163	173	182	191	200	209	218	227	230	232	235	238	240
150	79	84	90	95	101	106	112	118	123	129	135	143	153	162	172	182	191	200	209	218	227	230	233	235	238	240
160	78	83	89	94	100	105	111	117	123	129	135	143	153	162	172	182	191	200	210	219	228	230	233	235	237	240
170	77	82	88	93	99	104	110	116	122	128	135	143	152	162	172	182	191	200	209	219	228	230	233	235	237	240
180	76	82	87	93	98	104	110	116	122	128	134	143	152	162	172	181	191	200	209	219	228	230	233	235	237	239
190	75	81	86	92	97	103	109	115	121	127	134	142	152	162	172	181	191	200	209	219	228	230	233	235	237	239
200	74	80	85	91	96	102	108	114	121	127	133	143	152	162	171	181	190	200	209	219	228	230	232	235	237	239
210	77	82	87	92	97	102	108	114	120	126	132	142	151	161	171	180	190	199	209	218	228	230	232	234	237	239
220	80	85	89	93	98	102	108	114	120	126	131	141	151	160	170	179	189	199	209	218	228	230	232	234	236	239
230	84	87	91	95	98	102	108	113	119	125	131	140	150	159	169	179	188	198	208	218	228	230	232	234	236	238
240	87	90	93	96	99	102	108	113	119	124	130	139	149	159	168	178	188	198	208	218	228	230	232	234	236	238
250	90	92	95	97	100	102	107	113	118	124	129	139	148	158	167	177	187	197	208	218	228	230	232	234	236	238
260	87	90	93	96	99	102	107	113	118	123	129	138	148	158	167	177	187	198	208	218	228	230	232	234	236	237
270	84	87	91	94	98	102	107	112	118	123	129	138	148	158	167	177	187	198	208	218	229	230	232	234	235	237
280	80	85	89	93	97	101	107	112	118	123	128	138	148	158	167	177	187	198	208	219	229	231	232	233	235	236
290	77	82	87	92	96	101	107	112	117	123	128	138	148	157	167	177	188	198	209	219	230	231	232	233	234	236
300	74	79	85	90	96	101	106	112	117	123	128	138	148	157	167	177	188	198	209	219	230	231	232	233	234	235

TEMPERATURPROFIL HOTBOX
3 x 4 m SCHICHT C NACH 40 MINUTEN

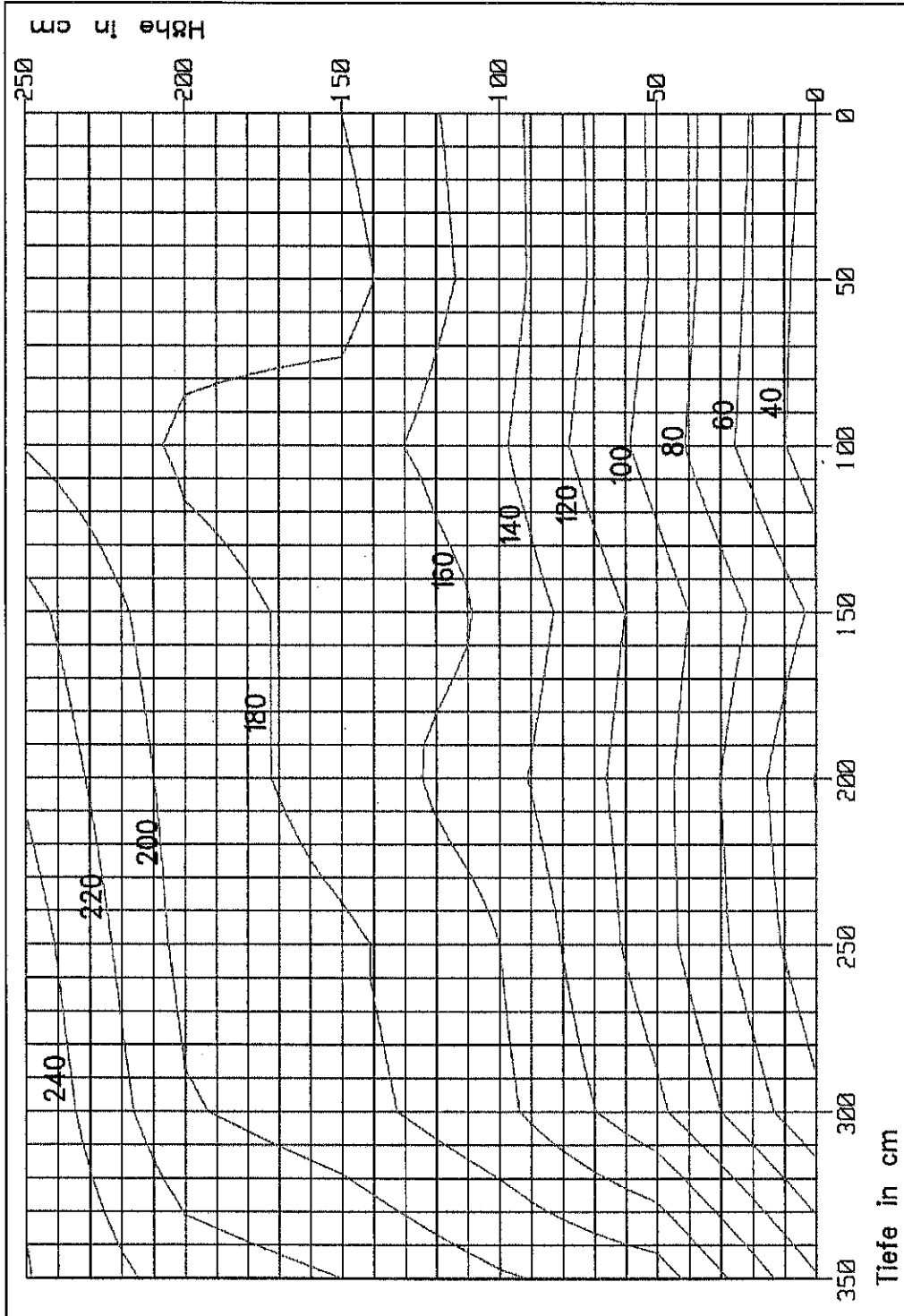


3 D - Darstellung



Projektion

TEMPERATURPROFIL HOTBOX 3 x 4 m REIHE 4 ÜBER
DIE SCHICHTEN A BIS F NACH 40 MINUTEN

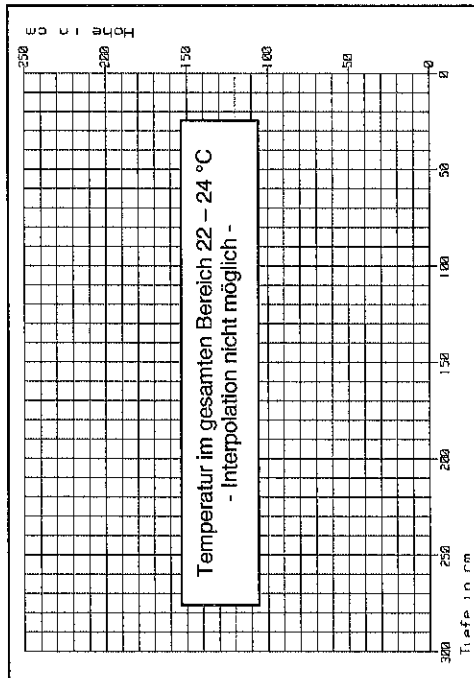


Projektion

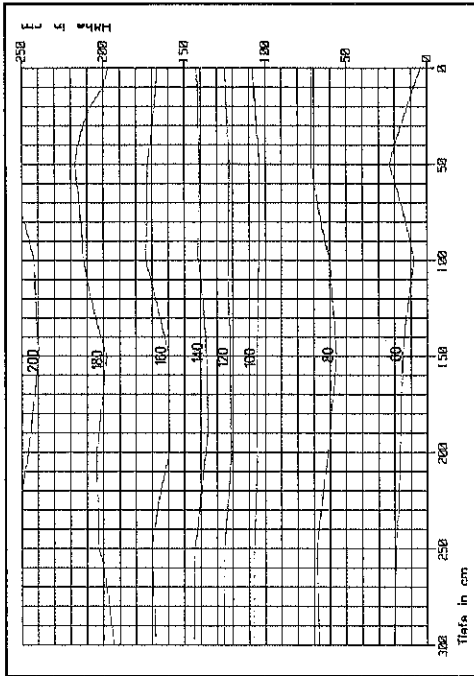
Tabelle 5: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x4 m Reihe 4 über die Schichten A bis F nach 40 Minuten

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
0	34	46	59	71	84	96	106	117	127	138	148	154	161	167	174	180	183	186	189	192	195	193	191	189	187	185
10	33	46	58	71	84	96	107	117	127	138	148	155	162	168	175	182	184	186	189	191	193	192	191	190	189	188
20	32	45	58	71	84	96	107	117	128	138	148	155	162	169	176	183	185	187	188	190	192	192	191	191	191	191
30	31	44	57	70	83	97	107	117	128	138	149	156	163	170	178	185	186	187	188	189	190	191	191	192	193	193
40	30	43	57	70	83	97	107	118	128	138	149	156	164	171	179	186	187	187	188	188	189	190	192	193	195	196
50	29	43	56	70	83	97	107	118	128	139	149	157	165	172	180	188	188	188	187	187	187	187	192	194	197	199
60	29	42	56	69	82	96	106	117	127	137	148	155	163	170	177	185	185	185	185	185	185	188	191	193	196	199
70	29	42	55	68	81	95	105	115	126	136	147	154	160	167	174	181	182	182	182	183	183	186	189	193	196	199
80	28	41	54	67	80	93	104	114	125	135	145	152	158	165	171	178	178	179	180	180	181	185	188	192	195	199
90	28	41	54	67	79	92	103	113	123	134	144	150	156	162	168	174	175	176	177	178	179	183	187	191	195	199
100	28	41	53	66	78	91	101	112	122	133	143	149	154	160	165	171	172	173	175	176	177	181	186	190	195	199
110	34	46	58	70	83	96	105	115	125	135	145	152	158	163	167	172	173	175	176	177	179	184	189	194	199	204
120	39	51	63	75	87	99	109	119	128	138	147	154	160	164	168	173	174	176	177	179	181	186	192	198	204	210
130	45	56	68	80	91	103	112	122	131	141	151	157	162	166	170	173	175	177	178	181	182	186	192	200	209	215
140	50	62	73	84	96	107	116	125	134	143	154	160	164	168	171	174	176	178	180	182	184	191	199	206	213	221
150	56	67	78	89	100	111	120	129	137	146	155	161	165	169	172	175	177	179	182	184	186	194	202	210	218	226
160	53	64	76	87	98	110	119	127	136	145	154	160	164	168	171	174	177	179	182	184	187	195	203	212	220	228
170	49	61	73	85	97	109	118	126	135	143	152	158	162	166	170	173	176	179	182	185	188	196	205	213	222	230
180	46	58	71	83	96	109	117	125	134	142	150	155	160	164	168	173	176	179	182	186	189	198	206	215	224	233
190	42	55	69	82	95	108	116	124	132	140	148	153	158	163	167	172	175	179	183	186	190	199	208	217	226	235
200	39	53	66	80	93	107	115	123	131	139	147	153	158	162	167	171	175	179	183	187	191	200	208	219	228	237
210	40	54	67	80	94	107	116	124	133	141	148	154	160	164	168	173	177	181	184	188	192	201	211	220	230	240
220	42	55	68	81	94	107	116	125	134	143	151	157	162	167	171	176	179	182	186	189	192	202	212	222	232	242
230	43	56	69	82	95	108	117	126	136	145	154	161	166	170	174	178	181	184	187	190	193	203	214	224	234	245
240	45	57	70	83	95	108	116	128	138	147	158	164	169	174	177	181	183	186	188	191	193	204	215	226	237	247
250	46	58	71	83	96	108	118	129	139	150	160	167	172	176	180	183	185	187	190	192	194	205	216	228	239	250
260	50	62	74	87	99	111	121	131	141	151	161	166	170	175	179	184	186	189	191	193	196	207	218	229	240	251
270	53	65	78	90	102	114	124	133	143	152	162	167	171	176	180	185	187	190	192	195	197	208	219	231	242	253
280	57	69	81	93	105	118	127	136	145	154	163	168	172	177	181	186	189	191	194	196	199	210	221	232	243	254
290	60	72	85	97	109	121	129	138	147	155	164	169	173	178	182	187	190	192	195	198	200	211	222	234	245	256
300	64	76	88	100	112	124	132	140	149	157	165	170	174	179	183	188	191	194	196	199	202	213	224	235	246	257
310	76	88	100	113	125	137	144	151	158	165	172	177	181	186	190	194	197	200	202	205	208	218	228	238	248	258
320	87	100	112	125	138	150	156	162	168	174	180	184	188	192	197	201	203	206	208	211	214	223	232	241	250	259
330	89	112	125	138	151	164	168	173	178	182	187	191	195	199	203	207	210	212	215	217	219	227	235	243	251	259
340	110	124	137	150	164	177	180	184	187	191	195	198	202	206	210	214	216	218	221	223	225	232	239	246	253	260
350	122	136	149	163	176	190	192	195	197	200	202	206	209	213	216	220	222	224	227	229	231	237	243	249	255	261

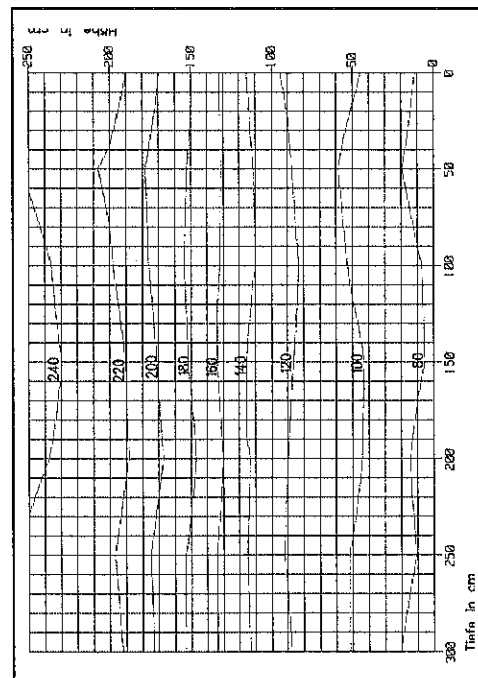
TEMPERATURPROFIL HOTBOX 3 x 4 m EBENE 4 NACH ZEITEN



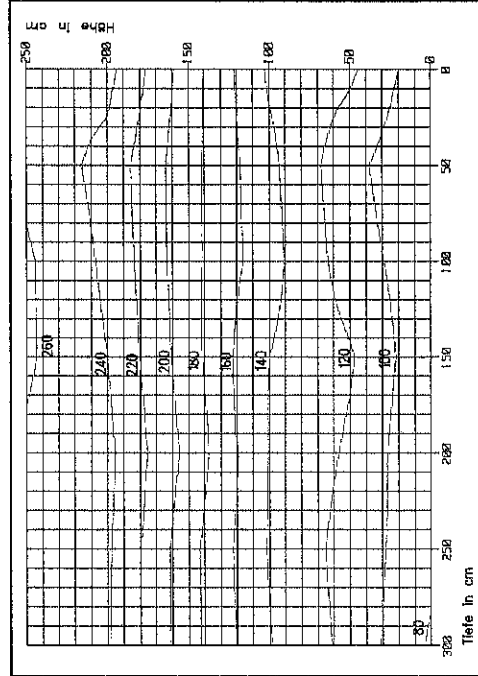
Start = 0 min



nach 10 min

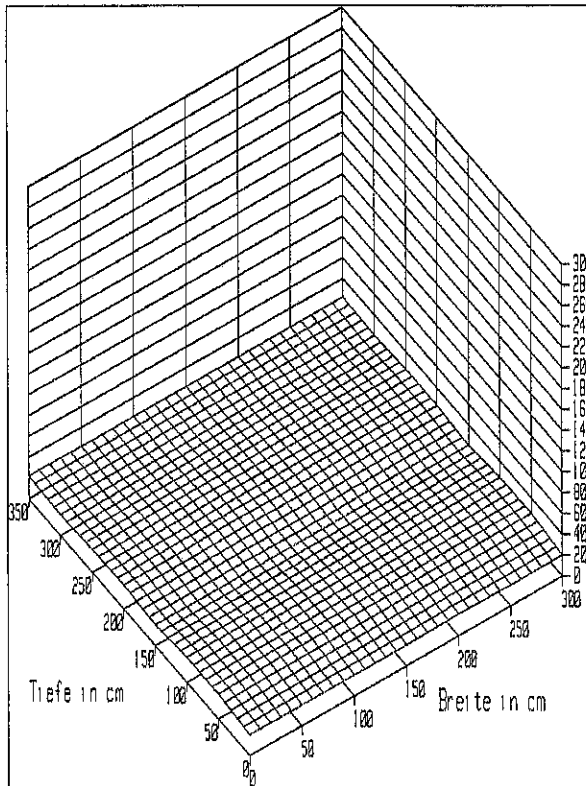


nach 30 min

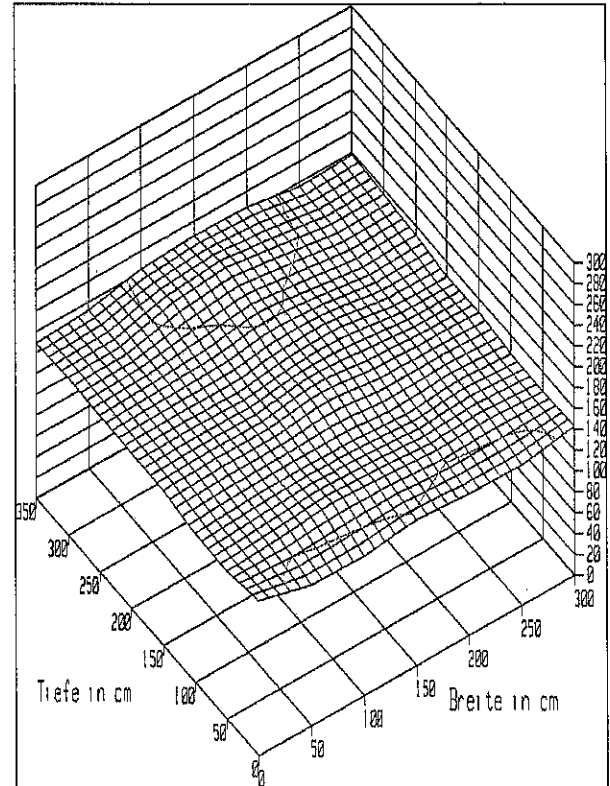


nach 50 min

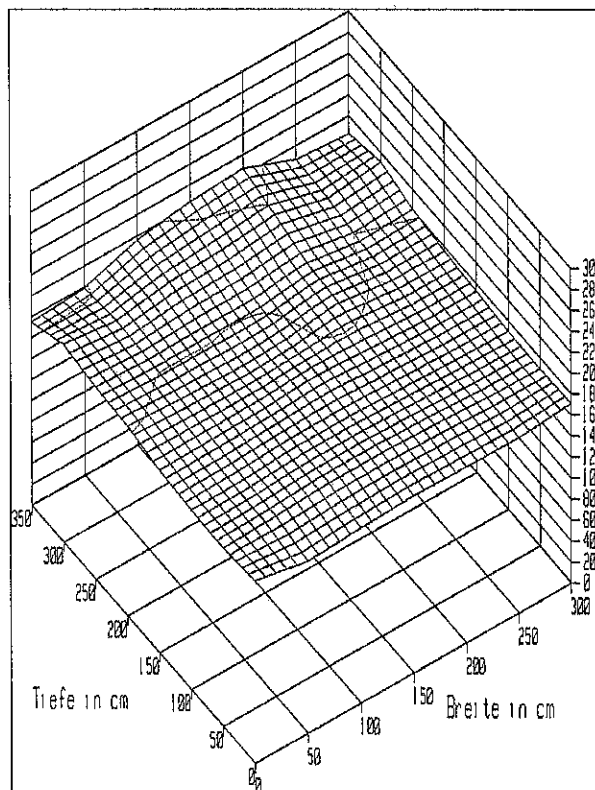
TEMPERATURPROFIL HOTBOX 3 x 4 m
SCHICHT C NACH ZEITEN



