

**Erprobung eines Prüfverfahrens  
zum Brandverhalten von Fassaden  
und Ermittlung von Grenzwerten  
zur Beurteilung**

**T 2990**

**T 2990**

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2002, ISBN 3-8167-6493-2

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

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

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

e-mail [info@irb.fhg.de](mailto:info@irb.fhg.de)

URL <http://www.IRBbuch.de>

## Inhaltsverzeichnis – Teil 1

<b>0.</b>	<b>Vorbemerkung</b> .....	<b>1</b>
<b>1.</b>	<b>Hintergrund der Untersuchungen</b> .....	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Versuchsverfahren</b> .....	<b>4</b>
2.1	Grundkonzept der Fassadenprüfung im Maßstab 1:1 nach dem Normentwurf DIN 4102-20 .....	4
2.2	Laborversuche.....	12
2.2.1	Brandschacht-Versuch nach DIN 4102 – 16.....	12
2.2.2	Single Burning Item - Test nach DIN EN 13823 .....	14
<b>3.</b>	<b>Übersicht der Prüfkörper</b> .....	<b>20</b>
<b>4.</b>	<b>Vorversuche zur Bemessung des Gasbrenners</b> .....	<b>22</b>
<b>5.</b>	<b>Versuchsergebnisse im Maßstab 1:1</b> .....	<b>23</b>
5.1	Allgemeines.....	23
5.2	Faserzementplatten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Faserzementplatte als Sturzabdeckung .....	24
5.3	Faserzementplatten auf Holz-Unterkonstruktion.....	26
5.3.1	Faserzementplatten auf Holz-Unterkonstruktion mit Faserzementplatte als Sturzabdeckung .....	26
5.3.2	Faserzementplatten auf Holz-Unterkonstruktion mit einem einfach gefalztem Stahlblech als Verschluss des Hinterlüftungsspalt im Sturzbereich .....	28
5.4	Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion .....	30
5.4.1	Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit einem horizontalen (1,00 m über dem Sturz) Aluminiumprofil zum Verschluss des Hinterlüftungsspalt .....	30
5.4.2	Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Stahlblech im Sturzbereich zum Verschluss des Hinterlüftungsspalt .....	32
5.5	HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion.....	34
5.5.1	HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit einfach gefalztem Stahlblech als Verschluss des Hinterlüftungsspalt im Sturzbereich .....	34
5.5.2	HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit HPL-Platte als Sturzabdeckung.....	36
5.6	Lärchenholz auf Holz-Unterkonstruktion mit Holz als Sturzabdeckung.....	38
5.7	Wärmedämmverbundsysteme .....	40
5.7.1	Wärmedämmverbundsystem, Oberputz mit organischen Bestandteilen, mit einem 200 mm hohen Streifen aus Mineralfaserdämmung über dem Sturz.....	40
5.7.2	Wärmedämmverbundsystem mit mineralischem Oberputz mit einem 200 mm hohen Streifen aus Mineralfaser über dem Sturz.....	42
<b>6.</b>	<b>Ergebnisse der Laborversuche</b> .....	<b>44</b>
6.1	Brandschacht-Versuche nach DIN 4102-16 .....	44
6.2	SBI-Tests nach DIN EN 13823.....	45

## Inhaltsverzeichnis – Teil 2

<b>7.</b>	<b>Diskussion der Versuchsergebnisse im Maßstab 1:1.....</b>	<b>46</b>
7.1	Visuelle Beobachtungen .....	46
7.1.1	Flammenausbreitung .....	46
7.1.1.1	Flammenausbreitung vor der Fassadenoberfläche.....	46
7.1.1.2	Flammenausbreitung im Hinterlüftungsspalt.....	49
7.1.2	Brennendes Abtropfen und Abfallen von brennenden Teilen .....	50
7.1.3	Schadensbilder.....	51
7.2	Messergebnisse .....	53
7.2.1	Temperaturen.....	53
7.2.1.1	Temperaturen im Hinterlüftungsspalt .....	53
7.2.1.2	Temperaturen vor der Fassadenoberfläche.....	54
7.2.1.3	Temperaturen in der Wärmedämmung.....	61
7.2.2	Die Energiefreisetzung.....	62
7.2.2.1	Energiefreisetzungsrate RHR .....	62
7.2.2.2	Gesamte Energiefreisetzung THR.....	68
7.2.2.3	FIGRA-Index .....	70
7.2.3	Die Rauchfreisetzung .....	73
7.2.3.1	Rauchfreisetzungsrate RSP.....	73
7.2.3.2	Gesamte Rauchfreisetzung TSP .....	75
7.2.3.3	SMOGRA-Index .....	77
<b>8.</b>	<b>Diskussion der Versuchsergebnisse bei den Laborversuchen .....</b>	<b>80</b>
8.1	Brandschacht-Versuche nach DIN 4102-16 .....	80
8.2	SBI Tests nach DIN EN 13823.....	81
<b>9.</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>83</b>
<b>Anhang:</b>	Literaturverzeichnis Normen- und Verordnungsverzeichnis	
<b>Anlagen:</b>	Dokumentation der Versuchsergebnisse	
Band 1:	„Ergebnisse der Vorversuche zur Erprobung eines Gasbrenners“	(4-teilig)
Band 2:	„Faserzementplatten auf Aluminium-Unterkonstruktion“	
Band 3:	„Faserzementplatten auf Holz-Unterkonstruktion“	
Band 4:	„Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion“	
Band 5:	„HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion“	
Band 6:	„Lärchenholz-Stülpchalung auf Holz-Unterkonstruktion“	
Band 7:	„Wärmedämmverbundsysteme“	
Band 8:	„SBI – Tests nach prEN 13823 und Brandschachtversuche nach DIN 4102 – 16“	

Eigenhinweis von Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart:

Anlagen können auf Einzelanfrage kopiert werden.

## **0. Vorbemerkung**

Das vorstehende Forschungsvorhaben wurde im Auftrage des Deutschen Institut für Bautechnik bearbeitet. Ein wesentlicher Teil der wissenschaftlichen Bearbeitung wurde als Diplomarbeit im Rahmen ihres Architekturstudiums durch Frau Dipl.-Ing. Tanja Sauerbrey durchgeführt. Die Versuchsergebnisse wurden teilweise bereits in ihrer Diplomarbeit mit dem Thema „Untersuchungen zur Bewertung des Brandverhaltens von Fassaden“ diskutiert.

# 1. Hintergrund der Untersuchungen

Internationale Bemühungen um die Reduzierung des Kohlendioxidausstoßes und auch der schonende Umgang mit den fossilen Brennstoffressourcen, deren vorhandene Mengen nur geschätzt werden können, sind der vorrangige Grund dafür, dass die heute geplanten und gebauten Fassaden einen dickeren Aufbau haben als noch vor 10 Jahren. Energiesparendes Bauen hat heute eine entscheidende Bedeutung.

Die erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz führen dazu, dass die heutigen Fassadenkonstruktionen ohne die tragende „Schale“ eine Dicke von 200 bis 300 mm erreichen, im Bereich der Niedrigenergie-Häuser auch mehr. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um einschalige Aufbauten ohne Hinterlüftung oder mehrschalige Aufbauten mit Hinterlüftung handelt.

Nach bauaufsichtlichen Vorschriften der Länder z.B. Landesbauordnungen wird für Außenwände bzw. Außenwandbekleidungen bestimmter Gebäude die Forderung erhoben, dass sie aus nichtbrennbaren Baustoffen herzustellen sind. Teile der Fassadensysteme können jedoch aus brennbaren Baustoffen (schwerentflammbar oder normalentflammbar) bestehen, z.B. Holz als Bekleidung oder Unterkonstruktion und Polystyrol-Hartschaum als Wärmedämmung.

Als Prüfnorm für die Baustoffklassifizierung ist die DIN 4102-1 [N1] anzuwenden. Für den Nachweis der Schwerentflammbarkeit (Baustoffklasse B1) ist der Brandschachtversuch für alle Materialien außer Bodenbelägen vorgesehen. In den Brandschacht kann jedoch nur ein Aufbau bis 80 mm Dicke eingebaut werden. Für Wärmedämmverbundsysteme ist es nach DIN 4102-16 [N1] möglich, statt 80 mm nur 50 mm zu prüfen und den Anwendungsbereich auf Dicken bis 80 mm auszudehnen. Überschreiten die Außenwandaufbauten eine Dicke von 80 mm, sind sie nach DIN 4102-1 nicht mehr zu bewerten, da sie in den Brandschacht nicht mehr eingebaut und geprüft werden können.

Der Brandschachtversuch nach DIN 4102-1 wird in den nächsten Jahren auf Grund der europäischen Harmonisierung durch den SBI-Test nach DIN EN 13823 [N2] ersetzt. In den SBI-Versuchsstand können Aufbauten bis 200 mm eingebaut werden.

In DIN 4102-1 ist zur Prüfung für schwerentflammbare Baustoffe als Außenwandbekleidung folgendes ausgeführt:

„Die Prüfung stellt modellhaft die aus einer Wandöffnung schlagenden Flammen dar. Unter dieser Beanspruchung darf sich die Brandausbreitung nicht wesentlich außerhalb des Primärbereichs erstrecken.“

Da beim Brandschachtversuch und beim SBI-Test nur begrenzte Dicken einsetzbar sind, wird für größere Dicken ein Versuchsverfahren benötigt, in dem die Konstruktionen im Maßstab 1:1 mit praxisgerechten Dämmschichtdicken risikogerecht geprüft werden können.

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Prüfverfahren, das aus der oben genannten Anforderung heraus entwickelt wurde und in dem Normentwurf DIN 4102-20 [N1] beschrieben ist, auf seine Tauglichkeit hin getestet werden. Das in diesem Normentwurf beschriebene Versuchsverfahren beinhaltet keine heutigen Ansprüchen genügenden Messtechnik zur Verfolgung des Brandablaufs. Zur Ergänzung der Messtechnik wird auf den SBI-Test nach DIN EN 13823 bzw. den Room-Corner-Test nach DIN 4102-19 [N1] zurückgegriffen. Der Einsatz dieser Messtechnik macht aus Gründen der Reproduzierbarkeit den Einsatz des bereits in dem Normentwurf DIN 4102-20 vorgesehenen Gasbrenners zur Beanspruchung der Fassaden notwendig. Dieser ist zu entwickeln und zu erproben. Ferner ist er bei einer Reihe von Versuchen an unterschiedlichen Fassadenkonstruktionen einzusetzen.

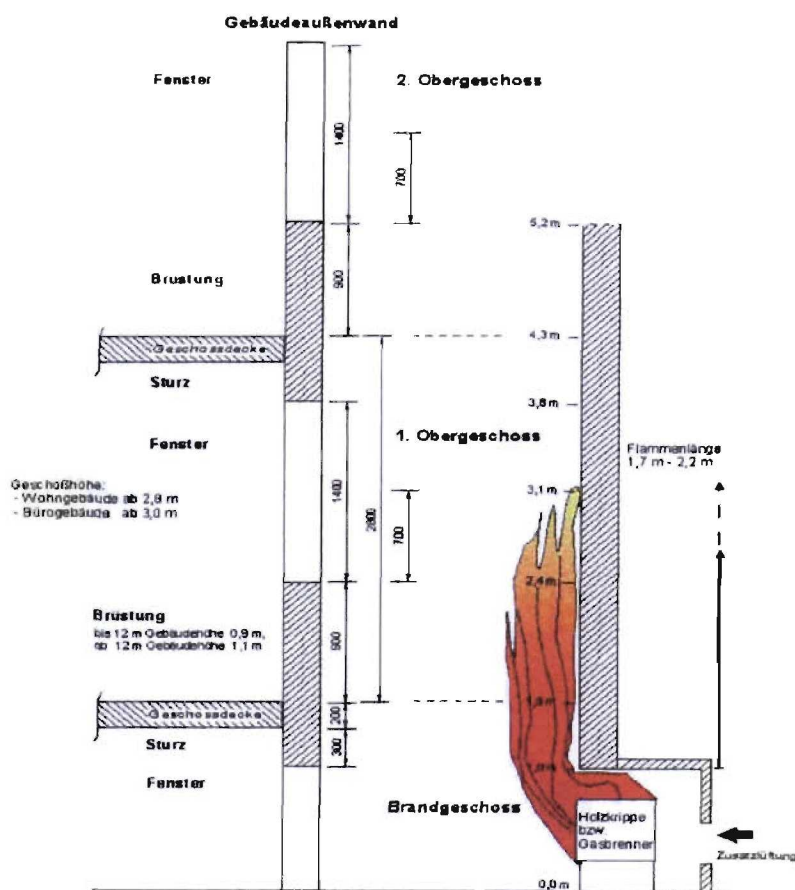
Ziel der Untersuchungen ist es, nachvollziehbare Kriterien sowie reproduzierbare Messergebnisse und Beurteilungswerte als Grundlage für neu einzuführende Grenzwerte und Beurteilungskriterien zu schaffen.

## 2. Versuchsverfahren

### 2.1 Grundkonzept der Fassadenprüfung im Maßstab 1:1 nach dem Normentwurf DIN 4102-20

Als Versuchsverfahren für den Nachweis des Brandverhaltens von Außenwandbekleidungen wurde das Prüfverfahren nach dem Normentwurf DIN 4102-20 mit einigen Modifikationen angewandt. Der Normentwurf klassifiziert das Brandverhalten von Bauprodukten und Bauarten, die zur Verwendung an bzw. auf der äußeren Oberfläche von Gebäudeaußenwänden bestimmt sind.

Darunter fallen als Bauarten u.a. Wärmedämmverbundsysteme (WDVS), dekorative Fassadenelemente und vorgehängte, hinterlüftete Außenwandbekleidungen, jedoch nicht vorgehängte Fassaden im Hinblick auf den Feuerschutz zwischen Deckenplatten und Fassadenelemente.



Der Prüfansatz geht von einer thermischen Beanspruchung der Gebäudeaußenwand durch austretende Flammen beim Brand in einem Raum bis zur Mitte des über der Brandetage befindlichen Geschosses aus.

Die Höhe der Versuchsanordnung (s. rechter Teil der Abbildung 2.1) wurde mit 5,20 m so gewählt, dass sie der Unterkante des übernächsten Fensters (s. linker Teil der Abbildung 2.1) entspricht. Eine Flammenausbreitung bis zum oberen Ende der Versuchsanordnung kennzeichnet also den Beginn der Brandausbreitung in das übernächste Geschoss.

Abbildung 2.1 Prüfansatz zur DIN 4102-20 aus [1]

Analog der Forderung der DIN 4102-1 stellt dieses Prüfverfahren modellhaft die Beanspruchung von aus einer Wandöffnung schlagenden Flammen beim Brand in einem Raum dar. Unter dieser Beanspruchung darf sich die Brandausbreitung nicht wesentlich außerhalb des Primärbereichs erstrecken. Die Lage der Brandkammer sowie die Brandlast soll nach DIN 4102-20 Abschnitt 3.1 ein Szenario simulieren, wie es für den Feuerausstritt aus einem Fenster eines sich im Vollbrand befindlichen Raumes typisch ist.



## Versuchsstand und Beanspruchung

Angaben zu dem Versuchsstand können dem Normentwurf DIN 4102-20 und der nachfolgenden Abbildung 2.2 entnommen werden.

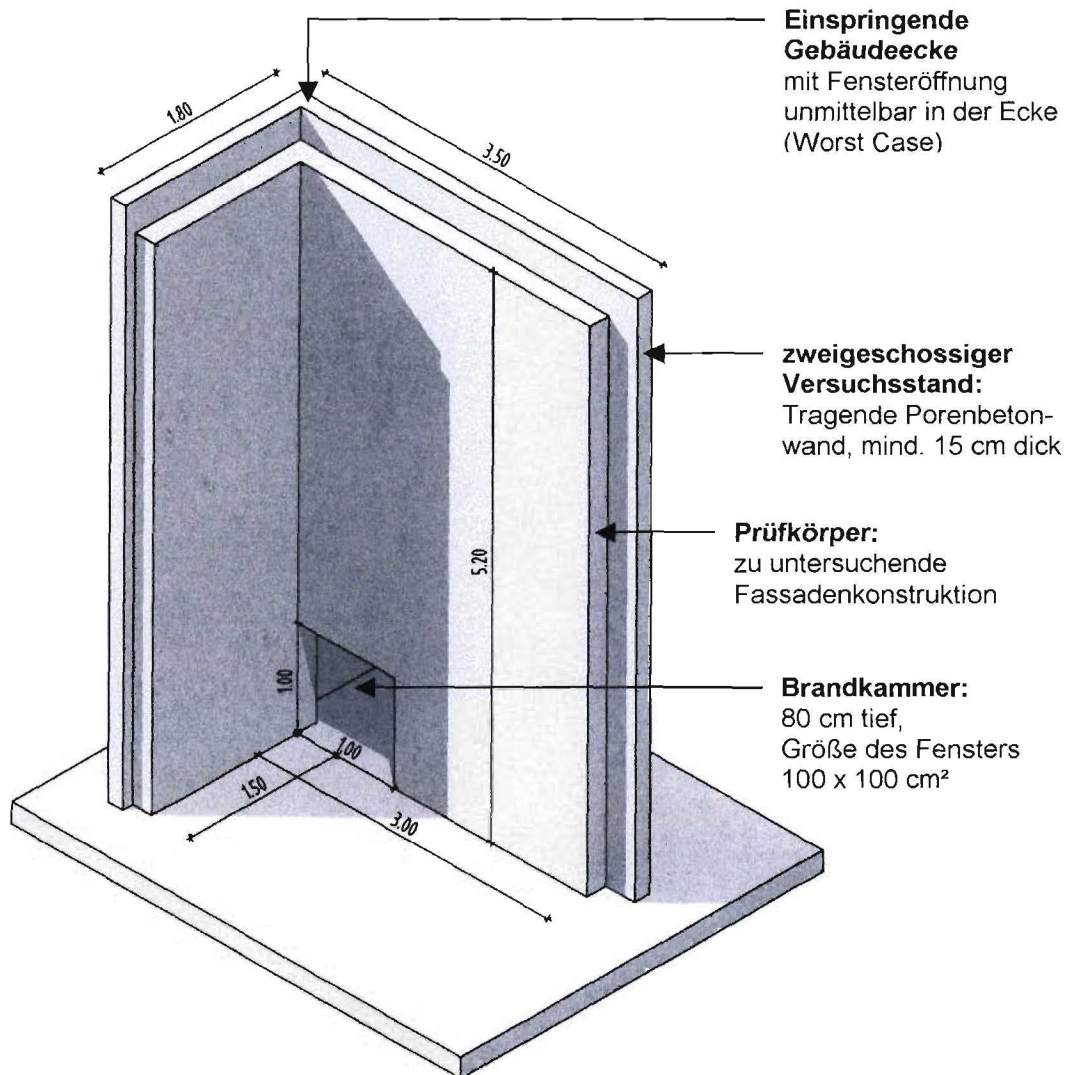


Abbildung 2.2 Isometrie des Versuchsstandes

An den Wänden dieses Versuchsstandes werden unmittelbar die zu untersuchenden Fassadenkonstruktionen entsprechend dem praxisgerechten Einbauzustand angebracht. Die Ausbildung des Prüfkörpers muss detailgetreu der praktischen Anwendung der Konstruktion in der Praxis entsprechen. Die Abmessungen können den Abbildungen 2.2 und 2.3 entnommen werden.

Als Brandlast sind entweder ein Gasbrenner oder eine Holzkrippe mit einer Grundfläche von 50 cm x 50 cm und einer Höhe von 48 cm einzusetzen. Die Brandlast ist in der Brandkammer nach dem Normentwurf DIN 4102-20 Abschnitt 3.4 anzuordnen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde aus Gründen der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse ein Propan-Gasbrenner mit einer Grundfläche von 0,25 m<sup>2</sup>, der die gleiche thermische Beanspruchung wie die Holzkrippe hat, entwickelt und eingesetzt.

## Prüfkörper

Der Prüfkörper ist nach dem Normentwurf DIN 4102-20 Abschnitt 4 unmittelbar auf die Wände des Prüfstandes aufzubringen.

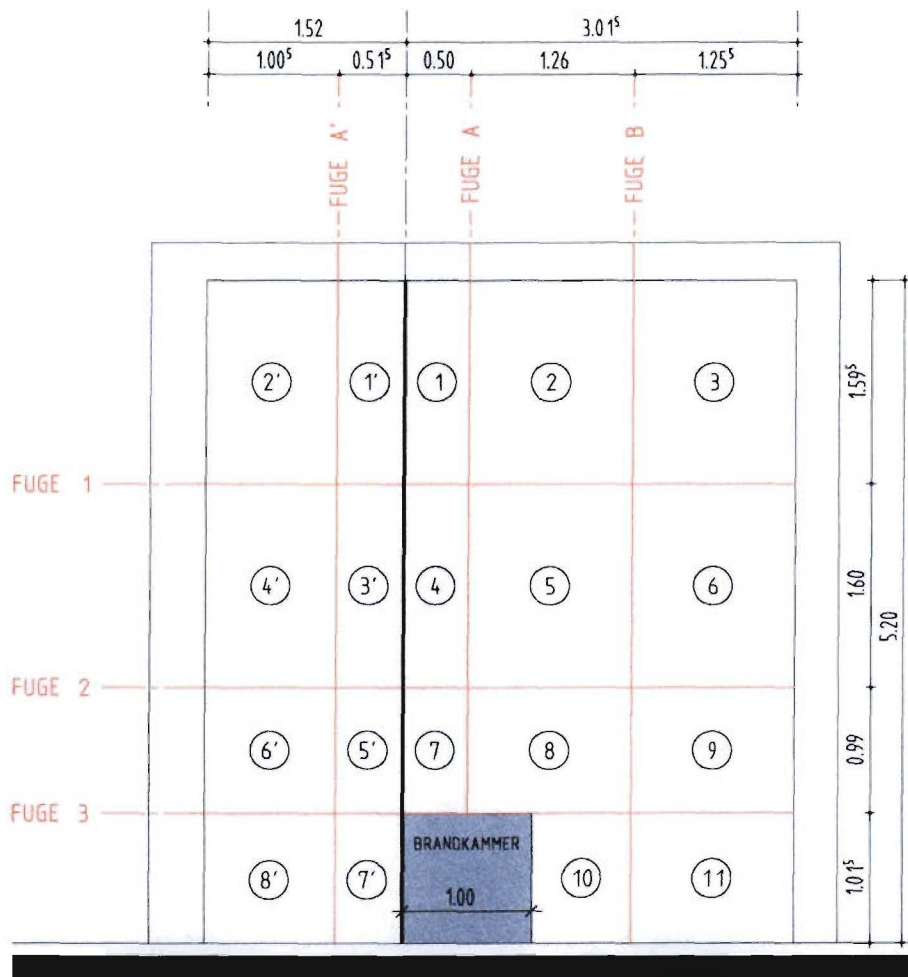


Abbildung 2.3 Aufgeklappte Ansicht des Prüfkörpers vor den Wänden des Prüfstandes

Anmerkung zu Abbildung 2.3: Im Sinne einer Vergleichbarkeit der Protokolle wurden die horizontalen Fugen und die vertikalen Fugen sowie die einzelnen Fassadenplatten durchnummeriert. Die Abbildung 2.3 zeigt ein Beispiel hierzu.

Die Öffnung der Brandkammer stellt eine Fensteröffnung dar. Als Anschlag wird ein an beiden Seiten und am Sturz umlaufender Stahlwinkel mit einer Breite von 30 cm verwendet. Fugen oder andere – die ebene Außenfläche verändernde – Strukturierungen wurden in die Gestaltung des Prüfkörpers mit einbezogen (siehe Abbildung 2.3). Die horizontale Fuge 2 sowie die vertikale Fuge A werden dabei von dem Normentwurf DIN 4102-20 gefordert.

## Versuchsdurchführung

Der Versuchsablauf lässt sich in 3 Phasen gliedern:

$t = 0 \text{ sec}$	Versuchsbeginn; Start der Messdatenerfassung; Ermittlung des Umgebungsdrucks in [Pa] und der relativen Luftfeuchte der Umgebungsluft in [%]
$30 \text{ sec} \leq t \leq 150 \text{ sec}$	Feststellen der Anfangswerte der Sauerstoff-, Kohlendio- xid und Kohlenmonoxid-Konzentration in [%]
$t = (180 \pm 5) \text{ sec}$	Zünden des Brenners; Einstellen der Gaszufuhr und Luftzufuhr
$180 \text{ sec} \leq t \leq 1380 \text{ sec}$	Messtechnische und visuelle Verfolgung des Brandver- haltens des zu prüfenden Produktes (Beanspruchungs- dauer)
$t = (1320 \pm 5) \text{ sec}$	Ende der Messdatenauswertung (um ungestörte Messer- gebnisse am Ende der Versuches zu haben)
$t = 1380 \text{ sec}$	Abstellen des Brenners
$1380 \text{ sec} \leq t \leq 1800 \text{ sec}$	Ermittlung der Endwerte der Sauerstoff-, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid-Konzentration in [%]; Ermittlung von Verzugszeiten

Während des Versuches werden neben den in dem Normentwurf DIN 4102-20 vorge-  
sehenen Temperaturmessungen Messdaten aufgenommen, mit deren Hilfe eine rech-  
nerische Beschreibung des Brandverlaufes ermöglicht wird (Energiefreisetzungsg-  
eschwindigkeit).

Folgende Messungen werden durchgeführt:

- a) Strömungsgeschwindigkeit über eine Differenzdruckmesssonde zur Bewertung  
des Volumenstromes
- b) Umgebungstemperatur
- c) Temperatur zur Korrektur des Volumenstromes
- d) Gaszusammensetzung  $O_2$ ,  $CO_2$  und  $CO$  zur Ermittlung der Energiefreisetzung
- e) Rauchdichte (jeweils in Zeitintervallen von 3 Sekunden)
- f) umfangreiche Temperaturmessungen in Zeitintervallen von 10 Sekunden nach  
DIN 4102-20 Abschnitt 5:
  1. 100 mm vor der Fassadenoberfläche an 6 Messstellen (F1 – F6)
  2. 5 mm vor der Fassadenoberfläche an 26 Messstellen (O1 – O26)
  3. 5 mm unterhalb des Brandkammersturzes (S1 – S3)
  4. unmittelbar hinter der Oberfläche (siehe Abbildung 2.4):
    - 4.1 bei WVS im vorderen Viertelpunkt der Dämmschicht (T1 – T5) und im  
Mittelpunkt der Dämmschicht (D1 – D10)
    - 4.2 bei vorgehängten, hinterlüfteten Bekleidungssystemen in der Mitte des  
Hinterlüftungsspalt (T1 – T5) und in der Mitte der Dämmschicht  
(D1 – D10)

Für die zu ergänzende Messtechnik der Punkte a) bis e) wurde auf die entsprechende Messtechnik des SBI-Tests nach DIN EN 13823 bzw. des Room-Corner-Tests nach DIN 4102-19 [N1] zurückgegriffen.

Zusätzlich wurden visuelle Beobachtungen Auskunft über brennendes Abtropfen oder Abfallen und über die seitliche Flammenausbreitung vor der Fassadenoberfläche angestellt. An Hand von Videoaufzeichnungen wurden Flammenhöhen durch Vergleich mit den am Versuchsstand angebrachten Messmarken vor der Fassadenoberfläche ermittelt.

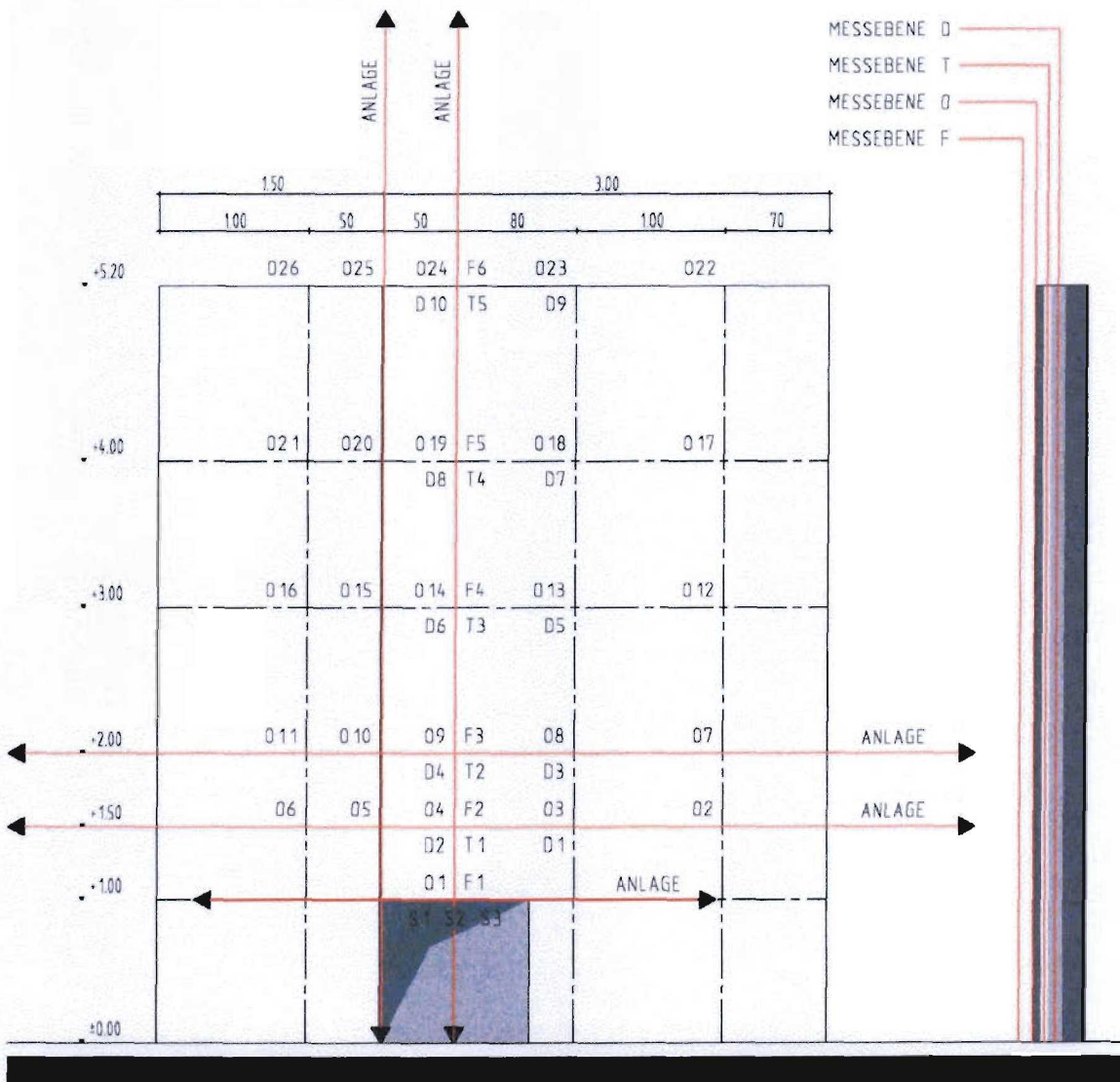


Abb. 2.4 Messstellenplan M1:50 gemäß dem Normentwurf DIN 4102-20 Abschnitt 5

## Messung der Energiefreisetzungsrates RHR

Die Frage der Brandausbreitung und ihre Geschwindigkeit dokumentieren sich in erster Linie in ihrer Energiefreisetzungsrates (Rate of Heat Release). Diese kann messtechnisch durch die Sauerstoffverbrauchsmethode erfasst werden. Diese Methode basiert im wesentlichen auf der Erkenntnis, dass die beim Brand freigesetzte Energie dem Sauerstoffverbrauch bei der Verbrennung proportional ist. Der Sauerstoffverbrauch kann durch Erfassung des Abgasvolumenstromes bzw. des Abgasmassenstromes und des darin enthaltenen Sauerstoffgehaltes bzw. der Differenz des Sauerstoffgehaltes zum Sauerstoffgehalt der dem Brand zuströmenden Umgebungsluft während des Brandes kontinuierlich erfasst werden. Aus dieser Größe kann die gesamte Energiefreisetzung THR und der daraus abgeleitete FIGRA-Index (Berechnungen siehe unten) bestimmt werden.

### Berechnung der Energiefreisetzungsrates RHR

$$RHR_{\text{Probe}} = E_2 \cdot V_{298}(t) \cdot \left[ X_{\text{O}_2}^0 \cdot (1 - X_{\text{H}_2\text{O}}^0) \cdot \Phi \cdot \frac{1}{1 + \Phi \cdot (\alpha - 1)} \right] - RHR_{\text{Brenner}} \quad \text{Gleichung 2.1}$$

$RHR_{\text{Probe}}$  = Energiefreisetzungsrates der Probe in [kW]

$E_2$  = 17200 kJ/m<sup>3</sup>

$V_{298}(t)$  = Volumenstrom im Messrohr bezogen auf eine Temperatur von 298 K in [m<sup>3</sup>/sec]

$X_{\text{O}_2}^0$  = Sauerstoffkonzentration der einströmenden Luft in [--]

$X_{\text{H}_2\text{O}}^0$  = Wasserdampfkonzentration der einströmenden Luft in [--]

$\Phi$  = Sauerstoffverbrauchsfaktor in [--]

$\alpha$  = 1,105 in [--]

Expansionsfaktor (Erfahrungswert des SBI - Tests wurde übernommen)

$RHR_{\text{Brenner}}$  = Energiefreisetzungsrates des Brenners in [kW]

### Berechnung der gesamten Energiefreisetzung THR

Die gesamte freigesetzte Energie THR (Total Heat Release) wird durch Integration der Funktion der Energiefreisetzungsrates über die Zeit ermittelt.

$$THR(t) = \frac{1}{1000} \cdot \int_{t=180}^x RHR(t) \quad \text{für alle } 180 \leq x \leq 1320 \quad \text{Gleichung 2.2}$$

$$THR_{600} = \frac{1}{1000} \cdot \int_{t=180}^{780} RHR(t) \quad \text{bzw.} \quad THR_{1140} = \frac{1}{1000} \cdot \int_{t=180}^{1320} RHR(t)$$

$THR(t)$  = gesamte Energiefreisetzung der Probe in [MJ]

$THR_{600}$  = Energiefreisetzung zwischen  $180 \leq t \leq 780$  Sekunden in [MJ]

$THR_{1140}$  = Energiefreisetzung zwischen  $180 \leq t \leq 1320$  Sekunden in [MJ]

$t$  = Zeit ab Versuchsbeginn  $180 \text{ sec} \leq t \leq 1320 \text{ sec}$

## Berechnung des FIGRA-Indexes

Um die Geschwindigkeit der Brandentwicklung zu berücksichtigen wurde aus dem Verlauf der Energiefreisetzungsrate der FIGRA-Index abgeleitet (Fire Growth Rate).

Der FIGRA-Index ist als die maximale Steigung der RHR(t)-Kurve, aufgetragen über die Zeit definiert. Dazu werden entsprechend dem in der DIN EN 13823 beschriebenen Verfahren Mittelwerte der Energiefreisetzungsrate RHR über 30 Sekunden bestimmt.

$$\text{FIGRA} = 1000 \cdot \max \left( \frac{\text{RHR}_{\text{av}}(t)}{t-180} \right) \quad \text{Gleichung 2.3}$$

FIGRA = Feuerwachstumswert in [W/s]

$\text{RHR}_{\text{av}}(t)$  = Mittelwert von RHR(t) über 30 Sekunden in [kW]

t = Zeit ab Versuchsbeginn  $180 \text{ sec} \leq t \leq 1320 \text{ sec}$

## Messung der Rauchfreisetzungsrate RSP

Hierzu wird die Rauchdichte im Messrohr mit einer Lichtmessstrecke nach Din 50055 kontinuierlich aufgezeichnet. Aus der Rauchdichte können Angaben zur gesamten Rauchfreisetzung und zum daraus abgeleiteten SMOGRA-Index (Berechnungen siehe unten) berechnet werden.

### Berechnung der Rauchfreisetzungsrate RSP

Die Rauchdichte im Messrohr wird durch den Abgasvolumenstrom beeinflusst – je mehr Frischluft mit den Abgasen zusammen abgeführt wird, um so geringer ist die Rauchdichte. Um dies zu berücksichtigen wurde als Maß für die Rauchentwicklung die Kenngröße RSP (Rate of Smoke Produktion) eingeführt, bei der der Einfluss des Abgasvolumenstromes berücksichtigt wird:

$$\begin{aligned} \text{RSP}_{\text{Probe}} &= \dot{V}(t) \cdot k - \text{RSP}_{\text{Brenner}} \quad \text{mit} \quad \dot{V}(t) = \dot{V}_{298}(t) \cdot \frac{T_{\text{ms}}(t)}{298\text{K}} \quad \text{gilt:} \\ \text{RSP}_{\text{Probe}} &= \dot{V}_{298}(t) \cdot \frac{T_{\text{ms}}(t)}{298\text{K}} \cdot k - \text{RSP}_{\text{Brenner}} \quad \text{mit} \quad k = \ln \left( \frac{I_0}{I(t)} \right) \cdot \frac{1}{d} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 2.4}$$

$\text{RSP}_{\text{Probe}}$  = Rauchfreisetzungsrate der Probe in [m<sup>2</sup>/sec]

$\dot{V}(t)$  = Rauchgasvolumenstrom in [m<sup>3</sup>/sec]

k = Extinktionskoeffizient in [1/m]

$\dot{V}_{298}(t)$  = Volumenstrom bezogen auf 298 K im Messrohr in [m<sup>3</sup>/sec]

$T_{\text{ms}}(t)$  = mittlere Rauchgastemperatur im Messrohr in [K]

I(t) = Transmission während des Versuches in [%]

$I_0$  = Transmission zu Beginn des Versuches in [%]

d = Schichtdicke = Durchmesser des Messrohres in [m]

$\text{RSP}_{\text{Brenner}}$  = Rauchfreisetzungsrate des Brenners in [m<sup>2</sup>/sec]

## Berechnung der gesamten Rauchfreisetzung TSP

Der gesamte freigesetzte Rauch TSP (Total Smoke Produktion) wird durch Integration der Rauchfreisetzungsrates RSP über die Zeit ermittelt.

$$TSP(t) = \int_{t=180}^x RSP(t) \quad \text{für alle } 180 \leq x \leq 1320 \quad \text{Gleichung 2.5}$$

$$TSP_{600} = \int_{t=300}^{900} RSP(t) \quad \text{bzw.} \quad TSP_{1140} = \int_{t=180}^{1320} RSP(t)$$

$TSP(t)$  = gesamte Rauchfreisetzung der Probe in  $[m^2]$

$TSP_{600}$  = Rauchfreisetzung zwischen  $180 \leq t \leq 780$  Sekunden in  $[m^2]$

$TSP_{1140}$  = Rauchfreisetzung zwischen  $180 \leq t \leq 1320$  Sekunden in  $[m^2]$

$t$  = Zeit ab Versuchsbeginn  $180 \text{ sec} \leq t \leq 1320 \text{ sec}$

## Berechnung des SMOGRA-Indexes

Analog zum FIGRA-Index wurde zur Bewertung des zeitlichen Verlaufes der Rauchentwicklung ein SMOGRA-Index (Smoke Growth Rate) definiert.

