

Brandversuche an Holzmodulwänden

Report

Author(s):

Fontana, Mario; Frangi, Andrea; Fetz, Claudio

Publication date:

1999

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-003862498>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Originally published in:

IBK Bericht 238

Brandversuche an Holzmodulwänden

Mario Fontana
Andrea Frangi
Claudio Fetz

Institut für Baustatik und Konstruktion
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Zürich
März 1999

Vorwort

Der vorliegende Versuchsbericht dokumentiert Brandversuche an vier zweischaligen Holzwänden für Modulhotelbauten. Die Versuche wurden im Rahmen des Forschungsprojektes "Brandverhalten von Modulwänden für Expo.01 Hotels" durchgeführt, welches durch die Kommission für Technologie und Innovation des Bundesamtes für Konjunkturfragen unterstützt wird. Sie dienen als Grundlage für ein weiterführendes Forschungsprojekt zum Brandverhalten von Modulhotelräumen unter Berücksichtigung des Einflusses aktiver Massnahmen und brennbarer Oberfläche.

Holz ist ein natürlich nachwachsender und in der Schweiz in ausreichender Menge vorhandener Rohstoff, sodass der Wunsch besteht, Holz vermehrt im Bauwesen, insbesondere auch für mehrgeschossige Bauten einzusetzen. Auch im Rahmen der Revision der VKF Brandschutznorm 2003 sollen die Möglichkeiten des vermehrten Holzeinsatzes für mehrgeschossige Bauten überprüft werden. Aus brandschutztechnischer Sicht gibt es verschiedene Probleme zu lösen, welche aus der Brennbarkeit des Holzes entstehen. Neben der Feuerwiderstandsdauer gilt es insbesondere Fragen der Brandausbreitung über die brennbare Oberfläche und in Hohl- und Zwischenräumen zu beurteilen.

Für die Schweizerische Expo.01 sind Modulhotels in Holzbauweise vorgesehen. Diese Modulhotels bieten die Möglichkeit brandschutztechnische Fragen des Holzeinsatzes genauer zu untersuchen. Die nachfolgend beschriebenen Brandversuche an vier Varianten für Wandaufbauten dieser Hotels sind einerseits Grundlage für die Beurteilung und die Wahl der Wandaufbauten aus brandschutztechnischer Sicht und liefern andererseits wichtige Informationen für den Einsatz von Holz im Bereich F60 ganz allgemein.

Ich möchte an dieser Stelle den mit der Planung und Durchführung betrauten Industriepartnern und Mitarbeitern ganz herzlich danken. Industriepartner an diesem Projekt sind: Bauart Architekten, Bern, Wey Elementbau AG, Villmergen und die HPM AG, Kleindöttingen. Im weiteren wurde das Projekt auch unterstützt durch die Gebäudeversicherung des Kantons Bern. Die Versuche wurden an der EMPA in Dübendorf durchgeführt und ich möchte an dieser Stelle den Herren R. Zumbühl, U. Brunschwiler, R. Menet und R. Pasquariello für ihre Unterstützung herzlich danken. Ein besonderer Dank auch an die Herren Hp. Arm, Versuchsingenieur und die wissenschaftlichen Mitarbeiter A. Frangi, T. Maag, C. Fetz, S. Blümel und R. Wiederkehr, welche die Versuche in kurzem Zeitraum erfolgreich durchgeführt haben und den vorliegenden Versuchsbericht verfassten.

Zürich, März 1999

Prof. Dr. Mario Fontana

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Der Wettbewerb "Modulhotel"	1
1.2	Modulhotels in Holzbauweise und Brandschutz	5
2	Versuchsaufbau	5
2.1	Versuchskörper	5
2.2	Versuchseinrichtung	6
2.3	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	7
2.4	Messeinrichtung	8
3	Materialeigenschaften	8
4	Brandversuche	8
4.1	Wand 1	8
4.1.1	Querschnittsaufbau	8
4.1.2	Beobachtungen	9
4.1.3	Temperaturen	9
4.1.4	Energieverbrauch	11
4.1.5	Bilder	11
4.2	Wand 2	12
4.2.1	Querschnittsaufbau	12
4.2.2	Beobachtungen	12
4.2.3	Temperaturen	13
4.2.4	Energieverbrauch	15
4.2.5	Bilder	15
4.3	Wand 3	16
4.3.1	Querschnittsaufbau	16
4.3.2	Beobachtungen	16
4.3.3	Temperaturen	17
4.3.4	Energieverbrauch	18
4.3.5	Bilder	19
4.4	Wand 4	20
4.4.1	Querschnittsaufbau	20
4.4.2	Beobachtungen	20
4.4.3	Temperaturen	21
4.4.4	Energieverbrauch	23
4.4.5	Bilder	23
5	Abbrandraten und Restquerschnitte (BSH-Rahmen)	24
6	Zusammenstellung und Folgerungen	25

7	Rechnerische Durchbrandzeiten nach ENV 1995-1-2	26
7.1	Bemessungsregeln	26
7.2	Rechnerische Durchbrandzeiten	27
7.2.1	3-Schichtplatte	27
7.2.2	Pavatherm	27
7.2.3	Pavatex	27
7.2.4	Fermacell	27
7.2.5	Steinwolle	27
7.3	Zusammenstellung und Vergleiche	28
8	Literatur	28
Anhang A	Versuchseinrichtung	29
Anhang B	Versuchsaufbau	30
B.1	Wand 1	30
B.2	Wand 2	31
B.3	Wand 3	32
B.4	Wand 4	33
Anhang C	Temperaturen	34
C.1	Wand 1	34
C.2	Wand 2	40
C.3	Wand 3	46
C.4	Wand 4	52
Anhang D	Bilder	61
D.1	Wand 1	61
D.2	Wand 2	65
D.3	Wand 3	70
D.4	Wand 4	74
Anhang E	Restquerschnitte	79
E.1	Wand 1	79
E.2	Wand 2	80
E.3	Wand 3	81
E.4	Wand 4	82
	Zusammenfassung	83
	Summary	84

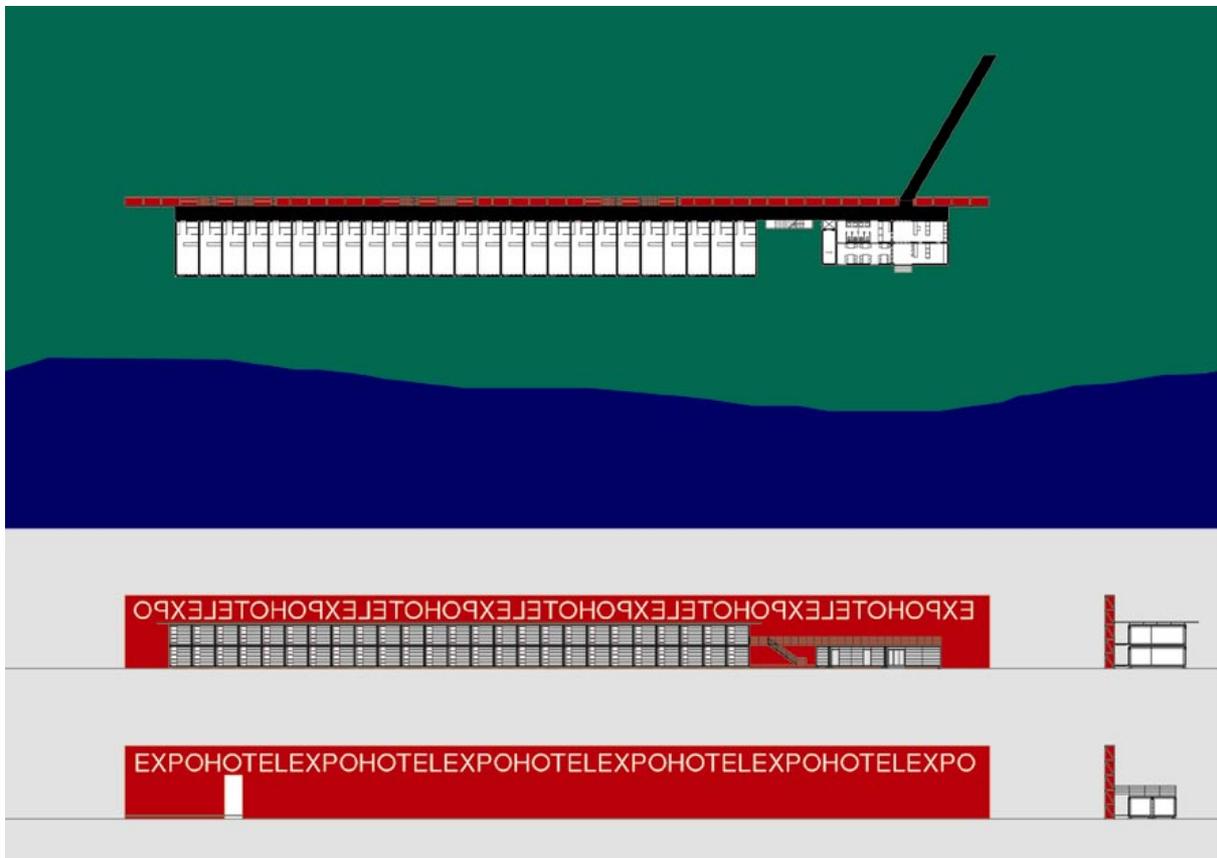
1 Einleitung

1.1 Der Wettbewerb "Modulhotel"

Im Herbst 1996 lancierte die EXPO.01 - zusammen mit dem Hotelierverein und der Schweizerischen Holzwirtschaftskonferenz - den Wettbewerb "Modulhotel". Zielsetzung war, Lösungsvorschläge für Bausysteme zur Beherbergung an der EXPO.01 zu erhalten, welche technisch und wirtschaftlich machbar sind und einen neuen Markt im Bereich der Low-Budget-Hotellerie abdecken könnten. Zu diesem Zweck haben sich 68 Teams aus Planern und Produzenten gebildet, welche einen Projektvorschlag eingereicht haben.

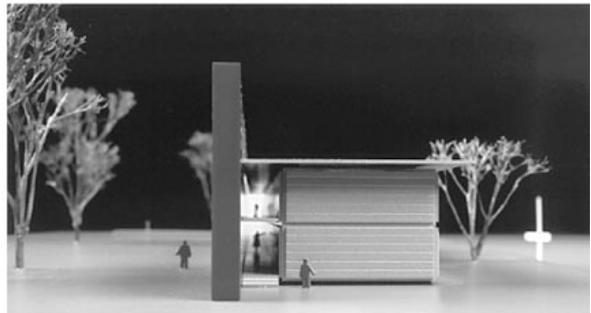
Aus diesen 68 Projektvorschlägen wurden in verschiedenen Kategorien 20 ausgewählt und in Thun an einer Veranstaltung mit dem Namen "BloxTrend 2001 Modulhotel-Market" interessierten Investoren vorgestellt. An dieser Veranstaltung wurden teilweise bereits Modelle im Masstab 1:1 ausgestellt.

In den nachfolgenden Bildern ist das Projekt "EXPOHOTEL" dargestellt, welches mit fünf anderen Projekten in der Kategorie 1 ausgezeichnet wurde, und die Grundlage bildet für die in diesem Bericht beschriebenen Brandversuche.





TELEXPORHOTEL EXPOH



1.2 Modulhotels in Holzbauweise und Brandschutz

Aus dem Wettbewerb sind verschiedene Lösungen in Holzbauweise hervorgegangen, insbesondere das oben beschriebene Projekt "EXPOHOTEL". Die geltenden Brandschutzvorschriften lassen die Verwendung von brennbaren Baustoffen für mehrgeschossige Hotelbauten jedoch nicht zu. Im Sinne einer Ausnahmegenehmigung sind die betroffenen kantonalen Feuerpolizeibehörden unter Federführung der Feuerpolizei des Kantons Bern aber bereit, die ökologisch günstige Holzbauweise zuzulassen. Voraussetzung einer solchen Zulassung ist jedoch der Nachweis eines akzeptierbaren Brandrisikos.

Als Grundlage für die brandschutztechnische Beurteilung sind verschiedene theoretische und experimentelle Untersuchungen vorgesehen. In einer ersten Phase wurden 4 verschiedene Wandaufbauten im Hinblick auf ihre brandabschnittsbildende Wirkung mittels Brandversuchen am Vertikalofen der EMPA in Dübendorf untersucht. Der vorliegende Bericht zeigt die Resultate dieser 4 Brandversuche und schafft projektbezogene Grundlagen für die Dimensionierung der Hotel-Module bezüglich Brandsicherheit. In einer zweiten Phase sind Grossversuche an kompletten Hotel-Modulen vorgesehen. Diese Versuche werden auf der Grundlage der durchgeführten Wandversuche geplant.

Mit der Einführung der Eurocodes wurden auch Berechnungsverfahren für die Bestimmung des Feuerwiderstandes von raumabschliessenden Elementen in Holzbauweise vorgeschlagen. Diesen Berechnungsmethoden für raumabschliessende Elemente wird zum Teil noch mit Skepsis begegnet, weil Kenntnisse zum Einfluss von Fugen und der Detailausbildung und deren experimentelle Nachweise noch ungenügend sind. Die durchgeführten Brandversuche liefern projektbezogene Grundlagen zur Überprüfung der Rechenverfahren.

2 Versuchsaufbau

2.1 Versuchskörper

Die Entwürfe für die Modulhotels stammen vom Büro "Bauart-Architekten" aus Bern. Auf Grund verschiedener Varianten für die Wandaufbauten wurden die Ausführungspläne für die Versuchskörper durch die Bauart-Architekten erstellt.



Abbildung 1 Wandaufbau in den Betonrahmen des Vertikalofens

Für die Brandversuche im Vertikalofen wurden vier verschiedene Wandelementtypen durch die Firma Wey Elementbau AG, Villmergen, erstellt. Die Abmessungen wurden derart gewählt, dass sie den Betonrahmen des Vertikalofens der Prüfanstalt vollständig ausfüllen (3 m x 3 m).

Die Versuchskörper wurden so entworfen, dass sie die Situation zweier benachbarter Hotelzimmer simulieren. Die zweiseitigen Prüfkörper bestanden aus einem BSH-Rahmen und der darin eingebauten Modulwand. Der BSH-Rahmen soll auch in der Ausführung als Traggerippe für die Holz-

module dienen. Die Eckverbindungen der Konstruktionshölzer wurde mit einem Nagelblech ausgeführt. Alle Teile der Modulwand wurden auf die Pfosten-Riegel-Konstruktion montiert. Um die Fugen zwischen den einzelnen Hotelzimmer zu simulieren wurde in den Versuchskörpern ein Luftspalt von 20 mm eingebaut.

2.2 Versuchseinrichtung

Die Brandversuche wurden von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) in Dübendorf im Vertikalofen durchgeführt. Der Brandraum weist eine Breite und eine Höhe von ca. 3.0 m auf, wird durch je drei in den beiden Seitenwänden des Ofens angeordneten Ölbrenner beheizt und verfügt über zwei in dem hinteren Wand des Ofens integrierte Beobachtungsfenster. Details des Vertikalofens sind in den Abbildungen 2 und 3 und im Anhang A ersichtlich.



Abbildung 2 Ansicht des Vertikalofens bei der EMPA in Dübendorf

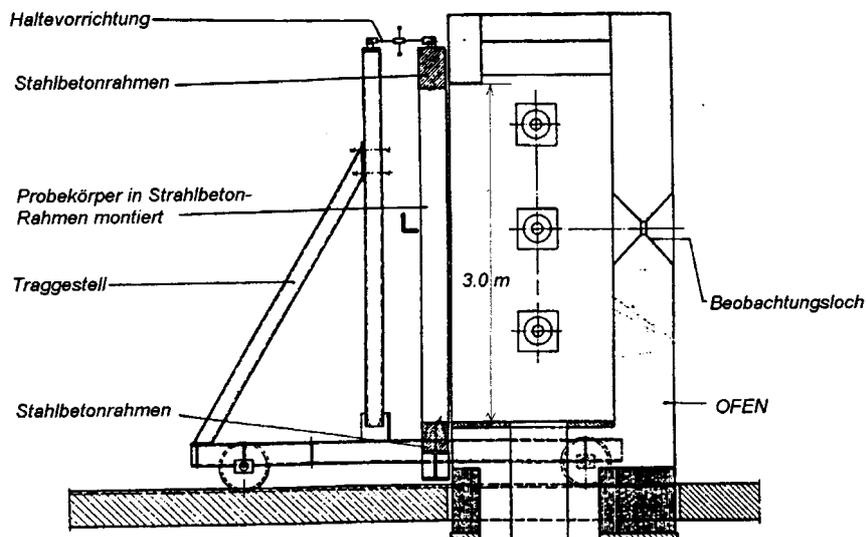


Abbildung 3 Vertikalofen bei der EMPA in Dübendorf

2.3 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Die Versuchswände wurden im Stahlbetonrahmen von 20 cm Dicke und einem lichten Mass von 3.0 m x 3.0 m eingebaut. Der genaue Aufbau ist in Abbildung 4 anhand des ersten Versuches ersichtlich. Die detaillierten Pläne der vier Wandaufbauten sind im Anhang B dargestellt.

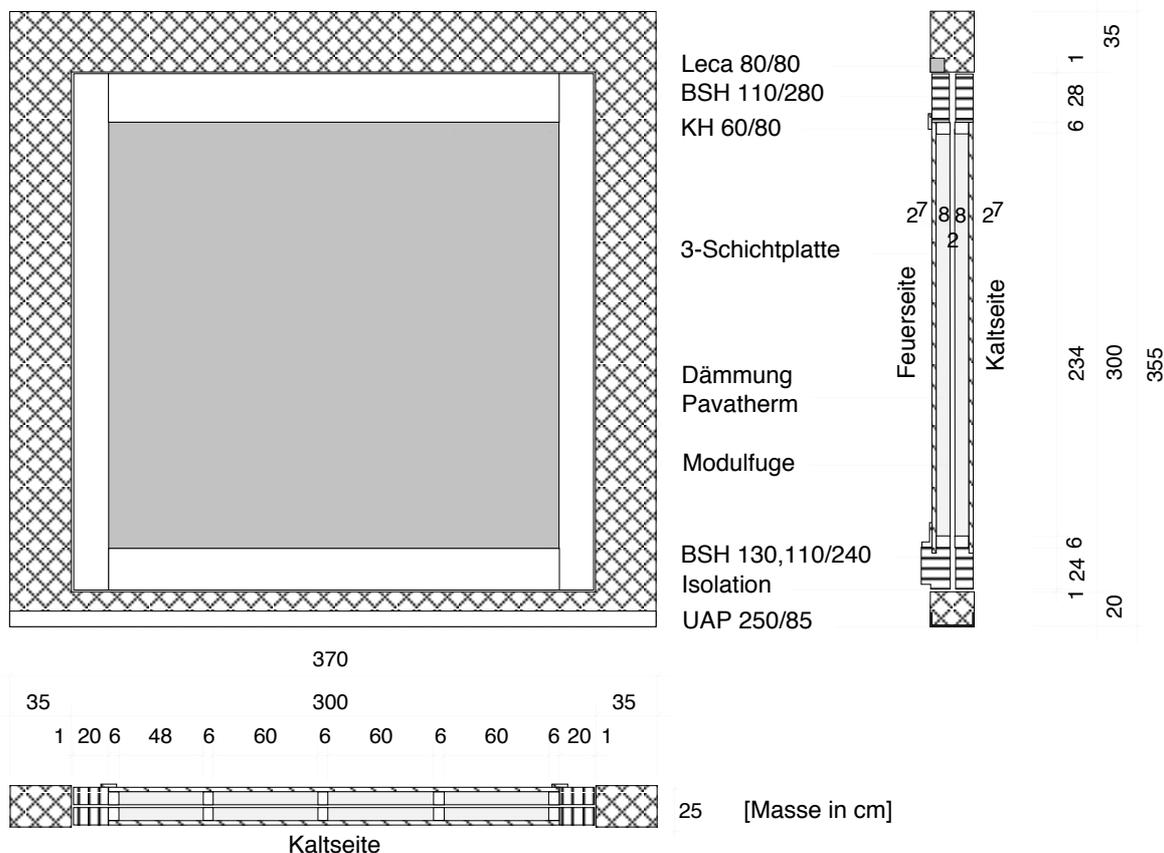


Abbildung 4 Wandaufbau Brandversuch 1

Die Feuerwiderstandsprüfungen wurden am 7., 12., 21. und 24. August 1998 durchgeführt und dauerten jeweils bis zum ersten Anzeichen eines Durchbrandes auf der nicht beflamten Seite.

Für die Temperaturmessungen wurden vor dem Einbau in den Betonrahmen an den noch liegenden Wandelementen Löcher von \varnothing 4 mm von der Kaltseite her gebohrt und die Thermoelemente montiert. Darauf hin wurden die Wandelemente in den Rahmen auf eine untenliegende, 10 mm dicke Steinwollisolation gestellt und die vertikalen Fugen ebenfalls mit Steinwolle gestopft. Um während der Versuche ungünstige (aber offenen Fugen zwischen den Hotelmoduln entsprechende) Ventilationsverhältnisse zu erzeugen wurde die obere, horizontale, 10 mm dicke Fuge zu Beginn der Versuche offengelassen und erst im Verlauf der Brandversuche geschlossen. Der Zeitpunkt dafür wurde zeitlich je nach Versuch unterschiedlich gewählt. Ausschlaggebend dafür waren die ersten Anzeichen eines Flammenaustrittes durch diese Fuge.

Die Brandversuche erfolgten an unbelasteten Wandelementen.

Die Prüfung der Wandelemente erfolgte gemäss der "Wegleitung für Feuerpolizeivorschriften", Baustoffe und Bauteile, Teil B: Prüfbestimmungen, Ausgabe 1988 (mit Nachträgen 1990 und 1994).

Der Brandraum wurde durch je drei in den beiden Seitenwänden des Ofens angeordnete Ölbrenner beheizt (Brennstoff: Heizöl extra leicht). Die Temperatur der Heizgase wurde mittels acht NiCrNi-Mantelthermoelementen gemessen und als massgebende Brandraumtemperatur den Mittelwert berechnet. Die Steuerung der Brandraumtemperatur erfolgte gemäss der Einheits-Temperaturkurve (Norm ISO 834-1975). Der Druck im Brandraum wurde so eingestellt, dass er in etwa 3/4 der Wandhöhe 10 ± 1 Pa betrug.

2.4 Messeinrichtung

Während der Versuche wurden sowohl die Temperaturen gemessen als auch visuelle Beobachtungen in einem Versuchsprotokoll festgehalten. Der Temperaturverlauf innerhalb der Wand wurde mit Thermoelementdrähten Typ K, C-A der Firma Wick AG, Cham gemessen. Die Thermoelemente wurden in die von der Kaltseite her durch die Wand gebohrten Löcher von $\varnothing 4$ mm gesteckt. Pro Versuch wurden 30 bis 40 Thermoelemente in drei oder vier Gruppen so montiert, dass sie jeweils Zehnergruppen in etwa den Drittelpunkten der Wandhöhe links oder rechts des mittleren Wandriegels zu liegen kamen (vgl. Abbildung 1). Die Thermoelemente einer Gruppe hatten einen gegenseitigen Abstand von vier Zentimeter. Die genaue Anordnung ist aus den Abschnitten 4.1 bis 4.4 ersichtlich. Die Wandtemperaturen wurden in Zeitabständen von einer Minute registriert.

Die detaillierten Messergebnisse, Beobachtungen und fotografischen Abbildungen sind auf den nachfolgenden Seiten ausgewertet und tabellarisch in den Anhängen dargestellt.

3 Materialeigenschaften

Die Rahmenkonstruktion aus BSH, die Pfosten-Riegel-Konstruktion aus Kantholz sowie die Dreischichtplatten bestehen aus Fichte bzw. Tanne. Die 27 mm dicke Massivholzplatte besteht aus 3 Schichten von 6, 15 und 6 mm Dicke und weist eine Rohdichte von ca. 457 kg/m^3 auf. Die Holzfeuchtigkeit dieser Holzelemente wurde einen Tag vor dem Brandversuch mit dem elektrischen Widerstandsmessgerät H-DI-3.10 der Firma Krüger gemessen und betrug für alle Versuchskörper $12\% \pm 1\%$. Als Alternative zu den Dreischichtplatten wurden 15 mm dicke Gipsfaserplatten (Fermacell) der Firma Fels-Werke, Münsingen mit einer Dichte von ca. 1217 kg/m^3 verwendet. Die Fermacellplatten werden als nichtbrennbares Material klassifiziert.

Als Wärmedämmmaterial wurden Pavathermplatten der Firma HPM, Kleindöttingen bzw. Steinwollplatten der Firma Flumroc, Flums verwendet. Die HPM Pavathermplatten sind extraporöse Holzfasernplatten und bestehen aus zwei oder mehreren miteinander verleimten, 20 mm dicken Platten. Die Pavathermplatten bestehen zu 100% aus Holzfasern und werden als brennbares Material mit Brandkennzahl 4.3 klassifiziert. Die verwendeten Pavathermplatten weisen eine Rohdichte von ca. 165 kg/m^3 auf. Die Flumroc Steinwollplatten bestehen aus feinen Natursteinfasern, welche bei 1500°C geschmolzen wurden und sind dementsprechend quasi nicht brennbar mit äusserst schwacher Qualmbildung (Brandkennzahl 6q.3). Die verwendeten Steinwollplatten weisen eine Dichte von ca. 32 kg/m^3 auf.

4 Brandversuche

4.1 Wand 1

4.1.1 Querschnittsaufbau

Der Querschnittsaufbau der Wand 1, welcher dem Standardaufbau entspricht, ist ein mehrschichtiger Raumabschluss mit aussenliegenden 27 mm dicken Dreischichtplatten und innenliegender Pavatherm Dämmung. Der exakte Wandaufbau ist in Abbildung 5 dargestellt.

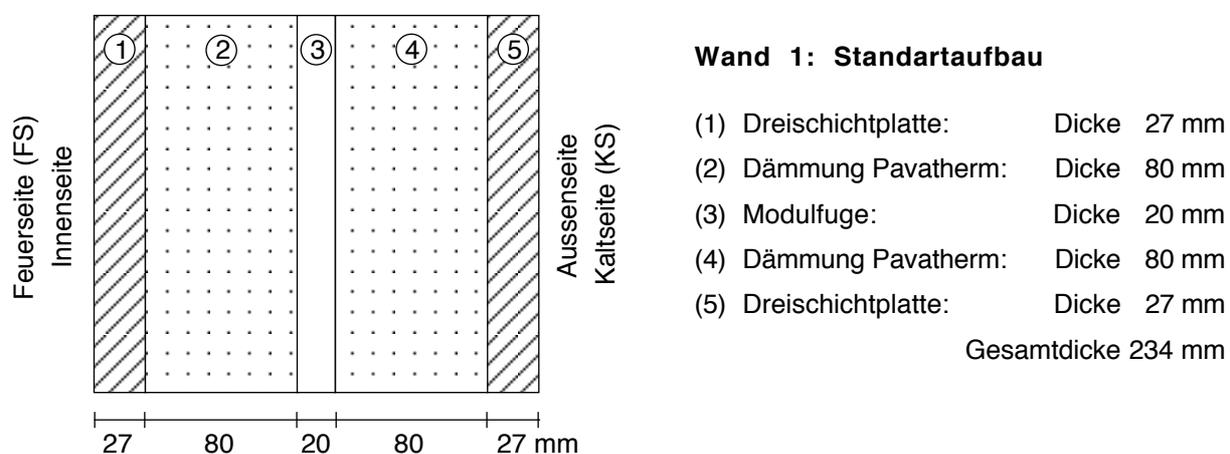


Abbildung 5 Querschnittsaufbau der Wand 1

4.1.2 Beobachtungen

Der Brandversuch wurde am 7. August 1998 am Vormittag (Startzeit 09^h07[']) durchgeführt. In der Tabelle 1 sind die während der Brandprüfung erfassten Beobachtungen aufgelistet.

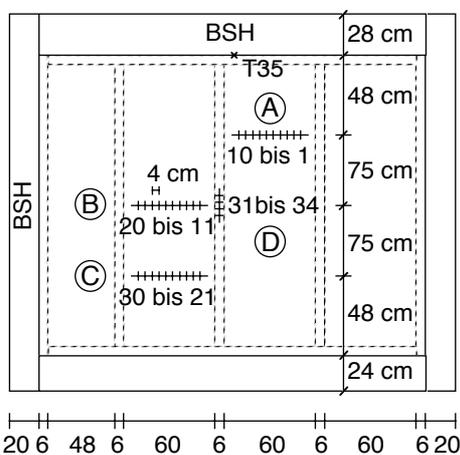
Tabelle 1 Versuchsprotokoll Wand 2 (FS = Feuerseite, KS = Kaltseite, (i)* Schicht gemäss Abb. 5)

Brandzeit [min]	Seite FS/KS	Fenster FS	Foto Nr.	Beobachtungen
3'00	FS			Entflammung Holzgallen
7'00	FS			Entflammung Dreischichtplatte (1)*
8'00	FS	links	1, 2, 3	Entflammung Dreischichtplatte (1)
28'00	FS	rechts	4, 5, 6	Holzkohle der Dreischichtplatte (1) beinahe noch komplett
30'00	FS	links	7	Abdeckbrett zum Teil weggebrannt
31'00	FS	rechts	8	Dreischichtplatte oben (1): ca. 5 cm weggebrannt
36'00	FS	rechts	9, 10, 11	Dreischichtplatte (1) weitgehend weggebrannt Fugen der Pavathermplatte (2) öffnen sich
37'00	KS			Fuge oben: Zuwachs des Rauchaustrittes
42'00	KS			Fuge oben: kurzer Flammenaustritt
45'00	KS		12, 13,14	Fuge oben: Starker Rauchaustritt
47'00		links	15,16	Fugen der Pavathermplatte (2) öffnen sich
50'00	KS			Leichter Rauchaustritt unten links Fuge oben wird gestopft
50'00	FS	rechts	17, 18	Pavatherm Leimschichten versagen zum Teil
58'00	FS	links	19	Pavathermplatte (2) abgefallen
1 ^h 06'00	FS	rechts	20, 21	Pavathermplatte (4) abgefallen
1 ^h 10'00	KS			Temperatur Holzoberfläche: 55°C ; Schraube: 70°C
1 ^h 16'00	KS		22, 23	Durchbrand durch Dreischichtplatte (5), Brandversuch beendet

4.1.3 Temperaturen

Der Temperaturverlauf innerhalb der Wand wurde während des Brandversuches mit Thermoelementen gemessen. Abbildung 6 zeigt die Lage und die Tiefe aller Thermoelemente.

Ansicht Wand 1 (Kaltseite)



Feuerseite QS Wand 1 Kaltseite

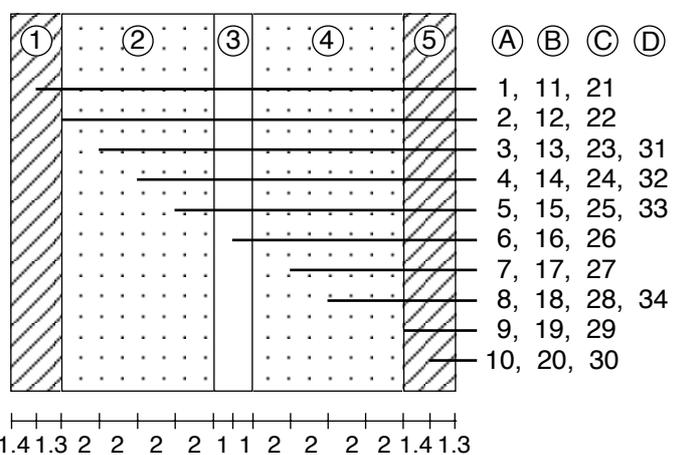


Abbildung 6 Lage und Tiefe der Thermoelemente (Masse in cm)

Mit den Thermoelementen der Gruppe D wurde die Temperatur in den mittleren Holzpfosten gemessen. Zudem wurde ein Thermoelement T35 an der Oberkante der Modulfuge montiert, um die Gastemperatur in dieser Fuge zu ermitteln. Die Ofentemperatur wurde mit 8 Thermoelementen ermittelt. Die Abbildungen 7, 8, 9 und 10 zeigen den Temperaturverlauf der Thermoelemente der Gruppen A, B, C und D. Alle Temperaturmessergebnisse sind tabellarisch im Anhang C dargestellt.

