HolzbauRLBW

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt

Entwicklung einer Richtlinie für Konstruktionen in Holzbauweise in den Gebäudeklassen 4 und 5 gemäß der LBO BW - HolzbauRLBW -

Projektleitung:

Prof. Dipl.-Ing. Ludger Dederich

Patrick Sudhoff, M.Sc.

Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg
Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Projektpartner:

Hochschule Magdeburg-Stendal

Fachbereich Wasser, Umwelt, Bau und Sicherheit

Prof. Dr.-Ing. Björn Kampmeier

Patrick Sudhoff, M.Sc.

Dipl.-Ing. (FH) Norbert Rüther

Hochschule Magdeburg • Stendal

Technische Universität München

Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

Elisabeth Suttner, M.Sc.

Dr.-Ing. Norman Werther

Laufzeit: 01.11.2016 – 31.10.2020

Gefördert durch

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

EFRE
Investition in Ihre Zukunft.

Baden-Württemberg

Kurzbeschreibung

Mit dem Beschluss des baden-württembergischen Landtages vom 5. November 2014 zur Novellierung der Landesbauordnung (LBO BW) und deren Inkrafttreten zum 1. März 2015 wurden in Baden-Württemberg baurechtskonform Bauvorhaben in Holzbauweise bis zur Hochhausgrenze möglich. Vor diesem Hintergrund bedurfte es zur Planung und Umsetzung entsprechender Bauvorhaben jedoch Leitdetails hinsichtlich bewerteter Bauteile bzw. insbesondere geeigneter Bauteilanschlüsse mit dem Fokus auf deren Beurteilung hinsichtlich des Raumabschlusses. Daher wurden im Vorhaben HolzbauRLBW in vorheriger Abstimmung mit der Obersten Bauaufsicht des Landes Baden-Württemberg vorrangig praxisübliche Bauteilanschlüsse hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit im Sinne der LBO BW in der zuletzt am 18. Juli 2019 geänderten Fassung untersucht und weiterentwickelt.

Die Annahme, allein massive Holzbaukonstruktionen und deren Anschlüsse seien in der Lage, die Schutzziele für Bauwerke der Gebäudeklassen 4 und 5 zu erfüllen, konnte um die Erkenntnis erweitert werden, dass Anschlüsse von üblichen Konstruktionen in Holztafelbauweise unter Beachtung der im Holzbau aktuell weitestgehend üblichen Maßnahmen nicht kritischer hinsichtlich der Rauchdichtheit sind. Grundsätzlich wurde anhand der Betrachtung von Bauteilanschlüssen, bei denen gemeinhin die Rauchdichtheit angenommen bzw. vorausgesetzt wird, im Vergleich zu praxisüblichen Anschlüssen in Holzbauweise herausgearbeitet, dass von letzteren kein erhöhtes Risiko hinsichtlich von Rauchentwicklung und Rauchdurchtritt ausgeht.

Ziel des Forschungsvorhabens HolzbauRLBW war und ist die Bereitstellung verlässlicher Leitlinien und -details für Planung und Umsetzung moderner Holzbauten in den Gebäudeklassen 4 und 5, sowie deren anwendungsorientierte Aufbereitung und praxisrelevante Vermittlung für die am Bau Beteiligten (d.h. für Bauherren, Planer und Ausführende), die Baurechtsbehörden und die hinzuziehenden prüfenden Stellen. Der Forschungsbericht soll Eingang in die Technischen Baubestimmungen in Form einer noch zu erarbeitenden technischen Richtlinie oder technischen Norm finden und darüber hinaus eine Grundlage für die Erteilung von allgemeinen oder vorhabenbezogenen Bauartgenehmigungen sein, um die Forschungsergebnisse den am Bau Beteiligten zudem möglichst kurzfristig baurechtskonform nutzbar zu machen. Der Forschungsbericht ersetzt nicht die genannten bauordnungsrechtlich geforderten Nachweise.

Der ursprünglichen Intention des Vorhabens ist die offizielle Projektbezeichnung geschuldet. Der Umstand, dass der ursprüngliche Titel des Vorhabens nicht im Sinne von „*Entwicklung der Grundlagen für eine Richtlinie ...*“ umbenannt wurde, beruht ausschließlich auf formalen Gründen.

Vorwort

Grundlage für das Forschungsvorhaben HolzbauRLBW waren die mit der Novellierung der baden-württembergischen Landesbauordnung (LBO BW) im Jahr 2015 verbundenen zusätzlichen Möglichkeiten für den Holzbau. Diese Möglichkeiten anhand von belastbaren Erkenntnissen zu stützen bzw. abzusichern, war eine zentrale Fragestellung im Forschungsvorhaben. Mit Abschluss des Vorhabens und mit Vorlage dieses Berichts sind nun die Voraussetzungen geschaffen, diese Erkenntnisse der Baupraxis vollumfänglich zur Verfügung zu stellen. Aus Sicht der Bearbeiter stellen die Ergebnisse des Vorhabens einen wichtigen Baustein - neben den zu erwartenden Ergebnissen des F+E-Vorhabens TIMpuls zu experimentellen und numerischen Untersuchungen zur Fortschreibung bauordnungsrechtlicher Brandschutzregelungen - im Umgang mit Planung und Ausführung großvolumiger Bauvorhaben in Holzbauweise bis zur Holzhausgrenze dar.

Die dazu im Rahmen des Vorhabens HolzbauRLBW notwendigen Untersuchungen und Arbeiten wurden seitens des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg gefördert und von den Verantwortlichen engagiert begleitet. Für das in die Bearbeiter gesetzte Vertrauen und die damit verbundene vertrauensvolle Unterstützung möchten sich diese an dieser Stelle ganz besonders bedanken.

Die Bearbeiter danken zudem den Vertretern der Obersten Bauaufsicht Baden-Württembergs für die konstruktiven, in Teilen Dritten gegenüber nicht vermittelbar intensiven Erörterungen und Beratungen zu den Grundlagen für die durchgeführten Untersuchungen.

Weiterer Dank gilt den Unternehmen, die anhand unkomplizierter Unterstützung durch die Bereitstellung von Baustoffen, Baukomponenten und ähnlichem den Erfolg des Vorhabens mit möglich gemacht haben. Konkret gilt dieser Dank:

Adolf Würth GmbH & Co. KG, Künzelsau-Gaisbach	Binderholz Deutschland Vertriebs GmbH, Oberrot
EGGER Holzwerkstoffe Brilon GmbH & Co. KG, Brilon	Getzner Werkstoffe GmbH, A-Bürs
GUTEX Holzfaserplattenwerk H. Henselmann GmbH + Co KG, Waldshut-Tiengen	HASSLACHER Holding GmbH, A-Sachsenburg / Magdeburg
James Hardie Europe GmbH, Düsseldorf	MOLL bauökologische Produkte GmbH, Schwetzingen
Rex Industrie-Produkte Graf von Rex GmbH, Vellberg	Rotho Blaas Deutschland GmbH, I-Cortaccia
W. u. J. Derix GmbH & Co., Niederkrüchten	Wolf Bavaria GmbH, Heilsbronn

AP BHJ LK

Mitwirkende in der projektbegleitenden Arbeitsgruppe:

Hubert Barth	Bau Barth Hausbau, Owingen
Walter Bauer	Bauer Holzbau, Satteldorf-Gröningen / Holzbau Deutschland-Institut, Berlin
Jörg Bühler	Holzbau Deutschland-Institut, Berlin
Klaus Cronau	FingerHaus, Frankenberg / Eder
Herbert Duttlinger	Holzbau Bruno Kaiser, Bernau
Michael Hafner	Vereinigung Badischer Unternehmerverbände e.V., Freiburg
Peter Jonak	Bien Zenker, Schlüchtern
Christoph Jost	proHolzBW, Ostfildern
Georg Lange	Bundesverband Deutscher Fertigbau, Bad Honnef
Johannes Niedermeyer	Holzbau Deutschland Bund Deutscher Zimmermeister im ZDB / Holzbau Deutschland-Institut, Berlin
Volker Noller	Fertighaus Weiss, Oberrot / Bundesverband Deutscher Fertigbau, Bad Honnef
Gerd Renz	Renz Holzbau & Bedachungen, Pfullingen / Holzbau Baden-Württemberg Ostfildern
Wolfgang Schäfer	Holzbau Baden-Württemberg, Ostfildern / Deutscher Holzfertigbau-Verband, Ostfildern
Wolfgang Schäfer	Bundesverband Deutscher Fertigbau, Bad Honnef
Josef Schlosser	Schlosser Projekt, Jagstzell / Holzbau Baden-Württemberg, Ostfildern
Alexander Schröter	Binderholz Deutschland, Kösching / Studiengemeinschaft Holzleimbau, Wuppertal
Erwin Taglieber	Taglieber Holzbau, Oettingen / Deutscher Holzfertigbau-Verband, Ostfildern
Micha Trefz	Deutscher Holzfertigbau-Verband, Ostfildern
Christoffer Walcher	SchwörerHaus, Hohenstein
Heinz Weizenegger	Holzbau Weizenegger, Bad Wurzach
Dr. Tobias Wiegand	Studiengemeinschaft Holzleimbau, Wuppertal

Rottenburg am Neckar, am 21. Dezember 2020

1 Inhalt

Kurzbeschreibung **2**

Vorwort **3**

1. Einleitung **9**

1.1 Zweck und Zielsetzung des Projektes 9

1.2 Allgemeines Vorgehen 12

1.3 Abgrenzung des Forschungsvorhabens 13

1.4 Aufbau und Verwendbarkeit der Forschungsergebnisse 14

1.5 Definitionen und Grundlagen 14

1.5.1 Allgemeines 14

1.5.2 Dichtheit 14

1.5.3 Luftdichtheit 15

1.5.4 Rauchdichtheit 15

1.5.5 Rauchdichtheit entsprechend MBO bzw. LBO BW 16

2 Baurechtliche Anforderungen an mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise und Definition der Schutzziele **17**

