

FORSCHUNGSINITIATIVE
ZukunftBAU

Paul-Ehrlich-Straße
Gebäude 14, Zimmer 572
67663 Kaiserslautern

Telefon: +49 (0)631 205-3083
Telefax: +49 (0)631 205-3555

matthias.pahn@bauing.uni-kl.de
catherina.thiele@bauing.uni-kl.de
www.massivbau-kl.de



Kurzbericht zum Forschungsprojekt

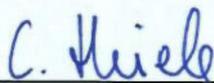
Projekt: Sandwichtragwirkung von kerngedämmten Fertigteilmwandtafeln unter Brandbeanspruchung
(Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-17.25)
Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Bearbeiter: Prof. Dr.-Ing. Matthias Pahn
apl. Prof. Dr.-Ing. Catherina Thiele
Marcin M. Haffke, M.Sc.Eng.

Datum: 31.07.2019



Prof. Dr.-Ing. Matthias Pahn



apl. Prof. Dr.-Ing. Catherina Thiele



Marcin M. Haffke, M.Sc.Eng.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Anlass | 3 |
| 2 | Durchführung des Forschungsvorhabens..... | 3 |
| 3 | Zusammenfassung und Empfehlungen für die Praxis | 4 |
| 4 | Eckdaten | 5 |
| 5 | Literaturverzeichnis | 6 |
| 6 | Abbildungen | 8 |

1 Anlass

Außenwände werden zunehmend als Betonfertigteile mit innenliegender Wärmedämmung hergestellt. Durch eine immer dichtere Bebauung kommt es zunehmend zu Situationen, in denen eine Sandwichwand als Brandwand dienen soll. Fehlende Erkenntnisse über das Verhalten von Sandwichwänden im Brandfall unter Berücksichtigung der Verbindungsmittel und der Vorsatzschale sowie bestehende baurechtliche Anforderungen verhindern deren Einsatz zum passiven Brandschutz von Gebäuden.

2 Durchführung des Forschungsvorhabens

Obwohl bereits in der Literatur von einem hohen Feuerwiderstand der Sandwichwände berichtet wurde, existieren keine Kriterien für die Ausbildung des Wandbauteils, welche die Einstufung dieses mehrschichtigen Betonbauteils als Brandwand ermöglichen. Dabei können die Anzahl der möglichen Ausführungen und das Brandverhalten der verwendeten Materialien Schwierigkeiten bereiten. Die Erfüllung der Kriterien von Brandwänden bleibt aufgrund der immer dichter werdenden Bebauung und möglichem Anbau an bestehende Gebäude von großem Interesse. Somit ist für das Wandelement der Einfluss einer erhöhten Temperatur auf das Tragverhalten des mehrschichtigen Bauteils zu erforschen, damit diese bei der Heißbemessung berücksichtigt werden kann. Die Sandwichwände bieten aufgrund ihres dreischichtigen Aufbaus die Möglichkeit der Schalendickenreduzierung im Vergleich zu einer reinen Betonwand bei gleichem Feuerwiderstand. Die Berücksichtigung des wirklichkeitsnahen Tragverhaltens – der Sandwichtragwirkung – könnte dies ermöglichen. Die wissenschaftliche Erklärung und der mechanische Hintergrund des Tragverhaltens einer Sandwichwand im Brandfall und deren Feuerwiderstand wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens untersucht. Hierzu wurden theoretische sowie praktische Untersuchungen durchgeführt.

Die Sandwichwände wurden als Brandwände in großformatigen Klassifizierungsversuchen unter Brandbelastung, einer ausmittigen Auflast sowie einer anschließenden Anstoßbelastung geprüft. Dabei waren die untersuchten Einflussparameter die Seite der Beflammung sowie die Kernschichtdicke. Die Feuerwiderstandsklasse REI120-M wurde in allen Versuchen bestätigt. Die Versuchsergebnisse haben gezeigt, dass das Tragverhalten einer Sandwichwand unter Brandbelastung stark durch den temperaturabhängigen Beitrag der Kernschicht beeinflusst wird. Der Sandwicheffekt im Brandfall war auch bei relativ weicher Dämmung und GFK-Verbindungsmitteln vorhanden. Bei der Analyse des thermischen Verhaltens wurde erkannt, dass die Penetration des Wandquerschnitts mit heißem Wasserdampf einen maßgebenden Einfluss auf die Wärmeübertragung im Brandfall besitzt. Weder die Dämmung noch die Verbindungsmittel haben zu einer Feuerausbreitung oder übermäßiger Wärmeübertragung geführt. Die beobachtete Wärmebrücke infolge der vorhandenen GFK-Verbindungsmittel in den Großversuchen führte zu einem geringen Temperaturanstieg auf der unbeflammten Seite im Vergleich zum Rest der Wand. Außerdem wurde kein Abfallen oder Abtropfen der Materialien außerhalb der Kernschicht beobachtet. Die aufgehängte Vorsatzschale hat sich in keinem Fall unkontrolliert von der Tragschale abgelöst.