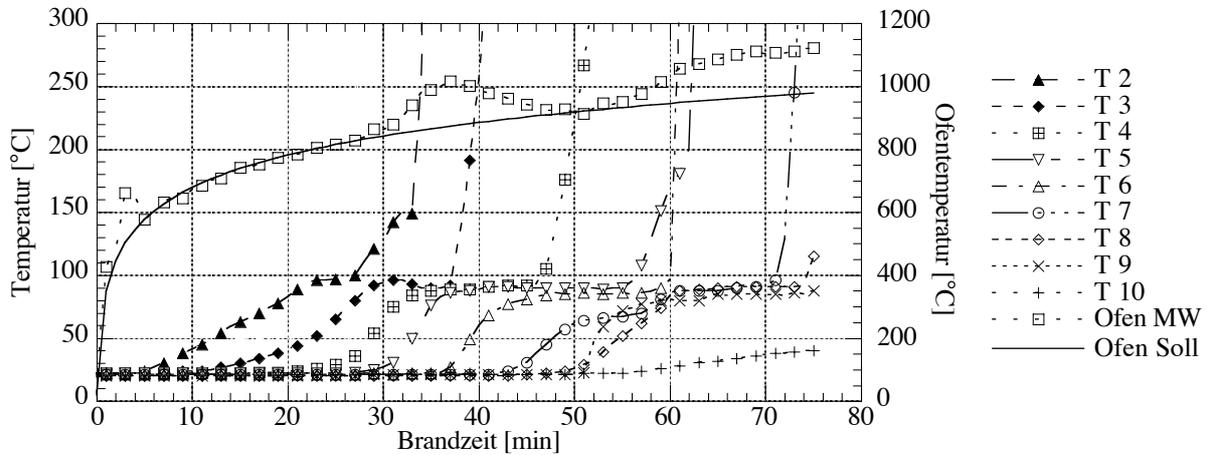


Abbildung 7 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe A (oben rechts)

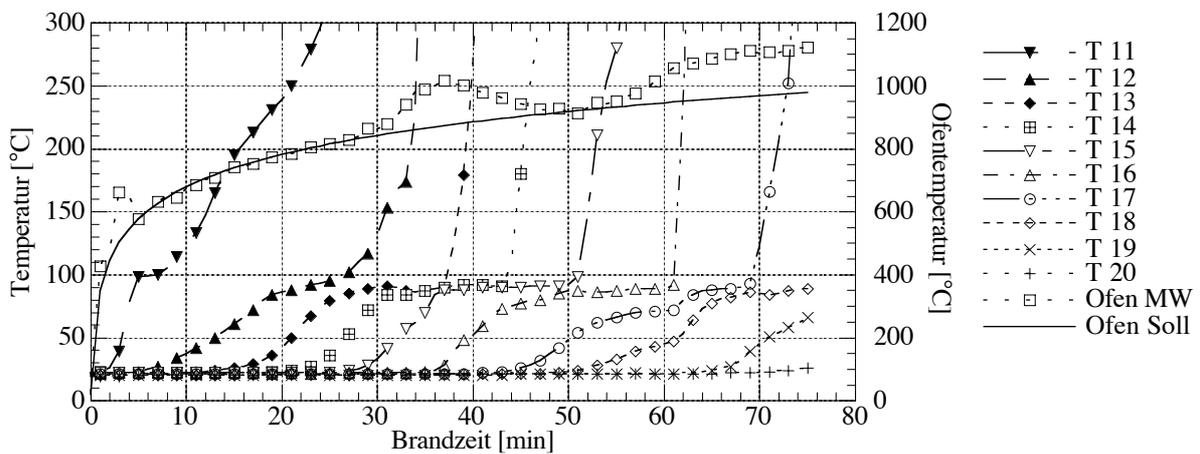


Abbildung 8 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe B (Mitte links)

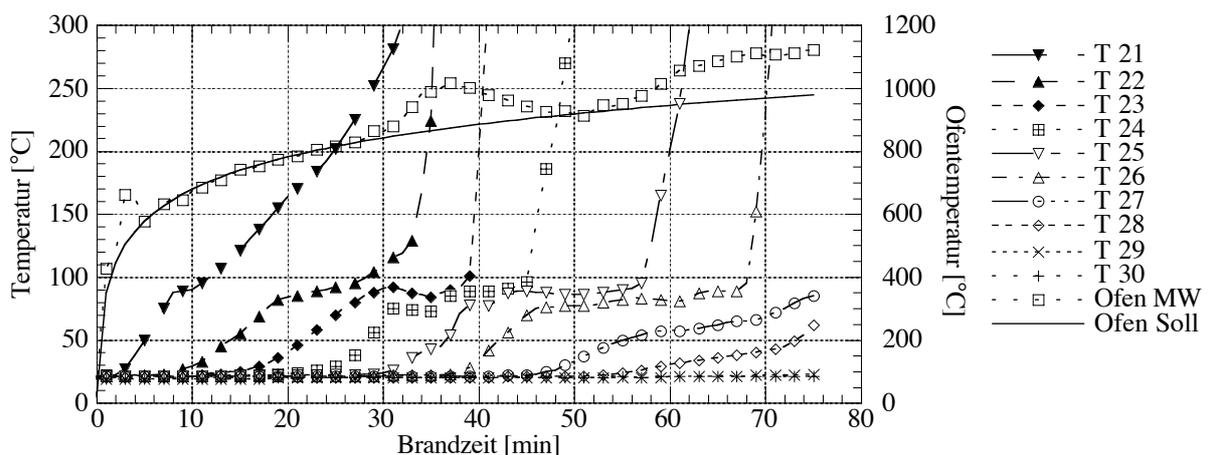


Abbildung 9 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe C (unten links)

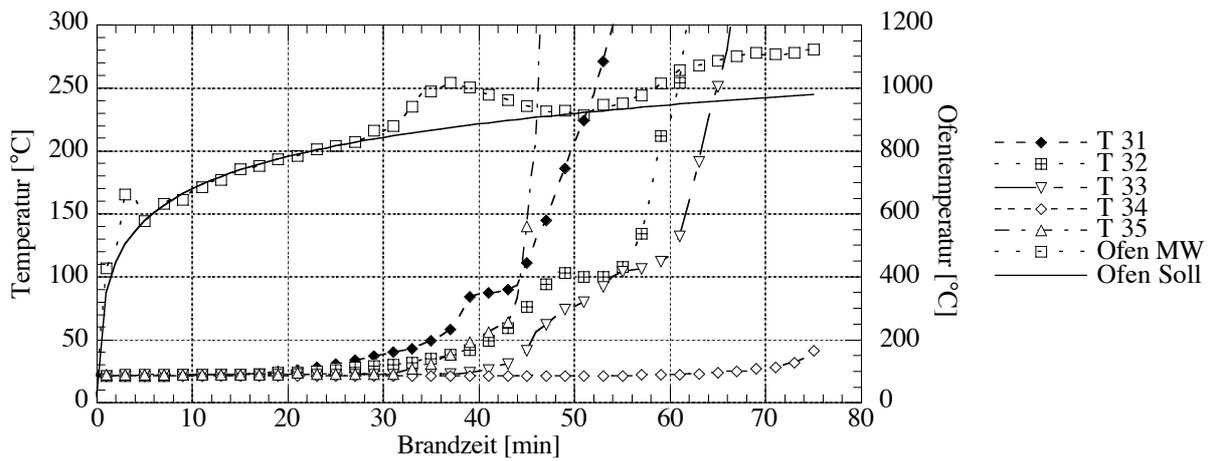


Abbildung 10 Temperaturen der Thermoelemente T35 (Fuge oben) und der Gruppe D (Holzpfosten Mitte)

4.1.4 Energieverbrauch

Der Heizölverbrauch, der erforderlich war, um im Ofen die Temperaturen der ISO-Normbrandkurve gewährleisten zu können, ist in Abbildung 11 dargestellt. Der gesamte Heizölverbrauch von Minute 0 bis Minute 75 beträgt 24.7 l, der Heizölverbrauch für die erste halbe Stunde 13.8 l.

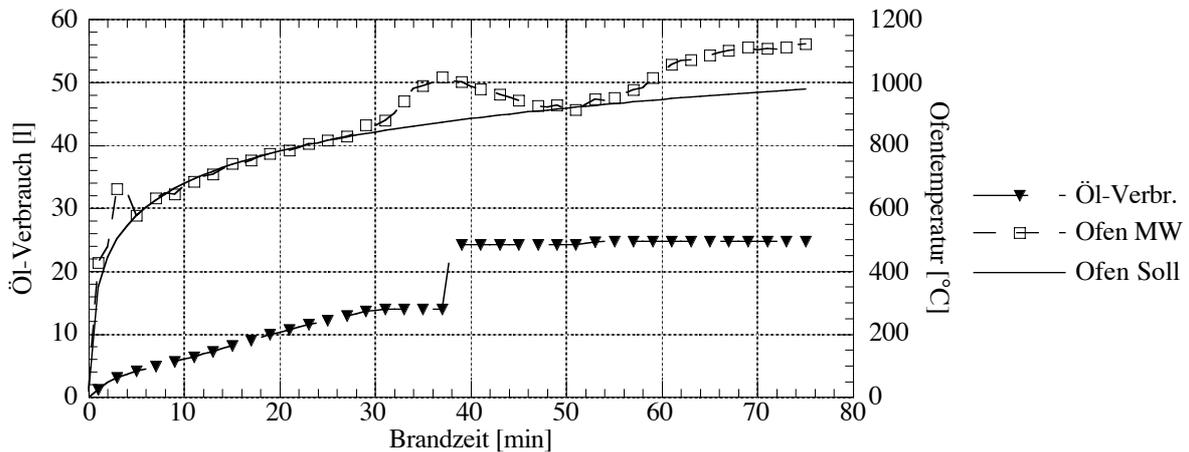


Abbildung 11 Heizölverbrauch während des Brandversuches

4.1.5 Bilder



Abbildung 12 Durchbrand durch die Wand 1 nach 76 Minuten

Die im Protokoll erwähnten Bilder sind im Anhang D dargestellt. Die Abbildung 12 zeigt den Durchbrand durch die Wand 1 nach 76 Minuten.

4.2 Wand 2

4.2.1 Querschnittsaufbau

Der Querschnittsaufbau der Wand 2 ist in Abbildung 13 dargestellt. Im Vergleich zur Wand 1 wurde als Dämmmaterial Steinwolle anstelle von Pavatherm verwendet und um ein Herausfallen zu verhindern wurden in der Modulfuge zusätzlich zwei Schichten Pavatex befestigt.

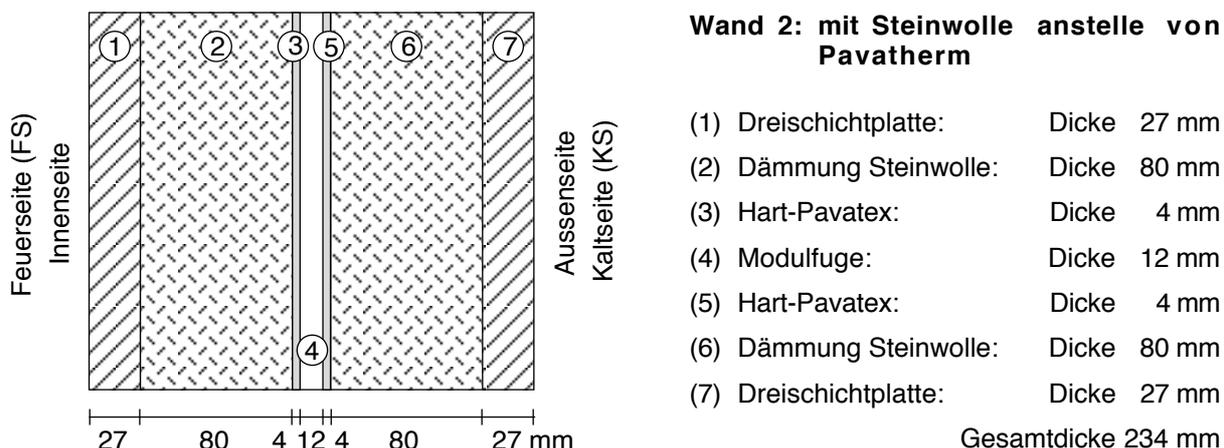


Abbildung 13 Querschnittsaufbau der Wand 2

4.2.2 Beobachtungen

Der Brandversuch wurde am 24. August 1998 am Nachmittag (Startzeit 13^h02') durchgeführt. In der Tabelle 2 sind die während der Brandprüfung erfassten Beobachtungen aufgelistet.

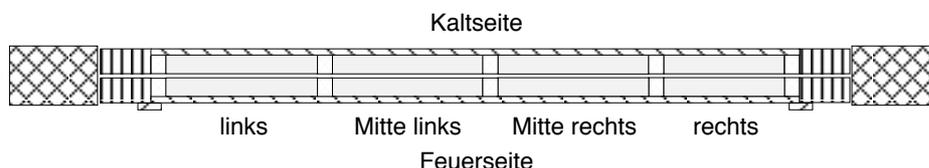


Abbildung 14 Bedeutung der im Protokoll verwendeten Bezeichnungen

Um die Lage der unterschiedlichen Elemente im Wandaufbau eindeutig zu bezeichnen, werden im Protokoll die in Abbildung 14 erwähnten Bezeichnungen verwendet.

Tabelle 2 Versuchsprotokoll Wand 2 (FS = Feuerseite, KS = Kaltseite, (i)* Schicht gemäss Abb. 13)

Brandzeit [min]	Seite FS/KS	Fenster FS	Foto Nr.	Beobachtungen
1'00	FS	rechts	1	Holzoberfläche wird langsam schwarz
2'30	FS			Entflammung Holzoberfläche Dreischichtplatte (1)*
3'00	FS			Abdeckbrett oberflächlich schon verkohlt
7'40	FS	rechts	2	Dreischichtplatte (1) oberflächlich verkohlt
10'40	FS			Kleine Stücke von Holzkohle der 1. Schicht der Dreischichtplatte (1) fallen herunter
12'00	FS	rechts	3	Weitere Stücke von Holzkohle der 1. Schicht der Dreischichtplatten (1) fallen herunter
17'00	FS	rechts	4	Grössere Stücke von Holzkohle der 1. Schicht der Dreischichtplatte (1) fallen herunter
21'00	KS			Fuge oben rechts: Rauchaustritt

Brandzeit [min]	Seite FS/KS	Fenster FS	Foto Nr.	Beobachtungen
26'30	FS			Abdeckbrett Mitte: 1. Stück von ca. 10 cm abgefallen
27'00	FS	rechts	5	Abdeckbrett Mitte: 1. Stück von ca. 10 cm abgefallen
28'00	FS	rechts	6	Abdeckbrett Mitte: 2. Stück von ca. 10 cm abgefallen
30'00	FS			Dreischichtplatte (1) oben Mitte links weggebrannt
32'00	FS	links	7	Dreischichtplatte (1) oben Mitte links weggebrannt
33'00	FS	rechts	8	Dreischichtplatte (1) oben Mitte rechts weggebrannt Steinwolle (2) Mitte dem Feuer direkt ausgesetzt
38'00	FS	links rechts	9 10	Steinwolle (2) links/Mitte links bzw. Steinwolle (2) rechts/Mitte rechts dem Feuer direkt ausgesetzt
39'00	KS			Fuge oben: heftiger Rauchaustritt
45'15	FS	links rechts	11 12	Steinwolle (2) links/Mitte links bzw. Steinwolle (2) rechts/Mitte rechts dem Feuer direkt ausgesetzt
46'00	FS			Abdeckbrett komplett abgefallen
48'30	KS		13	Fuge oben wird gestopft
49'30	FS	rechts	14	Steinwolle (2) Mitte rechts: Fuge öffnet sich
52'00	FS	links	15	Steinwolle (2) oben links scheint zu "schmelzen"
53'30	FS	rechts	16	Steinwolle (2) Mitte rechts löst sich z.T. vom Rahmen
57'00	FS	links	17	Steinwolle (2) und Pavatex (3) Mitte links abgefallen
58'30	FS			Pavatex (5) Mitte links weggebrannt
1 ^h 02'30	FS	rechts	18	Steinwolle (2) und Pavatex (3) Mitte rechts abgefallen
1 ^h 08'00	FS	links	20	Steinwolle(6) links/Mitte links dem Feuer direkt ausgesetzt
1 ^h 10'00	FS	links	21	Steinwolle (6) Mitte links weggebrannt, Dreischichtplatte (7) Mitte links dem Feuer direkt ausgesetzt
1 ^h 14'00	FS	rechts links	22 23	Steinwolle (6) rechts/Mitte rechts bzw. Dreischichtplatte (7) Mitte links dem Feuer direkt ausgesetzt
1 ^h 18'00	FS	rechts links	24 25	Steinwolle (6) rechts/Mitte rechts bzw. Dreischichtplatte (7) Mitte links dem Feuer direkt ausgesetzt
1 ^h 20'28	KS		26	Durchbrand durch Dreischichtplatte (7)

4.2.3 Temperaturen

Die Abbildung 15 zeigt die Lage und die Tiefe aller Thermoelemente.

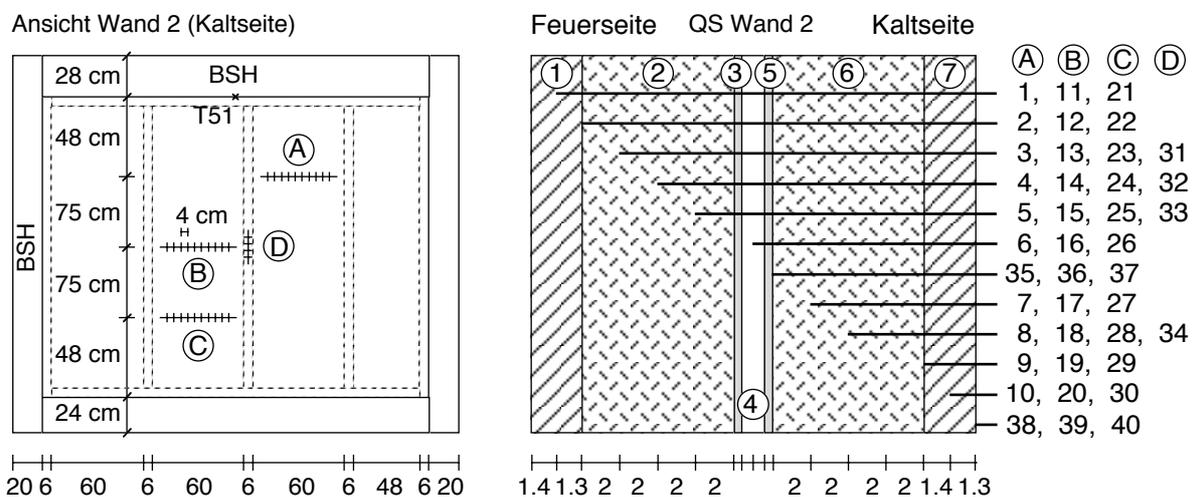


Abbildung 15: Lage und Tiefe der Thermoelemente (Masse in cm)

Mit den Thermoelementen der Gruppe D wurde die Temperatur in den mittleren Holzpfosten gemessen. Zudem wurde ein Thermoelement T51 an der Oberkante der Modulfuge montiert, um die Gastemperatur in dieser Fuge zu ermitteln. Die Abbildungen 16, 17, 18 und 19 zeigen den Temperaturverlauf der Thermoelemente der Gruppen A, B, C und D. Alle Temperaturmessergebnisse sind tabellarisch im Anhang C dargestellt.

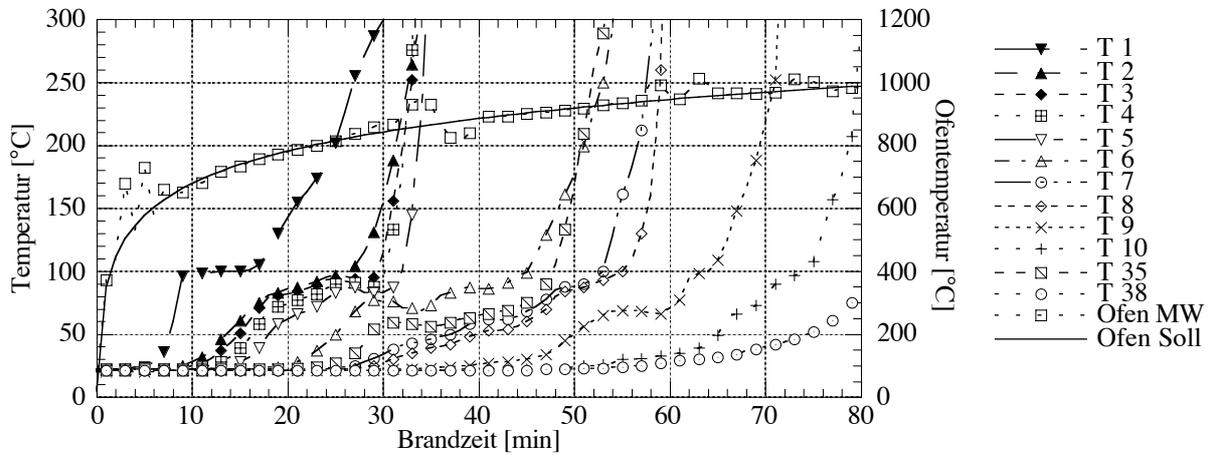


Abbildung 16 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe A (oben rechts)

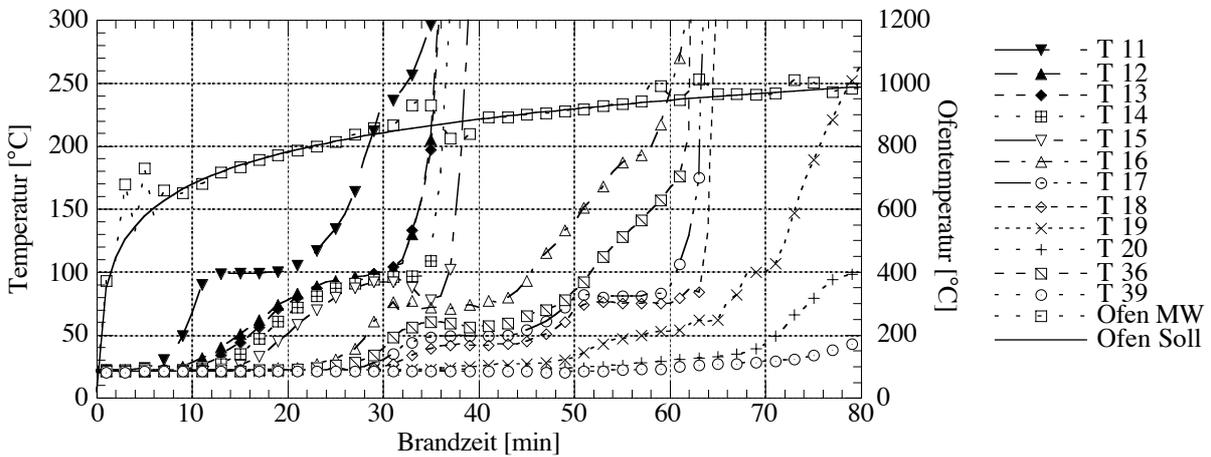


Abbildung 17 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe B (Mitte links)

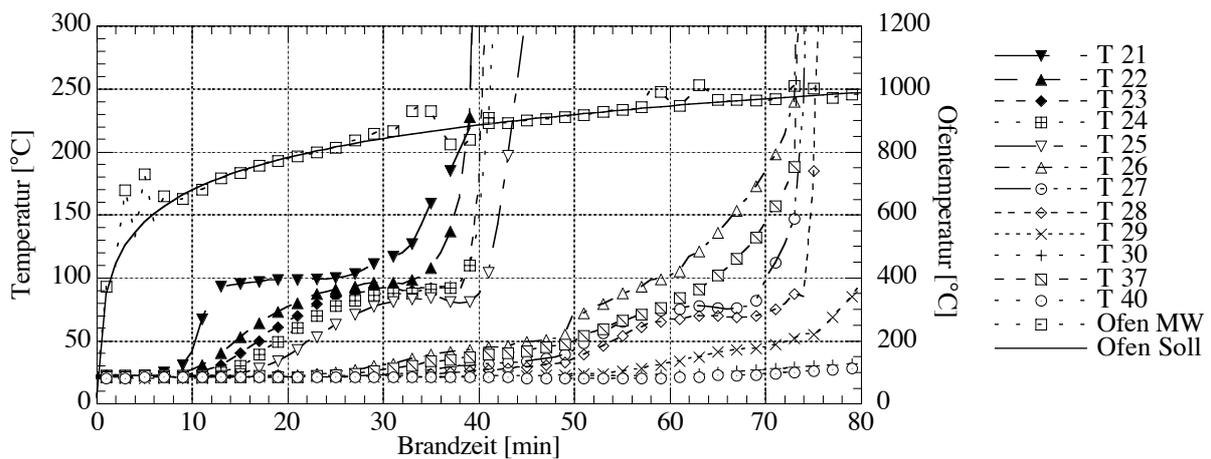


Abbildung 18 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe C (unten links)

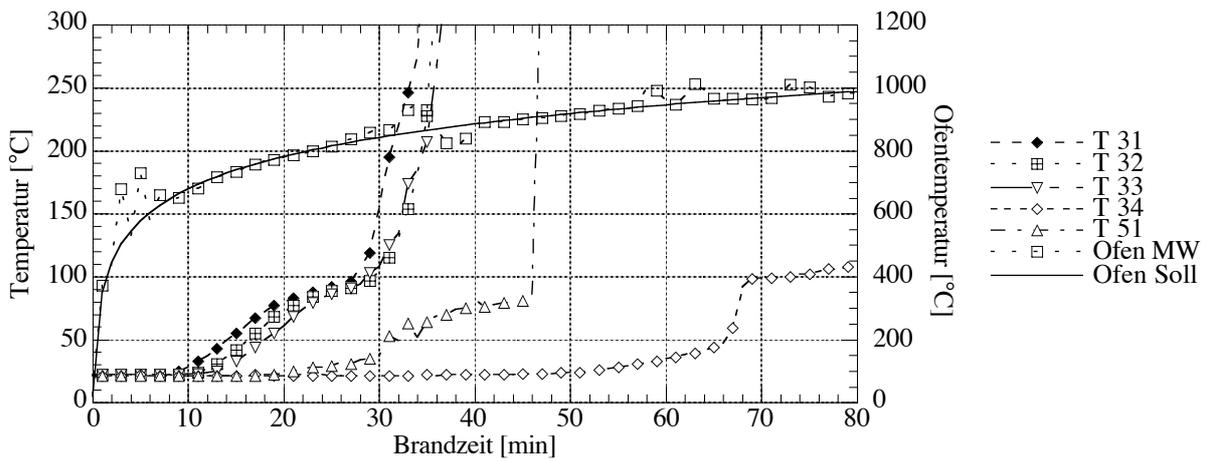


Abbildung 19 Temperaturen der Thermolemente T51 (Fuge oben) und der Gruppe D (Holzpfosten Mitte)

4.2.4 Energieverbrauch

Der Heizölverbrauch, der erforderlich war, um im Ofen die Temperaturen der ISO-Normbrandkurve gewährleisten zu können, ist in Abbildung 20 dargestellt. Der gesamte Heizölverbrauch von Minute 0 bis Minute 80 beträgt 31,8 l, der Heizölverbrauch für die erste halbe Stunde 15,1 l.

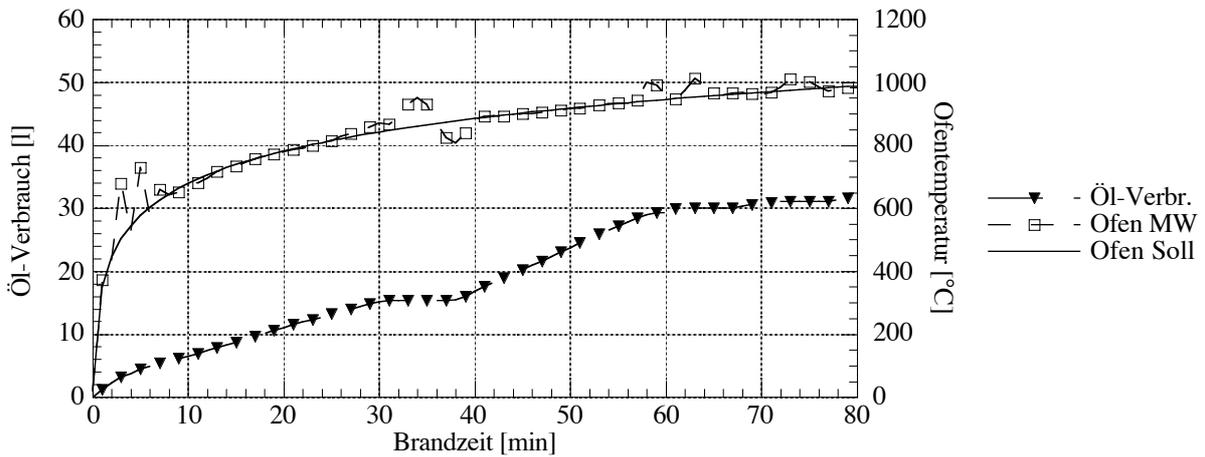


Abbildung 20 Heizölverbrauch während des Brandversuches

4.2.5 Bilder



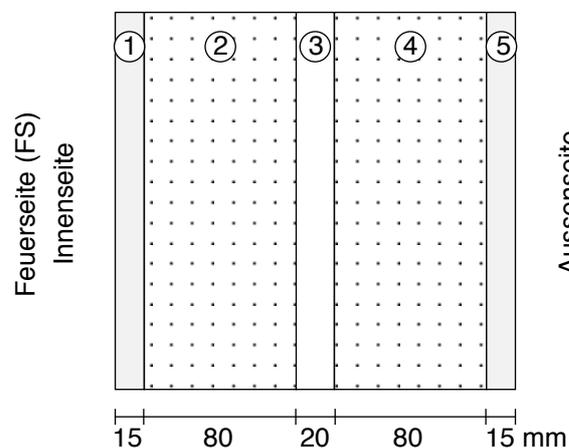
Abbildung 21 Durchbrand durch die Wand 2 nach 80 Minuten

Die im Protokoll erwähnten Bilder sind im Anhang D dargestellt. Abbildung 21 zeigt den Durchbrand durch die Wand 2 nach 80 Minuten.

4.3 Wand 3

4.3.1 Querschnittsaufbau

Der Querschnittsaufbau der Wand 3 ist in Abbildung 22 dargestellt. Im Vergleich zur Wand 1 wurden Fermacellplatten anstelle von Dreischichtplatten verwendet.



Wand 3: mit Fermacellplatten anstelle von Dreischichtplatten

- (1) Fermacellplatte: Dicke 15 mm
 - (2) Dämmung Pavatherm: Dicke 80 mm
 - (3) Modulfuge: Dicke 20 mm
 - (4) Dämmung Pavatherm: Dicke 80 mm
 - (5) Fermacellplatte: Dicke 15 mm
- Gesamtdicke 210 mm

Abbildung 22 Querschnittsaufbau der Wand 3

4.3.2 Beobachtungen

Der Brandversuch wurde am 21. August 1998 am Nachmittag (Startzeit 13^h08') durchgeführt. In der Tabelle 3 sind die während der Brandprüfung erfassten Beobachtungen aufgelistet.

Tabelle 3 Versuchsprotokoll Wand 3 (FS = Feuerseite, KS = Kaltseite, (i)* Schicht gemäss Abb.22, Bezeichnungen gemäss Abb. 14)

Brandzeit [min]	Seite FS/KS	Fenster FS	Foto Nr.	Beobachtungen
3'00	FS			Entflammung BSH-Rahmenträger
3'00	FS	rechts	1	Fermacellplatte (1)*
8'00	FS	rechts	2	BSH-Rahmenträger rechts oberflächlich verkoht
15'00	FS	links	3	BSH-Rahmenträger: Ecke oben links
21'00	FS	links	4	BSH-Rahmenträger: Ecke unten links
25'15	FS			1. Riss in Fermacellplatte (1) ganz links
26'30	FS			2. Riss in Fermacellplatte (1) ganz rechts
27'00	FS	rechts	5	2. Riss in Fermacellplatte (1) ganz rechts
28'00	FS	links	6	1. Riss in Fermacellplatte (1) ganz links
29'00	FS			Abdeckbrett fällt teilweise ab
33'00	KS			Fuge oben: stärkerer Rauchaustritt
37'00	FS	links	7	Risse in Fermacellplatte (1) links unten
40'00	FS	rechts	8	Stücke Fermacellplatte (1) rechts fallen ab
43'00	KS		9	Fuge oben: kurzer Flammenaustritt, Fuge gestopft
44'30	FS			Pavathermplatte (2) Mitte links abgefallen
46'00	KS			Fuge fertig gestopft
47'00	FS			Pavathermplatte (2) Mitte rechts abgefallen
52'30	FS	rechts	10	Pavathermplatte (4) Mitte rechts dem Feuer direkt ausgesetzt

Brandzeit [min]	Seite FS/KS	Fenster FS	Foto Nr.	Beobachtungen
57'00	FS			Pavathermplatte (4) Mitte rechts abgefallen
58'00	FS	rechts	11	Pavathermplatte (4) Mitte rechts abgefallen
1h01'00	FS	rechts	12	Fermacellplatte (5) Mitte rechts / rechts dem Feuer direkt ausgesetzt
1h02'00	KS			Temperatur Oberfläche Fermacellplatte (5): 80°C
1h03'00	FS	links	13	Pavathermplatte (4) Mitte links / links dem Feuer direkt ausgesetzt
1h05'00	FS	rechts	14/15	Fermacellplatte (5) Mitte rechts / rechts dem Feuer direkt ausgesetzt
1h11'00	KS		16/17	Durchbrand durch Fermacellplatte (5)

4.3.3 Temperaturen

Die Abbildung 23 zeigt die Lage und die Tiefe aller Thermoelemente.

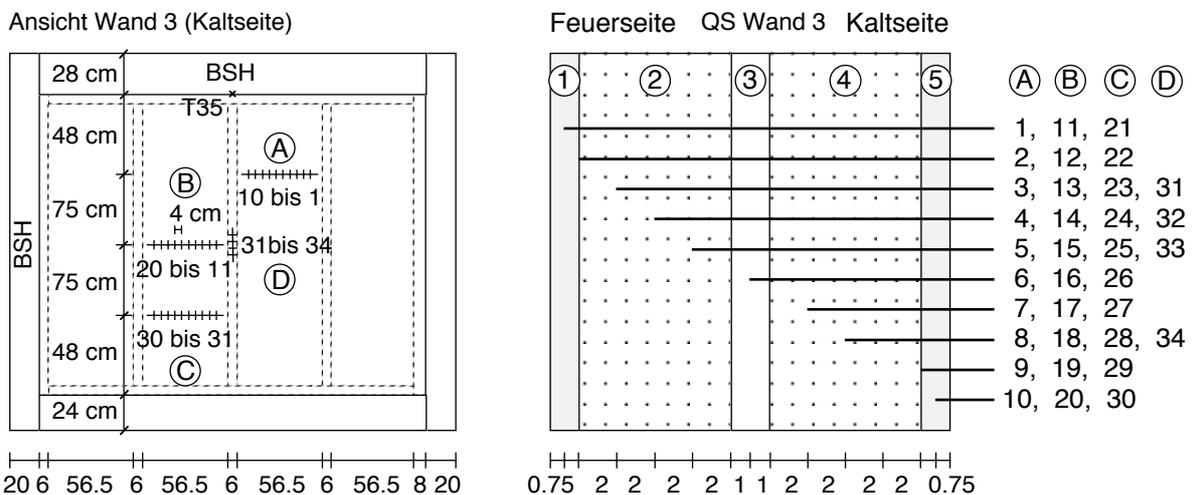


Abbildung 23 Lage und Tiefe der Thermoelemente (Masse in cm)

Mit den Thermoelementen der Gruppe D wurde die Temperatur in den mittleren Holzpfosten gemessen. Zudem wurde ein Thermoelement T35 an der Oberkante der Modulfuge montiert, um die Gastemperatur in dieser Fuge zu ermitteln. Die Abbildungen 24, 25, 26 und 27 zeigen den Temperaturverlauf der Thermoelemente der Gruppen A, B, C und D. Alle Temperaturmessergebnisse sind tabellarisch im Anhang C dargestellt.