2.1 Anforderungen gemäß Musterbauordnung 17

2.2 Schutzzieldefinition gemäß Landesbauordnung (LBO BW) und Allgemeine Ausführungsverordnung des Wirtschaftsministeriums zur Landesbauordnung (LBOAVO) 20

2.3 Weiterführende bauordnungsrechtliche Schutzzielanforderungen für den Holzbau entsprechend der Richtlinie für hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR) 21

2.3.1 Zusätzliche Bestimmungen entsprechend VwV TB bzw. MVV-TB 22

2.3.2 Bewertungskriterien zum Raumabschluss nach DIN EN 13501-2 und DIN 4102-2 22

2.4 Diskussion in der Fachkommission Bautechnik 27

3 Anforderungen an den Schallschutz, Wärmeschutz, Feuchteschutz, Brandschutz und die konstruktive Umsetzung von Holzbauteilen für das Forschungsprojekt HolzbauRLBW **27**

Vorbemerkung 27

3.1 Hinführung 27

3.2 Schallschutz 28

3.2.1 Anforderungen an flächige Bauteile 28

3.2.2 Rechnerischer Nachweis unter Berücksichtigung der Flankenübertragung 30

3.2.3 Empfehlung zur Anwendung im Forschungsvorhaben 31

3.3 Wärmeschutz 32

3.3.1 Allgemeines 32

3.3.2 Flächige Bauteile 33

3.3.3 Wärmebrücken 35

3.4 Holzschutz / Feuchteschutz 37
3.5 Brandschutz 38
3.6 Konstruktion 39

4 Brandschutz haustechnischer Installationen im Holzbau 39

4.1 Einführung und Abgrenzung 39
4.2 Schutzzielbetrachtung gemäß Landesbauordnung (LBO BW) und Ausführungsverordnung Baden-Württemberg (LBOAVO) 41
4.3 Haustechnische Anlagen - Brandschutzlösungen 41
4.3.1 Allgemeines 41
4.3.2 Systemübersicht und Einteilung 42
4.3.3 Brandschutztechnische Klassifizierung von Durchdringungen 44
4.4 Brandschutz haustechnischer Installationen im Holzbau 47
4.4.1 Allgemeines 47
4.4.2 Elektroleitungen 48
4.4.3 Systemabschottungen 50
4.4.4 Einbauteile 52
4.4.5 Fazit 54

5 Kriterienübersicht und Auswahl der brandschutztechnisch zu untersuchenden Bauteilanschlüsse 56

5.1 Begründung der Versuchsdurchführung 56
5.2 Theoretische Grundlagen 56
5.2.1 Auswahlkriterien 56
5.2.2 Brandwege und Brandnebenwege 59
5.2.3 Prinzipien des Abdichtens 60
5.3 Auswahl von Bauteilen 62
5.4 Übersicht der durchgeführten Versuche im HolzbauRLBW-Projekt 63

6 Entwicklung eines Messkonzeptes zur weiterführenden Beurteilung von Bauteil- und Elementfugen 67

6.1 Stand der Forschung und Technik zur quantitativen Beurteilung des Rauchdurchtrittes 68
6.2 Messkonzept zur weiterführenden quantitativen Beurteilung des Leckagestroms 70
6.3 Versuchsdurchführung 76

7 Zusammenfassung und Auswertung der zugrundeliegenden Versuche 80

7.1 Versuche aus anderen nationalen und internationalen Forschungsvorhaben 80
7.1.1 Überblick der weiteren ausgewerteten Versuche 80
7.1.2 Elementfugen 85
7.1.3 Bauteilfugen 109

7.2 Im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes durchgeführte Versuche 128
7.2.1 Vorversuchsreihe 128
7.2.2 Hauptversuchsreihe 130
7.2.3 Auswertung der Einflüsse auf das Brandverhalten von Bauteil- und Elementfugen 135
7.2.4 Vergleich mit mineralischen Bauweisen 145
7.3 Verhalten von Luftdichtungsmaßnahmen unter Temperatureinwirkung 147
7.3.1 Hinführung 147
7.3.2 Begründung der Versuche 147
7.3.3 Versuchsaufbau 148
7.3.4 Versuchsergebnisse 152
7.3.5 Fazit und Ausblick der durchgeführten Versuche 154

8 Vorschläge zu qualitätssichernden Maßnahmen 156

8.1 Einleitung 156
8.2 Zielstellung 156
8.3 Allgemeines 156
8.3.1 Phasen des Bauablaufs 156
8.3.2 Art und Umfang der qualitätssichernden Maßnahmen 157
8.4 Eigenschaften der Anschlüsse mit Bezug auf Brandeinwirkungen 159

9 Entwicklung von Vorschlägen für die brandschutztechnische Ausführung von Treppenraumwänden 161

9.1 Definition von Schutzzielen und qualitativen Anforderungen für Bauteile in notwendigen Treppenräumen und Fluren 161
9.2 Anwendung repräsentativer Naturbrände als Bemessungsbrandszenarien 165
9.3 Anwendung eines FE-Modells zur numerischen Berechnung des Wärmedurchgangs in Bauteilen 167
9.3.1 Beschreibung des FE-Modells 167
9.3.2 Geometrische Randbedingungen 168
9.3.3 Numerische Randbedingungen 168
9.3.4 Modellvalidierung 170
9.4 Berechnung der Schutzzeiten für repräsentativer Wandaufbauten in notwendigen Fluren und Treppenräumen 173
9.4.1 Ergebnisse der Berechnungen 175
9.5 Empfehlung zur Ausführung der Bekleidungsdicke in notwendigen Fluren und Treppenräumen 179

10 Abgeleitete Empfehlungen für Anschlüsse von Holzbauteilen 181

10.1 Allgemeines 181

10.2 Ausführungsmöglichkeiten für Bauteil- und Elementanschlüsse 181

10.2.1 Darstellung der Anschlüsse 181
10.2.2 Dämmstoffeinlage 185
10.2.3 Dichtungsstreifen und Schalldämmlager 185
10.2.4 Verspachtelungen und Verfugungen 186
10.2.5 Breite von Dichtungsmaßnahmen 186
10.2.6 Konstruktive Verbindung der Elemente und Bauteile 186
10.2.7 Bekleidungen 187
10.2.8 Flankierende Bauteile 187
10.2.9 Anschluss von nicht-raumabschließenden Bauteilen an raumabschließende Bauteile 187

10.3 Besonderheiten bezüglich der Rauchentwicklung bei Bauteilanschlüssen 188

11 Literaturverzeichnis 190

12 Abbildungsverzeichnis 202

13 Tabellenverzeichnis 206

Anhang A Tabellarische Auflistung von Abschottungen im Holzbau

Anhang B Versuchsprotokolle (A1_BSP-BSP_KLB_60 bis Z09_HTB_HTB_VB-int_60)

1. Einleitung

1.1 Zweck und Zielsetzung des Projektes

Bearbeitung: Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

Aus gestalterischen und bauphysikalischen Gründen und nicht zuletzt aus den Bestrebungen zum nachhaltigen Bauen nimmt die Nachfrage und der Einsatz von Konstruktionen aus biogenen Baustoffen unter besonderer Berücksichtigung des Leitbaustoffs Holz im Wohnungsbau, aber auch in repräsentativen Veranstaltungs-, Zweck- und Industriebauten kontinuierlich zu. Der Anwendung standen und stehen jedoch zahlreiche bauordnungsrechtliche Brandschutzanforderungen entgegen. Diese Hemmnisse für den vermehrten Einsatz des Holzbaus sind zum Teil in der Brennbarkeit begründet, basieren zudem in erheblichem Umfang auf historisch gewachsenen Anforderungen, die für den modernen Holzbau nicht gerechtfertigt sind und dessen Leistungsfähigkeit in nur geringem Umfang Rechnung tragen.

Mit dem Beschluss des baden-württembergischen Landtages vom 5. November 2014 zur Änderung der Landesbauordnung (LBO BW) und deren Inkrafttreten zum 1. März 2015 [1] wurde ein bedeutender politischer Schritt im Sinne des im Koalitionsvertrag der grün-roten Landesregierung formulierten Ziels der kontinuierlichen Steigerung des Anteils von Holz im Bauwesen und dem dazu notwendigen Abbau von Hemmnissen für den Einsatz von Holz vollzogen. Baden-Württemberg nahm damit im bundesweiten Vergleich eine Sonderstellung ein. Die sicherheitstechnischen Aspekte des Brandschutzes zählen zu den wesentlichen Grundanforderungen an Bauprodukte bzw. Bauwerke und sind entsprechend als deskriptive Vorgaben Gegenstand der LBO BW.

Die ursprünglich in Baden-Württemberg 2015 eingeführte Formulierung mit Anforderungen an die Rauchdichtheit wurde 2019 für Nordrhein-Westfalen übernommen.

Weitere Bundesländer (Berlin, Hamburg, Hessen) lassen ebenso Holzbauweisen für die Gebäudeklasse 5 zu. Hier bestehen teilweise zusätzliche weiterführende Anforderungen wie zum Beispiel im Hinblick auf die Art und Ausführung der Holzbauteile oder die Größen von Nutzungseinheiten. Direkten Bezug auf die Rauchdichtheit von Bauteilen oder Fügungen nehmen diese jedoch nicht.

Anforderungen an Baustoffe, Bauteile und Bauwerke werden auf Grundlage des Systems der Gebäudeklassen (GK) geregelt. Die Klassifizierung der Gebäude erfolgt auf Basis der Höhe des obersten Geschossfußbodens eines möglichen Aufenthaltsraumes über der Geländeoberfläche sowie der Anzahl und flächenbezogenen Ausdehnung der Nutzungseinheiten. Bis zur Novellierung der LBO BW im Jahr 2015 war die Anwendung von Konstruktionen aus brennbaren Baustoffen in der Gebäudeklasse 4 analog zu den Vorgaben der Musterbauordnung (MBO 2002) über die dafür speziell eingeführte Muster-Richtlinie über brand-

schutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise - M-HFHHolzR (Fassung Juli 2004) geregelt. Diese Konstruktionen in Holzbauweise müssen allseitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen aufweisen, welche die tragenden Holzbauteile für mindestens 60 Minuten nicht nur vor Entzündung, sondern sogar vor jeglicher Brandbeteiligung schützt (Kapselklasse $K_2$60). Des Weiteren können gemäß M-HFHHolzR 2004 ausschließlich nicht brennbare Dämmstoffe verwendet werden. Zudem sind ausschließlich Holztafel-, Holzrahmen-, Fachwerkbauweisen sowie Brettstapeldecken zulässig. Technisch anspruchsvolle und zudem kostenintensive Bauteillösungen beziehungsweise eingeschränkte Konstruktionsmöglichkeiten waren und sind die Folge, die in einer Vielzahl von Fällen nicht oder nicht vollumfänglich zur Erreichung des angestrebten Schutzziels erforderlich sind.