Um die Schubtrageigenschaften der Kernschicht in Abhängigkeit der im Brandfall steigenden Temperatur zu bestimmen, wurde eine Brandversuchsreihe an Sandwichwandquerschnitten durchgeführt. Zwei herkömmliche Dämmstoffe, allein und in Kombination mit zwei Arten von Verbindungsmitteln, wurden unter festgelegten erhöhten Prüftemperaturen getestet. Die experimentell ermittelten Eigenschaften der Kernschichtkomponenten haben Aussagen zu deren realitätsnahem Brandverhalten in einer Sandwichwandausführung geliefert. Im Allgemeinen zeigten die Kernschichten gute mechanische Eigenschaften, bis eine spezifische Zerlegungstemperatur erreicht wurde, bei der diese Eigenschaften verloren gehen. Mit den Ergebnissen kann man feststellen, dass die getesteten nichtbrennbaren (Mineralwolle) und schwerentflammbaren (EPS) Dämmmaterialien sich gut für die Herstellung von feuerbe-

ständigen Sandwichwänden eignen, obwohl sie unterschiedliches Schubverhalten bei steigender Temperatur aufweisen. Die Mineralwolle kann ihre thermisch dämmende Funktion auch im Brandfall behalten, auch wenn nur ein geringer Beitrag zur Biegesteifigkeit der Wand erreicht wird. Der EPS-Dämmstoff zeigt einen hohen Beitrag zur Schubsteifigkeit der Kernschicht, der aber schon bei relativ geringer Temperatur abgemindert und nachfolgend komplett verloren geht. Das Brandverhalten der Kernschichtkomponenten hat in keinem Versuch die Funktionalität der Betonschalen beeinträchtigt. Es wurde beobachtet, dass die formfesten Dämmstoffe (wie die getestete EPS) ihren Verbund zum Beton bei gering erhöhten Temperaturen verbessern können und eine bedeutende stabilisierende Wirkung auf die Verbindungsmittel aufwiesen. Es wurden auch weder Rauchentwicklungen noch ein Beitrag zur Feuerausbreitung beobachtet, obwohl in diesem Versuchsaufbau die Zufuhr von Sauerstoff nicht verhindert wurde.

Die getesteten GFK-Verbindungsmittel zeigten eine geringe Empfindlichkeit auf das Schubtragverhalten bis Temperaturen nahe des Schmelzpunktes vom Harz. Es wurde aber ein Wechsel ihrer Versagensmechanismus beobachtet. Die Stäbe bildeten schon bei gering erhöhten Temperaturen mehrere Risse im beflamnten Bereich anstatt, wie bei Referenzversuchen, bevorzugt ein großer Riss über die gesamte Länge. Die getesteten Flachanker zeigten keine Empfindlichkeit gegenüber erhöhten Temperaturen. Das Erreichen deren Erweichungstemperatur war in dem angewendeten Versuchsaufbau nicht möglich, da bei Versuchen ab über 500°C die 7 cm dicke Betonschale zuerst versagt hat. Es wurde festgestellt, dass die lange Branddauer in Kombination mit dünnen Betonschalen und steifen Verbindungsmittel in Spannungskonzentration und in Versagen der beflamnten Betonschale resultieren kann. Das erzeugte Versagen wurde aber durch den Versuchsaufbau bedingt, da Großversuche an Sandwichwänden gezeigt haben, dass die tatsächlich auftretenden Relativverschiebungen der Betonschalen sich in einer deutlich geringeren Größenordnung befinden.