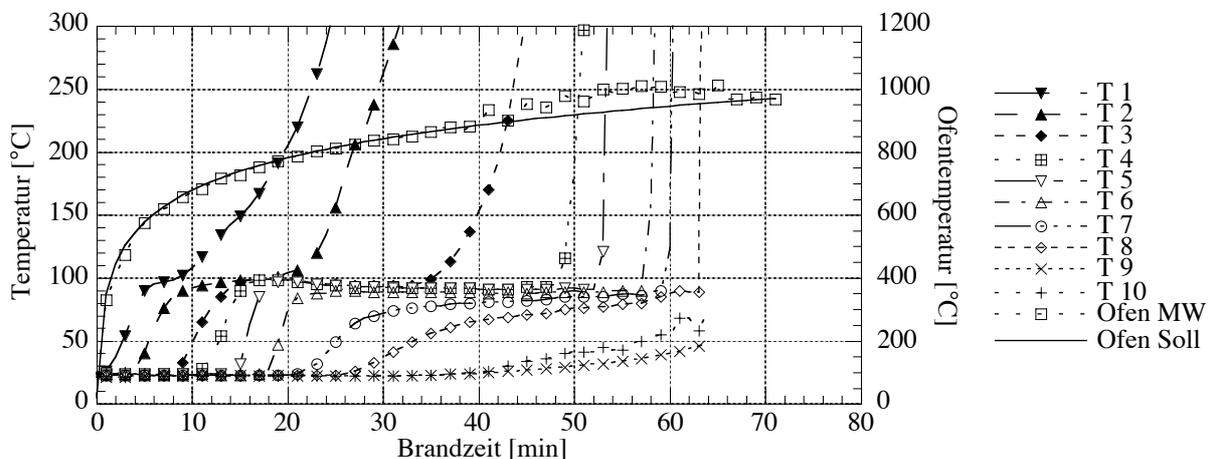


Abbildung 24 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe A (oben rechts)

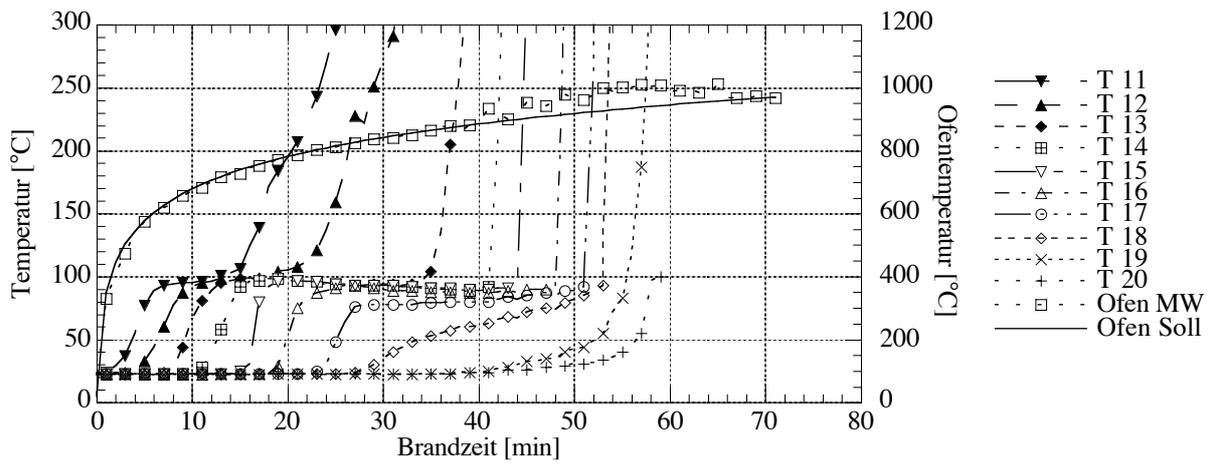


Abbildung 25 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe B (Mitte links)

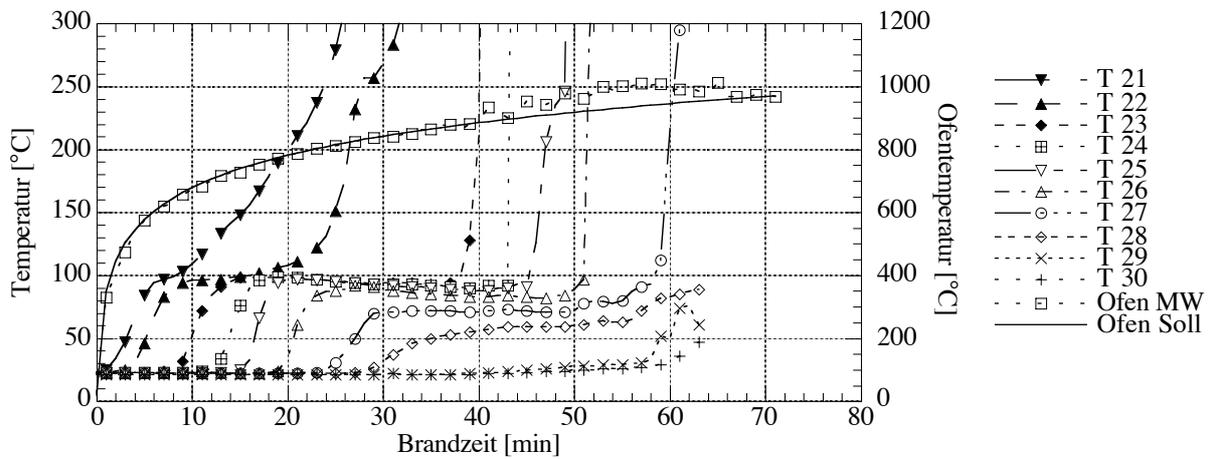


Abbildung 26 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe C (unten links)

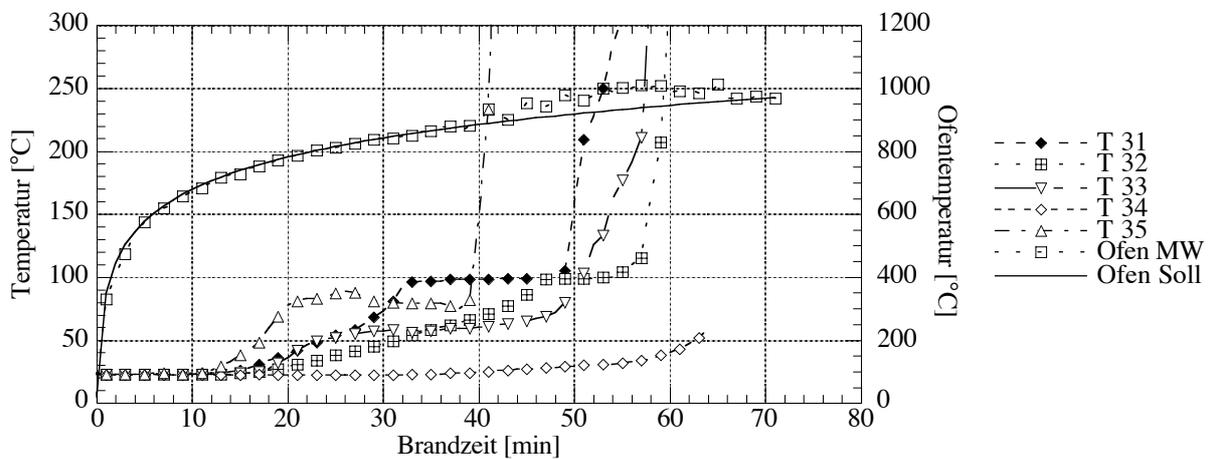


Abbildung 27 Temperaturen der Thermoelemente T35 (Fuge oben) und der Gruppe D (Holzpfosten Mitte)

4.3.4 Energieverbrauch

Der Heizölverbrauch, der erforderlich war, um im Ofen die Temperaturen der ISO-Normbrandkurve gewährleisten zu können, ist in Abbildung 28 dargestellt. Der gesamte Heizölverbrauch von Minute 0 bis Minute 71 beträgt 36.9 l, der Heizölverbrauch für die erste halbe Stunde 29.8 l.

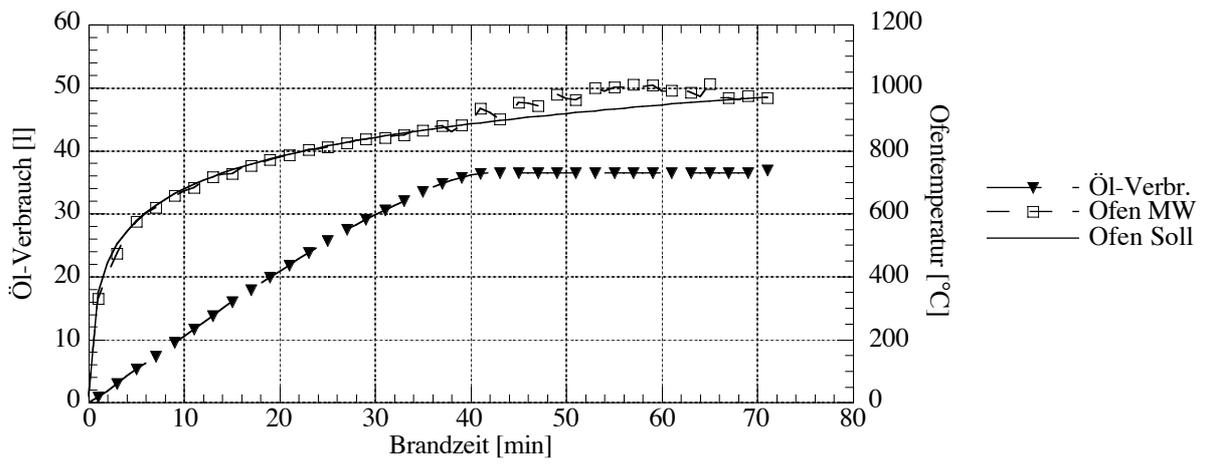


Abbildung 28 Heizölverbrauch während des Brandversuches

4.3.5 Bilder

Die im Protokoll erwähnten Bilder sind im Anhang D dargestellt. Die Abbildung 29 zeigt den Durchbrand durch die Wand 3 nach 71 Minuten.

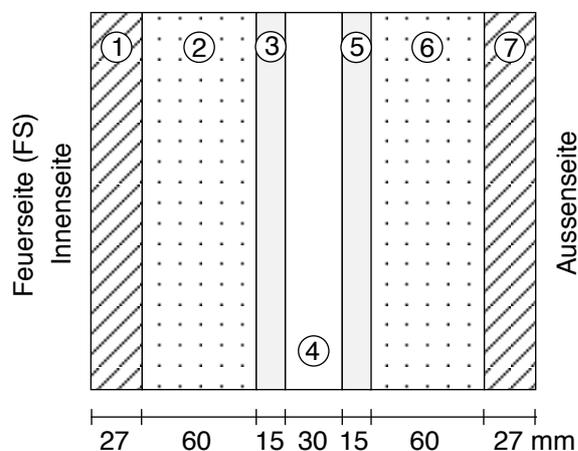


Abbildung 29 Durchbrand durch die Wand 3 nach 71 Minuten

4.4 Wand 4

4.4.1 Querschnittsaufbau

Der Querschnittsaufbau der Wand 4 ist in Abbildung 30 dargestellt. Im Vergleich zur Wand 1 wurden dünnere Pavathermplatten verwendet und als Fugenisolation wurden in der Modulfuge zwei Fermacellplatten auf die Pavathermplatten befestigt.



Wand 4: mit Fermacellplatten gegen die Modulfuge

- (1) Dreischichtplatte: Dicke 27 mm
- (2) Dämmung Pavatherm: Dicke 60 mm
- (3) Isolation Fermacell: Dicke 15 mm
- (4) Modulfuge: Dicke 30 mm
- (5) Isolation Fermacell: Dicke 15 mm
- (6) Dämmung Pavatherm: Dicke 60 mm
- (7) Dreischichtplatte: Dicke 27 mm

Gesamtdicke 234 mm

Abbildung 30 Querschnittsaufbau der Wand 4

4.4.2 Beobachtungen

Der Brandversuch wurde am 12. August 1998 am Nachmittag (Startzeit 14^h30') durchgeführt. In der Tabelle 4 sind die während der Brandprüfung erfassten Beobachtungen aufgelistet.

Tabelle 4 Versuchsprotokoll Wand 3 (FS = Feuerseite, KS = Kaltseite, (i)* Schicht gemäss Abb. 30, Bezeichnungen gemäss Abb. 14)

Brandzeit [min]	Seite FS/KS	Fenster	Foto Nr.	Beobachtungen
3'00	FS			Entflammung Holzoberfläche Dreischichtplatte (1)*
7'00	FS	links	1	Dreischichtplatte (1) oberflächlich verkohlt
11'00	FS	links	2	Holzkohlenstücke der Dreischichtplatte (1) fallen ab
24'00	FS	links	3	Holzkohlenstücke der Dreischichtplatte (1) fallen ab
27'00	FS	links	4	Abdeckbrett auf ca. 10 cm abgefallen
31'00	FS	links	5	Weitere Stücke des Abdeckbrettes abgefallen
34'00	FS			Dreischichtplatte (1) Mitte oben weggebrannt
35'00	FS	rechts	6	Dreischichtplatte (1) Mitte oben weggebrannt
38'00	KS			Fuge oben links: leichter Rauchaustritt
40'00	FS	links rechts	7 8	Pavathermplatte (2) Mitte links / links bzw. Pavathermplatte (2) Mitte rechts / rechts dem Feuer direkt ausgesetzt
41'30	KS			Fuge oben links: Rauchaustritt, Entzündung der Pyrolysegase
43'50	KS			Entzündung der Pyrolysegase
46'00	KS			Fuge oben: leichter Rauchaustritt
46'30	FS	rechts	9	Pavathermplatte (2) Mitte rechts komplett abgefallen
48'00	FS	rechts	10	Pavathermplatte (2) Mitte rechts komplett abgefallen
52'00	KS			Fuge oben: Gipswasseraustritt
54'00	FS	rechts	11/12	Fermacellplatte (3) rechts dem Feuer direkt ausgesetzt

Brandzeit [min]	Seite FS/KS	Fenster FS	Foto Nr.	Beobachtungen
56'00	KS		13	Fuge oben: Gipswasseraustritt
60'00	KS			Fuge oben: Rauchaustritt nimmt zu
1h01'00	FS			Riss in Fermacellplatte (3) oben links
1h02'00	FS		14	Riss in Fermacellplatte (3)
1h05'00	FS		15	Riss in Fermacellplatte (3)
1h07'00	FS KS		16	Fermacellplatte (3) öffnet sich Fuge oben wird gestopft
1h12'00	FS		17	Fermacellplatte (3) öffnet sich in der Mitte weiter
1h16'00	FS			Fermacellplatte (3) Mitte rechts und Holzpfosten teilweise abgefallen:
1h20'00	FS	rechts	18/19 20	Fermacellplatte (3) Mitte rechts und rechts abgefallen, Riss in Fermacellplatte (5) oben Mitte links
1h32'00	FS		21/22	Viele Risse in Fermacellplatte (5)
1h42'00	FS		23	Pavathermplatte (6) Mitte rechts abgefallen
1h45'00	KS			Starke knackende Geräusche Dreischichtplatte (7) ca. 2 mm nach innen gebogen
1h51'00	KS			Temperatur Holzoberfläche: 50°C, Schraube: 85°C
1h51'00	FS	rechts links	24 25	Dreischichtplatte (7) Mitte rechts bzw. Pavathermplatte (6) Mitte links dem Feuer direkt ausgesetzt
1h53'00	KS		26, 27	Durchbrand durch Dreischichtplatte (7)

4.4.3 Temperaturen

Die Abbildung 31 zeigt die Lage und die Tiefe aller Thermoelemente.

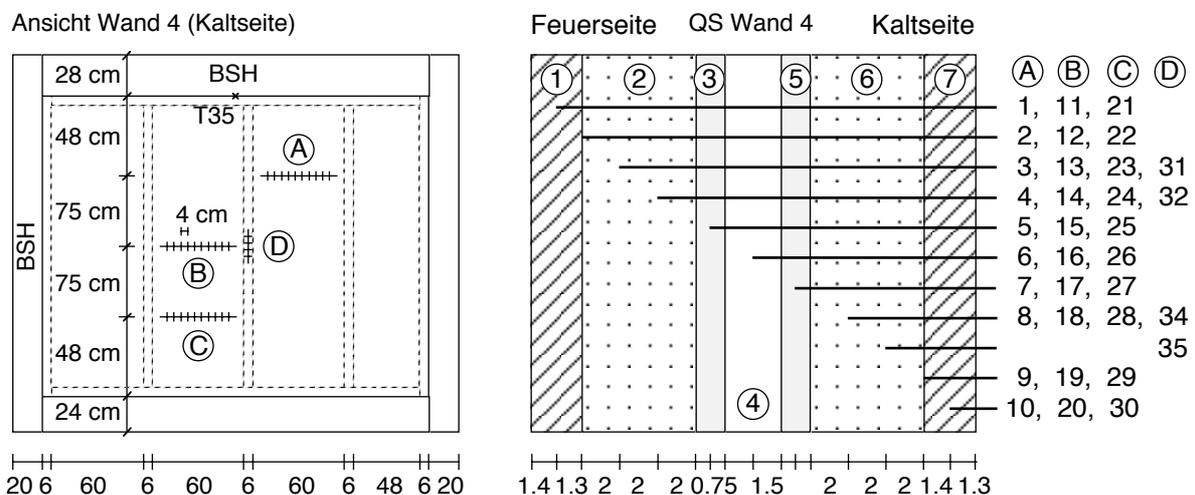


Abbildung 31 Lage und Tiefe der Thermoelemente (Masse in cm)

Mit den Thermoelementen der Gruppe D wurde die Temperatur in den mittleren Holzpfosten gemessen. Zudem wurde ein Thermoelement T35 an der Oberkante der Modulfuge montiert, um die Gastemperatur in dieser Fuge zu ermitteln. Die Abbildungen 32, 33, 34 und 35 zeigen den Temperaturverlauf der Thermoelemente der Gruppen A, B, C und D. Alle Temperaturmessergebnisse sind tabellarisch im Anhang C dargestellt.

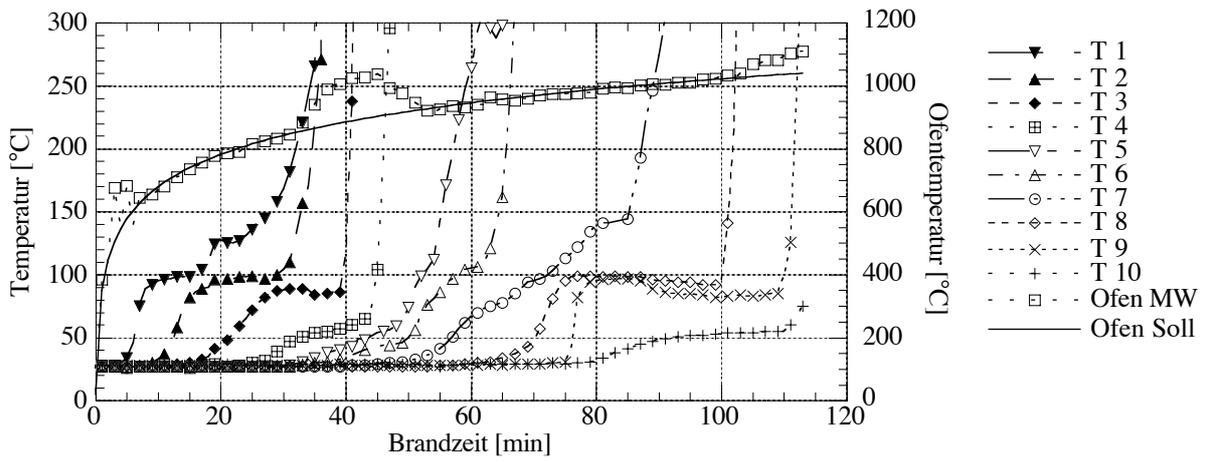


Abbildung 32 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe A (oben rechts)

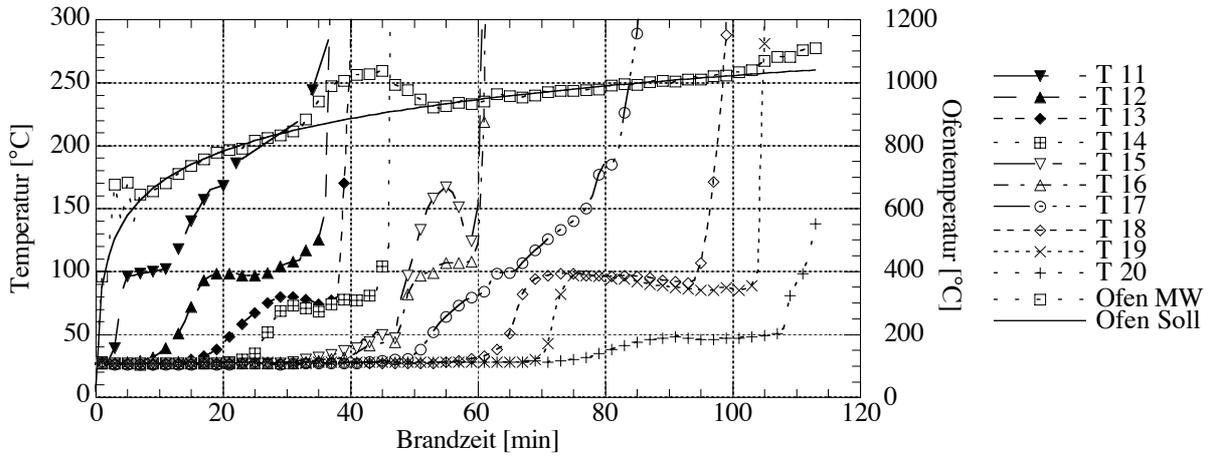


Abbildung 33 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe B (Mitte links)

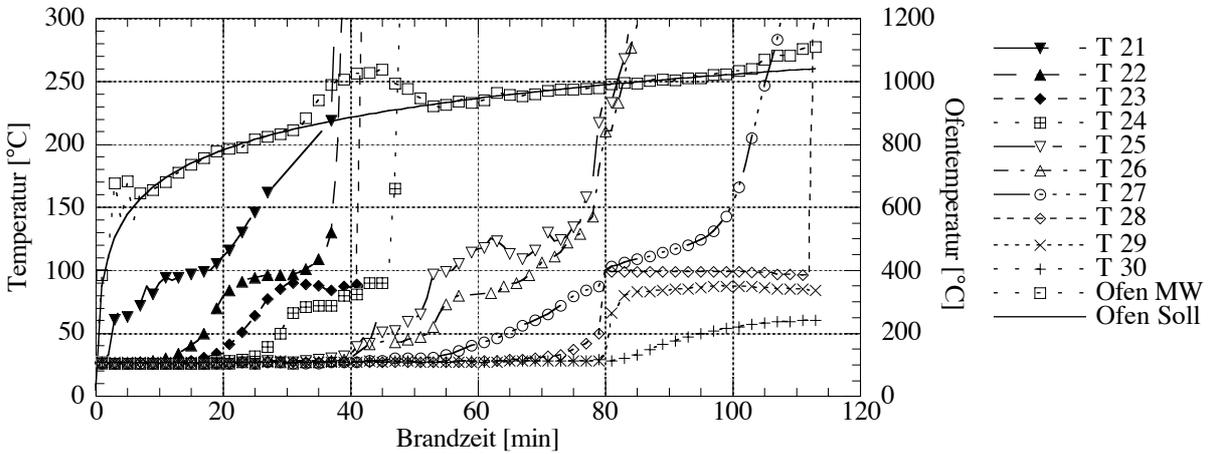


Abbildung 34 Temperaturen der Thermoelemente der Gruppe C (unten links)

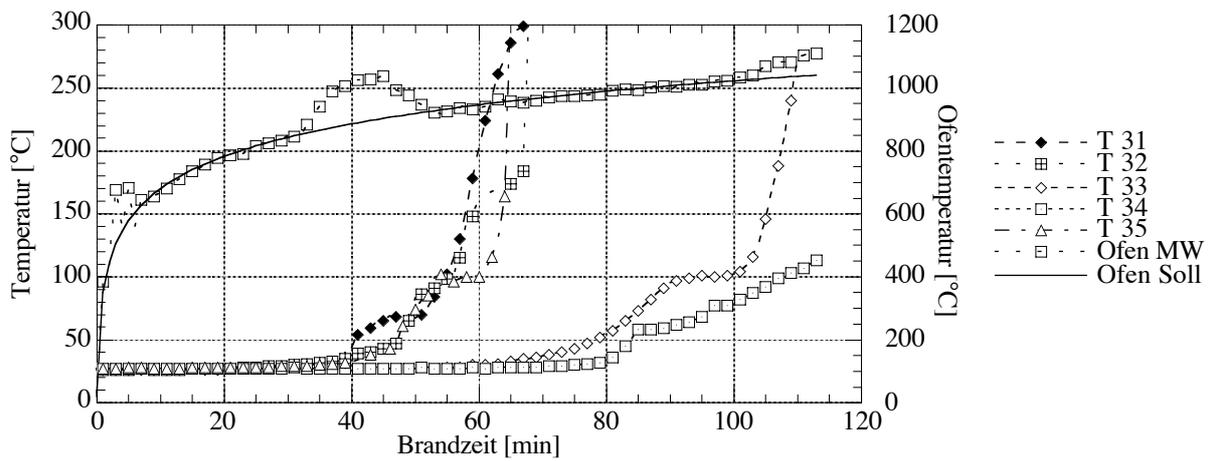


Abbildung 35 Temperaturen der Thermoelemente T35 (Fuge oben) und der Gruppe D (Holzpfosten Mitte)

4.4.4 Energieverbrauch

Der Heizölverbrauch, der erforderlich war, um im Ofen die Temperaturen der ISO-Normbrandkurve gewährleisten zu können, ist in Abbildung 36 dargestellt. Der gesamte Heizölverbrauch von Minute 0 bis Minute 113 beträgt 55.7 l, der Heizölverbrauch für die erste halbe Stunde 18.6 l.

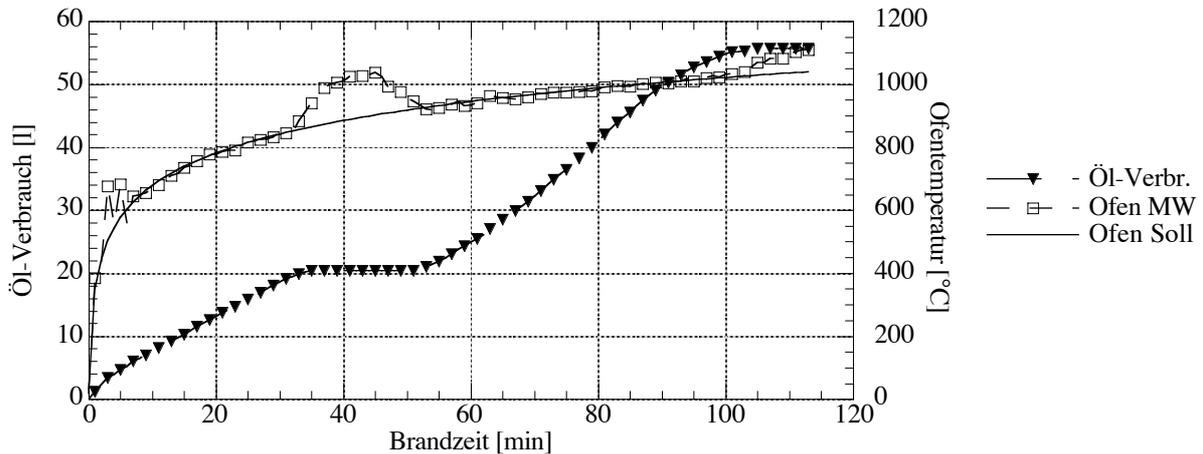


Abbildung 36 Heizölverbrauch während des Brandversuches

4.4.5 Bilder



Abbildung 37 Durchbrand durch die Wand 4 nach 113 Minuten

Die im Protokoll erwähnten Bilder sind im Anhang 4 dargestellt. Die Abbildung 37 zeigt den Durchbrand durch die Wand D nach 113 Minuten.

5 Abbrandraten und Restquerschnitte (BSH-Rahmen)

Restquerschnitte wurden nach jedem Brandversuch nur für die auf der Feuerseite stehenden BSH-Rahmenelemente gemäss Abbildung 38 herausgeschnitten. Die Abbildung 39 zeigt z.B. den Restquerschnitt rechts der Wand 2. Bilder von allen Restquerschnitten sind im Anhang E dargestellt.

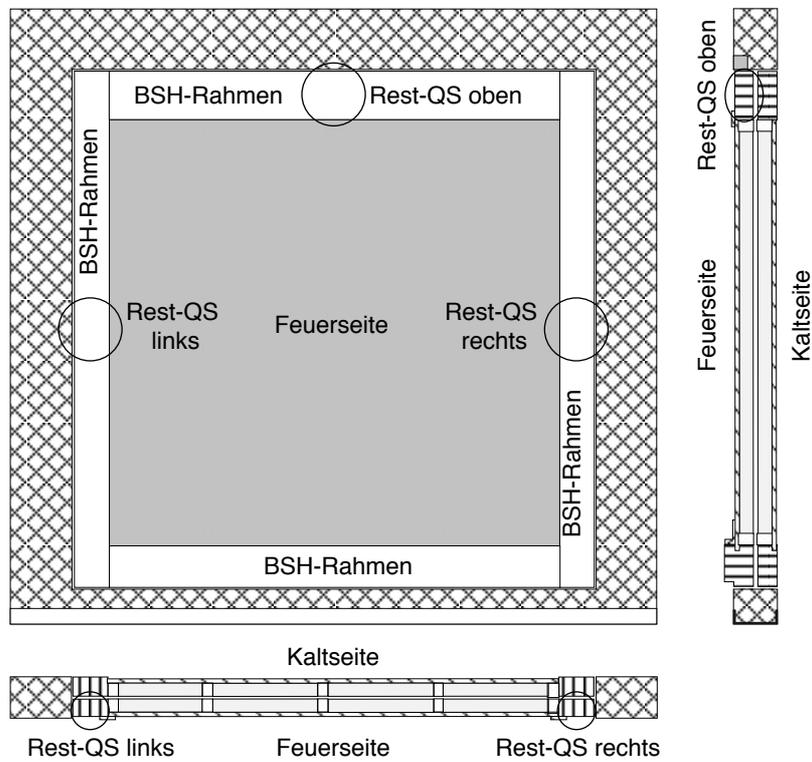


Abbildung 38 Lage der herausgeschnittenen Restquerschnitte vom BSH-Rahmen

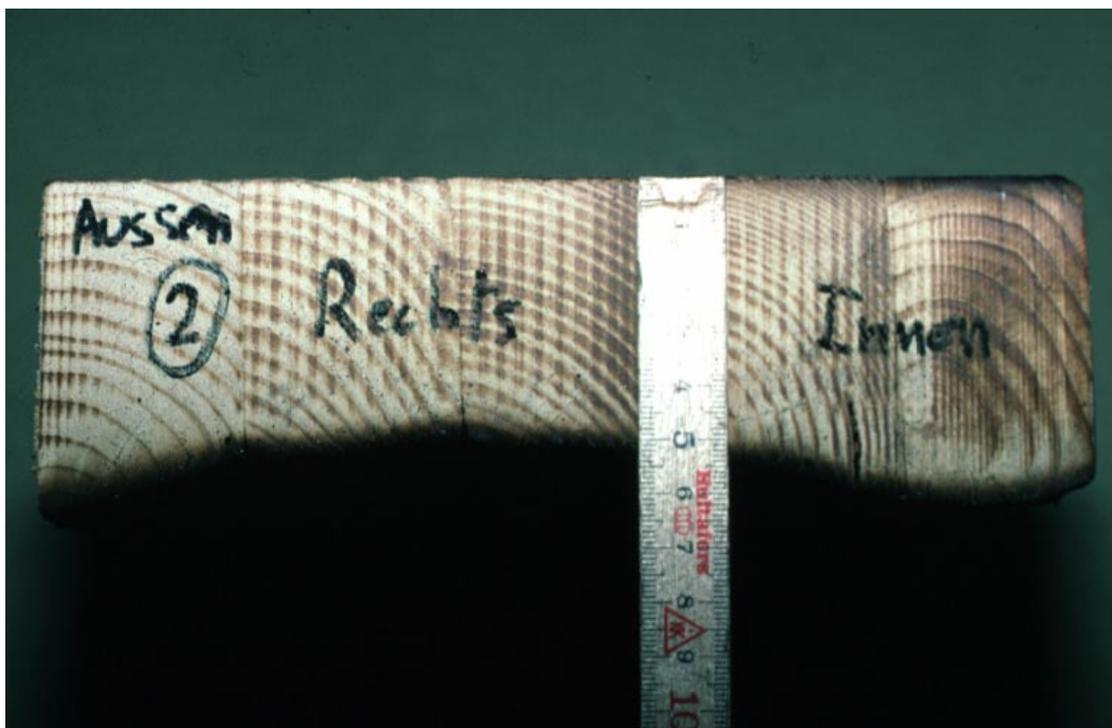


Abbildung 39 Restquerschnitt rechts der Wand 2

In der Tabelle 5 sind die aus den Restquerschnitten bestimmten Abbrandraten und die daraus abgeleiteten Abbrandgeschwindigkeiten zusammengefasst. Beim Wandversuch 4 war der auf der Feuerseite stehende BSH-Rahmen vollständig abgebrannt. Die Abbrandrate bzw. die Abbrandgeschwindigkeit für den auf der Kaltseite stehende BSH-Rahmen wurde nicht bestimmt, da die Entflammung des BSH-Rahmens zeitlich nicht genügend genau festgestellt werden konnte. Aus allen herausgeschnittenen Restquerschnitten ergibt sich eine mittlere Abbrandgeschwindigkeit der BSH-Rahmenelemente von 0.73 mm/min, d.h. eine gute Übereinstimmung mit dem in der Eurocode 5, Teil 1-2 angenommenen Wert von 0.70 mm/min.