Darüber hinaus war bis zur Hochhausgrenze die Anwendung brennbarer Konstruktionen entsprechend den bauordnungsrechtlichen Festlegungen theoretisch zwar möglich, im Gegensatz zur Gebäudeklasse 4 und der M-HFHHolzR 2004 als zugehöriger Musterrichtlinie existieren jedoch keinerlei konkretisierende Regelungen oder Maßgaben zu Art, Planung und Ausführung entsprechender Bauteillösungen. In der Allgemeinen Ausführungsverordnung zur baden-württembergischen Landesbauordnung (LBOAVO 2010) war in § 4 (3) und § 8 (4) in diesem Zusammenhang formuliert, dass tragende oder aussteifende Bauteile, die feuerbeständig sein müssen, aus brennbaren Baustoffen zulässig sind, wenn der Feuerwiderstand dieser Bauteile dem feuerbeständiger entspricht und diese Bauteile so hergestellt und eingebaut werden, dass Feuer und Rauch nicht in andere Geschosse übertragen werden können. Ausgenommen wurden Wände notwendiger Treppenräume, Brandwände und Schächte für Installationen. Mit der LBO BW 2015 erfolgte eine Erweiterung letztgenannter Forderung auf Bauteile der Gebäudeklasse 4, sodass künftig mehrgeschossige Gebäude generell in Holzbauweise auch alternativ zu hochfeuerhemmenden Bauteilen nach den Regelungen der M-HFHHolzR 2004 errichtet werden dürfen.

Hierzu war in der LBO BW 2015 in § 26 (3) gefordert, dass bei der Verwendung von Konstruktionen in Holzbauweise Feuer und Rauch nicht vorzeitig über Grenzen von Brand- oder Rauchschutzbereichen, insbesondere Geschosstrennungen, hinweg übertragen werden dürfen. Diese Formulierung zielt auf die Einhaltung brandschutztechnischer Anforderungen für die Gesamtkonstruktion ab, welche neben den flächigen Bauteilen gleichermaßen sowohl horizontale als auch vertikale Fügestellen und Bauteilanschlüsse umfasst. Damit wurde ermöglicht, in Baden-Württemberg ohne weiterführende Anforderungen an spezifische brandschutztechnische Bekleidungen mehrgeschossige Konstruktionen in Holzbauweise bis zur Hochhausgrenze zu errichten, auf den zweiten Blick ergaben sich jedoch erhebliche Herausforderungen in der Umsetzung dieser ursprünglichen Regelung. Zwar können Nachweise für Feuerwiderstände bis 90 Minuten sowohl für ungeschützte als auch für bekleidete Holzbau-

teile über normative Bemessungsverfahren oder herstellerspezifische Ver- und Anwendbarkeitsnachweise (auf Grundlage von Brandversuchen) ohne Weiteres erbracht werden. Ansätze zur quantitativen Beurteilung der Rauchdichtheit, welche über die Beurteilung des Raumabschlusses nach DIN 4102-2 bzw. DIN EN 13501 hinausgehen, sind jedoch nur kleinmaßstäblich ohne eine direkte Übertragbarkeit auf reale Bauteilgrößen vorhanden.

Im Rahmen der Novellierung der LBO BW 2019 wurden die Anforderungen an tragende oder aussteifende sowie raumabschließende Bauteile aus brennbaren Baustoffen, an die hochfeuerhemmend bzw. feuerbeständig Anforderungen bestehen, hinsichtlich des Nachweises einer Begrenzung der Brandausbreitung konkretisiert. Im Gegensatz zur vorherigen Formulierung der „Rauchdichtheit“ müssen brennbare Bauteile die hinsichtlich der Standsicherheit und des Raumabschlusses geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit nachweisen und einschließlich ihrer Anschlüsse ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung (Ausbreitung von Feuer und Rauch) sein. Somit ist ein Nachweis von Bauteilen einschließlich ihrer Bauteilanschlüsse im Hinblick auf normative Kriterien zur Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit gegeben.

Das mehrgeschossige Bauen mit Holz ist nach wie vor erheblich eingeschränkt und nach wie vor kommt es zum Ausschluss der Holzbauweise auf Grund der zahlreichen Planungs- und Ausführungsunsicherheiten. Durch die Neuregelungen der LBO BW werden für das Bauen mit dem nachwachsenden Rohstoff Holz Potentiale erschlossen, die aufgrund fehlender planerischer und ausführungsrelevanter Grundlagen bisher nicht genutzt werden konnten. Um das mit den Novellierungen der LBO BW verbundene politische Ziel so angemessen wie erfolgreich umsetzen zu können, müssen Anforderungen konkretisiert und daraus dazugehörige Beurteilungsgrundsätze bzw. Zielwerte abgeleitet werden. Praxisrelevante Planungs- und Ausführungsregeln sowie -beispiele waren im Zuge des Forschungsvorhabens Holzbau-RLBW zu erarbeiten und allgemeingültig zusammenzufassen.

Hierbei lag neben der Zusammenstellung planungssicherer Konstruktionsvorschläge ein besonderer Schwerpunkt auf der Erarbeitung von Leitvorgaben und strukturellen Detaillösungen für das Fügen von Holzbauteilen, für Bauteilanschlüsse sowie Durchdringungen haustechnischer Installationen im Sinne der Anforderung nach § 26 (3) LBO BW 2015. Neben den brandschutztechnischen Anforderungen mussten zudem die weiterführenden konstruktiven und bauphysikalischen Aspekte Schall-, Wärme-, Feuchte- und Holzschutz sowie Praxistauglichkeit und Wirtschaftlichkeit berücksichtigt werden. Es wurden sowohl Leitdetails als auch ein Leitfaden für integrale Planungsprozesse zu mehrgeschossigen Bauvorhaben in Holzbauweise geschaffen, welche in hoher Qualität abschließend allen an entsprechenden Projekten Beteiligten als gemeinsame Planungs-, Bewertungs- und Entscheidungsgrundlage zur Verfügung stehen werden.

Ziel ist ein Beitrag zu innovativen Holzbaulösungen, die alle technischen und bauordnungsrechtlichen Anforderungen erfüllen und zu energie- und ressourceneffizienten Lösungen mit biogenen Baustoffen führen. Zusätzlich wurden qualitätssichernde Aspekte identifiziert. Mit den Ergebnissen des Vorhabens HolzbauRLBW wurde eine umfassende Grundlage für die Konkretisierung der Leistungsanforderungen und die technische Umsetzung von § 26 (3) LBO BW entwickelt, die relevante Konstruktionen berücksichtigt. Diese wurden experimentell im Sinne der Anforderungen des § 26 (3) LBO BW 2019 und insbesondere hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit gegen die Brandausbreitung (Ausbreitung von Feuer und Rauch) untersucht (siehe auch Abschnitt 1.2 Allgemeines Vorgehen).

So hat sich beispielsweise in anderen abgeschlossenen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mehrfach gezeigt, dass konstruktive Maßnahmen zur Herstellung der Luftdichtheit die Schutzwirkung in Bezug auf den Durchtritt von Feuer und Rauch besonders in Anschlussbereichen, positiv beeinflussen. Daraus ließ sich ableiten, dass das konstruktive Prinzip der Luftdichtheit als ein allgemeines gelten kann, um die Rauchdichtheit einer Konstruktion zu bewerkstelligen. Weiterführende Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit dieser Schichten unter thermischer Beanspruchung waren jedoch nötig und in Teilen Gegenstand dieses Vorhabens.

1.2 Allgemeines Vorgehen

Bearbeitung: Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

Im Vorfeld der Umsetzung des Vorhabens HolzbauRLBW wurden zusammen mit Vertretern der Holzbauwirtschaft die bei Planung und Realisierung von mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise üblichen Bauteillösungen recherchiert und kategorisiert. Zur Vermeidung von Dopplungen und zur Identifikation von aussichtsreichen, im Sinne der Ziele des Vorhabens angelegten praxisüblichen Lösungen wurden diese im projektinternen Bauteilkanon zusammengefasst. Parallel dazu wurden Ver- und Anwendbarkeitsnachweise für Bauprodukte, deren Bauteilfügungen und Anschlüsse den Anforderungen gemäß LBO BW 2015 genügen müssen, gesichtet und gesammelt.

Auf Grundlage von festgestellten Übereinstimmungen in beiden Sammlungen bzw. zur Vermeidung von Dopplungen sowie in Anlehnung an die praxisüblichen Ausführungen wurden Kombinationen identifiziert, auf die im weiteren Verlauf der Fokus des Vorhabens gerichtet wurde. Allerdings wurde bei genauerer Betrachtung der Sammlungen festgestellt, dass sich bei zahlreichen Kombinationen die für die Bewertung der Bauteillösungen notwendigen Bestandteile der Bauteile auf ein essentielles Minimum reduzieren ließen. Daher wurde im weiteren Verlauf des Vorhabens der Fokus primär auf die Möglichkeiten und Eigenschaften der Bauteilfügungen bzw. -anschlüsse gelegt. Nach erfolgreicher Bewertung dieser als rudimen-

tär im Sinne von Leitdetails zu bezeichnenden Grundlage kann von diesen eine große Bandbreite weiterer Ausführungsvarianten abgeleitet werden. Auf diese Weise wird im Ergebnis die Vielfalt der holzbautechnischen Lösungen, die den Anforderungen nach § 26 (3) LBO BW entsprechen, erweitert.