Um die ermittelten Schubeigenschaften der Kernschicht mit dem Tragverhalten der Sandwichwände von Großbrandversuchen zu verbinden, wurde in Anhängigkeit der Betonschalendicke und der Branddauer eine numerische Analyse der in der Kernschicht entstehenden Temperaturen durchgeführt. Im Fall von Sandwichquerschnitten, vor allem bei feuerbeständigen Dämmstoffen, werden deutlich höhere Temperaturen in der beflamnten Schale erreicht als für einzelne Betonwände mit gleicher Dicke. Die Verknüpfung der Ergebnisse der beiden durchgeführten Brandversuchsreihen hat eine gute Übereinstimmung gezeigt. Die rechnerisch und experimentell ermittelten Temperaturen des Wasserdampfaustritts sowie der thermischen Erweichung der GFK-Verbindungsmittel zeigten ebenfalls gute Übereinstimmungen.

Anschließend wurden die gesammelten Erkenntnisse in einem Vorschlag für ein Klassifizierungskonzept zusammengefasst. Die Besonderheiten der Sandwichkonstruktionen, die bei der Bewertung der Brandversuche berücksichtigt werden sollen, wurden besprochen.

3 Zusammenfassung und Empfehlungen für die Praxis

Die Tauglichkeit der Sandwichwände mit GFK-Verbindungsmittel wurde experimentell bestätigt. Dabei konnte eine deutliche Abhängigkeit des Biegetragverhaltens von der thermischen Beanspruchung der Kernschicht festgestellt werden. Das Sieden im Beton und der Dämmung vorhandenen Wassers hat sich als das maßgebende Wärmeübertragungsmittel erwiesen. Die untersuchten Kernschichtkomponenten zeigten stabile Schubeigenschaften, die in einer Aussteifung der Wand resultieren. Die Einflüsse dieser Kernschichteigenschaften konnten durch die thermische Simulationen mit dem Feuerwiderstand des Bauteils verknüpft werden. Die feuerfeste, schubtragfähige und jedoch nachgiebige Verbindung der Betonschichten hat sich als optimale Lösung ergeben.

4 Eckdaten

Kurztitel: Brandverhalten von Stahlbetonsandwichwänden

Forscher / Projektleitung: SWD-10.08.18.7-17.25

Gesamtkosten: 227.620,00 €

Anteil Bundeszuschuss: 129.820,00 €

Projektlaufzeit: 06.2017 bis 07.2019, 26 Monate

5 Literaturverzeichnis

- [1] Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 4102-1: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen-Teil 1: Baustoffe Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 05.1998.
- [2] Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 4102-2: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen-Teil 2: Bauteile Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 09.1997.
- [3] Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 13501-1: *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten-Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten*, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 01.2010.
- [4] Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 13501-2: *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten-Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen*, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 12.2016.
- [5] Bauministerium: *Musterbauordnung*. MBO, 2016.
- [6] Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 1992-1-2: *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall*, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 12.2010.
- [7] Wierig, H. J.: Das Verhalten von Betonwaren und Stahlbetonfertigteilen im Feuer, in: *Betonsteinsetzung vol. XX*, 1963, H. 8, 9 und 10.
- [8] Schmitt, A.; Pahn, M.: Investigation on Flexural Stressed Sandwich Panels with GFRP-reinforcement, in: *Proceedings of the 7th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering*. CICE 2014. Image Printing at the University of Calgary, Canada, 2014, S. 164-169.
- [9] Haffke, M. M.; Pahn, M.: Flexural Behaviour of Thin GFRP-reinforced Concrete Slabs with Reduced Concrete Cover as a part of pre-cast Sandwich Panels, in: Guadagnini, M.; Keighley, S. (Hg.), *Proceedings of the 8th Binnial Conference on Advanced Composites in Construction*. ACIC 2017, Sheffield, 2017, S. 267–272.
- [10] Stamm, K., Witte, H., in: Sattler, K. Stein, P. (Hg.), *Ingenieurbauten 3*, Theorie und Praxis. Springer Verlag, Wien, New York, 1974.
- [11] Hulin, T.; Hodicky, K.; Schmidt, J. W.; Stang, H.: Experimental investigation of sandwich panels using high performance concrete thin plates exposed to fire, in: *Materials and Structures vol. 49*, 2016, S. 3879–3891.
- [12] Schmied, J.; Ruff, D. C.; Ummenhofer, T.: Sandwichelemente unter Brandeinwirkung. Eine Bestandsaufnahme, in: *Stahlbau vol. 84*, 2015, H. 11, S. 862–865.
- [13] MPA Braunschweig: *Gutachtliche Stellungnahme der MPA Braunschweig zur brandschutztechnischen Bewertung von Betonsandwichtafeln als Brandwände im Sinne von DIN 4102-3:1977-09*, Materialprüfamt für das Bauwesen, 04.2000.
- [14] Schmitt, A.; Carvelli, V.; Haffke, M. M.; Pahn, M.: Thermo-mechanical response of concrete sandwich panels reinforced with glass fiber reinforced polymer bars, in: *Structural Concrete vol. 19*, 2018, S. 839-850.
- [15] Meyer-Ottens, C.; Steinert, J.: *Berichte aus der Bauforschung 61: Brandwände, Brand- und Stoßverhalten*, Ernst & Sohn, 1969.
- [16] Deutsches Institut für Bautechnik, Z-33.4-1571: *Mineralwolle-Platten MW Wolle 035 (Dämmstoffdicke bis 200 mm)*, 2016.