Tabelle 5 Abbrandrate und Abbrandgeschwindigkeiten der BSH-Rahmenelemente

Versuchskörper	Ort der Messung der Rest-QS	Abbrandrate [mm]	Durchbrandzeit [min]	Abbrandgeschwindigkeit [mm/min]
Wand 1	links	61	76	0.80
	rechts	57	76	0.75
	oben	57	76	0.75
Wand 2	links	56	80	0.70
	rechts	56	80	0.70
	oben	65	80	0.81
Wand 3	links	47	71	0.66
	rechts	49	71	0.69
	oben	52	71	0.73

6 Zusammenstellung und Folgerungen

Die für die Brandsicherheit wichtige Durchbrandzeit durch beide Trennlagen wurde in den Versuchen ermittelt. Dabei ist zu erwähnen, dass der Durchbrand durch die gesamte Wand auf der Kaltseite einwandfrei visuell erfassbar war. Der Flammendurchschlag in die Modulfuge konnte hingegen nur anhand der Beobachtungen von der befeuerten Seite her und aufgrund der Temperaturentwicklung des Thermoelements oben in der Modulfuge sowie der Zündung von Pyrolysegasen in der Modulfuge und nachfolgendem kurzem Flammenaustritt aus der offenen oberen Fuge zwischen Wandelement und Betonrahmen erahnt werden.

Tabelle 6 Durchbrandzeiten und Energieverbrauch der vier Brandversuche

Versuchskörper	Durchbrand der ersten Lage [Minuten]	Durchbrand der zweiten Lage [Minuten]	Energieverbrauch erste 1/2 Stunde [Liter Heizöl]	Energieverbrauch erste Stunde [Liter Heizöl]
Wandelement 1 Dreischichtplatte / Pavatherm	* 42 ◆ 44	76	13.8	24.7
Wandelement 2 Dreischichtplatte / Steinwolle / Pavatex	* 39 ◆ 46	80	15.1	29.3
Wandelement 3 Fermacellplatte / Pavatherm	* 43 ◆ 39	71	29.8	36.5
Wandelement 4 Dreischichtplatte / Pavatherm / Fermacell	* 42 ◆ 61	113	18.6	24.9

- * Visuelle Veränderung Fuge
- ◆ Temperatur in Fuge > 100°C

In den Brandversuchen erreichten die Wandaufbauten 1, 2 und 3 etwa die gleichen Durchbrandzeiten von rund 70 bis 80 Minuten. Massgebend war jeweils das Kriterium Integrität (E). Das Temperaturkriterium (I) war bis zum Flammenaustritt nie massgebend. Das Tragwiderstandskriterium (R) war bei diesen unbelasteten Versuchen nicht Gegenstand der Untersuchung. Hingegen kann der Tragwiderstand der Rahmenkonstruktion rechnerisch aus den Restquerschnitten und Abbrandraten bestimmt werden.

Der Einfluss der brennbaren Wandoberfläche äussert sich deutlich im Heizölverbrauch, welcher zur Einhaltung der ISO-Normbrandkurve während den ersten 30 Minuten d.h. bis etwa zum Durchbrand der ersten Schicht erforderlich ist. Bei der Wand 3 mit nichtbrennbarer Oberfläche ist rund die zweifache Heizölmenge erforderlich.

Die brennbare Isolation lieferte im Versuch 3 genügend Energie, um die ISO-Normbrandkurve zu halten, während im Versuch 4 mit zwei Lagen Fermacell im Fugenbereich erhebliche Zusatzenergie erforderlich war (vgl. Abbildung 36).

Die Ausbildung der Fugen zwischen den Dämmplatten und die Montage der Dämmplatten ist von grosser Bedeutung für die Durchbrandzeit. Werden die Dämmschichten einfach zwischen die Pfosten-Riegelkonstruktion geklemmt, wie dies bei allen vier Versuchen erfolgte, so erfüllen sie schon bald nach dem Durchbrand der ersten äusseren Schicht ihre Funktion nicht mehr optimal, weil sie aufgrund der Hitze schrumpfen oder sogar herausfallen. Eine Fixierung an die Pfosten wäre somit wünschenswert.

Der vierte Wandaufbau mit der Kombination einer aussenliegenden Dreischichtplatte und einer Abtrennung der brennbaren Dämmschicht von der Modulfuge durch je eine 15 mm dicke Fermacellplatte erbrachte eine deutliche Erhöhung der Durchbrandzeit auf 113 Minuten. Zudem musste nach dem Durchbrand der ersten Wandhälfte erhebliche Zusatzenergie eingebracht werden.

Die Versuche zeigten, dass mit allen getesteten Wandkonstruktionen ein Feuerwiderstand von 60 Minuten problemlos erreicht werden kann. Will man aber einen Feuerwiderstand von 60 Minuten bis zur Modulfuge erreichen, wird dies nur durch die Ausbildung der Modulwand gemäss Variante 4 erreicht.

Die Variante 4 verbessert auch die Reparierbarkeit, da sie Nachbarmodule gegen die Fuge eine nichtbrennbare Oberfläche aufweisen. Wird auf diese nichtbrennbare Schicht gegen die Modulfuge verzichtet, so könnte eine Verzögerung der Brandausbreitung in der Fuge dadurch erreicht werden, dass die Fugen jeweils am oberen Rand des Moduls mit nichtbrennbarer Isolation abgedichtet werden.

7 Rechnerische Durchbrandzeiten nach ENV 1995-1-2

7.1 Bemessungsregeln

Die europäische Vornorm ENV 1995 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-2 Bemessung für den Brandfall, Anhang C gibt Berechnungsmethoden zur Bestimmung des Feuerwiderstandes von raumabschliessenden Elementen.

Die Versagenzeit t_{pr} in Minuten für Holzwerkstoffplatten (inkl. Faserplatten) ergibt sich zu

$$t_{pr} = \xi \cdot \frac{t_p}{\beta_{0,\rho,t}} \quad \text{Mit } \beta_{0,\rho,t} = \beta_{0,450,20} \cdot k_\rho \cdot k_t \quad ; \quad \beta_{0,450,20} = 0.9 \text{ mm/Min.}$$

$$k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho}} \quad ; \quad k_t = \max \left\{ \sqrt{\frac{20}{t_p}} \text{ bzw. } 1.0 \right\}$$

- ξ Beiwert zur Berücksichtigung der Fugenausbildung
- ρ Rohdichte der Holzwerkstoffplatte in kg/m^3
- t_p Dicke der Holzwerkstoffplatte in mm
- $\beta_{0,\rho,t}$ Abbrandgeschwindigkeit in mm/min.

Für die 3-Schichtplatte kann $\beta_{0,450,20} = 0.9 \text{ mm/Min.}$ angenommen werden, da die Schichten dick sind und eher einem Vollholz entsprechen als Sperrholz ($\beta_{0,450,20} = 1.0 \text{ mm/Min.}$).

Für Gipsbauplatten mit erhöhter Kohäsion gilt

$$t_{pr} = \xi \cdot 1.9 \cdot t_p \quad \text{für } t_p \leq 15 \text{ mm} \quad ; \quad t_{pr} = \xi \cdot (2.5 \cdot t_p - 9) \quad \text{für } t_p > 15 \text{ mm}$$

ξ Beiwert zur Berücksichtigung der Fugenausbildung

Für nichtbrennbare Isolation gilt

$$t_{pr} = \xi \cdot 0.07 \cdot (t_{ins} - 20) \cdot \sqrt{\rho} \quad \text{für } t_{ins} \geq 20 \text{ mm und } \rho \geq 30 \text{ kg/m}^3$$

ξ Beiwert zur Berücksichtigung der Fugenausbildung

ρ Rohdichte der Isolation in kg/m^3

t_{ins} Dicke der Isolation in mm

Die Fugen zwischen den Dämmplatten (Pavatherm bzw. Steinwolle) sind Stumpfstöße mit einem Beiwert $\xi = 0.2$. Die übrigen Fugen sind entweder verleimt oder über den Pfosten gestossen, so dass $\xi = 1.0$ angenommen wird.

7.2 Rechnerische Durchbrandzeiten

7.2.1 3-Schichtplatte

Mit $\xi = 1.0$, $\rho \approx 450 \text{ kg/m}^3$ und $\beta_{0,\rho,t} = 0.9 \text{ mm/Min.}$

$$t_{pr} = 1.0 \cdot \frac{27 \text{ mm}}{0.9 \text{ mm/Min.}} = 30 \text{ Min.}$$

7.2.2 Pavatherm

Mit $\xi = 0.2$, $\rho = 195 \text{ kg/m}^3$ und $\beta_{0,\rho,t} = 0.9 \cdot \sqrt{\frac{450}{195}} \cdot 1.0 = 1.37 \text{ mm/Min.}$

$$t_{pr} = 0.2 \cdot \frac{80 \text{ mm}}{1.37 \text{ mm/Min.}} = 11.7 \text{ Min.} \quad \text{Wand 1 und 3: } t_p = 80 \text{ mm}$$

$$t_{pr} = 0.2 \cdot \frac{60 \text{ mm}}{1.37 \text{ mm/Min.}} = 8.8 \text{ Min.} \quad \text{Wand 4: } t_p = 60 \text{ mm}$$

7.2.3 Pavatex

Mit $\xi = 1.0$, $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ und $\beta_{0,\rho,t} = 0.9 \cdot \sqrt{\frac{450}{800}} \cdot \sqrt{\frac{20}{4}} = 1.51 \text{ mm/Min.}$

$$t_{pr} = 1.0 \cdot \frac{4 \text{ mm}}{1.51 \text{ mm/Min.}} = 2.7 \text{ Min.}$$

7.2.4 Fermacell

Mit $\xi = 1.0$

$$t_{pr} = 1.0 \cdot 1.9 \cdot 15 = 28.5 \text{ Min.}$$

7.2.5 Steinwolle

Mit $\xi = 0.2$ und $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$

$$t_{pr} = 0.2 \cdot 0.07 \cdot (80 - 20) \cdot \sqrt{30} = 4.6 \text{ Min.}$$

7.3 Zusammenstellung und Vergleiche

Die gemäss ENV 1995-1-2 berechneten und beobachteten Durchbrandzeiten durch die erste Lage des Wandaufbaues bzw. durch die gesamte Wand sind in der Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7 Rechnerische und beobachtete Durchbrandzeiten der vier Brandversuche

Versuchskörper	Erste Lage			Gesamte Wand (1. + 2. Lage)		
	t_{pr} [Minuten]	$t_{Versuch}$ [Minuten]	$t_{Versuch} / t_{pr}$ [-]	$t_{pr,tot.}$ [Minuten]	$t_{Versuch,tot.}$ [Minuten]	$t_{Ver,tot.}/t_{pr,tot.}$ [-]
Wandelement 1 Dreischichtplatte / Pavatherm	$30 + 11.7 =$ 41.7	44	1.05	83.4 (78.4)	76	0.91 (0.97)
Wandelement 2 Dreischichtplatte / Steinwolle / Pavatex	$30 + 4.6 +$ $2.7 = 37.3$	46	1.23	74.6 (69.6)	80	1.07 (1.15)
Wandelement 3 Fermacellplatte / Pavatherm	$28.5 + 11.7$ $= 40.2$	39	0.97	80.4 (75.4)	71	0.88 (0.95)
Wandelement 4 Dreischichtplatte / Pavatherm / Fermacell	$30 + 8.8 +$ $28.5 = 67.3$	61	0.91	134.6 (129.6)	113	0.84 (0.87)

Falls man gemäss Anhang C zur ENV 1995-1-2 noch 5 Minuten Sicherheitsmarge abzieht (Tabellenwerte in Klammern) ergibt sich für den Durchbrand ein durchschnittliches Verhältnis von $t_{Versuch,tot.} / t_{pr,tot.} = 0.98$, d.h. eine erstaunliche Übereinstimmung in Anbetracht der Einfachheit der Bemessungsmethode.

8 Literatur

ENV 1995-1-1: (Eurocode 5) Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-1 Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, 1993

ENV 1995-1-2: (Eurocode 5) Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1-2 Bemessung für den Brandfall, 1994

Kordina, K., Meyer-Ottens, C., Scheer, C.: Holz Brandschutz Handbuch, Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München, 2. Auflage, 1994

SIA Dokumentation 83: Brandschutz im Holzbau, Lignum, Zürich, 1997

Flumroc AG: Dokumentation 1993/94, Flums

HPM AG: Gesamtdokumentation, 1996, Kleindöttingen

Fels-Werke GmbH: Technische Dokumentation, 1994, Münsingen

Anhang A Versuchseinrichtung

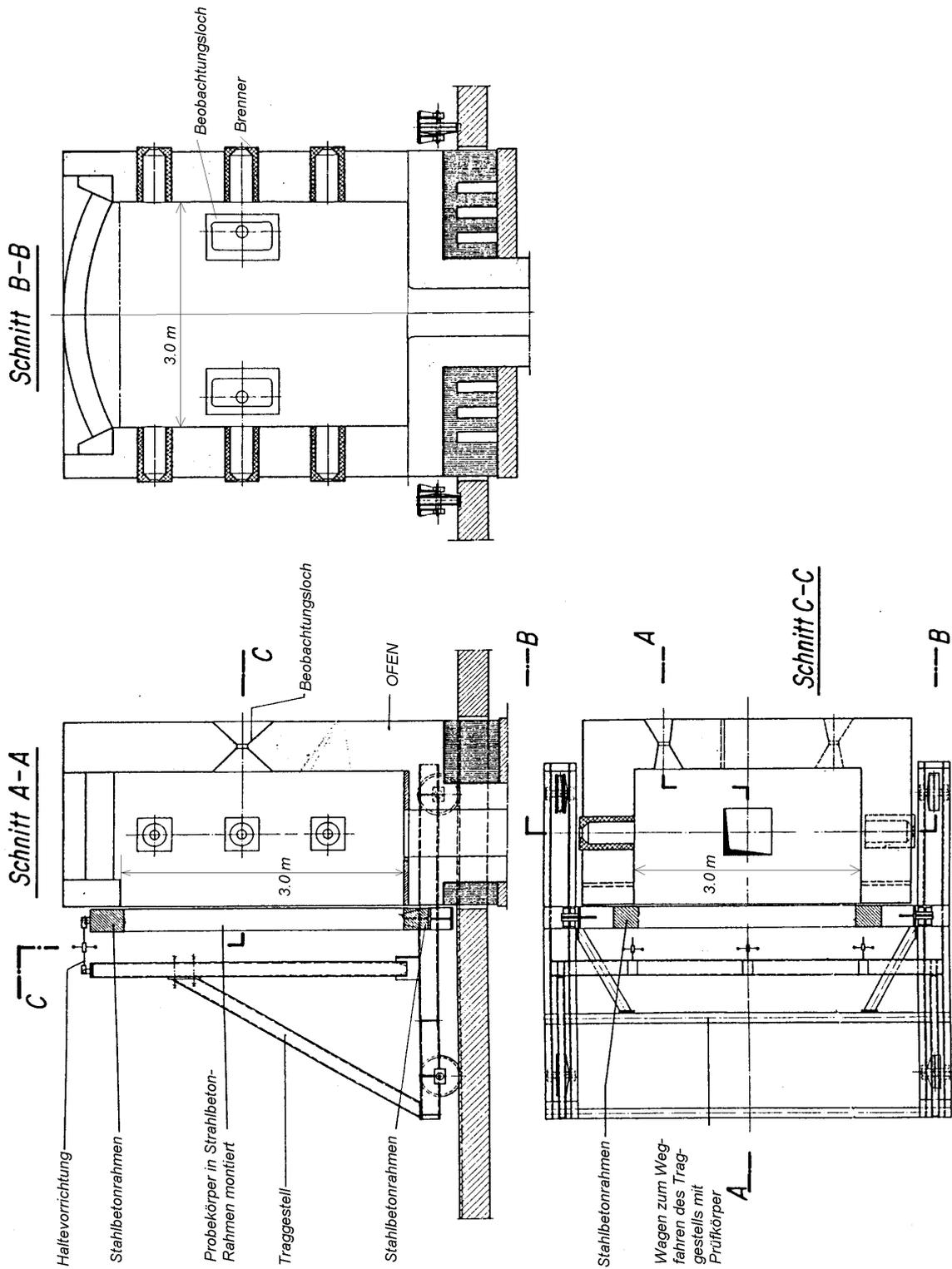
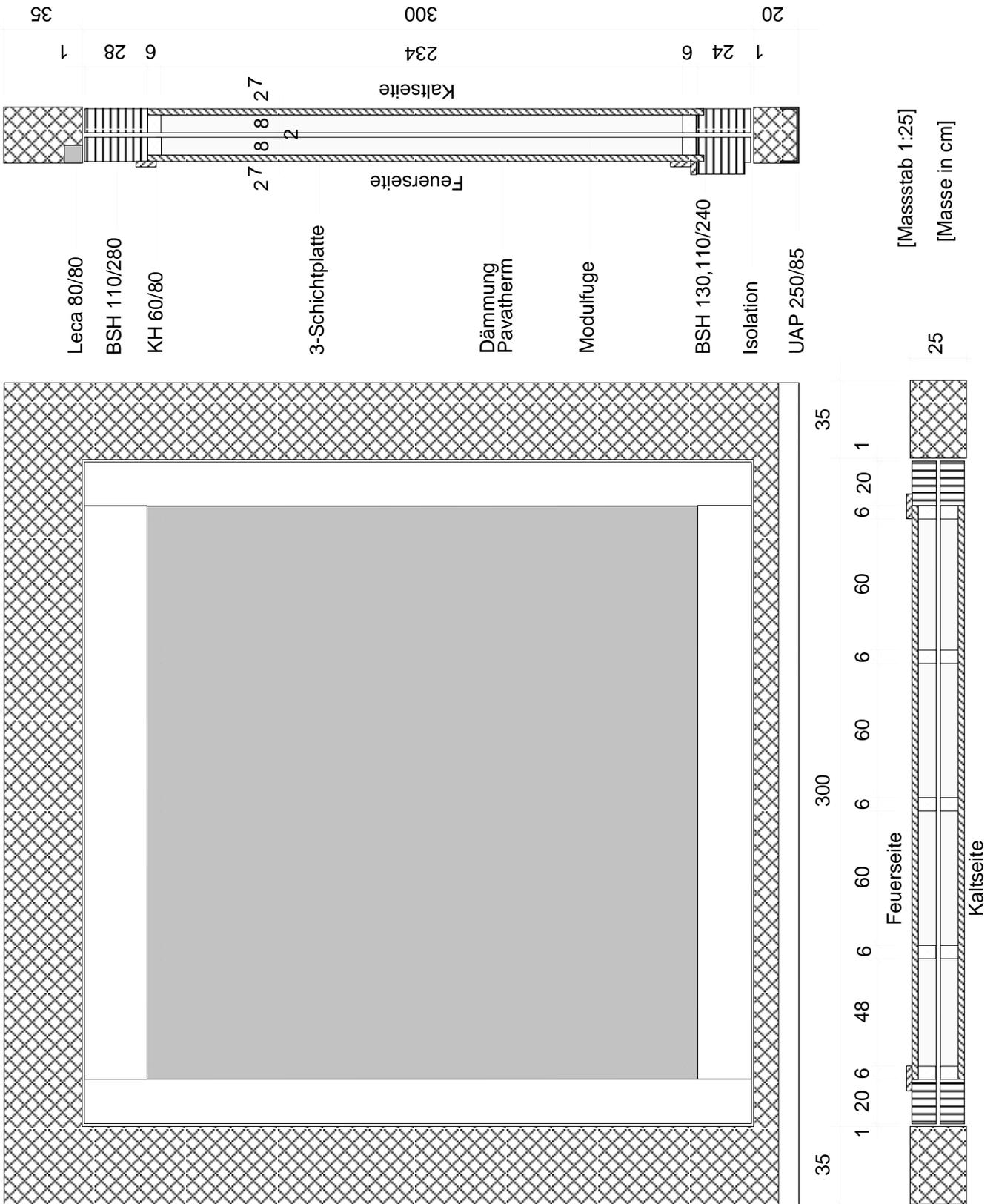


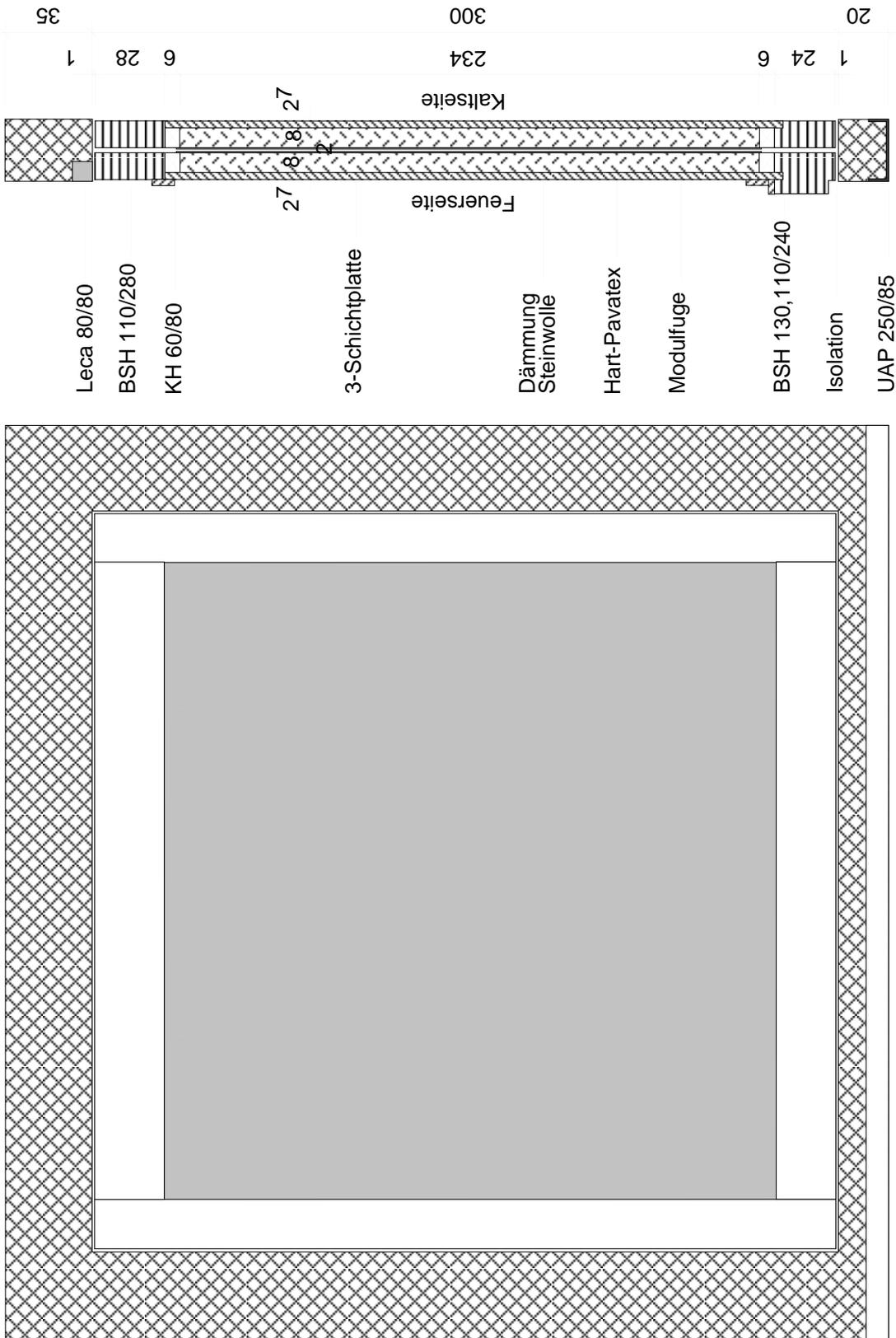
Abbildung A1 Schnitte durch den Vertikalofen bei der EMPA in Dübendorf

Anhang B Versuchsaufbau

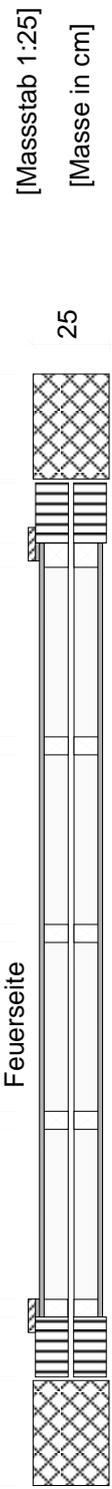
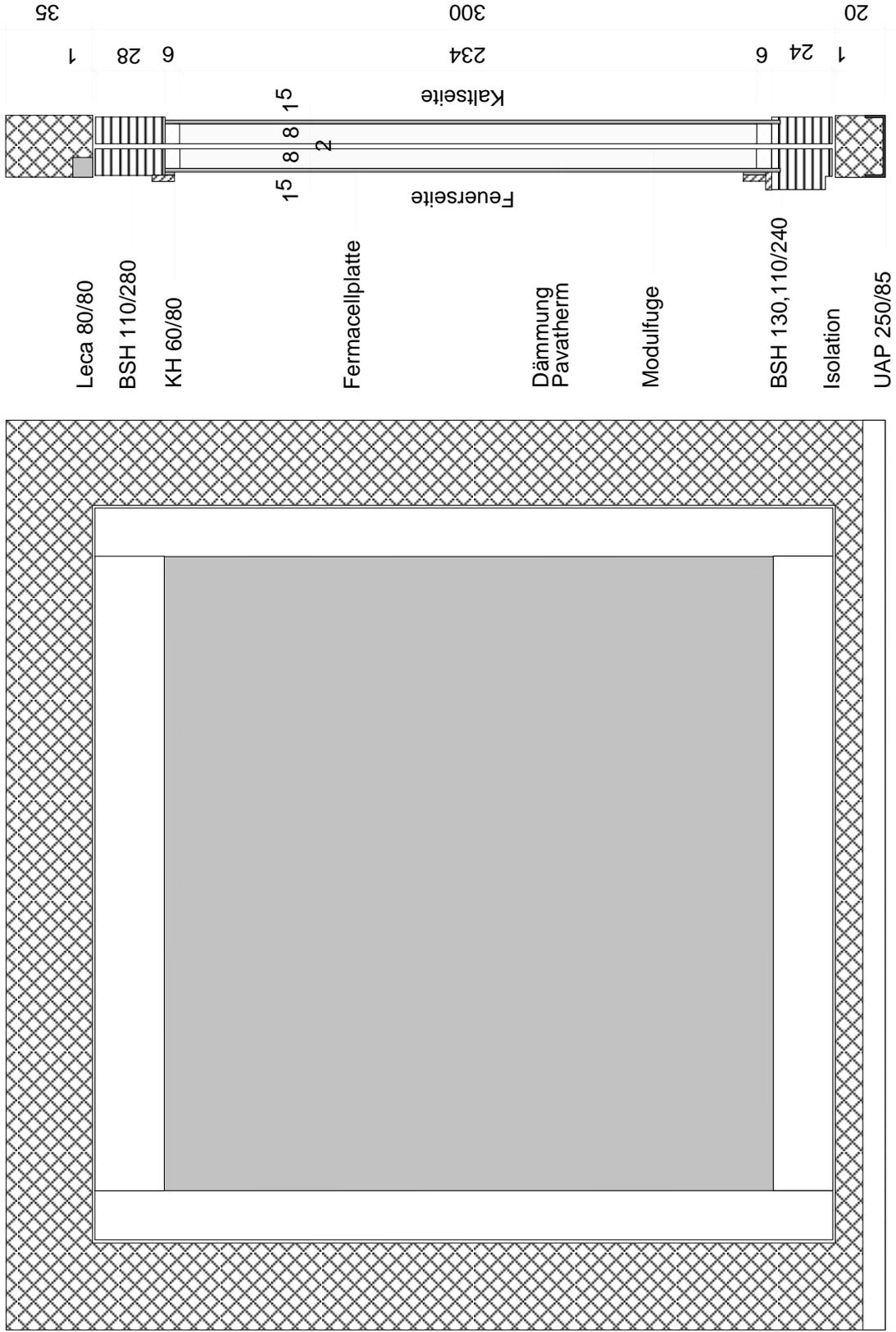
B.1 Wand 1



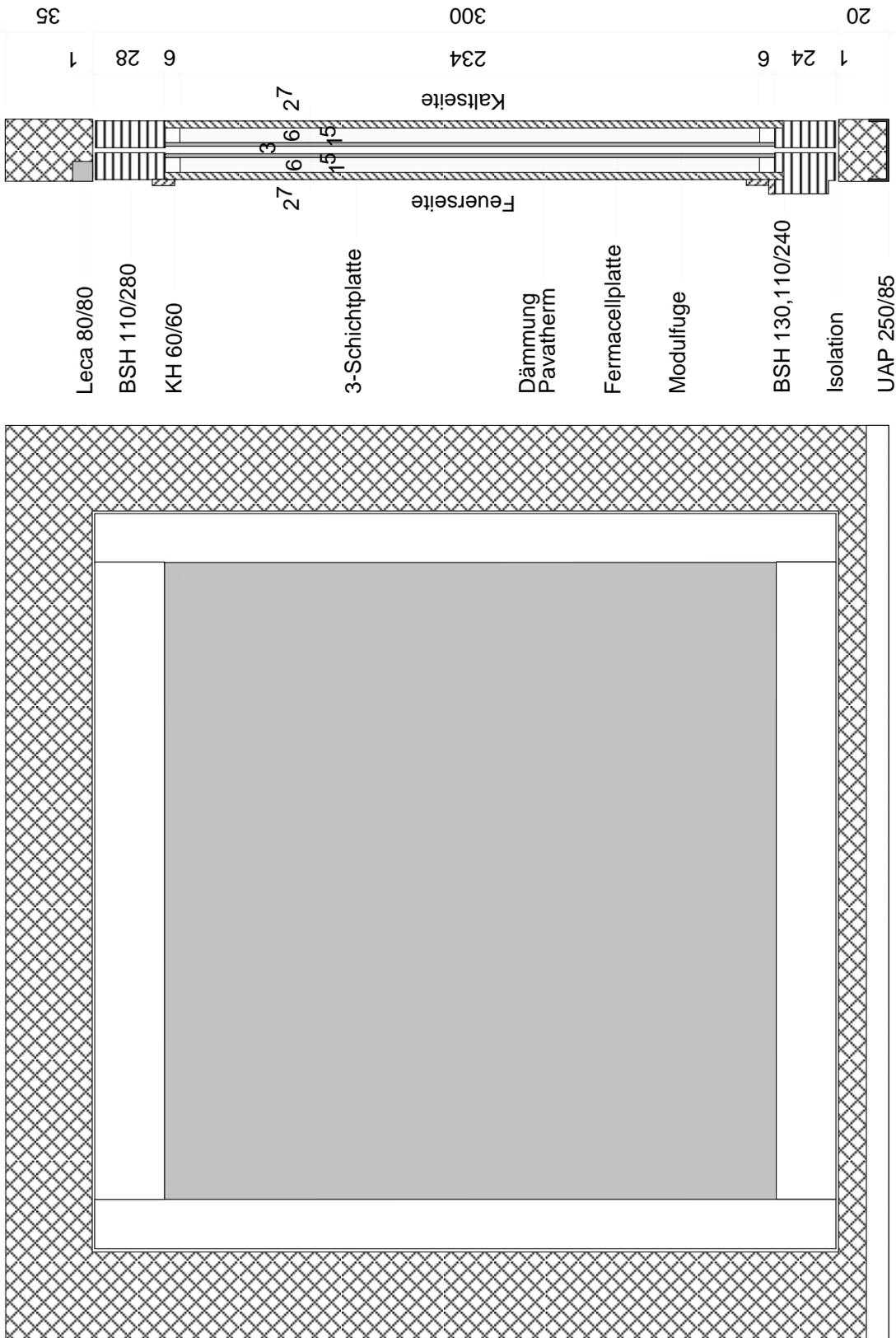
B.2 Wand 2



B.3 Wand 3



B.4 Wand 4



Anhang C Temperaturen

C.1 Wand 1

Tabelle C1 Ofentemperaturen, Ofendruckwerte und Öl-Verbrauch vom Wandversuch 1

Brandzeit [min]	O 41 [°C]	O 42 [°C]	O 43 [°C]	O 44 [°C]	O 45 [°C]	O 46 [°C]	O 47 [°C]	O 48 [°C]	O MW [°C]	O Soll [°C]	D-u [Pa]	D-m [Pa]	D-o [Pa]	Öl-V. [l]
0	26	27	27	27	26	26	26	27	27	20	12.0	12.0	12.0	0.00
1	360	423	450	485	424	446	351	479	427	349	15.0	18.0	21.0	1.20
2	457	483	487	512	496	497	404	479	477	445	8.0	13.0	19.0	2.30
3	693	705	677	633	699	700	578	609	662	502	-4.0	3.0	13.0	3.10
4	680	684	657	628	688	656	603	597	649	544	-5.0	3.0	13.0	3.60
5	556	570	579	607	533	570	598	600	577	576	-1.0	6.0	16.0	4.10
6	606	611	595	611	582	602	605	605	602	603	0.0	7.0	17.0	4.50
7	665	649	611	623	632	645	613	614	632	626	-2.0	5.0	15.0	4.90
8	695	681	630	627	673	656	615	613	649	645	-3.0	5.0	14.0	5.30
9	688	662	630	629	662	649	622	619	645	663	-2.0	6.0	16.0	5.60
10	686	701	662	663	670	693	651	648	672	678	-3.0	5.0	14.0	6.00
11	697	710	677	681	665	709	673	669	685	693	-2.0	6.0	15.0	6.40
12	721	717	689	692	695	725	692	682	702	705	-3.0	5.0	14.0	6.90
13	723	719	698	698	689	750	701	692	709	717	-4.0	5.0	14.0	7.20
14	752	737	713	716	713	743	717	705	725	728	-4.0	5.0	14.0	7.70
15	753	768	735	724	721	778	733	718	741	739	-4.0	5.0	14.0	8.10
16	770	755	730	725	741	772	735	720	744	748	-3.0	5.0	15.0	8.60
17	774	762	742	733	742	793	746	732	753	757	-4.0	4.0	14.0	9.00
18	792	778	758	748	757	803	761	747	768	766	-3.0	5.0	15.0	9.40
19	802	800	759	750	766	804	764	745	774	774	-3.0	5.0	15.0	9.90
20	810	789	766	760	787	818	771	752	782	781	-4.0	5.0	14.0	10.30
21	808	798	772	765	784	809	777	761	784	789	-4.0	5.0	14.0	10.70
22	812	802	780	771	809	817	785	766	793	796	-4.0	5.0	15.0	11.10
23	821	818	792	783	813	830	799	779	804	802	-3.0	5.0	15.0	11.50
24	830	819	792	779	824	837	799	775	807	809	-5.0	4.0	14.0	11.80
25	852	833	803	784	821	857	804	781	817	815	-4.0	5.0	15.0	12.20
26	857	844	807	785	845	844	809	783	822	820	-4.0	4.0	14.0	12.50
27	862	841	814	789	843	870	815	792	828	826	-4.0	5.0	15.0	12.90
28	871	852	823	798	858	864	829	810	838	832	-3.0	5.0	15.0	13.20
29	897	879	843	830	894	895	847	825	864	837	-3.0	5.0	15.0	13.60
30	914	901	844	787	870	917	846	816	862	842	-3.0	5.0	15.0	13.80
31	928	909	853	799	877	941	880	845	879	847	-4.0	5.0	14.0	14.00
32	952	937	881	816	919	946	917	856	903	851	-3.0	5.0	15.0	14.00
33	972	972	933	853	956	981	968	893	941	856	-3.0	5.0	15.0	14.00
34	999	1012	995	902	989	1035	1000	912	981	860	-6.0	2.0	12.0	14.00
35	1021	1038	1024	921	971	1001	990	940	988	865	-3.0	6.0	16.0	14.00
36	1011	1033	1017	930	1029	1060	988	935	1000	869	-6.0	3.0	14.0	14.00
37	1074	1053	1015	934	1064	1063	987	941	1016	873	-7.0	2.0	12.0	14.00
38	1061	1043	996	928	1058	1055	976	933	1006	877	-6.0	3.0	13.0	24.20
39	1058	1030	985	911	1055	1058	976	937	1001	881	-4.0	5.0	15.0	24.20
40	1062	1009	963	900	1041	1053	958	918	988	885	-4.0	5.0	15.0	24.20
41	1046	993	950	895	1048	1034	951	911	979	888	-5.0	4.0	14.0	24.20
42	1048	993	945	890	1033	1031	949	912	975	892	-4.0	4.0	14.0	24.20
43	1030	979	931	879	1014	1018	938	902	961	896	-4.0	4.0	15.0	24.20
44	1027	968	919	868	1007	1017	927	894	953	899	-4.0	5.0	15.0	24.20
45	1023	964	911	863	985	1002	916	885	944	902	-5.0	4.0	14.0	24.20
46	1017	946	903	858	989	991	910	883	937	906	-5.0	4.0	14.0	24.20
47	996	941	896	850	970	977	902	878	926	909	-3.0	6.0	16.0	24.20
48	996	931	890	842	964	980	897	868	921	912	-5.0	4.0	14.0	24.20