Während der Bearbeitung des Vorhabens HolzbauRLBW erfolgte aus verschiedenen Gründen eine Novellierung der LBO BW 2015. Die ursprüngliche Fassung des § 26 (3)

> *„Abweichend von Absatz 2 Satz 3 sind tragende oder aussteifende sowie raumabschließende Bauteile, die hochfeuerhemmend oder feuerbeständig sein müssen, aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn die geforderte Feuerwiderstandsdauer nachgewiesen wird und die Bauteile so hergestellt und eingebaut werden, dass Feuer und Rauch nicht über Grenzen von Brand- oder Rauchschutzbereichen, insbesondere Geschosstrennungen, hinweg übertragen werden können."* (LBO BW 2015) [1]

wurde in

> *„Abweichend von Absatz 2 Satz 3 sind tragende oder aussteifende sowie raumabschließende Bauteile, die hochfeuerhemmend oder feuerbeständig sein müssen, aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn die hinsichtlich der Standsicherheit und des Raumabschlusses geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit nachgewiesen und die Bauteile und ihre Anschlüsse ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sind."* (LBO BW 2019) [2]

geändert. Auf diese Weise wurde v.a. den Erkenntnissen zu der im Abschnitt *1.5.4 Rauchdichtheit* beschriebenen, weder theoretisch noch praktisch oder mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand möglichen absoluten Dichtheit Rechnung getragen. Die projektbezogene Vorgehensweise wurde entsprechend angepasst.

1.3 Abgrenzung des Forschungsvorhabens

Bearbeitung: Ludger Dederich, Norbert Rüther

Der Fokus im Vorhaben HolzbauRLBW war a priori darauf ausgerichtet, Eigenschaften verschiedener Varianten von Bauteilfügungen unterschiedlicher flächiger Bauteile in Holzbauweise zu untersuchen und im weiteren Verlauf mit sonstigen, nicht holzbaubezogenen praxisüblichen Bauteilanschlüssen anderer Bauweisen zu vergleichen. Diese Vorgehensweise resultierte aus der Tatsache, dass nach § 26 (3) LBO BW ausschließlich für Bauteile aus brennbaren Baustoffen die entsprechenden Anforderungen (erstmalig) formuliert waren.

Die Entwicklung eines Verfahren oder einer normativ anwendbaren Methode zur Untersuchung und Bewertung von Bauteilanschlüssen in Holzbauweise für mehrgeschossige Ge-

bäude in den GK 4 und 5 hinsichtlich des Rauchdurchgangs ist nicht Bestandteil der Projektidee gewesen und nicht verfolgt worden.

1.4 Aufbau und Verwendbarkeit der Forschungsergebnisse

Bearbeitung: Ludger Dederich, Norbert Rüther

Ergebnis des Vorhabens ist einerseits ein Katalog von Leitdetails zur Kombination bzw. Fügung verschiedener Holzbauteile unterschiedlicher Ausführung unter Beachtung der Maßgabe der Justierung der technischen Anforderungen auf Grundlage der Leistungseigenschaften von Bauteilkombinationen anderer Bauweisen. Ergänzt werden diese um Hinweise zur Gewährleistung der Ausführungsqualität der Bauteilanschlüsse bzw. -fügungen zur Wahrung der Schutzziele.

In diesem Zusammenhang sind unterschiedliche, für das Erreichen der notwendigen Eigenschaften hinsichtlich einer ausreichenden Widerstandsfähigkeit gegen die Brandausbreitung im Sinne des § 26 (3) LBO BW erforderliche Spezifikationen benannt. Diese betreffen prinzipielle Planungs- und Ausführungshinweise für die Bauteilanschlüsse bzw. -fügungen an die die flächigen Anschlussbauteile ergänzenden Maßnahmen und Komponenten.

In wie weit sich aus den Ergebnissen und Erkenntnissen des Vorhabens HolzbauRLBW Grundlagen für die Formulierung von Grenzwerten und / oder die Integration weitergehender ordnungsrechtlicher Maßnahmen ergeben, obliegt der Bauaufsicht.

Ergänzend zu diesem Abschlussbericht werden die Erkenntnisse und Ergebnisse praxisgerecht und anwendungstauglich in einer fachtechnischen Veröffentlichung im Rahmen der Schriftenreihe des Informationsdienst Holz allen am Bau Beteiligten zugänglich gemacht.

1.5 Definitionen und Grundlagen

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

1.5.1 Allgemeines

In den folgenden Absätzen werden die für das vorliegende Dokument wichtigen Begriffe entsprechend einschlägiger Verordnungen, Richtlinien sowie Normen definiert.

1.5.2 Dichtheit

Entsprechend DIN ISO 20484 ist ein Leck „*ein Loch, ein poröser Bereich, ein gasdurchlässiger Bereich oder eine andere Struktur […] wodurch aufgrund einer Druck- oder Konzentrationsdifferenz Gas von einer Seite […] auf die andere Seite gelangen kann*“ [3]. Ein dichtes Objekt wird als „*Objekt mit einer geringeren Leckrate, als in der Spezifikation festgelegt*“ [3]

beschrieben. Dementsprechend ist aus normativer und technisch-wissenschaftlicher Sicht „dicht“ nicht zwingend dem juristischen Wort „dicht“ im Sinne von vollständig undurchlässig und damit einer absoluten Dichtheit gleichzusetzen. Grundsätzlich ist bei jedem Material und jeder Fügung im Bauwesen von Leckagen auf mindestens atomarer Ebene auszugehen.

1.5.3 Luftdichtheit

Seit Einführung der Wärmeschutzverordnung (1977) [4] wird eine luftundurchlässige Schicht für die wärmeübertragende Umfassungsfläche vorgeschrieben. Die Anforderungen werden in der DIN 4108-7 [5] sowie in der Energieeinsparverordnung (EnEV) [6] konkretisiert. Ziel dieser luftdichten Ebene ist, Wärmeverluste durch Durchströmungen zu verhindern bzw. auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. In der Bauteilfläche kann dies durch Plattenwerkstoffe sowie Folien erreicht werden. In den Anschlussbereichen kommen Fugendichtmassen und Klebebänder zum Einsatz. Die Maßnahmen für die Außenwände können direkt auf Innenwände übertragen werden und unterstützen hier die Behinderung der Übertragung von Geräuschen über Luftschall. Für die Luftdurchlässigkeit verschiedener Materialien in der Fläche wird im Regelfall der Wert bei 50 Pa Druckdifferenz (q_{50}, [m³/(m²/h)]) angegeben. Eine direkte Übertragbarkeit der Anforderungen an luftdichte Ebenen auf eine Rauchdichtheit ist auf Grund nicht vorhandener Anforderungen beziehungsweise Grenzwerte für die Rauchdichtheit so nicht direkt möglich.

1.5.4 Rauchdichtheit

Entsprechend der Definition aus Abschnitt 1.5.2 ist somit über alle Bauweisen hinweg auch die Rauchdichtheit nicht als absolute Dichtheit zu betrachten. Vielmehr ist an dieser Stelle eine sinnvolle maximal zulässige, praxisgerechte Leckagerate, die den bisherigen Stand der Technik abbildet, für den weiteren Projektverlauf anzunehmen. Gleichzeitig ist in diesem Zusammenhang die Frage zu stellen, unter welchen Randbedingungen die in Abschnitt 1.5.3 genannten Maßnahmen auch im Brandfall wirksam bleiben und damit die Strömungsdichtheit oder Leckagerate auch im Brandfall gewährleisten können.

Entsprechend DIN EN 13501-2 wird die Rauchdichtheit als „*Fähigkeit eines Bauteils, den Durchtritt von heißen und/oder kalten Gasen oder Rauch von einer Seite auf die andere unterhalb eines festgelegten Niveaus*“ zu halten, beschrieben [7]. In dieser Norm werden zulässige Leckraten für Rauchschutztüren definiert. Diese werden in nachfolgender Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Zulässige Leckraten für Rauchschutztüren entsprechend DIN EN 13501-2

	einflüglige Türanlage	zweiflüglige Türanlage	Druck bis zu
S_{200}[1]	20 m³/h	30 m²/h	50 Pa
S_a[2]	3 m³/h		25 Pa

In der zugehörigen Prüfnorm DIN EN 1634-3 [8] wird eine Rauchschutztür dementsprechend als ein Abschluss mit der Funktion, im geschlossenen Zustand den Durchtritt von Rauch innerhalb vorgeschriebener Grenzen zu halten, beschrieben.

Zusammenfassend ist somit mit der technischen Rauchdichtheit die Begrenzung einer Rauchleckrate auf ein bestimmtes Niveau beschrieben. Für Bauteile bzw. Fugen zwischen Elementen oder Bauteilen werden auf normativer Seite keine zulässigen Leckraten definiert.

1.5.5 Rauchdichtheit entsprechend MBO bzw. LBO BW

Entsprechend § 14 MBO wird für bauliche Anlagen gefordert, der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorzubeugen. Dies gilt somit sowohl für Bauteile als auch deren Element- und Bauteilfugen, sowie deren Durchdringungen.

Die Anforderungen zur Rauchdichtheit werden jedoch zunächst nur mit Türen direkt in Verbindung gebracht.