Der SMOGRA-Index ist als maximale Steigung der  $RSP(t)$ -Kurve, aufgetragen über die Zeit definiert. Dazu werden entsprechend dem in der DIN EN 13823 beschriebenen Verfahren Mittelwerte der Rauchfreisetzungsrates RSP über 60 Sekunden bestimmt.

$$SMOGRA = 10000 \cdot \max \left( \frac{RSP_{av}(t)}{t-180} \right) \quad \text{Gleichung 2.6}$$

SMOGRA = Rauchwachstumswert in  $[m^2/sec]$

$RSP_{av}(t)$  = Mittelwert von  $RSP(t)$  über 60 Sekunden in  $[m^2/sec^2]$

$t$  = Zeit ab Versuchsbeginn  $180 \text{ sec} \leq t \leq 1320 \text{ sec}$

## **2.2 Laborversuche**

### **2.2.1 Brandschacht-Versuch nach DIN 4102-16**

Die Baustoffe mit Ausnahme der Bodenbeläge werden nach DIN 4102-16 in dem Brandschacht nach DIN 4102-15 [N1] geprüft. Dabei werden vier Proben zu einem schachtförmigen Probekörper zusammengesetzt und im Brandschacht beflammt.

Die Prüfung von Außenwandbekleidungen erfolgt nach DIN 4102-1 Abschnitt 6.1.1b. Sie stellt modellhaft die aus einer Wandöffnung schlagenden Flammen dar und untersucht, ob sich unter dieser Beanspruchung die Brandausbreitung wesentlich außerhalb des Primärbereiches erstreckt.

Die Größe der Proben ist mit 1000 mm Länge und 190 mm Breite in der DIN 4102-15 Abschnitt 5 vorgegeben. Die Dicke der Proben ist auf maximal 80 mm beschränkt. Ist die Dicke in der Praxis größer als 80 mm, dann muss die Probe nach DIN 4102-16 Abschnitt 5.1 auf 80 mm abgearbeitet werden. Laut DIN 4102-16 Abschnitt 9.2 können in der Regel für Baustoffe mit einer Dicke größer als 80 mm die Ergebnisse auch für die Beurteilung des gleichen Baustoffes größerer Dicke zugrunde gelegt werden.

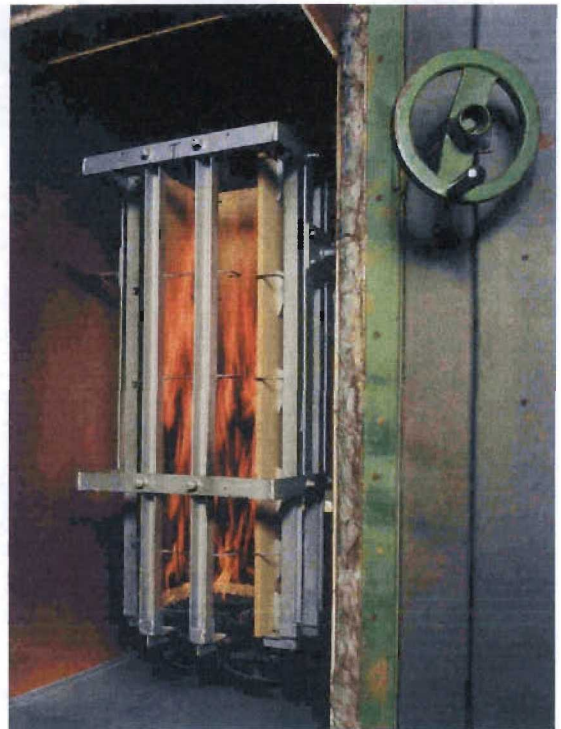
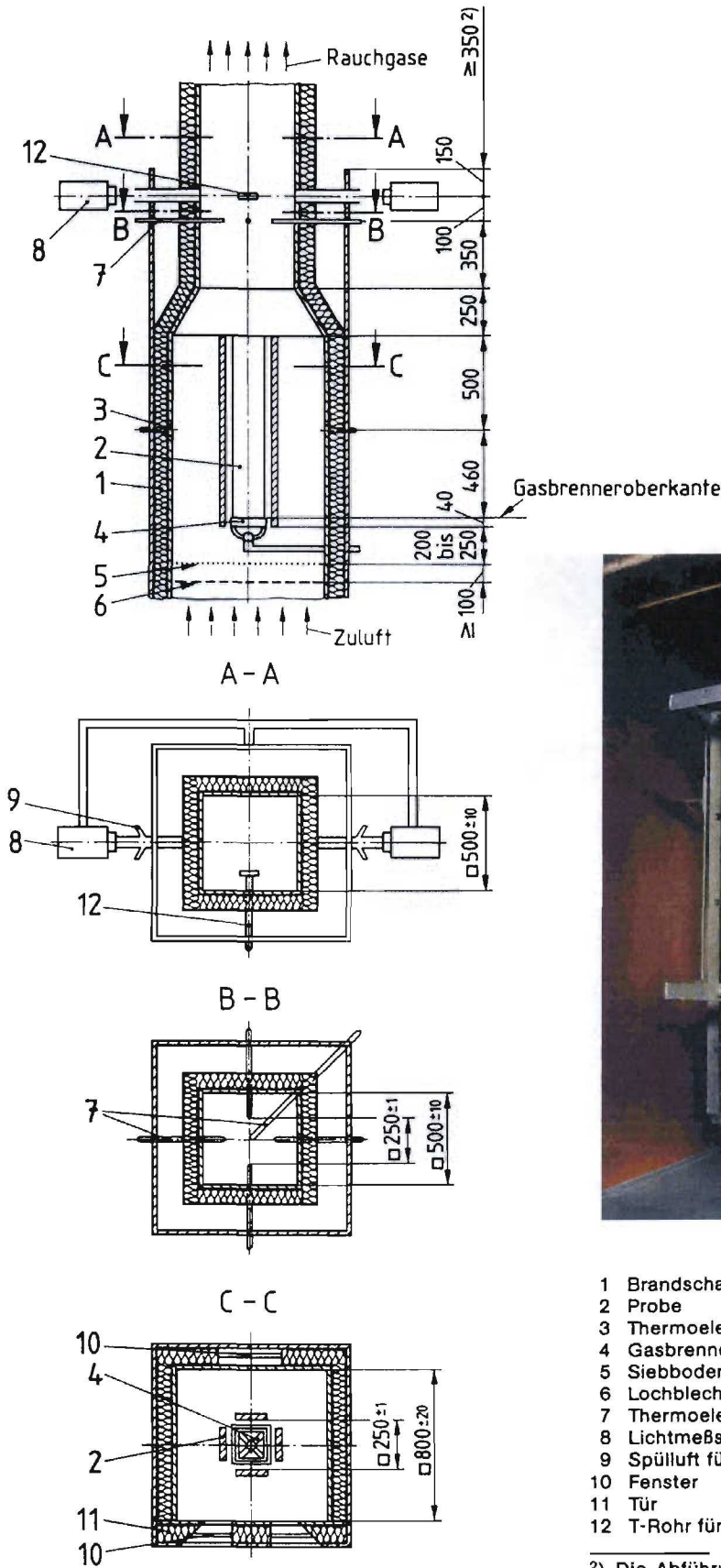
Die Proben müssen nach DIN 4102-16 Abschnitt 4.1 der Anwendung der Baustoffe entsprechend hergestellt sein. Bei unsymmetrischem Probenaufbau sind Vorder- und Rückseite zu beflammen. Bei Baustoffen, für die eine Klassifizierung für eine Feuerbeanspruchung nur von einer Seite verlangt wird, erfolgt lediglich eine Beflammung von dieser Seite, auch wenn der Aufbau unsymmetrisch ist.

Die Brandschachtprüfung gilt nach DIN 4102-1 Abschnitt 6.1.2.2 für den Nachweis der Schwerentflammbarkeit als bestanden, wenn bei der Prüfung der Mittelwert der Restlängen jedes Probekörpers mindestens 15 cm beträgt und dabei keine Probe eine Restlänge von 0cm aufweist, dazu bei keinem Versuch die mittlere Rauchgastemperatur 200°C überschreitet. Die Prüfungsdauer beträgt 10 Minuten.

Da sich bei den Großversuchen teilweise ein nicht unerheblicher Beitrag des Abbrandes im Hinterlüftungsspalt gezeigt hat, wurde neben den Versuchen mit normgerechten Probenaufbau (Aufbau A) nach DIN 4102-15 Tabelle 1 Bild 3 je Material ein Versuch mit unten offenem Hinterlüftungsspalt (Aufbau B) durchgeführt. Dabei wurde das Material analog DIN 4102-15 Tabelle 1 Bild 3, jedoch mit offenem Hinterlüftungsspalt im unteren Bereich von 20 cm geprüft.

Zu hinterlüfteten Außenwandbekleidungen einschließlich ihrer Dämmschichten findet sich in DIN 4102-16 Abschnitt 7.4 der Hinweis, dass sie von einer Beurteilung ausgenommen sind, da für die Durchführung der Versuche besondere Festlegungen erforderlich sind. Diese werden auf dem Wege der Erteilung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung geregelt.





- 1 Brandschachtwand
- 2 Probe
- 3 Thermoelemente für Brandschachtwand-Temperatur
- 4 Gasbrenner, quadratisch
- 5 Siebboden
- 6 Lochblech
- 7 Thermoelemente für Rauchgas
- 8 Lichtmeßstrecke mit Haltevorrichtung
- 9 Spülluft für Lichtmeßstrecke
- 10 Fenster
- 11 Tür
- 12 T-Rohr für Druckmessung

2) Die Abführung der Rauchgase von dieser Ebene muß mindestens 350 mm in vertikaler Richtung erfolgen.

Abbildung 2.5: Brandschacht - Photo des MPA NRW und Übersichtszeichnung aus DIN 4102-15 Bild 1

## 2.2.2 Single Burning Item - Test nach DIN EN 13823

Der Single Burning Item Test nach DIN EN 13823 ist im Zuge der europäischen Harmonisierung als Ersatz für den Brandschachtversuch nach DIN 4102-15 und -16 vorgesehen. Die Norm wurde inzwischen zum Druck freigegeben.

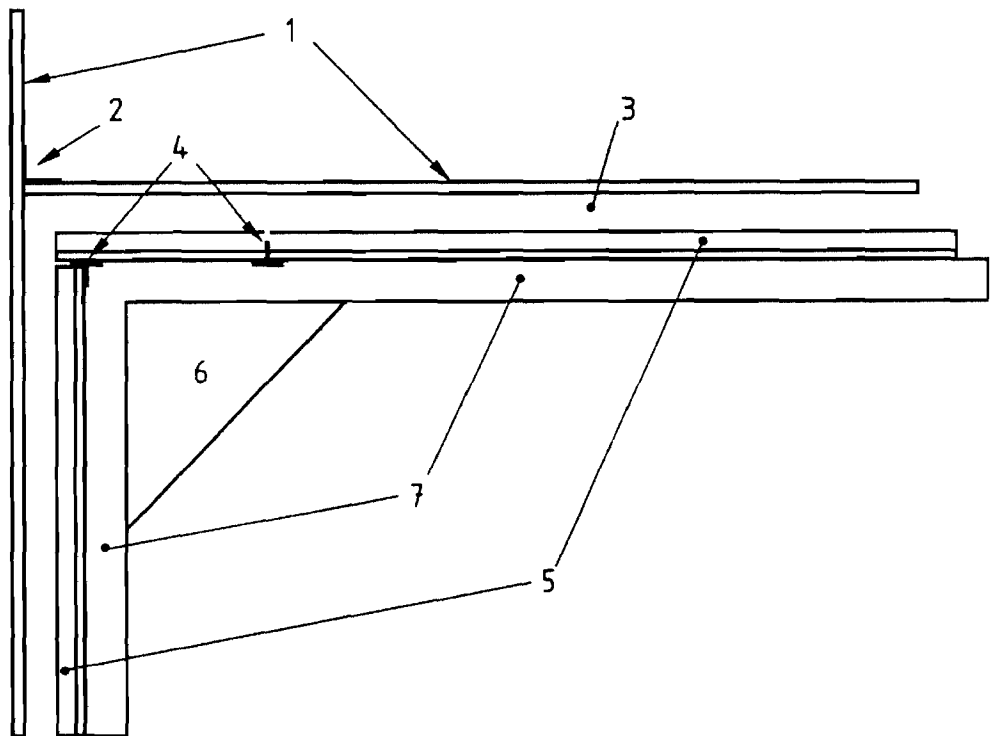
Beim SBI-Test wird durch einen Brenner, der mit Propangas betrieben wird, ein einzelner brennender Gegenstand in einer Raumecke simuliert. Die Energiefreisetzungsrate des Brenners beträgt  $30,7 \pm 2 \text{ kW}$ .

Die Probe besteht nach DIN EN 13823 Abschnitt 5 aus zwei Flügeln, die als Probenecke zusammengestellt und im folgenden als kurzer und langer Flügel bezeichnet werden. Die maximale Dicke beträgt 200 mm. Proben mit einer Dicke größer als 200 mm müssen nach Abschnitt 5.1.2 der DIN EN 13823 auf 200 mm reduziert werden, indem die Dicke von der nicht der Beflammung ausgesetzten Oberfläche reduziert wird.

Plattenförmige Produkte müssen folgende Abmessungen haben:

- a) kurzer Flügel:  $(495 \pm 5) \text{ mm} / (1500 \pm 5) \text{ mm}$
- b) langer Flügel:  $(1000 \pm 5) \text{ mm} / (1500 \pm 5) \text{ mm}$

Aufgrund des Anordnungsprinzips nach Abschnitt 5.3 der DIN EN 13823 ist der lange Flügel um die Dicke des zu prüfenden Materials kürzer als 1000 mm (s. Abbildung 2.6).



### Legende

- |   |                              |   |                        |
|---|------------------------------|---|------------------------|
| 1 | rückseitiger Abschlussplatte | 5 | Flügel der Probekörper |
| 2 | L-Profil                     | 6 | Hauptbrenner           |
| 3 | Luftspalt                    | 7 | U-Profil               |
| 4 | Fuge                         |   |                        |

Abb. 2.6: Beispiel für eine Probenanordnung beim SBI-Test aus [N2]

Die Anzahl der zu prüfenden Probekörper wird im Abschnitt 5.4 der DIN EN 13823 auf drei Probekörper, bestehend aus einem langen und einem kurzen Flügel, festgelegt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde es als ausreichend angesehen, jede Konstruktion einmal zu prüfen und auf die beiden Wiederholungsversuche zu verzichten.

Entsprechend des Abschnitt 5.2.2 der DIN EN 13823 wurde bei der Probenherstellung und Prüfung die Anwendung des Produktes in der Praxis berücksichtigt:

- a) ...
- b) ...
- c) Platten, die ... derart auf einem Untergrund befestigt werden, dass dahinter ein Hohlraum entsteht, müssen mit einem Hohlraum geprüft werden. Dieser muss mindestens 40 mm betragen. Die Hohlräume hinter beiden Probeflügeln müssen in einer offenen Verbindung stehen
- d) Produkte, die auf dem Untergrund verklebt werden, müssen auf einer Trägerplatte verklebt geprüft werden
- e) Produkte, die in der praktischen Anwendung Fugen aufweisen, müssen mit Fugen geprüft werden, deren Anordnung genau angegeben wird:  
horizontale Fuge in einer Höhe von 500 mm über Probenunterkante;  
vertikale Fuge in einem Abstand von 200 mm von der Ecke auf dem langen Flügel;
- f) ...

Da sich bei den Großversuchen teilweise ein nicht unerheblicher Beitrag des Abbrandes im Hinterlüftungsspalt gezeigt hat, wurde neben den Versuchen mit normgerechten Probenaufbau (Aufbau A) nach DIN EN 13823 Abschnitt 5.2.2 (siehe oben) je Material ein Versuch mit unten offenem Hinterlüftungsspalt (Aufbau B) durchgeführt. Dabei wurde das Material analog zu Abschnitt 5.2, jedoch mit offenem Hinterlüftungsspalt im unteren Bereich von 30 cm geprüft.

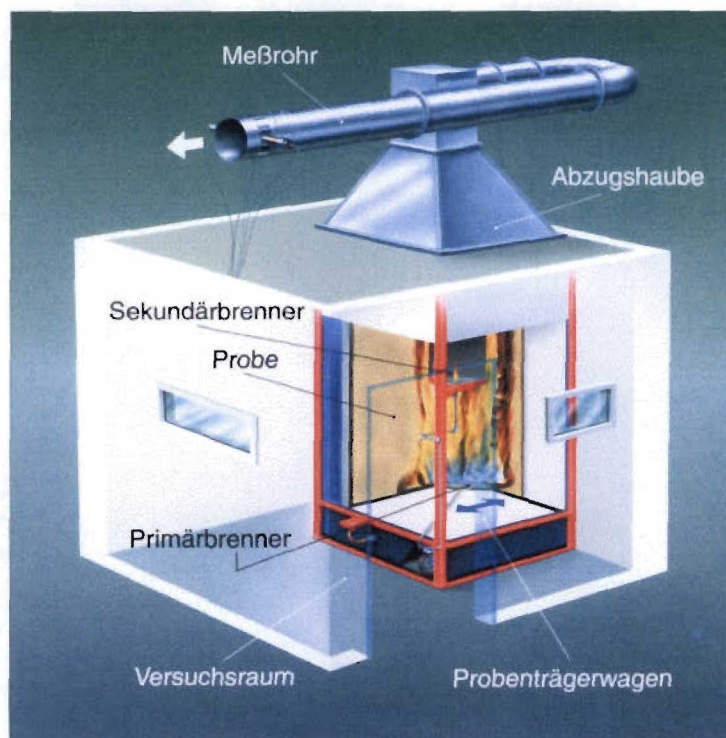


Abb. 2.7: SBI-Test für die Euroklassen A2, B, C und D

## Versuchsdurchführung

Der Versuchsablauf lässt sich in 4 Phasen gliedern. Folgende Zeitpunkte geben einen kurzen Überblick über die Versuchsdurchführung:

$t = 0 \text{ sec}$	Versuchsbeginn; Start der Messdatenerfassung; Ermittlung des Umgebungsdrucks in [Pa] und der relativen Luftfeuchte der Umgebungsluft in [%]
$30 \text{ sec} \leq t \leq 90 \text{ sec}$	Feststellen der Anfangswerte der Sauerstoff-, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid-Konzentration in [%]
$t = (120 \pm 5) \text{ sec}$	Zünden des Sekundärbrenners; Gaszufuhr wird auf $647 \pm 10 \text{ mg/sec}$ eingestellt
$120 \text{ sec} \leq t \leq 180 \text{ sec}$	Ermittlung der Energiefreisetzungsrate und Rauchfreisetzungsrate des Brenners; Daten zur Bestimmung der Gültigkeit des Versuches
$t = (180 \pm 5) \text{ sec}$	Zünden des Hauptbrenners durch Umleitung der Gaszufuhr zum Hauptbrenner; Sekundärbrenner aus
$300 \text{ sec} \leq t \leq 1500 \text{ sec}$	Bestimmung des Brandverhaltens des zu prüfenden Produktes (Beanspruchungsdauer)
$t = (1500 \pm 5) \text{ sec}$	Ende der Messdatenauswertung
$t = 1560 \text{ sec}$	Abstellen des Brenners
$1560 \text{ sec} \leq t \leq 1740 \text{ sec}$	Ermittlung der Endwerte der Sauerstoff-, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid-Konzentration in [%]; Ermittlung von Verzugszeiten

Während des Versuches wurden Messdaten aufgenommen, mit deren Hilfe eine rechnerische Beschreibung des Brandverlaufes ermöglicht wird.

Folgende Messungen wurden durchgeführt:

- Strömungsgeschwindigkeit über eine Differenzdruckmesssonde zur Bewertung des Volumenstromes
- Temperatur zur Korrektur des Volumenstromes
- Gaszusammensetzung  $O_2$ ,  $CO_2$  und  $CO$  zur Ermittlung der Energiefreisetzung
- Rauchdichte

Zusätzlich gaben visuelle Beobachtungen Auskunft über brennendes Abtropfen oder Abfallen und über die seitliche Flammenausbreitung.

## Messung der Energiefreisetzungsrate RHR

Beim SBI-Test ist es mit der Sauerstoffverbrauchsmethode möglich, die Energiefreisetzungsrate RHR in Form von Wärme festzustellen. Aus dieser Größe kann die gesamte Energiefreisetzung THR und der daraus abgeleitete FIGRA-Index (Berechnungen siehe unten) bestimmt werden.

### Berechnung der Energiefreisetzungsrate RHR

$$\begin{aligned}
 & \text{Volumenstrom der gesamten Luft im Messrohr in [m}^3\text{/sec]} \\
 & \text{Sauerstoffkonzentration in der einströmenden Luft in [--]} \\
 & \text{Einströmende Luft abzüglich des Wasserdampfanteils in [--]} \\
 & \text{Sauerstoffverbrauchsfaktor in [--]} \\
 & \text{Verhältnis von einströmendem Massenstrom zu Massenstrom im Messrohr in [--]} \\
 \\
 \text{RHR}_{\text{Probe}} &= E_2 \cdot V_{298}(t) \cdot \underbrace{X_{\text{O}_2}^0 \cdot (1 - X_{\text{H}_2\text{O}}^0)}_{\dot{v}_{\text{O}_2}^0 - \dot{v}_{\text{O}_2}} \cdot \Phi \cdot \frac{1}{1 + \Phi \cdot (\alpha - 1)} = \text{RHR}_{\text{Brenner}} \quad \text{Gleichung 2.7}
 \end{aligned}$$

$\text{RHR}_{\text{Probe}}$  = Energiefreisetzungsrate der Probe in [kW]

$E_2$  = 17200 kJ/m<sup>3</sup>

$V_{298}(t)$  = Volumenstrom im Messrohr bezogen auf eine Temperatur von 298 K in [m<sup>3</sup>/sec]

$X_{\text{O}_2}^0$  = Sauerstoffkonzentration der einströmenden Luft in [--]

$X_{\text{H}_2\text{O}}^0$  = Wasserdampfkonzentration der einströmenden Luft in [--]

$\Phi$  = Sauerstoffverbrauchsfaktor in [--]

$\alpha$  = Expansionsfaktor (im SBI - Test mit 1,105 als Erfahrungswert)

$\text{RHR}_{\text{Brenner}}$  = Energiefreisetzungsrate des Brenners in [kW]

### Berechnung der gesamten Energiefreisetzung THR

Die gesamte freigesetzte Energie THR (Total Heat Release) wird durch Integration der Funktion der Energiefreisetzungsrate über die Zeit ermittelt.

$$\text{THR}(t) = \frac{1}{1000} \cdot \int_{t=300}^x \text{RHR}(t) \quad \text{für alle } 300 \leq x \leq 1500 \quad \text{Gleichung 2.8}$$

$$\text{THR}_{600} = \frac{1}{1000} \cdot \int_{t=300}^{900} \text{RHR}(t)$$

$\text{THR}(t)$  = gesamte Energiefreisetzung der Probe in [MJ]

$\text{THR}_{600}$  = Energiefreisetzung zwischen  $300 \leq t \leq 900$  Sekunden in [MJ]

$t$  = Zeit ab Versuchsbeginn  $300 \text{ sec} \leq t \leq 1500 \text{ sec}$

## Berechnung des FIGRA-Indexes

Um die Geschwindigkeit der Brandentwicklung zu berücksichtigen wurde aus dem Verlauf der Energiefreisetzungsrate der FIGRA-Index abgeleitet (Fire Growth Rate).

Der FIGRA-Index ist als die maximale Steigung der RHR(t)-Kurve, aufgetragen über die Zeit definiert. Dazu werden entsprechend dem in der DIN EN 13823 beschriebenen Verfahren Mittelwerte der Energiefreisetzungsrate RHR über 30 Sekunden bestimmt.

$$\text{FIGRA} = 1000 \cdot \max\left(\frac{\text{RHR}_{\text{av}}(t)}{t - 300}\right) \quad \text{Gleichung 2.9}$$

FIGRA = Feuerwachstumswert in [W/s]

$\text{RHR}_{\text{av}}(t)$  = Mittelwert von RHR(t) über 30 Sekunden in [kW]

t = Zeit ab Versuchsbeginn  $300 \text{ sec} \leq t \leq 1500 \text{ sec}$

## Messung der Rauchfreisetzungsrate RSP

Hierzu wird die Rauchdichte im Messrohr mit einer Lichtmessstrecke nach DIN 50055 kontinuierlich aufgezeichnet. Aus der Rauchdichte können Angaben zur gesamten Rauchfreisetzung und zum daraus abgeleiteten SMOGRA-Index (Berechnungen siehe unten) berechnet werden.

### Berechnung der Rauchfreisetzungsrate RSP

Die Rauchdichte im Messrohr wird durch den Abgasvolumenstrom beeinflusst – je mehr Frischluft mit den Abgasen zusammen abgeführt wird, um so geringer ist die Rauchdichte. Um dies zu berücksichtigen wurde als Maß für die Rauchentwicklung die Kenngröße RSP (Rate of Smoke Produktion) eingeführt, bei der der Einfluss des Abgasvolumenstromes berücksichtigt wird:

$$\text{RSP}_{\text{Probe}} = \dot{V}(t) \cdot k - \text{RSP}_{\text{Brenner}} \quad \text{mit} \quad \dot{V}(t) = \dot{V}_{298}(t) \cdot \frac{T_{\text{ms}}(t)}{298\text{K}} \quad \text{gilt:} \quad \text{Gleichung 2.10}$$

$$\text{RSP}_{\text{Probe}} = \dot{V}_{298}(t) \cdot \frac{T_{\text{ms}}(t)}{298\text{K}} \cdot k - \text{RSP}_{\text{Brenner}} \quad \text{mit} \quad k = \ln\left(\frac{I_0}{I(t)}\right) \cdot \frac{1}{d}$$

$\text{RSP}_{\text{Probe}}$  = Rauchfreisetzungsrate der Probe in [m<sup>2</sup>/sec]

$\dot{V}(t)$  = Rauchgasvolumenstrom in [m<sup>3</sup>/sec]

k = Extinktionskoeffizient in [1/m]

$\dot{V}_{298}(t)$  = Volumenstrom bezogen auf 298 K im Messrohr in [m<sup>3</sup>/sec]

$T_{\text{ms}}(t)$  = mittlere Rauchgastemperatur im Messrohr in [K]

I(t) = Transmission während des Versuches in [%]

$I_0$  = Transmission zu Beginn des Versuches in [%]

d = Schichtdicke = Durchmesser des Messrohres in [m]

$\text{RSP}_{\text{Brenner}}$  = Rauchfreisetzungsrate des Brenners in [m<sup>2</sup>/sec]

## Berechnung der gesamten Rauchfreisetzung TSP

Der gesamte freigesetzte Rauch TSP (Total Smoke Produktion) wird durch Integration der Rauchfreisetzungsrates RSP über die Zeit ermittelt.

$$\begin{aligned} \text{TSP}(t) &= \int_{t=300}^x \text{RSP}(t) \quad \text{für alle } 300 \leq x \leq 1500 && \text{Gleichung 2.11} \\ \text{TSP}_{600} &= \int_{t=300}^{900} \text{RSP}(t) \end{aligned}$$

TSP(t) = gesamte Rauchfreisetzung der Probe in [m<sup>2</sup>]

TSP<sub>600</sub> = Rauchfreisetzung zwischen 300 ≤ t ≤ 900 Sekunden in [m<sup>2</sup>]

t = Zeit ab Versuchsbeginn 300 sec ≤ t ≤ 1500 sec

## Berechnung des SMOGRA-Indexes

Analog zum FIGRA-Index wurde zur Bewertung des zeitlichen Verlaufes der Rauchentwicklung ein SMOGRA-Index (Smoke Growth Rate) definiert.

Der SMOGRA-Index ist als maximale Steigung der RSP(t)-Kurve, aufgetragen über die Zeit definiert. Dazu werden entsprechend dem in der DIN EN 13823 beschriebenen Verfahren Mittelwerte der Rauchfreisetzungsrates RSP über 60 Sekunden bestimmt.

$$\text{SMOGRA} = 10000 \cdot \max \left( \frac{\text{RSP}_{\text{av}}(t)}{t - 300} \right) \quad \text{Gleichung 2.12}$$

SMOGRA = Rauchwachstumswert in [m<sup>2</sup>/sec]

RSP<sub>av</sub>(t) = Mittelwert von RSP(t) über 60 Sekunden in [m<sup>2</sup>/sec<sup>2</sup>]

t = Zeit ab Versuchsbeginn 300 sec ≤ t ≤ 1560 sec

### 3. Übersicht der Prüfkörper

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der Brandausbreitung bei Außenwandbekleidungen insbesondere bei vorgehängten, hinterlüfteten Fassadenbekleidungssystemen unter dem Einfluss der Hinterlüftung. Zusätzlich sollte der Einfluss von konstruktiven Elementen baulichen Brandschutzes erfasst werden.

Bei der Auswahl der untersuchten Fassadenkonstruktionen sollte soweit als möglich das im Hinblick auf das Brandverhalten unterschiedliche Spektrum von Fassadenbaustoffen (Baustoffklassen A bis B2 nach DIN 4102-1) einbezogen werden. Ferner sollten der Einfluss unterschiedlicher Unterkonstruktionen untersucht werden. Auf die Einbeziehung anderer Dämmstoffe als nichtbrennbarer Mineralfaser-Platten wurde verzichtet, da die Industrie eine entsprechende Beschränkung vorgesehen hat.

Bei den vorgehängten Fassadenkonstruktionen wurden mit jedem Aufbau zwei Versuche durchgeführt, um erste Informationen über die Wiederholbarkeit der Prüfergebnisse zu erhalten. Bei den Versuchen an den Wärmedämmverbundsystemen wurde darauf verzichtet. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Fassadenkonstruktionen.

Versuchsaufbau Nummer	Vorgehängte, hinterlüftete Fassaden											
	Fassadenbekleidung			Unterkonstruktion und Dämmstoff		Hinterlüftung		Baulicher Brandschutz				
	Faserzementplatten, 8 mm dick, Baustoffklasse A2	Aluminiumverbund-Kassette, 4 mm dick (Kassetentiefe 55 mm) Baustoffklasse B1	HPL-Platten, 8 mm dick, Baustoffklasse B1	Lärchenholz-Stülpchalung, 20 mm dick, 120 mm breit, Baustoffklasse B2	Aluminiumprofile (nichtbrennbar)	Kanthölzer (brennbar)	80 mm Steinwolle, Baustoffklasse A1, gehalten durch Kunststoffteilerschrauben	Breite 40 mm	Breite 60 mm	ungestörter Hinterlüftungsspalt 35 mm Hinterlüftungshohlraum 76 mm	Sturzabdeckung - 3 mm Stahlblech; einfach gefalzt	Querriegel 1m über dem Brenner - 1,5 mm Stahlblech
1	x				x		x		x			
2	x					x	x	x				
3	x					x	x	x			x	
4		x			x		x			x		x
5		x			x		x			x	x	
6			x		x		x		x		x	
7			x		x		x		x			
8				x		x	x	x				
	<b>Wärmedämmverbundsysteme</b>											
	Putz			Dämmung						Baulicher Brandschutz		
9	B1 - organisch			200 mm PS-Hartschaum - B1						Sturz aus 200 mm Mineralfaser		
10	A - mineralisch			200 mm PS-Hartschaum - B1						Sturz aus 200 mm Mineralfaser		

Tabelle 3.1 Übersicht der Prüfkörper



Ausführliche Zeichnungen befinden sich bei den einzelnen Versuchsdokumentationen in den Bänden 2 bis 7 der Versuchsergebnisse zu diesem Forschungsbericht.

### **Zu den vorgehängten, hinterlüfteten Fassaden (Versuchsaufbau Nummer 1 – 8):**

Es kamen für die Fassadenbekleidung Baustoffe der Klassen A (nichtbrennbar), B1 (schwerentflammbar) und B2 (normalentflammbar) zum Einsatz.

Als Wärmedämmung wurden jeweils Steinwolleplatten nach DIN 18165 eingesetzt, die in die Baustoffklasse A1 eingeordnet werden, eingesetzt. Die Wärmedämmung leistete damit keinen eigenen Beitrag zum Brandgeschehen. Sie wurde durchgängig in einer Dicke von 80 mm ausgeführt und mit 5 Kunststoff-Tellerscheiben je m<sup>2</sup> befestigt.

Bei den Versuchen wurden sowohl Aluminium-Unterkonstruktionen als auch Holzunterkonstruktionen eingesetzt.

Bei den durchgeführten Versuchen wurde die Fassadenbekleidung auf die Holzunterkonstruktion aufgeschraubt. Auf die Aluminiumunterkonstruktionen wurden die Fassadenbekleidungen dagegen aufgenietet. Bei Holzunterkonstruktionen wurde der Hinterlüftungsspalt mit 40 mm und bei Aluminium-Unterkonstruktionen mit 60 mm ausgeführt. Die Be- und Entlüftungsöffnungen über dem Sturz werden auf das Mindestmaß nach DIN 18516 auf 50 cm je laufenden Meter beschränkt.

Der Einfluss von Stürzen aus einem nichtbrennbaren Stahlblech sowie der Einfluss eines Querriegels über die gesamte Breite des Versuchsstandes werden als konstruktive Elemente zum baulichen Brandschutz untersucht. Als nichtbrennbarer Fenstersturz wurde ein einfach gefalztes 1,5 mm dickes Stahlblech eingesetzt und bis zur tragenden Wand des Versuchsstandes geführt. Der Querriegel sollte als horizontale Brandsperrwirkung wirken. Er wurde aus einem 1,5 mm dicken Stahlblech ausgeführt und ebenfalls bis zur tragenden Wand des Versuchsstandes geführt.

Wurde kein baulicher Brandschutz im Bereich des Fenstersturzes angeordnet, so wurden der Sturz und die Leibung mit Platten des entsprechenden Bekleidungsmaterials bekleidet.

### **Zu den Wärmedämmverbundsystemen (Versuchsaufbau Nummer 9 + 10):**

Es kamen zwei Wärmedämmverbundsysteme zum Einsatz.

Beide hatten als Dämmung 200 mm PS-Hartschaum (Baustoffklasse B1). Als baulicher Brandschutz kam jeweils ein 200 mm hoher und breiter Mineralfaserstreifen zum Einsatz, der seitlich 200 bzw. 300 mm über die Brandkammer hinausragte. Lediglich bei den Putzen wurden Materialien unterschiedlicher Baustoffklassen verwendet (mineralischer Putz – Baustoffklasse A; organischer Putz – Baustoffklasse B1).

## **4. Vorversuche zur Bemessung des Gasbrenners**

Aus Gründen der Reproduzierbarkeit wurde in Vorversuchen ein Gasbrenner erprobt, der das in DIN 4102-1 vorgesehene Brandmodell (aus einer Fensteröffnung herausschlagende Flammen eines Vollbrandes) simuliert und gleichzeitig die Anknüpfung an bisherige Versuche mit einer 25 kg Holzkrippe bringen soll.

Der Brenner besteht aus einem 32 cm • 80 cm (entspricht einer Fläche von 0,25 m<sup>2</sup>) großen Sandbett-Brenner, der mit Propan (und geringer Luftbeimischung) gespeist wird. Die Flammen dieses Brenners erhalten die notwendige Verbrennungsluft durch Beimischen der Raumluft (Diffusionsflamme). Sie sind vergleichsweise weich und instabil und entsprechen somit relativ gut einem Primärbrand bei einem Schadensfeuer. Sie haben ohne Beitrag der Fassade eine Höhe von 2,00–2,50 m.

Im Zuge der Entwicklung des Brenners wurden zwei verschiedene Formen mit unterschiedlichen Gas-/ Luftspeisungen erprobt. Es wurde jeweils eine Vielzahl an Versuchen durchgeführt, bei denen Temperaturmessungen, Wärmeprofilmessungen und Messungen mittels Infrarot-Kamera durchgeführt wurden. Die Ergebnisse dieser Erprobungsversuche wurde mit den Ergebnissen einer Reihe von Versuchen mit der bisher als Beanspruchung eingesetzten Holzkrippe verglichen.

Einzelheiten dieser Erprobungsversuche und Details der untersuchten Brenner sind dem Band 1 der Versuchsergebnisse „Ergebnisse der Vorversuche zur Erprobung eines Gasbrenners“ zu entnehmen.

Auf der Basis von Temperaturmessungen, Wärmeprofilmessungen und Messungen mittels Infrarot-Kamera durchgeführte Vergleiche mit der Beanspruchung durch eine Holzkrippe zeigen, dass die Beanspruchung durch den Gasbrenner während der ersten 10 Minuten Versuchsdauer etwa der der Holzkrippe entspricht. Die gemessenen Temperaturen liegen am oberen Rand der Streubreite der Versuche mit Holzkrippen. Die zweiten 10 Minuten der Beanspruchung gehen über die bisher angewendeten Holzkrippen durch Verlängerung der Beanspruchungsdauer hinaus.

Für alle Versuche wurde im Rahmen dieser Arbeit die Beanspruchungsdauer auf 20 Minuten festgelegt.

Es wird jedoch vorgeschlagen, die Beurteilung der Fassaden der Baustoffklasse B1 (Euroklasse C) entsprechend den Ergebnissen der ersten 10 Minuten vorzunehmen. Für Fassaden der Baustoffklasse A2 (Euroklasse A2 / B) sollten die Ergebnisse der vollen Versuchsdauer von 20 Minuten zu Grunde gelegt werden.

## **5. Versuchsergebnisse im Maßstab 1:1**

### **5.1 Allgemeines**

Detaillierte Beschreibungen und Zeichnungen zu den Versuchsaufbauten sowie ausführliche Ergebnisse sind in den als Anlage zu diesem Abschlussbericht gehörenden Bänden 2-7 der Versuchsergebnisse dargestellt. Nachfolgend wird zu jeder geprüften Fassadenkonstruktion eine Zusammenfassung der Ergebnisse wiedergegeben. Die Versuchsbeobachtungen, die maximalen Flammenhöhen vor Fassadenoberfläche und die Messergebnisse zur Energiefreisetzung werden jeweils als Mittelwerte aus zwei Versuchen aufgeführt.

Bei der folgenden Darstellung der Meßdaten wurde die Auswertung auf die ersten 19 Minuten beschränkt. Da beim Versuchsabbruch in der 20. Minute Sprünge in den Meßdaten auftraten ist eine Darstellung des ungestörten Verlaufes nur ohne Berücksichtigung der letzten Versuchsminute möglich. Für die zukünftige Durchführung derartiger Versuche wird vorgeschlagen die Versuchsdauer auf 21 Minuten zu erhöhen, um eine ungestörte Auswertung über 20 Minuten vornehmen zu können (siehe Kapitel 4).