Brandzeit [min]	O 41 [°C]	O 42 [°C]	O 43 [°C]	O 44 [°C]	O 45 [°C]	O 46 [°C]	O 47 [°C]	O 48 [°C]	O MW [°C]	O Soll [°C]	D-u [Pa]	D-m [Pa]	D-o [Pa]	Öl-V. [l]
49	996	929	889	843	1000	998	905	865	928	915	-3.0	5.0	15.0	24.20
50	985	920	884	840	979	969	898	862	917	918	-3.0	5.0	15.0	24.20
51	969	919	877	834	955	974	906	866	913	921	-4.0	5.0	15.0	24.20
52	979	931	900	869	977	971	921	885	929	924	-4.0	5.0	15.0	24.40
53	996	950	918	886	995	993	935	895	946	927	-4.0	5.0	15.0	24.60
54	1007	944	906	868	984	999	942	900	944	930	-5.0	3.0	13.0	24.70
55	990	939	924	880	1013	1010	947	900	950	932	-5.0	3.0	13.0	24.70
56	1003	955	936	890	1032	1041	952	914	965	935	-5.0	4.0	14.0	24.70
57	1010	970	954	903	1026	1044	969	935	976	938	-1.0	8.0	18.0	24.70
58	1021	1033	1008	927	927	1006	1004	941	983	940	-4.0	5.0	15.0	24.70
59	1039	1040	1026	964	969	1044	1044	991	1015	943	-5.0	4.0	14.0	24.70
60	1044	1053	1037	990	1021	1043	1061	1004	1032	945	-8.0	1.0	12.0	24.70
61	1077	1080	1061	1006	1071	1091	1073	1002	1058	948	-4.0	4.0	15.0	24.70
62	1092	1092	1078	1023	1084	1109	1051	1017	1068	950	-7.0	2.0	13.0	24.70
63	1096	1102	1084	1025	1083	1117	1050	1021	1072	953	-3.0	6.0	17.0	24.70
64	1102	1110	1104	1044	1083	1129	1057	1028	1082	955	-6.0	3.0	13.0	24.70
65	1115	1115	1100	1035	1097	1137	1060	1030	1086	957	-5.0	3.0	14.0	24.70
66	1119	1122	1104	1041	1103	1136	1075	1050	1094	960	-5.0	4.0	14.0	24.70
67	1126	1124	1116	1047	1113	1144	1080	1055	1101	962	-5.0	4.0	15.0	24.70
68	1134	1130	1111	1047	1124	1154	1081	1058	1105	964	-7.0	2.0	13.0	24.70
69	1138	1131	1119	1061	1133	1152	1088	1062	1111	966	-6.0	3.0	14.0	24.70
70	1132	1139	1116	1056	1107	1120	1086	1060	1102	968	-1.0	8.0	18.0	24.70
71	1139	1139	1119	1063	1120	1114	1093	1069	1107	971	-7.0	2.0	13.0	24.70
72	1080	1144	1133	1065	1106	1140	1105	1068	1105	973	-6.0	3.0	14.0	24.70
73	1106	1147	1132	1067	1099	1166	1104	1073	1112	975	-5.0	4.0	15.0	24.70
74	1161	1148	1122	1074	1108	1157	1109	1084	1120	977	-6.0	3.0	14.0	24.70
75	1161	1152	1127	1076	1128	1163	1100	1076	1123	979	-4.0	5.0	15.0	24.70

Tabelle C2 Temperaturen der Gruppen A und B vom Wandversuch 1

Brandzeit [min]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	T9 [°C]	T10 [°C]	T11 [°C]	T12 [°C]	T13 [°C]	T14 [°C]	T15 [°C]	T16 [°C]	T17 [°C]	T18 [°C]	T19 [°C]	T20 [°C]
0	**	22	22	22	22	22	21	21	20	19	22	22	22	22	22	21	21	21	20	19
1		22	22	22	21	21	21	20	20	20	23	22	22	22	22	21	21	20	20	19
2		22	22	22	22	21	21	20	20	20	26	22	22	22	22	22	21	20	20	19
3		22	22	22	22	21	21	20	20	20	39	22	22	22	22	22	21	20	20	19
4		22	22	22	22	21	21	20	20	20	77	22	22	22	22	22	21	20	20	19
5		24	22	22	22	21	21	20	20	20	98	23	22	22	22	22	21	21	20	20
6		27	22	22	21	21	21	20	20	20	99	25	22	22	22	21	21	21	20	20
7		30	22	22	21	21	21	20	20	20	100	27	22	22	22	22	21	20	20	20
8		34	22	22	21	21	21	20	20	20	105	30	22	22	22	22	21	21	20	20
9		38	24	22	22	21	21	20	20	20	114	34	22	22	22	22	21	20	20	20
10		41	24	22	22	21	21	20	20	20	123	37	22	22	22	22	21	20	20	20
11		45	24	22	21	22	21	20	20	20	133	42	23	22	22	21	21	20	20	20
12		49	25	22	21	21	21	20	20	20	147	45	23	22	22	22	21	21	21	20
13		54	27	22	21	21	21	20	20	20	165	50	24	22	22	22	21	20	20	20
14		59	28	22	22	21	21	20	20	20	180	55	25	22	22	22	21	21	21	20
15		63	30	22	22	21	21	20	20	20	195	61	26	22	22	22	21	20	20	20
16		66	32	22	21	21	21	20	20	20	204	66	27	22	22	22	21	21	20	20
17		70	34	23	22	21	21	20	20	20	213	72	29	22	22	22	21	21	20	20
18		74	36	23	22	21	21	20	20	20	222	79	32	22	22	21	21	20	20	20
19		78	38	23	22	21	21	20	20	20	231	84	36	23	22	21	21	21	20	20
20		83	41	24	22	21	21	20	20	20	239	86	42	23	22	22	21	20	20	20
21		89	44	24	22	21	21	20	20	21	250	88	50	24	22	22	21	21	20	20
22		94	48	25	22	21	21	20	20	21	264	90	59	25	22	22	21	21	20	20
23		96	52	26	22	21	21	20	20	21	279	92	67	27	22	21	21	21	21	20
24		96	58	28	22	21	21	20	20	21	296	93	74	31	22	21	21	21	20	20
25		97	65	29	22	21	21	20	20	21	312	95	79	36	22	22	21	21	20	20
26		97	73	32	23	21	21	20	20	21	328	98	83	44	23	22	21	20	20	20
27		100	80	36	23	21	21	20	20	21	345	102	85	53	24	22	21	20	20	20
28		111	88	44	24	22	21	20	21	22	367	110	88	63	25	22	21	21	20	20
29		121	92	54	25	22	21	20	21	21	388	117	89	72	28	22	21	21	20	20
30		127	94	65	27	21	21	20	21	21	420	131	90	80	33	22	21	21	20	20
31		142	96	75	31	21	21	20	21	21	458	153	91	84	41	22	21	21	20	20
32		151	96	82	39	21	21	20	21	21	503	167	90	85	50	22	21	21	20	20
33		149	93	84	50	22	21	20	21	21	525	174	87	84	57	22	21	21	20	20
34		259	90	86	61	22	21	20	21	21	525	226	86	84	62	22	21	21	20	21
35		592	90	88	76	22	21	20	21	21	943	527	87	87	70	23	21	21	20	20
36		809	90	89	83	23	21	20	21	21	1030	664	89	90	84	24	21	21	20	21
37		934	92	89	86	27	21	20	21	21	1037	731	90	90	88	28	21	21	20	20
38		952	133	89	87	36	21	20	21	21	1035	759	123	91	88	39	21	21	20	21
39		942	191	89	88	49	21	20	21	22	1025	786	179	92	88	48	21	21	20	20
40		932	256	90	89	60	21	20	21	21	1010	802	268	92	89	52	21	21	20	21
41		918	357	91	91	68	21	20	21	21	1001	807	404	92	90	59	22	21	20	21
42		913	463	91	91	73	22	20	21	21	1021	825	602	91	90	68	22	21	20	21
43		904	555	92	91	77	24	20	21	21	1001	865	782	91	90	73	23	21	20	21
44		889	628	91	90	79	27	21	21	21	999	880	835	106	90	75	24	21	22	21
45		875	678	92	90	81	31	21	21	21	980	888	805	180	90	77	26	21	21	21
46		871	727	93	90	83	38	21	22	23	971	893	792	251	91	79	28	21	21	21
47		859	769	105	90	84	45	22	21	21	956	897	785	306	91	80	32	21	21	21
48		847	834	138	90	86	52	23	21	21	949	914	787	376	91	82	37	22	21	21
49		848	866	176	90	85	57	24	21	21	986	917	644	461	91	85	42	22	21	21
50		842	905	222	90	85	62	26	21	21	962	921	736	551	92	87	48	23	21	21

Brandzeit [min]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	T9 [°C]	T10 [°C]	T11 [°C]	T12 [°C]	T13 [°C]	T14 [°C]	T15 [°C]	T16 [°C]	T17 [°C]	T18 [°C]	T19 [°C]	T20 [°C]
51		839	923	267	90	86	64	29	23	22	955	913	667	642	98	87	54	24	21	21
52		878	935	327	90	85	65	32	47	22	948	876	668	732	148	86	59	26	21	21
53		898	950	388	89	85	66	39	59	22	956	872	729	804	211	86	62	28	21	21
54		890	940	455	90	85	67	46	66	22	967	865	741	822	253	86	64	30	21	21
55		906	948	512	90	86	67	52	72	22	980	882	773	856	280	87	66	33	21	21
56		912	952	562	95	85	69	57	74	23	1002	891	771	845	329	88	68	36	21	21
57		922	963	583	108	86	70	62	77	24	996	893	775	860	394	89	70	39	22	21
58		949	991	599	128	87	74	67	78	25	1008	883	759	848	457	89	71	41	21	21
59		974	1016	600	151	90	81	74	80	26	1014	885	764	820	553	89	71	43	21	21
60		991	1039	620	169	97	86	84	81	27	1036	891	777	828	630	88	71	45	21	21
61		1003	1045	674	181	311	88	88	80	28	1045	912	792	813	743	92	72	47	21	21
62		1012	1062	695	200	447	88	88	80	30	1046	930	793	880	818	232	79	53	22	21
63		1020	1050	712	395	536	88	89	80	31	1045	951	795	927	825	474	84	64	22	21
64		1031	1072	751	715	644	88	89	83	32	1046	996	811	978	885	613	87	73	23	21
65		1039	1074	829	876	736	88	90	85	32	1033	1002	809	1006	898	672	88	77	24	21
66		1029	1087	881	936	791	89	91	84	34	1003	1028	815	1006	916	736	89	81	26	22
67		1025	1101	913	957	884	90	91	85	34	1016	1044	821	1018	932	777	89	82	27	22
68		1032	1113	939	980	953	91	92	85	35	1014	1039	829	1030	955	807	90	84	32	22
69		1029	1119	957	988	1012	91	91	85	36	1013	1040	841	1045	971	835	93	86	39	22
70		1022	1119	996	1050	1089	92	91	84	37	1050	1066	893	1102	1084	950	122	85	45	22
71		1045	1106	1019	1114	1116	96	91	85	38	1066	1045	937	1077	1079	1073	166	84	51	23
72		1085	1113	1096	1147	1120	129	91	84	38	1105	1110	1011	1112	1135	1112	206	85	54	24
73		1109	1144	1091	1143	1133	245	91	86	39	1095	1106	1037	1102	1108	1134	252	87	58	24
74		1090	1115	1088	1143	1134	382	92	85	40	1086	1098	1054	1093	1085	1138	360	89	61	25
75		1101	1114	1083	1141	1146	553	115	88	40	1078	1086	1054	1094	1083	1134	523	89	66	26

** Thermoelement T1 hat nicht gemessen

Tabelle C3 Temperaturen der Gruppen C und D vom Wandversuch 1

Brandzeit [min]	T 21 [°C]	T 22 [°C]	T 23 [°C]	T 24 [°C]	T 25 [°C]	T 26 [°C]	T 27 [°C]	T 28 [°C]	T 29 [°C]	T 30 [°C]	T 31 [°C]	T 32 [°C]	T 33 [°C]	T 34 [°C]	T 35 [°C]
0	21	21	21	21	21	21	21	20	19	19	21	21	23	21	23
1	22	21	21	21	21	21	21	20	19	19	21	21	21	21	22
2	22	21	21	21	21	21	21	20	19	19	21	21	21	21	22
3	27	21	21	21	21	22	21	20	19	19	21	21	22	21	22
4	38	21	21	21	22	21	21	20	19	19	21	21	21	21	22
5	50	22	21	21	21	21	21	20	19	19	21	21	22	21	22
6	59	22	21	21	22	22	21	21	19	19	21	22	21	21	22
7	75	23	21	21	21	21	21	20	19	19	21	21	22	21	22
8	88	25	21	21	21	21	21	20	19	19	21	22	22	21	22
9	89	27	21	21	21	21	21	20	19	19	21	22	22	21	22
10	90	29	21	21	21	21	21	20	19	19	21	22	21	21	22
11	95	33	22	21	21	21	21	20	19	19	21	22	22	21	22
12	101	41	24	23	23	23	21	20	21	20	22	22	22	21	22
13	107	45	23	21	21	21	21	20	19	19	22	22	22	21	22
14	114	50	25	22	21	21	21	20	19	19	22	22	22	21	22
15	121	55	25	22	21	21	21	20	19	19	22	22	22	21	22
16	130	62	27	22	21	21	21	20	19	19	23	23	22	21	23
17	138	69	29	22	21	21	21	20	19	19	23	23	22	21	22
18	146	76	32	22	21	21	21	20	19	20	24	23	22	21	22
19	155	82	36	23	22	21	21	21	20	20	25	24	22	21	22
20	164	84	40	23	21	21	21	20	19	20	25	24	22	21	23
21	170	85	46	24	22	21	21	20	20	20	26	24	23	21	24
22	177	87	52	24	22	22	21	21	20	20	28	25	22	21	23
23	184	89	58	26	22	21	21	20	20	20	28	25	22	21	23
24	192	90	64	27	22	21	21	20	20	20	29	26	22	21	23
25	202	92	70	29	23	21	21	20	20	20	31	26	22	21	23
26	213	93	76	33	22	21	21	20	20	20	32	27	22	21	23
27	225	95	80	38	22	21	21	20	20	20	34	28	22	21	23
28	239	99	85	46	23	21	21	20	20	20	35	28	22	21	23
29	252	104	88	56	23	21	21	20	20	20	37	29	22	21	23
30	266	109	91	67	24	22	21	20	20	20	38	30	22	21	23
31	281	116	92	75	26	22	21	20	20	20	40	30	22	21	23
32	301	119	90	76	31	22	21	20	20	20	41	31	22	21	25
33	315	129	87	74	36	22	21	20	20	20	43	32	22	21	27
34	351	166	86	73	40	22	21	20	20	20	46	34	22	21	30
35	406	224	84	73	43	22	21	20	20	20	49	35	23	21	31
36	506	447	87	73	45	22	21	20	20	20	53	36	23	21	35
37	742	693	90	85	54	23	21	20	20	20	58	38	23	21	38
38	808	787	91	88	71	25	21	20	20	20	69	40	23	21	42
39	794	818	101	89	78	28	21	20	20	20	84	42	24	21	48
40	779	865	200	88	77	33	21	21	20	20	86	46	25	21	52
41	777	871	318	89	77	42	21	20	20	20	87	49	26	21	56
42	767	865	452	90	81	49	21	21	20	20	88	53	29	21	60
43	757	852	543	91	87	56	22	21	20	21	90	59	31	21	64
44	744	844	593	92	89	64	21	20	20	20	93	65	33	21	83
45	733	842	628	96	89	70	22	21	20	20	111	76	41	21	140
46	724	844	653	144	88	75	23	21	20	20	130	86	56	22	210
47	714	843	672	186	88	76	25	21	20	20	145	94	62	21	401
48	708	845	686	216	86	76	26	21	20	20	167	104	68	21	515
49	705	857	702	270	86	77	30	21	20	20	186	103	74	21	605
50	717	849	694	312	86	77	33	21	20	20	206	100	76	21	565

Brandzeit [min]	T 21 [°C]	T 22 [°C]	T 23 [°C]	T 24 [°C]	T 25 [°C]	T 26 [°C]	T 27 [°C]	T 28 [°C]	T 29 [°C]	T 30 [°C]	T 31 [°C]	T 32 [°C]	T 33 [°C]	T 34 [°C]	T 35 [°C]
51	708	842	688	346	86	77	37	21	20	20	224	100	80	21	511
52	700	840	686	384	87	78	40	22	20	20	244	100	86	21	476
53	701	847	691	425	88	80	44	22	20	20	271	100	92	21	480
54	690	850	698	471	89	81	47	23	20	21	298	102	100	21	506
55	684	842	706	519	90	82	50	24	20	21	327	108	104	21	510
56	675	844	717	563	91	84	52	25	20	21	360	118	105	21	490
57	662	853	722	604	95	83	54	26	20	20	375	134	106	22	464
58	646	859	729	636	122	83	56	28	20	21	387	165	109	22	428
59	641	875	742	672	165	82	57	29	20	21	424	212	112	22	413
60	632	890	753	702	202	81	58	31	21	21	452	223	117	22	411
61	629	900	756	717	238	81	57	32	21	21	493	254	132	22	402
62	623	902	757	721	296	83	58	33	21	21	549	312	159	23	397
63	617	903	754	727	353	87	59	34	21	21	600	387	191	23	391
64	610	906	752	735	427	89	61	35	21	21	649	470	225	24	385
65	607	896	750	742	557	89	62	36	21	21	690	540	251	24	389
66	637	942	786	768	706	89	64	37	22	21	725	600	280	25	376
67	649	952	807	788	758	89	65	38	21	21	757	670	325	25	369
68	653	955	822	806	793	95	65	39	21	21	795	727	396	25	375
69	664	1040	836	823	821	152	66	40	22	21	829	773	533	27	373
70	671	1035	846	837	845	227	69	42	22	21	885	837	707	27	410
71	686	1027	853	852	859	335	72	43	22	21	937	908	970	28	438
72	714	1016	868	872	861	467	75	45	22	21	969	960	1019	30	445
73	762	1011	890	890	885	568	79	49	22	21	998	989	1030	32	447
74	795	1001	889	879	896	640	83	54	23	21	1006	1002	1033	35	449
75	824	988	895	883	898	704	85	62	23	21	1001	1008	1033	41	437

C.2 Wand 2

Tabelle C4 Ofentemperaturen, Ofendruckwerte und Öl-Verbrauch vom Wandversuch 2

Brandzeit [min]	O 41 [°C]	O 42 [°C]	O 43 [°C]	O 44 [°C]	O 45 [°C]	O 46 [°C]	O 47 [°C]	O 48 [°C]	O MW [°C]	O Soll [°C]	D-u [Pa]	D-m [Pa]	D-o [Pa]	Öl-V. [l]
0	24	24	24	25	24	24	24	24	24	20	5.0	6.0	6.0	0.00
1	346	367	385	416	371	379	306	404	372	349	18.0	19.0	20.0	1.20
2	411	431	441	472	436	440	390	453	434	445	-3.0	4.0	11.0	2.20
3	675	705	703	685	667	683	641	664	678	502	-3.0	5.0	14.0	3.20
4	521	524	519	535	532	531	534	517	527	544	-7.0	1.0	11.0	3.70
5	736	745	729	716	741	758	701	709	729	576	-3.0	5.0	15.0	4.50
6	576	576	570	592	574	582	599	582	581	603	-5.0	3.0	12.0	4.90
7	661	689	643	648	693	677	637	630	660	626	-3.0	4.0	14.0	5.40
8	680	656	622	630	661	648	627	621	643	645	-2.0	5.0	15.0	5.70
9	690	662	631	637	667	659	634	633	652	663	-2.0	6.0	15.0	6.10
10	702	697	653	671	674	678	658	655	674	678	-2.0	6.0	15.0	6.50
11	700	685	662	684	686	684	672	674	681	693	-2.0	6.0	15.0	6.90
12	703	704	681	705	685	698	697	695	696	705	-3.0	5.0	14.0	7.40
13	734	718	697	720	716	731	712	710	717	717	-3.0	5.0	14.0	7.80
14	749	729	704	725	722	736	720	716	725	728	-3.0	5.0	14.0	8.30
15	747	730	712	736	735	746	730	728	733	739	-2.0	6.0	16.0	8.70
16	765	747	728	749	741	759	741	736	746	748	-3.0	5.0	15.0	9.20
17	773	766	736	757	754	759	753	748	756	757	-4.0	4.0	14.0	9.60
18	788	774	749	766	769	779	762	756	768	766	-2.0	6.0	16.0	10.10
19	789	777	752	768	777	786	766	759	772	774	-3.0	5.0	15.0	10.60
20	804	786	761	775	777	797	775	770	781	781	-4.0	4.0	14.0	11.00
21	808	792	766	782	790	797	781	773	786	789	-3.0	5.0	15.0	11.50
22	816	797	769	783	804	797	784	777	791	796	-2.0	7.0	16.0	11.90
23	824	803	779	788	810	809	793	787	799	802	-3.0	5.0	15.0	12.30
24	829	808	784	799	808	831	799	794	807	809	-3.0	5.0	15.0	12.70
25	839	818	794	810	822	823	809	801	815	815	-3.0	6.0	16.0	13.20
26	858	835	805	820	836	847	819	810	829	820	-3.0	5.0	15.0	13.60
27	874	851	811	822	847	850	824	813	837	826	-4.0	4.0	14.0	14.00
28	879	861	825	823	859	859	836	828	846	832	-3.0	6.0	16.0	14.40
29	908	885	837	819	888	876	841	818	859	837	-4.0	5.0	15.0	14.80
30	925	910	849	808	907	900	854	820	872	842	-5.0	4.0	14.0	15.10
31	927	915	858	805	916	890	832	789	867	847	-3.0	5.0	15.0	15.30
32	962	946	881	824	939	925	857	813	893	851	-3.0	5.0	15.0	15.30
33	1003	989	927	856	974	955	891	845	930	856	-6.0	3.0	12.0	15.30
34	1016	1006	910	852	994	1027	928	870	950	860	-4.0	5.0	15.0	15.30
35	1003	1007	874	832	989	992	887	853	930	865	-3.0	5.0	15.0	15.30
36	915	870	832	802	913	923	854	824	867	869	-2.0	7.0	16.0	15.30
37	867	823	788	754	882	878	814	780	823	873	-3.0	5.0	15.0	15.30
38	839	808	778	768	845	836	804	785	808	877	-4.0	5.0	14.0	15.40
39	859	844	815	825	854	844	839	837	840	881	-4.0	5.0	14.0	16.00
40	896	882	869	880	900	883	880	876	883	885	-4.0	4.0	14.0	16.80
41	905	889	878	892	905	891	890	885	892	888	-5.0	4.0	14.0	17.60
42	910	892	880	891	911	894	892	886	895	892	-5.0	4.0	14.0	18.20
43	906	891	878	887	904	893	889	880	891	896	-5.0	4.0	14.0	18.90
44	910	894	880	893	907	893	888	881	893	899	-4.0	4.0	15.0	19.50
45	916	899	886	898	914	899	894	888	899	902	-4.0	4.0	15.0	20.20
46	916	902	888	900	911	902	897	892	901	906	-4.0	4.0	15.0	20.90
47	921	904	892	905	916	904	899	895	905	909	-6.0	3.0	13.0	21.60
48	921	908	896	907	919	907	901	896	907	912	-5.0	4.0	15.0	22.30
49	924	909	899	911	924	911	905	902	911	915	-4.0	4.0	15.0	23.00
50	932	918	906	916	934	919	912	907	918	918	-5.0	4.0	14.0	23.70

Brandzeit [min]	O 41 [°C]	O 42 [°C]	O 43 [°C]	O 44 [°C]	O 45 [°C]	O 46 [°C]	O 47 [°C]	O 48 [°C]	O MW [°C]	O Soll [°C]	D-u [Pa]	D-m [Pa]	D-o [Pa]	Öl-V. [l]
51	930	919	907	916	937	919	912	908	919	921	-5.0	4.0	15.0	24.50
52	935	922	911	922	932	925	917	912	922	924	-5.0	4.0	14.0	25.20
53	946	932	917	927	944	927	922	915	929	927	-5.0	4.0	15.0	25.90
54	947	932	920	929	945	932	926	917	931	930	-4.0	4.0	15.0	26.50
55	952	938	922	929	941	933	929	920	933	932	-4.0	4.0	15.0	27.20
56	949	937	925	930	947	936	932	918	934	935	-5.0	4.0	15.0	27.80
57	959	941	927	930	965	945	941	923	941	938	-5.0	4.0	14.0	28.40
58	1041	1024	1029	972	1008	1002	973	953	1000	940	-5.0	3.0	14.0	29.00
59	1022	1039	1010	934	1033	1033	948	912	991	943	-4.0	5.0	15.0	29.30
60	1000	1020	957	911	1006	974	914	877	957	945	-3.0	5.0	16.0	29.30
61	1064	994	932	889	990	955	891	857	947	948	-4.0	5.0	15.0	29.90
62	1078	1012	938	899	1023	1023	923	896	974	950	-6.0	3.0	13.0	30.00
63	1081	1037	968	925	1056	1074	985	966	1012	953	-2.0	6.0	16.0	30.00
64	1070	1018	943	906	1057	1060	962	939	994	955	-4.0	4.0	15.0	30.00
65	1041	988	925	891	1015	1015	936	916	966	957	-6.0	3.0	13.0	30.00
66	1034	988	921	886	1017	1015	920	901	960	960	-4.0	5.0	15.0	30.00
67	1038	993	923	895	1019	1029	925	906	966	962	-4.0	5.0	15.0	30.00
68	1038	988	924	899	1023	1033	930	913	969	964	-3.0	6.0	16.0	30.30
69	1032	994	928	900	996	1022	930	913	964	966	-5.0	4.0	14.0	30.50
70	1025	987	923	895	1002	1020	924	912	961	968	-6.0	2.0	12.0	30.70
71	1020	989	941	911	1008	1026	932	915	968	971	-5.0	4.0	14.0	30.90
72	1029	988	958	941	1035	1043	944	931	984	973	-3.0	6.0	16.0	31.10
73	1067	1067	1024	968	1047	1020	957	935	1011	975	-4.0	5.0	15.0	31.10
74	1087	1059	992	960	1045	1025	958	940	1008	977	-6.0	3.0	13.0	31.10
75	1078	1054	980	950	1053	1009	949	933	1001	979	-5.0	3.0	13.0	31.10
76	1056	1031	964	938	1036	989	936	925	984	981	-5.0	4.0	14.0	31.10
77	1038	1014	952	922	1021	978	929	916	971	983	-3.0	6.0	16.0	31.10
78	1054	1028	962	925	1031	990	945	930	983	985	-4.0	5.0	15.0	31.30
79	1052	1030	959	923	1025	989	947	933	982	986	-4.0	5.0	15.0	31.60
80	1047	1030	962	927	1023	984	948	936	982	988	-3.0	5.0	15.0	31.80

Tabelle C5 Temperaturen der Gruppen A und B vom Wandversuch 2

Brandzeit [min]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	T9 [°C]	T10 [°C]	T11 [°C]	T12 [°C]	T13 [°C]	T14 [°C]	T15 [°C]	T16 [°C]	T17 [°C]	T18 [°C]	T19 [°C]	T20 [°C]
0	22	22	22	22	22	22	21	21	21	20	22	22	22	22	21	21	21	21	21	21
1	22	22	22	22	22	21	21	21	20	21	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21
2	22	22	22	22	22	21	21	21	20	21	22	22	22	21	21	21	21	22	22	21
3	22	22	22	22	22	22	21	21	21	21	22	22	22	22	21	21	21	21	21	21
4	24	22	22	22	22	22	21	21	20	21	23	22	22	21	21	21	21	21	21	21
5	24	22	22	22	22	22	21	21	20	21	24	22	21	21	21	21	21	21	21	21
6	28	22	22	22	22	22	21	21	20	21	26	22	22	21	21	21	22	21	21	21
7	36	23	22	22	22	21	21	21	21	21	30	22	22	21	21	21	22	21	21	21
8	60	24	23	22	22	22	21	21	21	21	36	23	22	22	21	21	22	21	21	21
9	96	25	23	22	22	21	21	21	21	21	49	25	23	22	22	21	22	21	21	21
10	98	28	25	23	22	22	22	21	21	21	67	28	24	22	22	21	21	21	21	21
11	98	32	27	24	22	22	21	21	21	22	90	32	27	24	22	22	22	21	21	21
12	99	37	31	25	23	22	22	21	21	21	97	35	29	25	22	21	22	21	21	21
13	100	46	37	28	23	22	21	21	21	21	98	40	34	27	23	21	22	21	21	21
14	100	53	43	32	25	22	21	21	21	21	99	45	39	31	24	22	21	21	21	21
15	100	61	51	39	28	22	21	21	21	21	99	51	44	35	26	22	22	21	21	21
16	101	69	61	47	32	22	21	21	22	21	99	56	50	41	29	22	22	21	21	21
17	105	75	71	58	39	23	21	21	21	21	99	62	56	47	33	23	22	21	21	21
18	114	81	79	68	50	24	22	22	21	22	100	67	63	53	38	22	22	22	22	23
19	130	83	81	72	58	24	21	21	22	21	100	74	71	61	45	24	22	22	21	21
20	143	86	82	74	62	26	21	21	21	21	101	78	75	66	51	23	22	22	21	21
21	155	87	84	77	66	28	21	21	21	21	105	83	80	72	58	24	22	22	22	21
22	163	89	86	79	68	32	22	21	21	21	110	86	84	77	64	25	22	22	22	21
23	174	92	89	82	72	37	22	22	21	21	117	89	87	81	70	27	22	22	22	21
24	185	95	93	86	78	43	23	22	21	21	126	92	90	84	75	29	22	22	22	22
25	202	97	94	90	83	50	24	23	21	21	134	93	91	87	80	31	24	23	23	22
26	226	99	96	92	86	58	24	22	21	21	146	94	92	89	83	35	23	22	22	21
27	255	104	94	91	87	68	25	23	21	21	164	96	93	91	87	39	24	22	22	21
28	271	115	89	86	83	75	28	24	21	21	190	97	94	92	90	47	25	23	22	21
29	287	131	95	88	83	77	31	25	21	21	212	98	99	94	92	61	28	24	23	22
30	299	155	114	94	83	76	34	27	21	22	236	100	100	95	92	67	30	25	22	22
31	308	188	156	133	87	76	38	30	22	21	236	103	104	96	92	76	35	27	22	22
32	325	227	198	183	101	71	41	33	22	21	245	110	107	93	83	66	41	30	22	22
33	329	264	252	276	145	71	43	35	22	22	256	130	133	97	88	77	44	34	23	22
34	334	305	369	427	228	69	44	37	23	21	275	157	157	97	79	71	48	37	23	22
35	324	403	523	577	357	73	46	39	23	21	296	205	197	109	78	72	48	39	23	22
36	351	532	636	687	465	81	48	40	24	21	303	325	317	180	81	72	49	41	24	22
37	561	*	767	724	518	83	50	42	24	21	304	483	475	307	102	71	49	42	24	22
38	*		*	*	*	86	53	45	25	22	311	581	583	461	180	72	50	43	26	23
39						87	58	48	25	22	343	*	*	*	309	74	49	42	25	22
40						86	61	51	26	22	380				401	72	49	42	25	22
41						86	62	53	27	22	385				*	77	49	42	26	22
42						87	61	53	28	22	395					76	50	43	27	23
43						91	62	54	28	22	*					80	50	43	26	23
44						96	64	56	29	22						85	51	43	27	23
45						99	68	60	30	22						93	54	45	27	23
46						113	72	64	32	23						106	57	48	27	23
47						129	78	70	34	23						115	61	51	28	23
48						144	85	80	38	23						122	66	55	29	24
49						161	88	84	45	23						133	72	60	30	24
50						176	88	85	50	24						139	80	70	32	24