Dementsprechend werden rauchdichte (und selbstschließende bzw. teilweise feuerhemmende) Türen in folgenden raumabschließenden Bauteilen bzw. für folgende Bauteile gefordert:

- Wände von Räumen zwischen notwendigem Treppenraum und Ausgang ins Freie: Türen zu notwendigen Fluren (§35 (3) Nr. 3 MBO)
- Öffnungen im notwendigen Treppenraum zu Kellergeschossen, zu nicht ausgebauten Dachräumen, Werkstätten, Läden, Lager- und ähnlichen Räumen sowie zu sonstigen Räumen und Nutzungseinheiten mit einer Fläche von mehr als 200 m², ausgenommen Wohnungen (§ 35 (6) Nr. 1 MBO)
- Öffnungen im Treppenraum zu notwendigen Fluren (§ 35 (6) Nr. 2 MBO)
- rauchabschnittsbildende Türen in notwendigen Fluren (§ 36 (3) Satz 1 MBO)

Im Rahmen der Landesbauordnung Baden-Württemberg mit der Änderung vom 5.11.2014 wurde die Anforderung an die Rauchdichtheit nun auch auf die Anforderungen der Ausbildung der Bauteile und Bauteilanschlüsse konkret ausgeweitet. Abweichend von hochfeuerhemmenden und feuerbeständigen Bauteilen waren „tragende oder aussteifende sowie raumabschließende Bauteile aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn die geforderte Feu-

[1] S_{200}: Berücksichtigung der Leckage sowohl bei Raumtemperatur als auch bei 200° C
[2] S_a: Berücksichtigung der Leckage nur bei Umgebungstemperatur

erwiderstandsdauer nachgewiesen wird und die Bauteile so hergestellt und eingebaut werden, dass Feuer und Rauch nicht über Grenzen von Brand- oder Rauchschutzbereichen, insbesondere Geschosstrennungen, hinweg übertragen werden können.“ [1] Mit dieser Anforderung wird eine Rauchdichtheit für Bauteile, Element- und Bauteilfügungen in Holzbauweise u.a. in den Gebäudeklassen 4 und 5 gefordert. Die Änderung der LBO BW vom 18.07.2019 zielt auf eine Vereinfachung des § 26 (3) hinsichtlich der Übertragung von Feuer und Rauch ab. Hierbei wird nun nur noch auf die allgemeinen Schutzziele des Brandschutzes entsprechend § 15 (1) [1] Bezug genommen. An dieser Stelle ist der Begriff Brandausbreitung als „*Ausbreitung von Feuer und Rauch*“ definiert. Dementsprechend sind eben diese Bauteile zulässig, sofern „die hinsichtlich der Standsicherheit und des Raumabschlusses geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit nachgewiesen [wird] und die Bauteile und ihre Anschlüsse ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sind“. Damit besteht keine über die für alle Bauweisen geforderte Widerstandsfähigkeit gegen die Ausbreitung von Rauch hinausgehende Anforderung an die Rauchdichtheit von raumabschließenden Bauteilen aus brennbaren Baustoffen anstelle hochfeuerhemmender bzw. feuerbeständiger Bauteile.

2 Baurechtliche Anforderungen an mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise und Definition der Schutzziele

2.1 Anforderungen gemäß Musterbauordnung

Bearbeitung: Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

Das Bauordnungsrecht fordert entsprechend § 14 MBO, bauliche Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass „*der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind*“ [9].

Aus diesen Vorgaben ergeben sich unter anderem Anforderungen an

- die Brennbarkeit der Baustoffe,
- die Feuerwiderstandsdauer der Konstruktion, einschließlich der Begrenzung der Feuer- und Rauchausbreitung auf definierte Bereiche,
- die (Rauch-)Dichtheit und den Feuerwiderstand der Verschlüsse von Öffnungen sowie
- die Anordnung, Lage und Gestaltung von Rettungswegen.

Die sicherheitstechnischen Aspekte des Brandschutzes zählen zu den wesentlichen Grundanforderungen an Bauprodukte bzw. Bauwerke und sind entsprechend als deskriptive Vorgaben Gegenstand der MBO wie der Landesbauordnungen. Anforderungen an Baustoffe, Bauteile und Bauwerke werden auf Grundlage des Systems der Gebäudeklassen geregelt. Die Klassifizierung der Gebäude erfolgt auf Basis der Höhe des obersten Geschossfußbodens eines möglichen Aufenthaltsraumes über der Geländeoberfläche im Mittel sowie der Anzahl und flächenbezogenen Ausdehnung der Nutzungseinheiten. Tabelle 2 bietet die Übersicht der in der MBO definierten Gebäudeklassen.

Tabelle 2: Übersicht der Gebäudeklassen nach MBO [9]

Gebäude-klasse	Typ	Höhe	Nutzungseinheiten
1	freistehende Gebäude	≤ 7 m	≤ 2 NE ≤ 400 m² Summe
	freistehende land- und forstwirtschaftlich genutzte Gebäude	-	-
2	Gebäude	≤ 7 m	≤ 2 NE ≤ 400 m² Summe
3	sonstige Gebäude	≤ 7 m	-
4	Gebäude	≤ 13 m	NE mit ≤ 400 m² jeweils
5	sonstige Gebäude einschließlich unterirdischer Gebäude		-

Gemäß der MBO dürfen in GK 4 nur hochfeuerhemmende Bauteile aus im Wesentlichen nichtbrennbaren Baustoffen (F 60-AB) oder brennbaren Baustoffen mit einer brandschutztechnischen Bekleidung gemäß M-HFHHolzR verwendet werden. Die GK 5 erfordert gemäß MBO feuerbeständige Bauteile, die im Wesentlichen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen (F 90-AB), womit Holz per Definition als Tragwerk sowie für raumabschließende Bauteile ausgeschlossen wird.

Vor diesem Hintergrund wird heutzutage ein Großteil der mehrgeschossigen Gebäude in mineralischer Bauweise ausgeführt. In vielen Fällen, in denen mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise abweichend von der jeweiligen Landesbauordnung anhand eines individuellen Brandschutznachweises errichtet wurden, werden die Treppenhäuser häufig aus Stahlbeton ausgeführt [10, 11]. Für den Holzbau und die verbundene Ausführung der Anschlussdetails kann daher die Gleichwertigkeit zu bisherigen Ausführungen als Bewertungsmaßstab herangezogen werden.

Vergleicht man die Situation für die Holzbauweise nach MBO mit den Möglichkeiten nach LBO BW, so stellt man eine deutliche Diskrepanz der brandschutztechnischen Anforderungen für die verwendbaren Baustoffe fest.

Tabelle 3: Übersicht der derzeitigen Möglichkeiten für die Holzbauweise nach MBO und LBO BW (2019)

GK	Anforderung an Geschossdecken, tragende Wände, Stützen	Bauweise nach MBO	Bauweise nach LBO BW
1-3	keine bis feuerhemmend (30 Minuten Feuerwiderstand)	Bauteile aus brennbaren Baustoffen z.B. Fachwerkkonstruktion, Holztafelbau, Holzmassivbau	
4	Hochfeuerhemmend (60 Minuten Feuerwiderstand zzgl. durchgehende Brandschutzbekleidung)	nichtbrennbar tragende und aussteifende Teile brennbar in Kombination mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung sowie Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C nach M-HFHHolzRL	abweichend zu hochfeuerhemmenden Bauteilen sind Bauteile aus brennbaren Baustoffen ohne brandschutztechnisch wirksame Bekleidung sowie in Holzmassivbauweise zulässig z.B. Holztafelbau, Holzmassivbau
5	Feuerbeständig (90 Minuten Feuerwiderstand)	im Wesentlichen nichtbrennbar z.B. mineralische Bauweise	abweichend zu feuerbeständigen Bauteilen sind Bauteile aus brennbaren Baustoffen zulässig z.B. Holztafelbau, Holzmassivbau

In den Gebäudeklassen 4 und 5 ist es nach § 26 LBO-BW in Baden-Württemberg möglich, auch unbekleidete Holzbauteile zu verwenden, die jedoch aus Sicht des Brandschutzes weiterhin dem allgemein anerkannten Schutzzielniveau der Bauordnung entsprechen müssen [2]. Als Referenz kann hierzu die Qualität der Anschlüsse unterschiedlicher mineralischer Bauweisen herangezogen werden. Dieser Standard, der beispielsweise in anerkannten Regeln der Technik bzw. Regelwerken wie der DIN 4102-4 [12] beschrieben wird, kann im Rahmen des Projektes HolzbauRLBW als wesentliche Grundlage zur Wertung entsprechender Anschlussdetails im Holzbau angesehen werden. Dabei sollen nach derzeitigem Sicherheitsniveau zugelassene Bauteile verschiedener Bauweisen (z.B. Trockenbau- mit Holztafelbauwand) verglichen werden, aus denen sich Anschlussdetails für den mehrgeschossigen Holzbau ergeben.

Neben der Verhinderung einer Brandentstehung sowie der Begrenzung einer Ausbreitung von Feuer und Rauch, der durch den Raumabschluss entgegengewirkt wird, bestehen als

wesentliche öffentlich-rechtliche Schutzziele die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten [2, 9].

2.2 Schutzzieldefinition gemäß Landesbauordnung (LBO BW) und Allgemeine Ausführungsverordnung des Wirtschaftsministeriums zur Landesbauordnung (LBOAVO)

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter, Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

Im Rahmen des Forschungsvorhabens HolzbauRLBW wurden die bestehenden brandschutztechnischen Schutzziele entsprechend § 15 (1) LBO BW [1] herangezogen. Hier wird ebenfalls unabhängig von der Ausführung der Baustoffe und Bauteile gefordert, dass bauliche Anlagen so anzuordnen und zu errichten sind, dass

- der Entstehung eines Brandes und
- der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandweiterleitung) vorgebeugt wird und
- bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie
- wirksame Löscharbeiten möglich sind.

Die vorliegenden brandschutztechnischen Schutzziele werden in den darauffolgenden Absätzen (2) bis (8) hinsichtlich ihrer Ermöglichung und Einhaltung konkretisiert.

Weiterführend werden innerhalb des § 26 LBO BW [1] die Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen beschrieben, um die eben beschriebenen Schutzziele erreichen zu können. Innerhalb des vorliegenden Forschungsprojektes wurde vor allem Bezug auf § 26 (3) LBO-BW [1] genommen, innerhalb dessen die abweichende Ausführung zu hochfeuerhemmenden sowie feuerbeständigen Bauteilen auch aus brennbaren Baustoffen zugelassen wird, sofern

- die geforderte Feuerwiderstandsdauer nachgewiesen wird,
- die Bauteile so hergestellt und eingebaut werden, dass Feuer und Rauch nicht über die Grenzen von Brand- und Rauchschutzbereichen, insbesondere Geschosstrennungen hinweg übertragen werden können.