Bei der Darstellung der Messergebnisse der Energiefreisetzung wurden für die verschiedenen Materialien unterschiedliche Maßstäbe gewählt. Da die Wahl eines einheitlichen Maßstabes (nach den Meßergebnissen gewählt) keine ausreichende Differenzierung der Ergebnisse der übrigen Fassadenbekleidungen gestattete.

## 5.2 Faserzementplatten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Faserzementplatte als Sturzabdeckung

### a) Versuchsbeobachtungen

#### - Seitliche Flammenausbreitung:



Die nebenstehende Abbildung 5.1 zeigt die Flammenausbreitung nach 19 Minuten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Flammen nur unwesentlich seitlich über die Breite der Brandkammer hinaus ausgebreitet haben.

Ein positiver Brandwinkel (nach oben sich verbreitende Brandzehrungen) von mehr als 15-20° lag zu keiner Zeit vor.

Abb. 5.1 Flammenausbreitung nach 19 Minuten

#### - Zerstörungen an der Fassadenbekleidung und Unterkonstruktion (ggf. auch an der Wärmedämmung):

An den Faserzementplatten zeigten sich vor allem an den Befestigungspunkten Rissbildungen auf Grund von Zwängungen. Die Aluminiumprofile waren in der Ecke sowie oberhalb des Brenners geschmolzen. Die Wärmedämmung über dem Brenner war bis zu einer Höhe von 4,00 m verrußt. Sie war ausgeglüht und hatte an Festigkeit verloren.

#### - Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials:

Kleinere Teile der Faserzementplatten, die unmittelbar den Flammen des Brenners ausgesetzt waren, fielen ab.

#### - Brennendes Abfallen/Abtropfen:

Brennendes Abfallen/Abtropfen war nicht zu beobachten.

### b) Ergebnisse zur Flammenhöhe

Die folgende Abbildung 5.2 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der maximalen Flammenhöhen (Mittelwert aus beiden Versuchen, Auswertung an Hand der Videos):

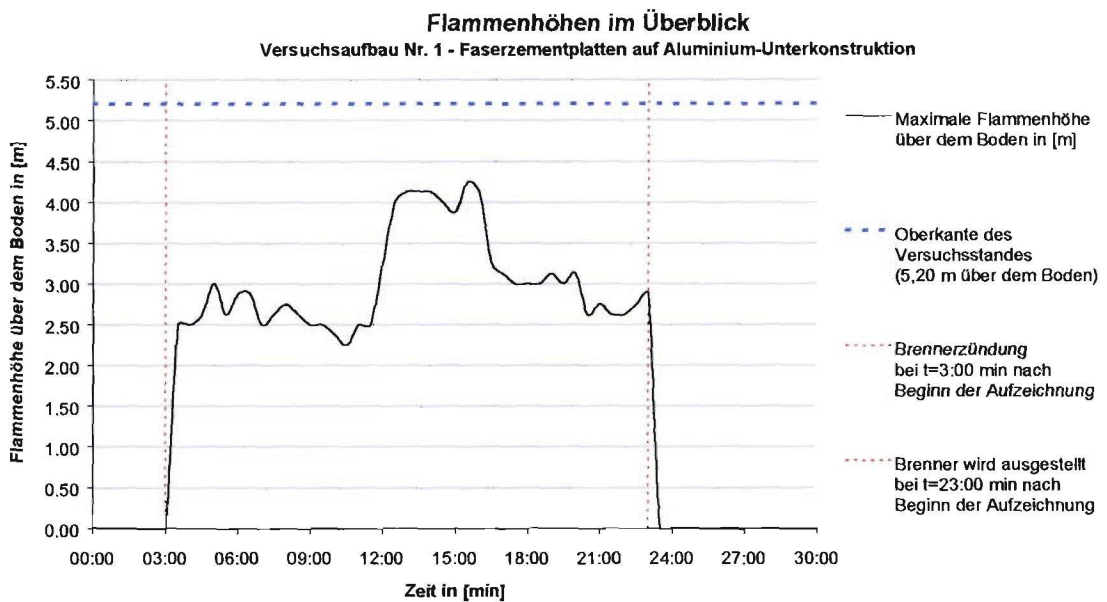


Abbildung 5.2 Maximalen Flammenhöhen beim Aufbau 1

### c) Ergebnisse zur Energiefreisetzung

	1. Versuch	2. Versuch	Mittelwert
max. $RHR_{av}(t)$ in [kW]	105,961	105,145	105,553
$THR_{600s}$ in [MJ]	20,191	27,408	47,599
$THR_{1140s}$ in [MJ]	62,768	51,628	57,198
FIGRA in [W/s]	178,855	212,121	195,488

#### Erläuterungen zu der vorstehenden Tabelle:

- max.  $RHR_{av}$ : Maximale mittlere Energiefreisetzungsrate während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- $THR_{600s}$ : Freigesetzte Energie während der ersten 10 Minuten der Beflammung
- $THR_{1140s}$ : Freigesetzte Energie während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- FIGRA: FIGRA-Index als Maximalwert des Quotienten aus  $RHR_{av} / t$  während der ersten 19 Minuten der Beflammung berechnet
- t: Versuchszeit ab Start der Beflammung durch den Hauptbrenner

Die folgende Abbildung 5.3 zeigt den zeitlichen Verlauf von RHR, THR und FIGRA:

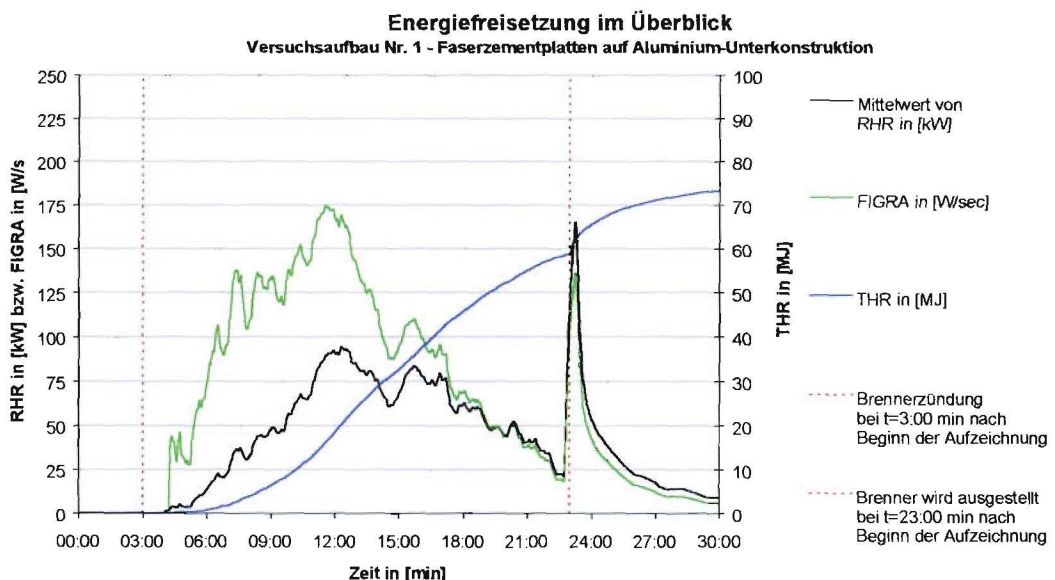


Abbildung 5.3 Energiefreisetzung beim Aufbau 1

## 5.3 Faserzementplatten auf Holz-Unterkonstruktion

### 5.3.1 Faserzementplatten auf Holz-Unterkonstruktion mit Faserzementplatte als Sturzabdeckung

#### a) Versuchsbeobachtungen

##### - Seitliche Flammenausbreitung:



Die nebenstehende Abbildung 5.4 zeigt die Flammenausbreitung nach 19 Minuten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Flammen nur unwesentlich seitlich über die Breite der Brandkammer hinaus ausgebreitet haben. Ein positiver Brandwinkel von mehr als 15-20° lag zu keiner Zeit vor.

Abb. 5.4 Flammenausbreitung nach 19 Minuten

##### - Zerstörungen an der Fassadenbekleidung und Unterkonstruktion (ggf. auch an der Wärmedämmung):

An den Faserzementplatten zeigten sich vor allem an den Befestigungspunkten Rissbildungen auf Grund von Zwängungen. Die vertikale Holzunterkonstruktion war in der Ecke, mittig oberhalb des Brenners bzw. rechts neben dem Brenner verkohlt (1 m Abstand von der Ecke). Durch diese vertikalen Kanthölzer wurde eine weitere seitliche Brandausbreitung im Hinterlüftungsspalt verhindert. Die Abdeckung der vertikalen Kanthölzer (beschichtetes Aluminiumblech), die aus Gründen des Feuchteschutzes in der Praxis aufgebracht werden, waren im unteren Bereich über dem Brenner geschmolzen. Die horizontale Holzunterkonstruktion über dem Brenner wies lediglich oberflächennahe Verkohlungen auf. Die Wärmedämmung über dem Brenner war vor allem im oberen Bereich verrußt. Zudem war die Wärmedämmung in diesem Bereich ausgeglüht und hatte an Festigkeit verloren.

##### - Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials:

Kleinere Teile der Faserzementplatten, die unmittelbar den Flammen des Brenners ausgesetzt waren, fielen ab.

##### - Brennendes Abfallen/Abtropfen:

Brennendes Abfallen/Abtropfen war nicht zu beobachten.

#### b) Ergebnisse zur Flammenhöhe

Die folgende Abbildung 5.5 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der maximalen Flammenhöhen (Mittelwert aus beiden Versuchen, Auswertung an Hand der Videos):

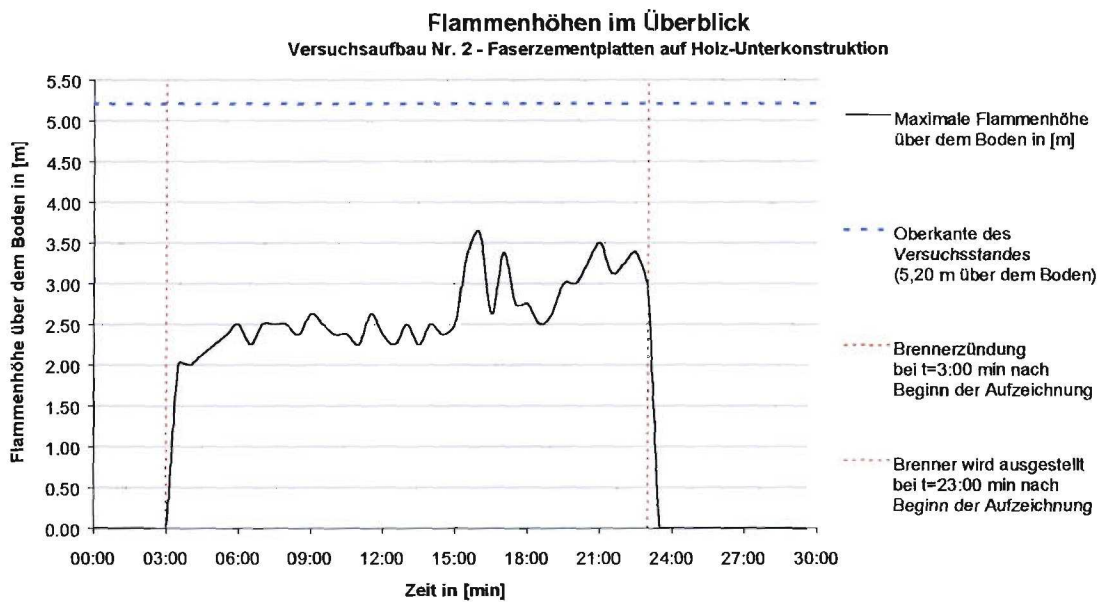


Abbildung 5.5 Maximalen Flammenhöhen beim Aufbau 2

### c) Ergebnisse zur Energiefreisetzung

	1. Versuch	2. Versuch	Mittelwert
max. RHR <sub>av</sub> (t) in [kW]	42.543	55,048	48,796
THR <sub>600s</sub> in [MJ]	3.862	5,559	4,711
THR <sub>1140s</sub> in [MJ]	18.301	25,721	22,011
FIGRA in [W/s]	50.815	77,751	64,283

#### Erläuterungen zu der vorstehenden Tabelle:

- max. RHR<sub>av</sub>: Maximale mittlere Energiefreisetzungsrate während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- THR<sub>600s</sub>: Freigesetzte Energie während der ersten 10 Minuten der Beflammung
- THR<sub>1140s</sub>: Freigesetzte Energie während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- FIGRA: FIGRA-Index als Maximalwert des Quotienten aus RHR<sub>av</sub> / t während der ersten 19 Minuten der Beflammung berechnet
- t: Versuchszeit ab Start der Beflammung durch den Hauptbrenner

Die folgende Abbildung 5.6 zeigt den zeitlichen Verlauf von RHR, THR und FIGRA:

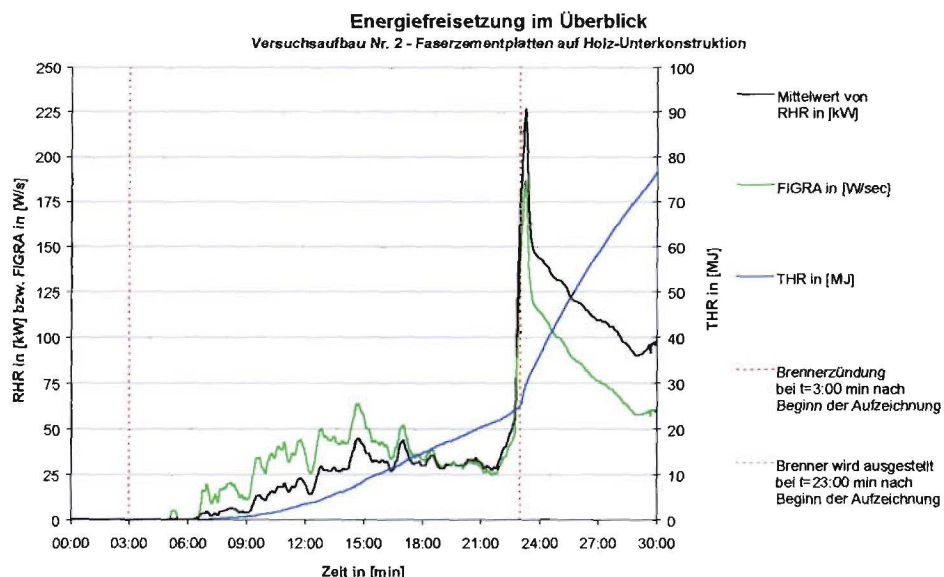


Abbildung 5.6 Energiefreisetzung beim Aufbau 2

### 5.3.2 Faserzementplatten auf Holz-Unterkonstruktion mit einfach gefalztem Stahlblech als Verschluss des Hinterlüftungsspalt im Sturzbereich

#### a) Versuchsbeobachtungen

##### - Seitliche Flammenausbreitung:



Die nebenstehende Abbildung 5.7 zeigt die Flammenausbreitung nach 19 Minuten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Flammen nur unwesentlich seitlich über die Breite der Brandkammer hinaus ausgebreitet haben.

Ein positiver Brandwinkel von mehr als 15-20° lag zu keiner Zeit vor.

Abb. 5.7 Flammenausbreitung nach 19 Minuten

##### - Zerstörungen an der Fassadenbekleidung und Unterkonstruktion (ggf. auch an der Wärmedämmung):

An den Faserzementplatten zeigten sich Rissbildungen vor allem an den Befestigungspunkten auf Grund von Zwängungen. Die vertikale Holzunterkonstruktion war in der Ecke und mittig oberhalb des Brenners verkohlt. Durch die vertikalen Kanthölzer seitlich oberhalb des Brenners wurde eine weitere seitliche Brandausbreitung im Hinterlüftungsspalt verhindert. Die Abdeckung der vertikalen Kanthölzer (beschichtetes Aluminiumblech), die aus Gründen des Feuchteschutzes in der Praxis aufgebracht werden, waren im unteren Bereich über dem Brenner geschmolzen. Die horizontale Holzunterkonstruktion über dem Brenner wies lediglich oberflächennahe Verkohlungen auf. Die Wärmedämmung war über dem Brenner vor allem im oberen Bereich verrußt. Zudem war die Wärmedämmung in diesem Bereich ausgeglüht und hatte an Festigkeit verloren.

##### - Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials:

Kleinere Teile der Faserzementplatten, die unmittelbar den Flammen des Brenners ausgesetzt waren, fielen ab.

##### - Brennendes Abfallen/Abtropfen:

Brennendes Abfallen/Abtropfen war nicht zu beobachten.

#### b) Ergebnisse zur Flammenhöhe

Die folgende Abbildung 5.8 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der maximalen Flammenhöhen (Mittelwert aus beiden Versuchen, Auswertung an Hand der Videos):



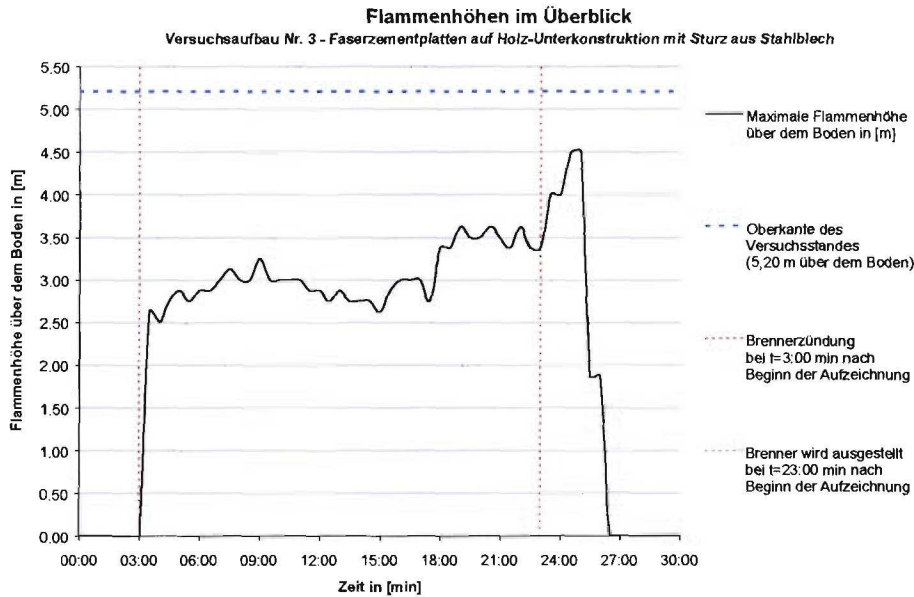


Abbildung 5.8 Maximalen Flammenhöhen beim Aufbau 3

**c) Ergebnisse zur Energiefreisetzung**

	1. Versuch	2. Versuch	Mittelwert
max. $RHR_{av}$ (t) in [kW]	62,988	57,486	60,237
$THR_{600s}$ in [MJ]	14,340	14,610	14,475
$THR_{1140s}$ in [MJ]	36,948	38,934	37,941
FIGRA in [W/s]	126,417	128,028	127,223

Erläuterungen zu der vorstehenden Tabelle:

- max.  $RHR_{av}$ : Maximale mittlere Energiefreisetzungsrate während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- $THR_{600s}$ : Freigesetzte Energie während der ersten 10 Minuten der Beflammung
- $THR_{1140s}$ : Freigesetzte Energie während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- FIGRA: FIGRA-Index als Maximalwert des Quotienten aus  $RHR_{av} / t$  während der ersten 19 Minuten der Beflammung berechnet
- t: Versuchszeit ab Start der Beflammung durch den Hauptbrenner

Die folgende Abbildung 5.9 zeigt den zeitlichen Verlauf von RHR, THR und FIGRA:

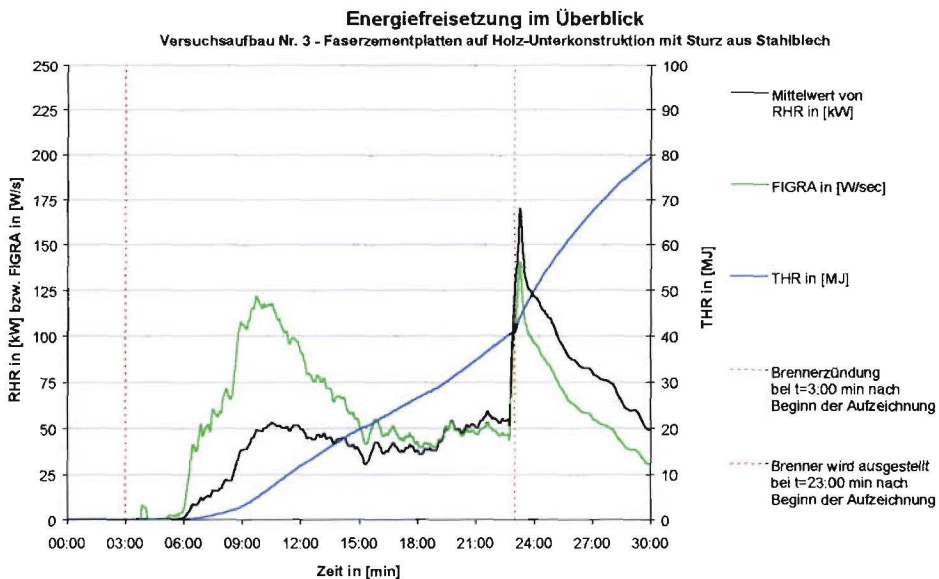


Abbildung 5.9 Energiefreisetzung beim Aufbau 3

## 5.4 Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium- Unterkonstruktion

### 5.4.1 Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit einem horizontalen (1,00 m über dem Sturz) Aluminiumprofil zum Verschluss des Hinterlüftungsspalt

#### a) Versuchsbeobachtungen

##### - Seitliche Flammenausbreitung:



Die nebenstehende Abbildung 5.10 zeigt die Flammenausbreitung nach 19 Minuten. Deutlich ist zu erkennen, dass sich die Flammen seitlich über die Breite der Brandkammer hinaus ausgebreitet haben. Zudem haben sich die Flammen bis zum Rand der schmalen Wand ausgebreitet. Ein positiver Brandwinkel von mehr als 15-20° lag eindeutig vor.

Abb. 5.10 Flammenausbreitung nach 19 Minuten

##### - Zerstörungen an der Fassadenbekleidung und Unterkonstruktion (ggf. auch an der Wärmedämmung):

Die Aluminiumverbund-Kassetten lösten sich teilweise in die einzelnen Bestandteile des Verbundes auf. Der Kunststoffkern löste sich zwischen den Aluminiumschichten und fiel brennend herab. Des Weiteren wurden deutliche Deformationen der Kassetten beobachtet. Die Brandsperre war an der breiten Wand bis auf 1,00 m am rechten Rand geschmolzen. Die Unterkonstruktion mittig über dem Brenner sowie mittig auf der schmalen Wand war geschmolzen bzw. so stark deformiert, dass die statische Funktion nicht mehr erfüllt werden konnte. Die Wärmedämmung war über dem Brenner sowie unterhalb der Brandsperre und im oberen Bereich (ca. 1,00 m) bis zum Rand des Probekörpers (sowohl auf der breiten als auch auf der schmalen Wand) verrußt. Zudem war die Wärmedämmung in diesem Bereich ausgeglüht und hatte an Festigkeit verloren. Darüber hinaus war die Wärmedämmung ab einer Höhe von 3,00 m über dem Boden über die gesamte Breite des Versuchsstandes ausgeglüht.

##### - Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials:

Größere Teile der Aluminiumverbund-Kassetten fielen ab (Kunststoffkerne).

##### - Brennendes Abfallen/Abtropfen:

Teile der Aluminiumverbund-Kassetten fielen brennend ab (Kunststoffkern der Verbundelemente brannten am Boden weiter).

#### b) Ergebnisse zur Flammenhöhe

Die folgende Abbildung 5.11 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der max. Flammenhöhen (Mittelwert aus beiden Versuchen, Auswertung an Hand der Videos):

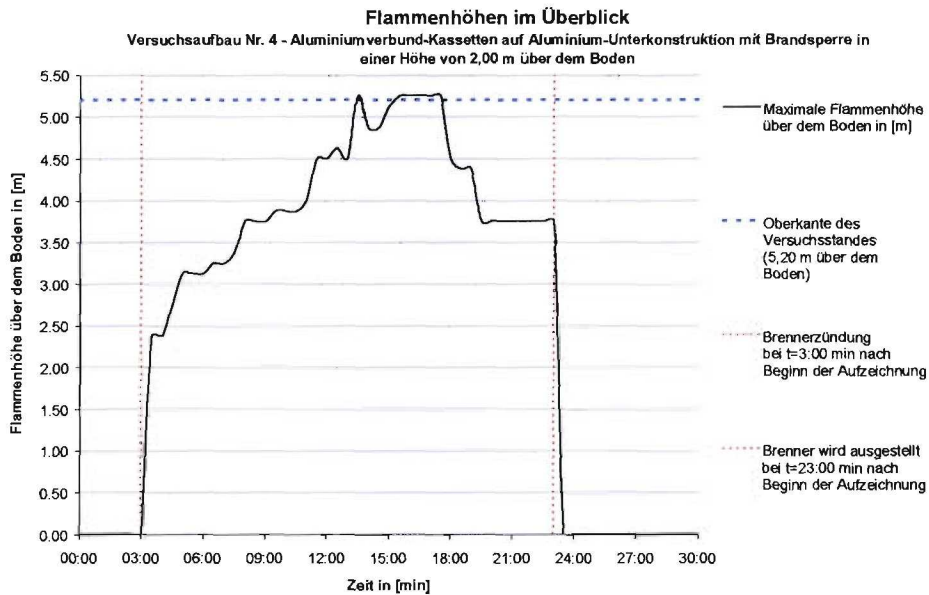


Abbildung 5.11 Maximalen Flammenhöhen beim Aufbau 4

**c) Ergebnisse zur Energiefreisetzung**

	1. Versuch	2. Versuch	Mittelwert
max. RHR <sub>av</sub> (t) in [kW]	536,329	688,551	612,440
THR <sub>600s</sub> in [MJ]	117,908	125,727	121,818
THR <sub>1140s</sub> in [MJ]	254,998	326,775	290,887
FIGRA in [W/s]	937,081	980,807	958,944

Erläuterungen zu der vorstehenden Tabelle:

- max. RHR<sub>av</sub>: Maximale mittlere Energiefreisetzungsrate während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- THR<sub>600s</sub>: Freigesetzte Energie während der ersten 10 Minuten der Beflammung
- THR<sub>1140s</sub>: Freigesetzte Energie während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- FIGRA: FIGRA-Index als Maximalwert des Quotienten aus RHR<sub>av</sub> / t während der ersten 19 Minuten der Beflammung berechnet
- t: Versuchszeit ab Start der Beflammung durch den Hauptbrenner

Die folgende Abbildung 5.12 zeigt den zeitlichen Verlauf von RHR, THR und FIGRA:

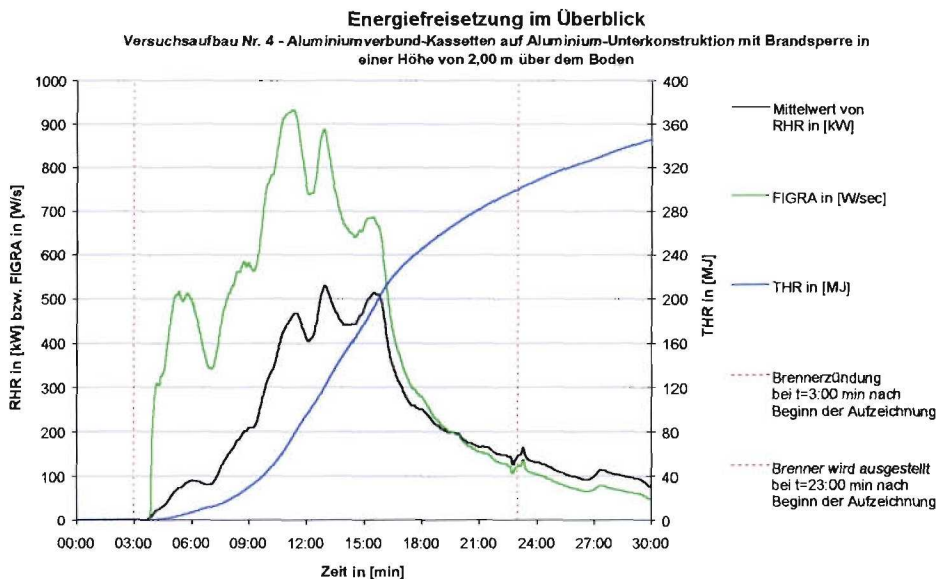


Abbildung 5.12 Energiefreisetzung beim Aufbau 4

## 5.4.2 Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Stahlblech im Sturzbereich zum Verschluss des Hinterlüftungsspalt

### a) Versuchsbeobachtungen

#### - Seitliche Flammenausbreitung:



Die nebenstehende Abbildung 5.13 zeigt die Flammenausbreitung nach 19 Minuten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Flammen seitlich über die Breite der Brandkammer hinaus ausgebreitet haben. Zudem haben sich die Flammen bis zum Rand der schmalen Wand ausgebreitet.

Ein positiver Brandwinkel von mehr als 15-20° lag vor.

Abb. 5.13 Flammenausbreitung nach 19 Minuten

#### - Zerstörungen an der Fassadenbekleidung und Unterkonstruktion (ggf. auch an der Wärmedämmung):

Die Aluminiumverbund-Kassetten lösten sich teilweise in die einzelnen Bestandteile des Verbundes auf. Der Kunststoffkern löste sich zwischen den Aluminiumschichten und fiel brennend herab. Des Weiteren wurden deutliche Deformationen der Kassetten beobachtet. Die Unterkonstruktion mittig über dem Brenner sowie mittig auf der schmalen Wand war geschmolzen bzw. so stark deformiert, dass die statische Funktion nicht mehr erfüllt werden konnte. Die Wärmedämmung war über dem Brenner und im oberen Randbereich des Probekörpers sowohl auf der breiten als auch auf der schmalen Wand verrußt. Zudem war die Wärmedämmung in einem Winkel von der oberen rechten Ecke der Brandkammer bis zur oberen Ecke der breiten Wand sowie von der oberen linken Ecke der Brandkammer bis zur oberen Ecke der schmalen Wand ausgeglüht und hatte an Festigkeit verloren.

#### - Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials:

Größere Teile der Aluminiumverbund-Kassetten fielen ab (Kunststoffkerne).

#### - Brennendes Abfallen/Abtropfen:

Teile der Aluminiumverbund-Kassetten fielen brennend ab (Kunststoffkern der Verbundelemente brannten am Boden weiter).

### b) Ergebnisse zur Flammenhöhe

Die folgende Abbildung 5.14 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der maximalen Flammenhöhen (Mittelwert aus beiden Versuchen, Auswertung an Hand der Videos):

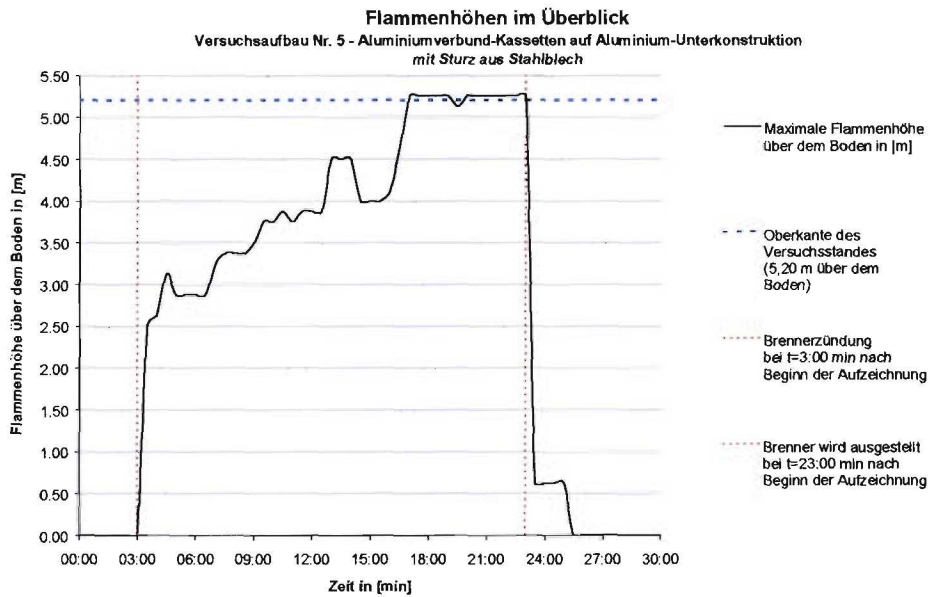


Abbildung 5.14 Maximalen Flammenhöhen beim Aufbau 5

**c) Ergebnisse zur Energiefreisetzung**

	1. Versuch	2. Versuch	Mittelwert
max. RHR <sub>av</sub> (t) in [kW]	564,500	715,700	640,100
THR <sub>600s</sub> in [MJ]	52,050	32,556	42,303
THR <sub>1140s</sub> in [MJ]	263,136	275,739	269,438
FIGRA in [W/s]	612,920	849,125	731,023

Erläuterungen zu der vorstehenden Tabelle:

- max. RHR<sub>av</sub>: Maximale mittlere Energiefreisetzungsrate während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- THR<sub>600s</sub>: Freigesetzte Energie während der ersten 10 Minuten der Beflammung
- THR<sub>1140s</sub>: Freigesetzte Energie während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- FIGRA: FIGRA-Index als Maximalwert des Quotienten aus RHR<sub>av</sub> / t während der ersten 19 Minuten der Beflammung berechnet
- t: Versuchszeit ab Start der Beflammung durch den Hauptbrenner

Die folgende Abbildung 5.15 zeigt den zeitlichen Verlauf von RHR, THR und FIGRA:

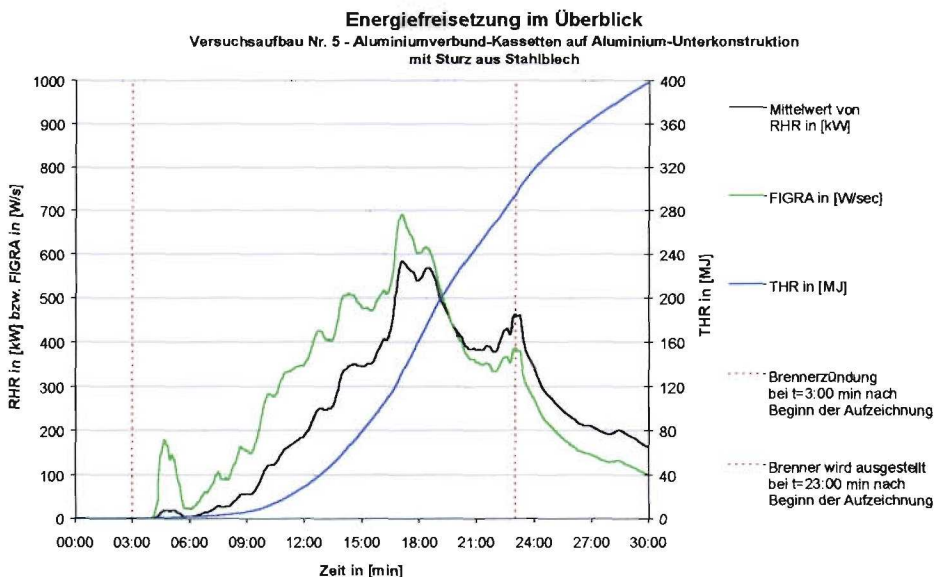


Abbildung 5.15 Energiefreisetzung beim Aufbau 5

## 5.5 HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion

### 5.5.1 HPL-Platten auf Aluminium- Stahlblech mit einfach gefalztem Stahlblech als Verschluss des Hinterlüftungsspalt im Sturzbereich

#### a) Versuchsbeobachtungen

##### - Seitliche Flammenausbreitung:



Die nebenstehende Abbildung 5.16 zeigt die Flammenausbreitung nach 19 Minuten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Flammen nur unwesentlich seitlich über die Breite der Brandkammer hinaus jedoch vermehrt auf die schmale Wand hin ausgebreitet haben.

Ein positiver Brandwinkel von mehr als 15-20° lag zu keiner Zeit vor.

Abb. 5.16 Flammenausbreitung nach 19 Minuten

##### - Zerstörungen an der Fassadenbekleidung und Unterkonstruktion (ggf. auch an der Wärmedämmung):

Die HPL-Platten in der Ecke auf der breiten Wand fielen brennend ab. Die Platten, die halb über der Brandkammer und in der Ecke auf der schmalen Wand angebracht waren, wurden im Bereich über dem Brenner bzw. bis zur ersten Fuge von der Ecke stark beschädigt. Die Unterkonstruktion mittig über dem Brenner sowie mittig auf der schmalen Wand war geschmolzen bzw. so stark deformiert, dass die statische Funktion nicht mehr erfüllt werden konnte. Die Wärmedämmung war über dem Brenner sowie im oberen Bereich der breiten Wand (ca. 1,00 m hoch) bis 1,00 m vom Rand verrußt. An der schmalen Wand war die Wärmedämmung bis zur ersten Fuge (50 cm Abstand von Ecke) verrußt. Zudem war die Wärmedämmung in diesem Bereich ausgeglüht und hatte an Festigkeit verloren.

##### - Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials:

Die HPL-Platten, die in der Ecke auf breiten Wand angebracht waren, fielen in zwei bis drei Teilen während des Versuchs ab.

##### - Brennendes Abfallen/Abtropfen:

Die HPL-Platten fielen brennend ab und brannten am Boden weiter.