Brandzeit [min]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	T9 [°C]	T10 [°C]	T11 [°C]	T12 [°C]	T13 [°C]	T14 [°C]	T15 [°C]	T16 [°C]	T17 [°C]	T18 [°C]	T19 [°C]	T20 [°C]
51						199	90	87	56	25						151	82	74	36	24
52						227	93	90	61	25						159	82	76	40	25
53						250	100	93	65	26						168	80	76	43	25
54						292	128	96	68	27						179	81	76	46	26
55						353	161	100	69	30						187	81	75	47	26
56						365	183	110	69	30						191	81	76	49	27
57						441	212	130	68	31						193	81	75	50	28
58						*	279	160	67	32						198	83	76	52	28
59							336	260	66	33						217	83	75	53	29
60							*	450	71	34						243	89	75	53	30
61								*	77	35						270	106	79	54	31
62									94	36						313	129	86	58	31
63									98	39						536	175	84	62	32
64									100	42						*	443	135	61	32
65									109	49							*	338	62	33
66									124	64								*	76	34
67									148	66									82	35
68									166	68									98	36
69									188	73									100	39
70									218	80									100	43
71									252	90									107	49
72									407	95									123	56
73									*	97									147	66
74										98									170	71
75										108									189	79
76										131									207	87
77										157									221	94
78										176									237	96
79										207									252	98
80										296									265	99

* Thermoelement von der Wand weggenommen (Temperatur höher als ca. 300-400°C)

Tabelle C6 Temperaturen der Gruppen C und D vom Wandversuch 2

Brandzeit [min]	T 21 [°C]	T 22 [°C]	T 23 [°C]	T 24 [°C]	T 25 [°C]	T 26 [°C]	T 27 [°C]	T 28 [°C]	T 29 [°C]	T 30 [°C]	T 31 [°C]	T 32 [°C]	T 33 [°C]	T 34 [°C]	T 35 [°C]	T 36 [°C]	T 37 [°C]	T 38 [°C]	T 39 [°C]	T 40 [°C]	T 51 [°C]
0	22	22	22	22	22	21	21	21	20	20	22	22	22	21	21	21	21	20	20	20	21
1	22	22	22	22	22	22	22	21	21	21	22	22	22	21	21	21	21	21	20	20	21
2	23	23	23	23	22	21	21	21	20	20	22	22	22	21	22	22	22	21	21	21	21
3	22	22	22	22	22	22	21	21	20	20	22	22	22	21	21	21	21	21	20	20	21
4	22	22	22	22	22	22	21	21	20	20	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21
5	23	22	22	22	22	22	21	21	20	20	22	22	22	22	22	22	22	21	21	21	21
6	24	22	22	22	22	22	21	21	20	20	22	22	22	21	21	21	21	21	21	20	21
7	25	23	22	22	22	22	21	21	20	21	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21
8	29	24	22	22	22	22	21	21	21	20	23	22	22	22	22	22	21	21	21	21	21
9	31	25	23	22	22	22	21	21	20	20	25	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21
10	41	27	24	22	22	22	21	21	20	21	28	23	23	22	22	22	21	21	21	21	21
11	67	31	26	23	22	22	21	21	20	21	33	24	23	21	21	21	21	21	21	21	21
12	86	35	28	24	22	22	21	21	20	21	37	27	24	21	22	21	21	21	21	21	21
13	93	40	31	25	22	22	21	21	21	21	43	31	25	21	22	22	21	21	21	21	21
14	94	46	35	27	23	22	21	21	20	21	49	36	28	21	22	22	21	21	21	21	21
15	95	53	40	30	24	22	21	21	21	21	55	42	33	21	22	21	21	21	21	21	21
16	96	59	45	34	26	22	21	21	21	21	61	48	38	21	22	22	21	21	21	21	21
17	97	64	50	39	28	22	21	21	21	21	67	55	44	22	22	22	21	21	21	21	21
18	98	69	57	45	31	22	21	21	21	21	72	61	50	21	22	22	21	21	21	21	22
19	98	73	61	49	34	23	22	21	21	21	77	68	55	21	22	22	21	21	21	21	22
20	98	77	66	55	38	23	21	21	21	21	80	72	61	21	22	22	21	21	21	21	23
21	98	80	70	60	43	23	21	21	21	21	83	77	68	21	23	23	21	21	21	21	25
22	99	84	75	65	49	24	22	22	21	21	86	81	74	22	24	24	23	21	21	21	27
23	99	87	79	70	53	24	22	21	21	21	88	84	79	21	24	24	22	21	21	21	28
24	99	89	82	74	58	24	22	21	21	21	90	87	83	22	26	25	23	22	22	21	28
25	100	91	85	78	63	25	22	21	21	21	92	89	86	21	27	26	23	21	21	21	29
26	101	92	86	80	67	26	22	21	21	21	93	91	88	21	30	27	23	21	21	21	32
27	103	93	88	82	71	27	22	22	21	21	96	91	91	21	35	28	24	21	21	21	31
28	107	95	89	84	74	28	22	22	22	21	107	91	94	21	43	31	25	21	21	21	34
29	111	96	91	86	77	30	23	22	21	21	119	97	103	21	54	34	26	21	21	21	35
30	115	97	92	88	79	31	23	22	21	21	154	104	108	21	58	39	27	21	21	21	37
31	117	96	92	88	81	32	24	22	21	21	195	115	125	21	59	48	28	21	21	21	53
32	120	95	90	87	81	34	24	22	21	21	220	130	134	21	59	54	29	21	21	21	49
33	127	98	90	88	83	36	25	23	21	21	246	154	174	21	58	56	30	21	21	21	63
34	142	101	92	90	83	37	26	23	21	21	274	180	185	22	57	59	32	21	21	21	52
35	159	108	92	91	84	39	27	24	21	21	388	228	207	22	56	60	34	21	21	21	64
36	177	120	93	92	84	40	28	24	21	21	557	333	268	21	57	60	34	21	21	21	69
37	185	137	93	92	81	41	29	25	21	21	679	449	328	22	59	59	35	21	21	21	70
38	172	164	90	95	80	42	30	25	21	21	753	554	386	22	62	58	36	21	21	21	74
39	219	228	110	110	81	43	30	26	22	21	770	606	418	22	63	56	37	21	21	21	75
40	534	445	176	145	87	44	31	27	22	21	*	*	*	22	65	57	39	22	21	21	82
41	702	665	369	227	104	45	32	27	22	21				22	66	57	39	21	21	21	76
42	*	*	*	345	143	45	32	27	22	21				22	68	57	39	21	21	21	78
43				453	197	46	33	28	22	21				22	69	59	40	21	21	21	79
44				*	257	48	33	29	22	21				22	71	61	41	21	21	21	80
45					309	49	34	29	22	21				23	75	65	42	21	21	20	81
46					357	50	35	30	22	21				23	81	68	44	22	21	21	82
47					394	51	36	31	23	21				23	90	70	45	22	20	20	359
48					*	52	37	32	23	21				23	105	73	46	22	20	20	571
49						55	39	33	23	21				24	133	78	47	22	20	20	556
50						73	43	36	24	22				24	167	85	50	22	21	20	471

Brandzeit [min]	T 21 [°C]	T 22 [°C]	T 23 [°C]	T 24 [°C]	T 25 [°C]	T 26 [°C]	T 27 [°C]	T 28 [°C]	T 29 [°C]	T 30 [°C]	T 31 [°C]	T 32 [°C]	T 33 [°C]	T 34 [°C]	T 35 [°C]	T 36 [°C]	T 37 [°C]	T 38 [°C]	T 39 [°C]	T 40 [°C]	T 51 [°C]
51						72	48	39	24	22				24	209	92	54	23	21	20	487
52						77	53	43	24	22				25	263	103	57	23	21	20	470
53						79	56	46	24	22				26	289	112	59	23	21	20	440
54						83	61	50	25	22				27	320	120	63	24	22	20	442
55						88	65	54	26	22				28	346	128	66	24	22	20	453
56						90	68	58	27	22				29	399	135	69	25	22	20	459
57						93	71	61	28	22				31	*	141	71	25	23	20	466
58						98	74	65	30	24				32		149	74	26	23	20	447
59						99	74	65	31	23				33		157	76	27	23	20	451
60						102	75	67	33	23				35		167	81	28	24	21	449
61						105	75	67	34	23				36		176	84	29	25	21	418
62						117	77	69	36	24				38		211	87	29	26	22	413
63						121	78	70	37	24				39		592	91	30	26	21	403
64						128	77	70	39	24				41		*	96	30	26	21	381
65						136	76	70	41	25				44			102	32	27	23	378
66						144	75	69	42	25				47			108	32	27	22	368
67						153	76	69	43	26				59			115	34	27	22	355
68						163	77	69	44	26				92			123	37	28	23	349
69						173	82	70	44	27				98			132	38	28	23	354
70						185	99	72	45	27				99			144	40	29	24	372
71						198	112	75	47	28				99			157	42	29	24	382
72						214	127	79	49	28				100			170	44	30	25	361
73						240	147	87	52	29				100			188	46	31	25	352
74						502	235	85	56	29				102			435	49	32	26	361
75						*	513	185	55	30				102			*	52	34	26	462
76							*	404	60	31				104				57	36	27	478
77								*	69	31				106				61	38	27	478
78									77	32				105				67	40	27	464
79									85	32				108				75	43	28	473
80									96	35				115				82	46	28	478

* Thermoelement von der Wand weggenommen (Temperatur höher als ca. 300-400°C)

C.3 Wand 3

Tabelle C7 Ofentemperaturen, Ofendruckwerte und Öl-Verbrauch vom Wandversuch 3

Brandzeit [min]	O 41 [°C]	O 42 [°C]	O 43 [°C]	O 44 [°C]	O 45 [°C]	O 46 [°C]	O 47 [°C]	O 48 [°C]	O MW [°C]	O Soll [°C]	D-u [Pa]	D-m [Pa]	D-o [Pa]	Öl-V. [l]
0	25	26	26	26	25	25	25	26	26	20	5.0	6.0	5.0	0.00
1	306	328	339	359	336	343	268	360	330	349	17.0	17.0	18.0	0.90
2	380	407	418	443	407	418	346	422	405	445	2.0	8.0	16.0	1.80
3	449	479	484	518	459	475	428	492	473	502	-1.0	6.0	15.0	3.00
4	518	540	546	565	520	540	508	545	535	544	-3.0	4.0	14.0	4.20
5	564	578	579	596	569	581	556	574	575	576	-4.0	4.0	13.0	5.30
6	594	606	610	628	598	604	587	599	603	603	-2.0	6.0	15.0	6.30
7	613	620	622	635	620	625	607	612	619	626	-3.0	4.0	14.0	7.30
8	633	634	633	643	640	642	624	627	635	645	-2.0	6.0	16.0	8.40
9	655	658	658	668	663	665	648	649	658	663	-3.0	5.0	15.0	9.50
10	671	672	671	681	676	678	662	662	672	678	-2.0	5.0	15.0	10.50
11	682	683	682	692	687	689	672	674	683	693	-2.0	5.0	15.0	11.60
12	708	702	702	711	708	705	689	693	702	705	-3.0	5.0	14.0	12.70
13	721	719	719	720	727	721	701	702	716	717	-3.0	5.0	15.0	13.80
14	731	728	727	730	732	732	713	714	726	728	-3.0	4.0	14.0	14.90
15	733	729	727	729	739	734	717	713	728	739	-4.0	3.0	13.0	16.00
16	748	747	749	757	746	742	734	741	746	748	-3.0	5.0	15.0	16.90
17	761	755	756	760	755	750	744	746	753	757	-3.0	5.0	15.0	17.90
18	765	762	765	764	757	758	754	756	760	766	-4.0	4.0	14.0	18.90
19	775	773	774	779	765	768	763	766	770	774	-3.0	5.0	15.0	19.90
20	784	784	784	783	784	777	771	772	780	781	-3.0	5.0	15.0	20.80
21	791	790	792	792	783	784	779	779	786	789	-3.0	5.0	15.0	21.80
22	801	799	799	802	793	795	788	789	796	796	-4.0	4.0	15.0	22.80
23	809	806	804	807	801	802	796	797	803	802	-4.0	4.0	15.0	23.80
24	812	809	806	808	804	804	798	796	805	809	-3.0	5.0	15.0	24.70
25	821	816	813	813	811	812	806	802	812	815	-5.0	3.0	13.0	25.70
26	827	825	821	821	825	821	813	810	820	820	-4.0	4.0	15.0	26.60
27	821	822	824	837	827	828	822	821	825	826	-4.0	4.0	14.0	27.50
28	837	830	830	850	827	838	827	828	833	832	-5.0	3.0	13.0	28.20
29	844	840	837	848	840	842	829	820	838	837	-4.0	4.0	14.0	29.10
30	873	850	834	833	844	844	828	815	840	842	-4.0	5.0	15.0	29.80
31	862	848	835	831	853	856	826	816	841	847	-4.0	4.0	15.0	30.50
32	868	852	842	839	860	861	834	824	848	851	-4.0	4.0	14.0	31.30
33	864	856	845	840	869	867	838	826	851	856	-4.0	4.0	14.0	32.00
34	876	865	855	852	877	880	847	841	862	860	-4.0	4.0	15.0	32.80
35	880	870	854	844	894	884	848	837	864	865	-5.0	3.0	14.0	33.50
36	902	881	864	852	904	901	855	842	875	869	-3.0	5.0	16.0	34.20
37	906	881	863	855	916	916	858	845	880	873	-4.0	4.0	15.0	34.80
38	884	858	839	831	898	896	844	833	860	877	-5.0	3.0	13.0	35.30
39	917	877	852	846	921	937	856	850	882	881	-5.0	3.0	14.0	35.70
40	945	901	863	847	946	937	862	853	894	885	-4.0	4.0	15.0	36.10
41	977	935	914	871	957	993	923	905	934	888	-2.0	6.0	17.0	36.40
42	977	908	877	838	975	1006	909	881	921	892	-7.0	2.0	12.0	36.50
43	965	890	857	817	976	965	885	853	901	896	-7.0	2.0	12.0	36.50
44	991	917	891	843	937	993	901	874	918	899	-3.0	5.0	15.0	36.50
45	1003	946	922	876	948	1048	972	912	953	902	-5.0	3.0	13.0	36.50
46	1005	942	911	867	969	1040	957	910	950	906	-5.0	3.0	13.0	36.50
47	1006	949	919	873	950	1002	945	907	944	909	-4.0	4.0	14.0	36.50
48	1014	968	941	889	962	1002	950	912	955	912	-4.0	4.0	15.0	36.50
49	1028	976	948	907	1012	1054	970	933	979	915	-6.0	3.0	13.0	36.50
50	1028	973	941	894	982	1026	962	926	967	918	-5.0	3.0	14.0	36.50

Brandzeit [min]	O 41 [°C]	O 42 [°C]	O 43 [°C]	O 44 [°C]	O 45 [°C]	O 46 [°C]	O 47 [°C]	O 48 [°C]	O MW [°C]	O Soll [°C]	D-u [Pa]	D-m [Pa]	D-o [Pa]	Öl-V. [l]
51	1027	983	943	891	904	1056	979	913	962	921	-4.0	4.0	15.0	36.50
52	1040	1015	974	917	857	1064	989	947	975	924	-4.0	4.0	15.0	36.50
53	1075	1065	1037	947	909	988	1013	959	999	927	-7.0	2.0	12.0	36.50
54	1009	1038	1059	948	874	1003	1017	968	990	930	-4.0	5.0	15.0	36.50
55	1045	1059	1052	951	886	1019	1028	978	1002	932	-8.0	1.0	12.0	36.50
56	1022	1042	1033	973	930	987	1053	979	1002	935	-6.0	3.0	13.0	36.50
57	1045	1051	1057	968	944	984	1054	976	1010	938	-4.0	5.0	16.0	36.50
58	1008	1004	1000	975	1012	1056	1004	977	1005	940	-2.0	7.0	18.0	36.50
59	1050	1052	1012	947	1006	1052	991	960	1009	943	-4.0	5.0	15.0	36.50
60	1039	988	975	987	986	1042	958	936	989	945	-3.0	5.0	16.0	36.50
61	1005	963	1046	970	1000	1056	954	935	991	948	-5.0	4.0	14.0	36.50
62	1029	1039	1012	957	995	1072	948	928	998	950	-5.0	4.0	14.0	36.50
63	1043	1043	1010	948	991	1000	937	917	986	953	-3.0	5.0	15.0	36.50
64	971	948	1018	991	910	1028	963	943	972	955	-7.0	1.0	11.0	36.50
65	1052	1063	1028	978	1050	1018	964	945	1012	957	-2.0	6.0	17.0	36.50
66	1013	1006	759	959	1056	1029	967	950	967	960	-1.0	7.0	18.0	36.50
67	967	923	989	949	1038	993	952	933	968	962	-4.0	4.0	15.0	36.50
68	983	947	973	937	1031	971	936	920	962	964	-5.0	3.0	14.0	36.50
69	970	960	977	962	1047	984	951	937	974	966	-3.0	5.0	16.0	36.50
70	990	986	970	954	1046	977	944	931	975	968	-4.0	5.0	15.0	36.50
71	941	976	949	943	1045	994	950	942	968	971	-5.0	3.0	14.0	36.90

Tabelle C8 Temperaturen der Gruppen A und B vom Wandversuch 3

Brandzeit [min]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	T9 [°C]	T10 [°C]	T11 [°C]	T12 [°C]	T13 [°C]	T14 [°C]	T15 [°C]	T16 [°C]	T17 [°C]	T18 [°C]	T19 [°C]	T20 [°C]
0	25	25	25	25	24	24	24	23	21	21	24	23	23	23	23	23	23	22	22	22
1	26	24	24	24	23	23	23	23	21	22	24	23	23	23	23	22	23	22	22	22
2	37	24	24	24	24	23	23	23	21	21	29	24	23	23	23	22	23	22	22	22
3	54	25	24	24	23	23	23	23	21	21	37	24	23	23	23	23	23	23	22	22
4	74	28	24	24	24	23	23	23	22	21	55	27	23	23	23	23	23	23	22	22
5	90	40	24	24	23	23	23	22	22	22	77	33	23	23	23	22	23	22	22	22
6	95	60	24	24	23	23	23	22	22	22	89	44	23	23	23	22	23	22	22	22
7	97	76	24	24	24	23	23	23	22	22	93	60	24	23	23	22	23	22	22	22
8	98	86	26	24	24	23	23	22	22	22	94	77	28	23	23	22	23	23	22	22
9	102	90	33	24	24	23	23	22	22	22	95	87	44	23	23	22	23	22	22	22
10	108	92	48	25	23	23	23	23	22	22	95	92	67	24	23	23	23	23	22	22
11	117	94	65	28	24	24	23	23	22	22	96	95	81	28	23	22	23	23	22	22
12	125	95	76	36	24	23	23	23	22	22	98	96	89	38	23	22	23	23	22	22
13	134	97	85	54	24	23	23	23	23	22	101	98	95	58	23	23	23	23	22	22
14	142	97	93	75	24	23	23	23	22	22	103	98	97	77	23	23	23	23	22	22
15	149	98	97	90	32	23	23	23	23	22	106	99	98	92	25	23	23	23	22	22
16	157	98	98	96	63	23	23	23	23	22	124	99	98	96	31	23	23	22	22	22
17	167	98	99	98	85	24	23	23	22	22	139	99	98	97	80	23	23	23	22	23
18	179	99	99	98	97	27	23	23	22	22	171	103	98	98	92	23	23	23	23	23
19	191	101	98	98	97	47	23	23	23	22	184	104	98	98	96	29	23	24	23	23
20	205	104	98	98	97	75	23	23	22	22	195	105	97	97	96	53	23	23	23	23
21	220	106	98	97	97	84	24	23	22	22	207	108	97	97	97	75	23	23	23	23
22	240	111	97	97	96	87	28	23	22	22	223	112	97	97	96	84	23	23	23	23
23	262	120	96	95	95	88	32	23	22	22	243	121	95	96	96	87	25	23	23	23
24	287	134	95	95	94	88	40	23	22	22	269	137	94	95	95	89	31	23	22	23
25	314	156	95	94	94	90	49	23	22	22	296	159	94	94	94	91	48	23	22	23
26	342	181	94	93	93	91	57	24	22	23	322	184	94	94	94	93	64	23	23	23
27	365	206	94	92	93	90	64	26	22	22	383	228	93	93	93	93	76	24	23	23
28	388	216	94	93	93	89	68	29	22	22	380	222	93	92	93	92	78	26	23	22
29	423	238	94	93	93	89	70	33	23	22	378	251	94	93	93	91	78	30	23	23
30	*	262	94	93	93	89	72	37	22	22	389	271	94	93	93	90	78	35	22	23
31		286	94	93	92	89	74	41	22	22	404	291	94	93	93	89	78	40	22	23
32		307	94	93	92	89	75	45	22	22	*	337	93	92	92	89	78	44	22	23
33		330	94	92	92	89	76	49	22	23		379	94	92	92	89	78	48	22	23
34		344	96	92	92	89	77	53	23	23		417	96	92	91	88	79	51	23	23
35		361	99	92	92	89	78	56	23	23		*	104	91	91	88	79	53	23	23
36		382	105	92	92	89	78	58	23	23			135	90	91	88	79	55	23	23
37		410	113	92	92	89	79	61	24	24			205	90	91	88	80	57	23	23
38		*	123	92	92	88	80	63	24	24			261	90	90	87	80	60	25	24
39			137	92	92	89	80	65	24	25			342	89	90	87	80	60	24	24
40			153	92	91	88	80	66	24	25			*	91	89	87	80	61	24	24
41			170	91	91	88	81	67	25	26				92	90	87	80	63	25	24
42			192	92	91	88	81	68	25	27				202	91	88	82	66	27	25
43			225	91	91	89	81	69	26	30				413	91	89	84	68	28	26
44			268	92	91	88	82	70	26	32				*	93	88	82	67	30	26
45			306	93	91	88	82	71	27	34					316	90	85	72	33	26
46			340	93	91	88	82	71	27	35					*	90	86	74	33	27
47			455	93	91	89	83	72	28	36						90	87	75	35	28
48			*	95	91	89	84	73	29	37						93	85	74	35	28
49				116	92	89	85	75	29	40						323	89	79	40	29
50				183	92	90	85	76	30	41						332	89	82	43	31

Brandzeit [min]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	T9 [°C]	T10 [°C]	T11 [°C]	T12 [°C]	T13 [°C]	T14 [°C]	T15 [°C]	T16 [°C]	T17 [°C]	T18 [°C]	T19 [°C]	T20 [°C]
51				297	91	89	85	76	31	41							92	85	44	31
52				378	91	89	85	77	32	41							266	89	49	32
53				*	121	89	85	77	32	45							848	93	55	34
54					498	90	86	78	33	43							*	381	72	36
55					*	90	87	79	34	43								*	83	40
56						90	87	80	35	48									120	46
57						90	86	80	36	50									187	55
58						154	89	83	37	53									323	97
59						501	90	85	39	55									409	100
60						*	124	88	40	53									426	103
61							651	90	42	68									*	*
62							*	89	44	68										
63								89	46	58										
64								706	48	77										
65								**	**	**										
66																				
67																				
68																				
69																				
70																				
71																				

* Thermoelement von der Wand weggenommen (Temperatur höher als ca. 300-400°C)

** Alle Thermoelemente nach 64 Minuten aus Sicherheitsgründen von der Wand weggenommen

Tabelle C9 Temperaturen der Gruppen C und D vom Wandversuch 3

Brandzeit [min]	T 21 [°C]	T 22 [°C]	T 23 [°C]	T 24 [°C]	T 25 [°C]	T 26 [°C]	T 27 [°C]	T 28 [°C]	T 29 [°C]	T 30 [°C]	T 31 [°C]	T 32 [°C]	T 33 [°C]	T 34 [°C]	T 35 [°C]
0	23	23	23	23	23	23	22	22	21	21	23	23	24	23	24
1	25	23	23	23	23	22	22	22	21	21	23	23	23	22	23
2	34	24	23	23	23	22	22	22	21	21	23	23	23	22	23
3	47	25	23	23	23	22	22	22	21	21	23	23	23	22	23
4	67	30	23	23	23	22	22	22	21	21	23	23	23	22	23
5	84	46	23	23	23	23	22	22	21	21	23	23	23	22	23
6	94	67	23	23	23	23	22	22	21	21	23	23	24	23	24
7	97	83	24	23	23	23	22	22	21	21	23	23	23	22	24
8	99	91	25	23	23	22	22	22	21	21	23	23	23	22	23
9	103	94	32	23	23	22	22	22	21	21	23	23	23	22	23
10	109	96	52	23	23	23	22	22	21	22	24	23	23	22	23
11	117	96	72	24	23	22	22	22	21	21	24	23	23	22	24
12	126	97	84	26	23	23	22	22	21	21	24	23	23	22	26
13	133	97	91	34	23	23	22	22	21	21	24	23	23	22	29
14	141	98	95	53	23	22	22	22	21	21	25	23	23	22	33
15	148	99	98	76	25	22	22	22	21	21	26	24	24	22	38
16	156	100	98	90	33	22	22	22	21	21	28	24	24	22	43
17	167	102	98	96	66	22	22	22	21	21	31	25	25	23	48
18	178	104	99	98	86	23	22	22	21	21	34	26	27	22	59
19	189	106	99	99	94	24	22	22	21	21	36	27	32	22	69
20	199	108	98	98	97	34	22	22	21	21	39	29	36	22	78
21	211	111	98	98	97	61	22	22	21	21	42	31	42	22	81
22	221	115	97	97	97	78	23	23	22	22	46	33	46	22	83
23	237	122	97	97	96	84	23	22	21	21	48	34	49	22	83
24	254	131	96	96	96	87	25	22	21	21	51	36	51	22	84
25	279	151	95	95	95	88	31	22	21	21	54	38	52	22	87
26	309	176	95	95	94	89	39	22	21	21	57	39	54	22	89
27	338	232	94	94	94	92	50	23	21	21	58	41	55	22	88
28	366	257	93	94	94	93	62	24	21	21	63	43	56	22	84
29	365	257	93	93	93	91	70	27	21	21	68	45	57	22	81
30	363	268	94	93	92	89	71	32	21	21	73	47	57	22	81
31	378	283	94	93	92	88	71	37	22	22	81	49	58	22	80
32	397	307	94	93	91	87	71	41	21	21	93	50	58	22	79
33	*	337	94	93	91	86	72	46	21	21	96	54	56	23	79
34		354	94	93	91	85	72	48	21	21	97	56	57	24	79
35		374	93	92	90	85	72	50	21	21	97	58	57	23	79
36		389	93	92	90	85	72	52	21	21	97	60	58	23	79
37		401	94	91	89	84	72	53	21	21	98	62	59	24	77
38		*	97	91	89	84	71	54	22	21	98	64	59	24	75
39			128	90	88	83	71	55	22	21	98	66	59	24	82
40			213	90	88	83	71	56	22	22	98	68	60	25	149
41			686	92	88	83	72	57	23	22	98	71	61	25	233
42			*	92	90	84	72	58	23	22	99	74	62	26	455
43				92	90	84	73	59	24	22	99	77	63	26	634
44				689	93	83	72	59	24	23	99	81	64	27	626
45				*	91	83	72	59	25	23	99	86	65	27	593
46					126	82	71	59	25	23	99	96	67	27	502
47					206	82	71	59	26	24	99	98	69	28	468
48					235	84	71	59	26	24	99	99	72	28	472
49					246	84	71	59	27	24	105	99	80	29	442
50					755	89	72	60	28	25	158	100	88	29	432

Brandzeit [min]	T 21 [°C]	T 22 [°C]	T 23 [°C]	T 24 [°C]	T 25 [°C]	T 26 [°C]	T 27 [°C]	T 28 [°C]	T 29 [°C]	T 30 [°C]	T 31 [°C]	T 32 [°C]	T 33 [°C]	T 34 [°C]	T 35 [°C]
51						97	78	61	28	25	209	99	103	30	456
52						398	79	63	28	25	228	99	126	30	445
53						*	79	64	29	26	250	100	133	31	432
54							78	63	29	26	283	100	162	31	411
55							80	63	29	26	306	104	177	32	399
56							87	65	30	27	301	110	191	33	370
57							91	72	31	27	321	115	211	34	337
58							93	78	33	28	398	164	326	35	304
59							112	82	52	29	*	207	437	38	278
60							219	83	50	31		324	629	40	281
61							295	85	74	36		436	753	43	282
62							361	87	76	42		*	*	47	281
63							*	89	61	47				52	277
64								77	56	42				59	280
65								**	**	**				**	**
66															
67															
68															
69															
70															
71															

* Thermoelement von der Wand weggenommen (Temperatur höher als ca. 300-400°C)

** Alle Thermoelemente nach 64 Minuten aus Sicherheitsgründen von der Wand weggenommen

C.4 Wand 4

Tabelle C10 Ofentemperaturen, Ofendruckwerte und Öl-Verbrauch vom Wandversuch 4

Brandzeit [min]	O 41 [°C]	O 42 [°C]	O 43 [°C]	O 44 [°C]	O 45 [°C]	O 46 [°C]	O 47 [°C]	O 48 [°C]	O MW [°C]	O Soll [°C]	D-u [Pa]	D-m [Pa]	D-o [Pa]	Öl-V. [l]
0	29	29	29	30	29	29	29	29	29	20	15.0	16.0	15.0	0.00
1	347	386	403	427	391	405	305	421	386	349	14.0	15.0	15.0	1.20
2	404	438	443	455	444	453	366	434	430	445	10.0	14.0	18.0	2.30
3	650	710	728	703	653	690	595	684	677	502	-1.0	5.0	14.0	3.40
4	548	608	553	538	609	583	513	485	555	544	-2.0	5.0	15.0	3.90
5	700	693	676	670	706	715	647	653	683	576	0.0	7.0	16.0	4.70
6	565	553	551	576	537	547	582	566	560	603	-5.0	3.0	12.0	5.20
7	654	660	637	646	629	653	635	635	644	626	-4.0	3.0	12.0	6.00
8	680	658	632	632	670	666	629	627	649	645	-2.0	5.0	14.0	6.50
9	684	666	636	634	669	683	634	629	654	663	0.0	8.0	17.0	7.00
10	694	677	650	652	676	693	651	649	668	678	-5.0	3.0	12.0	7.50
11	695	682	671	674	687	693	673	668	680	693	-3.0	4.0	13.0	8.10
12	710	711	686	687	689	731	686	678	697	705	-2.0	6.0	15.0	8.70
13	723	723	697	694	712	735	703	694	710	717	-1.0	7.0	16.0	9.20
14	732	725	709	708	715	736	709	702	717	728	-3.0	5.0	14.0	9.70
15	750	757	721	723	732	760	726	719	736	739	-3.0	5.0	14.0	10.30
16	760	745	726	730	734	773	735	728	741	748	-3.0	5.0	14.0	10.90
17	778	771	746	744	749	783	751	740	758	757	-3.0	5.0	14.0	11.50
18	782	768	751	748	766	788	755	745	763	766	-3.0	5.0	15.0	12.10
19	797	789	768	757	785	797	768	755	777	774	-3.0	5.0	15.0	12.60
20	810	793	762	750	790	801	767	752	778	781	-3.0	5.0	15.0	13.10
21	817	803	774	762	789	818	774	758	787	789	-3.0	6.0	15.0	13.70
22	824	791	769	763	803	822	778	765	789	796	-3.0	6.0	15.0	14.20
23	813	799	774	773	798	819	785	773	792	802	-2.0	6.0	15.0	14.70
24	827	807	790	788	819	825	799	785	805	809	-2.0	6.0	15.0	15.30
25	842	824	800	790	823	845	807	791	815	815	-4.0	5.0	14.0	15.80
26	849	829	806	803	837	857	816	806	825	820	-3.0	5.0	14.0	16.40
27	861	834	807	794	837	850	814	796	824	826	-2.0	6.0	15.0	16.90
28	855	847	812	792	827	864	816	795	826	832	-4.0	4.0	13.0	17.50
29	863	842	816	800	842	869	821	804	832	837	-2.0	7.0	16.0	18.10
30	881	865	830	815	849	890	835	814	847	842	-3.0	5.0	15.0	18.60
31	886	871	826	788	863	892	832	802	845	847	-3.0	5.0	15.0	19.10
32	889	883	829	787	857	894	837	804	848	851	-2.0	6.0	15.0	19.50
33	919	905	863	827	899	930	880	852	884	856	-3.0	5.0	14.0	19.90
34	952	936	897	833	926	971	916	872	913	860	-2.0	6.0	15.0	20.20
35	967	981	944	853	963	963	972	874	940	865	-5.0	4.0	13.0	20.40
36	1011	1024	1008	895	978	981	965	900	970	869	-4.0	5.0	14.0	20.40
37	1022	1041	1030	905	988	1035	973	918	989	873	-3.0	5.0	15.0	20.40
38	1036	1047	1013	928	1028	1062	975	928	1002	877	-5.0	3.0	13.0	20.40
39	1054	1035	996	933	1041	1070	979	936	1006	881	-8.0	0.0	10.0	20.40
40	1062	1044	1012	931	1054	1069	980	936	1011	885	-1.0	7.0	17.0	20.40
41	1072	1057	1036	942	1069	1081	994	940	1024	888	-6.0	2.0	12.0	20.40
42	1033	1063	1032	949	1062	1074	1011	956	1023	892	-3.0	5.0	15.0	20.40
43	1032	1069	1042	948	1068	1093	1019	953	1028	896	-1.0	8.0	18.0	20.40
44	1062	1073	1026	956	1083	1087	1002	958	1031	899	-5.0	3.0	13.0	20.40
45	1095	1083	1039	955	1087	1087	998	958	1038	902	-5.0	4.0	13.0	20.40
46	1093	1071	1016	950	1072	1074	957	963	1025	906	-3.0	5.0	15.0	20.40
47	1072	1046	981	916	1013	1058	965	903	994	909	-3.0	6.0	16.0	20.40
48	1066	1035	982	906	1011	1049	956	899	988	912	-11.0	-1.0	8.0	20.40
49	1032	1009	1003	904	1002	1047	920	891	976	915	-4.0	4.0	14.0	20.40
50	1015	983	970	883	1009	1035	893	871	957	918	-2.0	7.0	17.0	20.40