- [17] Deutsches Institut für Normung e. V., DIN EN 1365-1: *Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 1: Wände*, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 08.2013.
- [18] Rosa, J. C.; Firmo, J. P.; Correia, J. R.; Mazzuca, P.: Influence of elevated temperatures on the bond behaviour of GFRP bars to concrete - pull-out tests, in: IABSE (Hg.), *Report of the IABSE Symposium Guimarães 2019 - Towards a Resilient Built Environment Risk and Asset Management*, Guimaraes, Portugal, Zurich, 2019, S. 861–868.
- [19] Deutsches Institut für Bautechnik, Z-21.8-2013: *PHILIPP Sandwichanker MA und FA*, 2014.
- [20] Deutsches Institut für Bautechnik, Z-21.8-1894: *Schöck Isolink® für mehrschichtige Betontafeln*, 10.2018.

6 Abbildungen

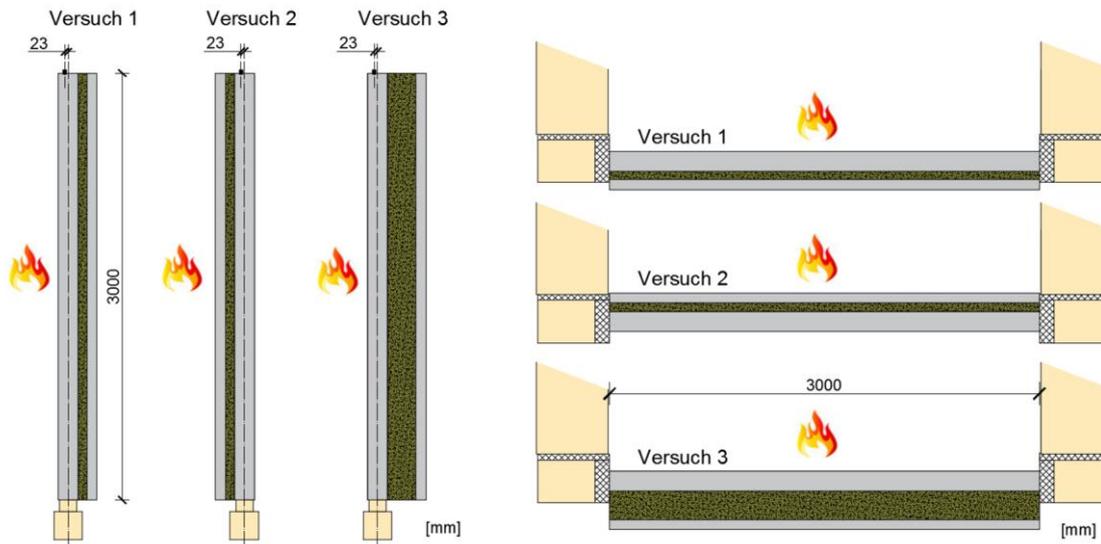
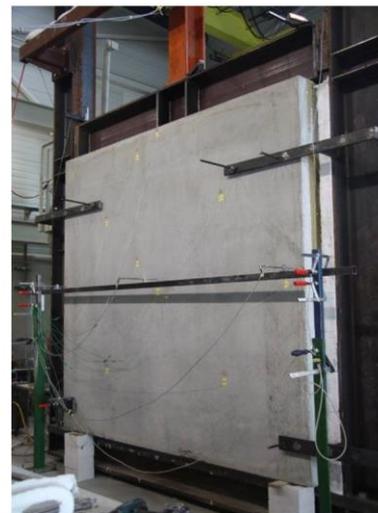
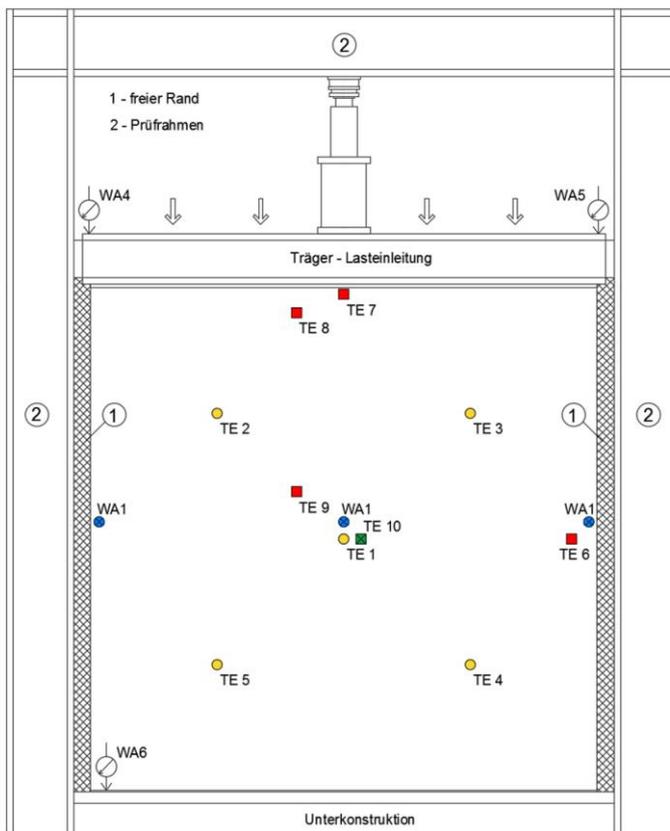


Abbildung 1: Brandversuche an Sandwichwandtafeln.jpg