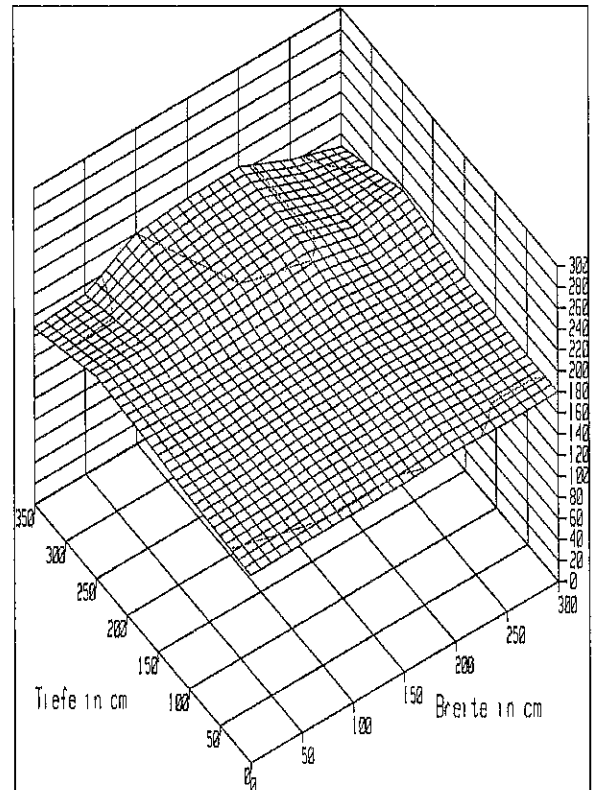
Start = 0 min



nach 10 min

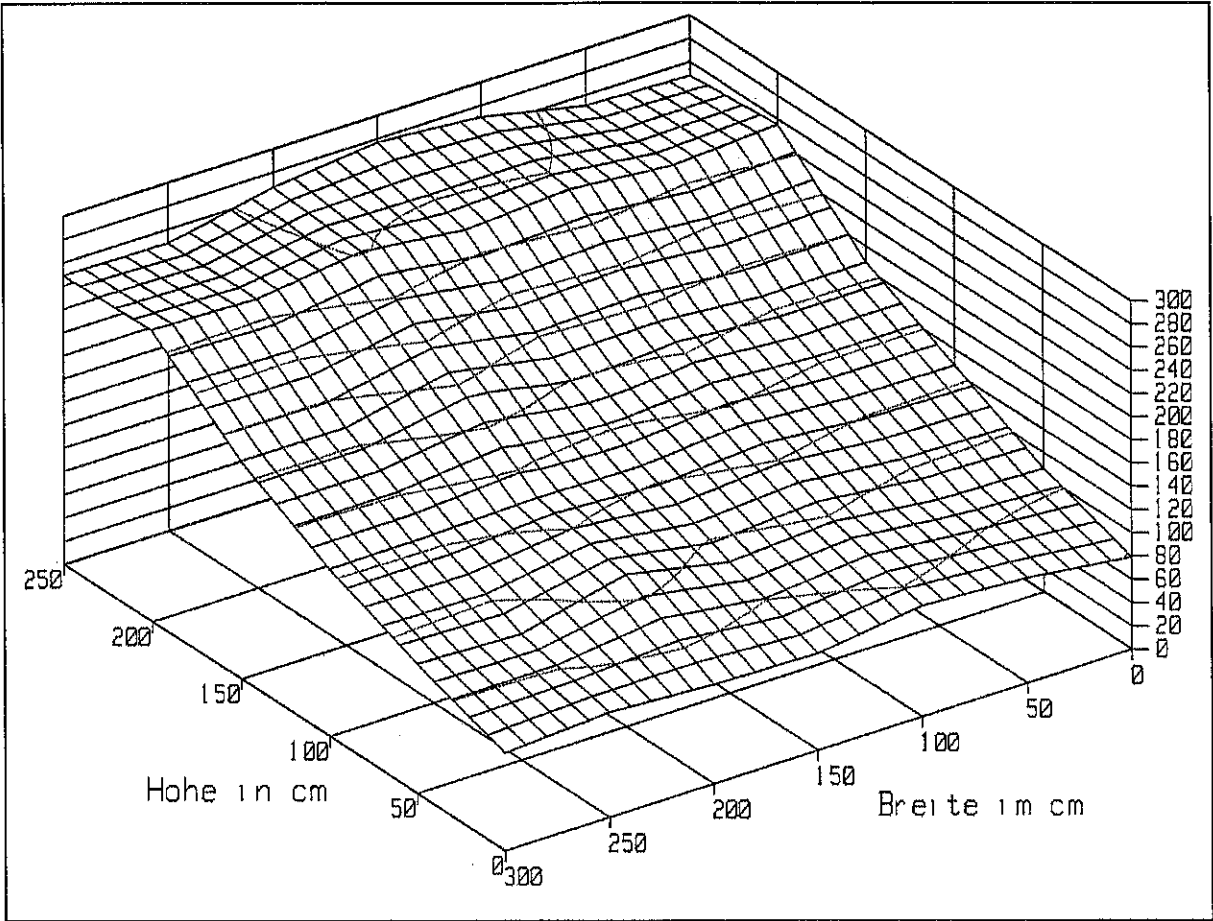


nach 30 min

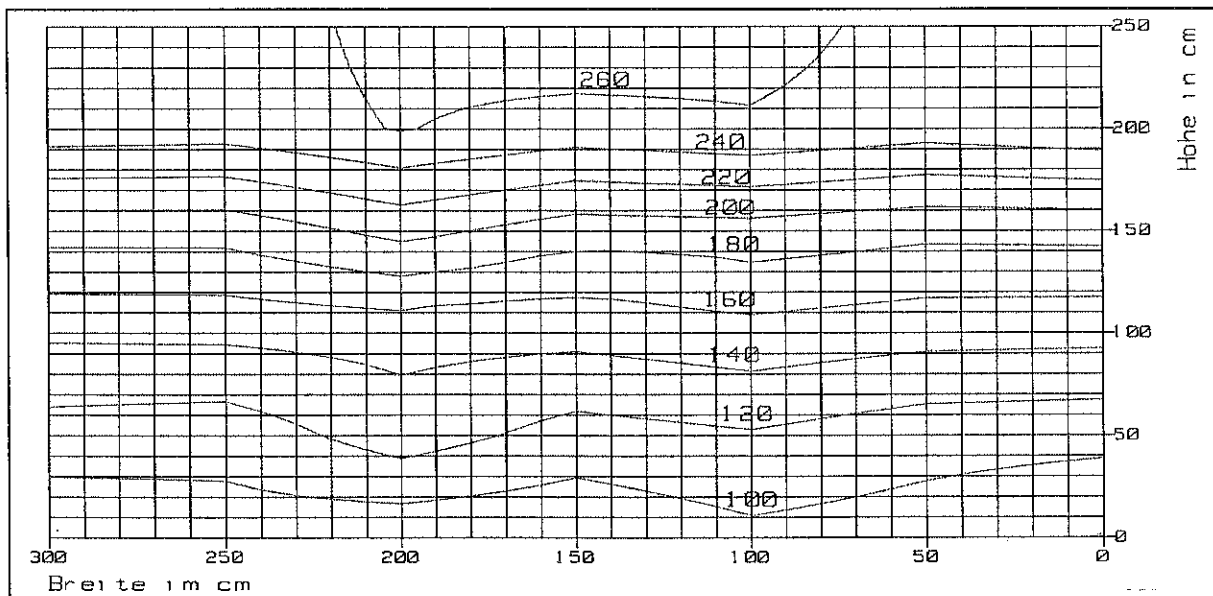


nach 50 min

**TEMPERATURPROFIL HOTBOX
3 x 2 m EBENE 2 NACH 30 MINUTEN**



3 D - Darstellung

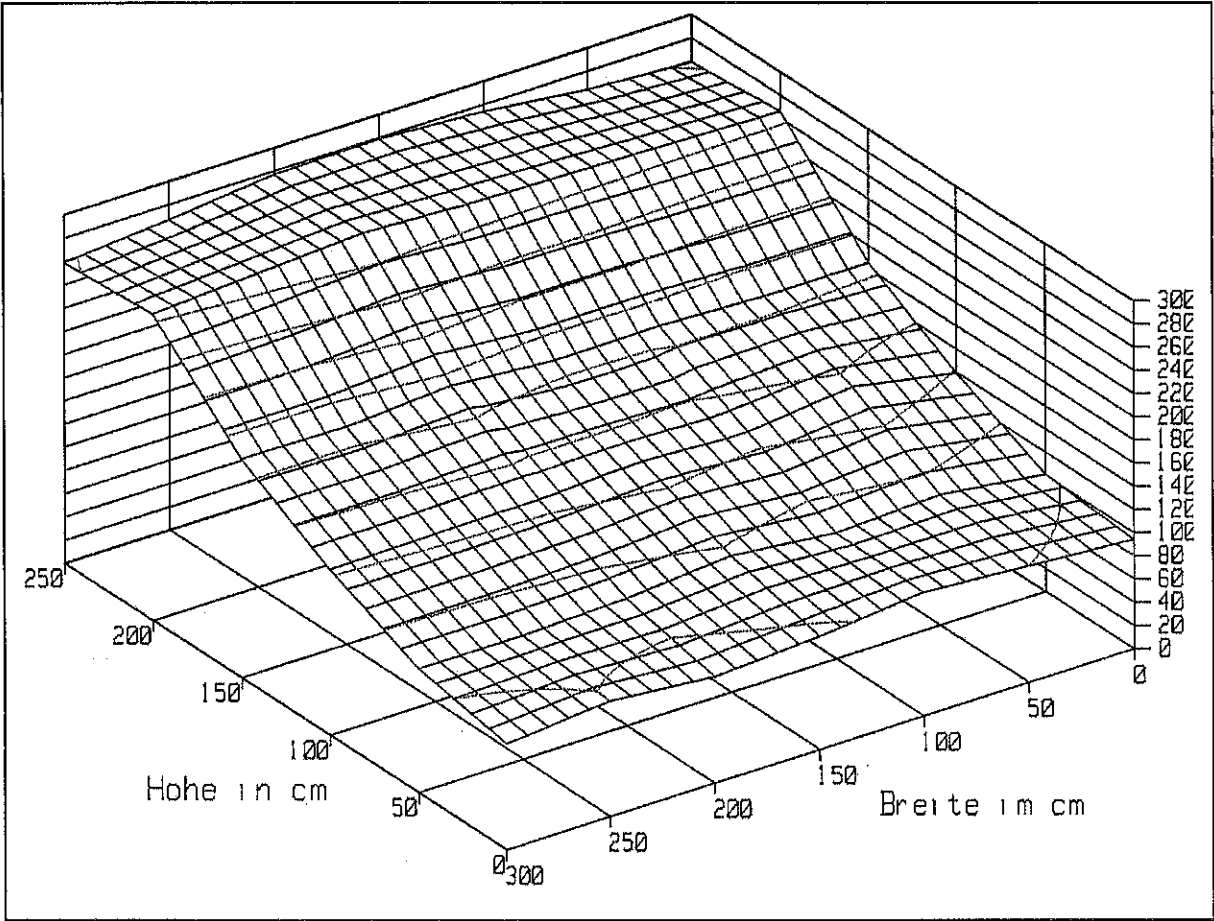


Projektion

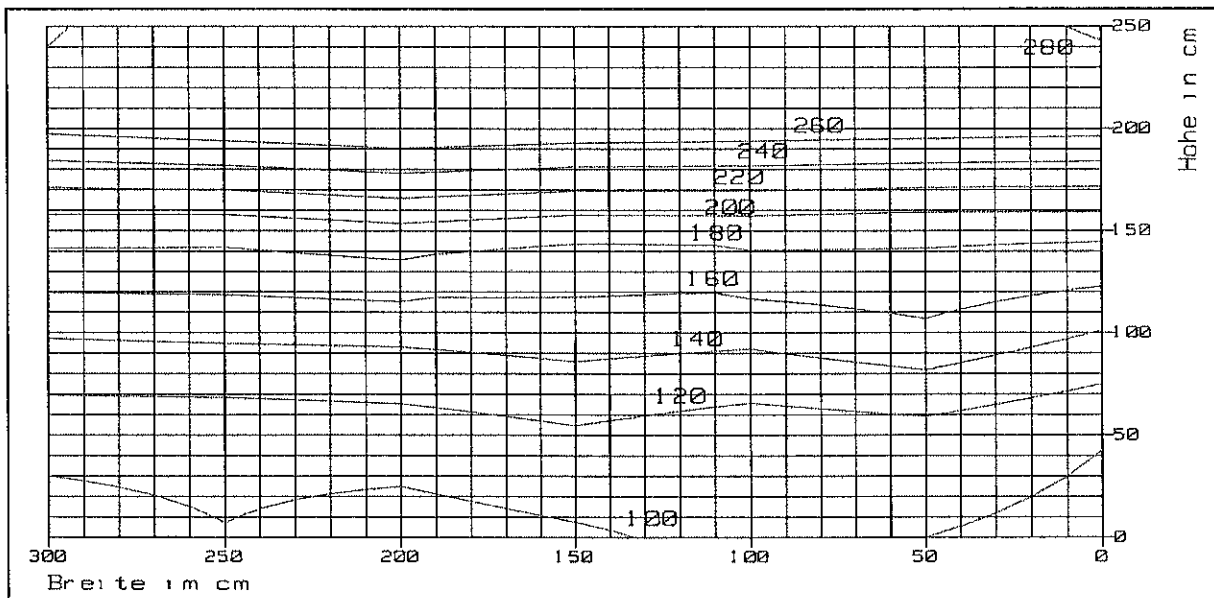
Tabelle 6: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Ebene 2 nach 30 Minuten

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
79	84	90	95	101	106	114	122	130	138	146	154	162	170	178	186	200	214	227	241	255	264	252	251	249	248
81	86	91	96	101	106	114	122	130	138	146	154	162	170	178	186	199	213	227	240	254	253	252	251	250	249
83	88	93	97	102	107	115	123	131	138	146	154	162	170	178	186	199	212	226	239	253	252	251	251	250	249
86	90	94	99	103	107	115	123	131	139	147	154	162	170	178	185	199	212	225	238	251	251	251	250	250	250
88	92	96	100	104	108	115	123	131	139	147	154	162	170	178	185	198	211	224	237	250	250	250	250	250	250
90	94	97	101	104	108	116	124	131	139	147	155	162	170	177	185	198	211	223	236	249	249	250	250	251	251
91	95	99	102	106	110	118	125	133	141	148	156	163	171	179	186	199	212	225	238	251	251	252	253	254	255
92	96	100	104	108	112	119	127	134	142	149	157	165	172	180	188	201	214	226	239	252	253	255	256	257	259
93	97	101	105	110	114	121	129	136	143	151	158	166	174	181	189	202	215	228	241	254	256	257	259	261	262
94	98	103	107	112	116	123	130	137	145	152	160	167	175	183	191	204	217	229	242	255	258	260	262	264	266
95	100	104	109	113	118	125	132	139	146	153	161	169	176	184	192	205	218	231	244	257	260	262	265	267	270
93	97	102	107	112	117	124	131	138	145	152	160	167	174	182	192	204	217	230	243	256	259	262	265	268	271
90	95	100	105	111	116	123	129	136	143	151	158	165	173	181	191	204	217	229	242	255	258	262	266	269	273
88	93	98	104	109	114	121	128	135	142	149	156	164	172	180	191	203	216	228	241	253	258	262	266	270	274
85	91	97	102	108	113	120	127	134	141	147	155	163	171	180	190	203	215	227	240	252	257	262	266	271	276
83	89	95	100	106	112	119	126	132	139	146	154	162	171	180	190	202	214	227	239	251	256	261	267	272	277
83	90	96	103	109	116	122	128	134	140	146	154	163	172	182	193	205	217	229	241	253	257	262	266	271	275
84	91	98	105	112	118	125	130	136	141	146	155	164	175	186	196	208	220	232	243	255	259	262	266	269	273
84	92	100	107	115	123	128	132	137	142	147	155	166	178	190	200	211	223	234	246	257	260	263	265	268	271
85	93	101	110	118	126	130	135	139	143	147	156	167	180	193	203	214	225	237	248	259	261	263	265	267	269
85	94	103	112	121	130	133	137	140	144	147	159	171	182	194	206	217	228	239	250	261	262	263	265	266	267
86	94	102	110	118	126	130	134	138	142	146	156	169	180	191	202	213	225	236	247	259	260	260	261	262	263
87	94	101	108	114	121	126	131	136	141	146	156	167	177	188	198	210	222	233	245	256	257	257	258	259	259
88	94	100	105	111	117	122	128	134	140	145	155	165	175	185	195	206	218	230	242	254	254	255	255	255	256
89	94	98	103	108	112	119	125	132	138	145	154	163	172	182	191	203	215	227	239	251	251	252	252	252	252
90	94	97	101	104	108	115	122	130	137	144	153	161	170	178	187	199	212	224	237	249	249	249	248	248	248
89	93	97	101	105	109	116	123	130	137	144	152	161	170	178	187	199	212	224	237	249	249	249	249	248	248
88	92	96	101	105	109	116	123	130	137	144	152	161	170	178	187	200	212	225	237	250	250	249	249	249	248
86	91	96	100	105	110	117	123	130	137	143	152	161	170	178	187	200	212	225	238	250	250	250	249	249	249
85	90	95	100	105	110	117	124	130	137	143	152	161	169	178	187	200	212	225	238	251	250	250	250	249	249
84	89	95	100	106	111	117	124	130	137	143	152	161	169	178	187	200	213	225	238	251	251	250	250	249	249

**TEMPERATURPROFIL HOTBOX
3 x 2 m EBENE 4 NACH 40 MINUTEN**



3 D - Darstellung

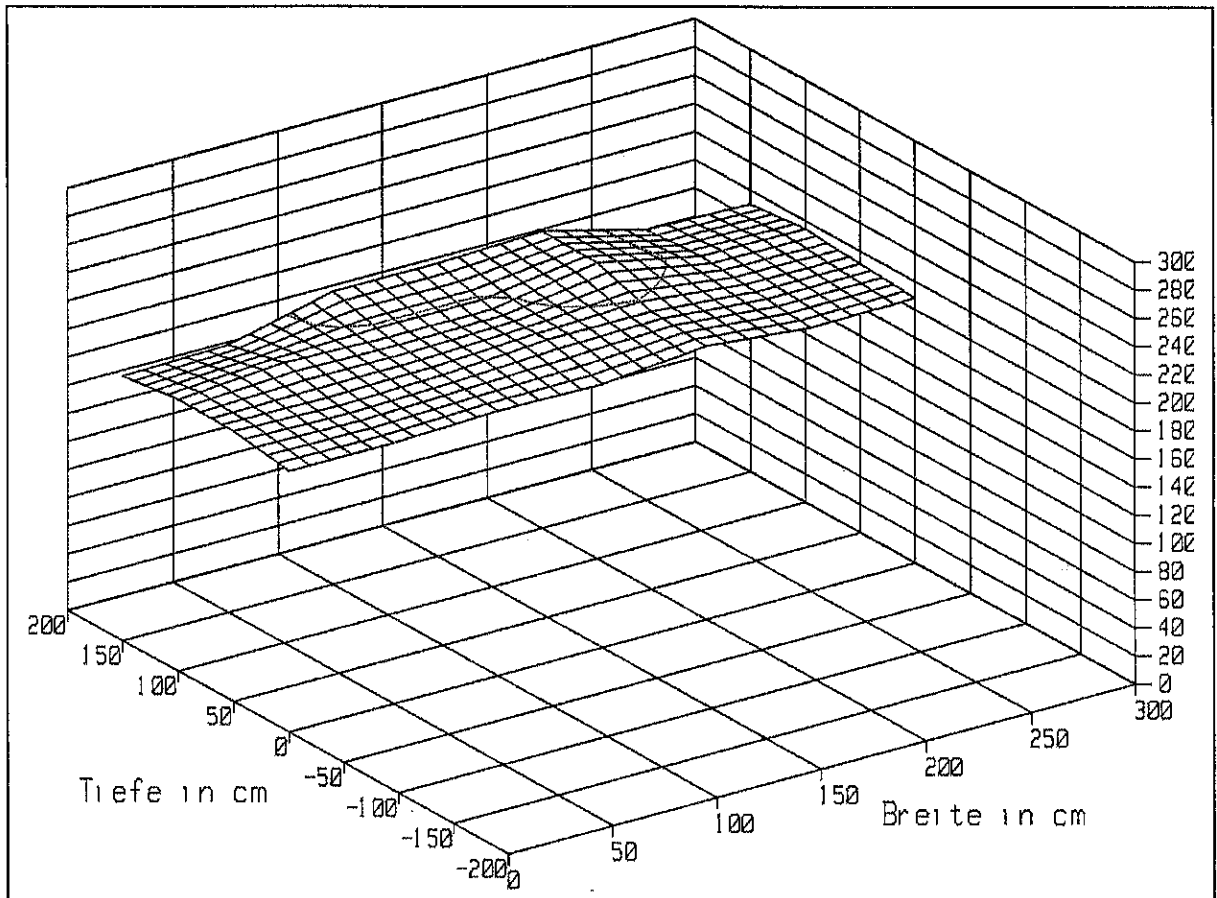


Projektion

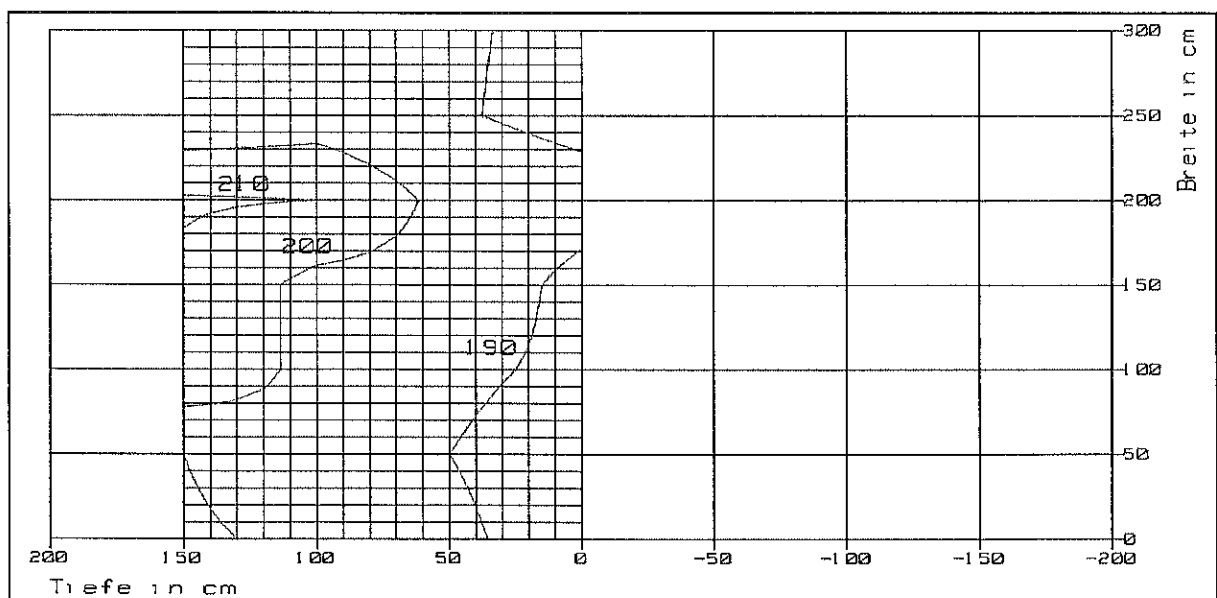
Tabelle 7: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Ebene 4 nach 40 Minuten