Mit der Novellierung des Gesetzestextes vom 18. Juli 2019 wurden die Anforderungen an die Behinderung der Übertragung von Feuer und Rauch an § 15 (1) LBO BW, innerhalb dessen die Brandausbreitung definiert wird, angelehnt: Die Bauteile und ihre Anschlüsse sollen ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sein.

Aufgrund dieser Änderung wird die Anwendung der Vorschrift präzisiert. Die ältere Formulierung der Vorschrift wurde teilweise dahingehend fehlinterpretiert, dass Konstruktionen aus brennbaren Baustoffen eine vollständige Rauchdichtigkeit aufweisen müssen. Dies ist jedoch für kein anderes Bausystem gefordert und zudem mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand technisch nicht möglich. Zudem ist zum aktuellen Zeitpunkt kein allgemeingültiges Verfahren zum Nachweis des Rauchdurchgangs vorhanden.

Mit Novellierung des § 26 (3) bestehen somit keine erhöhten Schutzzielanforderungen hinsichtlich des Durchtritts von Feuer und Rauch an die Ausführung von Bauteilen aus brennbaren Baustoffen anstelle von feuerbeständigen und hochfeuerhemmenden Bauteilen.

2.3 Weiterführende bauordnungsrechtliche Schutzzielanforderungen für den Holzbau entsprechend der Richtlinie für hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (M-HFHHolzR)

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

Innerhalb der aktuellen M-HFHHolzR werden die baurechtlichen Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile[3] bzgl. ihrer Ausführung aus Holz und Holzwerkstoffen konkretisiert. Die M-HFHHolzR stellt in diesem Rahmen zusätzlich zu den Schutzzielen nach § 15 (1) LBO-BW weiterführende Schutzziele speziell für hochfeuerhemmende Holzbauteile entsprechend Abs. 2 M-HFHHolzR [13] auf:

1) Ein Brennen der tragenden und aussteifenden Konstruktion soll verhindert werden.
2) Die Einleitung von Feuer und Rauch in Wand- und Deckenbauteile über Fugen, Installationen oder Einbauten sowie die Brandausbreitung innerhalb dieser Bauteile soll verhindert werden.
3) Die Übertragung von Feuer und Rauch über Anschlussfugen von raumabschließenden Bauteilen in angrenzende Nutzungseinheiten oder Räume soll verhindert werden.

Nachdem mit § 26 (3) brennbare Oberflächen zunächst für Bauteile aus brennbaren Baustoffen anstelle von feuerbeständigen und hochfeuerhemmenden Bauteilen zugelassen werden, kann Schutzziel 1) der M-HFHHolzR nicht als allgemeines Schutzziel übertragen werden.

Die Schutzziele 2) und 3) zielen auf die in § 15 (1) LBO-BW geforderte Unterbindung der Brandweiterleitung, mögliche Rettung von Mensch und Tier sowie wirksame Löscharbeiten ab, und können somit für das vorliegende Forschungsvorhaben übertragen werden. Ergän-

[3] tragende, aussteifende oder raumabschließende Bauteile aus Holz oder Holzwerkstoffen bestehen, die nach bauaufsichtlichen Vorschriften hochfeuerhemmend sein müssen, allseitig eine brandschutztechnisch wirksame Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen haben müssen und deren Dämmstoffe nur aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen dürfen.

zend sei in diesem Kontext auf die Überarbeitung der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile in Holzbauweise für Gebäude der Gebäudeklassen 4 und 5 - M-HolzBauRL [14] hingewiesen, die ebenfalls den Holzbau in der Gebäudeklasse 5 sowie das Mitbrennen von konstruktiven Holzbauteilen miterfasst.

2.3.1 Zusätzliche Bestimmungen entsprechend VwV TB bzw. MVV-TB

Anlage A 1.2.3/3 der VwV TB in der Fassung 12/2017 [15] sowie die Fassung 2019/1 [16] der MVV-TB schreibt für spezielle Ausführungen wie Anschlüsse und Fugen die Anwendungsregeln der DIN 4102-4 vor, sofern die entsprechenden Eurocodes (im Fall von Holz und Holzwerkstoffen DIN EN 1995 [17]) hierzu keine Anwendungsregeln enthalten.

Des Weiteren enthält Anlage A 2.1.3.3.1 Anmerkungen zu den Anforderungen des Raumabschlusses und deren Übertragung auf die Ausbildung von Fugen. Diese müssen zur Sicherung des Raumabschlusses während der Brandeinwirkung geschlossen bleiben. Entsprechend VwV TB kann diese Anforderung mit Produkten, welche im Brandfall die Fuge verschließen, sichergestellt werden. Als ausreichend gelten nichtbrennbare mineralische Baustoffe (Mörtel, Beton, etc.), mineralische Dämmstoffe mit einem Schmelzpunkt > 1.000 °C nach DIN 4102-17 sowie Produkte, welche bei Brandeinwirkung den Restquerschnitt sicher verschließen.

Ergänzend hierzu gibt Abschnitt A 2.1.6 der MVV-TB 2019/1 für die Beurteilung von raumabschließenden Bauteilen im Hinblick auf die Einstufung in Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102-2 nachfolgende Konkretisierung bzgl. der Rauchentwicklung: Innerhalb der visuellen Beobachtung während der Brandprüfung muss festgestellt sein,

> „*dass höchstens eine geringe Rauchentwicklung beobachtet worden ist (kein flächiger Rauchaustritt auf der Bauteiloberfläche, nur einzelne Rauchfähnchen auch aus Fugen).*“

2.3.2 Bewertungskriterien zum Raumabschluss nach DIN EN 13501-2 und DIN 4102-2

2.3.2.1 Allgemeines

Entsprechend Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VwV TB) muss der Raumabschluss eines Teils baulicher Anlagen bei Brandeinwirkung nach Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) gemäß DIN 4102-2 über die geforderte Feuerwiderstandsdauer entsprechend der bauordnungsrechtlichen Anforderungen gewährleistet sein. Die Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteilen in bauaufsichtlichen Verfahren erfolgt auf Grundlage von Brandprüfungen nach ETK und führt zu Einstufungen in Feuerwiderstandsklassen entsprechend DIN 4102-2 [18] bzw. DIN EN 13501-2 [19], die den bauaufsichtlichen Anforderungen entsprechend Anlage 4 zur MVV-TB zugeordnet werden.

2.3.2.2 Beurteilung von Bauteilen zu ihrem Brandverhalten entsprechend DIN EN 13501-2

Allgemeine Beurteilungsansätze

Auf europäischer Ebene beschreibt die DIN EN 1363-, 1364- sowie 1365-Reihe [20–34] Anforderungen an die Durchführung von Feuerwiderstandsprüfungen. Die DIN EN 13501-Reihe [7, 19, 35–37] beinhaltet das Vorgehen bei der Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten auf Basis dieser Feuerwiderstandsprüfungen. Hierbei werden allgemein für Bauteile die Leistungskriterien Tragfähigkeit, Raumabschluss und Wärmedämmung für die Beurteilung des Feuerwiderstandes formuliert. Für die innerhalb dieser Arbeit diskutierte Thematik der Begrenzung der Brandausbreitung (Feuer und Rauch) stehen der Raumabschluss sowie die Wärmedämmung im Vordergrund. Hierzu muss die Sicherstellung der Tragfähigkeit als wesentliche Grundlage vorausgesetzt und als erfüllt angesehen werden.

Raumabschluss (Étanchéité - E)

Entsprechend DIN EN 13501-2 ist der Raumabschluss E

> *„die Fähigkeit eines Bauteils mit raumtrennender Funktion, der Beanspruchung eines nur an einer Seite angreifenden Feuers so zu widerstehen, dass ein Feuerdurchtritt zur unbeflammten Seite als Ergebnis des Durchtritts von Flammen oder heißer Gase verhindert wird.“* [19]

Entsprechend DIN EN 13501-2 werden drei Versagenskriterien definiert, auf welchen die Bewertung des Raumabschlusses im Allgemeinen basiert. Diese werden innerhalb der DIN EN 1363-1 [20] folgendermaßen definiert:

- Spalte und Öffnungen, die über bestimmte Maße hinausgehen:

  Mittels einer Spaltlehre werden Öffnungen und Spalten auf ihre Durchgängigkeit geprüft. Zum Versagen muss eine 6 mm-Spaltlehre in den Prüfofen ragen und dabei entlang eines Spaltes auf 150 mm Länge geführt werden können oder eine 25 mm-Spaltlehre durch den Probekörper geführt werden, dass sie in den Prüfofen hineinragt.

- Entzündung eines Wattebausches:

  Der Wattebausch (100 x 100 x 20 mm; 3 - 4 g) wird mittels eines Rahmens v.a. in Bereichen von Rissen, Unstetigkeiten oder Flammenbildung für 30 s bzw. bis zum Entflammen an die feuerabgewandte Seite des Probekörpers in einem Abstand von 30 mm angehalten. Der Zeitpunkt des Entzündens ist dabei festzuhalten.

- Andauernde Entflammung auf der vom Feuer abgewandten Seite:

  Das Auftreten sowie die Dauer eines andauernden Flammenaustrittes müssen festgehalten werden.

Der Versagenszeitpunkt des Bauteils entspricht dem des ersten eintretenden Versagenskriteriums.

Wärmedämmung (Isolation - I)

Entsprechend DIN EN 13501-2 [19] ist die Wärmedämmung I eines Bauteils die Fähigkeit,

> *„einer einseitigen Brandbeanspruchung ohne die Übertragung von Feuer als Ergebnis einer signifikanten Übertragung von Wärme von der dem Feuer zugekehrten Seite zu der vom Feuer abgewandten Seite zu widerstehen. Die Übertragung muss so begrenzt sein, dass weder die vom Feuer abgewandte Oberfläche noch Materialien in der Nähe entzündet werden. Das Bauteil muss außerdem ein so großes Hindernis für die Wärmeeinwirkung darstellen, dass in der Nähe befindliche Personen geschützt werden."* [19]

Als Leistungsniveau zur Definition der Wärmedämmung gilt dabei die mittlere Temperaturerhöhung auf der brandabgewandten Seite von nicht mehr als 140 K über der mittleren Ausgangstemperatur bzw. eine maximale Temperaturerhöhung von 180 K über dem Ausgangsniveau. Bei Bauteilen mit kleinen Oberflächen (wie z.B. Bauteilfugen) ist das Vorgehen der mittleren Temperaturerhöhung aus praktischen Gründen nicht anwendbar. Bei ebendiesen Bauteilen soll die Wärmedämmung nur auf Basis der maximalen Temperaturerhöhung festgestellt werden. In diesem Kontext sei angemerkt, dass der Einfluss von Fugen auf das Durchwärmungsverhalten nicht durch Messung auf der Fuge selbst, sondern im Abstand von 20 mm zur Fuge erfasst wird.