#### b) Ergebnisse zur Flammenhöhe

Die folgende Abbildung 5.17 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der maximalen Flammenhöhen (Mittelwert aus beiden Versuchen, Auswertung an Hand der Videos):

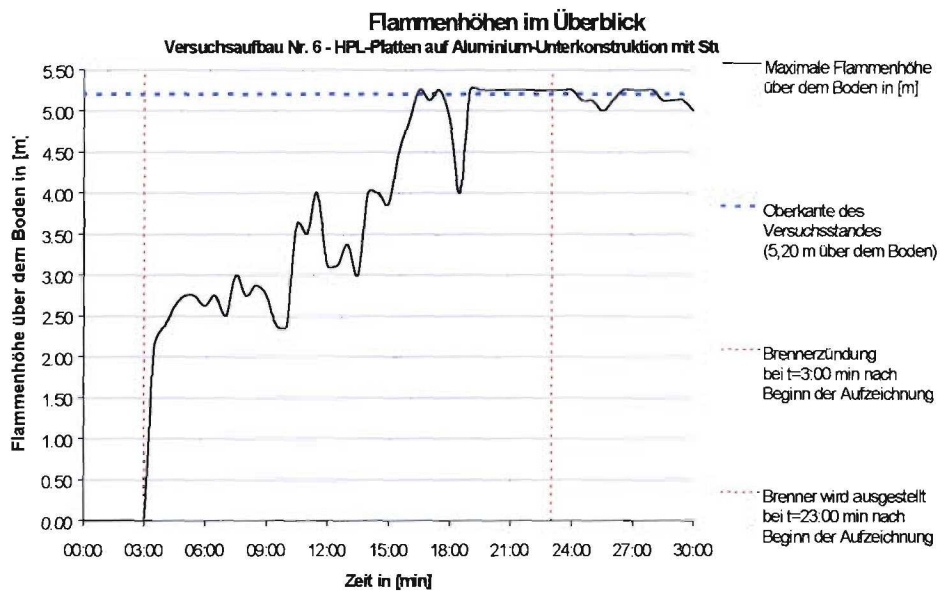


Abbildung 5.17 Maximalen Flammenhöhen beim Aufbau 6

c) Ergebnisse zur Energiefreisetzung

	1. Versuch	2. Versuch	Mittelwert
max. $RHR_{av}(t)$ in [kW]	355,102	538,589	446,846
$THR_{600s}$ in [MJ]	45,895	57,439	51,667
$THR_{1140s}$ in [MJ]	186,037	214,314	200,176
FIGRA in [W/s]	576,514	687,226	631,870

Erläuterungen zu der vorstehenden Tabelle:

- max.  $RHR_{av}$ : Maximale mittlere Energiefreisetzungsrate während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- $THR_{600s}$ : Freigesetzte Energie während der ersten 10 Minuten der Beflammung
- $THR_{1140s}$ : Freigesetzte Energie während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- FIGRA: FIGRA-Index als Maximalwert des Quotienten aus  $RHR_{av} / t$  während der ersten 19 Minuten der Beflammung berechnet
- t: Versuchszeit ab Start der Beflammung durch den Hauptbrenner

Die folgende Abbildung 5.18 zeigt den zeitlichen Verlauf von RHR, THR und FIGRA:

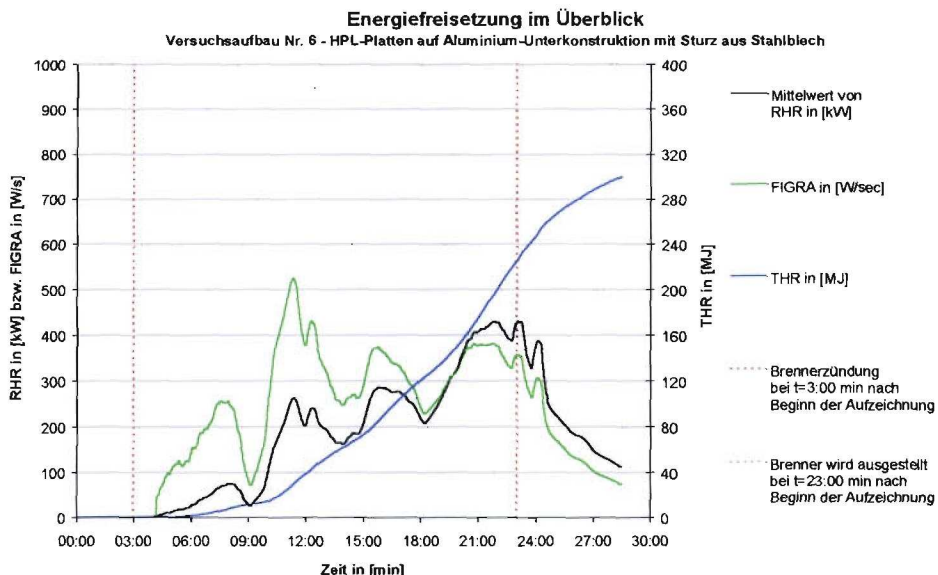


Abbildung 5.18 Energiefreisetzung beim Aufbau 6

## 5.5.2 HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit HPL-Platte als Sturzabdeckung

### a) Versuchsbeobachtungen

#### - Seitliche Flammenausbreitung:



Die nebenstehende Abbildung 5.19 zeigt die Flammenausbreitung nach 19 Minuten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Flammen nur unwesentlich seitlich über die Breite der Brandkammer hinaus jedoch vermehrt auf die schmale Wand hin ausgebreitet haben.

Ein positiver Brandwinkel von mehr als 15-20° lag zu keiner Zeit vor.

Abb. 5.19 Flammenausbreitung nach 19 Minuten

#### - Zerstörungen an der Fassadenbekleidung und Unterkonstruktion (ggf. auch an der Wärmedämmung):

Die HPL-Platten in der Ecke auf der breiten Wand fielen brennend ab. Die Platten, die halb über der Brandkammer und in der Ecke auf der schmalen Wand angebracht waren, wurden im Bereich über dem Brenner bzw. bis zur ersten Fuge von der Ecke stark beschädigt. Die Unterkonstruktion mittig über dem Brenner sowie mittig auf der schmalen Wand war geschmolzen bzw. so stark deformiert, dass die statische Funktion nicht mehr erfüllt werden konnte. Die Wärmedämmung war über dem Brenner sowie im oberen Bereich der breiten Wand (ca. 1,00 m hoch) bis 1,00 m vom Rand verrußt. Auf der schmalen Wand wurde die Wärmedämmung bis zur ersten Fuge (50 cm Abstand von Ecke) verrußt. Zudem war die Wärmedämmung in diesem Bereich ausgeglüht und hatte an Festigkeit verloren.

#### - Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials:

Die HPL-Platten, die in der Ecke auf beiden Wänden angebracht waren, fielen in zwei bis drei Teilen während des Versuchs ab. Lediglich die untere Platte auf der schmalen Wand fiel nicht ab, wurde jedoch durch herabfallendes Material von unten her entzündet.

#### - Brennendes Abfallen/Abtropfen:

Die HPL-Platten fielen brennend ab und brannten am Boden weiter.

### b) Ergebnisse zur Flammenhöhe

Die folgende Abbildung 5.20 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der maximalen Flammenhöhen (Mittelwert aus beiden Versuchen, Auswertung an Hand der Videos):



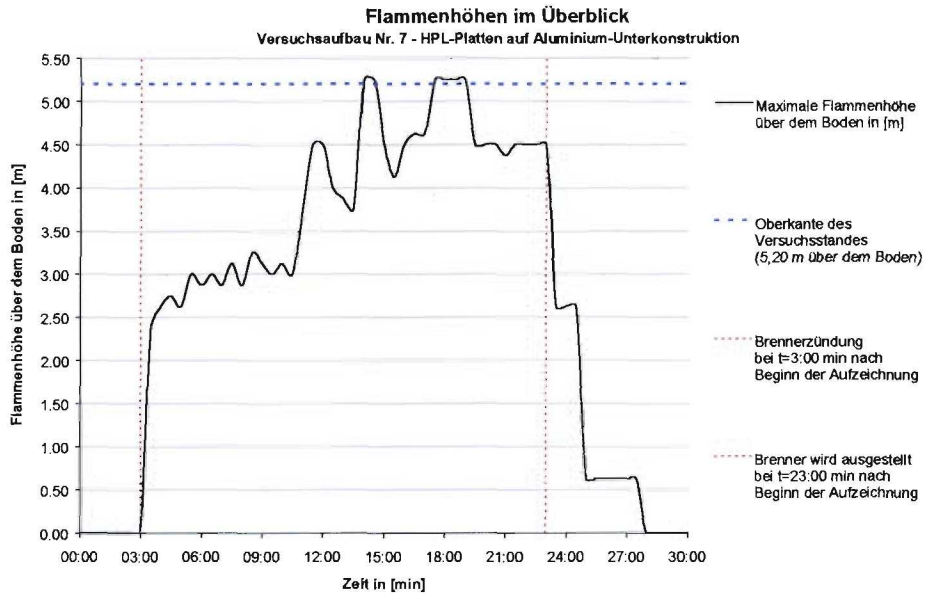


Abbildung 5.20 Maximalen Flammenhöhen beim Aufbau 7

c) Ergebnisse zur Energiefreisetzung

	1. Versuch	2. Versuch	Mittelwert
max. RHR <sub>av</sub> (t) in [kW]	588,834	436,600	512,717
THR <sub>600s</sub> in [MJ]	58,517	47,445	52,981
THR <sub>1140s</sub> in [MJ]	247,633	225,142	236,388
FIGRA in [W/s]	661,094	695,411	662,907

Erläuterungen zu der vorstehenden Tabelle:

- max. RHR<sub>av</sub>: Maximale mittlere Energiefreisetzungsrate während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- THR<sub>600s</sub>: Freigesetzte Energie während der ersten 10 Minuten der Beflammung
- THR<sub>1140s</sub>: Freigesetzte Energie während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- FIGRA: FIGRA-Index als Maximalwert des Quotienten aus RHR<sub>av</sub> / t während der ersten 19 Minuten der Beflammung berechnet
- t: Versuchszeit ab Start der Beflammung durch den Hauptbrenner

Die folgende Abbildung 5.21 zeigt den zeitlichen Verlauf von RHR, THR und FIGRA:

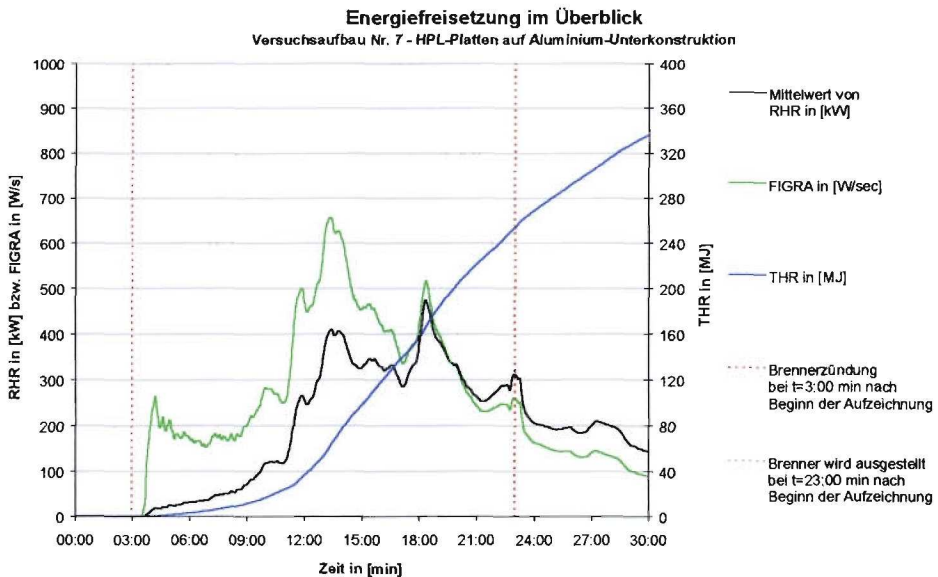


Abbildung 5.21 Energiefreisetzung beim Aufbau 7

## 5.6 Lärchenholz-Stülpchalung auf Holz-Unterkonstruktion mit Holz als Sturzabdeckung

### a) Versuchsbeobachtungen

#### - Seitliche Flammenausbreitung:



Die nebenstehende Abbildung 5.22 zeigt die Flammenausbreitung nach 19 Minuten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Flammen seitlich über die Breite der Brandkammer hinaus ausgebreitet haben. Ein positiver Brandwinkel von mehr als 15-20° wurde erreicht.

Abb. 5.22 Flammenausbreitung nach 19 Minuten

#### - Zerstörungen an der Fassadenbekleidung und Unterkonstruktion (ggf. auch an der Wärmedämmung):

Die Lärchenholz-Stülpchalung brannte jeweils bis zu den oberen Ecken an den Rändern des Prüfstandes ab. Zudem wurden durch abfallendes brennendes Material unmittelbar vor dem Brenner die Lärchenholzbretter auch von unten entzündet. Die vertikale Unterkonstruktion aus Holz ist in diesem Bereich völlig verkohlt. Ebenso ist die horizontale Unterkonstruktion an der Oberfläche stark verkohlt. Die vertikale Unterkonstruktion konnte die seitliche Brandausbreitung im Hinterlüftungsspalt nicht verhindern. Die Wärmedämmung war in diesem Bereich weitestgehend verrußt. Zudem war die Wärmedämmung in diesem Bereich ausgeglüht und hatte an Festigkeit verloren.

#### - Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials:

Während des Versuches wurde (brennendes) Abfallen von Teilen der Lärchenholz-Stülpchalung beobachtet.

#### - Brennendes Abfallen/Abtropfen:

Am Boden liegendes, brennend abgefallenes Holz von der Stülpchalung zündete von unten her das Versuchsmaterial erneut an.

### b) Ergebnisse zur Flammenhöhe

Die folgende Abbildung 5.23 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der maximalen Flammenhöhen (Mittelwert aus beiden Versuchen, Auswertung an Hand der Videos):

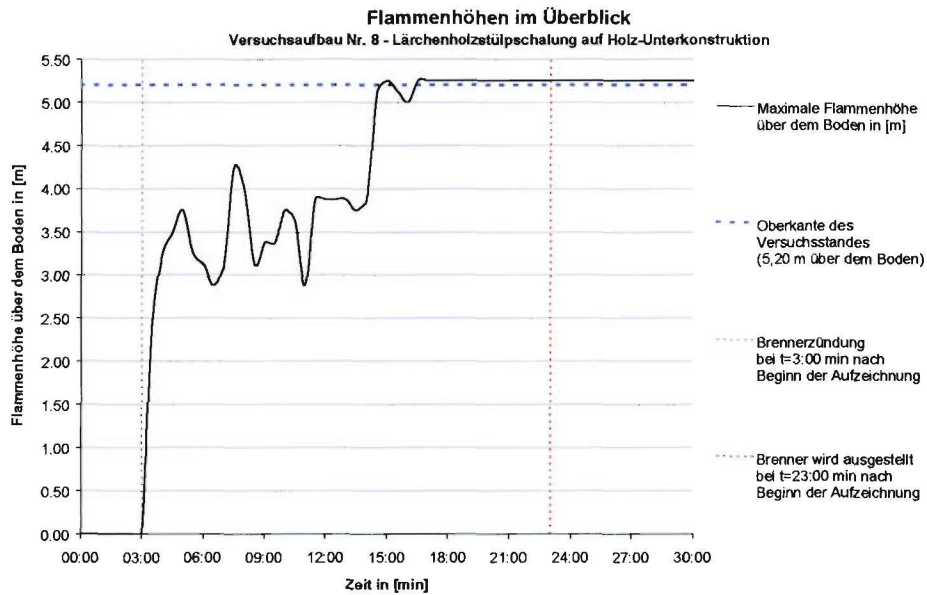


Abbildung 5.23 Maximalen Flammenhöhen beim Aufbau 8

c) Ergebnisse zur Energiefreisetzung

	1. Versuch	2. Versuch	Mittelwert
max. $RHR_{av}(t)$ in [kW]	1786,092	2171,091	1978,592
$THR_{600s}$ in [MJ]	147,575	154,853	151,214
$THR_{1140s}$ in [MJ]	828,995	926,915	876,455
FIGRA in [W/s]	3743,871	3329,157	3536,514

Erläuterungen zu der vorstehenden Tabelle:

- max.  $RHR_{av}$ : Maximale mittlere Energiefreisetzungsrate während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- $THR_{600s}$ : Freigesetzte Energie während der ersten 10 Minuten der Beflammung
- $THR_{1140s}$ : Freigesetzte Energie während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- FIGRA: FIGRA-Index als Maximalwert des Quotienten aus  $RHR_{av} / t$  während der ersten 19 Minuten der Beflammung berechnet
- t: Versuchszeit ab Start der Beflammung durch den Hauptbrenner

Die folgende Abbildung 5.24 zeigt den zeitlichen Verlauf von RHR, THR und FIGRA:

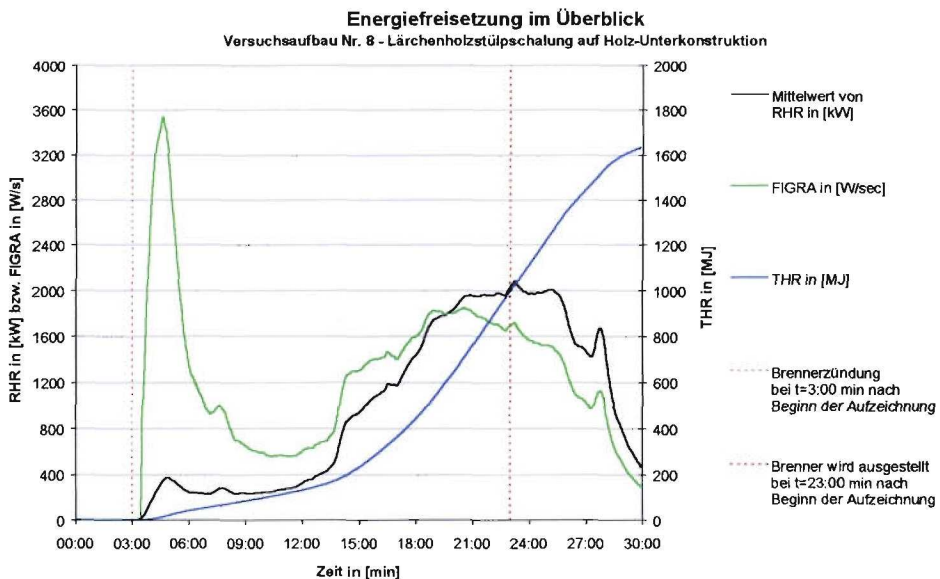


Abbildung 5.24 Energiefreisetzung beim Aufbau 8

## 5.7 Wärmedämmverbundsysteme

### 5.7.1 Wärmedämmverbundsystem, Oberputz mit organischen Bestandteilen, mit einem 200 mm hohen Streifen aus Mineralfaserdämmung über dem Sturz

#### a) Versuchsbeobachtungen

##### - Seitliche Flammenausbreitung:



Die nebenstehende Abbildung 5.25 zeigt die Flammenausbreitung nach 19 Minuten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Flammen nur unwesentlich seitlich über die Breite der Brandkammer hinaus ausgebreitet haben.

Ein positiver Brandwinkel von mehr als 15-20° lag zu keiner Zeit vor.

Abb. 5.25 Flammenausbreitung nach 19 Minuten

##### - Zerstörungen an der Fassadenbekleidung und an der Wärmedämmung:

An der Putzoberfläche kam es im Bereich der direkten Beanspruchung der Brennerflammen sowie in der Ecke bis zum oberen Rand des Versuchsstandes zur Verrußung. Die organischen Bestandteile des Putzes waren ausgebrannt. Die Wärmedämmung war in den oben genannten Bereichen sowie ca. 20-30 cm daneben und darüber geschmolzen und an der rückwärtigen Porenbetonwand heruntergelaufen. Oberhalb des Sturzes sammelte sich das geschmolzene Polystyrol.

##### - Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials:

Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials war nicht zu beobachten.

##### - Brennendes Abfallen/Abtropfen:

Brennendes Abfallen/Abtropfen war nicht zu beobachten.

#### b) Ergebnisse zur Flammenhöhe

Die folgende Abbildung 5.26 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der maximalen Flammenhöhen (Mittelwert aus beiden Versuchen, Auswertung an Hand der Videos):

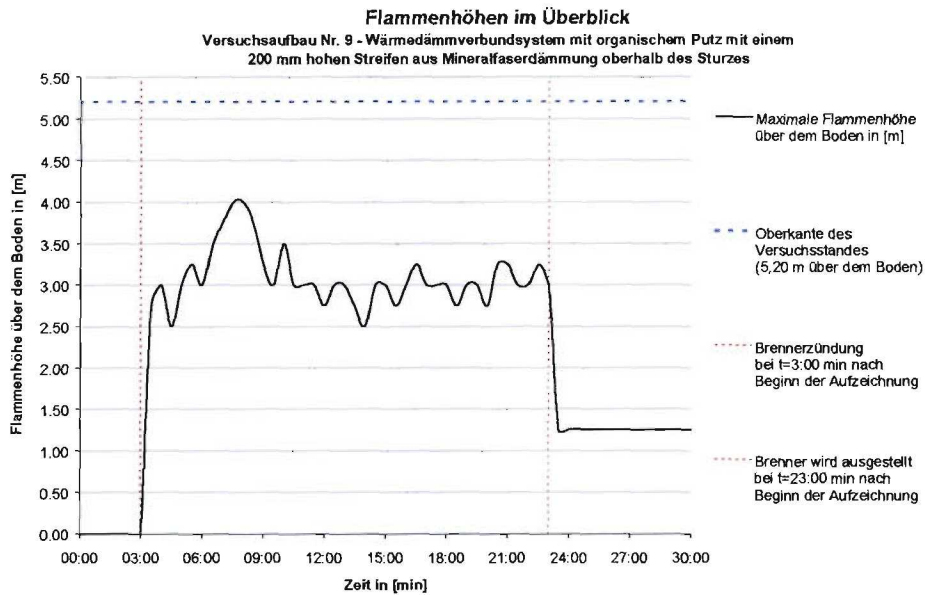


Abbildung 5.26 Maximalen Flammenhöhen beim Aufbau 9

**c) Ergebnisse zur Energiefreisetzung**

	1. Versuch	2. Versuch	Mittelwert
max. $RHR_{av}$ (t) in [kW]	182,961	Wurde nicht durchgeführt.	182,961
$THR_{600s}$ in [MJ]	44,461		44,461
$THR_{1140s}$ in [MJ]	62,279		62,279
FIGRA in [W/s]	645,717		645,717

Erläuterungen zu der vorstehenden Tabelle:

- max.  $RHR_{av}$ : Maximale mittlere Energiefreisetzungsrate während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- $THR_{600s}$ : Freigesetzte Energie während der ersten 10 Minuten der Beflammung
- $THR_{1140s}$ : Freigesetzte Energie während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- FIGRA: FIGRA-Index als Maximalwert des Quotienten aus  $RHR_{av} / t$  während der ersten 19 Minuten der Beflammung berechnet
- t: Versuchszeit ab Start der Beflammung durch den Hauptbrenner

Die folgende Abbildung 5.27 zeigt den zeitlichen Verlauf von RHR, THR und FIGRA:

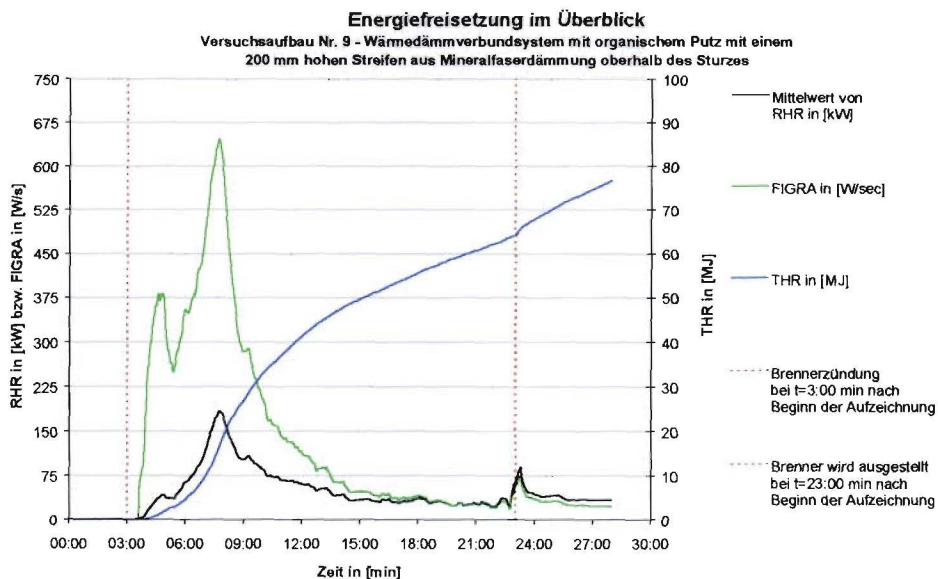


Abbildung 5.27 Energiefreisetzung beim Aufbau 9

## 5.7.2 Wärmedämmverbundsystem mit mineralischem Oberputz mit einem 200 mm hohen Streifen aus Mineralfaserdämmung über dem Sturz

### a) Versuchsbeobachtungen

#### - Seitliche Flammenausbreitung:



Die nebenstehende Abbildung 5.28 zeigt die Flammenausbreitung nach 19 Minuten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Flammen unwesentlich seitlich über die Breite der Brandkammer hinaus ausgebreitet haben.

Ein positiver Brandwinkel von mehr als 15-20° lag zu keiner Zeit vor.

Abb. 5.28 Flammenausbreitung nach 19 Minuten

#### - Zerstörungen an der Fassadenbekleidung und an der Wärmedämmung:

An der Putzoberfläche kam es im Bereich der direkten Beanspruchung der Brennerflammen zur Verrußung. Die Wärmedämmung war in dem oben genannten Bereich sowie ca. 20-30 cm daneben geschmolzen und an der rückwärtigen Porenbetonwand heruntergelaufen. Oberhalb des Sturzes sammelte sich das geschmolzene Polystyrol.

#### - Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials:

Abfallen von Teilen des Versuchsmaterials war nicht zu beobachten.

#### - Brennendes Abfallen/Abtropfen:

Brennendes Abfallen/Abtropfen war nicht zu beobachten.

### b) Ergebnisse zur Flammenhöhe

Die folgende Abbildung 5.29 gibt einen Überblick über den zeitlichen Verlauf der maximalen Flammenhöhen (Mittelwert aus beiden Versuchen, Auswertung an Hand der Videos):

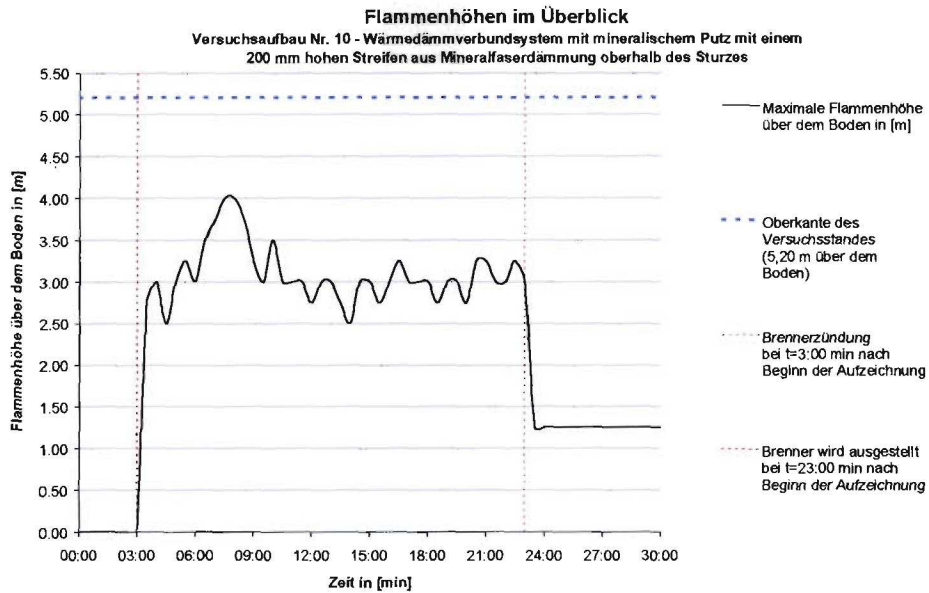


Abbildung 5.29 Maximalen Flammenhöhen beim Aufbau 10

**c) Ergebnisse zur Energiefreisetzung**

	1. Versuch	2. Versuch	Mittelwert
max. RHR <sub>av</sub> (t) in [kW]	33,350	Wurde nicht durchgeführt.	33,350
THR <sub>600s</sub> in [MJ]	13,130		13,130
THR <sub>1140s</sub> in [MJ]	26,308		26,308
FIGRA in [W/s]	171,207		171,207

Erläuterungen zu der vorstehenden Tabelle:

- max. RHR<sub>av</sub>: Maximale mittlere Energiefreisetzungsrate während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- THR<sub>600s</sub>: Freigesetzte Energie während der ersten 10 Minuten der Beflammung
- THR<sub>1140s</sub>: Freigesetzte Energie während der ersten 19 Minuten der Beflammung
- FIGRA: FIGRA-Index als Maximalwert des Quotienten aus RHR<sub>av</sub> / t während der ersten 19 Minuten der Beflammung berechnet
- t: Versuchszeit ab Start der Beflammung durch den Hauptbrenner

Die folgende Abbildung 5.30 zeigt den zeitlichen Verlauf von RHR, THR und FIGRA:

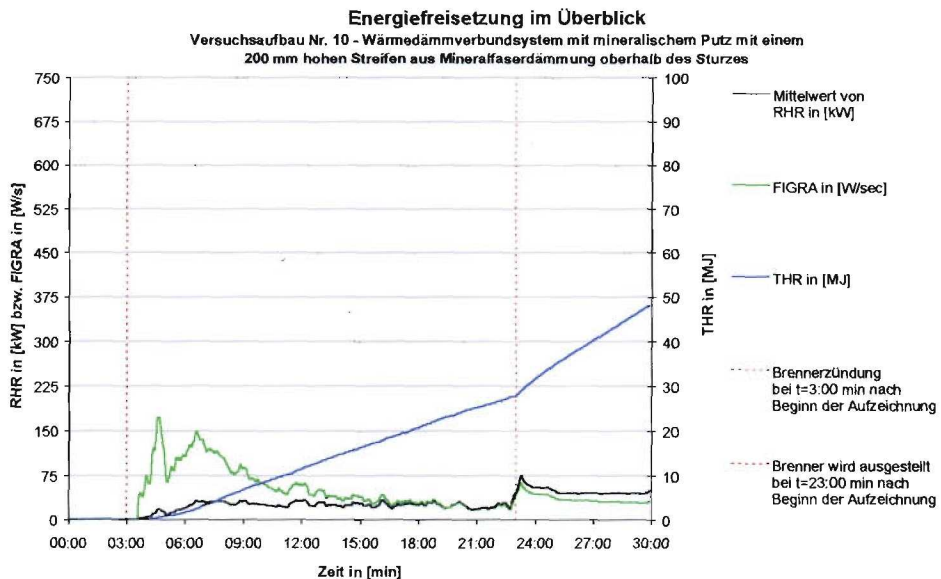


Abbildung 5.30 Energiefreisetzung beim Aufbau 10

## 6. Ergebnisse der Laborversuche

### 6.1 Brandschacht-Versuche nach DIN 4102-16

Alle Fassadenbekleidungsmaterialien, die bei den Versuchen im Maßstab 1:1 zur Anwendung kamen, wurden im Brandschacht nach DIN 4102-15 geprüft. Da sich bei den Großversuchen teilweise ein nicht unerheblicher Beitrag des Abbrandes im Hinterlüftungsspalt gezeigt hat, wurde neben den Versuchen mit normgerechten Probenaufbau (Aufbau A) nach DIN 4102 – 15 Tabelle 1 Bild 3 je Material ein Versuch mit unten offenem Hinterlüftungsspalt (Aufbau B) durchgeführt. Dabei wurde das Material analog DIN 4102 – 15 Tabelle 1 Bild 3, jedoch mit offenem Hinterlüftungsspalt im unteren Bereich von 20 cm geprüft.

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über die Versuchsergebnisse bei den Brandschacht-Versuchen nach DIN 4102-16 gegeben. Detaillierte Versuchsergebnisse werden im Band 8 der Versuchsergebnisse „SBI – Tests nach DIN EN 13823 und Brandschachtversuche nach DIN 4102 – 16“ dargestellt. Die Tabelle 6.1 beinhaltet alle relevanten Versuchsergebnisse sowie eine mögliche Klassifizierung.

	mittlere Restlänge in [cm]	minimale Restlänge in [cm]	mittlere Rauchgastemperatur in [°C]	Rückseite der Probe entflammt	Nachbrennen und Nachglimmen nur soweit, daß Restlänge eingehalten wird	Maximale Flammenhöhe in [cm]	brennendes Abtropfen oder Abfällen	mittlere Restlänge in [cm]	minimale Restlänge in [cm]	mittlere Rauchgastemperatur in [°C]	Nachbrennen und Nachglimmen nur soweit, daß Restlänge eingehalten wird
Faserzement - Aufbau A	53.5	48	117	Nein	Ja	40 - 50	Nein	53.5	48	117	Ja
Faserzement - Aufbau B	52	51	110	Nein	Ja	40 - 50	Nein	52	51	110	Ja
HPL-Platten - Aufbau A	22.5	19	155	Nein	Ja	60 - 70	Nein	22.5	19	155	Ja
HPL-Platten - Aufbau B	50	48	120	Nein	Ja	30 - 40	Nein	50	48	120	Ja
Aluminiumverbund-Platten - Aufbau A	47.75	43	149	Nein	Ja	60 - 70	Nein	47.75	43	149	Ja
Aluminiumverbund-Platten - Aufbau B	53.75	51	132	Nein	Ja	50 - 60	Nein	53.75	51	132	Ja
Lärchenholz - Aufbau A	Versuch wurde nach 1:27 Minute abgerochen (Temp. Rauchgas > 250 °C).										
Lärchenholz - Aufbau B	Auf Grund des Ergebnisses bei Aufbau A wurde auf den Versuch mit Aufbau B verzichtet.										
WDVS, organ. - Aufbau A	16.75	15	179	Nein	Ja	> 100	Nein	16.75	15	179	Ja
WDVS, organ. - Aufbau B	66	59	123	Nein	Ja	30 - 40	Nein	66	59	123	Ja
WDVS, minera. - Aufbau A	38.5	36	109	Nein	Ja	40 - 50	Nein	38.5	36	109	Ja
WDVS, minera. - Aufbau B	56.5	50	120	Nein	Ja	20 - 30	Nein	56.5	50	120	Ja
Anforderungen nach DIN 4102-1 an die	Baustoffklasse A						Baustoffklasse B1				
	≥ 35	≥ 20	≤ 125	Nein	Ja	≤ 100	Nein	≥ 15	> 0	≤ 200	Ja

Tabelle 6.1 Übersicht der Ergebnisse bei den Brandschacht-Versuchen nach DIN 4102-16

Anmerkung zu Tabelle 6.1: Die Baustoffklasse A2 kann nicht alleine auf Grund des Ergebnisses beim Brandschacht ermittelt werden. Sie kann lediglich ergänzend zu den übrigen notwendigen Prüfungen der Baustoffklasse A2 (Ofen, Heizwert, Rauchdichte) herangezogen werden. Maßgebend für jedes Material ist das Versuchsergebnis des Versuches mit dem Aufbau A, der dem Aufbau in der Tabelle 1 Bild 3 der DIN 4102-15 entspricht.



## 6.2 SBI-Tests nach DIN EN 13823

Alle Fassadenbekleidungsmaterialien, die bei den Versuchen im Maßstab 1:1 zur Anwendung kamen, wurden im SBI-Test nach DIN EN 13823 geprüft. Die Art und Abmessungen der Unterkonstruktion (Holz oder Aluminium), die Breite des Hinterlüftungsspalts und die Dicke der Mineralfaser-Wärmedämmung wurden beim SBI-Test genauso ausgeführt wie im Maßstab 1:1. Da sich bei den Großversuchen teilweise ein nicht unerheblicher Beitrag des Abbrandes im Hinterlüftungsspalt gezeigt hat, wurde neben den Versuchen mit normgerechten Probenaufbau (Aufbau A) nach DIN EN 13823 je Material ein Versuch mit unten offenem Hinterlüftungsspalt (Aufbau B) durchgeführt. Dabei wurde das Material analog DIN EN 13823, jedoch mit offenem Hinterlüftungsspalt im unteren Bereich von 30 cm geprüft.

Nachfolgend wird ein Überblick über die Versuchsergebnisse bei den SBI-Tests nach DIN EN 13823 gegeben. Detaillierte Versuchsergebnisse zu den einzelnen Versuchsaufbauten werden im Band 8 der Versuchsergebnisse „SBI – Tests nach DIN EN 13823 und Brandschachtversuche nach DIN 4102 – 16“ dargestellt.

Die Tabelle 6.2 beinhaltet alle relevanten Versuchsergebnisse.

SBI-Tests Rahmen des Forschungsvorhaben für Fassaden	Versuchsergebnisse							
	THR <sub>600</sub> in [MJ]	FIGRA-Index <sub>X0,2MJ</sub> in [W/s]	FIGRA-Index <sub>X0,4MJ</sub> in [W/s]	TSP <sub>600</sub> in [m <sup>3</sup> ]	SMOGRA-Index in [m <sup>2</sup> /s]	Seitliche Flammenausbreitung LFS	Brennendes Abfallen FDP (> 10 sec)	Brennendes Abfallen FDP (<= 10 sec)
<b>Aufbau A:</b> gemäß prEN 13823								
<b>Aufbau B:</b> mit offenem Hinterlüftungsspalt im unteren Bereich								
Faserzement auf Alu.-Unterkonstruktion- Aufbau A	2,249	22,619	22,619	43,878	1,635	Nein	Nein	Nein
Faserzement auf Alu.-Unterkonstruktion- Aufbau B	1,858	14,478	14,478	58,215	2,547	Nein	Nein	Nein
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion- Aufbau A	1,319	20,004	20,004	47,875	3,400	Nein	Nein	Nein
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion- Aufbau B	9,607	122,426	106,864	108,058	9,363	Nein	Nein	Nein
HPL-Platten auf Alu.-Unterkonstruktion- Aufbau A	9,751	109,947	104,719	54,827	4,581	Nein	Nein	Nein
HPL-Platten auf Alu.-Unterkonstruktion- Aufbau B	6,535	44,199	44,199	97,797	8,753	Nein	Nein	Nein
Aluminiumverbund-Kassetten auf Alu.-Unterkonstruktion - Aufbau A	0,513	31,360	31,360	51,439	5,527	Nein	Nein	Nein
Aluminiumverbund-Kassetten auf Alu.-Unterkonstruktion- Aufbau B	4,117	51,558	51,558	63,996	8,721	Nein	Nein	Nein
Lärchenholz auf Holz-Unterkonstruktion- Aufbau A	Versuch mußte 14:37 Minuten nach Zündung des Brenners abgebrochen werden.							
Lärchenholz auf Holz-Unterkonstruktion- Aufbau B	Auf Grund des Ergebnisses bei Aufbau A wurde auf den Versuch mit Aufbau B verzichtet.							
WDVS <sub>organ.</sub> - Aufbau A	5,339	78,958	78,958	96,864	12,003	Nein	Nein	Nein
WDVS <sub>orga.</sub> - Aufbau B	2,367	19,616	19,616	95,607	6,816	Nein	Nein	Nein
WDVS <sub>minera.</sub> - Aufbau A	0,959	0,000	0,000	33,112	0,000	Nein	Nein	Nein
WDVS <sub>minera.</sub> - Aufbau B	0,236	4,210	4,210	36,744	0,000	Nein	Nein	Nein

Tabelle 6.2 Übersicht der Ergebnisse bei den SBI-Tests nach DIN EN 13823

Eine mögliche Klassifizierung könnte nach der Tabelle 6.3, die die Anforderungen der DIN EN 13501-1 [N3] beinhaltet, erfolgen.