Brandzeit [min]	O 41 [°C]	O 42 [°C]	O 43 [°C]	O 44 [°C]	O 45 [°C]	O 46 [°C]	O 47 [°C]	O 48 [°C]	O MW [°C]	O Soll [°C]	D-u [Pa]	D-m [Pa]	D-o [Pa]	Öl-V. [l]
51	1028	998	944	868	1009	998	877	860	948	921	-3.0	6.0	16.0	20.40
52	990	980	938	863	982	982	873	859	933	924	-3.0	6.0	16.0	20.60
53	965	962	921	853	978	972	867	848	921	927	-7.0	2.0	11.0	21.00
54	979	956	920	848	972	959	862	846	918	930	-4.0	4.0	14.0	21.50
55	958	944	927	896	974	928	886	884	925	932	-4.0	5.0	14.0	21.90
56	962	936	897	905	974	925	894	890	923	935	-4.0	5.0	14.0	22.40
57	987	938	908	930	977	937	904	904	936	938	-3.0	5.0	15.0	23.10
58	997	957	928	936	972	947	921	917	947	940	-4.0	4.0	14.0	23.80
59	992	931	905	915	974	928	907	899	931	943	-5.0	4.0	14.0	24.30
60	980	928	907	929	979	937	912	911	935	945	-4.0	5.0	14.0	24.90
61	992	935	913	928	976	943	919	918	941	948	-4.0	4.0	14.0	25.50
62	979	935	914	927	976	942	923	922	940	950	-4.0	5.0	15.0	26.10
63	1007	969	949	951	992	962	944	941	964	953	-4.0	4.0	14.0	27.10
64	1000	960	943	943	996	954	940	933	959	955	-4.0	5.0	15.0	27.90
65	1006	959	936	938	987	959	937	928	956	957	-4.0	5.0	15.0	28.60
66	1003	958	935	937	987	956	935	926	955	960	-4.0	4.0	14.0	29.20
67	1002	956	934	937	981	959	936	928	954	962	-3.0	5.0	15.0	29.90
68	1003	969	945	947	976	965	940	934	960	964	-4.0	4.0	14.0	30.70
69	992	969	949	949	976	966	946	939	961	966	-4.0	5.0	15.0	31.40
70	1001	981	959	954	990	992	958	946	973	968	-3.0	5.0	15.0	32.20
71	1004	978	958	951	986	992	953	939	970	971	-4.0	5.0	15.0	33.10
72	1001	985	959	952	990	994	954	944	972	973	-4.0	5.0	15.0	34.00
73	1000	987	961	956	995	996	955	943	974	975	-4.0	5.0	14.0	34.90
74	999	991	964	954	997	1000	956	946	976	977	-4.0	5.0	15.0	35.70
75	999	990	965	955	993	993	956	945	975	979	-5.0	4.0	14.0	36.50
76	1001	996	977	958	992	996	959	944	978	981	-4.0	5.0	15.0	37.30
77	999	989	981	964	993	992	947	946	976	983	-4.0	5.0	15.0	38.20
78	1000	993	982	966	995	999	955	957	981	985	-4.0	4.0	14.0	39.10
79	996	979	963	965	1001	1006	961	961	979	986	-4.0	5.0	15.0	40.00
80	999	978	971	973	1004	1012	971	970	985	988	-5.0	4.0	14.0	41.00
81	1013	989	976	972	1005	1019	975	972	990	990	-5.0	3.0	13.0	42.00
82	1016	990	977	976	1008	1018	979	975	992	992	-4.0	5.0	15.0	43.00
83	1023	995	980	976	1011	1027	981	975	996	994	-4.0	5.0	15.0	44.00
84	1019	991	975	973	1013	1024	977	968	993	996	-3.0	6.0	16.0	44.80
85	1021	991	975	975	1011	1029	977	970	994	997	-3.0	5.0	15.0	45.60
86	1026	997	985	981	1005	1035	987	977	999	999	-4.0	5.0	15.0	46.60
87	1028	997	984	981	1016	1038	988	976	1001	1001	-5.0	4.0	14.0	47.40
88	1035	1005	993	984	1019	1038	991	978	1005	1003	-4.0	5.0	15.0	48.30
89	1038	1005	989	981	1025	1040	991	978	1006	1004	-4.0	4.0	14.0	49.00
90	1024	998	975	972	1018	1023	976	967	994	1006	-4.0	4.0	14.0	49.70
91	1030	1011	988	979	1031	1031	983	973	1003	1008	-4.0	4.0	14.0	50.30
92	1038	1013	991	985	1037	1038	989	979	1009	1009	-3.0	5.0	15.0	51.00
93	1040	1020	993	985	1033	1042	992	980	1011	1011	-3.0	6.0	16.0	51.50
94	1051	1023	1002	993	1050	1046	1001	989	1019	1012	-5.0	3.0	13.0	52.20
95	1046	1016	995	990	995	1033	1008	990	1009	1014	-4.0	5.0	15.0	52.70
96	1049	1030	1006	997	1007	1035	1010	993	1016	1016	-4.0	4.0	14.0	53.20
97	1059	1025	1006	999	1019	1051	1012	1001	1022	1017	-4.0	4.0	14.0	53.60
98	1073	1035	1011	982	1034	1073	1016	996	1028	1019	-4.0	4.0	14.0	54.00
99	1061	1036	1004	969	1039	1082	1010	986	1023	1020	-4.0	5.0	15.0	54.40
100	1067	1055	1006	975	1046	1083	1018	995	1031	1022	-5.0	4.0	14.0	54.80

Brandzeit [min]	O 41 [°C]	O 42 [°C]	O 43 [°C]	O 44 [°C]	O 45 [°C]	O 46 [°C]	O 47 [°C]	O 48 [°C]	O MW [°C]	O Soll [°C]	D-u [Pa]	D-m [Pa]	D-o [Pa]	Öl-V. [l]
101	1072	1063	1013	979	1057	1072	1017	994	1033	1023	-4.0	5.0	15.0	55.10
102	1068	1058	1005	969	1046	1061	1004	976	1023	1025	-5.0	3.0	13.0	55.20
103	1080	1076	1027	981	1071	1075	1016	990	1040	1026	-4.0	5.0	15.0	55.30
104	1107	1098	1054	1000	1067	1066	1037	1011	1055	1028	-3.0	5.0	15.0	55.70
105	1111	1110	1063	1019	1080	1096	1061	1024	1071	1029	-4.0	5.0	14.0	55.70
106	1115	1117	1070	1023	1073	1081	1058	1024	1070	1030	-3.0	6.0	16.0	55.70
107	1120	1114	1067	1031	1094	1125	1068	1042	1083	1032	-3.0	6.0	15.0	55.70
108	1119	1108	1059	1026	1105	1131	1066	1039	1082	1033	-4.0	5.0	15.0	55.70
109	1110	1120	1077	1038	1081	1132	1061	1042	1083	1035	-2.0	7.0	17.0	55.70
110	1128	1120	1081	1047	1106	1138	1075	1060	1094	1036	-5.0	4.0	14.0	55.70
111	1135	1131	1090	1049	1131	1155	1083	1059	1104	1037	-6.0	3.0	13.0	55.70
112	1136	1142	1098	1056	1128	1166	1091	1060	1110	1039	-5.0	3.0	13.0	55.70
113	1116	1144	1112	1066	1115	1161	1093	1070	1110	1040	-5.0	4.0	14.0	55.70

Tabelle C11 Temperaturen der Gruppen A und B vom Wandversuch 4

Brandzeit [min]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	T9 [°C]	T10 [°C]	T11 [°C]	T12 [°C]	T13 [°C]	T14 [°C]	T15 [°C]	T16 [°C]	T17 [°C]	T18 [°C]	T19 [°C]	T20 [°C]
0	27	27	27	27	26	26	26	26	28	28	27	27	27	26	27	26	26	27	27	27
1	27	27	28	28	27	27	27	27	28	28	28	28	27	27	27	27	27	27	28	28
2	27	27	27	28	27	27	27	27	28	28	29	28	27	27	27	27	26	27	27	27
3	28	27	27	27	27	27	27	27	28	28	39	27	27	27	27	27	26	27	27	27
4	29	27	27	27	27	27	27	27	28	28	81	27	27	27	27	27	26	27	27	27
5	34	27	27	27	27	26	26	27	28	28	96	28	27	27	27	27	26	27	27	27
6	46	27	27	27	27	27	27	27	28	28	97	28	27	27	27	27	26	27	27	27
7	75	28	27	27	27	27	27	27	28	28	98	29	27	27	27	26	26	27	27	27
8	89	29	27	27	27	27	27	27	28	28	99	30	27	27	26	27	26	26	27	27
9	92	30	27	27	27	27	27	27	28	28	100	32	27	27	27	27	26	26	27	27
10	95	33	27	27	27	27	27	27	28	28	101	35	27	27	27	27	26	27	27	27
11	96	37	28	27	27	27	27	27	28	28	102	39	27	27	27	27	26	27	27	27
12	97	43	28	27	26	27	26	27	28	28	108	44	28	27	27	27	26	27	27	28
13	98	58	29	27	27	27	27	27	28	28	118	51	28	27	27	27	26	27	27	28
14	98	74	29	27	26	26	27	27	28	28	129	60	29	27	27	27	26	27	27	28
15	98	82	30	27	26	26	27	27	28	28	140	72	30	27	27	27	26	27	27	28
16	99	86	31	27	27	26	27	27	28	28	148	85	31	27	27	27	26	27	27	28
17	104	89	33	27	27	27	27	27	28	28	157	93	33	27	27	27	27	27	27	28
18	111	90	35	27	27	27	27	27	28	28	165	96	35	27	27	27	26	27	27	28
19	124	96	41	29	27	27	27	27	28	28	162	98	38	27	27	27	26	27	27	28
20	128	96	44	27	27	27	27	27	28	28	168	98	43	27	27	27	26	27	27	28
21	125	97	48	27	27	27	27	27	28	29	175	98	48	28	27	27	26	27	27	28
22	125	97	53	28	27	27	27	27	28	28	186	98	53	28	27	27	26	27	27	28
23	127	98	59	28	27	27	27	27	28	28	162	97	58	30	27	27	27	27	27	28
24	131	98	65	28	27	27	27	27	28	29	166	97	63	32	27	27	27	27	28	28
25	136	99	72	30	27	27	27	27	28	28	163	97	67	35	27	27	27	27	28	28
26	142	98	77	30	27	27	27	27	28	29	143	98	72	44	27	27	26	27	27	28
27	145	97	82	32	27	27	27	27	28	28	128	99	75	52	27	27	27	27	28	28
28	150	97	86	35	27	27	27	27	28	28	145	101	78	62	27	27	26	27	27	28
29	158	100	87	39	27	27	27	27	28	28	157	104	80	69	27	27	26	27	27	28
30	168	104	88	44	28	27	27	27	28	28	165	106	80	73	28	27	27	27	27	28
31	182	110	89	47	28	27	27	27	28	28	173	108	80	73	28	27	27	27	27	28
32	199	129	89	49	29	27	27	27	28	28	189	109	79	71	29	28	26	27	27	28
33	221	157	89	51	31	28	27	27	28	29	223	117	78	71	30	28	27	27	27	28
34	243	170	88	51	33	29	27	27	28	29	244	122	76	69	31	29	27	27	28	28
35	266	158	84	54	34	30	27	27	28	28	204	125	74	68	32	29	27	27	28	28
36	352	271	83	53	36	30	27	27	28	29	186	147	75	69	33	30	27	27	27	28
37	604	608	85	55	38	31	27	27	28	28	238	340	77	74	34	31	27	27	28	28
38	940	852	86	56	39	32	27	27	28	28	229	743	80	76	35	31	27	27	28	28
39	1012	955	86	57	40	33	27	27	29	29	320	848	170	78	37	32	27	27	28	28
40	992	899	116	56	42	34	27	27	28	29	385	841	278	75	38	33	27	27	28	28
41	746	687	238	60	43	65	28	27	28	29	426	743	381	77	39	58	27	27	28	28
42	777	809	545	63	49	47	28	27	28	28	527	730	465	80	46	51	28	27	28	28
43	874	916	663	65	48	40	28	27	28	29	580	751	518	81	44	41	28	27	28	28
44	941	1013	729	72	57	68	29	27	28	28	621	770	552	83	52	72	28	27	28	28
45	1037	1083	773	104	54	48	29	27	28	29	686	735	584	104	50	49	29	27	28	28
46	1025	1031	744	196	55	44	30	27	28	28	1015	1055	663	120	50	44	29	27	28	28
47	989	991	754	296	56	44	30	27	28	29	974	964	695	812	47	44	30	27	28	28
48	979	980	781	393	59	45	31	27	28	28	964	951	693	790	80	59	30	27	28	28
49	964	967	795	414	62	46	31	27	28	29	946	936	683	780	97	82	31	27	28	28
50	913	919	768	329	74	50	32	27	28	28	904	890	653	749	116	92	34	27	28	28

Brandzeit [min]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	T9 [°C]	T10 [°C]	T11 [°C]	T12 [°C]	T13 [°C]	T14 [°C]	T15 [°C]	T16 [°C]	T17 [°C]	T18 [°C]	T19 [°C]	T20 [°C]
51	898	896	766	393	90	56	33	27	28	29	881	872	644	736	133	97	38	27	28	28
52	900	893	831	482	99	68	34	28	28	29	895	887	648	745	149	99	45	27	28	28
53	929	961	849	556	104	76	36	27	28	28	879	871	636	733	158	99	52	27	28	28
54	943	967	855	610	112	81	38	28	28	28	875	864	631	727	163	105	59	28	28	28
55	943	954	857	628	142	86	41	28	28	27	895	890	648	749	167	107	64	28	28	28
56	948	958	869	665	171	93	45	28	28	27	898	893	651	752	163	107	69	28	28	28
57	944	955	873	696	197	97	51	28	28	28	908	904	662	764	151	107	73	29	28	28
58	945	957	882	724	223	101	57	28	28	28	917	914	670	777	128	107	77	30	28	28
59	919	931	868	725	246	104	62	29	28	29	894	889	660	761	124	108	79	31	28	28
60	940	950	895	735	264	105	67	29	28	29	904	896	667	771	152	122	81	32	28	28
61	954	948	860	717	292	106	70	30	28	30	883	876	666	769	359	219	84	33	28	28
62	944	942	859	718	308	107	73	30	28	29	867	869	638	734	552	582	92	35	28	29
63	935	942	870	728	296	121	75	31	29	29	865	878	656	751	567	628	98	38	28	28
64	919	927	860	718	288	140	76	33	28	29	858	868	674	707	575	658	99	41	28	28
65	910	918	856	714	298	162	78	34	28	29	854	856	667	673	546	603	99	51	28	28
66	907	916	857	711	326	227	81	36	28	29	853	861	679	685	575	628	101	67	28	28
67	901	910	857	699	382	301	85	37	29	29	849	860	682	687	574	593	107	82	28	28
68	896	899	861	672	541	404	89	40	29	29	827	834	659	659	540	541	112	90	29	28
69	890	883	862	644	591	450	94	43	29	29	820	826	660	665	546	523	117	94	30	29
70	872	864	862	637	588	461	95	47	29	29	833	837	672	686	568	515	121	96	32	28
71	849	848	856	634	577	462	97	57	29	29	843	850	684	699	577	500	126	97	43	28
72	837	842	855	636	581	482	99	70	29	29	849	857	697	710	586	479	130	98	66	29
73	845	853	855	662	660	570	103	81	30	30	861	868	709	718	592	440	133	98	82	29
74	852	862	853	678	706	620	108	89	30	29	871	878	720	726	595	353	137	98	93	29
75	853	865	846	677	703	622	113	95	31	29	883	891	734	736	598	380	140	98	97	30
76	864	879	849	696	755	666	117	98	40	29	896	902	743	746	597	430	144	98	98	31
77	877	894	853	717	798	702	122	99	82	30	917	929	769	774	608	446	150	97	97	32
78	888	905	855	734	835	728	127	99	91	30	924	937	783	783	606	431	160	97	97	33
79	895	914	851	883	843	737	134	99	94	31	947	957	772	799	595	399	177	97	96	35
80	905	925	855	876	833	674	139	98	95	32	953	967	728	813	584	357	187	96	96	37
81	908	914	837	876	872	783	141	98	96	34	953	976	624	837	520	335	185	96	94	38
82	912	917	850	777	821	773	141	99	96	36	969	990	616	846	374	276	194	97	95	40
83	912	915	852	773	806	747	137	99	97	38	983	1001	635	841	306	295	226	97	94	41
84	909	915	856	768	788	716	136	99	97	39	983	997	629	829	321	336	258	97	94	43
85	913	918	866	771	769	686	144	98	97	41	977	992	628	829	383	400	289	96	92	44
86	926	926	879	780	837	716	166	98	96	43	969	989	620	828	431	478	329	96	91	44
87	954	943	920	812	939	809	193	98	95	45	963	987	634	820	463	540	389	95	90	46
88	973	973	946	844	990	876	224	96	92	47	971	994	636	819	500	591	469	94	89	46
89	977	978	951	843	990	836	246	96	89	47	973	995	639	821	528	644	560	93	89	47
90	971	975	948	834	975	779	274	95	87	49	962	983	661	810	601	751	646	93	88	48
91	973	977	952	828	975	779	303	95	86	49	973	991	659	814	633	832	723	92	87	48
92	991	989	964	832	983	798	336	95	85	50	978	1000	691	824	647	890	796	92	87	49
93	983	979	961	829	980	811	365	94	85	51	984	1001	691	831	644	889	826	91	86	47
94	994	991	976	841	988	801	404	94	84	51	990	1005	697	838	659	936	868	93	86	46
95	998	997	982	847	976	800	465	94	85	52	979	992	700	847	678	897	855	107	85	46
96	1010	1010	994	858	971	815	552	93	84	52	976	987	698	849	677	857	837	134	85	46
97	1016	1010	1000	864	955	838	660	92	84	52	979	983	707	855	466	995	962	171	85	46
98	1010	1007	1003	882	969	864	718	92	83	53	985	986	720	865	490	997	977	225	87	47
99	1001	1000	996	891	973	883	738	92	82	53	975	978	728	871	517	988	951	288	87	47
100	1008	1010	1012	911	992	889	762	94	82	53	978	980	790	898	583	1033	1010	482	86	47

Brandzeit [min]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	T9 [°C]	T10 [°C]	T11 [°C]	T12 [°C]	T13 [°C]	T14 [°C]	T15 [°C]	T16 [°C]	T17 [°C]	T18 [°C]	T19 [°C]	T20 [°C]
101	1017	1017	1019	918	1015	891	786	141	83	54	980	979	772	928	641	1057	1042	515	85	47
102	1014	1010	1012	917	1015	876	879	220	83	54	974	972	855	933	678	1032	1040	495	86	48
103	1037	1030	1032	931	1051	1005	940	388	84	54	1006	1011	990	980	697	1041	1040	641	89	48
104	1055	1047	1050	942	1063	1030	995	636	83	54	915	928	910	920	605	946	918	729	101	48
105	1066	1053	1062	961	1077	1044	1021	805	83	54	904	902	883	893	678	925	958	758	281	49
106	1066	1050	1061	991	1097	1103	1113	692	83	54	924	912	883	910	741	963	996	862	513	49
107	1065	1048	1063	1003	1107	1098	1098	732	84	55	958	998	1020	1014	919	1038	1077	1030	727	51
108	1061	1042	1060	1013	1098	1090	1094	848	85	56	980	996	1000	1025	1013	1047	1094	1057	832	55
109	1067	1046	1061	1008	1106	1100	1104	939	85	55	1005	1022	1019	1046	1029	1066	1113	1060	919	81
110	*	*	*	1008	1113	1095	1096	958	99	55	*	*	*	1048	1043	1087	1132	1061	961	91
111				*	1121	1099	1113	996	126	60				*	1062	1097	1141	1062	989	98
112					1122	1098	1121	1045	242	66					1075	1100	1150	1059	1008	113
113					*	*	1123	1082	368	75					*	*	1147	1052	1018	138

* Thermoelement von der Wand weggenommen

Tabelle C12 Temperaturen der Gruppen C und D vom Wandversuch 4

Brandzeit [min]	T 21 [°C]	T 22 [°C]	T 23 [°C]	T 24 [°C]	T 25 [°C]	T 26 [°C]	T 27 [°C]	T 28 [°C]	T 29 [°C]	T 30 [°C]	T 31 [°C]	T 32 [°C]	T 33 [°C]	T 34 [°C]	T 35 [°C]
0	26	26	26	26	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27
1	27	27	27	27	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27
2	33	26	26	26	26	26	26	26	26	27	26	26	27	27	27
3	61	26	26	26	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27
4	70	26	26	26	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27
5	63	26	26	26	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	28
6	66	26	26	26	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27
7	72	27	26	26	26	26	26	27	27	27	26	27	27	27	28
8	87	27	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27
9	81	28	26	26	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27
10	90	29	26	26	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27
11	94	30	26	26	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27
12	92	32	27	26	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27
13	94	34	27	26	26	26	26	26	27	27	26	26	27	27	27
14	96	37	28	26	26	26	26	26	27	27	26	27	27	27	27
15	97	40	28	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	27	28
16	98	44	29	26	26	26	26	26	27	27	26	27	27	27	28
17	99	50	31	26	26	26	26	26	27	27	26	27	27	27	28
18	100	57	32	27	26	26	26	26	27	27	26	27	27	27	28
19	105	70	34	27	26	26	26	26	27	27	26	27	27	27	28
20	111	79	37	27	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	28
21	116	84	41	28	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	28
22	123	88	45	28	26	26	26	26	27	27	27	27	27	27	28
23	130	91	51	29	27	27	27	27	27	27	27	28	27	27	28
24	139	93	57	30	26	26	26	26	27	27	27	28	27	27	30
25	146	94	64	32	26	26	26	26	27	27	27	28	27	27	28
26	153	95	70	34	26	26	27	27	27	27	27	28	27	27	28
27	162	96	77	39	28	28	27	27	27	27	28	29	27	27	28
28	167	96	81	43	27	28	27	27	28	28	28	29	28	28	29
29	127	96	85	50	27	27	27	27	28	28	29	29	27	27	29
30	120	96	89	60	26	26	26	27	27	27	28	29	27	27	29
31	121	97	90	66	27	26	26	27	27	27	29	30	28	28	29
32	123	98	90	69	28	27	27	27	28	28	30	30	27	27	29
33	128	101	89	71	28	27	26	27	27	27	30	31	27	27	29
34	135	104	88	71	29	28	27	27	28	28	30	31	27	27	30
35	144	109	88	72	29	27	26	27	27	27	31	32	27	27	30
36	165	112	85	71	29	27	26	27	27	27	32	32	27	27	30
37	219	130	84	72	30	28	27	27	27	28	33	33	27	27	31
38	348	203	86	74	31	28	26	27	27	27	33	34	27	27	31
39	553	344	87	80	32	29	27	27	27	27	36	35	27	27	32
40	839	441	86	79	33	30	27	27	27	27	43	36	27	27	32
41	672	451	89	81	39	67	27	27	27	27	54	39	27	27	61
42	1001	997	336	88	46	53	27	27	27	27	59	40	28	28	43
43	1022	1020	721	90	42	41	28	27	28	28	59	40	27	27	38
44	1054	1053	836	90	58	78	28	27	27	27	65	44	28	28	56
45	1031	1048	869	90	51	53	28	27	27	27	65	43	27	27	44
46	1037	1037	878	100	50	44	29	27	27	27	69	44	27	27	43
47	988	1000	857	165	52	43	30	27	28	28	68	47	27	27	44
48	979	984	840	347	54	43	29	27	27	27	66	52	27	27	61
49	962	967	827	644	59	45	30	27	28	28	66	65	27	27	69
50	938	946	804	689	61	46	30	27	27	27	67	83	27	27	74

Brandzeit [min]	T 21 [°C]	T 22 [°C]	T 23 [°C]	T 24 [°C]	T 25 [°C]	T 26 [°C]	T 27 [°C]	T 28 [°C]	T 29 [°C]	T 30 [°C]	T 31 [°C]	T 32 [°C]	T 33 [°C]	T 34 [°C]	T 35 [°C]
51	932	946	789	692	65	47	30	27	27	27	70	86	28	28	81
52	922	931	763	693	78	49	31	27	27	28	76	88	28	27	85
53	911	917	749	714	97	55	31	27	27	27	84	91	27	27	99
54	901	915	742	717	98	66	32	27	27	27	93	93	28	27	102
55	903	929	740	713	99	73	33	27	27	27	102	98	28	27	103
56	901	926	734	719	100	77	34	27	27	28	114	102	28	27	96
57	912	937	738	718	105	80	36	27	27	28	130	115	28	27	98
58	913	935	738	736	114	80	38	28	28	28	154	142	29	27	100
59	917	944	736	746	114	76	40	27	27	28	178	148	30	28	101
60	919	952	741	760	117	73	41	28	27	28	202	163	30	28	100
61	917	945	739	775	118	73	43	28	27	27	224	164	30	27	105
62	920	950	742	778	125	82	44	28	27	27	242	157	31	27	116
63	926	949	743	785	123	81	46	28	27	28	261	144	31	28	130
64	929	953	749	787	119	87	48	28	27	28	273	158	32	28	164
65	931	955	761	767	113	89	51	29	28	28	286	174	33	28	308
66	931	946	766	745	109	90	53	29	28	28	296	185	34	28	414
67	932	942	769	723	109	92	56	29	28	28	299	184	35	28	414
68	921	941	771	705	112	96	58	30	28	28	310	314	35	28	378
69	910	931	779	698	116	100	60	30	28	28	358	458	36	28	374
70	920	941	792	697	123	106	63	31	28	28	387	514	37	28	392
71	913	940	797	696	130	110	65	32	28	28	413	550	38	29	409
72	914	938	815	699	123	111	69	32	28	28	435	580	39	29	448
73	918	945	818	702	124	114	72	33	28	28	456	613	40	29	482
74	914	938	822	703	127	122	76	35	28	28	480	639	42	29	507
75	906	932	816	699	134	125	79	37	28	28	501	659	43	30	534
76	902	923	808	689	138	129	82	39	28	28	522	677	45	30	529
77	889	912	793	681	158	136	84	42	28	28	542	698	47	31	519
78	891	914	786	679	169	143	85	46	28	28	552	713	49	31	509
79	874	921	734	678	217	179	87	50	28	29	592	753	52	32	508
80	882	933	747	709	238	210	100	99	34	29	596	761	56	34	483
81	953	946	739	728	233	211	103	99	66	28	621	769	57	36	460
82	952	950	748	742	252	233	104	99	72	29	625	772	61	39	433
83	946	950	753	746	268	252	106	99	80	30	627	776	65	45	399
84	946	950	750	748	298	277	108	100	82	32	622	769	69	51	391
85	943	949	734	732	317	294	109	99	83	33	620	768	73	58	384
86	943	953	716	743	370	335	110	99	83	35	636	774	78	59	383
87	931	944	691	712	417	381	111	99	83	37	672	784	82	58	397
88	935	952	690	703	439	406	113	99	84	39	693	793	87	59	398
89	943	965	707	726	483	442	114	99	84	41	700	795	91	59	413
90	934	966	728	738	525	479	116	99	84	43	705	790	95	60	442
91	936	973	733	730	532	496	117	99	85	44	714	797	97	62	443
92	942	983	762	754	572	536	119	99	85	46	729	805	99	63	457
93	942	990	805	829	587	554	120	99	85	47	739	811	99	64	464
94	954	1004	844	875	634	606	122	99	86	49	744	810	99	66	497
95	958	1004	875	921	694	681	124	99	86	50	744	806	101	68	581
96	956	1003	886	934	722	731	127	99	87	51	750	811	100	72	616
97	961	1005	904	943	764	783	131	99	87	52	761	818	100	77	633
98	967	1013	918	958	783	809	137	99	88	53	777	829	100	77	605
99	953	1008	919	964	728	817	143	99	87	54	780	830	101	77	652
100	979	1008	940	972	628	859	153	99	87	54	785	837	102	79	722

Brandzeit [min]	T 21 [°C]	T 22 [°C]	T 23 [°C]	T 24 [°C]	T 25 [°C]	T 26 [°C]	T 27 [°C]	T 28 [°C]	T 29 [°C]	T 30 [°C]	T 31 [°C]	T 32 [°C]	T 33 [°C]	T 34 [°C]	T 35 [°C]
101	975	1000	942	975	598	873	166	99	87	55	785	841	104	82	732
102	971	992	940	972	593	880	184	99	87	56	774	838	109	84	777
103	983	1013	956	986	573	863	205	98	87	57	1046	1036	116	87	807
104	970	1002	941	973	583	868	227	98	86	57	929	957	128	89	939
105	982	1014	958	1000	630	946	247	98	86	58	1000	994	146	92	941
106	948	981	935	975	624	937	265	98	86	58	1036	1016	169	97	963
107	934	971	928	980	627	944	283	97	85	59	1078	1031	188	99	974
108	916	959	922	979	645	943	307	97	86	59	1063	1023	214	100	957
109	905	948	915	976	648	933	325	97	85	59	1057	1020	240	103	953
110	*	*	1325	984	620	932	343	97	85	59	1047	*	273	105	941
111			*	*	618	937	358	96	85	60	*		*	107	971
112					918	889	378	96	84	60				110	972
113					*	874	404	357	84	60				113	971

* Thermoelement von der Wand weggenommen

Anhang D Bilder

D.1 Wand 1



Abbildung D1 Wand 1 (Feuerseite)



Abbildung D2 Wand 1 (Kaltseite)



Abbildung D3 Thermoelemente der Gruppen B (T11 bis T20) und D (T31 bis T34)



Abbildung D4 Foto Nr. 2 nach 8 Min.: Entflammung der Dreischichtplatte (1)



Abbildung D5 Foto Nr. 4 nach 28 Min.: Holzkohle der Dreischichtplatte (1) beinahe noch komplett



Abbildung D6 Foto Nr. 7 nach 30 Min.: Abdeckbrett zum Teil weggebrannt



Abbildung D7 Foto Nr. 8 nach 31 Min.: ca. 5 cm der Dreischichtplatte (1) oben weggebrannt



Abbildung D8 Foto Nr. 9 nach 36 Min.: Dreischichtplatte (1) weitgehend weggebrannt



Abbildung D9 Foto Nr. 10 nach 36 Min.: Dreischichtplatte (1) weitgehend weggebrannt



Abbildung D10 Foto Nr. 11 nach 36 Min.: Fugen der Pavathermplatte (2) öffnen sich



Abbildung D11 Foto Nr. 13 nach 45 Min.: starker Rauchaustritt bei der Fuge oben



Abbildung D12 Foto Nr. 15 nach 47 Min.: Fugen der Pavathermplatte (2) öffnen sich



Abbildung D13 Foto Nr. 16 nach 47 Min.: Fugen der Pavathermplatte (2) öffnen sich



Abbildung D14 Foto Nr. 17 nach 50 Min.: Pavatherm Leimschichten versagen zum Teil



Abbildung D15 Foto Nr. 18 nach 50 Min.: Pavatherm Leimschichten versagen zum Teil



Abbildung D16 Foto Nr. 19 nach 58 Min.: Pavathermplatte (2) abgefallen



Abbildung D17 Foto Nr. 20 nach 66 Min.: Pavathermplatte (4) abgefallen



Abbildung D18 Foto Nr. 21 nach 66 Min.: Pavathermplatte (4) abgefallen



Abbildung D19 Foto Nr. 22 nach 76 Min.: Durchbrand durch Dreischichtplatte (5)



Abbildung D20 Foto Nr. 23 nach 76 Min.: Durchbrand durch Dreischichtplatte (5)

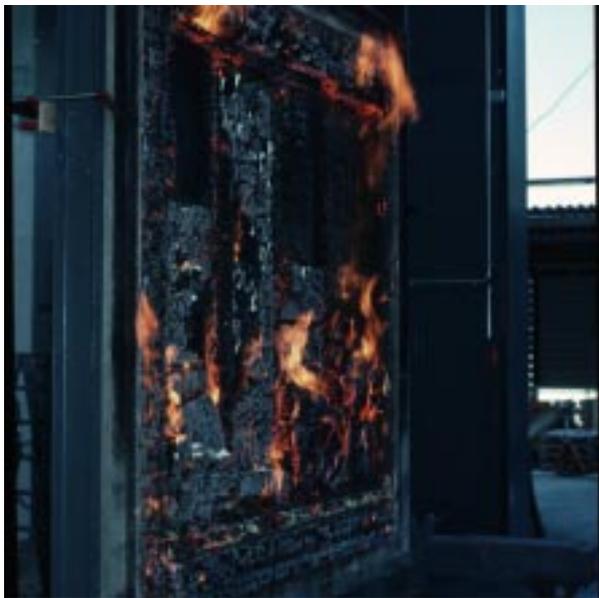


Abbildung D21 Wand 1 nach dem Brandversuch



Abbildung D22 Wand 1 nach dem Brandversuch



Abbildung D23 Wand 1 nach dem Brandversuch



Abbildung D24 Wand 1 nach dem Brandversuch

D.2 Wand 2



Abbildung D25 Wand 2 (Feuerseite)



Abbildung D26 Wand 2 (Kaltseite)



Abbildung D27 Thermoelemente der Gruppen B (T11 bis T20) und D (T31 bis T34)



Abbildung D28 Foto Nr. 2 nach 7⁰ Min.: Dreischichtplatte (1) oberflächlich verkohlt

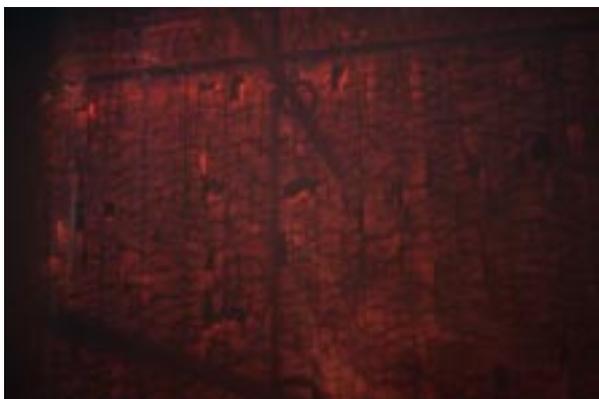


Abbildung D29 Foto Nr. 3 nach 12 Min.: Stücke von Holzkohle der 1. Schicht der Dreischichtplatten (1) fallen herunter