Bei Versagen des Prüfkörpers auf Raumabschluss bedeutet dies gleichzeitig ein Versagen der Wärmedämmung.

Strahlung (Radiation - W)

Entsprechend DIN EN 13501-2 [19] ist die Strahlungsbegrenzung die Fähigkeit eines Bauteils,

> *„einer nur einseitigen Brandbeanspruchung so zu widerstehen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Brandübertragung als Ergebnis signifikanter abgestrahlter Wärme entweder durch das Bauteil oder von der vom Feuer abgekehrten Oberfläche des Bauteiles auf angrenzende Materialien reduziert wird."* [19]

Dabei bedeutet das Versagen eines Bauteils aufgrund von Spalten und Öffnungen über den zulässigen Abmessungen sowie andauernde Flammen an der unbeflammten Seite automatisch auch das Versagen des Strahlungskriteriums.

Der Maximalwert der Strahlung darf innerhalb der Prüfung den Wert von 15 kW/m² nicht überschreiten.

Klassifizierung von raumabschließenden (tragend und nichttragend) Bauteilen entsprechend DIN EN 13501-2

Nichttragende Bauteile werden infolge der durchgeführten Bauteilprüfungen entsprechend DIN EN 1363 und 1364 - Reihe betrachtet. Mit den resultierenden Ergebnissen werden diese dann entsprechend ihren Leistungseigenschaften nach DIN EN 13501-2 [19] klassifiziert. Die Klassifizierung für nichttragende Bauteile schließt Trennwände wie auch weitere Bauteile ein. Diese können wie nachfolgende Tabelle aufzeigt in verschiedene Klassen eingeteilt werden:

Tabelle 4: Klassifizierung nichttragender Bauteile entsprechend DIN EN 13501-2

Kriterium	**Feuerwiderstandsdauer [min]**								
E		20	30		60	90	120		
EI	15	20	30	45	60	90	120	180	240
EI-M			30		60	90	120	180	240
EW		20	30		60	90	120		

Für Bauteile, die gleichzeitig eine tragende und raumabschließende Funktion aufweisen, werden die Kriterien der vorangestellten Tabelle um das Kriterium Tragfähigkeit (R) erweitert, dem ein maximales Verformungskriterium und die Verformungsrate zu Grunde liegen. Mit Versagen der Tragfähigkeit von gleichzeitig raumabschließenden Bauteilen sind dementsprechend auch der Raumabschluss und die Dämmwirkung aufgehoben.

2.3.2.3 Beurteilung des Feuerwiderstandes von Bauteilen entsprechend DIN 4102-2

Allgemeines

Im Vergleich zur DIN EN 13501-2 werden innerhalb der DIN 4102-2 [18] keine Einzelkriterien zur Beurteilung von nichttragenden Bauteilen, welche nur eine raumabschließende Funktion aufweisen, eingeführt. Anstelle dessen wird ein ganzheitlicher Raumabschluss unter der Einhaltung folgender Kriterien beschrieben:

- Verhinderung des Durchganges von Feuer entsprechend Wattebauschtest
- Temperaturkriterium (140 K im Mittel, 180 K im Maximum)
- Festigkeitsprüfung
- kein Zusammenbrechen unter Eigenlast

Behinderung des Durchgangs von Feuer

Während der Prüfung dürfen auf der feuerabgewandten Seite keine Flammen auftreten. Zusätzlich darf sich ein Wattebausch (100 x100 x 20 mm, 3 - 4 g) in einer Entfernung von 20 – 22 mm vom Probekörper an der ungünstigsten Stelle (Risse, Spalten, Anschlüsse) während

30 Sekunden nicht entzünden. Als Entzündung gilt ein Entflammen oder Glimmen, bloßes Schwarzfärben hingegen noch nicht.

Feststellung entzündbarer Gase

Es wird geprüft, ob sich austretende Gase an einer Flamme (60 ±10 mm) an einer Lunte entzünden.

Temperaturerhöhung auf der brandabgewandten Seite

Auf der brandabgewandten Seite werden an mindestens fünf Stellen die Temperaturen gemessen, um einen Mittelwert bestimmen zu können. In Bereichen von Wärmebrücken, Fugen, Anschlüssen usw. sind zusätzliche Messstellen anzuordnen. Die Temperaturerhöhung ist auf 140 K über der Anfangstemperatur im Mittel und 180 K über der Anfangstemperatur an einer Messstelle begrenzt.

Beobachtungen zur Rauchentwicklung

Beobachtungen zur Rauchentwicklung sind innerhalb der Dokumentationen während des Versuchsablaufes mit Zeitpunkt ihres Auftretens festzuhalten. Hierbei ist anzumerken und hervorzuheben, dass es sich um eine subjektive Betrachtung handelt.

Klassifizierung von raumabschließenden Bauteilen nach DIN 4102-2

Entsprechend DIN 4102-2 [18] wird für Bauteile zwischen den nachfolgenden Feuerwiderstandsklassen unterschieden.

Tabelle 5: Klassifizierung raumabschließender Bauteile entsprechend DIN 4102-2

Klasse	**Feuerwiderstandsdauer [min]**			
F	30	60	90	120

2.3.2.4 Fugenprüfung entsprechend DIN EN 1366-4

Die DIN EN 1366-4 [38] regelt in Verbindung mit der DIN EN 1363-1 [20] die Prüfung von Fugenabdichtungen in Bauteilfugen und legt ein Verfahren zur Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer von Fugenabdichtungen in Abhängigkeit vom beabsichtigten Verwendungszweck fest.

Bei der Prüfung wird die raumabschließende Wirkung des Probekörpers entsprechend DIN EN 1363-1 beurteilt, mit dem Unterschied, dass die Spaltlehren nicht genutzt werden. Bei der Beurteilung des Wärmedurchgangs durch die Prüfkonstruktion darf sich keine der Temperaturen, gemessen an der Oberfläche der feuerabgewandten Seite des Probekörpers, um mehr als 180 K über den Ausgangswert erhöhen.

2.4 Diskussion in der Fachkommission Bautechnik

Bearbeitung: Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

Aktuell erfolgt in der Fachkommission Bautechnik eine baustoffunabhängige Diskussion zur Rauchdichtheit von Bauteilen und Bauteilanschlüssen. Derzeit sieht es so aus, dass zukünftig der Nachweis der Rauchdichtigkeit einen höheren Stellenwert bei der Bauteilprüfung einnehmen wird als bislang. Um den Holzbau für diese Entwicklung auszurüsten, werden im Zuge des Projektes auch erweiterte Leistungseigenschaften gegenüber dem EI-Kriterium an die Rauchdichtigkeit untersucht. Dazu werden ebenfalls vergleichend bisher als unkritisch eingestufte Bauteilanschlüsse in Brandversuchen untersucht.

3 Anforderungen an den Schallschutz, Wärmeschutz, Feuchteschutz, Brandschutz und die konstruktive Umsetzung von Holzbauteilen für das Forschungsprojekt HolzbauRLBW

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

Vorbemerkung

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die bauordnungsrechtlich gültigen Regelungen und Maßgaben zum Zeitpunkt des Projektstarts unter Berücksichtigung der gewählten Vorgehensweise. Daher sind die jüngst vorgenommenen Novellierungen im Zusammenhang mit Mindestanforderungen z.B. an die wärmeschutz- und schallschutztechnischen Eigenschaften von Bauteilen nicht berücksichtigt. Angesichts der Vorgehensweise, die für die Bewertung der Bauteillösungen notwendigen Bestandteile der Bauteile auf ein essentielles Minimum zu reduzieren, waren diese im weiteren Verlauf der Bearbeitung nur nachrangig relevant. Allerdings sind die aktualisierten Regelungen hinsichtlich der in Kapitel 10 dargestellten Vorschläge zur Ausführung von Bauteilanschlüssen und Elementfugen unbedingt zu berücksichtigen und die Bauteile grundsätzlich um entsprechende Maßnahmen zu ergänzen.

3.1 Hinführung

Im Folgenden werden die technischen Randbedingungen und Anforderungen zusammengetragen, die als Grundlage für die Bauteilauswahl im Forschungsprojekt HolzbauRLBW dienen sollen.

3.2 Schallschutz

3.2.1 Anforderungen an flächige Bauteile

Der Schallschutz im mehrgeschossigen Wohnungsbau unterliegt einem rasanten Bewertungswandel. Von zeitgemäßen Neubauten wird ein Komfortschallschutz erwartet, der deutlich über den gesetzlichen Mindestanforderungen an den Schallschutz im Hochbau liegt, wie er in der DIN 4109 geregelt ist. Diese Erwartungshaltung bei Wohnungsmietern wird durch Urteile deutscher Gerichte gestützt. Danach kann die inzwischen über 20 Jahre alte DIN 4109 [39] von 1989 nicht mehr als allgemein anerkannte Regel der Technik angesehen werden. Die Neuausgabe der Norm aus dem Jahr 2018 [40] beschreibt den Stand der Technik, definiert jedoch nur die öffentlich-rechtlichen Mindestanforderungen im Sinne des Gesundheitsschutzes.