	Grenzwerte für					
	Euroklasse B	Euroklasse C	Euroklasse D	Rauch s1	Rauch s2	Rauch s3
THR <sub>600</sub> in [MJ]	≤ 7,5	≤ 15	> 15			
FIGRA-Index <sub>X0,2MJ</sub> in [W/s]	≤ 120	≤ 250	≤ 750			
FIGRA-Index <sub>X0,4MJ</sub> in [W/s]	≤ 120	≤ 250	≤ 750			
TSP <sub>600</sub> in [m <sup>3</sup> ]				≤ 50	≤ 200	> 200
SMOGRA-Index in [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]				≤ 30	≤ 180	> 180
LFS	Nein					

Tabelle 6.3 Grenzwerte der Euroklasse nach DIN EN 13501-1

## **7. Diskussion der Versuchsergebnisse im Maßstab 1:1**

Die in Kapitel 3 beschriebenen Außenwandbekleidungen wurden dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Brandversuchsbedingungen ausgesetzt. Um erste Informationen über die Wiederholbarkeit des Versuchsverfahrens zu erhalten, wurde jeder der Versuche einmal wiederholt (Ausnahme: Wärmedämmverbundsysteme wurden nur einmal geprüft).

Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden im Detail in einer vollständigen Dokumentation in den Bände 2 bis 7 der Versuchsergebnisse zusammengestellt.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der durchgeführten Versuche in Übersichten zusammengestellt und im Hinblick auf die Bewertung der Eignung des Prüfverfahrens diskutiert.

### **7.1 Visuelle Beobachtungen**

Als visuelle Beobachtung zählt in erster Linie die Flammenausbreitung – sowohl an der Oberfläche der Fassade als auch im Hinterlüftungsspalt. Außerdem wird das brennende Abtropfen und Abfallen brennender Teile als visuelle Beobachtung diskutiert. Zusätzlich wird eine Bewertung der Schadensbilder vorgenommen.

#### **7.1.1 Flammenausbreitung**

##### **7.1.1.1 Flammenausbreitung vor der Fassadenoberfläche**

Die aus dem Brenner ohne Beteiligung einer Außenwandbekleidung resultierende Flammenhöhe betrug ca. 3,25 m (ab OK Fertig-Fußboden FF). Bei den Versuchen mit Faserzementplatten und Wärmedämmverbundsystemen erreichen die Flammen an der Fassadenoberfläche ein maximale Höhe 4,00m bis 4,50m (ab OK FF).

Bei allen Versuchen, bei denen die Fassaden aus brennbaren (schwerentflammbaren oder normalentflammbaren) Baustoffen bestanden, erreichten die Flammen an der Fassadenoberfläche den oberen Rand des Versuchsstandes (sie erreichten also nach der Darstellung in Abbildung 2.1 (Kapitel 2) die Unterkante der Fensteröffnung des Geschosses, das zwei Geschosse über dem Brandraum liegt).

Die seitliche Ausbreitung vor der Fassadenoberfläche wird in den nachfolgenden Photos aufgezeigt.

Der zeitliche Verlauf der Brandausbreitung vor der Fassade wurde jeweils in Videoaufzeichnungen und Fotodokumentationen erfasst. Nachstehend sind kennzeichnende Bilder über die Brandausbreitung (jeweils eine Minute vor Abschalten des Brenners) wiedergegeben (Abbildungen 7.1 bis 7.10).



Abbildung 7.1: Versuchsaufbau Nr. 1  
Faserzement auf Aluminium-Unterkonstruktion



Abbildung 7.2: Versuchsaufbau Nr. 2  
Faserzement auf Holzunterkonstruktion



Abbildung 7.3: Versuchsaufbau Nr. 3  
Faserzement auf Holzunterkonstruktion mit  
Sturz aus Stahl



Abbildung 7.4: Versuchsaufbau Nr. 8  
Holzstülpeschalung auf Holzunterkonstruktion

In den Abbildungen 7.1 bis 7.3 ist deutlich zu erkennen, dass sich die Flammen bei dem A2-Fassadenmaterial (Faserzement) lediglich vertikal über dem Brandherd ausbreiteten.

Die Holz-Fassade (Baustoffklasse B2) dagegen brannte nicht nur in der gesamten Höhe, sondern breitete sich auch horizontal zu den Rändern des Prüfkörpers aus (siehe Abbildung 7.4).



Abbildung 7.5: Versuchsaufbau Nr. 4  
Aluminiumverbund-Kassetten mit Querriegel



Abbildung 7.6: Versuchsaufbau Nr. 5  
Aluminiumverbund-Kassetten mit Sturz aus Stahl



Abbildung 7.7: Versuchsaufbau Nr. 6  
HPL-Platte auf Aluminium-Unterkonstruktion mit  
Sturz aus Stahl



Abbildung 7.8: Versuchsaufbau Nr. 7  
HPL-Platte auf Aluminium-Unterkonstruktion

In den Abbildungen 7.5 und 7.6 ist zu erkennen, dass sich die Flammen an den Aluminium-Verbund-Fassaden nicht nur bis zur Oberkante der Versuchsanordnung, sondern auch seitlich – auch zur kurzen Wand hin - ausbreiteten.

Bei den Fassaden aus HPL-Platten (siehe Abbildungen 7.7 und 7.8) fand keine wesentliche seitliche Brandausbreitung statt. Wie die Abbildungen jedoch dokumentieren wurde die Oberkante der Versuchsanordnung bei allen Versuchen mit den HPL-Platten erreicht.



Abbildung 7.9: Versuchsaufbau Nr. 9  
WDVS mit organischem Putz



Abbildung 7.10: Versuchsaufbau Nr. 10  
WDVS mit mineralischem Putz

Bei den Fassaden mit Wärmedämmverbundsystemen (siehe Abbildungen 7.9 und 7.10) fand keine wesentliche seitliche Brandausbreitung statt. Wie die Abbildungen jedoch dokumentieren wurde auch die Oberkante der Versuchsanordnung bei beiden Versuchen nicht erreicht.

#### **Schlussfolgerung für das Versuchsverfahren:**

Die Beobachtung der Flammenausbreitung an der Oberfläche ist grundsätzlich möglich. Zwar bietet das fluktuierende Flammenbild einige Schwierigkeiten bei der Beurteilung. Unter zur Hilfenahme der Videoaufzeichnungen lässt sich die Brandausbreitung jedoch mit zufriedenstellender Genauigkeit beurteilen ( $\pm 0,25$  m). Diese Aussage bezieht sich jedoch nur auf die Flammenspitzen. Der Ort, an dem die Flammen aus dem Material austreten lässt sich in der Regel nicht identifizieren.

#### **7.1.1.2 Flammenausbreitung im Hinterlüftungsspalt**

In allen Versuchen mit vorgehängten, hinterlüfteten Fassaden waren im Hinterlüftungsspalt bis zur obersten Horizontalfuge (Fuge 1 in 3,60 m Höhe) Flammen zu sehen. In den detaillierten Versuchsergebnissen werden Austrittszeitpunkte aufgelistet, zu denen erstmals ein Austritt von Flammen am oberen Ende oder seitlich aus dem Hinterlüftungsspalt festgestellt wurde. Es stellte sich jedoch bei jedem der Versuche das Problem, dass es unmöglich ist, eine genaue Auskunft über die Flammenausbreitung im Hinterlüftungsspalt zu machen. Ähnlich verhielt es sich bei den Wärmedämmverbundsystemen, bei denen keinerlei Auskunft darüber getroffen werden konnte, ob bzw. wann die Wärmedämmung brannte.

#### **Schlussfolgerung für das Versuchsverfahren:**

Die Brandausbreitung im Hinterlüftungsspalt lässt sich nur in soweit feststellen, als die Flammen am oberen Ende der Versuchsanordnung bzw. an ihrem seitlichen Rändern austreten. Jedoch kann diese Aussage auch nur bedingt getroffen werden, da bei keinem der Versuche kontinuierlich das seitliche Austreten von Flammen bzw. das Austreten von Flammen am oberen Rand des Versuchsstandes registriert wurde und die Feststellung dieser Ereignisse allein auf die Videoauswertung zurückzuführen sind. Ferner lässt sich das Austreten von Flammen an offenen Fugen beobachten. Bei geschlossenen oder hinterlegten Fugen ist das nicht möglich.

## 7.1.2 Brennendes Abtropfen und Abfallen von brennenden Teilen

Das brennende Abfallen und Abtropfen spielt bei Fassaden eine wichtige Rolle. Die Fassade dient durch Einsatz von Rettungsgeräten der Feuerwehr für Gebäude bis 22 m Höhe nach der LBO NRW [N4] als 2. Rettungsweg. Die Flucht durch Fluchttreppenhäuser muss im Erdgeschoss nach der LBO NRW unmittelbar in Freie möglich sein, das heißt auf direktem Wege durch die Außenwand aus dem brennenden Gebäude bzw. Gebäudeteil. Hier ist brennendes Abfallen oder Abtropfen von darüber liegenden Fassadenteilen nicht hinnehmbar, da so der Rettungsweg außerhalb des Gebäudes gefährdet werden kann.

Darüber hinaus bringt brennendes Abtropfen bzw. abfallende brennende Teile auch die Gefahr mit sich, dass die Fassade durch die herabgefallenen brennenden Teile von unten her neu entzündet wird (Sekundärbrand).

Die in der 2. Spalte der Tabelle 7.1 aufgezeigte Klassifikationen werden in der DIN EN 13501-1 [N3] für den SBI-Test vorgeschlagen:

Klassifikation	Definition nach DIN EN 13501-1 für den SBI-Test nach DIN EN 13823
d0	kein brennendes Abtropfen / Abfallen innerhalb der ersten 600 sec.
d1	kein brennendes Abtropfen / Abfallen länger als 10 sec. innerhalb der ersten 600 sec.
d2	weder d0 noch d1

Tabelle 7.1: Überblick über das brennende Abfallen beim SBI-Test

Für den Fassadenversuch nach dem Normentwurf DIN 4102-20 wird vorgeschlagen, die Beobachtungen auf einen Zeitraum von 19 Minuten auszudehnen. Des Weiteren sollte auch das nichtbrennende Abfallen registriert werden.

Versuchsaufbau	Versuch Nummer	Abfallen / Abtropfen	brennendes Abfallen/Abtropfen
Faserzement auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1	346 sec	--
	2	456 sec	--
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1	--	--
	2	1169 sec	--
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	1	--	--
	2	--	--
Wärmedämmverbundsystem mit organischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	1	--	--
	2	--	--
Wärmedämmverbundsystem mit mineralischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	1	--	--
	2	--	--
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Brandsperre in 2 m Höhe	1	63 sec	63 sec
	2	388 sec	388 sec
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus Stahlblech	1	470 sec	470 sec
	2	636 sec	636 sec
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	1	489 sec	489 sec
	2	439 sec	439 sec
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1	491 sec	491 sec
	2	499 sec	499 sec
Lärchenholz-Stülpchalung auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1	1020 sec	1020 sec
	2	1032 sec	1032 sec

Tabelle 7.2: Überblick über das brennende Abfallen

An Hand der Tabelle 7.2 wird deutlich, dass es außer bei den Aufbauten mit einer A2-Fassadenbekleidung (Faserzement) und den Aufbauten mit den Wärmedämmverbundsystemen bei allen anderen Aufbauten zu brennendem Abfallen kam. Abtropfen wurde lediglich bei Aluminium, das geschmolzen abtropfte, beobachtet.

### **Schlussfolgerung für das Versuchsverfahren:**

Das brennende Abtropfen / Abfallen brennender Teile lässt sich gut beobachten und auch zeitlich einordnen. Gleiches gilt auch für das nichtbrennende Abtropfen / Abfallen von Teilen. Bei Vorgabe von Kriterien dürfte die Einführung einer Klassifizierung hierzu ohne Schwierigkeiten möglich sein.

### **7.1.3 Schadensbilder**

Neben den durch Verbrennen und Abfallen von Teilen auftretende Schäden traten bei den Brandversuchen eine Reihe von weiteren Beschädigungen an den untersuchten Fassaden auf:

Durch das statische Versagen der Unterkonstruktion, vor allem durch das Schmelzen der Aluminium-Unterkonstruktion, aber auch durch das Verkohlen der Holzunterkonstruktion kam es bei fast allen Versuchen zum Abfallen einzelner Teile der Außenwandbekleidung (siehe Kapitel 7.1.2). Bei den Versuchen mit einer Aluminium-Unterkonstruktion kam es durch die Erwärmung der Profile zur Verformung dieser Profile. Durch diese Bewegungen, die durch die Verformung entstehen, kam es zu Zwangsspannungen und an einigen Stellen zum Bruch der Platten. In der Abbildung 7.11 sind dieser Schäden deutlich zu erkennen. Das gleiche Schadensbild tritt in ähnlicher Form bei der Holzunterkonstruktion auf. Die Risse, die vor allem an den Befestigungspunkten auftraten, bildeten sich dabei nur gering aus (siehe Abbildung 7.12).



Abbildung 7.11: Geschmolzene und verformte Aluminium-Unterkonstruktion



Abbildung 7.12: Risse bei einer Holzunterkonstruktion durch Zwängungen

Ein weiteres typisches Schadensbild zeigt sich in der Abbildung 7.13. Die Wärmedämmung war in den Bereichen, in denen die Flammen im Hinterlüftungsspalt waren, ausgeglüht. Sie war in diesen Bereichen leichter einzudrücken und weicher als die Wärmedämmung in Bereichen, die nicht durch Flammen beansprucht wurden. In der Abbildung 7.13 ist ebenfalls zu erkennen, dass die Kunststoff-Tellerscheiben in den Bereichen, die durch Flammen beansprucht wurden, weggeschmolzen sind.



Abbildung 7.13: Schäden an der Mineralfaserdämmung



Abbildung 7.14: Auflösung des Aluverbundelementes

Die Aluminiumverbund-Kassetten lösten sich während der Brandbeanspruchung in einzelne Schichten auf. Die beiden Aluminium-Deckbleche bog sich im Zuge der Brandbeanspruchung auseinander, das Kernelement wurde freigelegt und durch die Flammen beansprucht. In der Abbildung 7.14 sind diese auf dem Boden liegenden Kernelemente ebenso zu erkennen wie die einzelnen noch am Prüfstand hängenden Aluminiumbleche. Bei den Wärmedämmverbundsystemen verrußte die Oberfläche ohne weitere Schäden. Die PS-Hartschaumdämmung schmolz und sammelte sich über dem Sturz aus Mineralfaserplatten.



Abbildung 7.15: Schäden an der PS-Hartschaumdämmung



Abbildung 7.16: Schäden an der Putzoberfläche

### **Schlussfolgerung für das Versuchsverfahren:**

Beschädigungen dieser Art lassen sich insbesondere an Hand der nach den Versuchen durchgeführten Dokumentationen insbesondere der Fotos gut erfassen. Die Beschädigungen sind jedoch in der Regel sicherheitstechnisch wenig relevant. Die Vorgabe von allgemeinen Kriterien im Hinblick auf die Bewertung von Fassaden dürfte jedoch vergleichsweise problematisch sein. Die Bewertung derartiger Beschädigungen sollte ggf. im Rahmen einer Risikoanalyse im Einzelfall erfolgen, die den Einfluss der Beschädigungen auf sicherheitstechnischen Aspekte untersucht.



## 7.2 Messergebnisse

### 7.2.1 Temperaturen

Die Temperaturen werden nach dem Normentwurf DIN 4102-20 an folgenden Stellen gemessen (siehe Abbildung 2.4, s. Kapitel 2):

- 100 mm vor der Fassadenoberfläche                      Messebene F
- 5 mm vor der Fassadenoberfläche                      Messebene O
- in der Mitte des Hinterlüftungsspalt                      Messebene T
- in der Mitte der Wärmedämmung                      Messebene D

Bei den ersten neun Versuchen wurden abweichend vom Text des Normentwurfes die Messebene T immer 100 mm und die Messebene D immer 120 mm hinter der Fassadenoberfläche angebracht. Das bedeutet, dass die Temperaturen im Hinterlüftungsspalt bei diesen Versuchen nicht gemessen worden sind, da die Messebene T in der Wärmedämmung lag. Die entsprechenden Versuchsnummern, bei denen dieser Fehler vorliegt, wurden in der nachfolgenden Tabelle 7.3 im Kapitel 7.2.1.1 farbig hinterlegt.

#### 7.2.1.1 Temperaturen im Hinterlüftungsspalt

Die in Abbildung 2.4 (s. Kapitel 2) aufgeführten Messergebnisse an den Messstellen T1 bis T5 gaben die Temperaturen mittig über dem Sturz der Brandkammer und mittig im Hinterlüftungsspalt an:

Versuchsaufbau	Versuch Nummer	50 cm über dem Sturz	100 cm über dem Sturz	200 cm über dem Sturz	300 cm über dem Sturz	420 cm über dem Sturz
		T1	T2	T3	T4	T5
Faserzement auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1					
	2					
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1					
	2					
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	1	748°C	207°C	259°C	692°C	456°C
	2	806°C	982°C	923°C	695°C	327°C
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Brandsperrleiste in 2 m Höhe	1	254°C	305°C	299°C	409°C	172°C
	2	894°C	771°C	463°C	756°C	789°C
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus Stahlblech	1	780°C	599°C	875°C	717°C	579°C
	2	773°C	846°C	900°C	928°C	729°C
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	1					
	2					
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1					
	2	1021°C	927°C	967°C	851°C	641°C
Lärchenholz-Stülpchalung auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1					
	2					

Blau hinterlegte Felder: die Messung erfolgte nicht im Hinterlüftungsspalt

Tabelle 7.3: Überblick über die maximalen Temperaturen im Hinterlüftungsspalt

Wie die Messergebnisse ausweisen sind die Temperaturmessergebnisse im Hinterlüftungsspalt nur schlecht wiederholbar. Sie sind im wesentlichen davon abhängig, ob im Bereich der jeweiligen Messstelle Brandgase in den Hinterlüftungsspalt eingetreten sind oder nicht. Das kann auf Grund eines lokalen Versagens der vorgehängten Fassade auftreten oder als Folge eines großflächigen Abbrandes oder als Folge eines Abfallens von Fassadenteilen.

**Schlussfolgerung für das Versuchsverfahren:**

Die Temperaturergebnisse im Hinterlüftungsspalt erscheinen als Beurteilungskriterium für das Brandverhalten von Fassaden wenig geeignet zu sein.

**7.2.1.2 Temperaturen vor der Fassadenoberfläche**

Die Temperaturen vor der Fassadenoberfläche werden an 31 Messstellen gemessen (siehe Abbildung 2.4, Kapitel 2), davon an 26 Messstellen, die 5 mm vor der Fassadenoberfläche liegen (Messebene O), und an 5 Messstellen, die 100mm vor der Fassadenoberfläche liegen (Messebene F).

**a) Temperaturen 5 mm vor der Fassadenoberfläche**

Die höchsten Temperaturen 5 mm vor der Fassadenoberfläche waren mittig über dem Sturz der Brandkammer sowie in der einspringenden Ecke des Versuchsstandes erreicht. Im Folgenden wird der Verlauf der Temperaturen 5 mm vor der Fassadenoberfläche im Bereich der Mittelachse der Brenneröffnung diskutiert. Die Temperaturen sind nachstehend für alle Versuchsaufbauten für die in Abbildung 2.4 (s. Kapitel 2) angegebenen Höhen als Funktion der Zeit dargestellt (die Nummern der Versuchsaufbauten sind der Tabelle 3.1 (s. Kapitel 3) zu entnehmen).

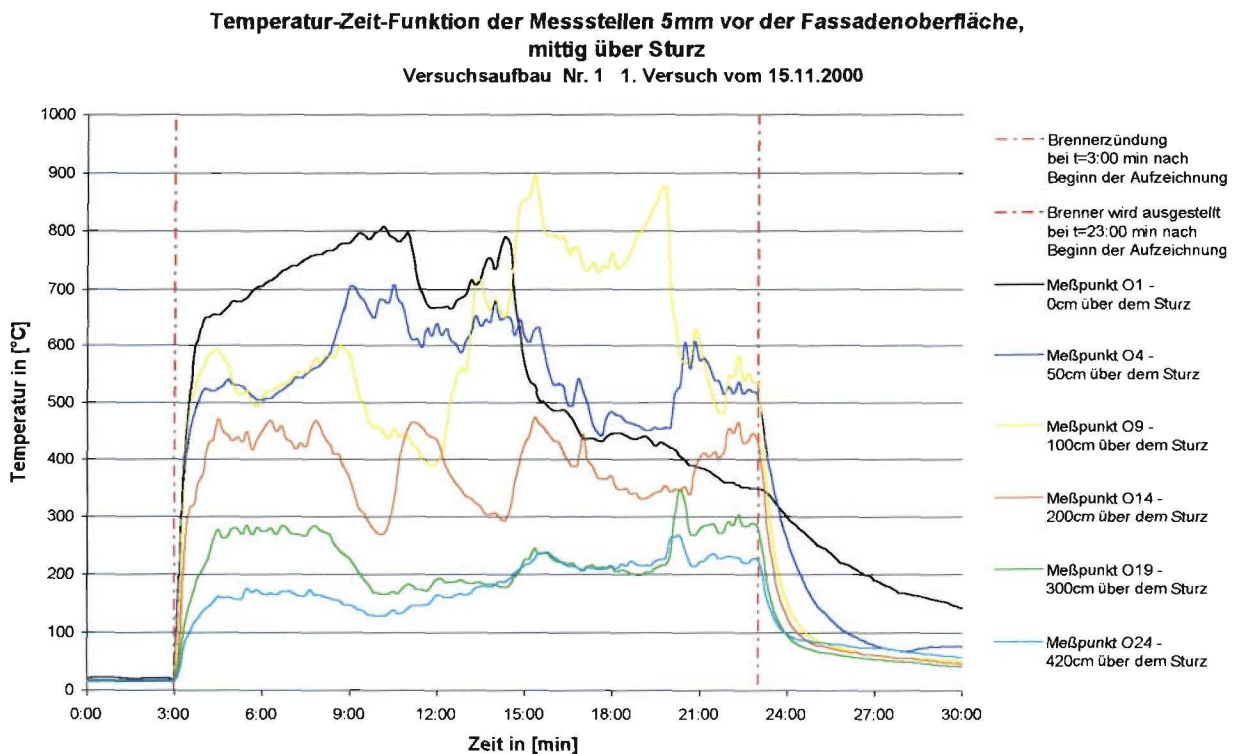


Abbildung 7.17: Zeitlicher Temperaturverlauf beim Versuchsaufbau Nummer 1

**Temperatur-Zeit-Funktion der Messstellen 5mm vor der Fassadenoberfläche,  
mittig über Sturz**

Versuchsaufbau Nr. 2 1. Versuch vom 11.01.2001

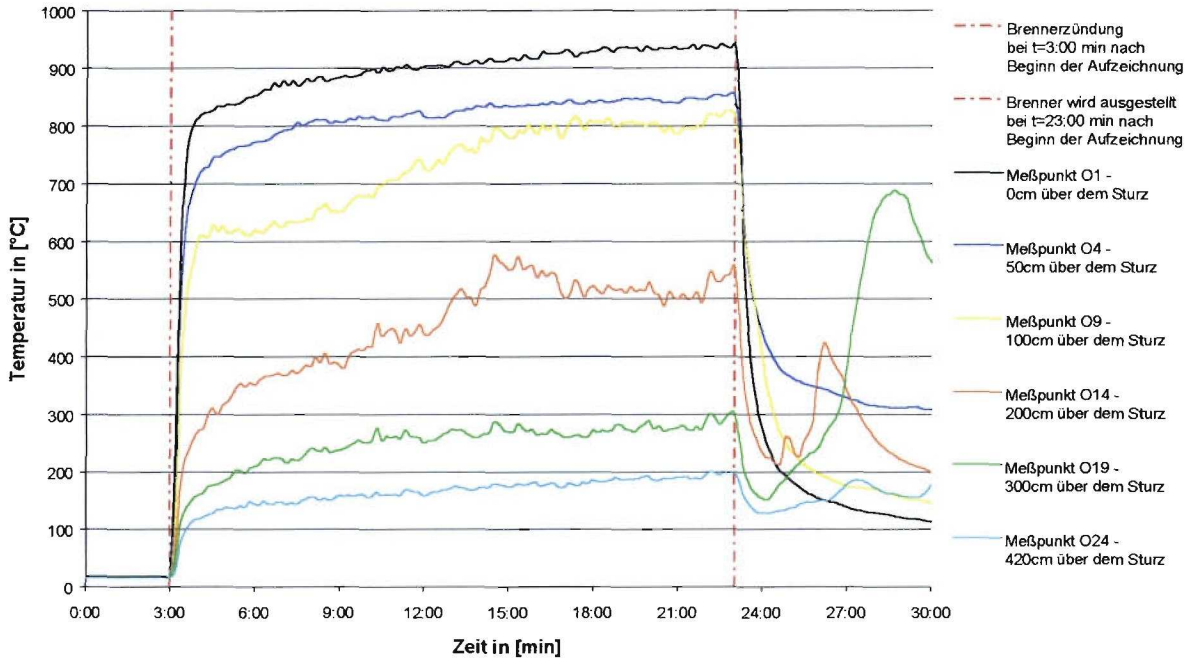


Abbildung 7.18: Zeitlicher Temperaturverlauf beim Versuchsaufbau Nummer 2

**Temperatur-Zeit-Funktion der Messstellen 5mm vor der Fassadenoberfläche,  
mittig über Sturz**

Versuchsaufbau Nr. 3 1. Versuch vom 26.06.2001

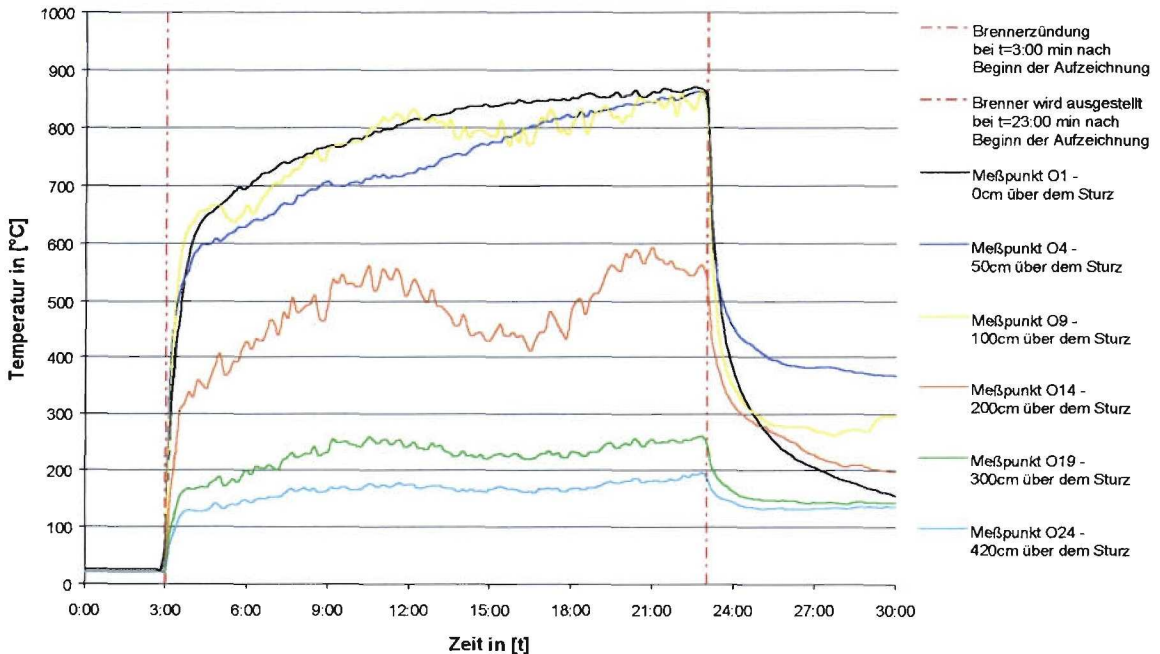


Abbildung 7.19: Zeitlicher Temperaturverlauf beim Versuchsaufbau Nummer 3

Bei den Versuchsaufbauten Nummer 2 und 3 (siehe Abbildungen 7.18 und 7.19) zeigte sich eine ähnliche Temperaturverteilung, die im Bereich des Sturzes von 800°C bis 900°C auf Werte um 100°C bis 200°C am oberen Ende der Versuchsanordnung abfielen. Beim Versuchsaufbau Nummer 1 (siehe Abbildung 7.17) mit gleichem Fassadenmaterial (Faserzement), jedoch anderer Unterkonstruktion (Aluminium), zeigte sich – offensichtlich wegen unterschiedlichen mechanischen Verhalten – ein deutlich anderes Bild. Die Temperaturen am oberen Ende der Versuchsanordnung lagen hier bei 250°C bis 350°C, obwohl die Maximaltemperaturen im Bereich des Sturzes um ca. 100°C niedriger lagen. Auch der relativ gleichmäßige zeitliche Verlauf war bei Versuchsaufbau Nummer 1 nicht vorhanden.

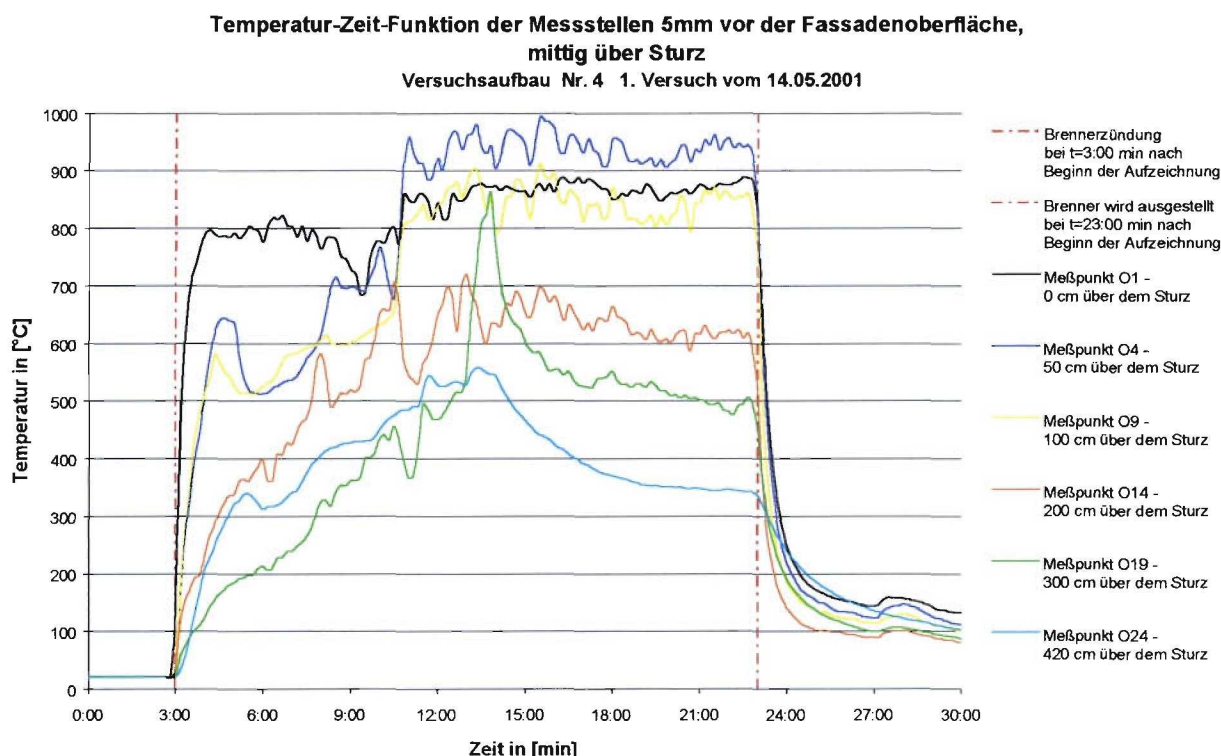


Abbildung 7.20: Zeitlicher Temperaturverlauf beim Versuchsaufbau Nummer 4

Bei den Versuchsaufbauten Nummer 4 und 5 (siehe Abbildungen 7.20 und 7.21) mit Aluminiumverbund-Kassetten stiegen die Temperaturen am oberen Ende des Versuchsstandes erst nach ca. 10 Minuten Beanspruchung auf das Niveau der Temperaturen im Sturzbereich (700°C bis 900°C). Beim Versuchsaufbau Nummer 5 war das besonders ausgeprägt (ähnliches zeigt sich im Folgenden bei der Energiefreisetzung). Bei Versuchsaufbau Nummer 4 trat der Temperaturanstieg im oberen Bereich etwas früher auf, erreichte jedoch nur kurzzeitig Spitzenwerte von 550°C bzw. 850°C.

**Temperatur-Zeit-Funktion der Messstellen 5mm vor der Fassadenoberfläche, mittig über Sturz**

Versuchsaufbau Nr. 5 2. Versuch vom 12.06.2001

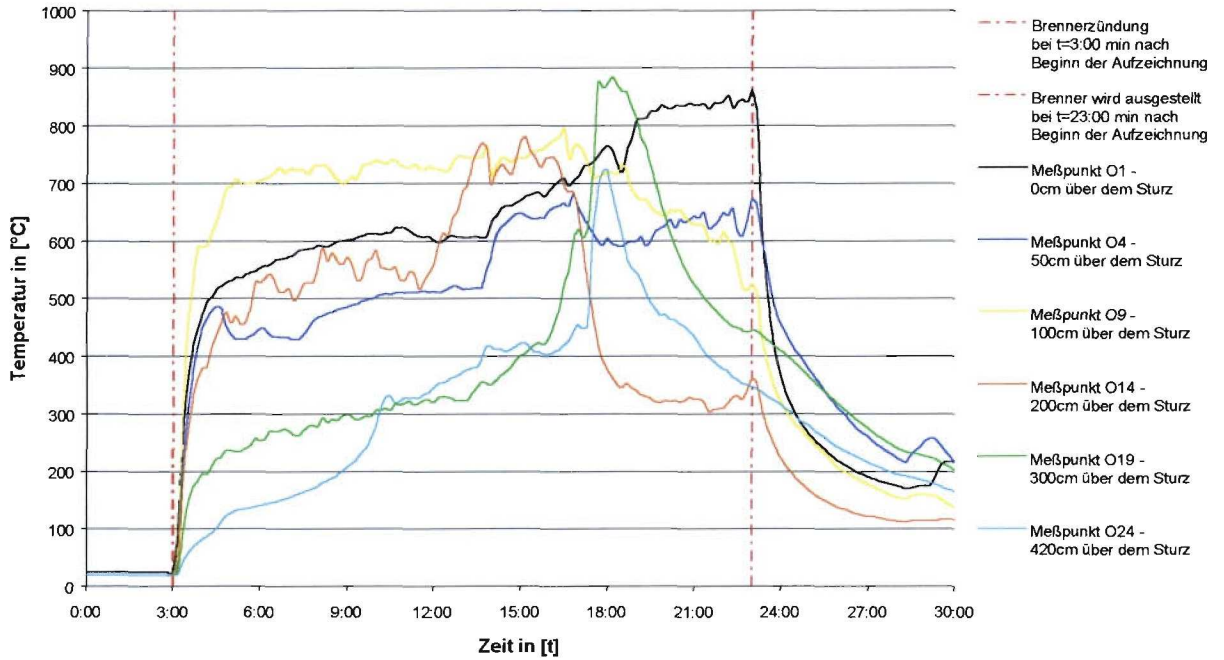


Abbildung 7.21: Zeitlicher Temperaturverlauf beim Versuchsaufbau Nummer 5

**Temperatur-Zeit-Funktion der Messstellen 5mm vor der Fassadenoberfläche, mittig über Sturz**

Versuchsaufbau Nr. 6 2. Versuch vom 07.03.2001

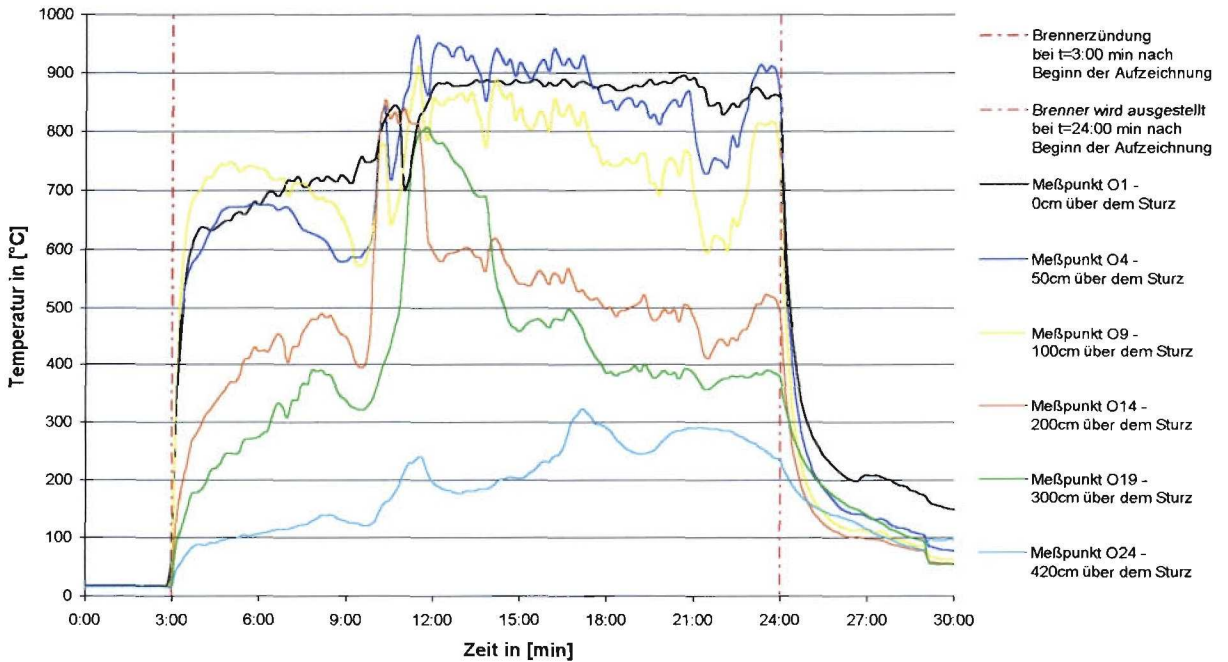


Abbildung 7.22: Zeitlicher Temperaturverlauf beim Versuchsaufbau Nummer 6

**Temperatur-Zeit-Funktion der Messstellen 5mm vor der Fassadenoberfläche, mittig über Sturz**

Versuchsaufbau Nr. 7 2. Versuch vom 12.07.2001

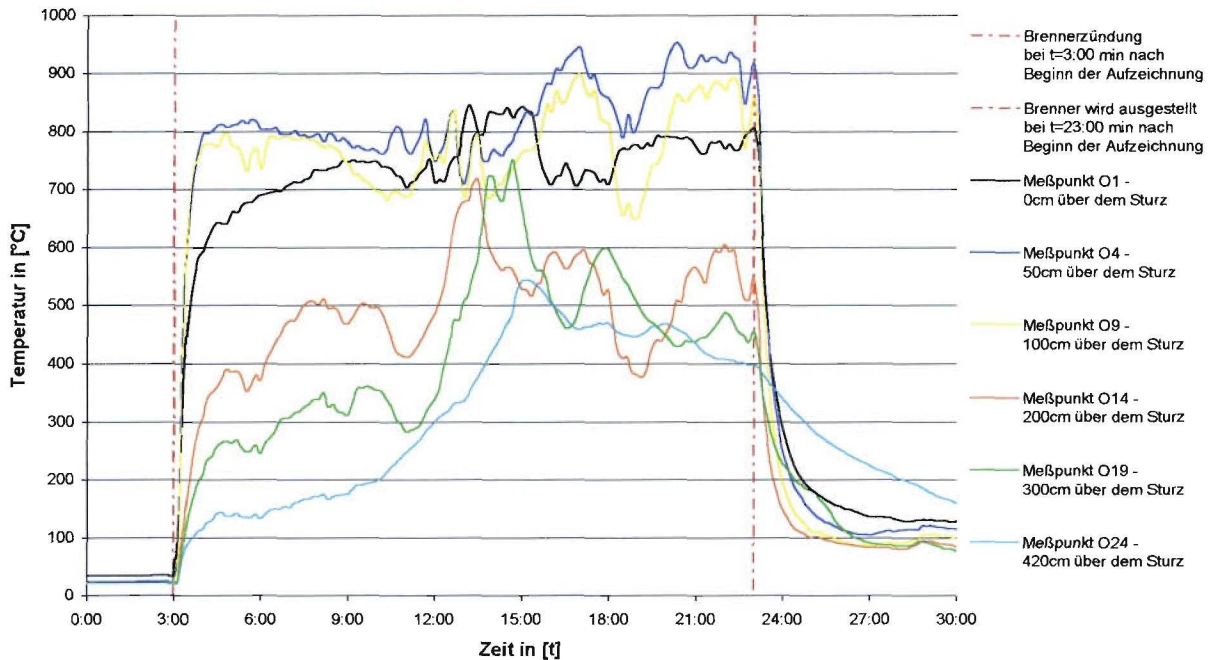


Abbildung 7.23: Zeitlicher Temperaturverlauf beim Versuchsaufbau Nummer 7

Eine ähnliche Beobachtung wie bei den Aluminiumverbund-Kassetten wurde bei den HPL-Platten gemacht (Versuchsaufbauten Nummer 6 und 7). Zwar lagen die Temperaturen im oberen Bereich während der überwiegenden Versuchsdauer deutlich unterhalb der Maximalwerte im Sturzbereich, jedoch gingen auch hier die Temperaturen im oberen Bereich kurzzeitig in den Bereich der Temperaturen am oberen Rand der Versuchsanordnung (siehe Abbildungen 7.22 und 7.23).