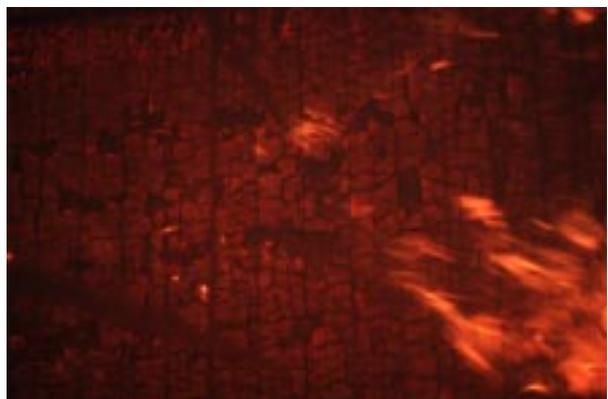


Abbildung D30 Foto Nr. 4 nach 17 Min.: Stücke von Holzkohle der 1. Schicht der Dreischichtplatte (1) fallen herunter

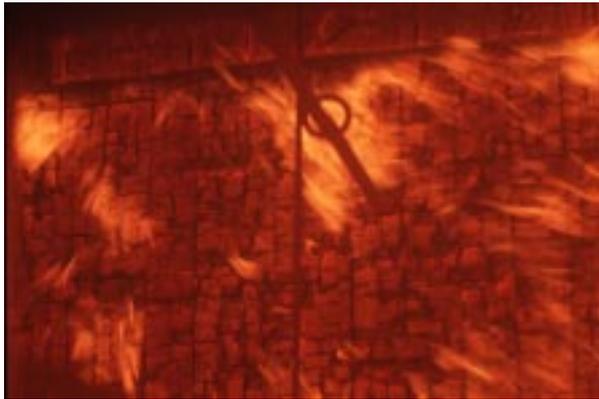


Abbildung D31 Foto Nr. 5 nach 27 Min.:
1. Stück von ca. 10 cm von
Abdeckbrett Mitte abgefallen



Abbildung D32 Foto Nr. 6 nach 28 Min.:
2. Stück von ca. 10 cm von
Abdeckbrett Mitte abgefallen



Abbildung D33 Foto Nr. 7 nach 32 Min.:
Dreischichtplatte (1) oben Mitte
links weggebrannt



Abbildung D34 Foto Nr. 8 nach 33 Min.:
Dreischichtplatte (1) oben Mitte
rechts weggebrannt, Steinwolle
(2) Mitte dem Feuer direkt
ausgesetzt



Abbildung D35 Foto Nr. 9 nach 38 Min.:
Steinwolle (2) links/Mitte links
dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D36 Foto Nr. 10 nach 38 Min.:
Steinwolle (2) rechts/Mitte rechts
dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D37 Foto Nr. 11 nach 45¹⁵ Min.:
Steinwolle (2) links/Mitte links
dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D38 Foto Nr. 12 nach 45¹⁵ Min.:
Steinwolle (2) rechts/Mitte rechts
dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D39 Foto Nr. 14 nach 49³⁰ Min.:
Fuge der Steinwolle (2) Mitte
rechts öffnet sich



Abbildung D40 Foto Nr. 15 nach 52 Min.:
Steinwolle (2) oben links scheint
zu „schmelzen“



Abbildung D41 Foto Nr. 16 nach 53³⁰ Min.:
Steinwolle (2) Mitte rechts löst
sich z.T. vom Rahmen



Abbildung D42 Foto Nr. 17 nach 57 Min.:
Steinwolle (2) und Pavatex (3)
Mitte links abgefallen



Abbildung D43 Foto Nr. 18 nach 62³⁰ Min.:
Steinwolle (2) und Pavatex (3)
Mitte rechts abgefallen



Abbildung D44 Foto Nr. 20 nach 68 Min.:
Steinwolle(6) links/Mitte links dem
Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D45 Foto Nr. 21 nach 70 Min.:
Steinwolle (6) Mitte links wegge-
brannt, Dreischichtplatte (7) Mitte
links dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D46 Foto Nr. 22 nach 74 Min.:
Steinwolle (6) rechts/Mitte rechts
dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D47 Foto Nr. 23 nach 74 Min.:
Dreischichtplatte (7) Mitte links
dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D48 Foto Nr. 24 nach 78 Min.:
Steinwolle (6) rechts/Mitte rechts
dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D49 Foto Nr. 25 nach 78 Min.:
Dreischichtplatte (7) Mitte links
dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D50 Foto Nr. 26 nach 80²⁸ Min.:
Durchbrand durch
Dreischichtplatte (7)



Abbildung D51 Wand 2 nach dem Brandversuch



Abbildung D52 Wand 2 nach dem Brandversuch



Abbildung D53 Wand 2 nach dem Brandversuch



Abbildung D54 Wand 2 nach dem Brandversuch

D.3 Wand 3

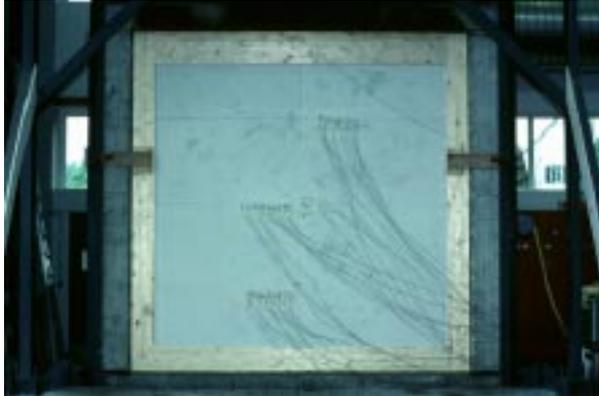


Abbildung D55 Wand 3 (Kaltseite)

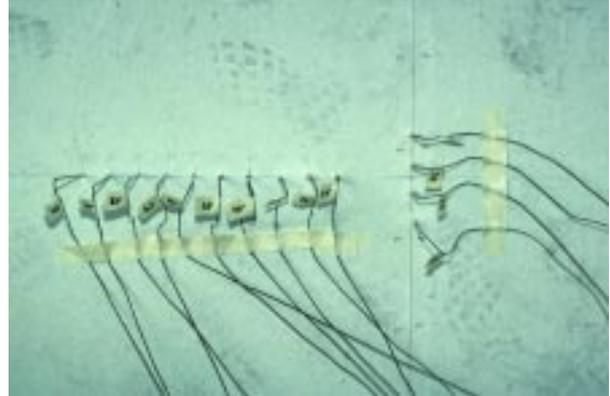


Abbildung D56 Thermoelemente der Gruppen B (T11 bis T20) und D (T31 bis T34)



Abbildung D57 Foto Nr. 2 nach 8 Min.:
BSH-Rahmenträger rechts
oberflächlich verkohlt



Abbildung D58 Foto Nr. 3 nach 15 Min.:
Ecke oben links vom BSH-
Rahmenträger verkohlt



Abbildung D59 Foto Nr. 4 nach 21 Min.:
Ecke unten links vom BSH-
Rahmenträger verkohlt



Abbildung D60 Foto Nr. 5 nach 27 Min.:
2. Riss in Fermacellplatte (1)
ganz rechts



Abbildung D61 Foto Nr. 6 nach 28 Min.:
1. Riss in Fermacellplatte (1)
ganz links

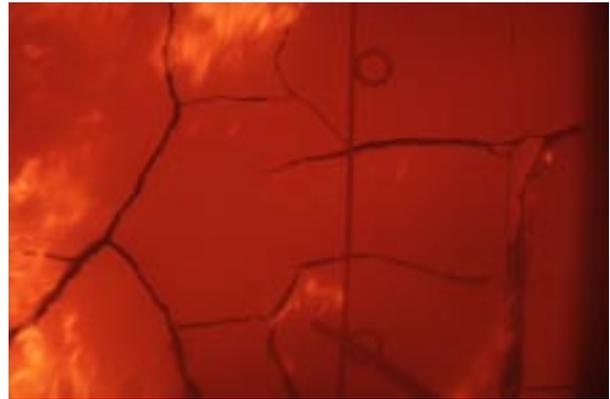


Abbildung D62 Foto Nr. 7 nach 37 Min.:
Risse in Fermacellplatte (1)
links unten



Abbildung D63 Foto Nr. 8 nach 40 Min.:
Stücke Fermacellplatte (1)
rechts fallen ab



Abbildung D64 Foto Nr. 9 nach 43 Min.:
Fuge oben gestopft



Abbildung D65 Foto Nr. 10 nach 52³⁰ Min.:
Pavathermplatte (4) Mitte rechts
dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D66 Foto Nr. 11 nach 58 Min.:
Pavathermplatte (4) Mitte
rechts abgefallen



Abbildung D67 Foto Nr. 12 nach 61 Min.:
Fermacellplatte (5) Mitte rechts /
rechts dem Feuer direkt
ausgesetzt



Abbildung D68 Foto Nr. 13 nach 63 Min.:
Pavathermplatte (4) Mitte links /
links dem Feuer direkt
ausgesetzt

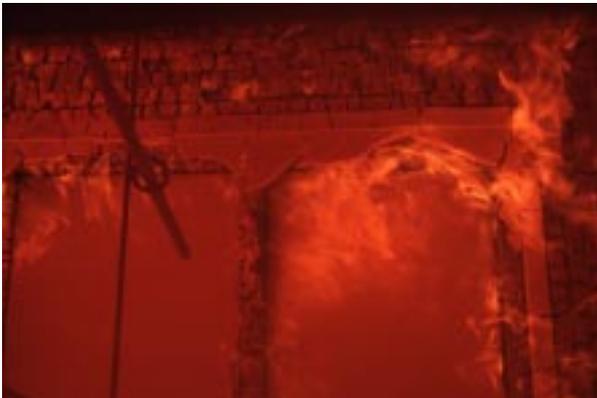


Abbildung D69 Foto Nr. 14 nach 65 Min.:
Fermacellplatte (5) Mitte rechts /
rechts dem Feuer direkt
ausgesetzt



Abbildung D70 Foto Nr. 15 nach 65 Min.:
Fermacellplatte (5) Mitte rechts /
rechts dem Feuer direkt
ausgesetzt

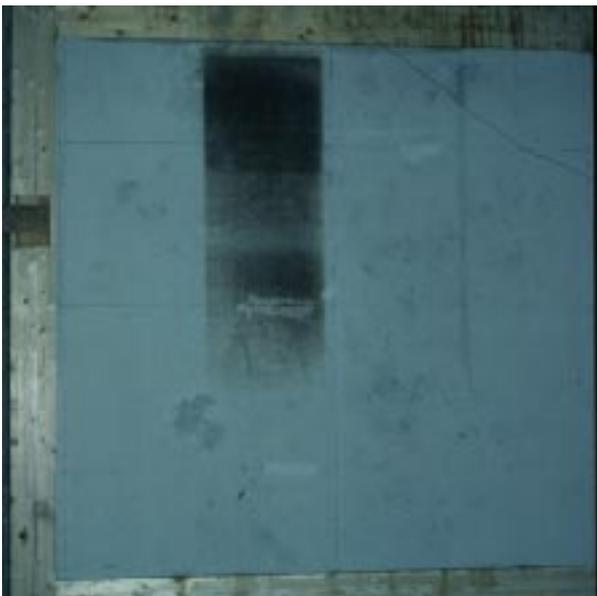


Abbildung D71 Foto Nr. 16 nach 71 Min.:
Durchbrand durch Fermacell-
platte (5)



Abbildung D72 Foto Nr. 17 nach 71 Min.:
Durchbrand durch Fermacell-
platte (5)



Abbildung D73 Wand 3 nach dem Brandversuch



Abbildung D74 Restteile der Wand 3 im Vertikalofen nach dem Brandversuch



Abbildung D75 Wand 3 nach dem Brandversuch



Abbildung D76 Wand 3 nach dem Brandversuch



Abbildung D77 Restteile der Wand 3 im Vertikalofen nach dem Brandversuch



Abbildung D78 Restteile der Fermacellplatte nach dem Brandversuch

D.4 Wand 4



Abbildung D79 Wand 4 (Kaltseite)



Abbildung D80 Thermoelemente der Gruppen B (T11 bis T20) und D (T31 bis T34)



Abbildung D81 Foto Nr. 1 nach 7 Min.:
Dreischichtplatte (1)
oberflächlich verkohlt



Abbildung D82 Foto Nr. 2 nach 11 Min.:
Holzkohlenstücke der
Dreischichtplatte (1) fallen ab



Abbildung D83 Foto Nr. 3 nach 24 Min.:
Holzkohlenstücke der
Dreischichtplatte (1) fallen ab



Abbildung D84 Foto Nr. 4 nach 27 Min.:
Abdeckbrett auf ca. 10 cm
abgefallen



*Abbildung D85 Foto Nr. 5 nach 31 Min.:
Weitere Stücke des
Abdeckbrettes abgefallen*



*Abbildung D86 Foto Nr. 6 nach 35 Min.:
Dreischichtplatte (1) Mitte
oben weggebrannt*



*Abbildung D87 Foto Nr. 7 nach 40 Min.:
Pavathermplatte (2) Mitte links /
links dem Feuer direkt
ausgesetzt*



*Abbildung D88 Foto Nr. 8 nach 40 Min.:
Pavathermplatte (2) Mitte rechts /
rechts dem Feuer direkt
ausgesetzt*



*Abbildung D89 Foto Nr. 9 nach 46³⁰ Min.:
Pavathermplatte (2) Mitte rechts
komplett abgefallen*



*Abbildung D90 Foto Nr. 10 nach 48 Min.:
Pavathermplatte (2) Mitte rechts
komplett abgefallen*



Abbildung D91 Foto Nr. 11 nach 54 Min.:
Fermacellplatte (3) rechts dem
Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D92 Foto Nr. 12 nach 54 Min.:
Fermacellplatte (3) rechts dem
Feuer direkt ausgesetzt

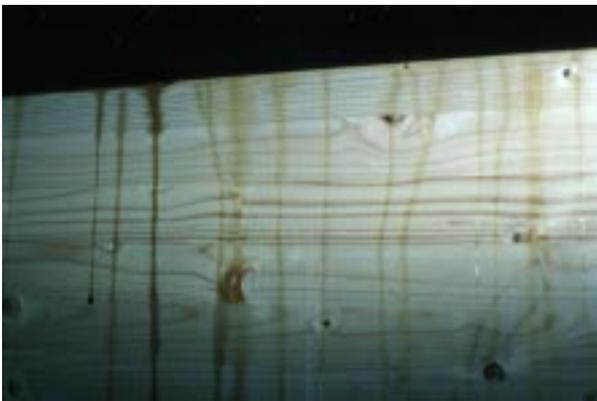


Abbildung D93 Foto Nr. 13 nach 56 Min.:
Gipswasseraustritt von der
Fuge oben:

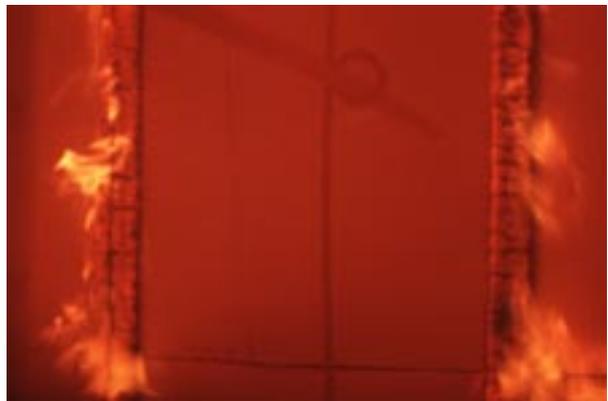


Abbildung D94 Foto Nr. 14 nach 62 Min.:
Riss in Fermacellplatte (3)

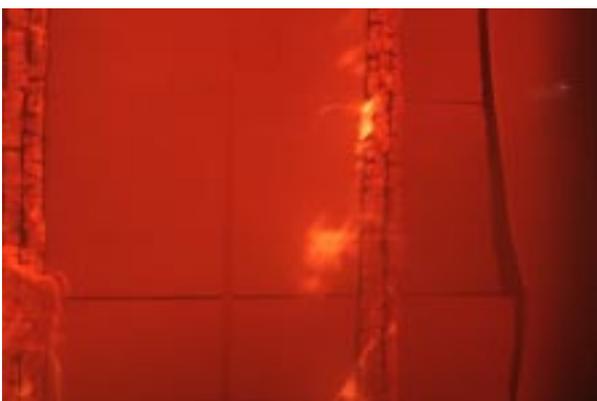


Abbildung D95 Foto Nr. 15 nach 65 Min.:
Riss in Fermacellplatte (3)



Abbildung D96 Foto Nr. 16 nach 67 Min.:
Fermacellplatte (3) öffnet sich



Abbildung D97 Foto Nr. 17 nach 72 Min.:
Fermacellplatte (3) öffnet
sich in der Mitte weiter



Abbildung D98 Foto Nr. 19 nach 80 Min.:
Fermacellplatte (3) Mitte rechts
und rechts abgefallen



Abbildung D99 Foto Nr. 20 nach 80 Min.:
Riss in Fermacellplatte (5)
oben Mitte links



Abbildung D100 Foto Nr. 21 nach 92 Min.:
Viele Risse in Fermacellplatte
(5)



Abbildung D101 Foto Nr. 22 nach 92 Min.:
Viele Risse in Fermacellplatte
(5)



Abbildung D102 Foto Nr. 23 nach 102 Min.:
Pavathermplatte (6) Mitte
rechts abgefallen



Abbildung D103 Foto Nr. 24 nach 111 Min.:
Dreischichtplatte (7) Mitte rechts
dem Feuer direkt ausgesetzt



Abbildung D104 Foto Nr. 25 nach 111 Min.:
Pavathermplatte (6) Mitte links
dem Feuer direkt ausgesetzt

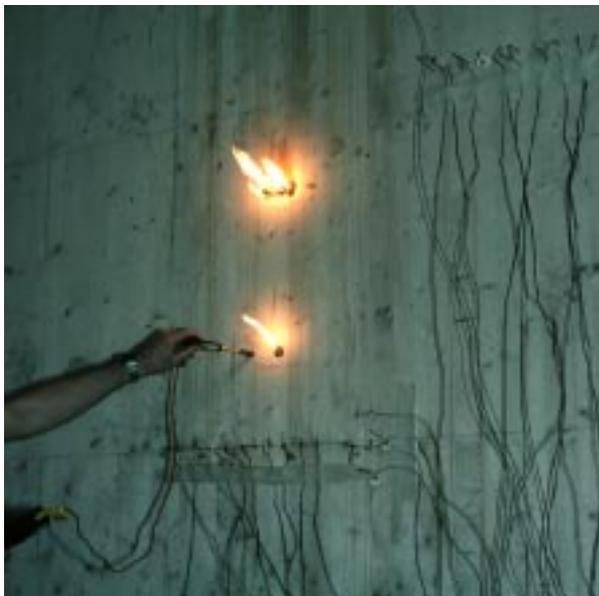


Abbildung D105 Foto Nr. 26 nach 113 Min.:
Durchbrand durch
Dreischichtplatte (7)



Abbildung D106 Foto Nr. 27 nach 113 Min.:
Durchbrand durch
Dreischichtplatte (7)



Abbildung D107 Wand 4 nach dem Brandversuch



Abbildung D108 Wand 4 nach dem Brandversuch

Anhang E Restquerschnitte (Massstab 1:2)

E.1 Wand 1

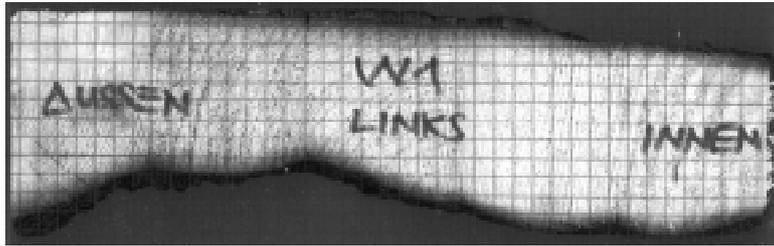


Abbildung E1 Restquerschnitt links vom Wandversuch 1

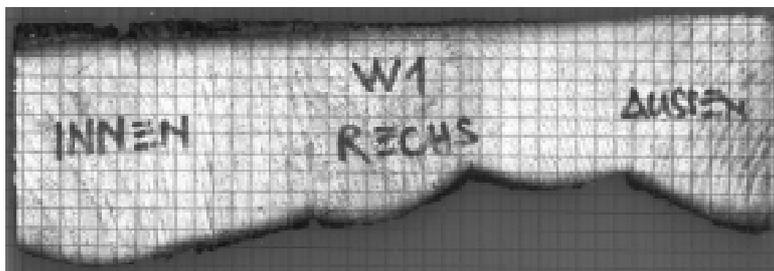


Abbildung E2 Restquerschnitt rechts vom Wandversuch 1



Abbildung E3 Restquerschnitt oben vom Wandversuch 1

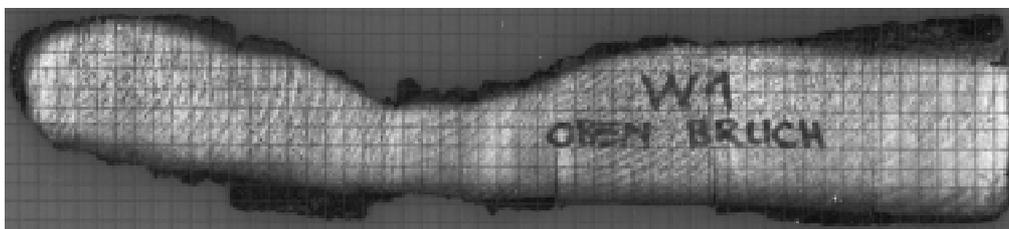


Abbildung E4 Restquerschnitt oben vom Wandversuch 1 in der Nähe der Bruchstelle

E.2 Wand 2

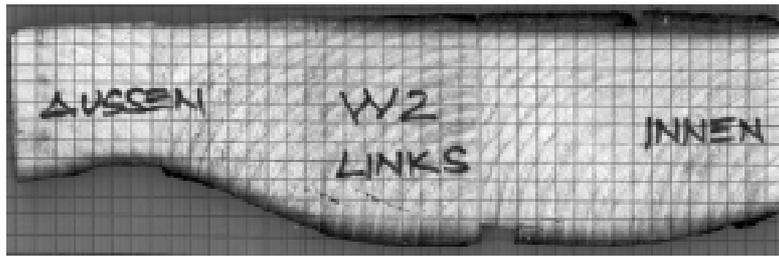


Abbildung E5 Restquerschnitt links vom Wandversuch 2

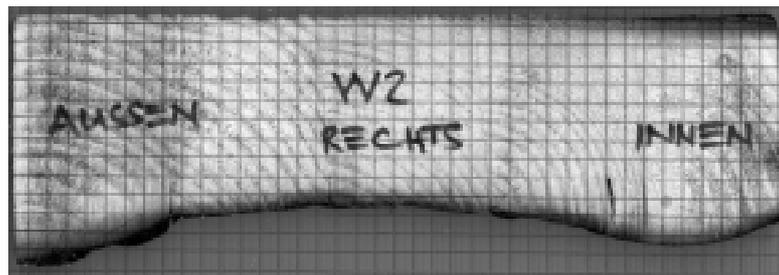


Abbildung E6 Restquerschnitt rechts vom Wandversuch 2

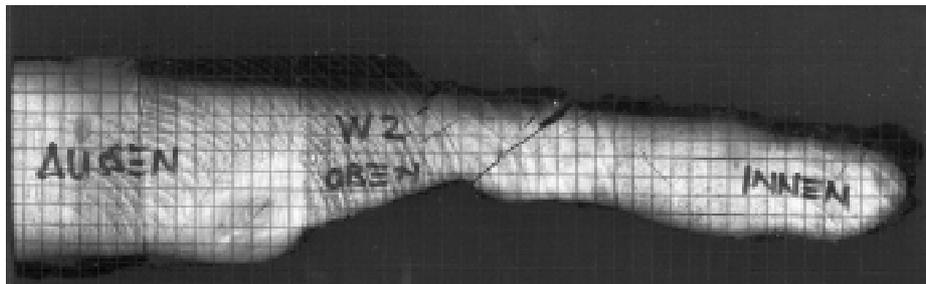


Abbildung E7 Restquerschnitt oben vom Wandversuch 2

E.3 Wand 3

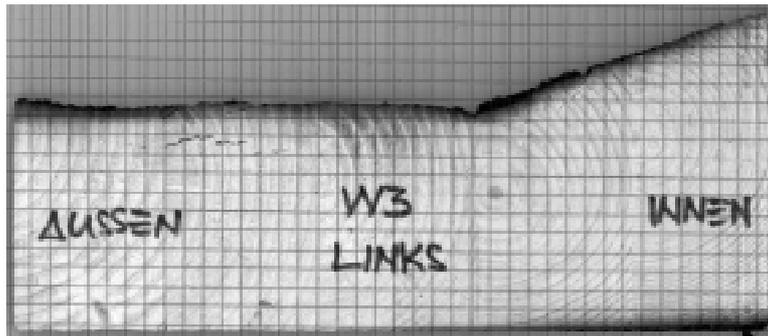


Abbildung E8 Restquerschnitt links vom Wandversuch 3

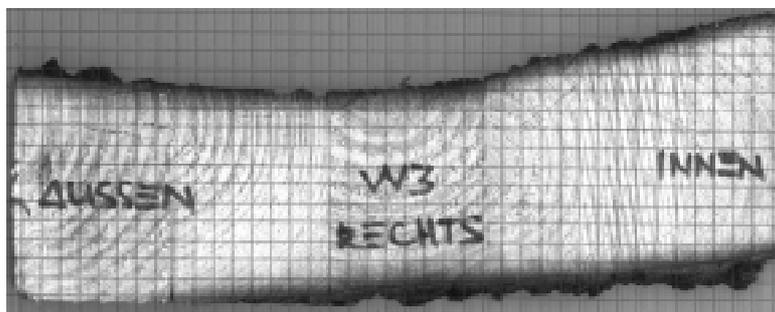


Abbildung E9 Restquerschnitt rechts vom Wandversuch 3

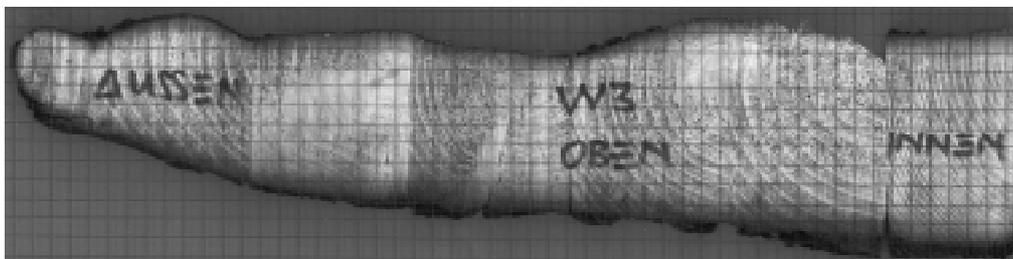


Abbildung E10 Restquerschnitt oben vom Wandversuch 3

E.4 Wand 4

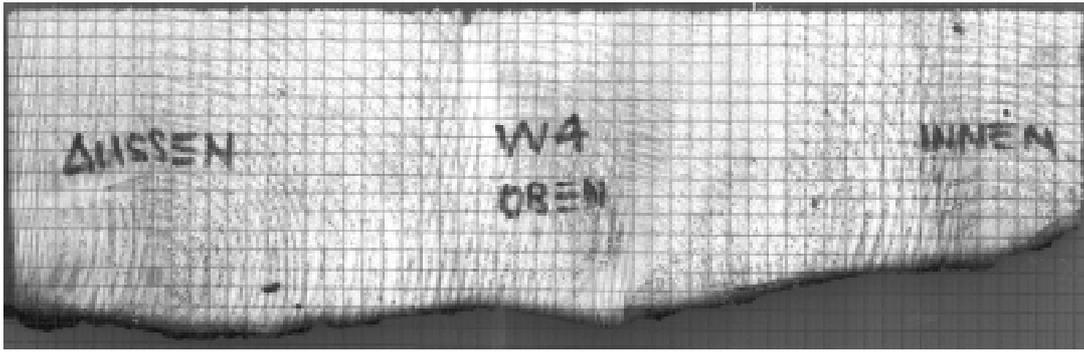


Abbildung E11 Restquerschnitt oben vom Wandversuch 4

Zusammenfassung

Für die Schweizerische Expo.01 sind Modulhotels in Holzbauweise vorgesehen. Diese Modulhotels bieten die Möglichkeit brandschutztechnische Fragen des Holzeinsatzes für mehrgeschossige Bauten im Bereich F60 genauer zu untersuchen. Der vorliegende Versuchsbericht dokumentiert Brandversuche an vier Varianten für zweischalige Wandaufbauten dieser Hotels.

Die Brandversuche wurden von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) in Dübendorf im Vertikalofen (3.0m x 3.0m) durchgeführt. Die Steuerung der Brandraumtemperatur erfolgte nach der Einheitstemperaturkurve gemäss Norm ISO 834. Die Wandelemente waren unbelastet, weil auch in den Modulhotels die vertikale Lastabtragung über BSH-Rahmen erfolgt.

Die Versuchskörper wurden so entworfen, dass sie die Situation zweier benachbarter Hotelzimmer simulieren. Die zweischaligen Prüfkörper bestanden aus einem BSH-Rahmen und der darin eingebauten Modulwand. Als aussenliegende Schicht der Modulwand wurden Massivholzplatten bzw. Fermacellplatten verwendet, als innenliegendes Wärmedämmmaterial Pavathermplatten bzw. Steinwollplatten. Für die Planung des Wandaufbaus standen oekologische und wirtschaftliche Überlegungen der Architekten im Vordergrund und nicht Überlegungen des Brandschutzes. Nur bei einer Variante wurden die Wärmedämmplatten von der Modulfuge durch eine nichtbrennbare Schicht (Fermacellplatten) zusätzlich abgetrennt.

Die für die Brandsicherheit wichtige Durchbrandzeit durch beide Trennlagen wurde in den Versuchen ermittelt (Kriterium Integrität). Während der Versuche wurde der Temperaturverlauf innerhalb der Wand und auf der Wandoberfläche mit Thermoelementdrähten gemessen. Das Temperaturkriterium war bis zum Flammenaustritt nie massgebend. Das Tragwiderstandskriterium war bei diesen unbelasteten Versuchen nicht Gegenstand der Untersuchung.

Die Versuche zeigten, dass mit allen getesteten Wandkonstruktionen ein Feuerwiderstand von 60 Minuten problemlos erreicht werden kann. Will man aber einen Feuerwiderstand von 60 Minuten bis zur Modulfuge erreichen, wird dies nur erreicht, wenn die Nachbarmodule gegen die Fuge eine nichtbrennbare Schicht aufweisen. Der Einfluss der brennbaren Wandoberfläche äusserte sich deutlich im Heizölverbrauch, welcher zur Einhaltung der ISO-Normbrandkurve während der ersten 30 Minuten d.h. bis etwa zum Durchbrand der ersten Schicht erforderlich war. Bei der Wand mit nichtbrennbarer Oberfläche (Fermacellplatten) war rund die zweifache Heizölmenge erforderlich.

Mit der Einführung der Eurocodes wurden auch Berechnungsverfahren für die Bestimmung des Feuerwiderstandes von raumabschliessenden Elementen in Holzbauweise vorgeschlagen. Diesen Berechnungsmethoden für raumabschliessende Elemente wird zum Teil noch mit Skepsis begegnet, weil Kenntnisse zum Einfluss von Fugen und der Detailausbildung und deren experimentelle Nachweise noch ungenügend sind. Die durchgeführten Brandversuche liefern Grundlagen zur Überprüfung der Rechenverfahren. Die Versuche dienen zudem als Grundlage für ein weiterführendes Forschungsprojekt zum Brandverhalten von Modulhotelräumen unter Berücksichtigung des Einflusses aktiver Massnahmen und brennbarer Oberfläche bei Naturbrandbedingungen.

Summary

Hotels of modular construction in wood are under development for the Swiss Expo.01. However, the Swiss fire regulations do not allow the use of combustible materials for multi-storey hotel buildings. As wooden module hotels present many advantages compared to conventional structures (ecological, low-cost and prefabricated structures), it has to be verified that an acceptable level of fire safety can be reached with a global fire safety concept, even if the structure is combustible. As a first step this report shows the results of fire tests on four different types of walls for the module hotels.

The fire tests were performed at the Swiss Federal Laboratories For Material Testing And Research (EMPA) in Dübendorf in the vertical furnace (3m x 3m). The walls were exposed to the standard fire-curve according to ISO 834 until the integrity criterion (no smoke or fume penetration) or the thermal insulation criterion ($\Delta\theta < 140^{\circ}\text{C}$) failed. During the fire tests the temperatures on the surface and in selected locations in the walls were measured.

The design of the walls represented the situation of two adjacent hotelmodules. The room side of the modulewall consisted of plywood panels or plasterboard with cellulose-fibres, the insulating material was mineral wool or combustible wood-fibre-based panel. The design of the wall by the architect was governed by ecological and economic considerations. Only in one case was an additional layer of plasterboard with cellulose-fibres added to the exterior side of the wall facing the gap between the modules.

The fire tests showed a fire resistance of more than 60 minutes for the fire to go through both walls. Only with the additional layer towards the gap was 60 minutes reached for one wall. In all tests integrity failure was observed. The influence of the combustible surface was shown by the amount of oil used during the tests. With a non-combustible surface twice as much oil was used for the first 30 minutes of the tests.

The fire tests enlarged the experimental data for the design models to calculate the fire resistance of wooden walls and permitted verifying the design methods for the fire resistance of wooden walls given in Eurocode 5, Part 1.2. Further fire tests on complete modulerooms under natural fire conditions will look at the global behaviour of the structure and at the influence of combustible and non-combustible materials on the fire safety.