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	
0	94	95	97	98	100	101	109	116	124	131	139	148	157	167	176	185	201	217	234	250	266	265	263	262	260	259
10	95	97	98	100	102	103	111	119	127	135	142	151	159	168	176	185	201	218	234	250	266	265	264	263	261	260
20	96	98	100	102	104	105	113	122	130	138	146	154	161	169	177	185	201	218	234	250	267	266	264	263	262	261
30	98	100	102	104	106	108	116	124	133	141	149	156	164	171	178	185	201	218	234	251	267	266	265	264	263	262
40	99	101	103	105	108	110	118	127	135	144	153	159	166	172	179	185	202	218	235	251	268	267	266	265	264	263
50	100	102	105	107	110	112	121	130	138	147	156	162	168	173	179	185	202	218	235	251	268	267	266	265	264	263
60	101	103	105	107	109	111	120	128	137	145	154	160	167	173	179	186	202	219	235	252	268	267	266	265	264	263
70	102	104	106	107	109	110	119	127	135	144	152	159	166	173	179	186	203	219	236	252	269	268	267	266	265	264
80	104	105	106	107	108	110	118	126	134	142	150	157	165	172	179	187	203	220	236	253	269	269	270	270	270	270
90	105	106	106	107	108	109	117	124	132	140	148	156	164	172	180	187	204	220	237	253	270	270	271	271	272	272
100	106	106	107	107	108	108	116	123	131	138	146	154	163	171	180	188	204	221	237	254	270	271	272	272	273	274
110	104	105	106	108	109	110	117	125	132	139	146	153	160	168	177	188	204	221	237	254	270	271	272	273	274	275
120	102	104	106	108	110	112	119	126	133	140	147	154	161	168	177	188	204	221	238	254	271	272	273	274	275	276
130	101	103	106	108	111	113	120	127	134	141	148	154	161	168	176	187	204	221	238	254	271	272	274	275	276	277
140	99	102	105	109	112	115	122	128	135	142	149	155	161	168	176	187	204	221	238	255	272	273	274	275	277	278
150	97	101	105	109	113	117	123	130	136	143	149	155	162	168	176	187	204	221	238	255	272	273	275	276	278	279
160	96	100	104	108	111	115	122	129	135	142	149	155	162	169	177	188	205	222	239	256	273	274	275	276	277	279
170	95	98	102	106	110	114	121	127	134	141	148	155	162	170	179	190	207	223	240	257	274	275	275	276	277	278
180	93	97	101	105	108	112	119	126	133	140	147	154	162	171	180	191	208	224	241	258	274	275	276	276	277	278
190	92	96	100	103	107	111	118	125	132	139	146	154	162	171	181	193	209	226	242	259	275	276	276	277	277	277
200	91	95	98	102	105	109	116	123	131	138	145	155	165	174	184	194	210	227	243	260	276	276	276	277	277	277
210	93	96	99	102	105	108	116	123	130	138	145	154	164	173	183	193	209	225	242	258	275	275	275	275	275	275
220	94	97	100	102	105	108	115	123	130	137	145	154	163	173	182	191	208	224	241	257	274	273	273	273	273	273
230	96	98	100	103	105	107	115	122	130	137	144	153	163	172	181	190	206	223	239	256	272	272	272	272	271	271
240	97	99	101	103	105	107	114	122	129	137	144	153	162	171	180	188	205	222	238	255	271	271	270	270	269	269
250	99	100	102	103	105	106	114	121	129	136	144	153	161	170	178	187	204	220	237	253	270	269	268	268	267	267
260	97	99	101	103	104	106	114	121	129	136	144	152	161	170	178	187	204	220	236	252	269	268	267	266	266	265
270	96	98	100	102	104	106	113	121	128	136	143	152	161	170	179	187	203	219	236	252	268	267	266	265	264	264
280	94	97	99	101	104	106	113	121	128	135	143	152	161	170	179	188	203	219	235	251	266	266	265	264	263	262
290	93	95	98	101	103	106	113	121	128	135	142	151	161	170	179	188	203	219	234	250	265	264	263	262	261	261
300	91	94	97	100	103	106	113	120	128	135	142	151	160	170	179	188	203	218	234	249	264	263	262	261	260	259

**TEMPERATURPROFIL HOTBOX
3 x 2 m SCHICHT C NACH 40 MINUTEN**



3 D - Darstellung

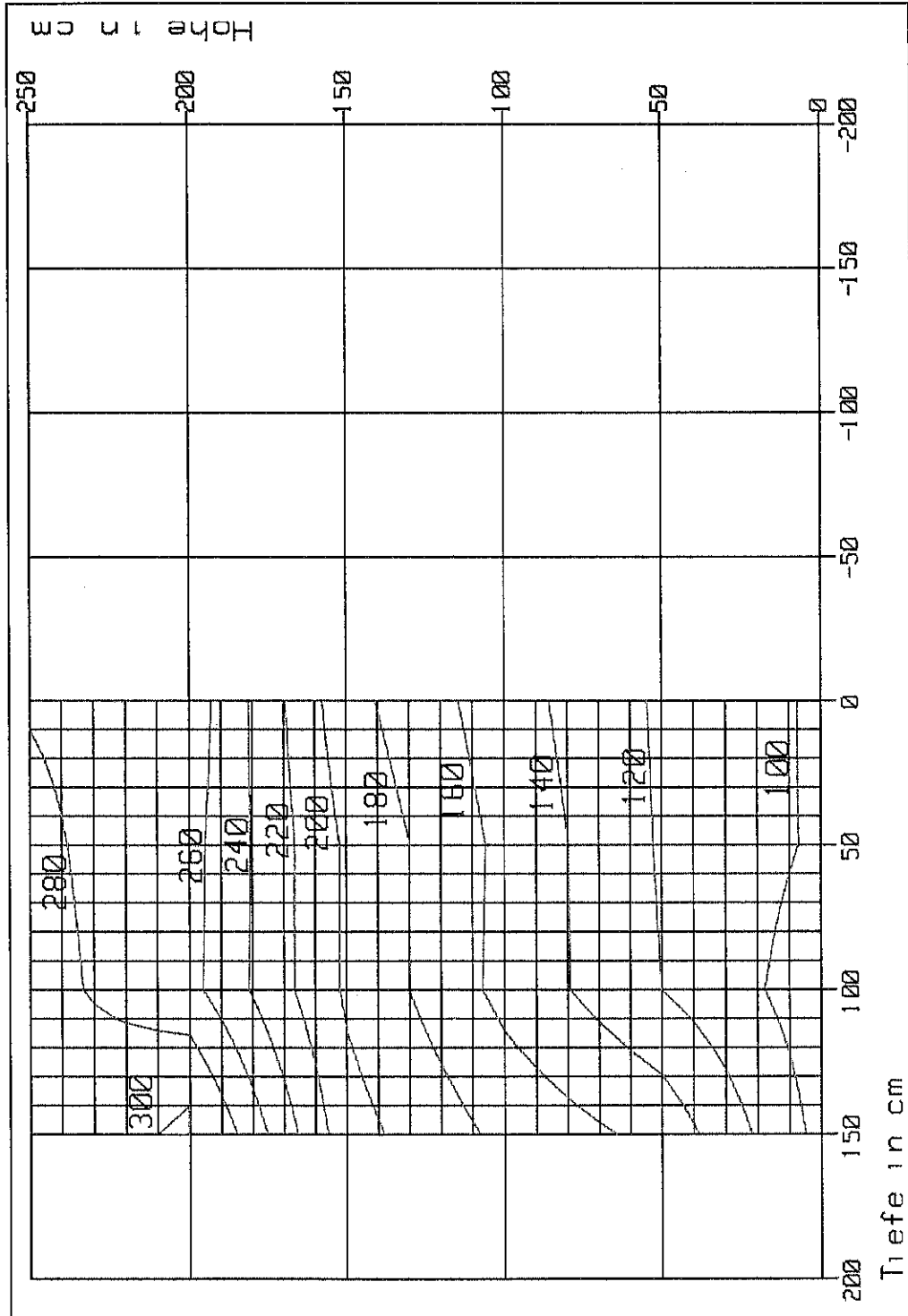


Projektion

Tabelle 8: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Schicht C nach 40 Minuten

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300				
0	185	185	185	185	185	185	186	186	187	187	188	188	188	187	187	187	188	190	191	193	194	193	191	190	188	187	187	187	188	188	188				
10	186	186	186	186	186	187	187	188	188	188	189	189	189	189	189	189	189	190	191	192	193	195	193	192	191	189	188	188	188	188	188	188			
20	188	188	187	187	187	187	188	188	189	189	190	190	190	190	191	191	191	192	193	194	194	195	194	193	191	190	189	189	189	189	189	189	189		
30	189	189	189	188	188	188	188	189	189	190	190	191	191	192	192	193	194	194	195	195	196	196	195	193	192	191	189	189	190	190	190	190	190		
40	191	190	190	189	189	189	189	190	190	191	191	192	193	193	194	195	195	196	196	197	197	197	196	195	193	192	191	190	190	190	190	190	190		
50	192	192	191	191	190	190	190	191	191	192	192	193	194	195	196	197	197	197	197	197	197	197	196	195	193	192	191	191	191	191	191	191	191		
60	192	192	192	192	192	192	192	192	193	193	193	194	195	195	196	197	198	198	199	199	200	200	198	196	195	193	192	192	192	192	192	192	192	192	
70	192	193	193	193	193	194	194	194	194	194	194	195	195	196	196	197	198	199	200	201	202	202	198	196	195	193	193	193	192	192	192	192	192	192	
80	193	193	194	194	195	195	195	195	195	195	195	195	196	196	197	197	197	198	199	200	203	205	203	200	198	196	193	193	193	193	193	193	193	193	
90	193	194	195	195	196	197	197	197	196	196	196	196	196	197	197	197	199	201	203	205	207	205	202	199	197	194	194	194	194	194	194	194	194	193	
100	193	194	195	197	198	199	199	198	198	197	197	197	197	197	197	197	200	202	205	207	210	207	204	201	198	195	195	195	194	194	194	194	194	194	
110	192	193	194	195	196	197	198	198	199	199	199	199	199	199	199	199	201	204	206	208	208	210	207	204	201	198	194	194	194	194	194	193	193	193	
120	191	192	193	194	195	195	197	198	199	200	201	201	201	201	201	201	201	203	205	207	209	210	207	204	200	197	194	194	193	193	193	193	193	192	192
130	190	191	191	192	193	194	196	198	200	202	204	204	204	204	204	204	204	205	206	208	209	211	207	204	200	197	193	193	193	193	192	192	192	192	192
140	189	190	190	191	192	193	195	197	200	203	206	206	206	206	206	206	206	207	208	209	210	211	207	204	200	196	193	192	192	192	192	191	191	191	191
150	188	188	189	189	190	190	194	197	201	204	208	208	208	208	208	208	208	209	210	210	211	207	203	200	196	192	192	192	191	191	190	190	190	190	190

TEMPERATURPROFIL HOTBOX 3 x 2 m REIHE 4 ÜBER
DIE SCHICHTEN A BIS F NACH 40 MINUTEN

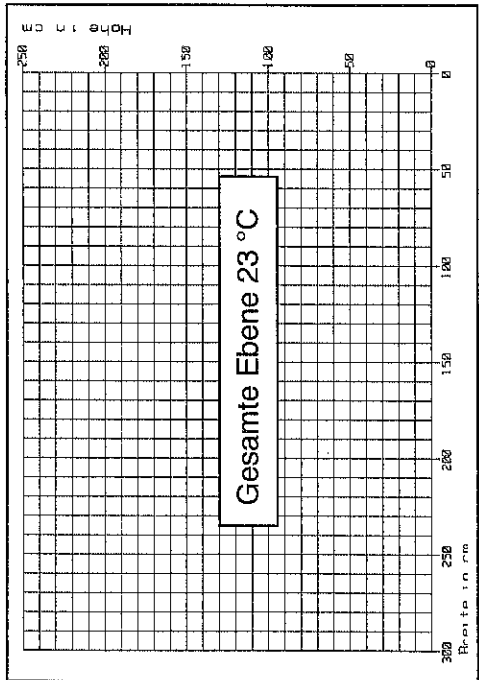


Projektion

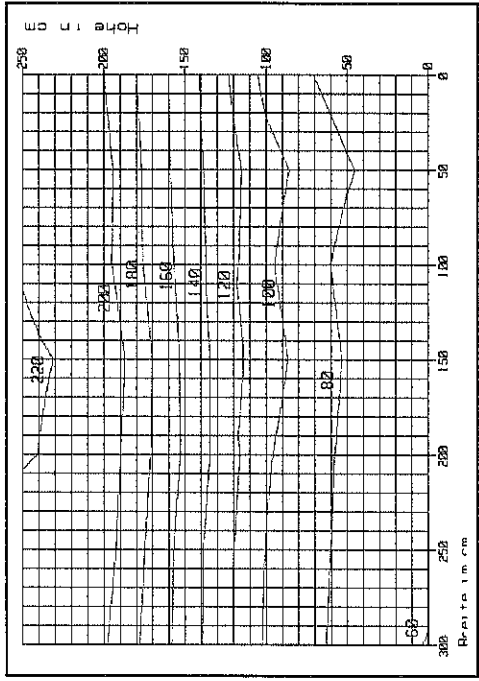
Tabelle 9: Messwerte Temperaturprofil Hotbox 3x2 m Reihe 4 über die Schichten A bis F nach 40 Minuten

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
0	97	101	105	109	113	117	123	130	136	143	149	157	164	172	179	187	204	221	238	255	272	273	275	276	278	279
10	97	101	105	109	113	117	124	130	137	144	150	158	166	173	181	189	205	222	236	255	271	273	275	276	278	280
20	97	101	105	109	113	117	124	131	138	145	151	159	167	175	183	191	207	223	238	254	270	272	274	277	279	281
30	97	101	105	109	113	118	125	132	139	146	153	161	169	177	185	193	208	223	239	254	269	272	274	277	279	282
40	97	101	105	109	114	118	125	132	139	147	154	162	170	179	187	195	210	224	239	253	268	271	274	277	280	283
50	97	101	105	110	114	118	125	133	140	148	155	163	172	180	189	197	211	225	239	253	267	270	274	277	281	284
60	96	100	105	109	114	118	126	133	140	148	155	163	172	180	189	197	211	225	239	253	267	270	274	277	281	285
70	94	99	104	109	114	119	126	133	140	147	155	163	172	180	189	197	211	225	239	253	267	270	274	278	281	285
80	92	98	103	108	114	119	126	133	140	147	154	163	171	180	188	197	211	225	239	253	266	270	274	278	282	286
90	91	96	102	108	114	120	127	133	140	147	154	163	171	180	188	197	211	225	239	252	266	270	274	278	282	286
100	89	95	101	108	114	120	127	134	140	147	154	163	171	180	188	197	211	225	238	252	266	270	274	279	283	287
110	90	97	105	112	119	127	133	139	146	152	158	166	175	183	191	199	214	230	245	260	275	277	279	281	284	286
120	91	100	108	117	125	134	139	145	151	157	162	170	178	186	194	201	218	234	251	267	284	284	284	284	284	285
130	92	102	111	121	131	140	146	151	156	161	167	174	181	189	196	204	221	239	257	275	293	291	289	287	285	283
140	93	104	115	126	136	147	152	157	161	166	171	178	185	192	199	206	225	244	264	283	302	298	294	290	286	282
150	94	106	118	130	142	154	158	162	167	171	175	182	188	195	201	208	229	249	270	290	311	305	299	293	287	281

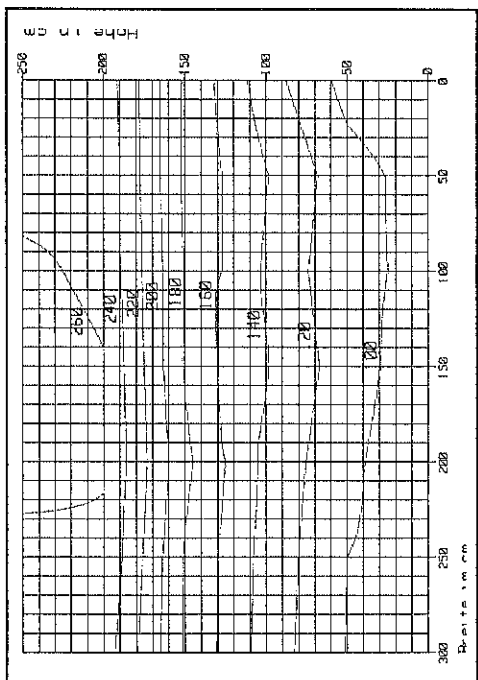
TEMPERATURPROFIL HOTBOX 3 x 2 m EBENE 4 NACH ZEITEN



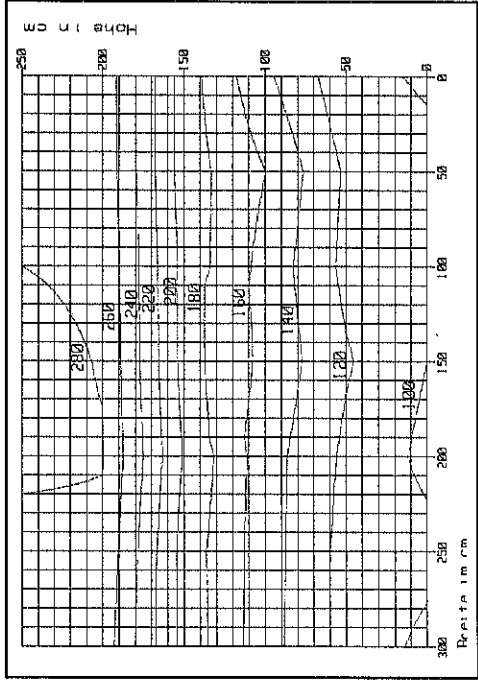
Start = 0 min



nach 10 min

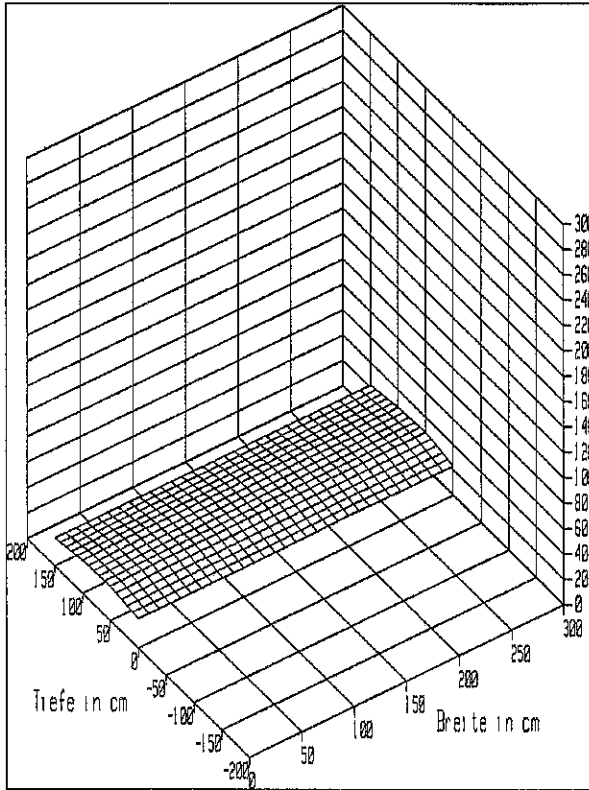


nach 30 min

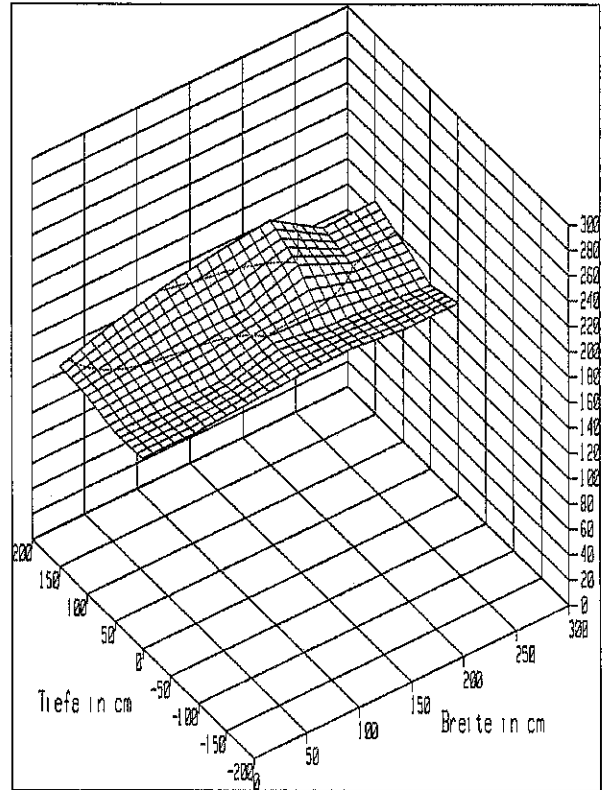


nach 50 min

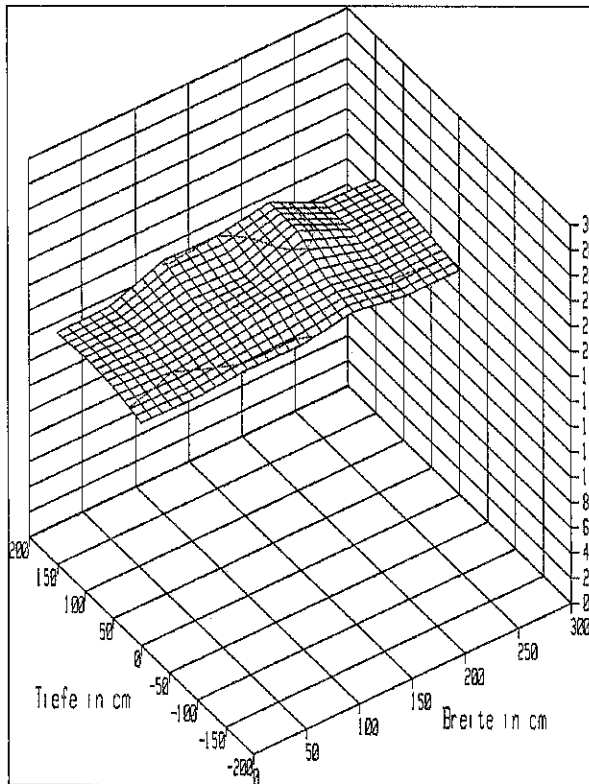
**TEMPERATURPROFIL HOTBOX 3 x 2 m
SCHICHT C NACH ZEITEN**