Bei dem Versuchsaufbau Nummer 8 (Holz) ergab sich in der ersten Versuchshälfte ein deutlich unterschiedliches Bild als in der zweiten Versuchshälfte. In der ersten Versuchshälfte stiegen die Temperaturen am oberen Rand der Versuchsanordnung kurzzeitig in den Bereich der Sturztemperaturen und fielen dann auf Werte von 300 °C zurück. Nach ca. 10 Minuten Beanspruchung stiegen die Temperaturen am oberen Ende der Versuchsanordnung wieder deutlich an und blieben bis zum Ende des Versuchs im Bereich der Sturztemperaturen (siehe Abbildung 7.24). Dieses Bild steht im Einklang mit der bei diesem Versuchsaufbau beobachteten Brandentwicklung.

**Temperatur-Zeit-Funktion der Messstellen 5mm vor der Fassadenoberfläche, mittig über Sturz**

Versuchsaufbau Nr. 8 1. Versuch vom 18.12.2000

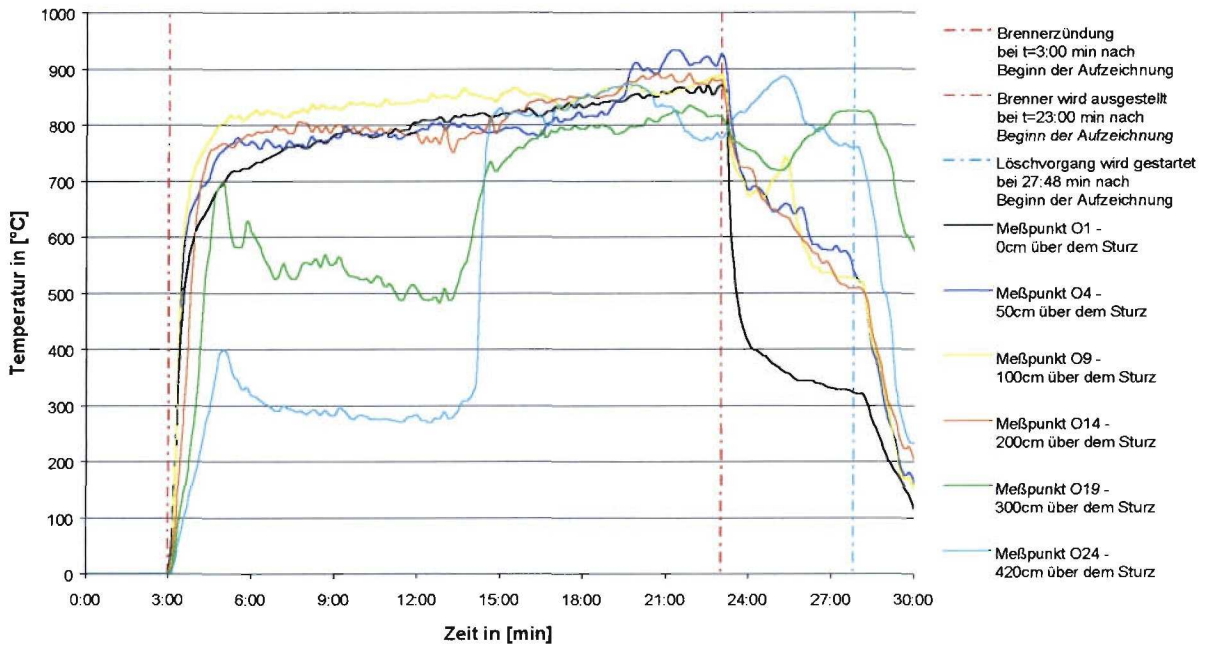


Abbildung 7.24: Zeitlicher Temperaturverlauf beim Versuchsaufbau Nummer 8

**Temperatur-Zeit-Funktion der Messstellen 5mm vor der Fassadenoberfläche, mittig über Sturz**

Versuchsaufbau WDVS 1. Versuch vom 17.08.2001

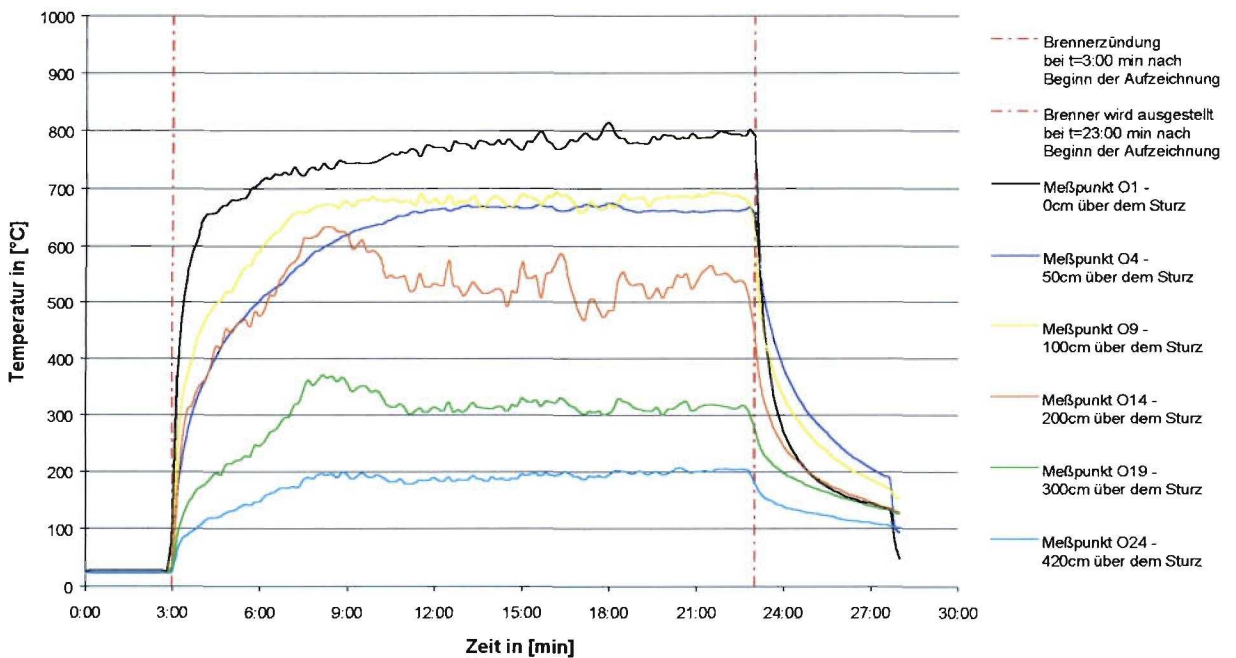


Abbildung 7.25: Zeitlicher Temperaturverlauf beim Versuchsaufbau Nummer 9

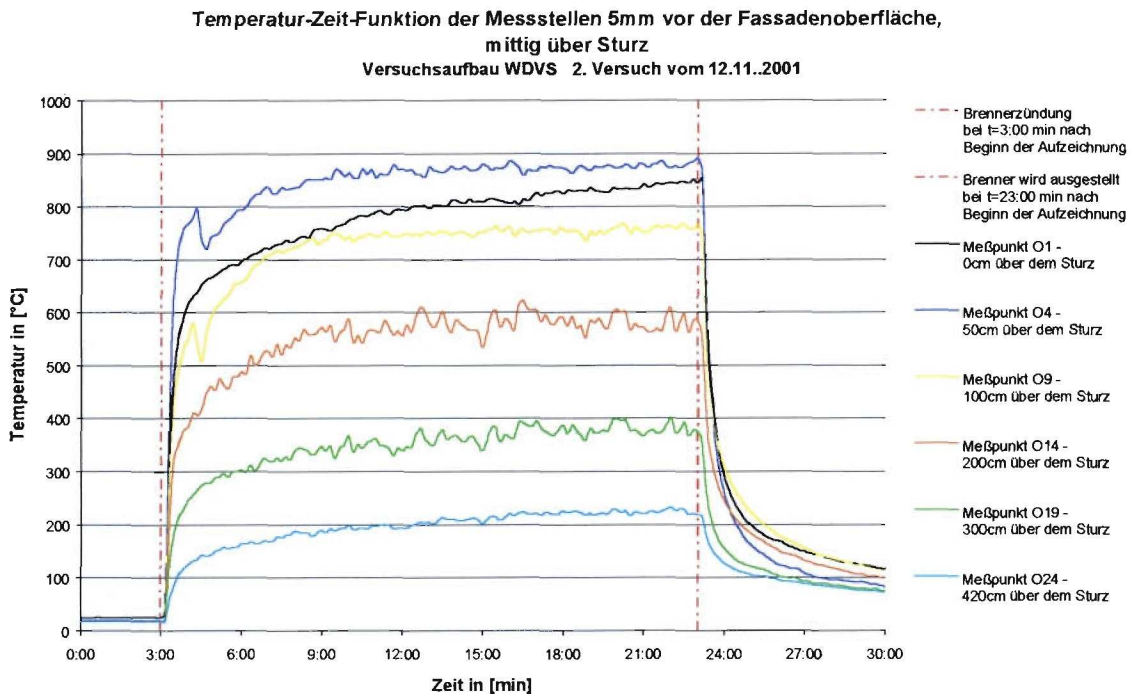


Abbildung 7.26: Zeitlicher Temperaturverlauf beim Versuchsaufbau Nummer 10

Bei den Versuchsaufbauten mit den Wärmedämmverbundsysteme (siehe Abbildungen 7.25 bis 7.26) werden unmittelbar über dem Sturz maximale Temperaturen von bis zu 800 - 900 °C erreicht. Nach oben hin nehmen die Temperaturen bei beiden Systemen ab.

### Schlussfolgerung für das Versuchsverfahren:

Die vorstehenden erläuternden Versuchsergebnisse der Temperaturmessstellen 5 mm vor der Fassade waren nicht nur durch den Abbrand der untersuchten Fassadenaufbauten beeinflusst, sondern insbesondere auch durch Zerstörungen anderer Art (Abfallen von ganzen Fassadenplatten bzw. Teilen davon), wobei die Lage der Messstellen in Relation zur Oberfläche beeinträchtigt wurde oder die Anströmung durch heiße Brandgase. Eine sinnvolle Charakterisierung des Brandverlaufs durch die Messergebnisse scheint daher nicht möglich zu sein.

### b) Temperaturen 100 mm vor der Fassadenoberfläche

Die Temperaturen 100 mm vor der Fassadenoberfläche wurden an fünf Messstellen mittig über dem Sturz gemessen (F1 bis F5 nach Abbildung 2.4, s. Kapitel 2).

Das Bild der Temperaturmessergebnisse entspricht im wesentlichen dem Messergebnissen von 5 mm vor der Fassade. Die Kurven verlaufen im Allgemeinen etwas glatter als die Kurven der Temperaturmessergebnisse 5 mm vor der Fassade. Offensichtlich bilden sich lokale Brandereignisse hierbei nicht so intensiv ab wie bei den Messergebnissen 5 mm vor der Fassade. Gleichzeitig ist jedoch festzustellen, dass die Unterschiede im Temperaturverlauf über die Höhe weniger ausgeprägt sind und daher nicht im gleichen Maße eine Differenzierung der unterschiedlichen Fassadenaufbauten erlauben.



### **Schlussfolgerung für das Versuchsverfahren:**

Die Kurven der Temperaturverläufe sind zeitlich gesehen großen Schwankungen unterworfen. Die Abnahme der Temperaturen über die Höhe der Versuchsanordnung wäre zwar grundsätzlich geeignet das Brandverhalten der jeweiligen Fassadenbekleidung zu kennzeichnen. Die festgestellten Unterschiede zwischen den verschiedenen Fassadenaufbauten lassen jedoch eine sinnvolle Differenzierung fraglich erscheinen.

### **7.2.1.3 Temperaturen in der Wärmedämmung**

#### **a) bei vorgehängten, hinterlüfteten Fassaden**

In dem durchgeführten Versuchsprogramm wurden grundsätzlich nichtbrennbare Mineralfaserdämmstoffe eingesetzt. Die Temperaturen in der Wärmedämmung wurden an zehn Messstellen gemessen. Fünf dieser Messstellen (D2, D4, D6, D8 und D10) liegen 40 cm von der Ecke entfernt im Bereich der langen Wand. Die anderen fünf Messstellen (D1, D3, D5, D7 und D9) liegen 130 cm von der Ecke entfernt im Bereich der langen Wand (siehe Abbildung 2.4, s. Kapitel 2). In der Wärmedämmung wurden bei einigen Versuchen maximale Temperaturen von bis zu 1000 °C gemessen. Diese ließen sich nicht bestimmten Fassadenmaterialien oder Unterkonstruktionen zuordnen.

#### **b) bei Wärmedämmverbundsystemen**

In der Wärmedämmung wurden nach ca. 5 Minuten Versuchsdauer bis zu einer Höhe von 2,00 m mittig über dem Sturz Temperaturen von 300 °C gemessen. Danach stagnierten diese bis zum Ende des Versuches um diesen Wert von 300 °C. Im oberen Bereich werden in der Wärmedämmung Temperaturen von über 200 °C erreicht.

### **Schlussfolgerung für das Versuchsverfahren:**

Die Temperaturmessergebnisse in der Wärmedämmung gaben keine Auskunft über die Brandentwicklung und sind nicht als Kriterium für die Beurteilung von Außenwandbekleidungen geeignet.

## 7.2.2 Die Energiefreisetzung

### 7.2.2.1 Energiefreisetzungsrates RHR

Für jeden Versuch wurde die Energiefreisetzungsrates RHR als Funktion der Zeit bestimmt. Um die hierbei von den durch zeitliche Streuungen bedingten Spitzenwerten unabhängig zu sein, wurden die RHR-Verläufe jeweils durch Bildung von Mittelwerten über 30 Sekunden geglättet. Um die Ergebnisse der Versuche miteinander zu vergleichen, zeigt die nachfolgende Abbildung 7.27 die maximalen Werte für die Energiefreisetzungsrates RHR in den ersten 19 Minuten des Versuches.

In dem Balkendiagramm sind jeweils nebeneinander die Ergebnisse der beiden am gleichen Aufbau durchgeführten Versuche dargestellt, um einen ersten Eindruck über die Wiederholbarkeit der Messergebnisse zu vermitteln.

Energiefreisetzungsrates RHR(30sec)-Maxima während ersten 1140 Sek.  
Zusammenstellung aller Versuchsergebnisse

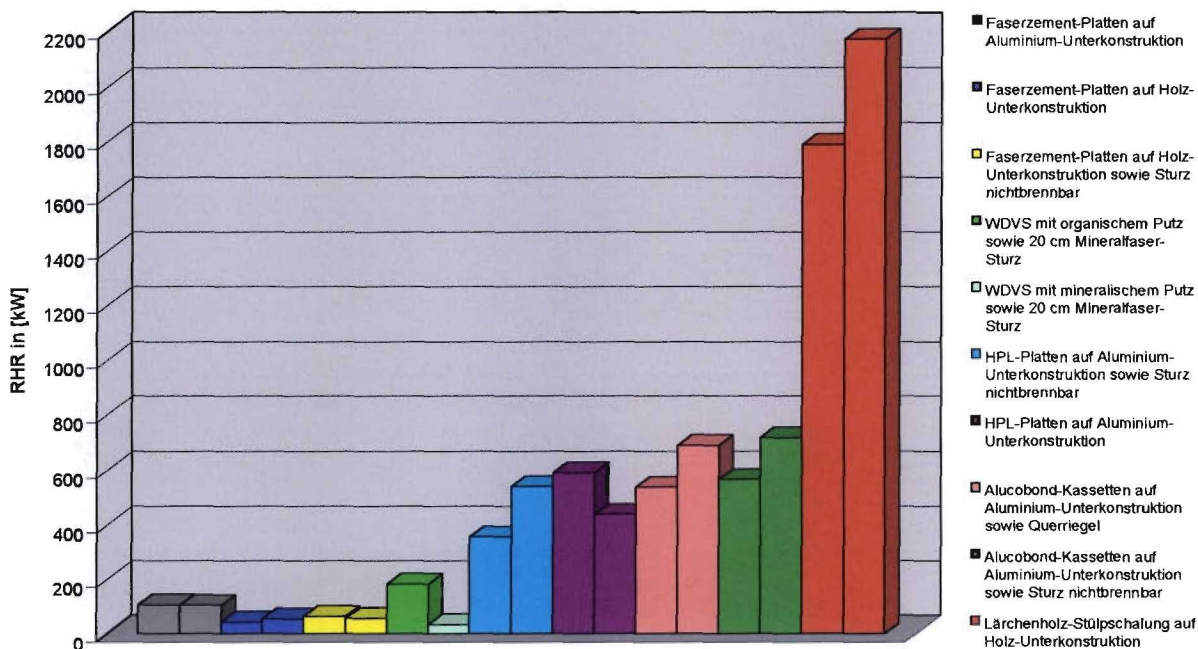


Abbildung 7.27: Maximalwerte der Energiefreisetzungsrates RHR für alle Versuchsaufbauten

Wie die Abbildung 7.27 ausweist, ergibt sich eine deutliche Differenzierung zwischen den geprüften Außenwandbekleidungen.

Die unter Verwendung nichtbrennbarer Faserzementplatten errichteten Außenwandbekleidungen hatten eine maximale Energiefreisetzungsrate zwischen 42 kW und 106 kW. Nach dem Versuchsaufbau Nummer 1 (Nummerierung der Versuchsaufbauten analog der Tabelle 3.1) mit nichtbrennbarer Unterkonstruktion wird durch den Aufbau Nummer 2 der Einfluss einer Holzunterkonstruktion und durch den Aufbau Nummer 3 der Einfluss eines nichtbrennbaren Sturzes aus Stahl in Verbindung mit einer Holzunterkonstruktion untersucht. Als für die Energiefreisetzung kennzeichnende Werte sind in Abbildung 7.28 die Energiefreisetzungsrate RHR der drei Versuchsaufbauten als Mittelwert aus zwei Versuchen über die Zeit aufgetragen.

Die Abbildung 7.28 weist für die Versuche mit Holzunterkonstruktion niedrigere Kurvenverläufe als für den Versuch mit nichtbrennbarer Unterkonstruktion aus. Ein Vergleich der insgesamt bei diesen Versuchen festgestellten Werte mit der Brennerleistung von 364 kW und der dabei festgestellten Messtoleranz zeigt jedoch auf, dass es sich hierbei nicht um signifikante Relationen handelt. Die festgestellten Unterschiede zwischen den drei Versuchen liegen innerhalb der Toleranz der Messergebnisse, die bei den Vorversuchen festgestellt worden ist und sich sicher auch bei den Versuchen an Fassaden fortsetzt.

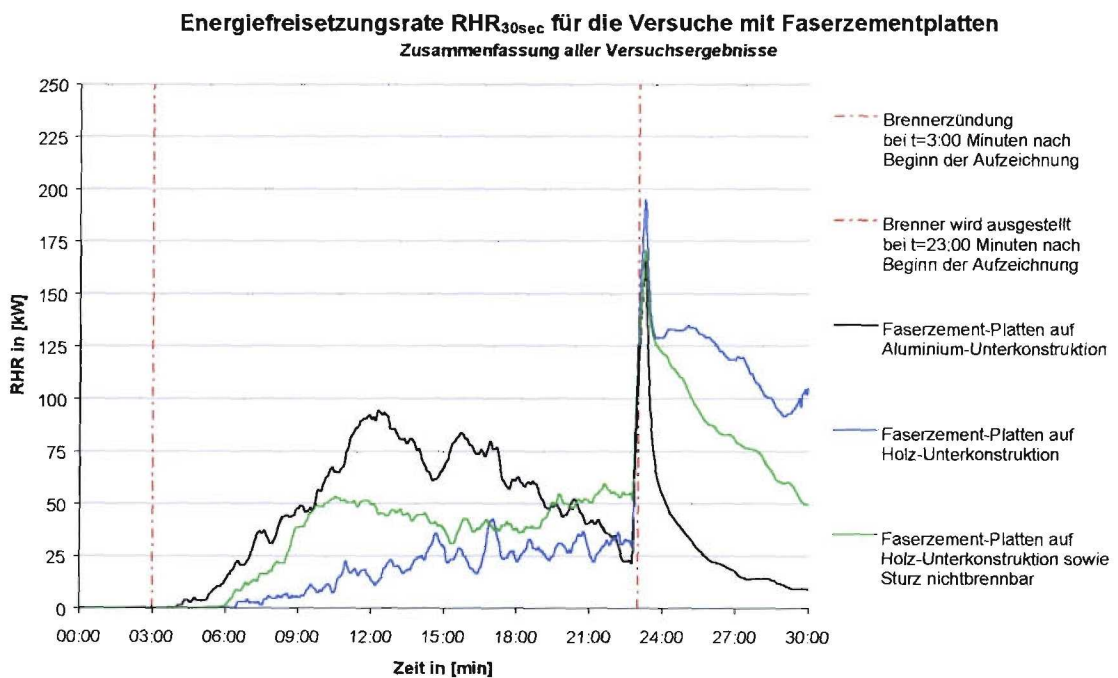


Abbildung 7.28 Vergleich der Energiefreisetzungsrate bei den Versuchsaufbauten mit Faserzementplatten

Die Außenwandbekleidungen aus HPL-Platten und Aluminiumverbund-Kassetten hatten maximale Energiefreisetzungsraten zwischen 355 kW und 715 kW. Die maximalen Energiefreisetzungsraten der normalentflammbaren Holz-Fassade lagen zwischen 1786kW und 2171 kW.

Als für die Energiefreisetzung kennzeichnende Werte sind in der Abbildung 7.29 die Energiefreisetzungsraten RHR der beiden Versuchsaufbauten mit Aluminiumverbund-Kassetten als Mittelwert aus zwei Versuchen über die Zeit aufgetragen.

Die Abbildung 7.29 weist auf, dass sich beim Einbau eines nichtbrennbaren Sturzes aus Stahl (Versuchsaufbau Nummer 5) die Energiefreisetzung stärker verzögert als beim Einbau eines Querriegels in einer Höhe von 2,00m (Versuchsaufbau Nummer 4). Nach einer Verzögerung von etwa 6 Minuten entwickelt sich die Energiefreisetzungsrate beim Versuchsaufbau mit dem Stahlsturz aber um so stärker, während die Energiefreisetzungsrate beim Versuchsaufbau mit dem Querriegel wieder abnimmt. Die Spitzen liegen jedoch trotz zeitlicher Verzögerungen jeweils in einem Bereich von 525kW bis 575kW.

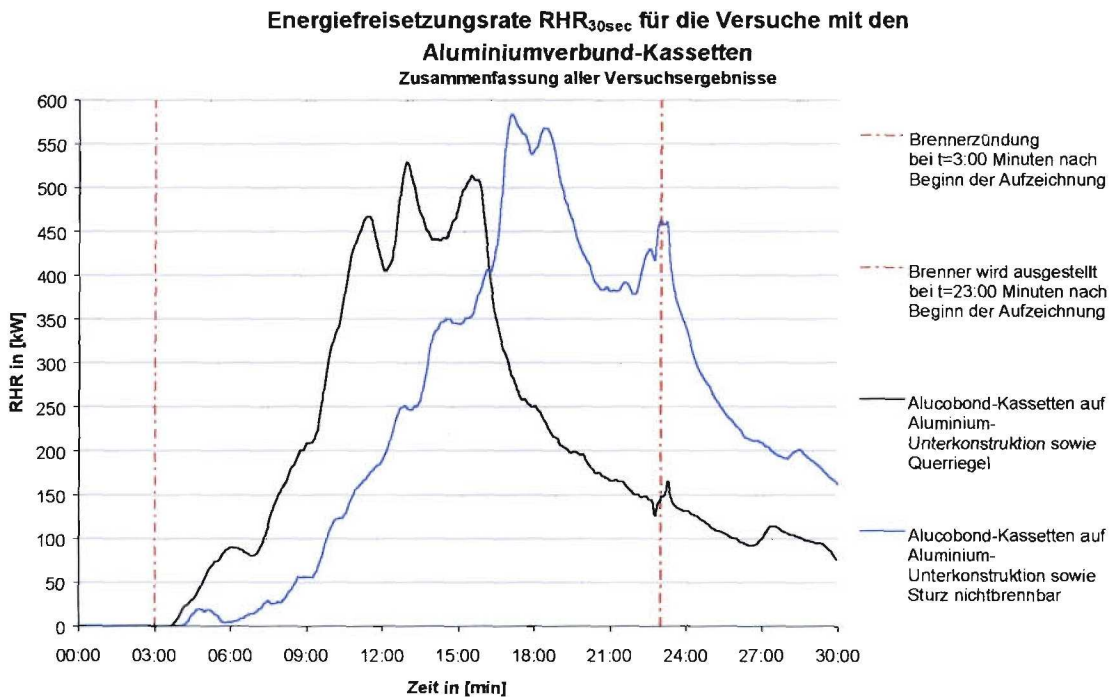


Abbildung 7.29: Vergleich der Energiefreisetzungsrate bei den Versuchsaufbauten mit Aluminiumverbund-Kassetten

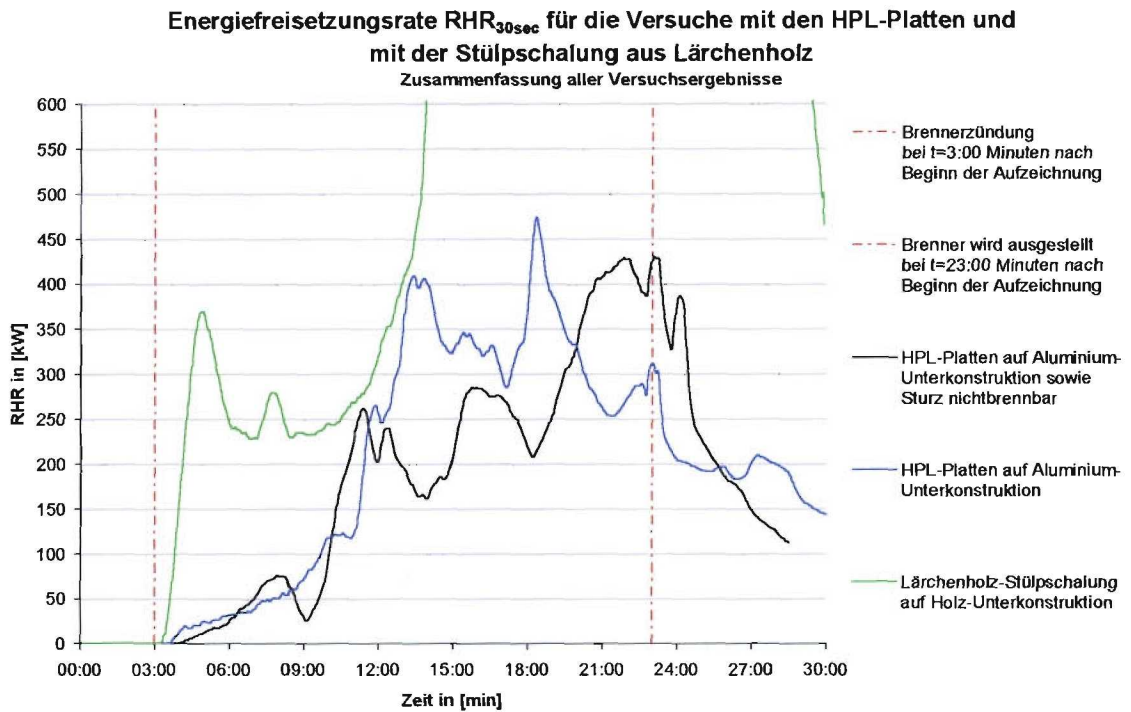


Abbildung 7.30: Vergleich der Energiefreisetzungsrate bei den Versuchsaufbauten mit HPL-Platten und Lärchenholz

Durch die Aufbauten Nummer 6 und 7 wird der Einfluss eines nichtbrennbaren Sturzes aus Stahl in Verbindung mit einer B1-Fassadenverkleidung aus HPL-Platten untersucht.

Als für die Energiefreisetzung kennzeichnende Werte sind in der Abbildung 7.30 die Energiefreisetzungsraten RHR der beiden Versuchsaufbauten mit HPL-Platten als Mittelwert aus zwei Versuchen über die Zeit aufgetragen. Im gleichen Diagramm ist die Energiefreisetzungsraten RHR der Holz-Stülp Schalung zum Vergleich ebenfalls als Mittelwert aus zwei Versuchen über die Zeit aufgetragen.

Die Abbildung 7.30 weist auf, dass durch den Einbau des Stahlsturzes die Energiefreisetzung lediglich verzögert wird. Die Spitzen jedoch liegen jeweils in einem Bereich von 425 kW bis 475 kW. Die Holz-Stülp Schalung hatte zu Beginn bis etwa zum Ende der 6. Minute nach der Zündung des Brenners zunächst eine deutlich höhere Energiefreisetzungsraten als die HPL-Platten. Nachdem die Energiefreisetzungsraten zwischen der 6. und 10. Minute nach der Zündung des Brenners bei beiden Fassaden-Materialien ähnliche Werte erreicht, ist nach der 10. Minute nach Zündung des Brenners eine deutliche Unterscheidung der Fassaden-Materialien möglich.

Im Vergleich zu den Aufbauten 1-8 (vorgehängte, hinterlüftete Fassaden) wurden abschließend in den Aufbauten 9 und 10 vergleichende Prüfungen an Wärmedämmverbundsysteme (in der Folge WDVS genannt) gemacht.

Die Abbildung 7.31 zeigt die Energiefreisetzungsrate der beiden Versuche (auf einen Wiederholungsversuch wurde jeweils verzichtet). Die Abbildung 7.31 weist auf, dass sich beim WDVS mit dem organischen Putz die Energiefreisetzungsrate zunächst relativ stark entwickelt, jedoch nach 6 Minuten nach Zünden des Brenners wieder deutlich abfällt. Etwa 12 Minuten nach Zünden des Brenners erreichten beide Aufbauten ähnliche Werte.

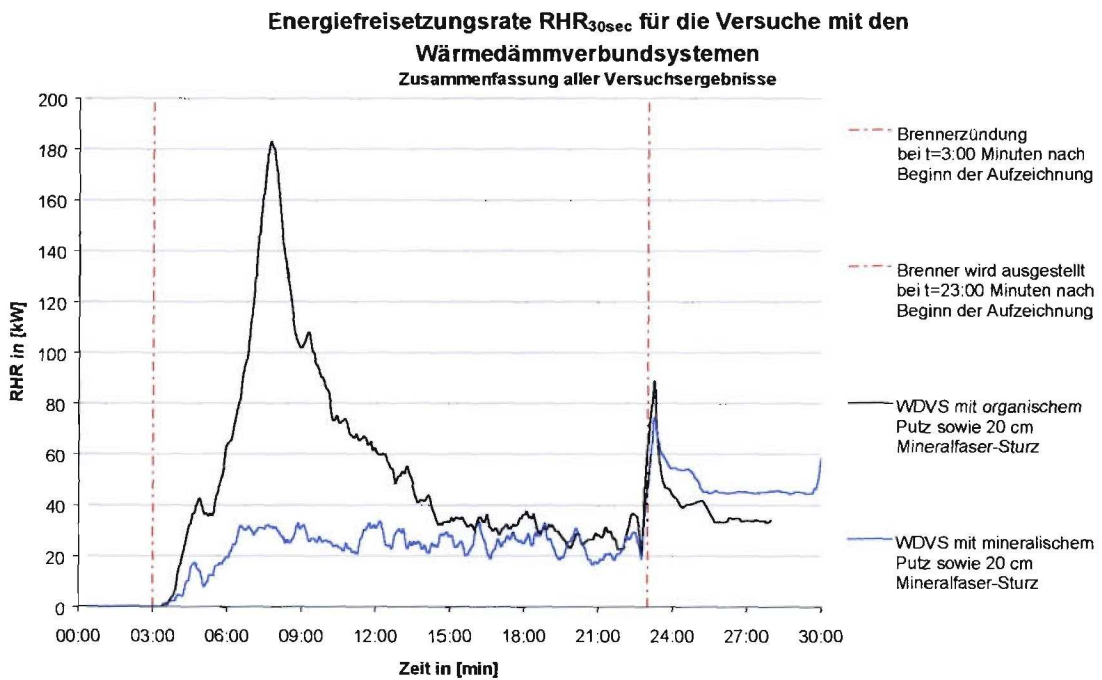


Abbildung 7.31: Vergleich der Energiefreisetzungsrate bei den Versuchsaufbauten mit Wärmedämmverbundsystemen

### Wiederholbarkeit der Ergebnisse zur Energiefreisetzungsrate RHR:

Als Anhaltswert für die Wiederholbarkeit wurden die Unterschiede der Ergebnisse aus jeweils dem 1. und 2. Versuch prozentual bezogen auf den Mittelwert der beiden Versuchsergebnisse festgestellt (siehe Tabelle 7.4).

Versuchsaufbau	1. Versuch RHR in [kW]	2. Versuch RHR in [kW]	Mittelwert RHR in [kW]	Abweichung in [%]
Faserzement auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	106	105	106	0.4%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	43	55	49	12.8%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	63	57	60	4.6%
Wärmedämmverbundsystem mit organischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	183			
Wärmedämmverbundsystem mit mineralischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	33			
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Brandsperre in 2 m Höhe	536	689	612	12.4%
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus Stahlblech	565	716	640	11.8%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	355	539	447	20.5%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	589	437	513	14.9%
Lärchenholz-Stülpchalung auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1786	2171	1979	9.7%

Tabelle 7.4: Übersicht der Ergebnisse von RHR und deren Abweichungen vom Mittelwert

Eine Verbesserung ist evtl. noch dadurch möglich, dass die zur Bestimmung der Maximalwerte verwendeten Kurven nicht durch Bildung von Mittelwerten über 30 Sekunden geglättet werden, sondern durch Bildung von Mittelwerten über 60 Sekunden geglättet werden.