Bildunterschrift: Ausrichtung der Prüfwand; vertikaler Aufbau und Lage der ausmittigen vertikalen Belastung (links); horizontaler Versuchsaufbau (rechts)



- Legende:
- Lage der Thermolemente für den mittleren Temperaturanstieg (TE1-5)
 - Lage der Thermolemente für den maximalen Temperaturanstieg (TE6-9) (TE10 – Temperaturanstieg zwischen Dämmung und Vorsatzschale)
 - Lage des Temperaturelements für den Temperaturelement für den Temperaturanstieg im Querschnitt
 - Lage der Durchbiegungs-Messpunkte (Wegaufnehmer WA1-3)
 - WA4 und WA5 Wegaufnehmer zur Bestimmung von vertikalen Verformung
 - WA6 Wegaufnehmer zur Bestimmung der Senkung von Vorsatzschale

Abbildung 2: Versuchsaufbau der Klassifizierungsversuchen.jpg

Bildunterschrift: Versuchsaufbau der Klassifizierungsversuchen; Positionierung des Prüfkörpers im Prüfraum des Brandofens (rechts), eingebaute Prüfwand (links)



Abbildung 3: Ausbau der Sandwichwand.jpg

Bildunterschrift: Ausbau der Sandwichwand zur Untersuchung der Kernschicht des Brandversuchskörpers