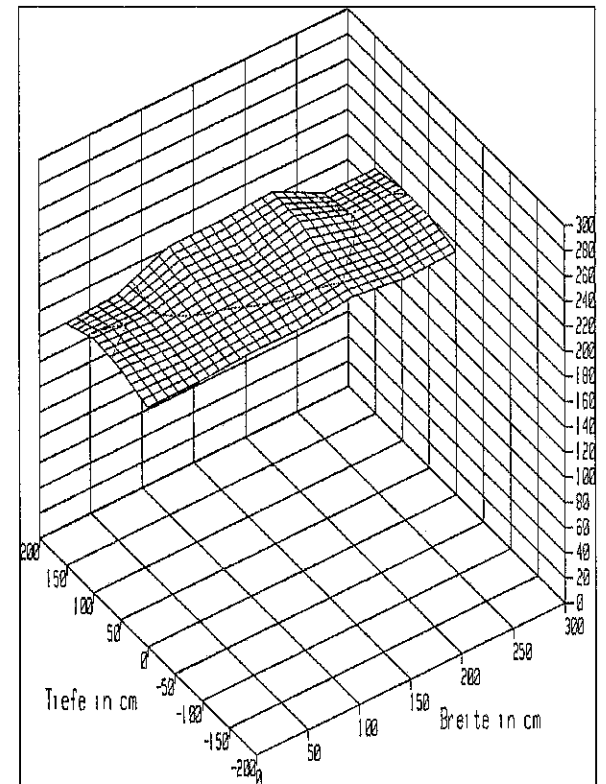
Start = 0 min



nach 10 min

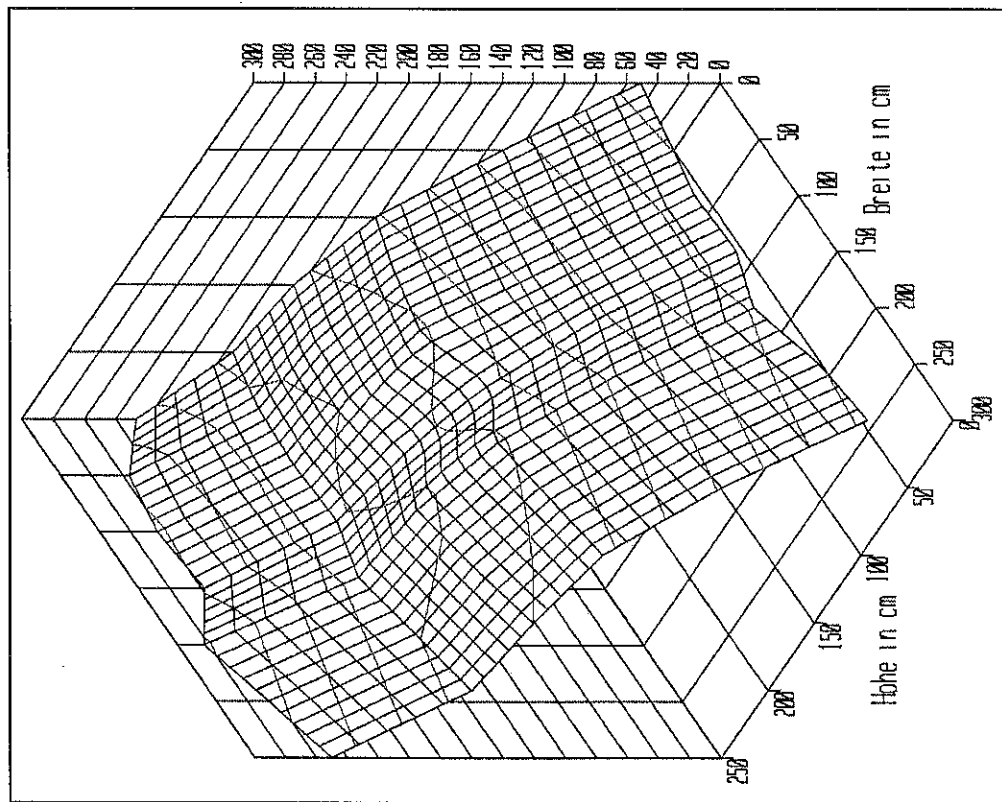


nach 30 min

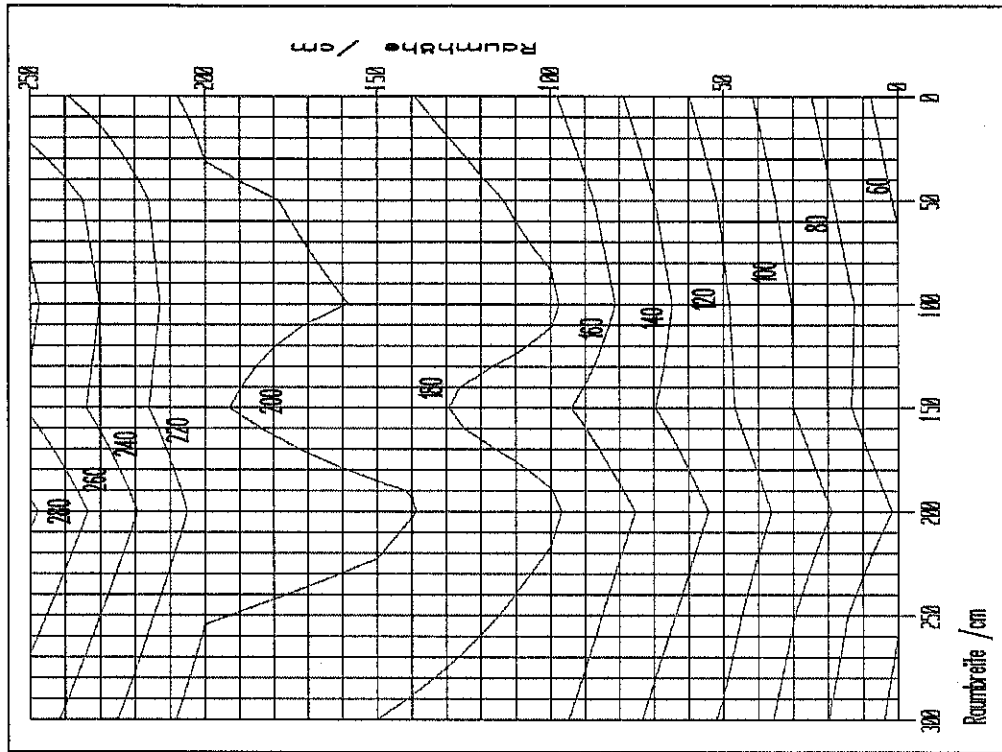


nach 50 min

TEMPERATURPROFIL BRANDHAUS EBENE 2 NACH 8 MINUTEN



3 D - Darstellung

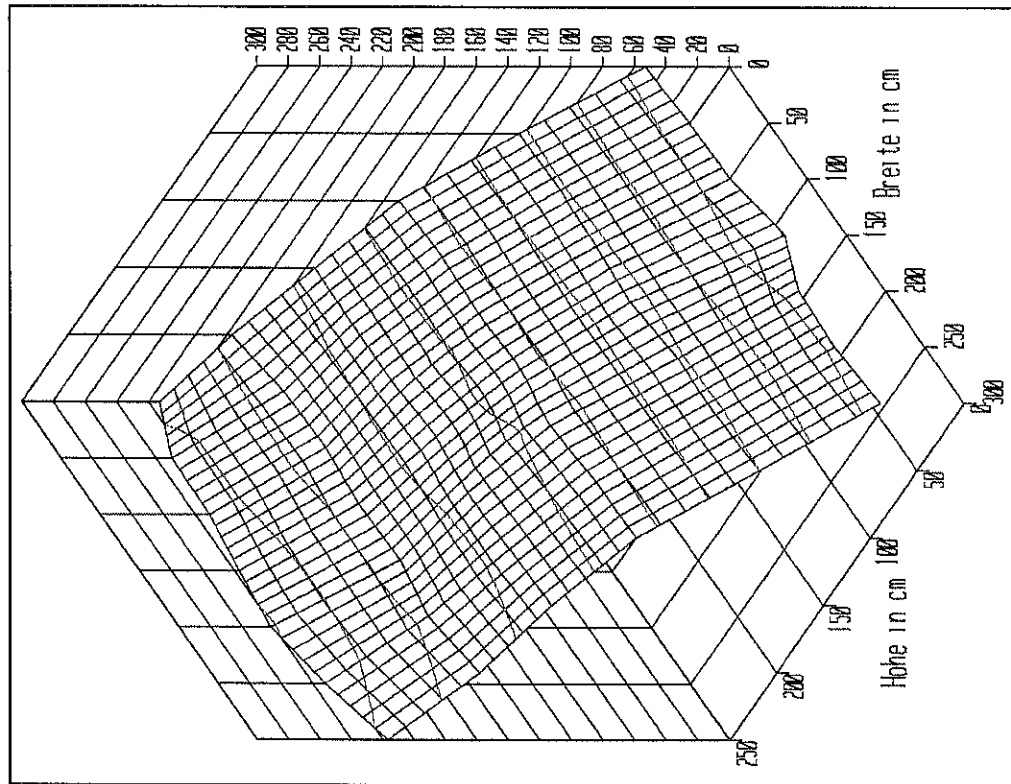


Projektion

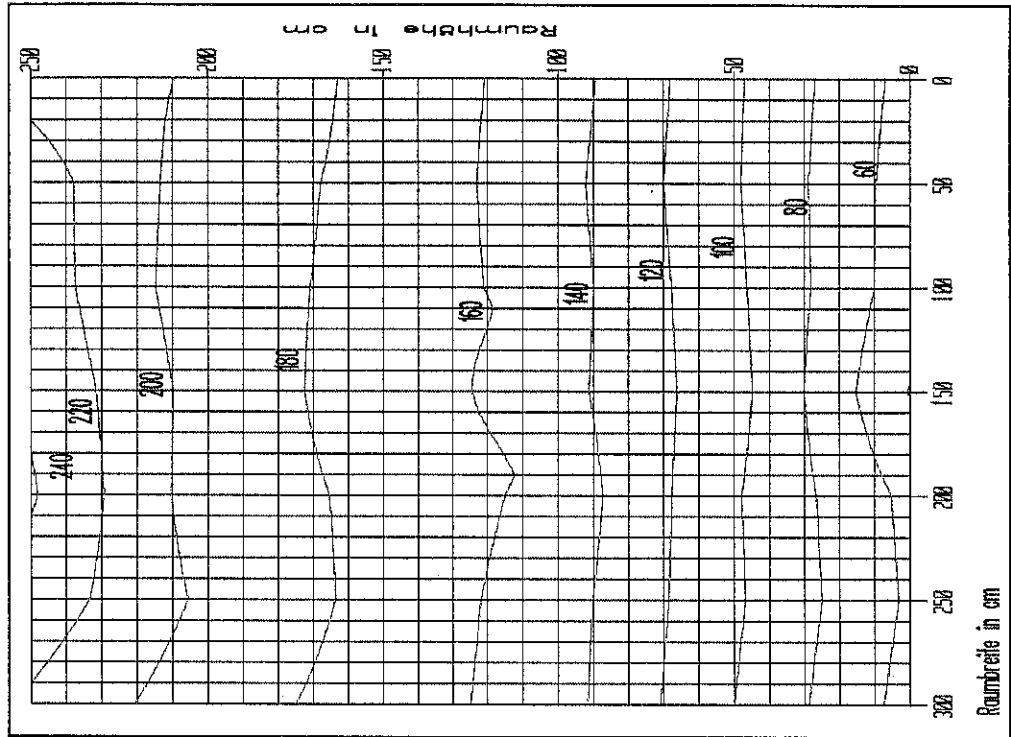
Tabelle 10: Messwerte Temperaturprofil Brandhaus Ebene 2 nach 8 Minuten

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	
0	51	63	75	86	98	110	120	131	141	152	162	167	171	176	180	185	187	189	191	193	195	201	208	214	221	227
10	52	64	76	88	100	112	122	133	143	154	164	169	174	178	183	187	189	191	193	195	197	204	211	218	226	233
20	54	66	78	89	101	113	124	135	145	156	167	171	176	180	185	189	191	193	195	196	198	206	214	222	231	239
30	55	67	79	91	103	115	126	137	147	158	169	174	178	183	187	192	193	195	197	198	200	209	218	227	235	244
40	57	69	81	92	104	116	127	138	150	161	172	176	180	185	189	194	195	197	198	200	201	211	221	231	240	250
50	58	70	82	94	106	118	129	140	152	163	174	178	183	187	192	196	197	199	200	202	203	214	224	235	245	256
60	60	71	83	95	107	119	130	142	153	164	176	180	184	188	192	197	198	199	201	202	203	214	225	236	247	257
70	61	73	85	96	108	120	131	143	154	166	178	182	185	189	193	197	199	200	201	202	204	215	226	237	248	259
80	63	74	86	97	109	120	132	144	156	168	179	183	187	190	194	198	199	200	202	203	204	215	227	238	249	260
90	64	76	87	98	110	121	133	145	157	169	181	185	188	192	195	198	200	201	202	203	205	216	227	239	250	262
100	66	77	88	100	111	122	134	146	159	171	183	186	189	193	196	199	200	201	203	204	205	217	228	240	251	263
110	66	77	88	100	111	122	134	145	157	168	181	187	191	193	195	197	198	200	201	203	204	216	227	239	250	262
120	65	77	88	100	111	123	133	144	155	165	176	182	186	189	192	195	196	198	200	202	204	215	227	238	250	261
130	65	76	88	100	112	123	133	143	153	162	171	177	181	185	188	192	195	197	199	201	203	215	226	237	249	260
140	64	76	88	100	112	124	133	142	151	160	167	173	177	182	185	190	193	195	198	200	203	214	225	236	248	259
150	64	76	88	100	112	124	132	140	149	157	165	171	176	180	184	188	191	194	196	199	202	213	224	236	247	258
160	67	79	91	103	114	126	135	143	152	160	167	173	178	182	186	191	194	197	199	202	204	216	228	239	251	263
170	70	81	93	105	117	129	137	146	155	164	171	177	182	187	190	195	197	199	202	204	206	219	231	243	256	268
180	72	84	96	108	119	131	140	149	158	167	176	182	187	192	195	198	200	202	204	207	209	221	234	247	260	273
190	75	87	99	110	122	134	143	152	161	170	181	187	192	196	200	202	203	205	207	209	211	224	238	251	265	278
200	78	90	101	113	124	136	145	155	164	174	183	187	192	196	201	205	207	208	210	211	213	227	241	255	269	283
210	75	87	98	110	122	134	144	153	162	172	181	185	190	194	198	203	204	206	207	209	211	224	238	252	266	280
220	71	83	96	108	120	132	142	151	161	170	179	184	188	192	196	201	202	204	205	207	208	222	235	249	263	276
230	68	80	93	105	118	131	140	149	159	168	178	182	186	190	194	198	200	201	203	204	206	219	233	246	259	273
240	64	77	90	103	116	129	138	148	157	166	176	180	184	188	192	196	198	199	201	202	203	217	230	243	256	269
250	61	74	87	101	114	127	136	146	155	165	174	178	182	186	190	194	195	197	198	200	201	214	227	240	253	266
260	60	73	86	99	112	125	135	144	153	163	172	176	180	184	187	191	193	194	196	197	199	212	224	237	250	263
270	59	72	85	97	110	123	133	142	152	161	170	174	178	181	185	188	190	192	193	195	197	209	222	234	247	260
280	57	70	83	96	109	122	131	140	150	159	169	172	175	179	182	186	187	189	191	193	194	207	219	232	244	256
290	56	69	82	94	107	120	129	139	148	157	167	170	173	176	180	183	185	187	188	190	192	204	217	229	241	253
300	55	68	80	93	105	118	127	137	146	156	165	168	171	174	177	180	182	184	186	188	190	202	214	226	238	250

TEMPERATURPROFIL BRANDHAUS EBENE 4 NACH 8 MINUTEN



3 D - Darstellung

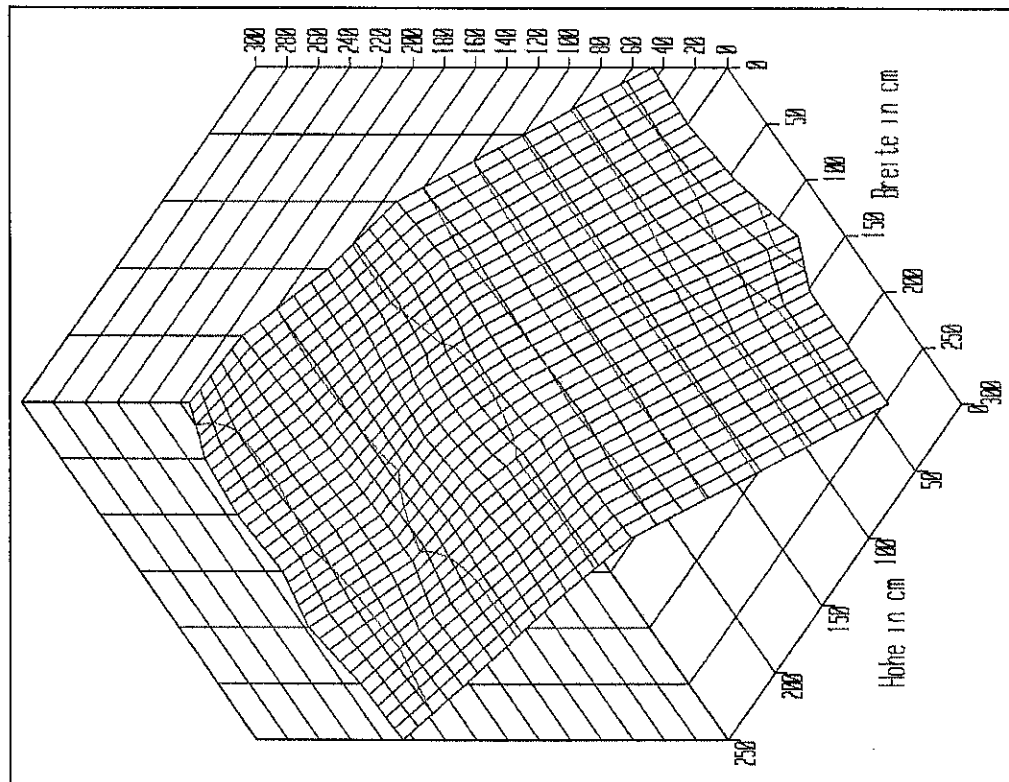


Projektion

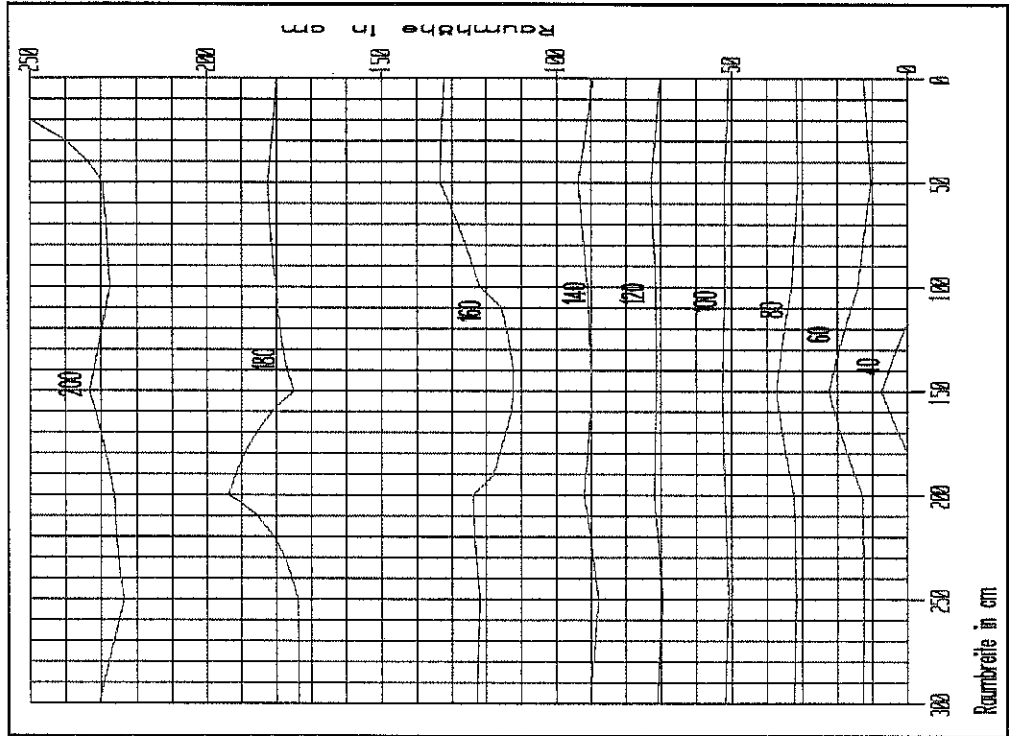
Tabelle 11: Messwerte Temperaturprofil Brandhaus Ebene 4 nach 8 Minuten