### Schlussfolgerung für das Versuchsverfahren:

Die Energiefreisetzungsrate RHR ließ sich bei den Versuchen mit guter Genauigkeit messen. Als Information zur Wiederholbarkeit lässt sich feststellen, dass die prozentuale Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert aus zwei Versuchen in der Regel zwischen 0,4 % und 15 % lagen – bei einem Fassadenaufbau bei 20,5 %. Das bezieht sich auf die jeweils festgestellten Maximalwerte. Die Messergebnisse führen zu einer deutlichen Differenzierung der verschiedenen Fassadenaufbauten (von 33 kW bis 2171 kW)

## 7.2.2 Gesamte Energiefreisetzung THR

Um die Ergebnisse der Versuche miteinander zu vergleichen, zeigt die nachfolgende Abbildung 7.32 die Werte für die gesamte Energiefreisetzung  $THR_{600}$  nach 10 Minuten und die Abbildung 7.33 die Werte für die gesamte Energiefreisetzung  $THR_{1140}$  nach 19 Minuten Versuchsdauer:

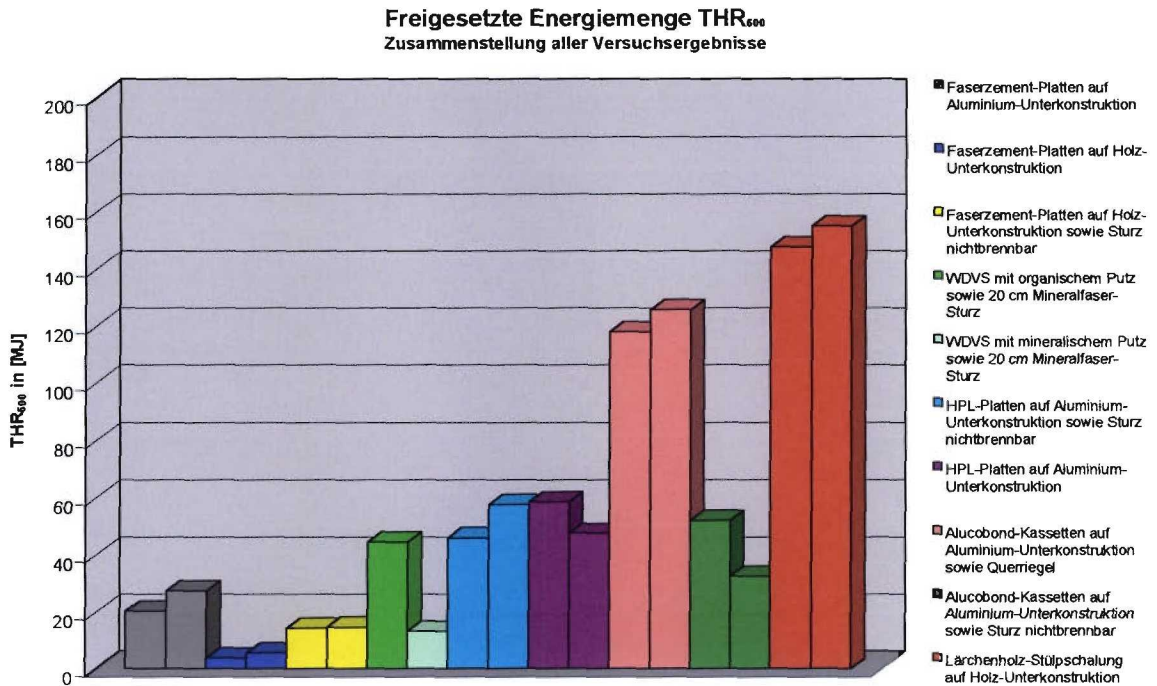


Abbildung 7.32: Gesamte Energiefreisetzung THR nach 10 Minuten für alle Versuchsaufbauten

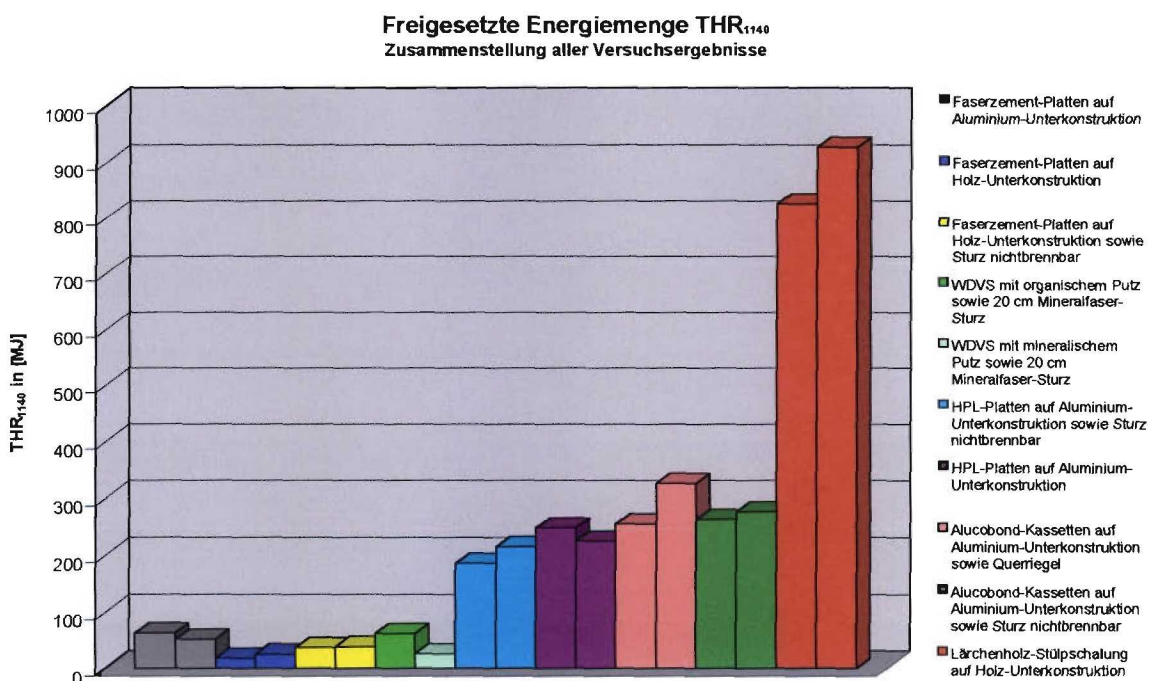


Abbildung 7.33: Gesamte Energiefreisetzung THR nach 19 Minuten für alle Versuchsaufbauten



Die unter Verwendung nichtbrennbarer Faserzementplatten errichteten Außenwandbekleidungen hatten eine gesamte Energiefreisetzung  $THR_{600}$  zwischen 4 MJ und 28 MJ. Die entsprechenden Werte  $THR_{1140}$  lagen bei 18 MJ bis 63 MJ.

Für die Beurteilung der Relation der o.a. Aufbauten für die gesamte freigesetzte Energie  $THR$  zueinander gelten die gleichen bzw. ähnlichen Angaben wie beim Maximum der Energiefreisetzungsrates  $RHR$ .

Ein grundlegender Unterschied ergibt sich lediglich für den Versuchsaufbau Nummer 4 (Aluminiumverbund-Kassetten mit Querriegel), der in der ersten Versuchshälfte ein deutlich ungünstigeres Verhalten zeigte (siehe Abbildung 7.32).

Die Wärmedämmverbundsysteme hatten gesamte Energiefreisetzung  $THR_{600}$  zwischen 14 MJ und 44 MJ. Die entsprechenden Werte  $THR_{1140}$  lagen bei 27 MJ bis 63 MJ.

**Wiederholbarkeit der Ergebnisse zur gesamten Energiefreisetzung  $THR$ :**

Als Anhaltswert für die Wiederholbarkeit wurden die Unterschiede der Ergebnisse aus jeweils dem 1. und 2. Versuch prozentual bezogen auf den Mittelwert der beiden Versuchsergebnisse festgestellt. Die Werte sind in der nachfolgenden Tabellen 7.5 aufgeführt.

Versuchsaufbau	1. Versuch $THR_{600}$ in [MJ]	2. Versuch $THR_{600}$ in [MJ]	Mittelwert $THR_{600}$ in [MJ]	Abweichung in [%]	1. Versuch $THR_{1140}$ in [MJ]	2. Versuch $THR_{1140}$ in [MJ]	Mittelwert $THR_{1140}$ in [MJ]	Abweichung in [%]
Faserzement auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	20	27	24	15.2%	63	52	57	9.7%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	4	6	5	18.0%	18	26	22	16.9%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	14	15	14	0.9%	37	39	38	2.6%
Wärmedämmverbundsystem mit organischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	44	/	/	/	62	/	/	/
Wärmedämmverbundsystem mit mineralischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	13	/	/	/	26	/	/	/
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Brandsperre in 2 m Höhe	118	126	122	3.2%	255	327	291	12.3%
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus Stahlblech	52	33	42	23.0%	263	276	269	2.3%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	46	57	52	11.2%	186	214	200	7.1%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	59	47	53	10.4%	248	225	236	4.8%
Lärchenholz-Stülpchalung auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	148	155	151	2.4%	826	927	876	5.8%

Tabelle 7.5: Übersicht der Ergebnisse von  $THR_{600}$  und  $THR_{1140}$  sowie jeweils deren Abweichungen vom Mittelwert

**Schlussfolgerungen für das Versuchsverfahren:**

Das Integral der Energiefreisetzungsrates  $THR$  gestattet eine gute Differenzierung zwischen den untersuchten Fassadenaufbauten (4 MJ bis 155 MJ). Die als Maß für die Wiederholbarkeit ermittelten prozentuale Abweichung der Einzelergebnisse vom Mittelwert aus beiden Versuchen liegt in der Regel unter 13 %. Das wird für Versuche dieser Art bzw. dieses Maßstabes als zufriedenstellend angesehen.

### 7.2.3 FIGRA-Index

Der FIGRA-Index kennzeichnet die Geschwindigkeit mit der die Energiefreisetzung erfolgt. Er hat unmittelbar Sicherheitsbedeutung, da er die für Flucht- und Rettungsarbeiten verfügbare Zeit betrifft (eine starke Brandentwicklung ist insbesondere dann gefährlich, wenn sie innerhalb sehr kurzer Zeit erfolgt). Der FIGRA-Index gewinnt aber darüber hinaus an Bedeutung, weil er für die meisten Materialien dafür kennzeichnend ist, ob es zu einer unkontrollierten Brandentwicklung kommt oder nicht.

Zur Definition des FIGRA-Indexes existieren zwei Ansätze:

- Ansatz des SBI-Tests nach DIN EN 13823:  
Die Energiefreisetzung wird für jeden Zeitpunkt  $t$  auf den Zeitpunkt  $t$  des Auftretens bezogen und als Kurvenverlauf berechnet. Der FIGRA-Index ist der Maximalwert dieser Kurve.
- Ansatz des Room-Corner-Tests nach ISO 9705 [N5]:  
Der FIGRA-Index wird durch den Maximalwert von der Energiefreisetzungsrate RHR bezogen auf den Zeitpunkt  $t$  bezogen definiert.

In der nachfolgenden Darstellung wurde der SBI-Test-Ansatz gewählt. Ein grundlegender Unterschied ergibt sich jedoch nicht durch die Wahl des Room-Corner-Ansatzes.

Um die Ergebnisse der Versuche miteinander zu vergleichen, zeigen die nachfolgenden Abbildungen 7.34 und 7.35 die maximalen Werte der FIGRA-Index nach 10 Minuten und nach 19 Minuten Versuchsdauer:

Wie die nachfolgenden Abbildungen 7.34 und 7.35 ausweisen, ergibt sich eine deutliche Differenzierung zwischen den geprüften Außenwandbekleidungen. Es wird deutlich, dass alle geprüften Fassaden mit einer Ausnahme bei einem Wiederholungsversuch innerhalb der ersten 600 Sekunden den maximalen FIGRA-Index erreichten.

Die unter Verwendung nichtbrennbarer Faserzementplatten errichteten Außenwandbekleidungen hatten einen FIGRA-Index zwischen 50 W/sec und 212 W/sec. Die Außenwandbekleidungen aus HPL-Platten und Aluminium-Verbundplatten hatten einen FIGRA-Index zwischen 576 W/sec und 981 W/sec. Der FIGRA-Index der normalentflammbaren Holz-Fassaden lag zwischen 3330 W/sec und 3744 W/sec. Der FIGRA-Index der Wärmedämmverbundsysteme lag zwischen 172 W/sec und 646 W/sec.

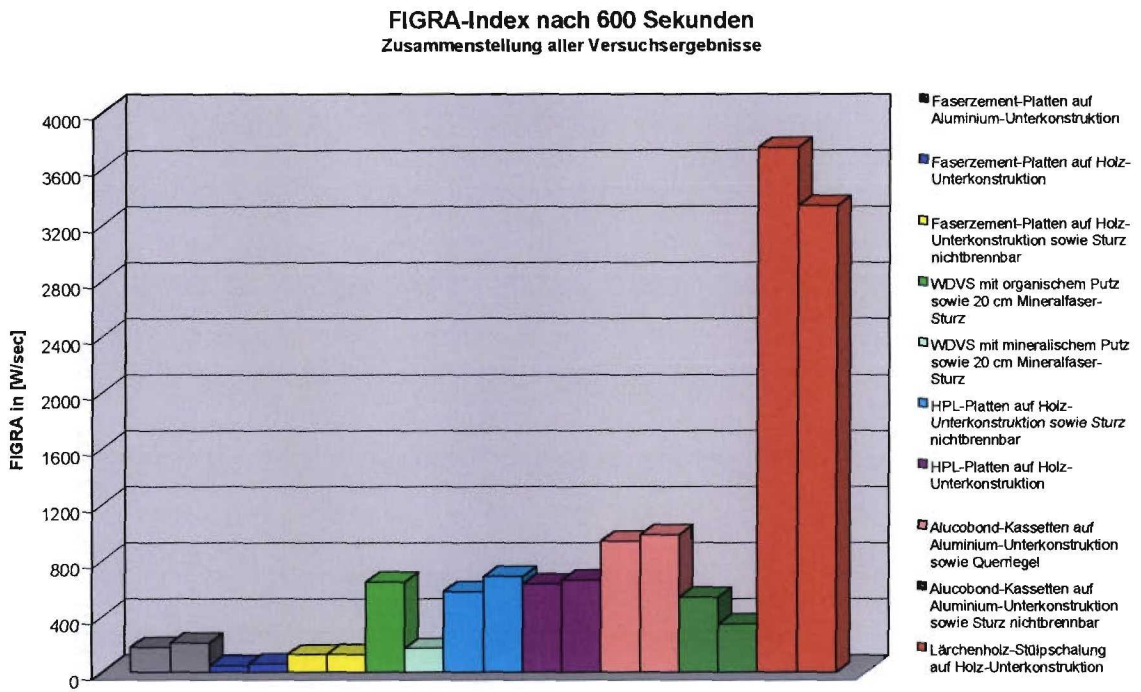


Abbildung 7.34: FIGRA-Index für alle Versuchsaufbauten nach 10 Minuten

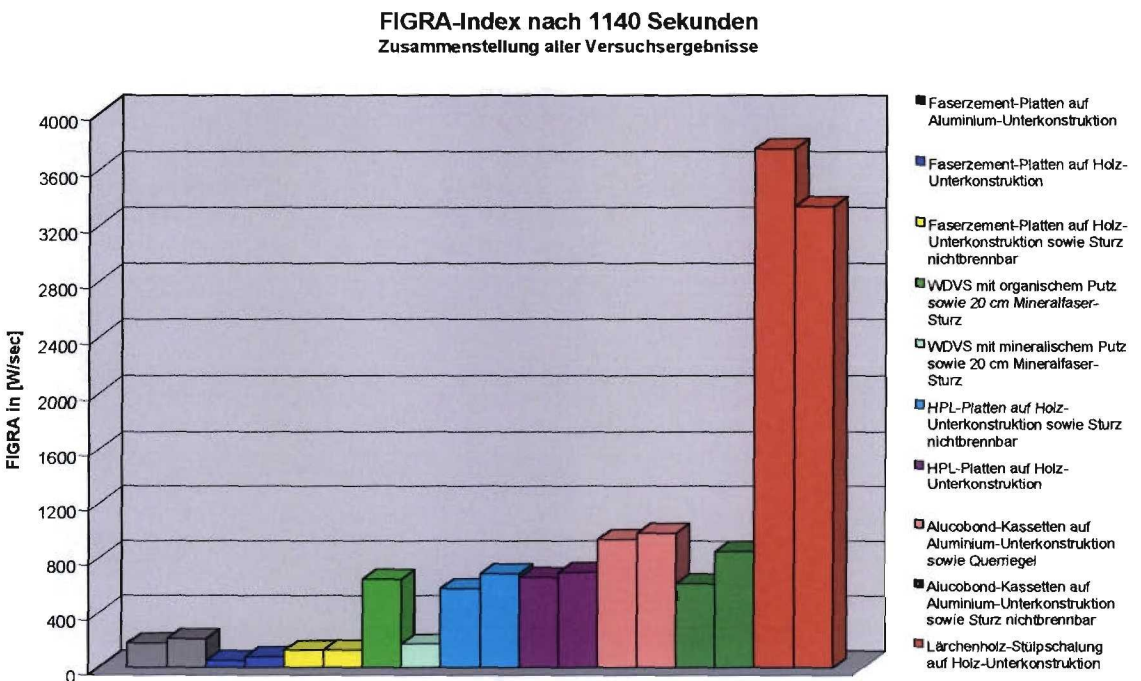


Abbildung 7.35: FIGRA-Index für alle Versuchsaufbauten nach 19 Minuten

### Wiederholbarkeit der Ergebnisse zum FIGRA-Index:

Als Anhaltswert für die Wiederholbarkeit wurden die Einzelergebnisse und die Unterschiede der Ergebnisse aus jeweils dem 1. und 2. Versuch prozentual bezogen auf den Mittelwert der beiden Versuchsergebnisse festgestellt. Die Werte sind in nachfolgenden Tabelle 7.6 aufgeführt.

Versuchsaufbau	1. Versuch FIGRA in [W/sec]	2. Versuch FIGRA in [W/sec]	Mittelwert FIGRA in [W/sec]	Abweichung in [%]
Faserzement auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	179	212	195	8.5%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	51	78	64	21.0%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	126	128	127	0.6%
Wärmedämmverbundsystem mit organischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	646			
Wärmedämmverbundsystem mit mineralischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	171			
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Brandsperre in 2 m Höhe	937	981	959	2.3%
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus Stahlblech	613	849	731	16.2%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	577	687	632	8.8%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	661	695	678	2.5%
Lärchenholz-Stülpchalung auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	3744	3329	3537	5.9%

Tabelle 7.6: Übersicht der Ergebnisse von FIGRA und dessen Abweichungen vom Mittelwert

### Schlussfolgerungen für das Versuchsverfahren:

Die gemessenen FIGRA-Indexe weisen aus, dass das Brandverhalten der untersuchten Fassadenaufbauten durch den FIGRA-Index gut differenziert werden kann. Die prozentualen Werte der als Maß für die Wiederholbarkeit entwickelten Abweichungen vom Mittelwert liegen mit ca. 21 % bei den Faserzementplatten vergleichsweise hoch, jedoch liegen die absoluten FIGRA-Indexe in einem vertretbaren Bereich.

## 7.2.3 Die Rauchfreisetzung

### 7.2.3.1 Rauchfreisetzungsrates RSP

Zur Bewertung der Rauchentwicklung wurde im Abgasrohr die Rauchdichte ermittelt. Da die Rauchdichte im Abgasrohr maßgeblich von der verfahrensbedingten Absauggeschwindigkeit und dem Durchmesser des Abgasrohres abhängig ist, wurde der Kennwert RSP als Maß für die Rauchentwicklung verfahrensunabhängig ist (s. Kapitel 2.1)

Für jeden Versuch wurde die Rauchfreisetzungsrates RSP als Funktion der Zeit bestimmt. Um die Ergebnisse der Versuche miteinander zu vergleichen, zeigt die nachfolgende Abbildung 7.36 die maximalen Werte für die Rauchfreisetzungsrates RSP. Um die hierbei von den durch zeitliche Streuungen bedingten Spitzenwerten unabhängig zu sein, wurden die RSP-Verläufe jeweils durch Bildung von Mittelwerten über 60 Sekunden geglättet.

In dem Balkendiagramm sind jeweils nebeneinander die Ergebnisse der beiden am gleichen Aufbau durchgeführten Versuche dargestellt, um einen ersten Eindruck über die Wiederholbarkeit der Messergebnisse zu vermitteln.

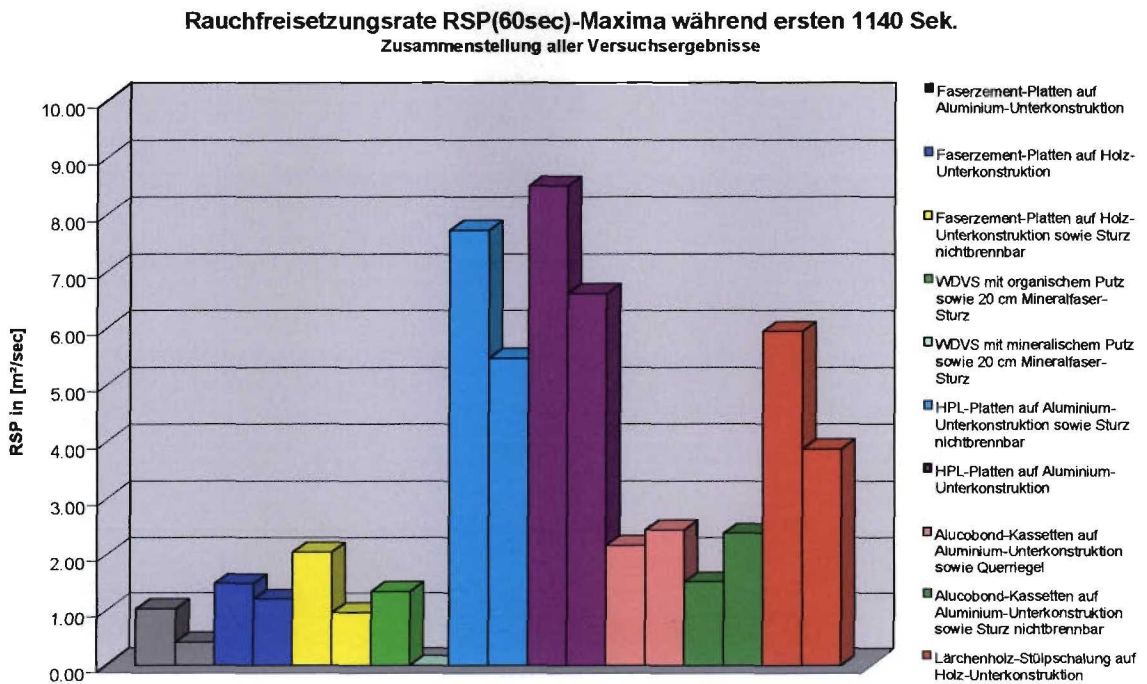


Abbildung 7.36: Maximalwerte der Rauchfreisetzungsrates RSP für alle Versuchsaufbauten

Wie die Abbildung 7.36 ausweist, ergibt sich zunächst eine recht deutliche Differenzierung zwischen den geprüften Außenwandbekleidungen. Betrachtet man jedoch die bei den HPL-Platten und bei den Versuchen mit der Holzfassade festgestellten Transmissionsverlustwerte von bis zu 90% so wird klar, dass der verfügbare Messbereich nicht ausreichten, starke Qualmbildner ausreichend deutlich von den hier geprüften Fassaden abzusetzen. Dies dokumentiert sich u.a. auch in den Ergebnissen der Versuche an Fassaden mit nichtbrennbaren Faserzementplatten.

Die unter Verwendung nichtbrennbarer Faserzementplatten errichteten Außenwandbekleidungen hatten eine maximale Rauchfreisetzungsrates zwischen 0,4 m<sup>2</sup>/sec bis 2,1 m<sup>2</sup>/sec.

Die Außenwandbekleidungen aus Aluminium-Verbundplatten hatten maximale Rauchfreisetzungsrates zwischen 1,5 m<sup>2</sup>/sec und 2,5 m<sup>2</sup>/sec. Die Außenwandbekleidungen aus HPL-Platten hatten maximale Rauchfreisetzungsrates zwischen 5,5 m<sup>2</sup>/sec und 8,5 m<sup>2</sup>/sec.

Die maximalen Rauchfreisetzungsrates der normalentflammbaren Holz-Fassade lagen zwischen 3,8 m<sup>2</sup>/sec und 6 m<sup>2</sup>/sec.

Die maximalen Rauchfreisetzungsrates der Wärmedämmverbundsysteme lagen zwischen 0 m<sup>2</sup>/sec und 1,4 m<sup>2</sup>/sec.

### Wiederholbarkeit der Ergebnisse zur Rauchfreisetzungsrates:

Als Anhaltswert für die Wiederholbarkeit wurden die Unterschiede der Ergebnisse aus jeweils dem 1. und 2. Versuch prozentual bezogen auf den Mittelwert der beiden Versuchsergebnisse festgestellt. Die Werte sind in nachfolgenden Tabelle 7.7 aufgeführt:

Versuchsaufbau	1. Versuch RSP in [m <sup>2</sup> /sec]	2. Versuch RSP in [m <sup>2</sup> /sec]	Mittelwert RSP in [m <sup>2</sup> /sec]	Abweichung in [%]
Faserzement auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1.0	0.4	0.7	42.1%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1.5	1.2	1.3	10.5%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	2.0	1.0	1.5	36.4%
Wärmedämmverbundsystem mit organischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	1.3			
Wärmedämmverbundsystem mit mineralischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	0.0			
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Brandsperrle in 2 m Höhe	2.2	2.5	2.3	6.1%
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus Stahlblech	1.5	2.4	1.9	22.7%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	7.7	5.5	6.6	17.1%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	8.5	6.6	7.5	12.6%
Lärchenholz-Stülpchalung auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	5.9	3.9	4.9	21.2%

Tabelle 7.7: Übersicht der Ergebnisse von RSP und deren Abweichungen vom Mittelwert

Die festgestellten Streubreiten liegen sowohl prozentual als auch absolut gesehen vergleichsweise hoch. Dies spiegelt die allgemeine Erfahrung aus Rauchentwicklungsmessungen bei Brandversuchen wieder. Die Rauchentwicklung wird in erheblichen Maße durch die beim Abbrand verfügbare Luftströmung beeinflusst. Insbesondere haben auch Unterschiede im Abbrandverhalten Einfluss auf die Ergebnisse.

### 7.2.3.2 Gesamte Rauchfreisetzung TSP

Ein sinnvolles Maß für die Bewertung der Rauchentwicklung von Bauprodukten stellt die gesamte freigesetzte Rauchmenge TSP dar, ausgedrückt als Integral der Rauchfreisetzungsrates RSP über die Zeit  $t$ . Um die Ergebnisse der Versuche miteinander zu vergleichen, zeigt die nachfolgende Abbildung 7.37 die Werte für die gesamte Rauchfreisetzung  $TSP_{600}$  nach 10 Minuten und die Abbildung 7.38 die Werte für die gesamte Rauchfreisetzung  $TSP_{1140}$  nach 19 Minuten Versuchsdauer:

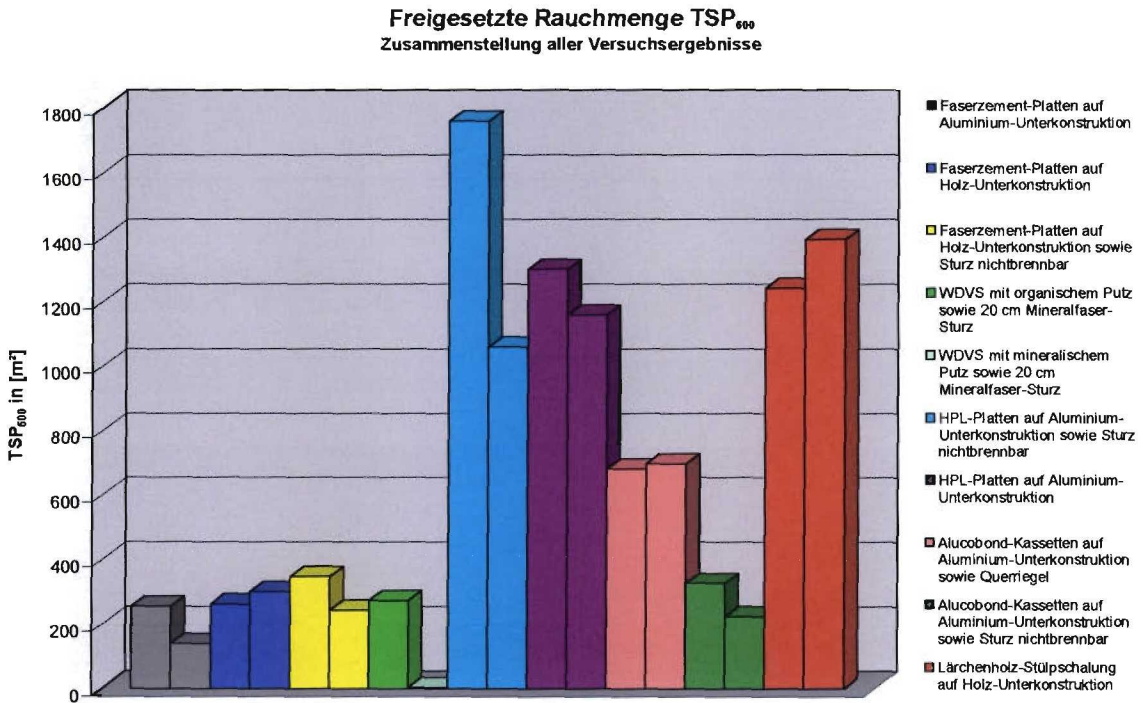


Abbildung 7.37: Gesamte Rauchfreisetzung TSP nach 10 Minuten für alle Versuchsaufbauten

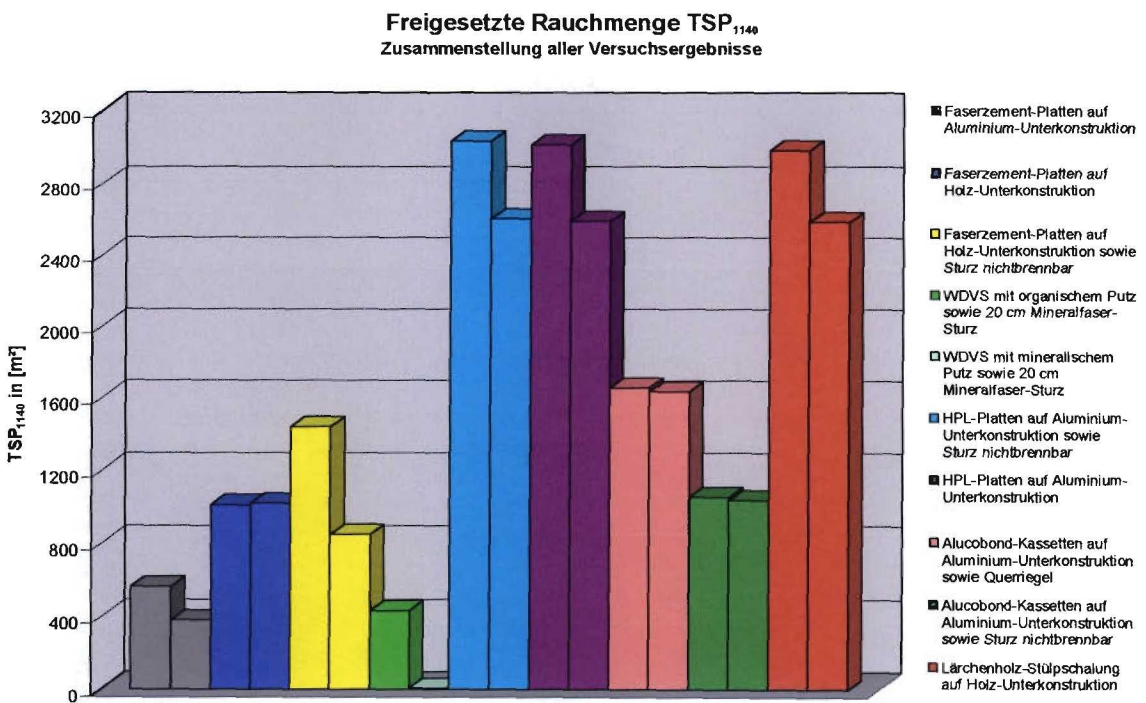


Abbildung 7.38: Gesamte Rauchfreisetzung TSP nach 19 Minuten für alle Versuchsaufbauten

Wie die Abbildung 7.37 und Abbildung 7.38 ausweisen, ergibt sich für beide Auswertungen eine deutliche Differenzierung zwischen den geprüften Außenwandbekleidungen. Ein grundlegend unterschiedliche Bewertung ergibt sich durch die beiden Auswerteverfahren nicht. Die Einbeziehung auch der zweiten Versuchsphase durch Verwendung des TSP<sub>1140</sub> führt jedoch wie die nachstehende Tabelle 7.8 zeigt zu deutlich geringeren Streubreiten zwischen den einzelnen Versuchen. Im Hinblick auf die Abgrenzung zu anderen Fassadenprodukten, die im starken Maße Rauch erzeugen, gelten die Angaben zur Rauchfreisetzungsrate RSP.

**Wiederholbarkeit der Ergebnisse zur gesamten Rauchfreisetzung:**

Als Anhaltswert für die Wiederholbarkeit wurden die Unterschiede der Ergebnisse aus jeweils dem 1. und 2. Versuch prozentual bezogen auf den Mittelwert der beiden Versuchsergebnisse festgestellt. Diese Werte in der nachfolgenden Tabelle 7.8 zeigen, dass auch hier nur sehr bedingt von Wiederholbarkeit gesprochen werden kann.

Versuchsaufbau	1. Versuch TSP <sub>600</sub> in [m <sup>2</sup> ]	2. Versuch TSP <sub>600</sub> in [m <sup>2</sup> ]	Mittelwert TSP <sub>600</sub> in [m <sup>2</sup> ]	Abweichung in [%]	1. Versuch THR <sub>140</sub> in [MJ]	2. Versuch THR <sub>140</sub> in [MJ]	Mittelwert THR <sub>140</sub> in [MJ]	Abweichung in [%]
Faserzement auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	254	139	196	29.3%	567	381	474	19.6%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	261	301	281	7.0%	1012	1021	1016	0.5%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	346	243	295	17.5%	1440	852	1146	25.7%
Wärmedämmverbundsystem mit organischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	272	/	/	/	433	/	/	/
Wärmedämmverbundsystem mit mineralischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	4	/	/	/	8	/	/	/
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Brandsperre in 2 m Höhe	680	695	688	1.1%	1654	1635	1645	0.6%
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus Stahlblech	326	222	274	18.9%	1056	1038	1047	0.9%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	1760	1060	1410	24.8%	3036	2600	1645	58.1%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1299	1159	1229	5.7%	3015	2586	1047	147.0%
Lärchenholz-Stülpchalung auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	1240	1392	1316	5.8%	2982	2583	2818	8.3%

Tabelle 7.8: Übersicht der Ergebnisse von TSP<sub>600</sub> und TSP<sub>1140</sub> sowie deren Abweichungen vom Mittelwert



### 7.2.3.3 SMOGRA-Index

Analog zur Bewertung der Energiefreisetzungsrates über den FIGRA-Index wurde zur Bewertung der Rauchentwicklung der SMOGRA-Index als Maximum des Quotient der Rauchfreisetzungsrates und der Zeit  $t$  des Auftretens definiert. Um die Ergebnisse der Versuche miteinander zu vergleichen, zeigen die nachfolgenden Abbildungen 7.39 und 7.40 die maximalen Werte für den SMOGRA-Index nach 10 bzw. 19 Minuten Versuchsdauer:

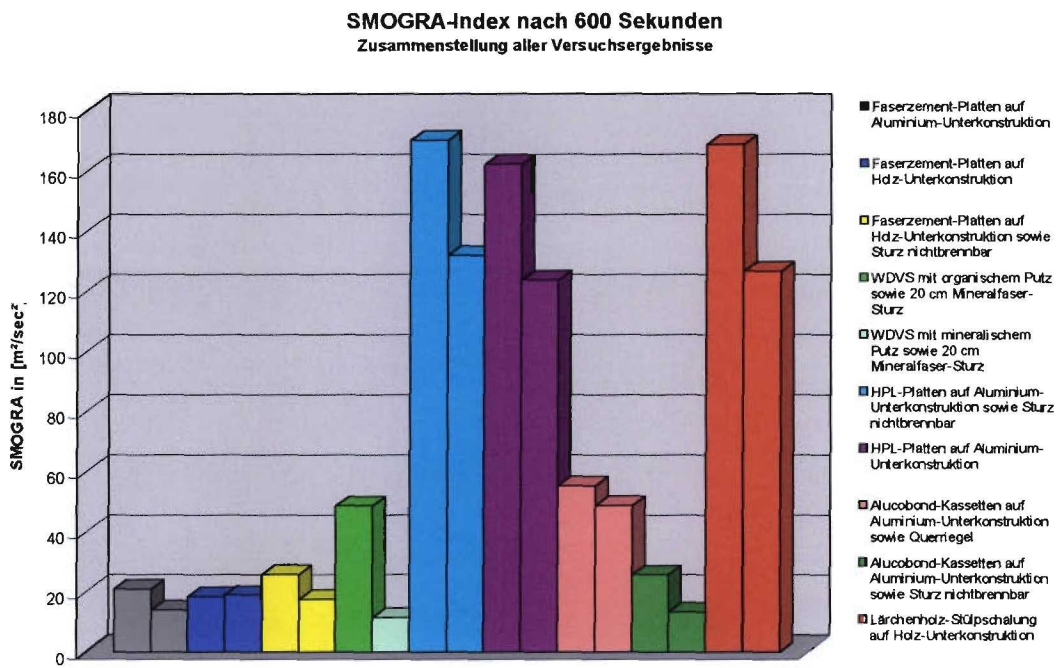


Abbildung 7.39: SMOGRA-Index für alle Versuchsaufbauten nach 10 Minuten

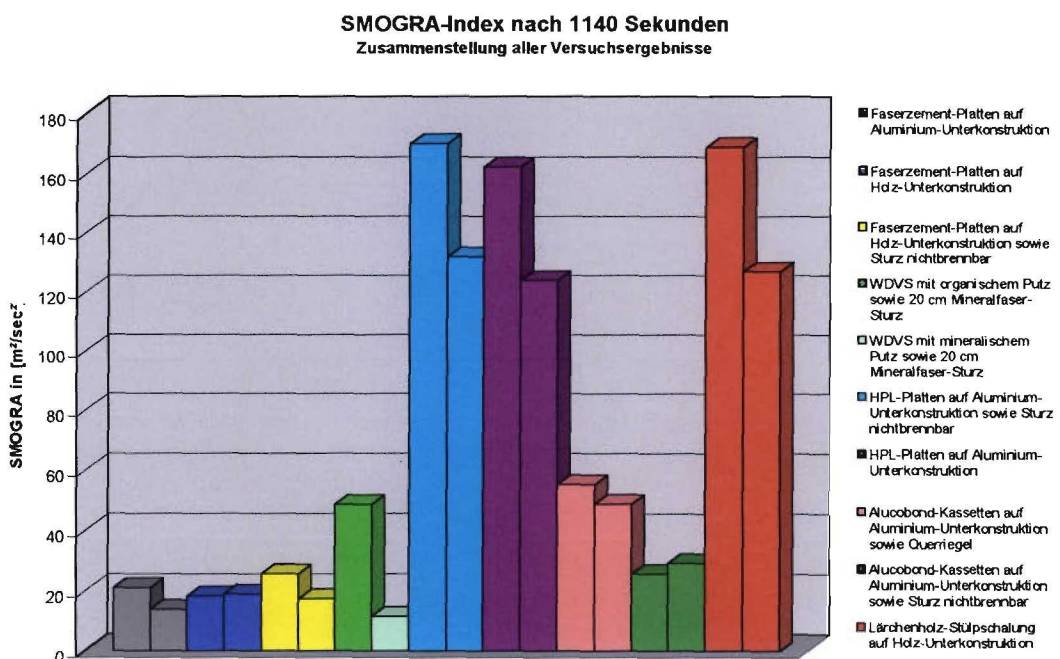


Abbildung 7.40: SMOGRA-Index für alle Versuchsaufbauten nach 19 Minuten

Wie die Abbildungen 7.39 und 7.40 ausweist, ergibt sich zwar eine deutliche Differenzierung zwischen den geprüften Außenwandbekleidungen, im Hinblick auf die Abgrenzung zu anderen Fassadenprodukten, die im starken Maß Rauch erzeugen, gelten die Angaben zur Rauchfreisetzungsrates RSP.