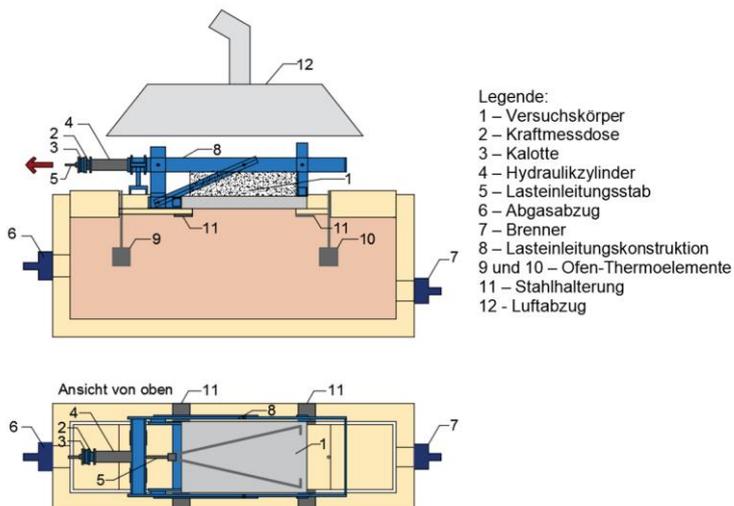


Abbildung 4: Aufbau eines Kleinbrandversuchskörpers.jpg

Bildunterschrift: Schematische Darstellung des Aufbaus eines Kleinbrandversuchskörpers in dem Brandofen

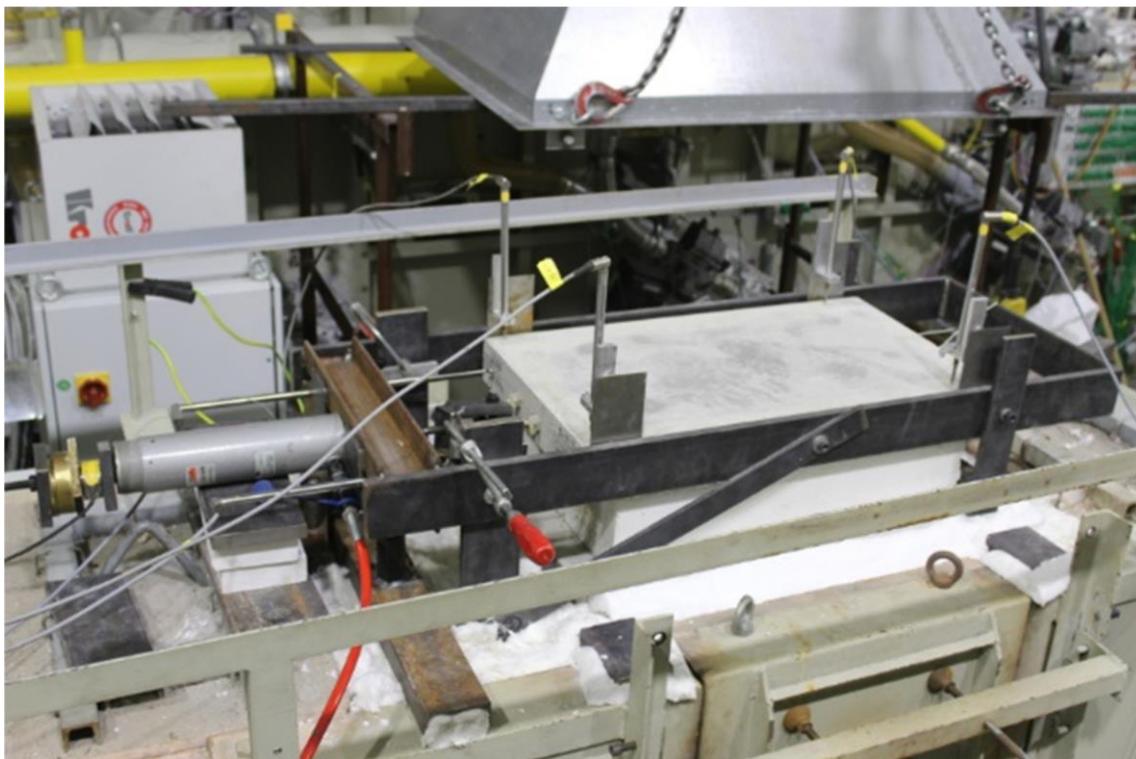


Abbildung 5: Versuchsaufbau von Brandversuche an Sandwichausschnitten.jpg

Bildunterschrift: Versuchsaufbau von Brandversuche an Sandwichausschnitten



Abbildung 6: Thermische Beschädigung des Mineralwolle.jpg

Bildunterschrift: Thermische Beschädigung des Mineralwolle nach dem Abkühlen
des Versuchskörpers