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250
53	63	73	83	93	103	112	122	131	141	150	155	160	164	169	174	179	183	188	192	197	200	203	207	210	213
52	62	73	83	93	103	112	121	131	140	149	154	159	164	169	174	178	183	187	191	195	200	204	208	212	216
52	62	72	82	92	103	112	121	130	140	149	154	159	164	169	174	178	182	186	190	194	199	204	209	215	220
51	61	72	82	92	102	112	121	130	139	148	153	159	164	169	175	178	182	185	189	192	198	205	211	217	223
51	61	71	82	92	102	111	120	129	138	148	153	158	164	169	175	178	181	184	187	191	198	205	212	219	227
50	60	71	81	92	102	111	120	129	138	147	153	158	164	169	175	178	181	183	186	189	197	205	214	222	230
50	60	71	81	92	102	111	120	129	138	147	153	158	164	169	175	178	180	183	186	189	197	205	214	222	230
50	60	71	82	92	103	112	121	130	139	148	153	159	164	170	175	178	180	183	186	188	197	205	214	222	230
49	60	71	82	92	103	112	121	130	139	148	154	159	164	170	175	178	180	183	185	188	196	205	213	222	231
49	60	71	82	93	104	113	122	131	140	149	154	159	164	170	175	177	180	182	185	187	196	205	213	222	231
49	60	71	82	93	104	113	122	131	140	149	154	159	165	170	175	177	180	182	185	187	196	205	213	222	231
47	58	70	82	93	105	113	122	131	140	149	155	161	166	170	174	177	180	182	185	188	197	206	214	223	232
45	57	69	81	93	105	114	122	131	140	148	154	160	165	169	173	176	179	183	186	189	198	207	215	224	233
43	56	68	81	93	106	114	123	131	139	147	154	159	164	168	173	176	179	183	186	189	198	207	215	224	233
41	54	67	80	93	106	115	123	131	139	147	153	158	163	167	172	175	179	183	187	190	199	208	218	227	236
39	53	66	80	93	107	115	123	131	139	147	153	158	162	167	171	175	179	183	187	191	200	209	219	228	237
42	55	68	80	93	106	114	123	131	140	148	154	159	163	167	172	176	179	183	187	191	200	210	219	229	238
45	57	69	81	93	105	114	123	132	141	149	155	160	165	169	173	176	180	183	187	190	200	210	219	229	239
49	60	71	82	93	104	113	123	132	141	151	157	162	167	170	174	177	180	183	187	190	200	210	220	230	240
52	62	72	83	93	103	113	123	132	142	152	159	164	168	172	175	178	181	184	187	189	200	210	220	231	241
55	64	74	83	93	102	112	122	133	143	153	158	162	167	171	176	179	181	184	186	189	200	210	221	231	242
55	65	74	83	93	102	112	122	132	142	152	157	162	166	171	176	179	182	184	187	190	200	210	220	230	240
56	65	74	84	93	102	112	122	132	142	151	156	161	166	170	175	179	182	185	188	192	201	210	220	230	240
56	65	75	84	93	103	112	122	131	141	151	155	160	165	170	175	178	182	186	190	193	202	210	219	227	236
57	66	75	84	94	103	112	122	131	140	150	155	160	165	169	174	178	182	187	191	195	202	210	218	226	234
57	66	75	85	94	103	112	121	131	140	149	154	159	164	169	174	178	183	187	192	196	203	210	218	225	232
56	65	75	84	93	102	112	121	130	140	149	154	159	164	169	174	178	182	186	190	194	201	208	215	222	229
55	65	74	83	93	102	111	121	130	139	149	154	158	163	168	173	177	181	185	189	193	199	206	213	219	226
55	64	73	83	92	101	111	120	130	139	148	153	158	163	168	173	176	180	184	188	191	198	204	210	217	223
54	63	73	82	91	101	110	120	129	139	148	153	158	163	168	172	176	179	183	186	190	196	202	208	214	220
53	62	72	81	91	100	110	119	129	138	148	153	158	162	167	172	175	178	182	185	188	194	200	205	211	217

TEMPERATURPROFIL BRANDHAUS EBENE 6 NACH 10 MINUTEN



3 D - Darstellung

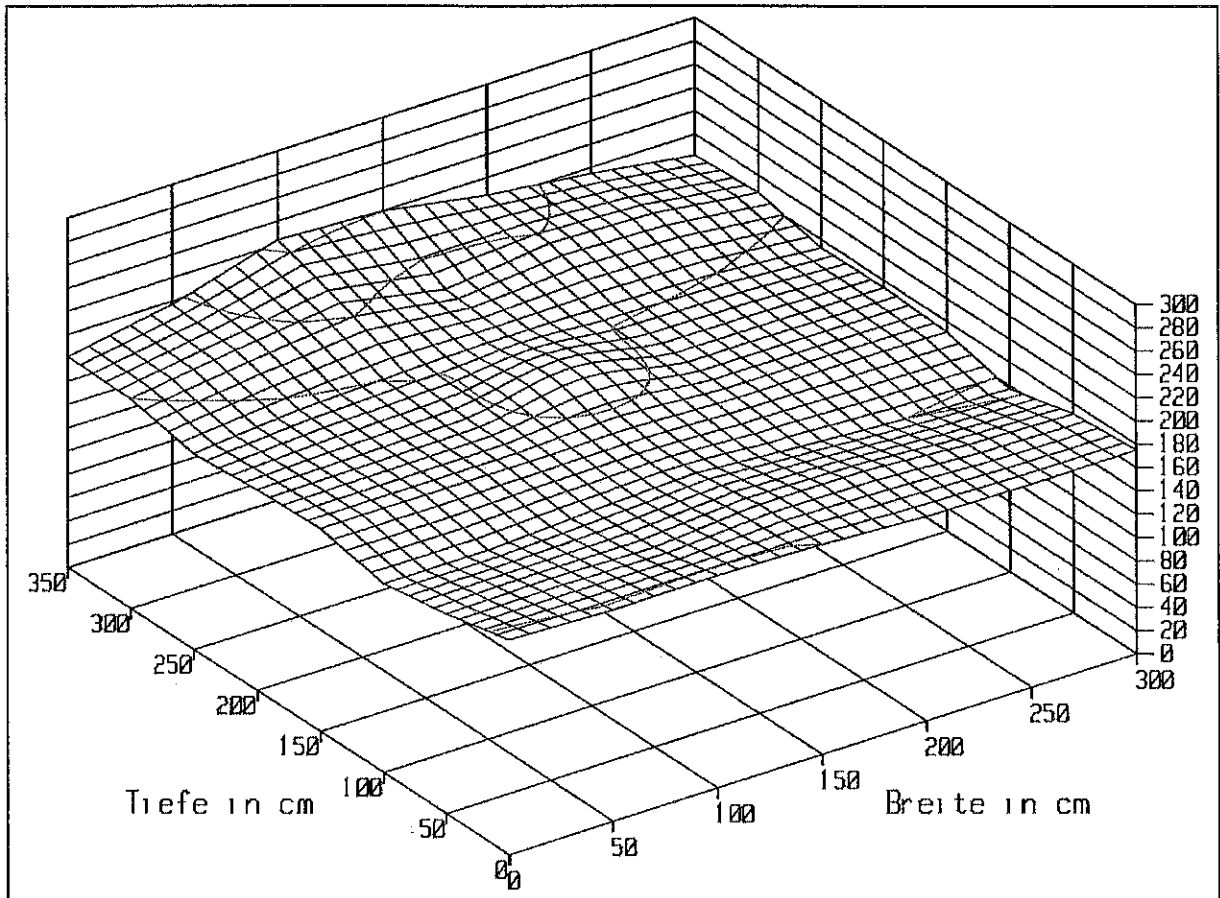


Projektion

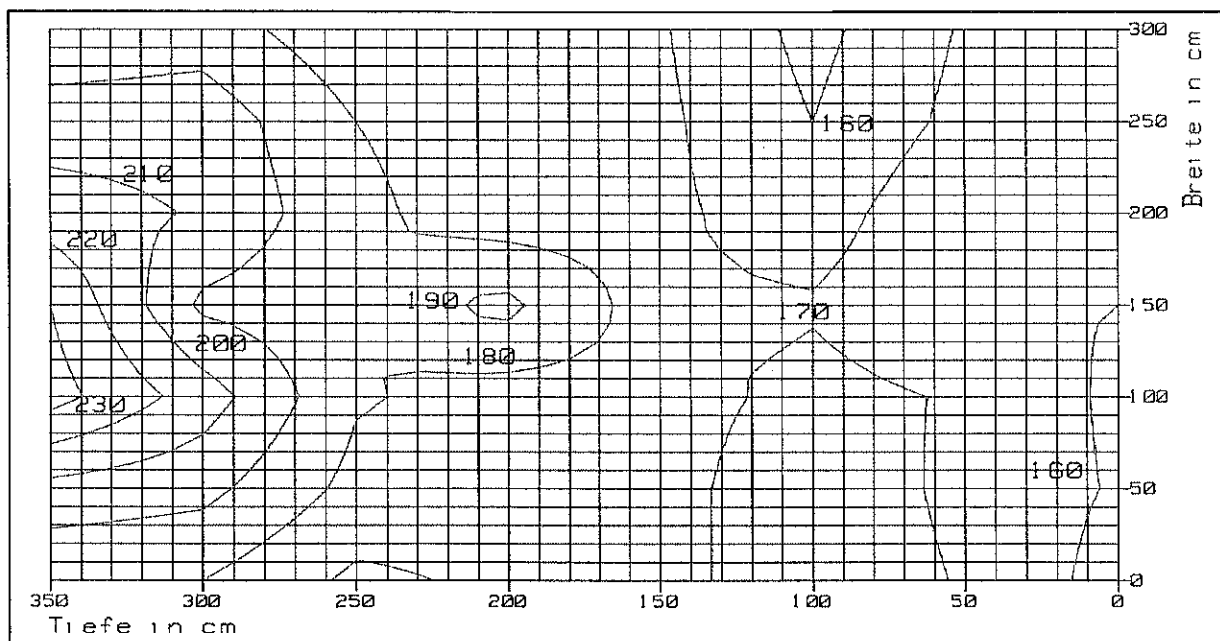
Tabelle 12: Messwerte Temperaturprofil Brandhaus Ebene 6 nach 10 Minuten

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	
0	47	57	68	78	89	99	109	120	130	141	151	154	157	159	162	165	170	175	180	185	190	191	192	192	192	193	194
10	48	58	68	78	89	99	109	119	130	140	150	153	156	159	162	165	170	175	180	185	189	191	192	194	195	197	
20	48	58	68	78	89	99	109	119	129	139	149	152	156	159	162	166	170	175	180	184	189	191	193	196	198	200	
30	49	59	69	79	88	98	108	118	128	138	148	152	155	159	163	166	171	175	179	184	188	191	194	197	200	203	
40	49	59	69	79	88	98	108	118	127	137	147	151	155	159	163	167	171	175	179	183	188	191	195	199	202	206	
50	50	60	69	79	88	98	108	117	127	136	146	150	154	159	163	167	171	175	179	183	187	191	196	200	205	209	
60	49	59	69	78	88	98	108	117	127	137	147	151	155	160	164	168	172	176	179	183	186	191	196	200	205	210	
70	48	58	68	78	88	98	108	118	128	137	147	152	156	161	165	170	173	176	179	183	186	191	196	201	206	211	
80	47	57	67	78	88	98	108	118	128	138	148	152	157	162	167	171	174	177	180	182	185	190	196	201	206	211	
90	46	56	67	77	88	98	108	118	128	138	148	153	158	163	168	173	175	177	180	182	185	190	196	201	207	212	
100	45	56	66	77	87	98	108	118	129	139	149	154	159	164	169	174	176	178	180	182	184	190	196	201	207	213	
110	42	53	64	75	87	98	108	118	129	139	150	157	162	167	172	175	177	178	180	182	184	189	195	201	206	212	
120	39	51	62	74	86	98	108	118	129	139	150	157	163	168	173	176	177	179	180	182	183	189	194	200	206	211	
130	36	48	61	73	85	97	108	119	129	140	151	158	164	169	174	176	178	179	180	182	183	188	194	199	205	211	
140	33	46	59	72	84	97	108	119	129	140	151	158	165	170	174	177	178	179	180	181	182	188	193	199	204	210	
150	30	43	57	70	84	97	108	119	129	140	151	158	165	170	175	178	179	180	180	181	182	187	193	198	204	209	
160	33	46	59	72	84	97	108	118	129	140	151	158	164	170	174	177	178	179	180	181	182	188	193	199	205	211	
170	37	49	61	73	85	97	108	118	129	139	150	157	163	169	173	176	177	178	179	180	182	188	194	200	206	212	
180	40	52	63	75	86	98	108	118	129	139	149	156	162	167	172	175	176	178	179	180	181	188	194	201	207	214	
190	44	54	65	76	87	98	108	118	129	138	148	155	161	166	171	174	175	177	178	180	181	188	195	202	208	215	
200	47	57	67	78	88	98	108	118	128	138	148	153	158	163	168	173	175	176	178	179	181	188	195	203	210	217	
210	47	57	67	78	88	98	108	119	129	139	149	154	158	163	168	172	174	177	179	181	183	190	196	203	209	215	
220	47	57	68	78	88	98	109	119	129	140	150	154	159	163	167	171	174	177	180	183	185	191	197	202	208	214	
230	47	57	68	78	88	99	109	120	130	141	151	155	159	163	167	171	174	177	181	184	188	193	197	202	207	212	
240	47	57	68	78	88	99	109	120	131	141	152	156	159	163	166	170	174	178	182	186	190	194	198	202	206	211	
250	47	57	68	78	89	99	110	121	131	142	153	156	159	163	166	169	174	178	183	187	192	195	199	202	206	209	
260	47	57	68	78	88	99	110	120	131	142	152	156	159	163	166	170	174	178	183	187	191	195	198	202	205	209	
270	47	57	68	78	88	99	109	120	131	141	152	155	159	163	167	170	174	178	183	187	191	194	198	201	205	208	
280	47	57	68	78	88	98	109	120	130	141	151	155	158	163	167	171	175	179	182	186	190	194	197	201	204	208	
290	47	57	67	78	88	98	109	119	130	140	151	155	158	163	167	171	175	179	182	186	190	193	197	200	204	207	
300	47	57	67	78	88	98	108	119	129	140	150	154	158	163	168	172	175	179	182	186	189	193	196	200	203	207	

TEMPERATURPROFIL BRANDHAUS
SCHICHT C NACH 8 MINUTEN

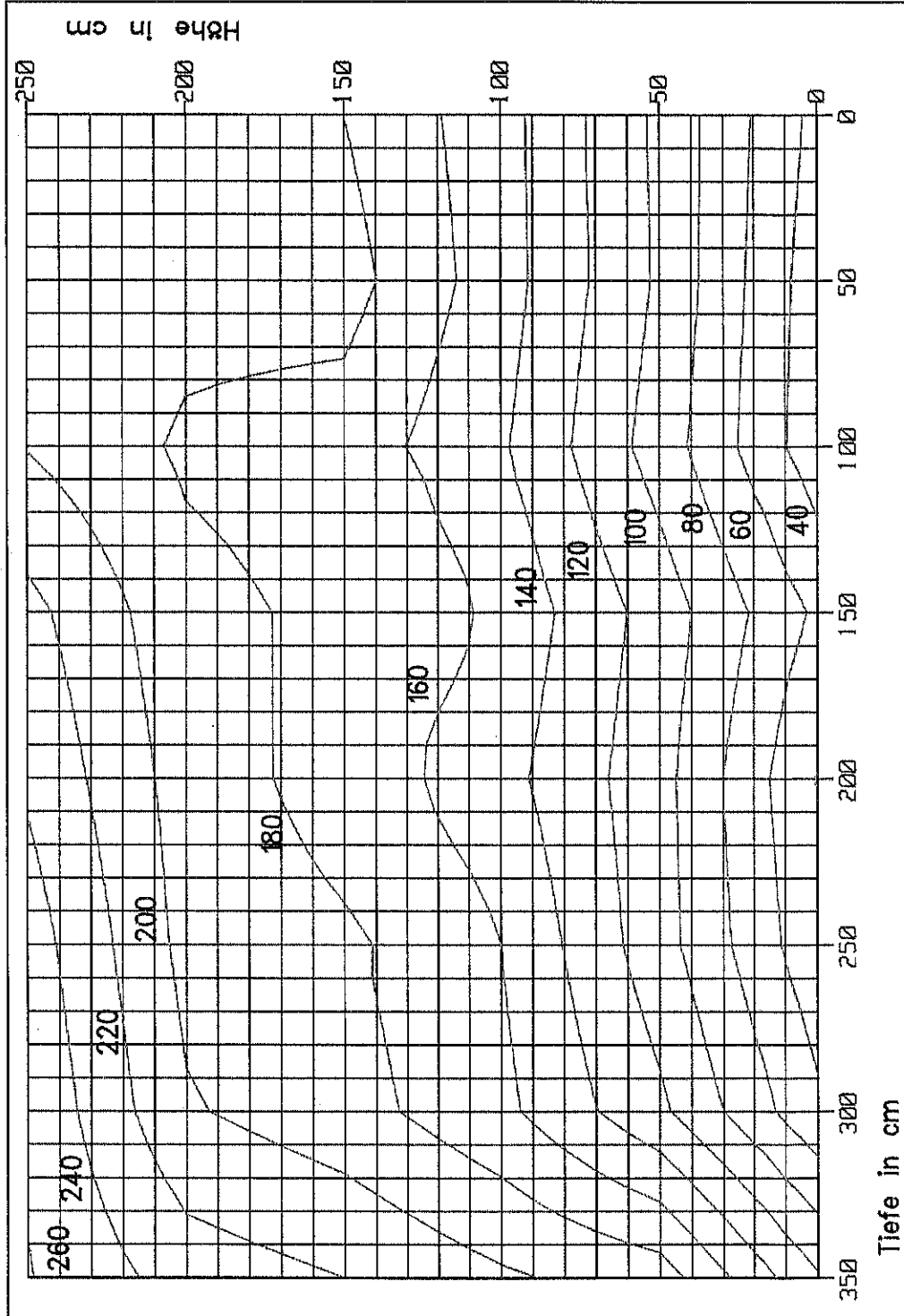


3 D - Darstellung



Projektion

TEMPERATURPROFIL BRANDHAUS REIHE 4 ÜBER
DIE SCHICHTEN A BIS F NACH 8 MINUTEN

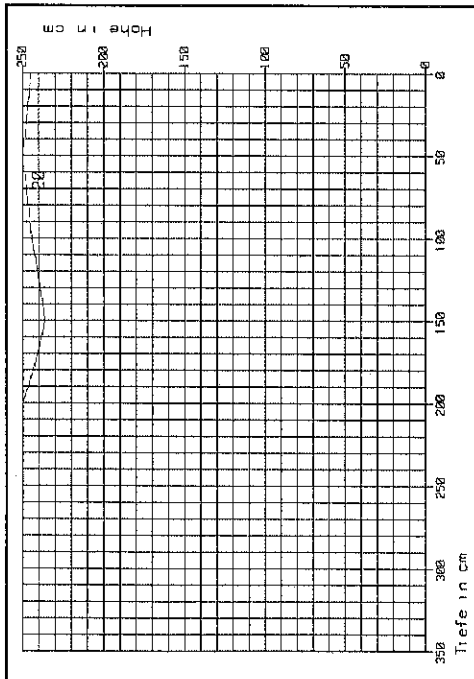


Projektion

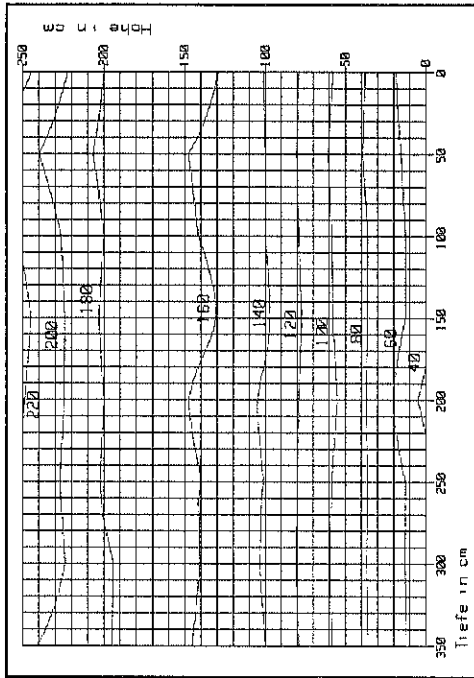
Tabelle 14: Messwerte Temperaturprofil Brandhaus Reihe 4 über die Schichten A bis F nach 8 Minuten

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	
0	34	46	59	71	84	96	106	117	127	138	148	154	161	174	180	183	186	189	192	195	193	191	189	187	185	
10	33	46	58	71	84	96	107	117	127	138	148	155	162	175	182	184	186	189	191	193	192	191	190	189	188	
20	32	45	58	71	84	96	107	117	128	138	148	155	162	176	183	185	187	188	190	192	192	191	191	191	191	
30	31	44	57	70	83	97	107	117	128	138	149	156	163	178	185	186	187	188	189	190	191	191	192	193	193	
40	30	43	57	70	83	97	107	118	128	138	149	156	164	171	179	186	187	188	188	189	190	192	193	195	196	
50	29	43	56	70	83	97	107	118	128	139	149	157	165	172	180	188	188	187	187	187	189	192	194	197	199	
60	29	42	56	69	82	96	106	117	127	137	148	155	163	170	177	185	185	185	185	185	188	191	193	196	199	
70	29	42	55	68	81	95	105	115	126	136	147	154	160	167	174	181	182	182	182	183	183	186	189	193	196	199
80	28	41	54	67	80	93	104	114	125	135	145	152	158	165	171	178	178	179	180	180	181	185	188	192	195	199
90	28	41	54	67	79	92	103	113	123	134	144	150	156	162	168	174	175	176	177	178	179	183	187	191	195	199
100	28	41	53	66	78	91	101	112	122	133	143	149	154	160	165	171	172	173	175	176	177	181	186	190	195	199
110	34	46	58	70	83	95	105	115	125	135	145	152	158	163	167	172	173	175	176	177	179	184	189	194	199	204
120	39	51	63	75	87	99	109	119	128	138	147	154	160	164	168	173	174	176	177	179	181	186	192	198	204	210
130	45	56	68	80	91	103	112	122	131	141	151	157	162	166	170	173	175	177	179	181	182	189	196	202	209	215
140	50	62	73	84	96	107	116	125	134	143	154	160	164	168	171	174	176	178	180	182	184	191	199	206	213	221
150	56	67	78	89	100	111	120	129	137	146	155	161	165	169	172	175	177	179	182	184	186	194	202	210	218	226
160	53	64	76	87	98	110	118	127	136	145	154	160	164	168	171	174	177	179	182	184	187	195	203	212	220	228
170	49	61	73	85	97	109	118	126	135	143	152	158	162	166	170	173	176	179	182	185	188	196	205	213	222	230
180	46	58	71	83	96	108	117	125	134	142	150	155	160	164	168	173	176	179	182	186	189	198	206	215	224	233
190	42	55	69	82	95	108	116	124	132	140	148	153	158	163	167	172	175	179	183	186	190	199	208	217	226	235
200	39	53	66	80	93	107	115	123	131	139	147	153	158	162	167	171	175	179	183	187	191	200	209	218	228	237
210	40	54	67	80	94	107	116	124	133	141	148	154	160	164	168	173	177	181	184	188	192	201	211	220	230	240
220	42	55	68	81	94	107	116	125	134	143	151	157	162	167	171	176	179	182	186	189	192	202	212	222	232	242
230	43	56	69	82	95	108	117	126	136	145	154	161	166	170	174	178	181	184	187	190	193	203	214	224	234	245
240	45	57	70	83	95	108	118	128	138	147	158	164	169	174	177	181	183	186	188	191	193	204	215	226	237	247
250	46	58	71	83	96	108	118	129	139	150	160	167	172	176	180	183	185	187	190	192	194	205	216	228	239	250
260	50	62	74	87	99	111	121	131	141	151	161	166	170	175	179	184	186	189	191	193	196	207	218	229	240	251
270	53	65	78	90	102	114	124	133	143	152	162	167	171	176	180	185	187	190	192	195	197	208	219	231	242	253
280	57	69	81	93	105	118	127	136	145	154	163	168	172	177	181	186	189	191	194	196	199	210	221	232	243	254
290	60	72	85	97	109	121	129	138	147	155	164	169	173	178	182	187	190	192	195	198	200	211	222	234	245	256
300	64	76	88	100	112	124	132	140	149	157	165	170	174	179	183	188	191	194	196	199	202	213	224	235	246	257
310	76	88	100	113	125	137	144	151	158	165	172	177	181	186	190	194	197	200	202	205	208	218	228	238	248	258
320	87	100	112	125	138	150	156	162	168	174	180	184	188	192	197	201	203	206	208	211	214	223	232	241	250	259
330	99	112	125	138	151	164	168	173	179	182	187	191	195	199	203	207	210	212	215	217	219	227	235	243	251	259
340	110	124	137	150	164	177	180	184	187	191	195	198	202	206	210	214	216	218	221	223	225	232	239	246	253	260
350	122	136	149	163	176	190	192	195	197	200	202	206	209	213	216	220	222	224	227	229	231	237	243	249	255	261