Die unter Verwendung nichtbrennbarer Faserzementplatten errichteten Außenwandbekleidungen hatten einen SMOGRA-Index zwischen  $13 \text{ m}^2/\text{sec}^2$  und  $26 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ . Die Außenwandbekleidungen Aluminiumverbund-Kassetten hatten einen SMOGRA-Index zwischen  $26 \text{ m}^2/\text{sec}^2$  und  $56 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ . Die Außenwandbekleidungen aus HPL-Platten hatten einen SMOGRA-Index zwischen  $124 \text{ m}^2/\text{sec}^2$  und  $171 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ . Der SMOGRA-Index der normalentflammbaren Holz-Fassade lagen zwischen  $127 \text{ m}^2/\text{sec}^2$  und  $169 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ . Die Wärmedämmverbundsysteme hatten einen SMOGRA-Index zwischen  $124 \text{ m}^2/\text{sec}^2$  und  $171 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ .

**Zur Wiederholbarkeit der Ergebnisse zum SMOGRA-Index:**

Als Anhaltswert für die Wiederholbarkeit wurden die Unterschiede der Ergebnisse aus jeweils dem 1. und 2. Versuch prozentual bezogen auf den Mittelwert der beiden Versuchsergebnisse festgestellt. Die Werte sind in nachfolgenden Tabelle 7.9 aufgeführt.

Versuchsaufbau	1. Versuch SMOGRA in $[\text{m}^2/\text{sec}^2]$	1. Versuch SMOGRA in $[\text{m}^2/\text{sec}^2]$	Mittelwert SMOGRA in $[\text{m}^2/\text{sec}^2]$	Abweichung in [%]
Faserzement auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	21	14	17	20.4%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	18	19	18	1.5%
Faserzement auf Holz-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	26	17	21	19.1%
Wärmedämmverbundsystem mit organischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	48			
Wärmedämmverbundsystem mit mineralischem Putz und 200 mm hohen Sturz aus Mineralfaser	11			
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Brandsperre in 2 m Höhe	55	49	52	6.2%
Aluminiumverbund-Kassetten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus Stahlblech	25	29	27	6.8%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion mit Sturz aus einfach gefalztem Stahlblech	170	132	151	12.7%
HPL-Platten auf Aluminium-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	162	124	143	13.5%
Lärchenholz-Stülpchalung auf Holz-Unterkonstruktion ohne baulichen Brandschutz	169	127	148	14.3%

Tabelle 7.9: Übersicht der Ergebnisse von SMOGRA und deren Abweichungen vom Mittelwert

Auffällig ist, dass es deutliche Unterschiede zwischen den beiden verschiedenen Aufbauten mit Aluminium-Verbundplatten gab. Der SMOGRA-Index korrespondiert zu den Unterschieden (zeitliche Verzögerung bei Versuchsaufbau Nr. 5) sowohl bei der Rauchfreisetzungsrates RSP als auch bei der Energiefreisetzungsrates RHR.

### **Schlussfolgerungen für das Versuchsverfahren:**

Die zur Rauchentwicklung ermittelten Versuchsergebnisse dargestellt als

- Rauchfreisetzungsrates RSP
- Gesamte Rauchfreisetzung TSP
- Rauchfreisetzungsindeks SMOGRA-Indeks

gestatten eine Differenzierung zwischen den untersuchten Fassadenaufbauten. Es zeigte sich jedoch, dass der verfügbare Messbereich durch die geprüften Produktpansne weitestgehend ausgeschöpft ist. Eine Differenzierung zwischen Aufbauten mit sehr großer Rauchentwicklung wird durch das angewandte Messverfahren nicht möglich sein.

Die Wiederholbarkeit der Messergebnisse für alle drei Kennwerte ist vergleichsweise gering. Das entspricht der Erfahrung auch aus anderen Versuchsverfahren im größeren Maßstab. Offensichtlich addieren sich hier Streuungen in der materialspezifischen Rauchentwicklung und die Streuungen der materialspezifischen Abbrandcharakteristik.

## 8. Diskussion der Versuchsergebnisse bei den Laborversuchen

### 8.1 Brandschacht-Versuche nach DIN 4102-16

Alle Fassadenbekleidungsmaterialien, die bei den Versuchen im Maßstab 1:1 zur Anwendung kamen, wurden im Brandschacht nach DIN 4102-15 geprüft (siehe Kapitel 6). Die Versuchsergebnisse bestätigten die Klassifizierungen der Produkte nach DIN 4102-1.

Die nachfolgende Tabelle 8.1 listet die Produkte in einer Rangliste entsprechend ihres Brandverhaltens von nichtbrennbar zu normalentflammbar auf und stellt sie den Ergebnissen aus den Versuchen im Maßstab 1:1 gegenüber. Ein Vergleich zu den Versuchsergebnissen am Fassadenprüfstand zeigt, dass es im Bereich der schwerentflammbaren Produkte zu Verschiebungen in der „Rangliste“ von nichtbrennbaren bis normalentflammbaren Produkten kommt.

<b>Brandschacht:</b>	<b>Versuch im Maßstab 1:1:</b>
Faserzementplatten	Faserzementplatten (von Unterkonstruktion unabhängig)
Wärmedämmverbundsystem (Putz mineralisch)	Wärmedämmverbundsystem (Putz mineralisch)
Aluminiumverbund-Platte	Wärmedämmverbundsystem (Putz organisch)
HPL-Platten	HPL-Platten
Wärmedämmverbundsystem (Putz organisch)	Aluminiumverbund-Kassetten
Lärchenholz	Lärchenholz

Tabelle 8.1 Gegenüberstellung der Ergebnisse vom Brandschacht und Fassadenprüfstand

#### Schlussfolgerung für das Prüfverfahren:

In den Brandschachtversuchen ist es bei den hinterlüfteten Fassaden in der Regel nicht möglich praxisgerechte Anwendungsbedingungen zu realisieren. Das gilt sowohl im Hinblick auf die maximal prüfbare Dicke von 80 mm als auch im Hinblick auf die Randeinflüsse der an den Seiten mit offenem Hinterlüftungsspalt hergestellten Proben.

Die Brandschachtversuche können nicht alleine als Beurteilungsmaßstab für Fassadenmaterialien herangezogen werden. Sie geben lediglich einen ersten Hinweis über die zu erwartenden Ergebnisse beim Versuch im Maßstab 1:1, jedoch keinerlei Auskunft über das Brandverhalten im Fassadenprüfstand im Maßstab 1:1. Die Versuche mit dem offenem Hinterlüftungsspalt im unteren Bereich von 20 cm hatten im Allgemeinen bessere Ergebnisse als die Versuche mit dem Aufbau nach DIN 4102 Tab. 1 Bild 3. Die Brandschachtversuche können nicht allein als Beurteilungsmaßstab für Fassadenmaterialien herangezogen werden. Sie geben lediglich einen ersten Hinweis über die zu erwartenden Ergebnisse beim Versuch im Maßstab 1:1.

Wie sich bei den Versuchen im Maßstab 1:1 gezeigt hat, findet zumindest bei brennbaren Fassaden ein Teil der Brandentwicklung im Hinterlüftungsspalt statt. Um dem Rechnung zu tragen wurde jeweils als Aufbau B ein Versuch mit einer Anordnung durchgeführt, die es den Brennerflammen erlaubt, in den Hinterlüftungsspalt einzudringen. Die Versuche mit dem offenem Hinterlüftungsspalt im unteren Bereich hatten im allgemeinen bessere Ergebnisse als die Versuche nach DIN 4102-15. Der versuchte Ansatz zur Einbeziehung des Abbrandes im Hinterlüftungsspalt in die Brandschachtprüfung muss daher als nicht erfolgreich bewertet werden. Diese Anordnung sollte daher nicht weiter verfolgt werden.

## 8.2 SBI-Tests nach DIN EN 13823

Alle Fassadenbekleidungsmaterialien, die bei den Versuchen im Maßstab 1:1 zur Anwendung kamen, wurden im SBI-Test nach DIN EN 13823 geprüft (siehe Kapitel 6). Die nachfolgenden Abbildungen 8.1 und 8.2 zeigen, die Ergebnisse für THR und FIGRA-Index sowie die nach diesen Kriterien mögliche Klassifizierung nach der DIN EN 13501-1 der Produkte:

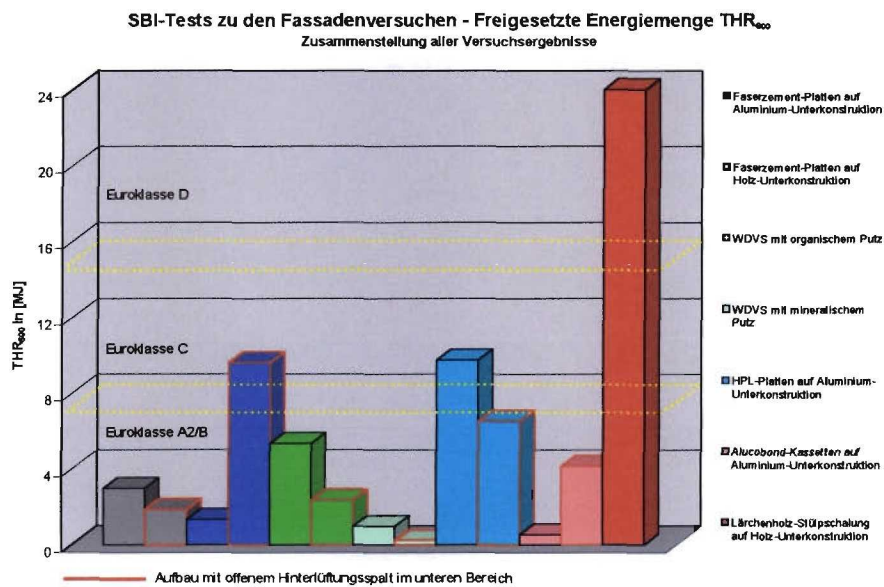


Abbildung 8.1: Total Heat Release nach 10 Minuten im Vergleich für alle Aufbauten

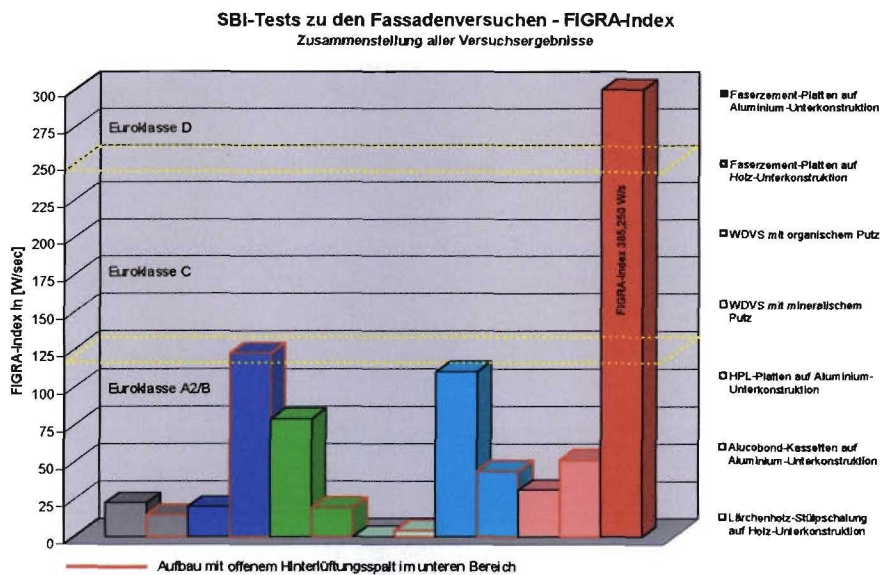


Abbildung 8.2: FIGRA-Index im Vergleich für alle Aufbauten

### **Schlussfolgerung zu dem Prüfverfahren:**

Die Ergebnisse im SBI-Test spiegeln nicht die Ergebnisse im Fassadenprüfstand im Maßstab 1:1 wieder. Sie führen auch nicht zu einer sinnvollen Differenzierung der geprüften Fassadenaufbauten, mit Ausnahme eines Versuches an HPL-Platten und dem Versuch mit der Holzfassade würden alle Aufbauten in die Euroklasse A2/B fallen.

Ebenso wie beim Brandschachtversuch führte auch hier der Ansatz, durch Öffnen der Fassadenbekleidung im unteren Bereich einen Beitrag des Abbrandes im Hinterlüftungsspalt zu erzielen nicht zu dem beabsichtigten Erfolg. Die Frage, ob sich das mit modifizierten Anordnungen erreichen lässt ist ggf. in weiteren Untersuchungen zu klären.

Die Versuche mit dem offenem Hinterlüftungsspalt im unteren Bereich von 30 cm hatten im Allgemeinen bessere Ergebnisse als die Versuche mit dem Aufbau nach DIN EN 13328 Abschnitt 5.2.

## 9. Schlussfolgerungen

Das untersuchte Prüfverfahren in Anlehnung an den Normentwurf DIN 4102-20 ist geeignet, Fassadenkonstruktionen im Maßstab 1:1 zu prüfen. Die Größe der Versuchsanordnung erlaubt es, die Außenwandbekleidungen praxisgerecht einzubauen. Dabei ist es möglich, den Einfluss der Befestigungsstruktur und der Einbaubedingungen so zu berücksichtigen, dass sowohl negative als auch positive Einflüsse auf das Brandverhalten zum Tragen kommen. Der Einfluss von konstruktiven Elementen des baulichen Brandschutzes sowie der Einfluss von Hinterlüftungsspalten und von unterschiedlichen Unterkonstruktionen können untersucht werden.

Das Prüfzenario simuliert wie bei einem Vollbrand aus einer Fensteröffnung schlagende Flammen. Dies wird durch die Ergebnisse der Temperaturmessungen im Bereich des Fenstersturzes bestätigt. Die weiteren Brandbeanspruchungsarten (z.B. durch Wärmestrahlung und durch eine vor einer Fassade stehenden brennenden Gegenstand wie ein Müllcontainer) werden durch die hier vorgenommene Brandbeanspruchung ausreichend abgedeckt.

Der Ablauf des Brandes an der Oberfläche ist bei den Versuchen gut einsehbar. Zumindest unter zur Hilfenahme einer Videodokumentation ist der Verlauf der Brandausbreitung nach oben und zu den Seiten visuell zu erfassen. Die Verfolgung der Brandausbreitung hinter der Fassadenoberfläche (z.B. in einem Hinterlüftungsspalt) ist nur eingeschränkt möglich. Zuverlässig kann nur das Ankommen der Flammenspitzen am oberen Ende der Versuchsanordnungen und an den seitlichen Rändern festgestellt werden, soweit nicht die konstruktive Ausbildung der Außenwandbekleidung einen Einblick (z.B. an offenen Fugen oder von der Seite) erlaubt. Der Ansatz hierzu über Temperaturmessungen zutreffende Informationen zu erhalten hat sich als nicht erfolgreich erwiesen. Zumindest kann an Hand dieses Prüfverfahren jedoch erkannt werden, in wie weit es zu einem Feuerüberschlag auf die über dem Brandraum liegende Geschosse und Räume kommt.

Die bei dem Prüfverfahren eingesetzte Messtechnik ist eine Entwicklung aus dem Room-Corner-Test nach DIN 4102-19 (ISO 9705) und dem SBI-Test nach prEN 13823. Die Messungen geben nicht nur quantitative Auskunft darüber, welche Energie freigesetzt wird und wie viel Rauch erzeugt wird, sondern erlauben auch die zeitliche Verfolgung der Energiefreisetzung und Rauchfreisetzung.

Durch Verwendung der gleichen Messtechnik wie beim SBI-Test ergibt sich eine gute Vergleichsbasis. Die Korrelation der beiden Prüfverfahren ist jedoch nicht zufriedenstellend.

Angaben über die Reproduzierbarkeit des Versuchsverfahren können noch nicht gemacht werden, da diese Versuche alle im selben Labor durchgeführt worden sind. Die nur im begrenzten Umfang vorliegenden Informationen zur Wiederholbarkeit weisen zumindest im Hinblick auf die Messergebnisse zur Energiefreisetzung nicht auf besondere Probleme hin. Im Hinblick auf die Messergebnisse der Rauchentwicklung ergaben sich deutlich größere Streubreiten als bei der Energiefreisetzung.

Aus den vorstehenden Auswertungen werden außer den o.a. Schlussfolgerungen folgende Vorschläge für die weitere Arbeit mit dem Prüfverfahren gemacht:

- Der Volumenstrom sollte in Anlehnung an den SBI-Test zu Versuchsbeginn auf einen definierten Wert eingestellt werden. Dieser sollte so bemessen werden, dass der gesamte Rauch abgesaugt wird. Der  $k_f$ -Faktors kann dabei als Konstante beibehalten werden. Der Volumenstrom ist dann nur noch in Abhängigkeit von der Temperatur zu korrigieren.
- In dem Normentwurf DIN 4102-20 ist die Zeitspanne der Brandbeanspruchung auf 20 Minuten festgelegt. Im Rahmen der Versuchsauswertung trat immer wieder das Problem auf, dass es beim Abstellen der Brenner, zu einer Erhöhung der Energie- und der Rauchfreisetzung kam. Vor allem der FIGRA-Index und der SMOGRA-Index erreichten dadurch häufig ein neues Maximum durch unvollständige Verbrennung. Die Auswertung der Messergebnisse wurde daher nach 19 Minuten in Anlehnung an den SBI-Test beendet. Um die Vergleichbarkeit zum SBI-Test zu gewährleisten wird vorgeschlagen, dass die Zeitspanne der Brandbeanspruchung auf 21 Minuten festzulegen, die Auswertung der Messergebnisse jedoch auf 20 Minuten zu begrenzen.

Die in Kapitel 7 durchgeführte Diskussion der Versuchsergebnisse zeigt auf, dass sie durchaus geeignet sind als Grundlage für eine Klassifizierung der untersuchten Fassadenaufbauten verwendet zu werden.

Analog zu der Klassifizierung von anderen Bauprodukten sollte die Beurteilung des Brandverhaltens für die Euroklassen C und D/E auf der Basis der in den ersten 10 Minuten gewonnenen Messergebnisse der Energiefreisetzung sowie auf der Basis der Feststellung der Brandausbreitung und Brandzehrung erfolgen. Die Beurteilung für die Einreihung in die Euroklassen A2/B sollte auch die Messergebnisse der Energiefreisetzung der zweiten Versuchshälfte einbeziehen.

Die in der nachfolgenden Abbildung 9.1 zusammengestellten Ergebnisse der gesamten freigesetzten Energie THR nach 10 Minuten zeigen auf, dass sich die geprüften Fassadenaufbauten in zwei deutlich unterschiedliche Gruppen aufteilen lassen. Von den Aufbauten mit der geringeren gesamten freigesetzten Energie THR setzen sich die Holzfassade mit mehr als 150 MJ und die Aluminiumverbund-Kassetten mit horizontalem Querriegel mit ca. 120 MJ ab.

Als Grenzwert zwischen den Fassadenaufbauten mit besserem und weniger gutem Brandverhalten (Euroklasse C bzw. D/E) kommt daher eine gesamte Energiefreisetzung THR zwischen 60 und 120 MJ in Betracht. Bei der Frage, wo dieser Grenzwert endgültig festgelegt wird, sollte das Gesamtverhalten der Aluminiumverbund-Kassetten-Fassaden berücksichtigt werden.



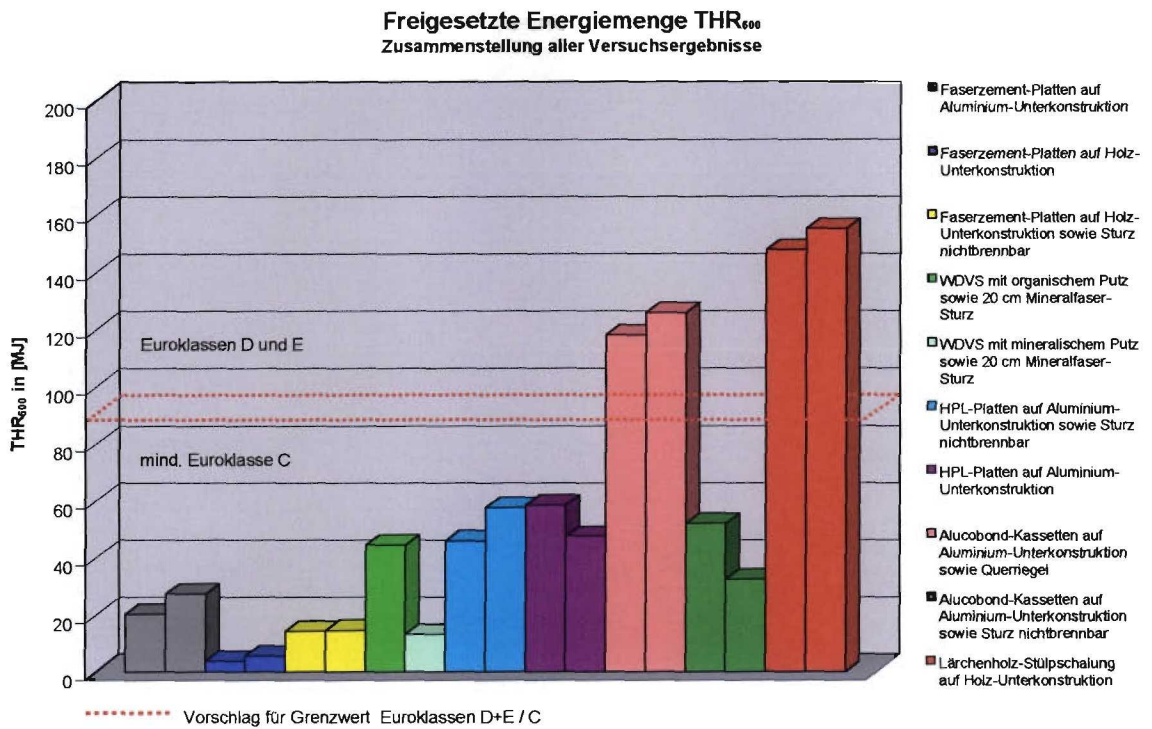


Abbildung 9.1 Gesamte freigesetzte Energie nach 10 Minuten mit Vorschlag für Grenzwert

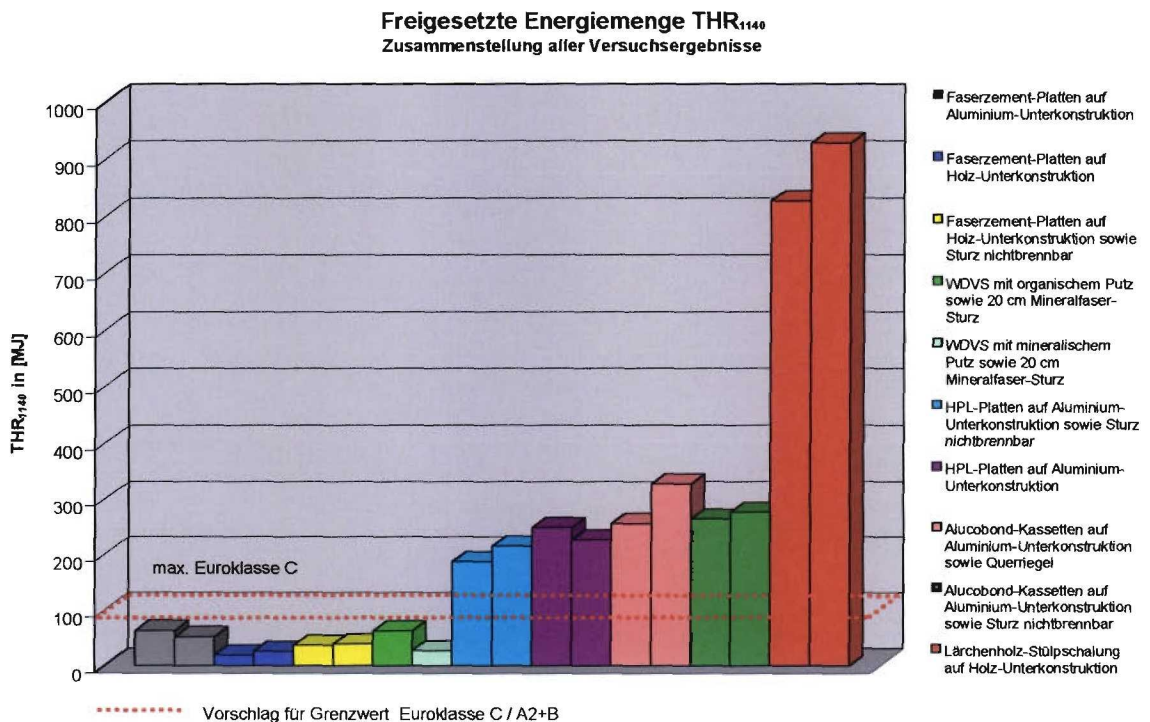


Abbildung 9.2 Gesamte freigesetzte Energie nach 19 Minuten mit Vorschlag für Grenzwert

Die Zusammenstellung der gesamten freigesetzten Energie über die gesamte Versuchsdauer (siehe Abbildung 9.2) unterscheidet deutlich zwischen der Gruppe der Fassadenaufbauten mit nichtbrennbaren Baustoffen und der Gruppe der brennbaren Fassadenaufbauten. Die Ausnahme hiervon bilden die geprüften Wärmedämmverbundsysteme, die sich im Hinblick auf die gesamte freigesetzte Energie wie die nichtbrennbaren Fassaden verhielten. Zur Unterscheidung zwischen diesen beiden Gruppen bietet sich ein Grenzwert von etwa  $100 \pm 20$  MJ an.

Wie die Abbildung 9.3 ausweist bilden sich im Hinblick auf die in den ersten 10 Versuchsminuten gemessenen FIGRA-Indexe relativ wenig unterschiedliche Gruppen mit Werten bis zu 1000 W/sec, aus der nur die Holzfassade mit deutlich mehr als 3000 W/sec herausragt. Der Grenzwert zwischen den Euroklasse C und D/E wäre demnach bei etwa  $2000 \pm 500$  W/sec festzulegen.

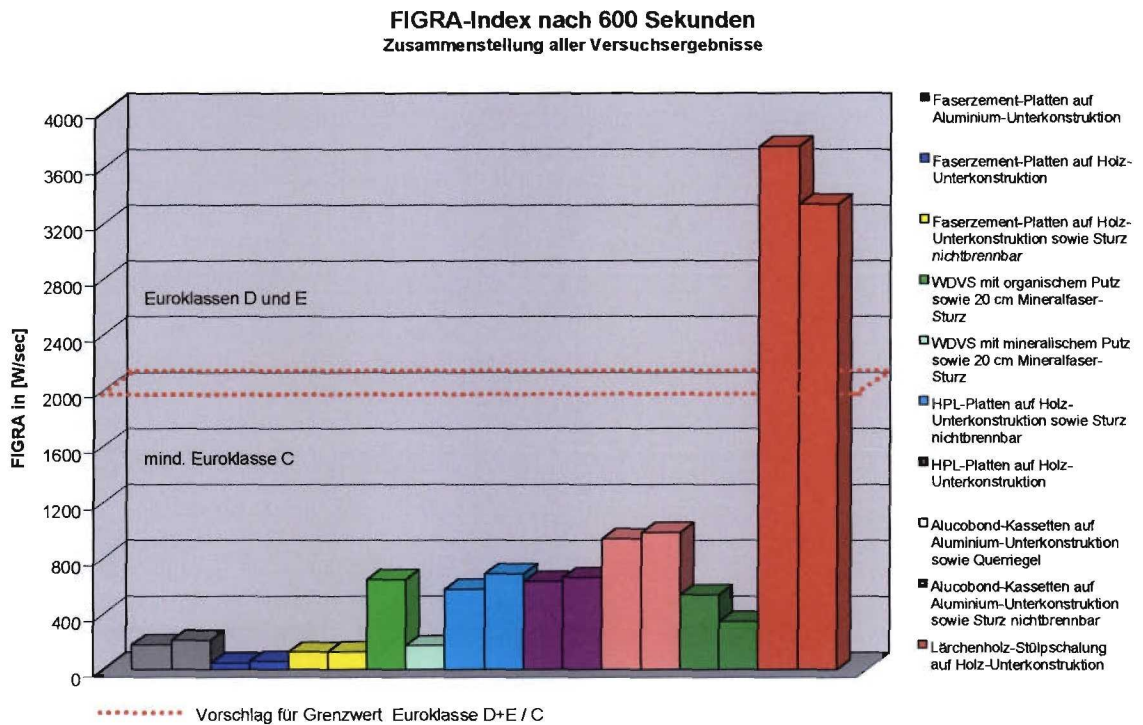


Abbildung 9.3 FIGRA-Indexe nach 10 Minuten mit Vorschlag für Grenzwert

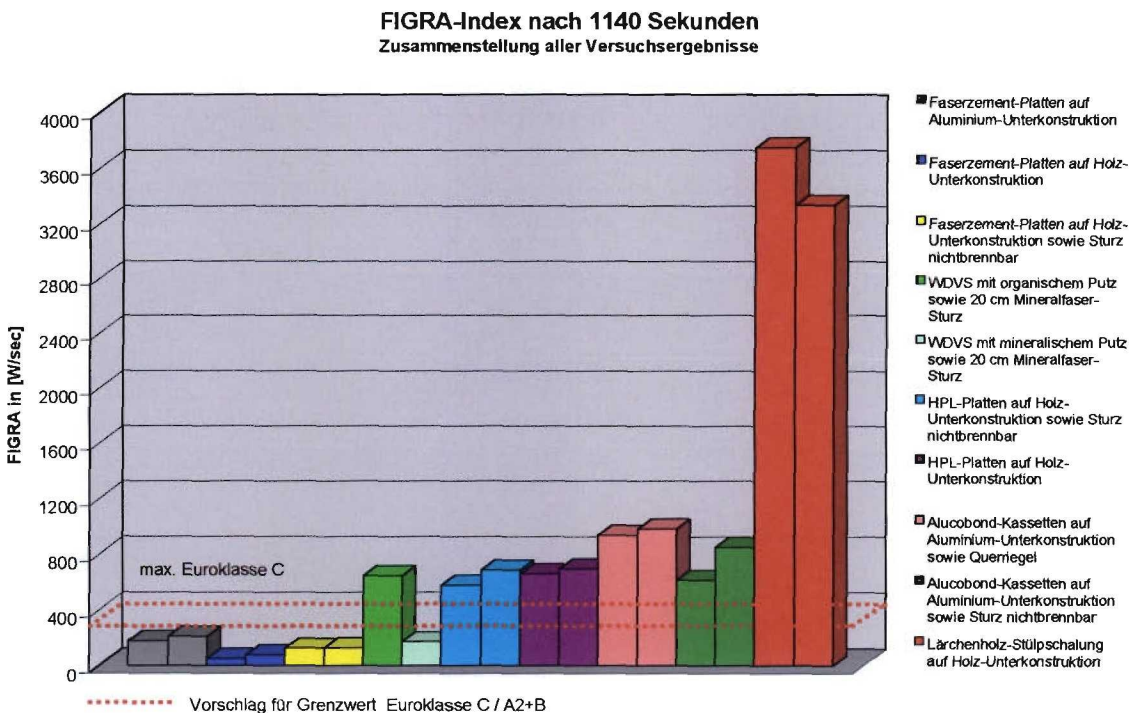


Abbildung 9.4 FIGRA-Indexe nach 19 Minuten mit Vorschlag für Grenzwert

Abbildung 9.4 zeigt eine Differenzierung zwischen den FIGRA-Indexen nach 19 Minuten Versuchsdauer bei den nichtbrennbaren Fassadenaufbauten und brennbaren Fassadenbekleidungen. In der Gruppe der nichtbrennbaren Fassaden ist jedoch auch das Ergebnis des Wärmedämmverbundsystems mit mineralischem Putz einzuordnen, das sich wie die nichtbrennbaren Fassaden verhalten hat. Eine Grenzlinie zwischen beiden Gruppen, also den Euroklasse C und A2/B, ist etwa bei 300 – 400 W/sec anzusiedeln.

Neben den Messdaten über die Energiefreisetzung sollten auch die Werte der Flammenausbreitung in die Bewertung eingehen. Wie Abbildung 9.5 zeigt, wurde bei allen brennbaren Fassadenaufbauten die Oberkante der Versuchsanordnung erreicht. Als Bedingung für die Einreihung in die Euroklassen A2/B sollte festgelegt werden, dass die Flammen nicht die Oberkante der Versuchsanordnung erreichen dürfen.

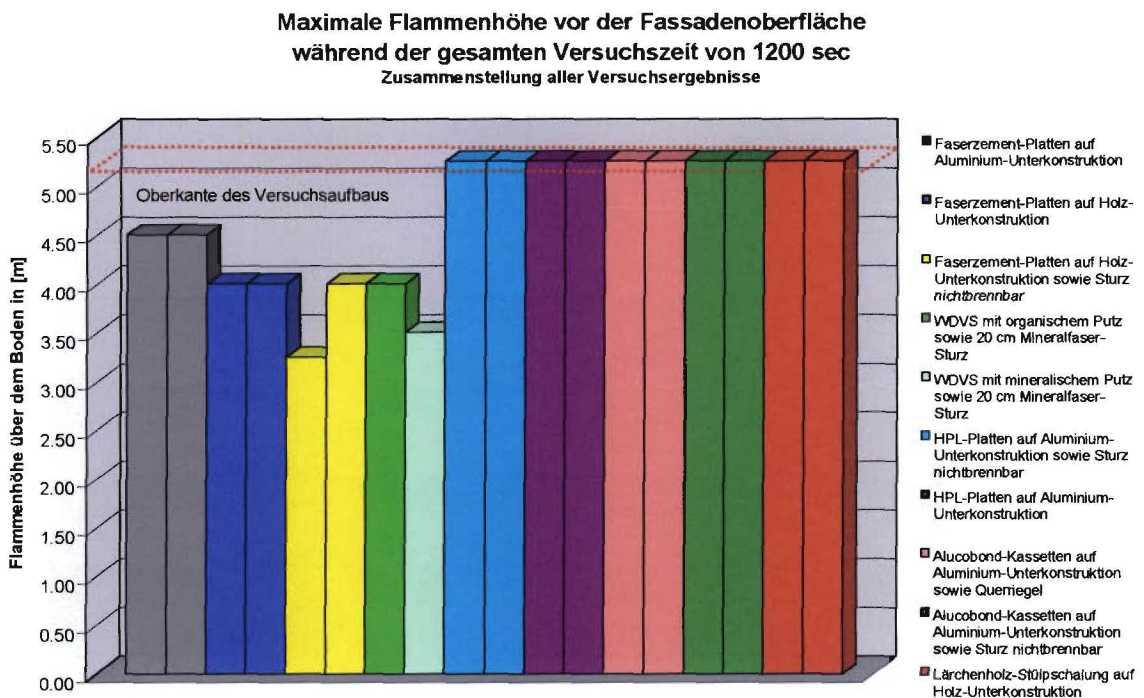


Abbildung 9.5 Maximale Flammenhöhen nach 19 Minuten

Als grundsätzliches Beurteilungsmerkmal sollte auch die seitliche Brandausbreitung herangezogen werden. Sie dokumentiert sich in einer oben breiter werdenden Brandzehrung (positiver Brandwinkel). Im Extremfall erreicht die Brandausbreitung den Rand der breiten Wand der Versuchsanordnung. Beides sollte bei Fassadenaufbauten mit besserem Brandverhalten (Euroklassen C und A2/B) nicht zugelassen werden.

Im Hinblick auf die Rauchentwicklung gestatten die Versuchsergebnisse nur wenige zuverlässige Beurteilungen und Differenzierungen der Fassadenaufbauten. Außerdem dürfte die Rauchentwicklung außen an Gebäuden von geringerer Bedeutung sein als bei Produkten, die in Innenräumen Anwendung finden. Die Festlegung von Grenzwerten wird daher nicht vorgeschlagen.

Nach den vorstehenden Ausführungen würden sich die in der nachstehende Tabelle 9.1 stehende Werte als Grundlage für die Diskussion über die Klassifizierungsgrenzen ergeben:

Euroklasse	FIGRA <sub>600</sub> in [W/sec]	FIGRA <sub>1140</sub> in [W/sec]	THR <sub>600</sub> in [MJ]	THR <sub>1140</sub> in [MJ]	Flammen dürfen an der Oberfläche Oberkante des Versuchsstandes erreichen	Flammen dürfen seitlichen Rand der langen Wand erreichen (an der Oberfläche)	Positiver Brandwinkel (> 15 - 20°) an der Oberfläche
A2		< 300 - 400		< 100 ± 20	Nein	Nein	Nein
B		< 300 - 400		< 100 ± 20	Nein	Nein	Nein
C	< 2000 ± 500		< 60 - 120		Ja	Nein	Nein
D	> 2000 ± 500		> 60 - 120		Ja	Ja	Ja
E	> 2000 ± 500		> 60 - 120		Ja	Ja	Ja

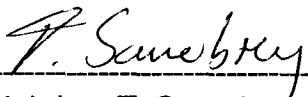
Tabelle 9.1 Übersicht über die vorgeschlagenen Klassifizierungsgrenzen



Dipl.-Ing. H.G. Klingelhöfer



Dipl.-Ing. H. Rademacher



Dipl.-Ing. T. Sauerbrey

## **Anhang zum Forschungsbericht:**

### **Literaturverzeichnis:**

- [1] Kotthoff, I. und MPFA Leipzig:  
Forschungsbericht BI5-8001 96-18, unveröffentlicht  
1. Ausfertigung, Oktober 2000

### **Normen- und Verordnungsverzeichnis:**

- [N1] DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“  
- 1 „Baustoffe“, 05/1998  
- 2 „Bauteile“, 09/1977  
- 3 „Brandwände und nichttragende Außenwände“, 09/1977  
- 4 „Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile“, 03/1994  
- 8 „Kleinprüfstand“, 05/1986  
-14 „Bodenbeläge und Bodenbeschichtungen - Bestimmung der Flammenausbreitung bei Beanspruchung mit einem Wärmestrahler, 05/1990  
-15 „Brandschacht“, 05/1990  
-16 „Durchführung von Brandschachtprüfungen“, 05/1998  
-19 „Wand- und Deckenbekleidungen in Räumen – Prüfverfahren für zusätzliche Beurteilungen“, Entwurf 12/1998  
-20 Normentwurf  
„Besonderer Nachweis für das Brandverhalten von Außenwandbekleidungen“
- [N2] DIN EN 13823 „Prüfung zum Brandverhalten von Bauprodukten – Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen“, 2/2002
- [N3] DIN EN 13501 „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten“  
-1 „Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten“, 2/2002
- [N4] BauO NRW  
„Landesbauordnung NRW“, 2000
- [N5] ISO 9705 „Fire tests – Full scale room test for surface products“, 06/1993