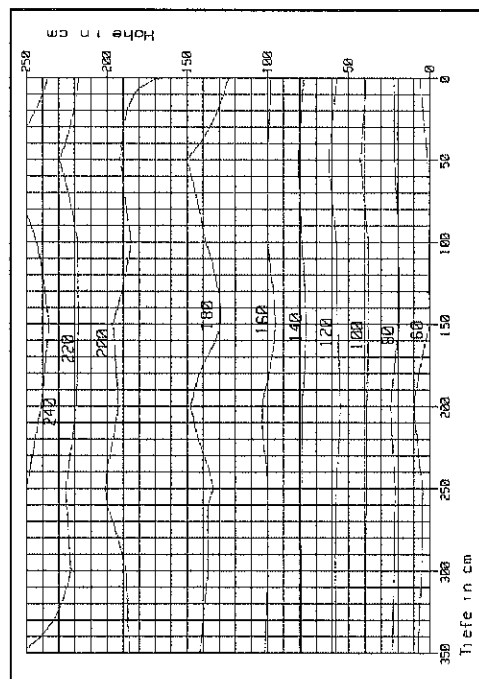
TEMPERATURPROFIL BRANDHAUS EBENE 4 NACH ZEITEN



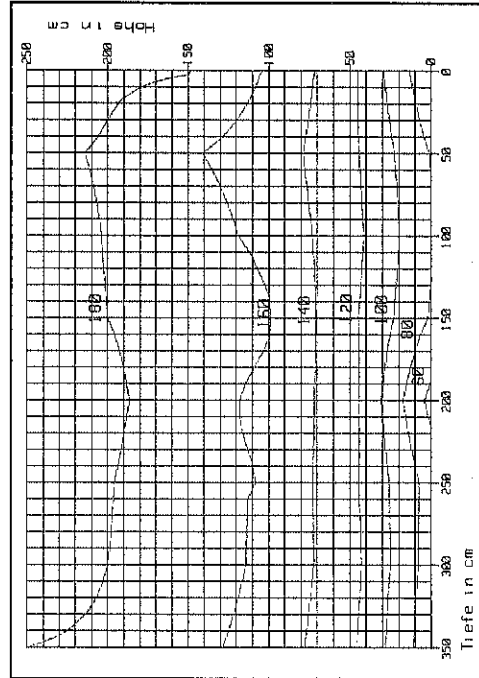
Start = 0 min



nach 6 min

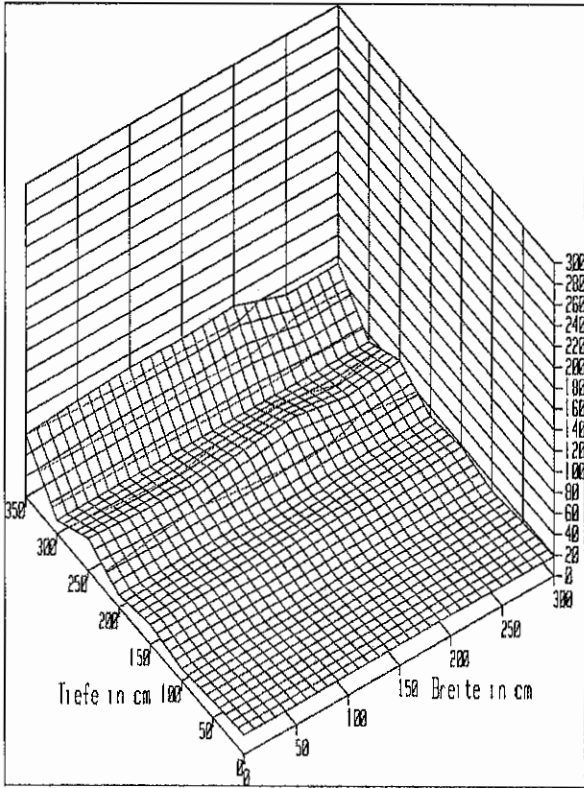


nach 10 min

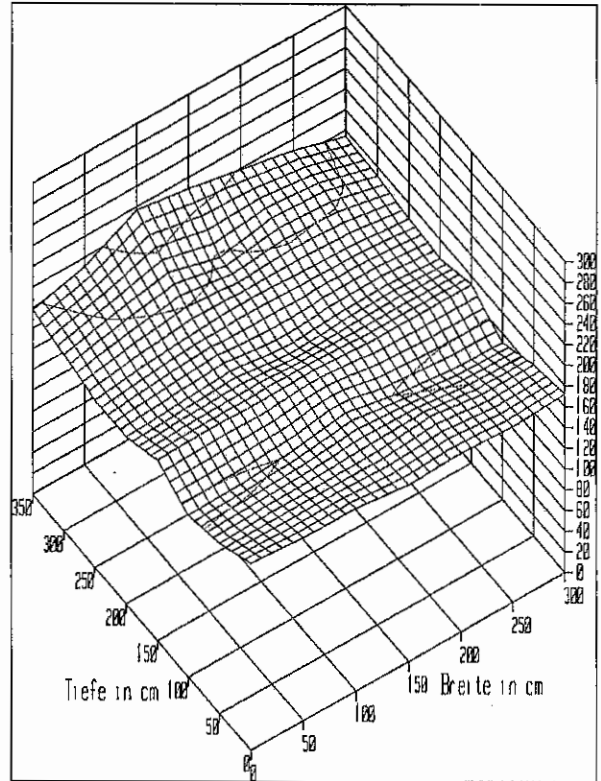


nach 14 min

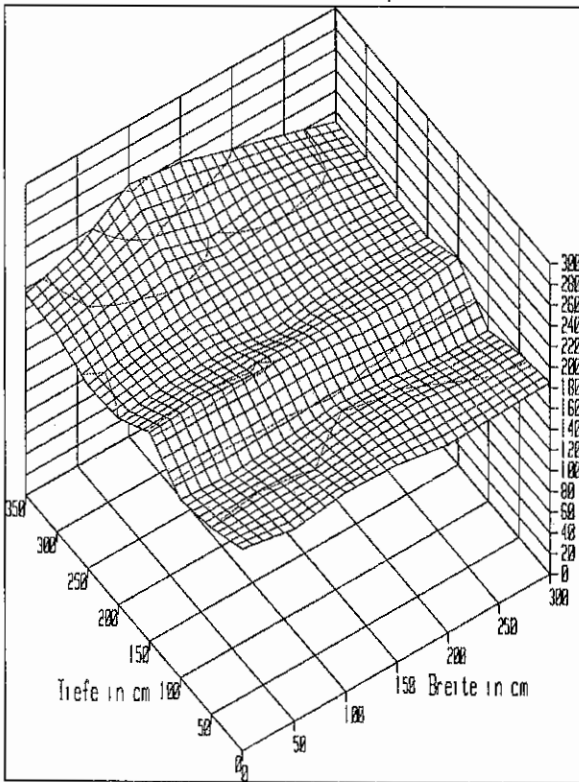
TEMPERATURPROFIL BRANDHAUS SCHICHT C NACH ZEITEN



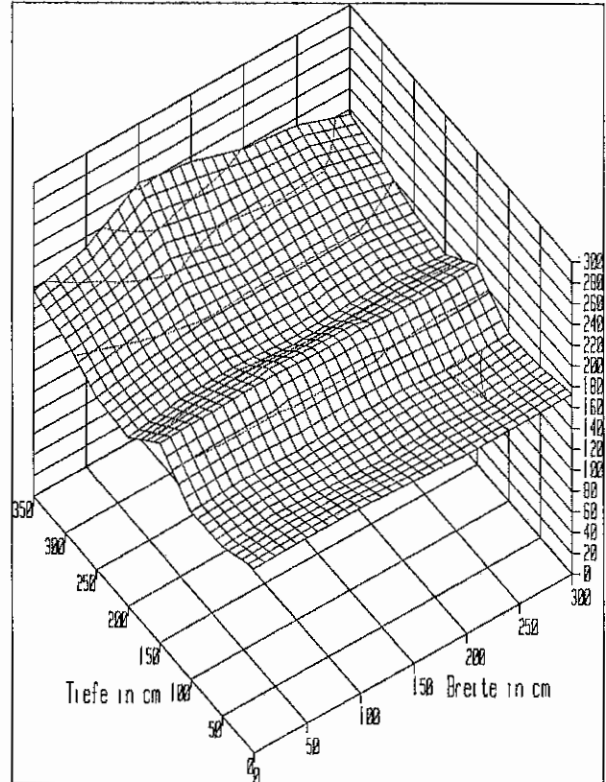
Start = 0 min



nach 6 min

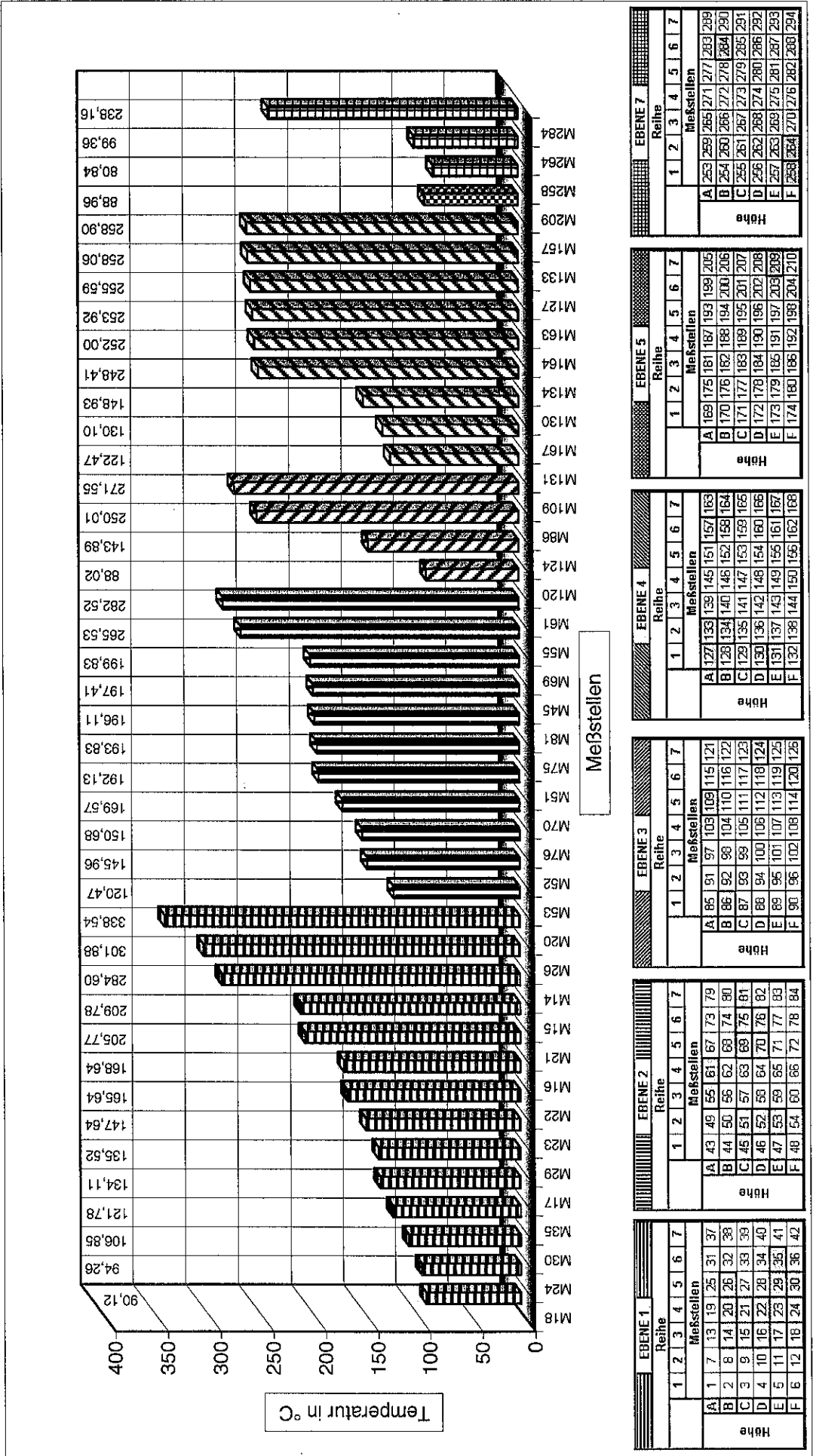


nach 10 min

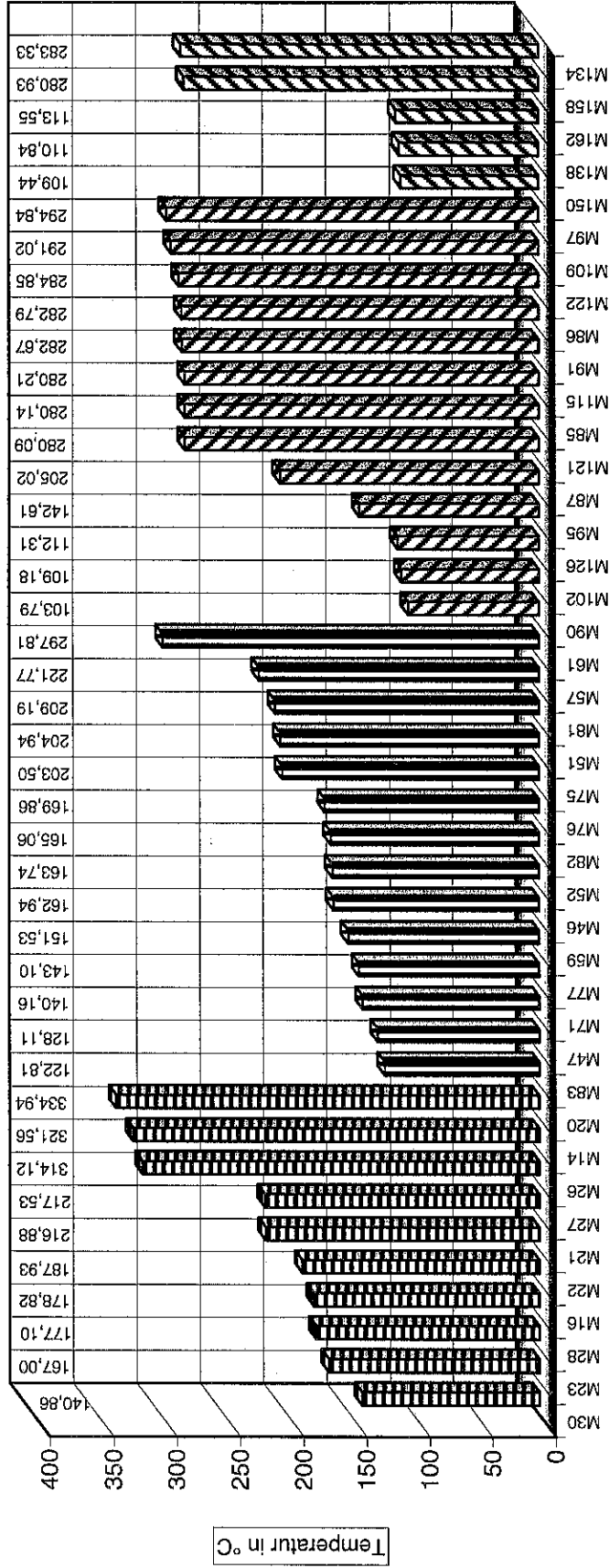


nach 14 min

HOTBOX 3 x 4 m
Maximalwerte gemessener Temperaturen an den Meßstellen (zeitunabhängig)



HOTBOX 3 x 2 m
Maximalwerte gemessener Temperaturen an den Meßstellen (zeitunabhängig)



Meßstellen

Ebene	Reihe							
	1	2	3	4	5	6	7	
Ebene 4	Meßstellen							
	A	127	133	139	145	151	157	163
	B	128	134	140	146	152	158	164
	C	129	135	141	147	153	159	165
Ebene 3	Meßstellen							
	D	130	136	142	148	154	160	166
	E	131	137	143	149	155	161	167
	F	132	138	144	150	156	162	168

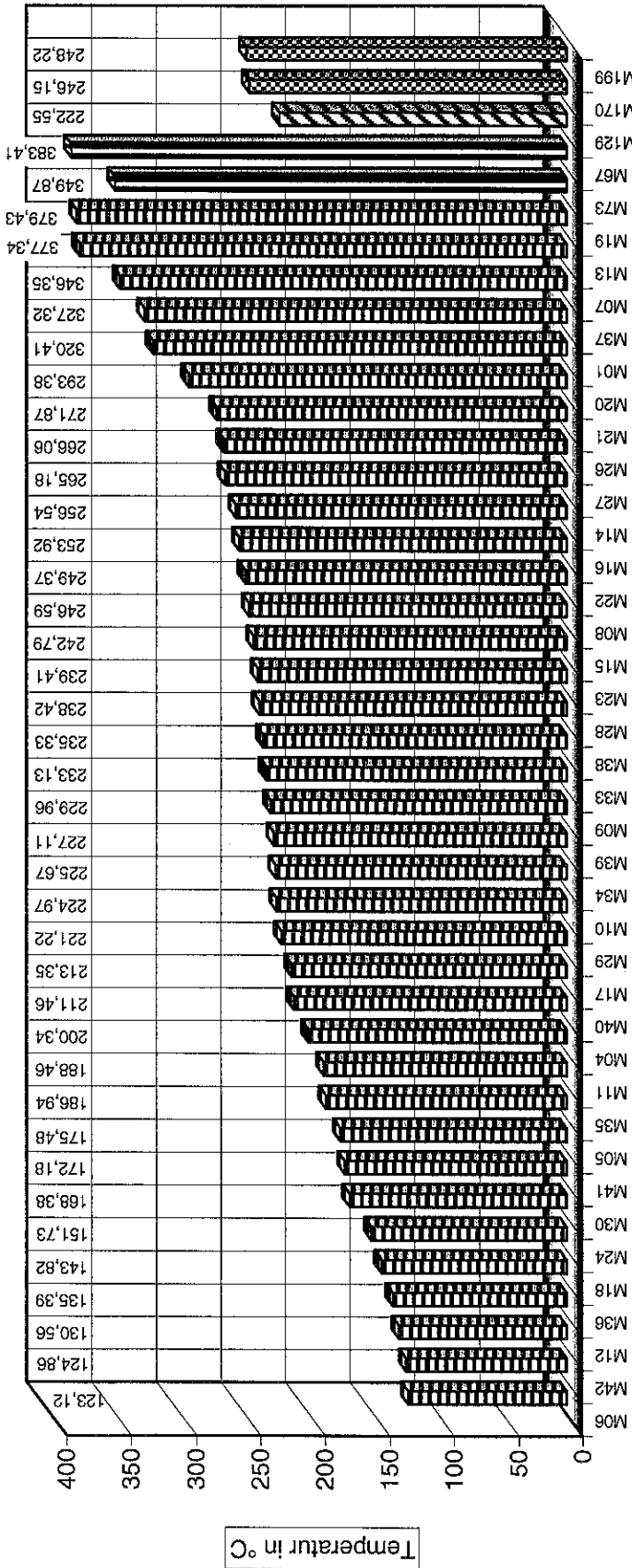
Ebene	Reihe							
	1	2	3	4	5	6	7	
Ebene 2	Meßstellen							
	A	85	91	97	103	109	115	121
	B	86	92	98	104	110	116	122
	C	87	93	99	105	111	117	123
Ebene 1	Meßstellen							
	D	88	94	100	106	112	118	124
	E	89	95	101	107	113	119	125
	F	90	96	102	108	114	120	126

Ebene	Reihe							
	1	2	3	4	5	6	7	
Ebene 1	Meßstellen							
	A	43	49	55	61	67	73	79
	B	44	50	56	62	68	74	80
	C	45	51	57	63	69	75	81
Ebene 2	Meßstellen							
	D	46	52	58	64	70	76	82
	E	47	53	59	65	71	77	83
	F	48	54	60	66	72	78	84

Ebene	Reihe						
	1	2	3	4	5	6	7
Ebene 1	Meßstellen						
	A	7	13	19	25	31	37
	B	8	14	20	26	32	38
	C	9	15	21	27	33	39
Ebene 2	Meßstellen						
	D	10	16	22	28	34	40
	E	11	17	23	29	35	41
	F	12	18	24	30	36	42

BRANDHAUS

Maximalwerte gemessener Temperaturen an den Meßstellen der Ebenen (zeitunabhängig)



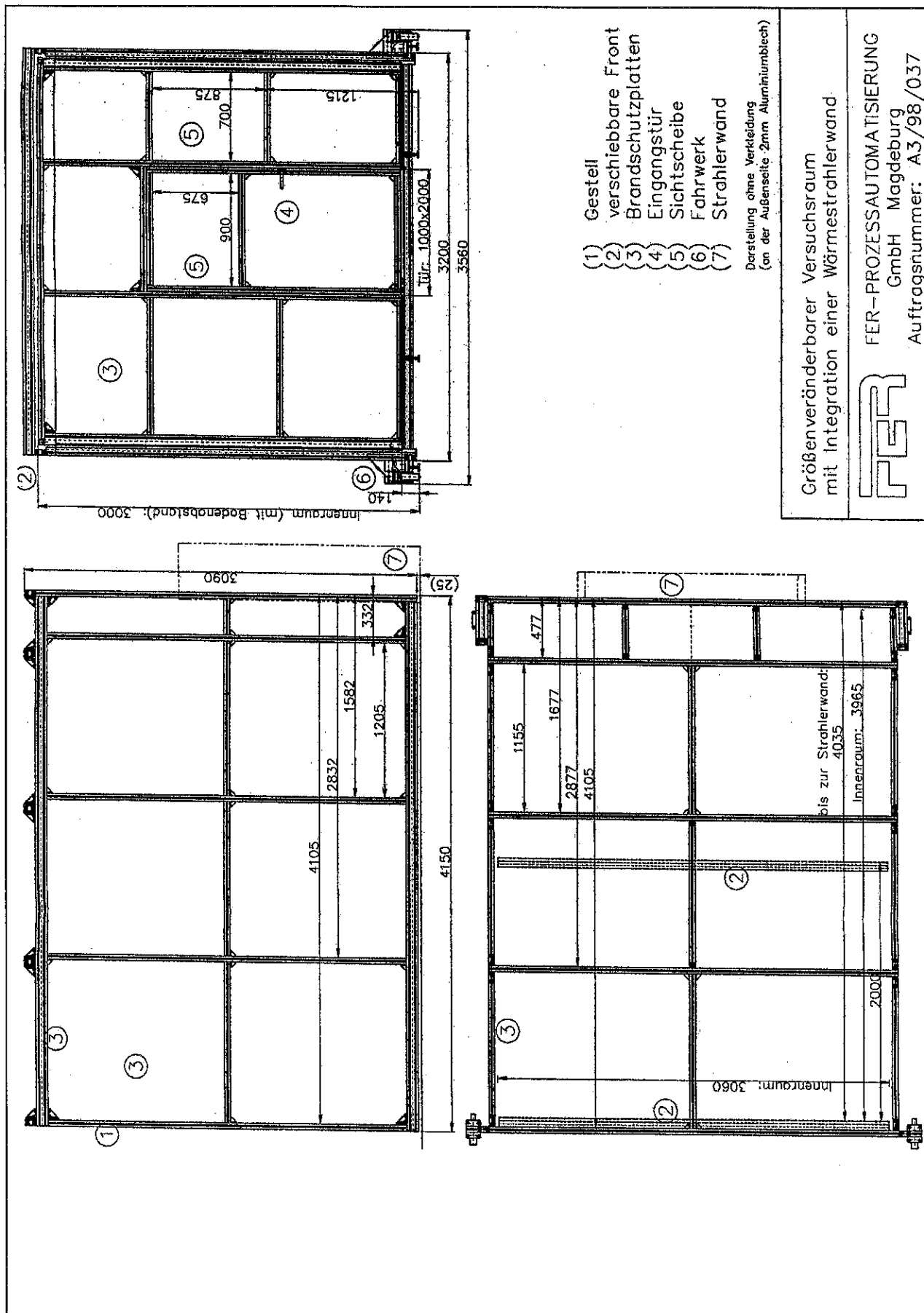
Meßstellen

EBENE 5		
Reihe		
	1 2 3 4 5 6 7	
Höhe	A	169 175 181 187 193 199 205
	B	170 176 182 188 194 200 206
	C	171 177 183 189 195 201 207
	D	172 178 184 190 196 202 208
	E	173 179 185 191 197 203 209
	F	174 180 186 192 198 204 210

EBENE 4		
Reihe		
	1 2 3 4 5 6 7	
Höhe	A	127 133 139 145 151 157 163
	B	128 134 140 146 152 158 164
	C	129 135 141 147 153 159 165
	D	130 136 142 148 154 160 166
	E	131 137 143 149 155 161 167
	F	132 138 144 150 156 162 168

EBENE 2		
Reihe		
	1 2 3 4 5 6 7	
Höhe	A	43 49 55 61 67 73 79
	B	44 50 56 62 68 74 80
	C	45 51 57 63 69 75 81
	D	46 52 58 64 70 76 82
	E	47 53 59 65 71 77 83
	F	48 54 60 66 72 78 84

EBENE 1		
Reihe		
	1 2 3 4 5 6 7	
Höhe	A	1 7 13 19 25 31 37
	B	2 8 14 20 26 32 38
	C	3 9 15 21 27 33 39
	D	4 10 16 22 28 34 40
	E	5 11 17 23 29 35 41
	F	6 12 18 24 30 36 42

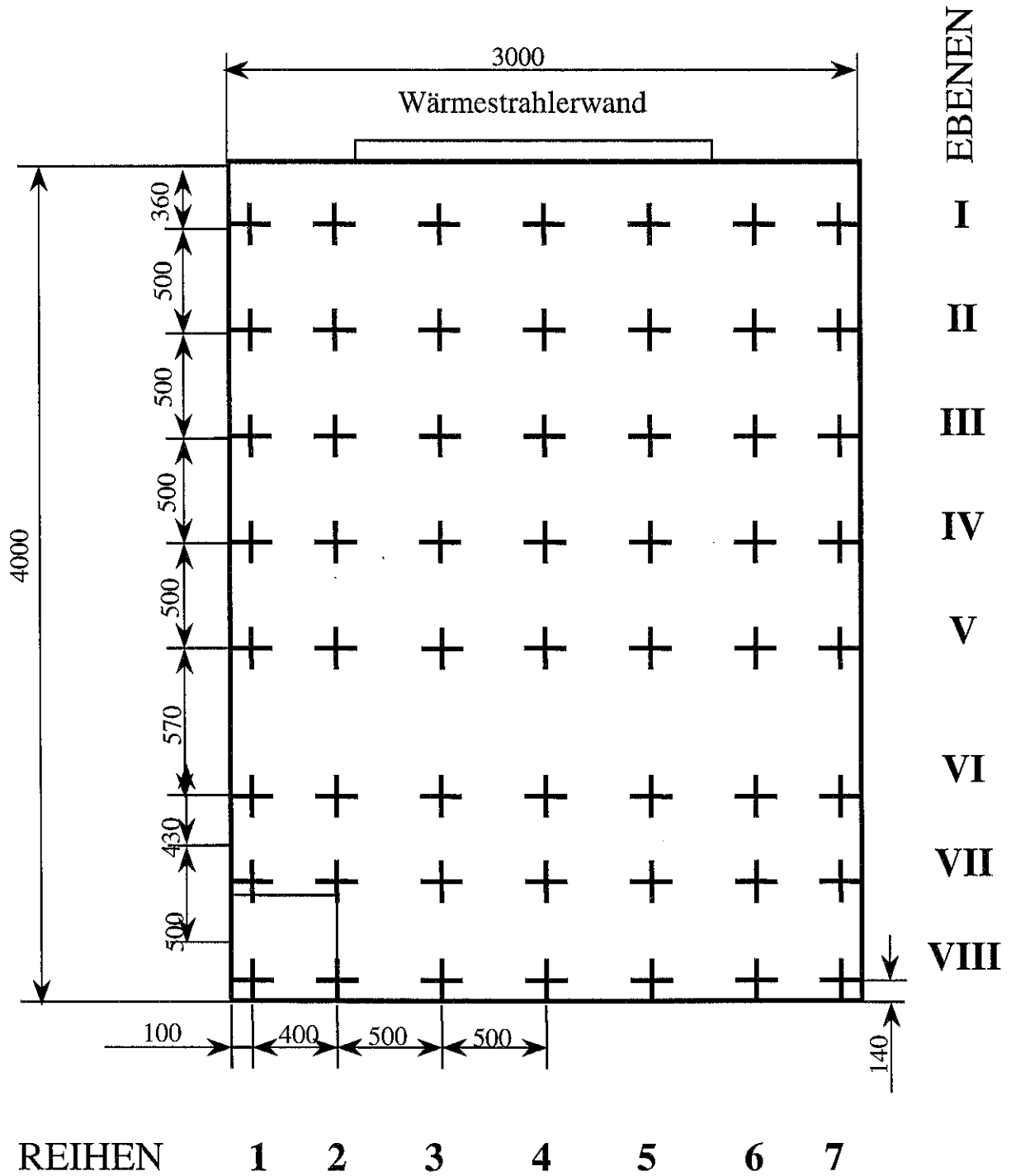


Größenveränderbarer Versuchsraum mit Integration einer Wärmestrahlerwand

FER

FER-PROZESSAUTOMATISIERUNG GmbH Magdeburg
 Auftragsnummer: A3/98/037

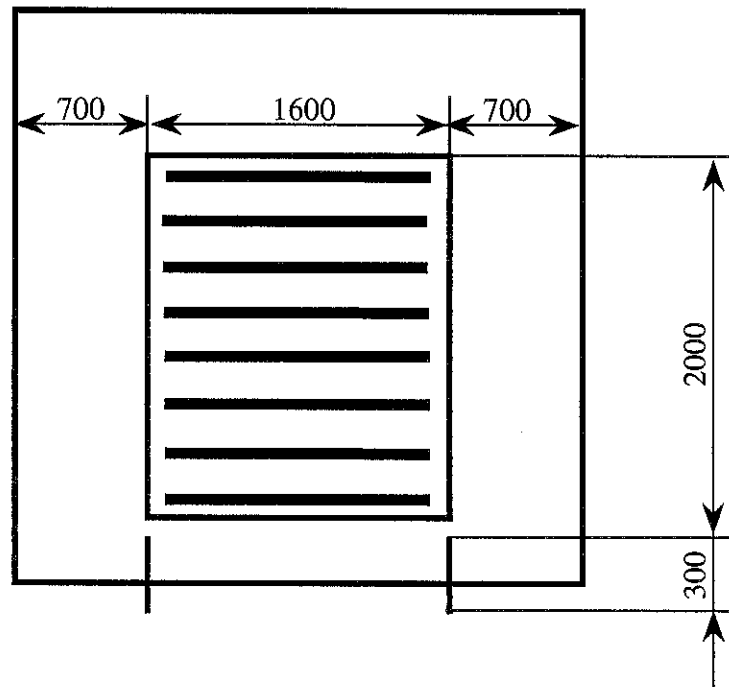
Anordnung der Messstellen und Raumgeometrie HOTBOX



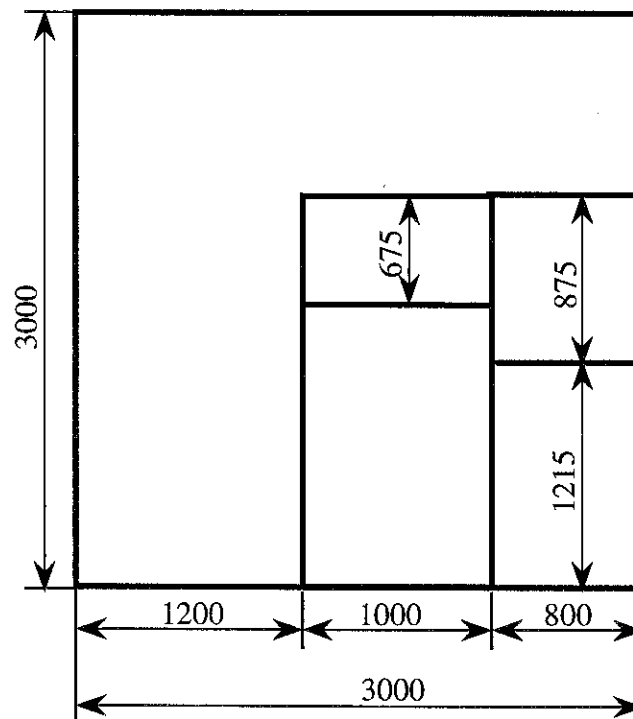
Maße in mm

Details HOTBOX

Strahlerwand

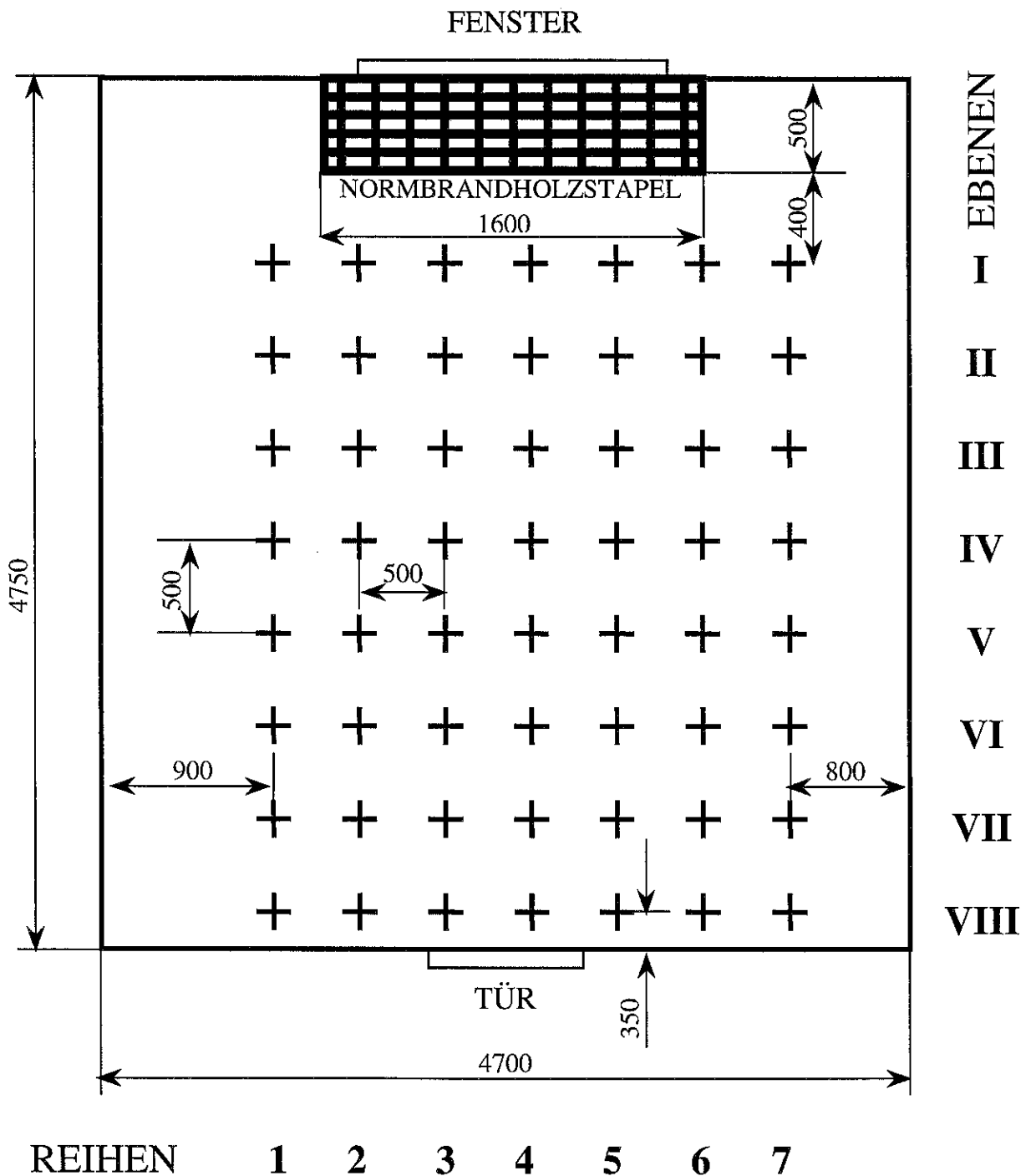


Türwand



Maße in mm

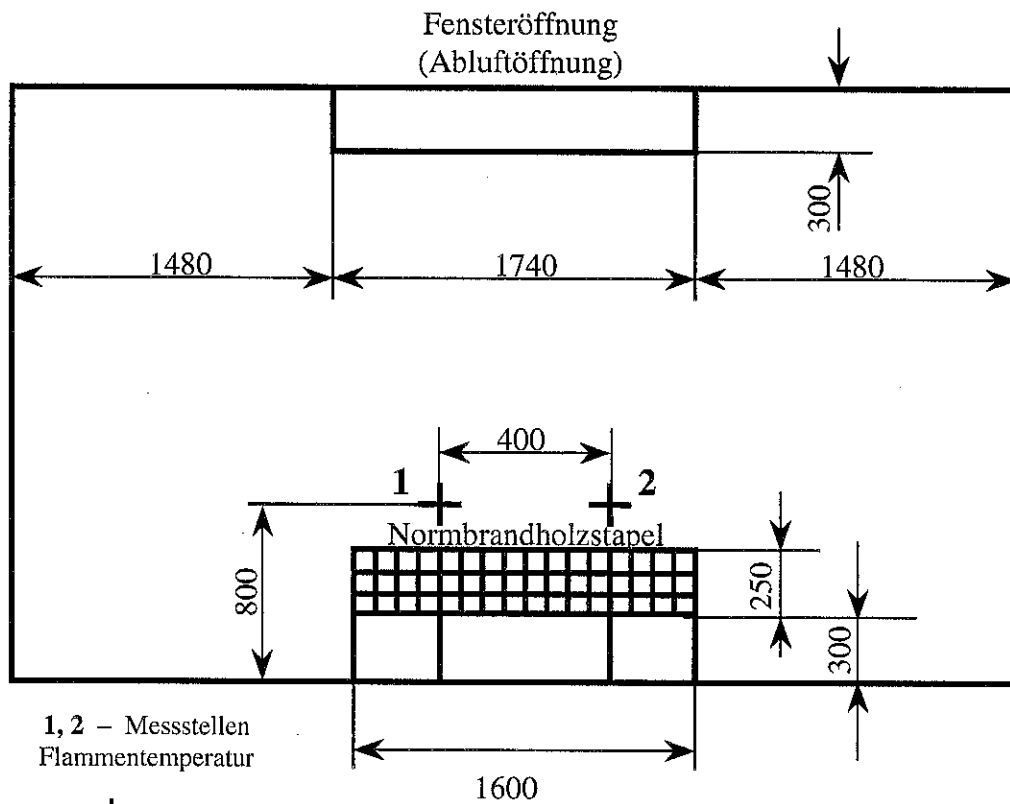
Anordnung der Messstellen und Raumgeometrie Brandhaus



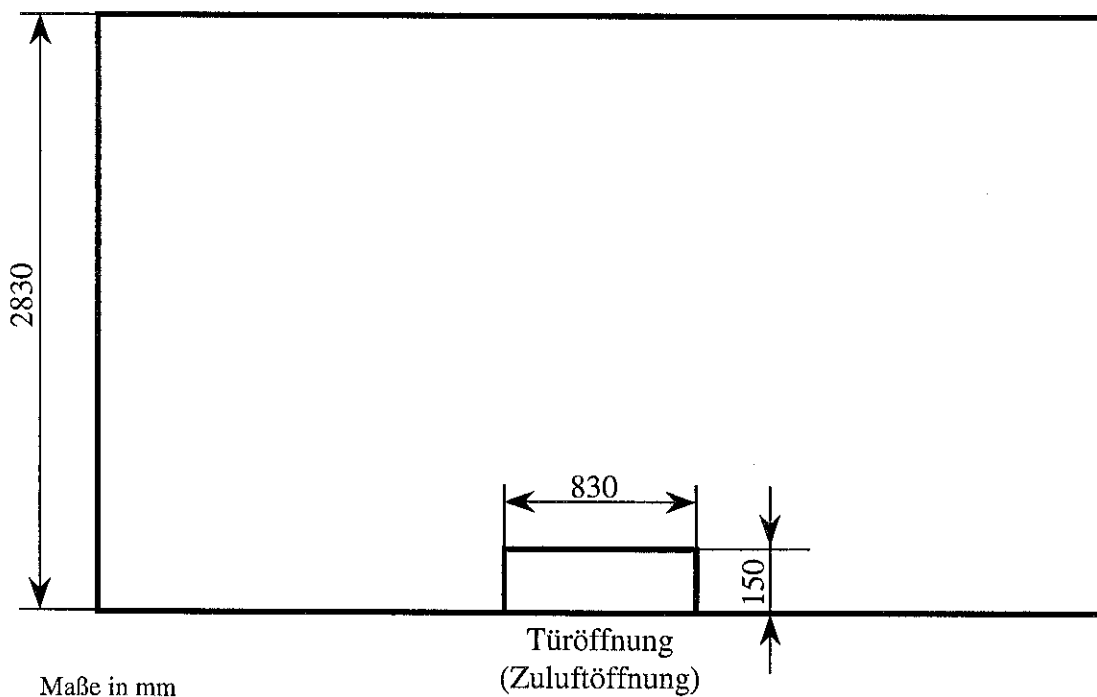
Maße in mm

Raumgeometrie Brandhaus Be- und Entlüftung

Fensterwand

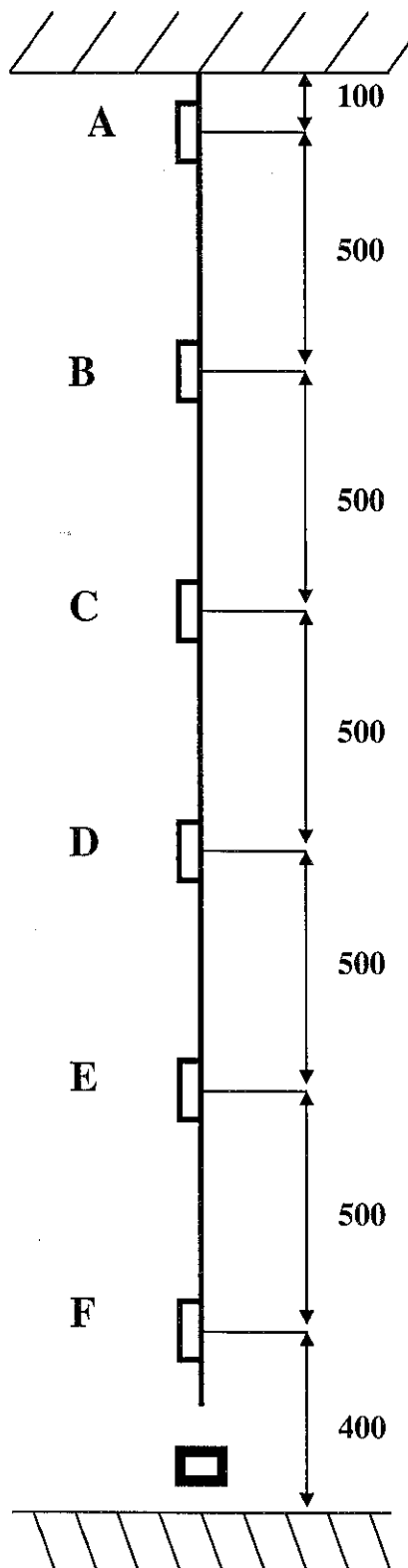


Türwand

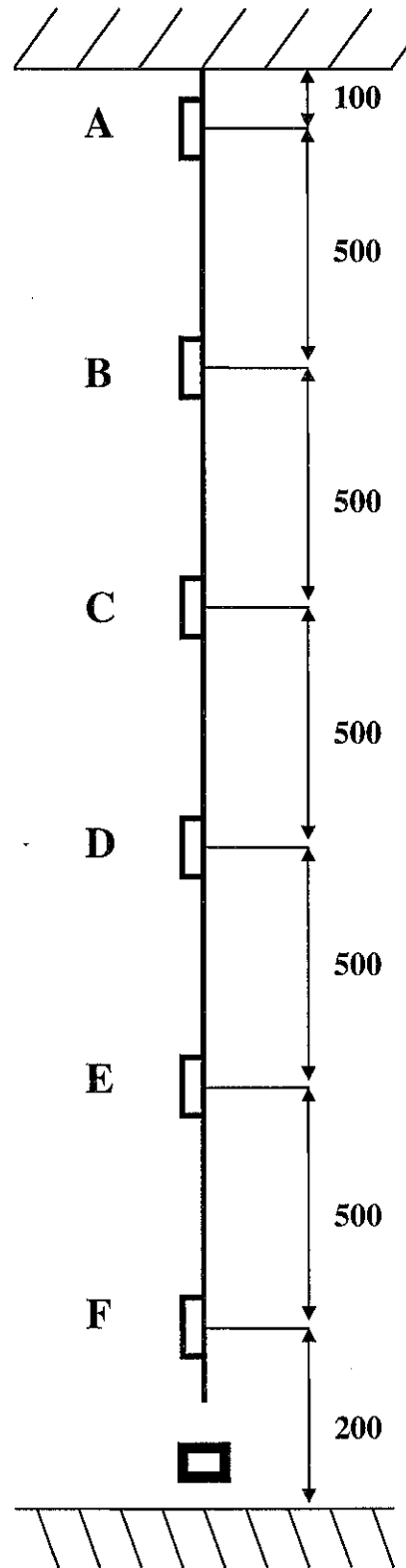


ANORDNUNG DER ABGESCHIRMTEN THERMOELEMENTE AN DER MESSKETTE

HOTBOX



BRANDHAUS



Messstellenplan Ebenen 1 bis 8

Messstellen Ebene 1

Höhe	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
A	1	7	13	19	25	31	37
B	2	8	14	20	26	32	38
C	3	9	15	21	27	33	39
D	4	10	16	22	28	34	40
E	5	11	17	23	29	35	41
F	6	12	18	24	30	36	42

Messstellen Ebene 2

Höhe	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
A	43	49	55	61	67	73	79
B	44	50	56	62	68	74	80
C	45	51	57	63	69	75	81
D	46	52	58	64	70	76	82
E	47	53	59	65	71	77	83
F	48	54	60	66	72	78	84

Messstellen Ebene 3

Höhe	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
A	85	91	97	103	109	115	121
B	86	92	98	104	110	116	122
C	87	93	99	105	111	117	123
D	88	94	100	106	112	118	124
E	89	95	101	107	113	119	125
F	90	96	102	108	114	120	126

Messstellen Ebene 4

Höhe	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
A	127	133	139	145	151	157	163
B	128	134	140	146	152	158	164
C	129	135	141	147	153	159	165
D	130	136	142	148	154	160	166
E	131	137	143	149	155	161	167
F	132	138	144	150	156	162	168

Messstellen Ebene 5

Höhe	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
A	169	175	181	187	193	199	205
B	170	176	182	188	194	200	206
C	171	177	183	189	195	201	207
D	172	178	184	190	196	202	208
E	173	179	185	191	197	203	209
F	174	180	186	192	198	204	210

Messstellen Ebene 6

Höhe	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
A	211	217	223	229	235	241	247
B	212	218	224	230	236	242	248
C	213	219	225	231	237	243	249
D	214	220	226	232	238	244	250
E	215	221	227	233	239	245	251
F	216	222	228	234	240	246	252

Messstellen Ebene 7

Höhe	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
A	253	259	265	271	277	283	289
B	254	260	266	272	278	284	290
C	255	261	267	273	279	285	291
D	256	262	268	274	280	286	292
E	257	263	269	275	281	287	293
F	258	264	270	276	282	288	294

Messstellen Ebene 8

Höhe	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
A	295	301	307	313	319	325	331
B	296	302	308	314	320	326	332
C	297	303	309	315	321	327	333
D	298	304	310	316	322	328	334
E	299	305	311	317	323	329	335
F	300	306	312	318	324	330	336

Messstellen-Schichtenplan (Höhen) A bis F

Messstellen Schicht A

Ebene	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
I	1	7	13	19	25	31	37
II	43	49	55	61	67	73	79
III	85	91	97	103	109	115	121
IV	127	133	139	145	151	157	163
V	169	175	181	187	193	199	205
VI	211	217	223	229	235	241	247
VII	253	259	265	271	277	283	289
VIII	295	301	307	313	319	325	331

Messstellen Schicht B

Ebene	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
I	2	8	14	20	26	32	38
II	44	50	56	62	68	74	80
III	86	92	98	104	110	116	122
IV	128	134	140	146	152	158	164
V	170	176	182	188	194	200	206
VI	212	218	224	230	236	242	248
VII	254	260	266	272	278	284	290
VIII	296	302	308	314	320	326	332

Messstellen Schicht C

Ebene	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
I	3	9	15	21	27	33	39
II	45	51	57	63	69	75	81
III	87	93	99	105	111	117	123
IV	129	135	141	147	153	159	165
V	171	177	183	189	195	201	207
VI	213	219	225	231	237	243	249
VII	255	261	267	273	279	285	291
VIII	297	303	309	315	321	327	333

Messstellen Schicht D

Ebene	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
I	4	10	16	22	28	34	40
II	46	52	58	64	70	76	82
III	88	94	100	106	112	118	124
IV	130	136	142	148	154	160	166
V	172	178	184	190	196	202	208
VI	214	220	226	232	238	244	250
VII	256	262	268	274	280	286	292
VIII	298	304	310	316	322	328	334

Messstellen Schicht E

Ebene	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
I	5	11	17	23	29	35	41
II	47	53	59	65	71	77	83
III	89	95	101	107	113	119	125
IV	131	137	143	149	155	161	167
V	173	179	185	191	197	203	209
VI	215	221	227	233	239	245	251
VII	257	263	269	275	281	287	293
VIII	299	305	311	317	323	329	335

Messstellen Schicht F

Ebene	Reihe 1	Reihe 2	Reihe 3	Reihe 4	Reihe 5	Reihe 6	Reihe 7
I	6	12	18	24	30	36	42
II	48	54	60	66	72	78	84
III	90	96	102	108	114	120	126
IV	132	138	144	150	156	162	168
V	174	180	186	192	198	204	210
VI	216	222	228	234	240	246	252
VII	258	264	270	276	282	288	294
VIII	300	306	312	318	324	330	336

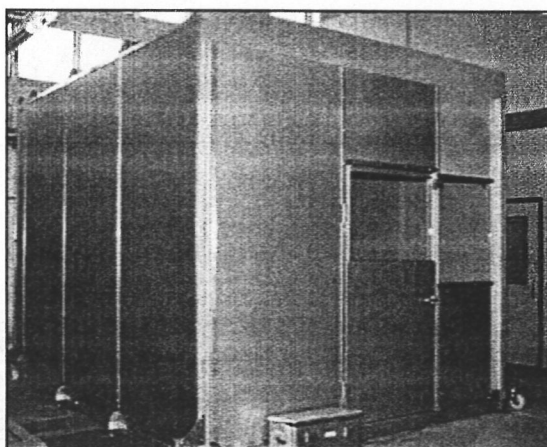


Bild 1: Hotbox Variante 3 x 4 Meter

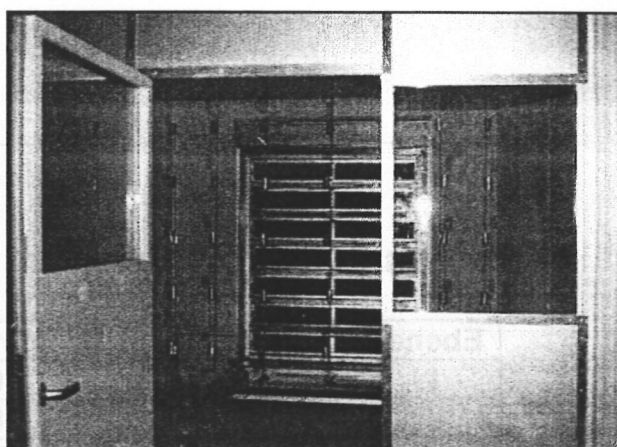


Bild 2: In Hotbox integrierte Strahlerwand

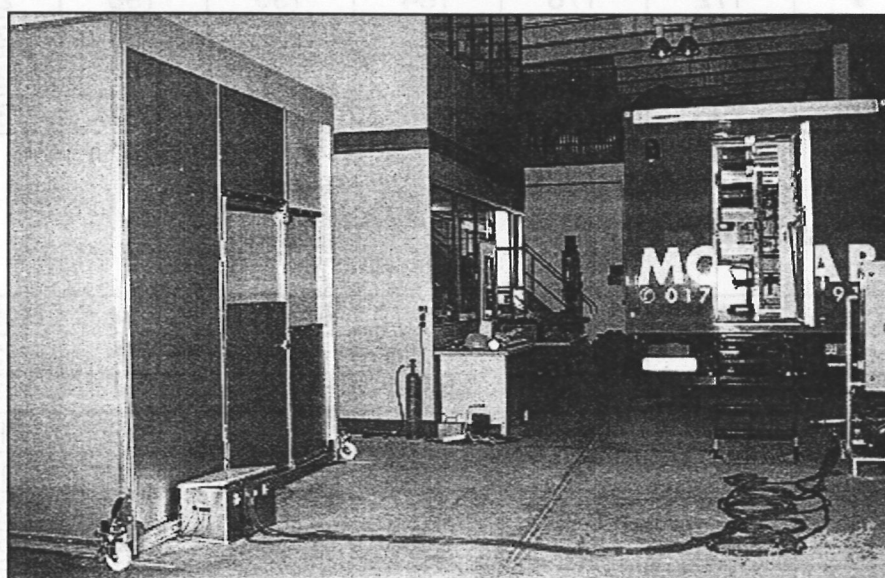


Bild 3: Messdatenübertragung zum MOBLAB des IdF

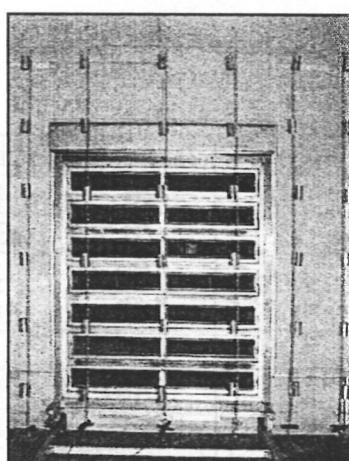


Bild 4: Anordnung der Thermoelmente (eine Ebene)

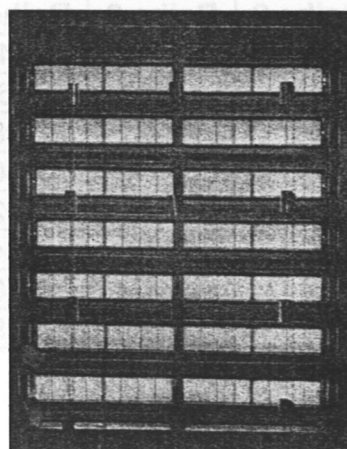


Bild 5: Strahlerwand beim Versuch

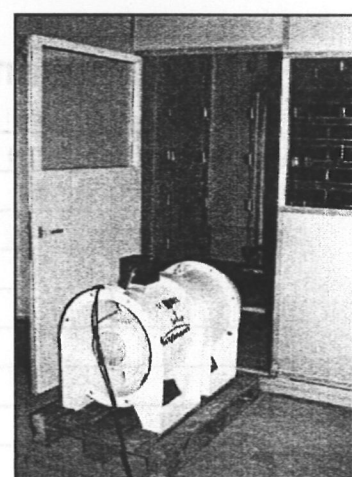


Bild 6: Kühlung der Hotbox mit Lüfter

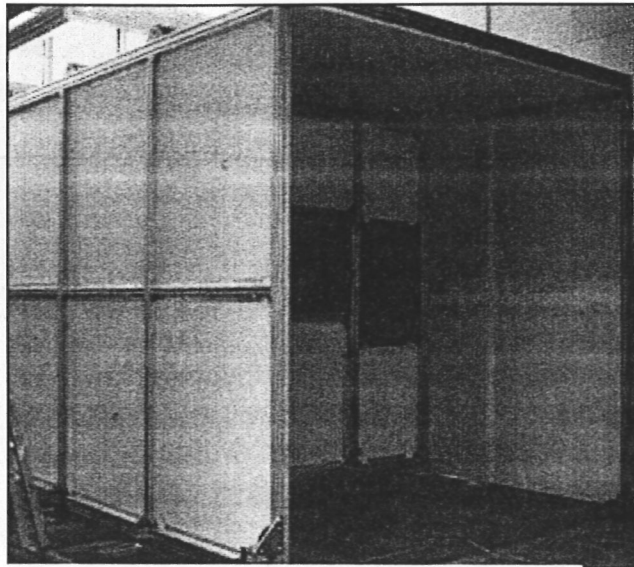


Bild 7: Hotbox Variante 3 x 2 Meter

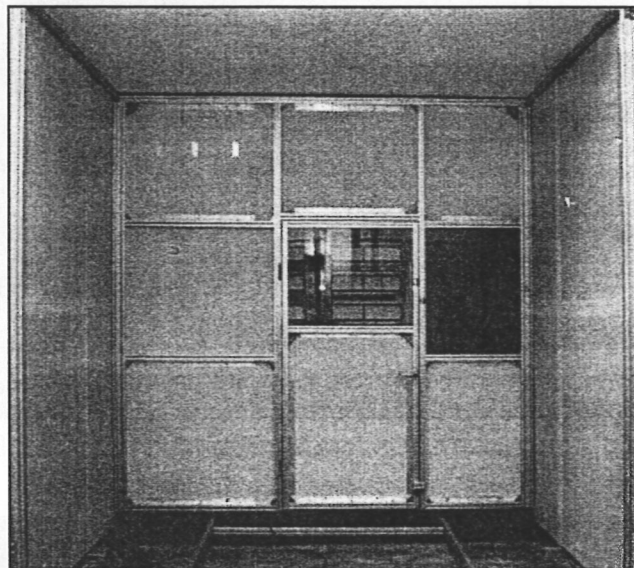


Bild 8: Versuchsdurchführung in Hotbox 3 x 2 m

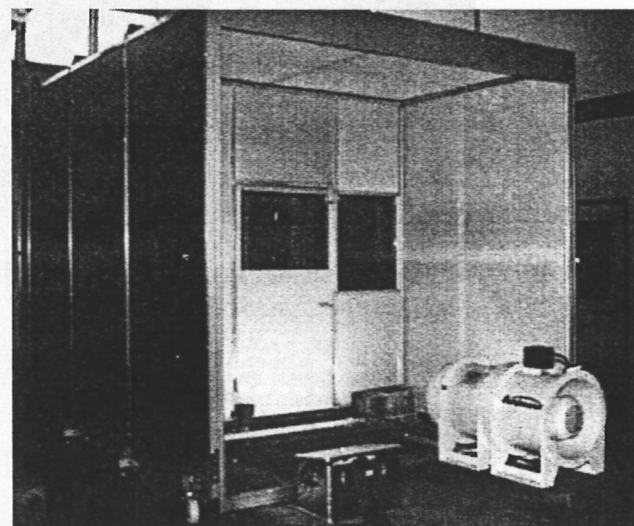


Bild 9: Hotbox 3 x 2 m mit Lüfter zur Kühlung

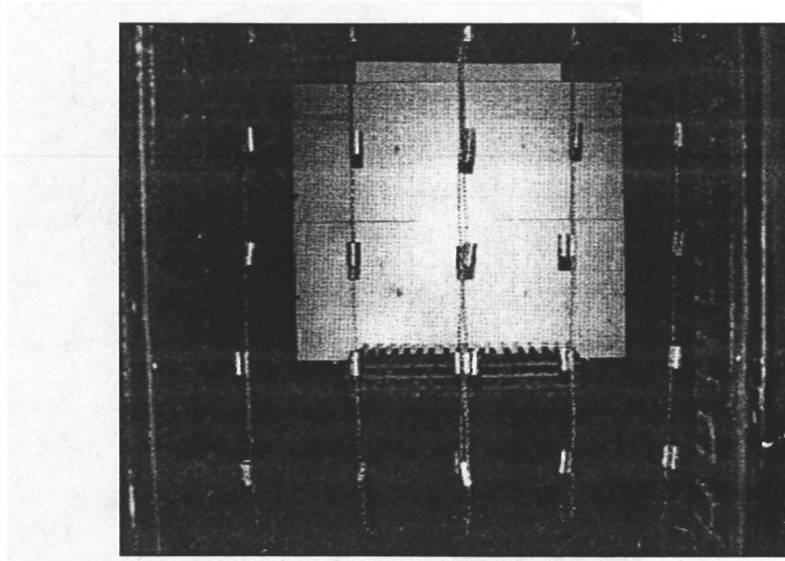


Bild 10: Thermoelemente in Ebene 1 im Brandraum

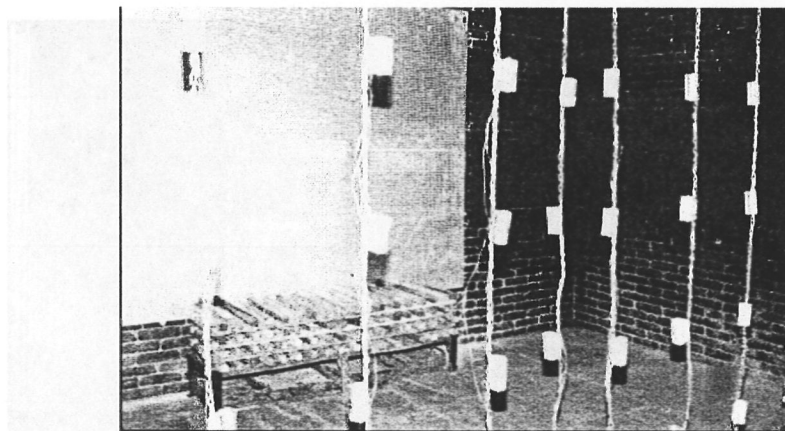


Bild 11: Thermoelemente in Ebene 3 im Brandraum

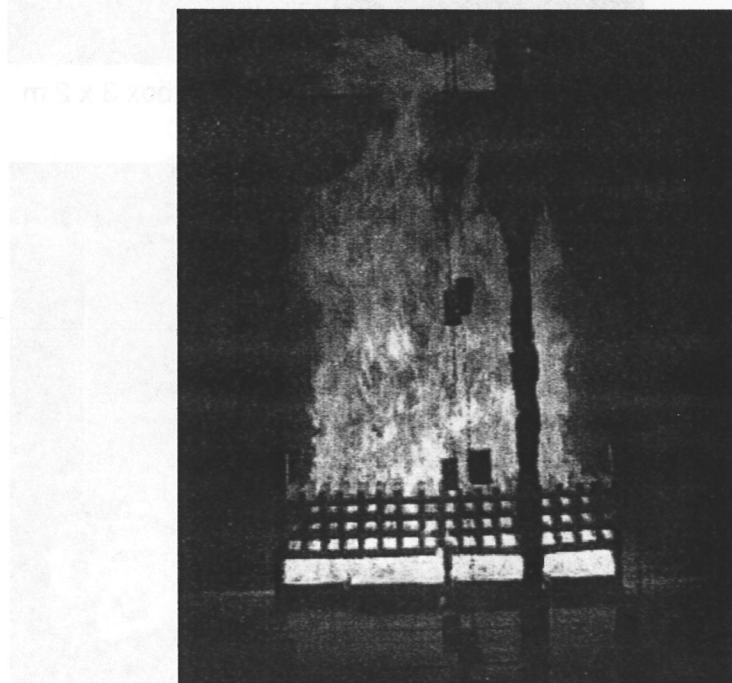


Bild 12: Versuchsdurchführung im Brandraum