Die öffentlich-rechtlichen Anforderungen als Mindestniveau des Schallschutzes haben das Ziel, Menschen in Aufenthaltsräumen vor unzumutbaren Belästigungen durch Schallübertragungen zu schützen. Aufgrund der festgelegten Anforderungen kann nicht erwartet werden, dass Geräusche von außen oder aus benachbarten Räumen nicht mehr wahrgenommen werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit gegenseitiger Rücksichtnahme durch Vermeidung unnötigen Lärms. Die Anforderungen setzen voraus, dass in benachbarten Räumen keine ungewöhnlich starken Geräusche verursacht werden.

Bei der Auswahl von Bauteilen für den mehrgeschossigen Holzbau wird empfohlen, mindestens den Regelungen der DIN 4109-1:2018-01 [40] zu folgen. Soweit dies aus wirtschaftlichen Erwägungen möglich ist, sollte den Regeln des Beiblattes 2 [41] gefolgt werden. Eine vergleichende Übersicht der Schallschutzanforderungen der Normenreihe DIN 4109 ist in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6: Übersicht der Schallschutzanforderungen nach DIN 4109

Bauteil		DIN 4109-1989 [39]		Beiblatt 2 DIN 4109-1989 [41]		DIN 4109-1: 2018-01 [40]	
		erf R'_w	erf $L'_{n,w}$	erf R'_w	erf $L'_{n,w}$	erf R'_w	erf $L'_{n,w}$
		[dB]					
Decken	Wohnungstrenndecken (auch -treppen) und Decken zwischen fremden Arbeitsräumen bzw. vergleichbaren Nutzungseinheiten	≥ 54	≤ 53	≥ 55	≤ 46	≥ 54	≤ 50
	Decken unter Hausfluren	-	≤ 53	-	≤ 46	-	≤ 50
	Decken über Kellern, Hausfluren, Treppenräumen unter Aufenthaltsräumen	≥ 52	≤ 53	≥ 55	≤ 46	≥ 52	≤ 50
	Decken unter Terrassen und Loggien über Aufenthaltsräumen	-	≤ 53	-	≤ 46	-	≤ 50
	Decken unter allg. nutzbaren Dachräumen, z.B. Trockenböden, Abstellräumen und ihren Zugängen	≥ 53	≤ 53	≥ 55	≤ 46	≥ 53	≤ 52
	Decken unter Laubengängen	-	≤ 53	-	≤ 46	-	≤ 53
	Decken über Durchfahrten, Einfahrten von Sammelgaragen und ähnliches unter Aufenthaltsräumen	≥ 55	≤ 53	-	≤ 46	≥ 55	≤ 50
	Decken unter Bad und WC ohne / mit Bodenentwässerung	≥ 54	≤ 53	≥ 55	≤ 46	≥ 54	≤ 53
Treppen	Treppenläufe und -podeste	-	≤ 58		≤ 46		≤ 53
Wände	Wohnungstrennwände und Wände zwischen fremden Arbeitsräumen	≥ 53	-	≥ 55	-	≥ 53	-
	Treppenraumwände und Wände neben Hausfluren	≥ 52	-	≥ 55	-	≥ 53	-
	Wände neben Durchfahrten, Einfahrten von Sammelgaragen u. ä.	≥ 55	-	-	-	≥ 55	-
	Schachtwände von Aufzugsanalgen an Aufenthaltsräumen	-	-	-	-	≥ 57	-
Türen	Türen, die von Hausfluren oder Treppenräumen in Flure und Dielen von Wohnungen und Wohnheimen oder von Arbeitsräumen führen	≥ 27	-	≥ 37	-	≥ 27	-
	Türen, die von Hausfluren oder Treppenräumen unmittelbar in Aufenthaltsräume – außer Flure und Dielen – von Wohnungen führen	≥ 37	-	≥ 37	-	≥ 37	-

Hinweis: Das Beiblatt 2 zur DIN 4109 wurde zwischenzeitlich durch DIN 4109-5:2020-08 mit teilweise erhöhten Anforderungen ersetzt.

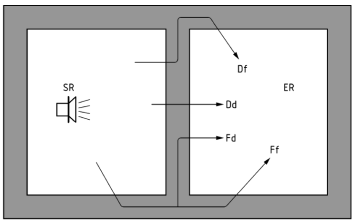
Gegenüber Außenlärm bestehen öffentlich-rechtliche Anforderungen gemäß DIN 4109-1:2018-01 Abschnitt 5 [40]. Der Schallschutzanforderungswert, den die Schalldämmung eines Außenbauteils mindestens erreichen muss, hängt vom konkreten maßgeblichen Außenlärmpegel des jeweiligen Fassadenbereichs, der Nutzungsart des dahinterliegenden Raumes und der Raumgeometrie ab, wie aus den Tabellen 8 und 9 der Norm hervorgeht.

Hinsichtlich des Trittschallschutzes speziell im Holzbau ist anzumerken, dass auch bei Einhaltung der öffentlich-rechtlichen Anforderungswerte je nach Verhalten der Decken im tieffrequenten Bereich unter 100 Hz Trittschallgeräusche durch Bewohner häufig als besonders belästigend empfunden werden. Dementsprechend sollten Deckenaufbauten mit gutem Verhalten bezüglich dieses Frequenzspektrums bevorzugt verwendet werden.

Wird von den jeweiligen Projektbeteiligten ein erhöhter Schallschutz über das gesetzliche Mindestniveau hinaus gewünscht, kann ein erhöhter Schallschutz vertraglich vereinbart werden. Vereinbarungen zu erhöhten Schallschutzanforderungen sind im Wohnungsbau heute weit verbreitet. Empfehlungen bzw. Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz sind z.B. in DIN 4109 Beiblatt 2 [41] und speziell für den Wohnungsbau in der VDI Richtlinie VDI 4100 [42] enthalten.

3.2.2 Rechnerischer Nachweis unter Berücksichtigung der Flankenübertragung

Der rechnerische Nachweis des Luft- und Trittschallschutzes kann nach DIN 4109-2:2018 [43] erfolgen. Neben den Eigenschaften der flächigen Bauteile sind dabei die Einflüsse der Flankenübertragung zu berücksichtigen. DIN 4109 sieht hierbei vor, für jedes Raumpaar die einzelnen Schallübertragungswege individuell zu betrachten (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Bei üblichen Einbausituationen (ein Trennbauteil, vier flankierende Bauteile) ergeben sich so insgesamt 13 Übertragungswege. Daten zu den Schalldämmmaßen flächiger Bauteile und typischer Bauteilfugen (Flankenübertragung D_f) sind für den Holzbau z. B. in DIN EN 4109-33:2016 [44] angegeben.



Legende

SR	Senderaum
ER	Empfangsraum
Dd, Df, Ff, Fd	Die Buchstabenkombinationen Dd, Df, Ff und Fd kennzeichnen die verschiedenen Schallübertragungswege, wobei der Buchstabe f für ein flankierendes Bauteil, der Buchstabe d für das trennende Bauteil steht. Großbuchstaben kennzeichnen das angeregte Bauteil im Senderaum, Kleinbuchstaben das abstrahlende Bauteil im Empfangsraum. Nachfolgend werden verallgemeinernd diese Übertragungswege mit deren beteiligten Bauteilen durch die Buchstabenkombination ij beschrieben.

Abbildung 1: Schallübertragungswege nach DIN 4109-2:2018 [43]

Einen *vereinfachten Nachweis* wie in DIN 4109:1989 Beiblatt 1 [45], mit einem „pauschalen Vorhaltemaß“ zur Berücksichtigung der Flankenübertragung für das Bau-Schalldämmmaß

gibt es nach DIN 4109-2: 2018-01 [43] in Verbindung mit DIN 4109-33:2016-07 [44] nicht mehr. Hier war es bisher üblich, ungeachtet der konkreten Einbausituation eine Abminderung des Bauteil-Schalldämmmaßes R_w um 5 *dB* vorzunehmen, um das gewünschte Bau-Schalldämmmaß R'_w zu erhalten. Analog konnte der bewertete Norm-Trittschallpegel am Bau $L'_{n,w}$ mit einem Korrektursummand K vereinfacht global unter Kenntnis des Trittschallpegels der Decke ermittelt werden. Alternativ steht für einige Bauteilfügungen im Holzbau auch nach DIN 4109-2: 2018-01 [40] ein Verfahren zur Abschätzung des Einflusses der flankierenden Bauteile für den Norm-Trittschallpegel am Bau zur Verfügung. Hierbei wird jedoch die Kenntnis des Aufbaus der zu fügenden Wand- und Deckenbauteile vorausgesetzt.

3.2.3 Empfehlung zur Anwendung im Forschungsvorhaben

Es wird empfohlen, zur zweckmäßigen Abschätzung des Bau-Schalldämmmaßes R'_w und des Norm-Trittschallpegels am Bau $L'_{n,w}$ auf die vereinfachenden Ansätze der DIN 4109:1989 [39] bzw. entsprechender Literaturangaben (vgl. Informationsdienst Holz [46–48]) zurückzugreifen. Insbesondere die Publikationen aus der Schriftenreihe des Informationsdienst Holz bieten umfangreiche und gut aufbereitete Informationen zu dieser Thematik, die auch nach der Einführung der neuen DIN 4109:2018 [40, 43] noch ihre Gültigkeit haben.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit werden im Hinblick auf die Abschätzung des Bau-Schalldämmmaßes bzw. des Norm-Trittschallpegels vereinfachend folgte Ansätze gewählt:

$$\boldsymbol{R'_w = R_w - 7\ dB \geq R'_{w,erf}} \qquad \text{Gl. 1}$$

mit	R'_w	[db]	Bewertetes Bau-Schalldämm-Maß
	R_w	[dB]	Bewertetes Schalldämm-Maß
	$R'_{w,erf}$	[dB]	Erforderliches bewertetes Bau-Schalldämm-Maß

und

$$\boldsymbol{L'_{n,w} = L_{n,w} + K \leq L'_{n,w,erf}} \qquad \text{Gl. 2}$$

mit	$L'_{n,w}$	[dB]	Bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau
	$L_{n,w}$	[dB]	Bewerteter Norm-Trittschallpegel
	K	[dB]	Korrekturwert Flankenübertragung Trittschall
	$L'_{n,w,erf}$	[dB]	Erforderlicher bewerteter Norm-Trittschallpegel im Bau

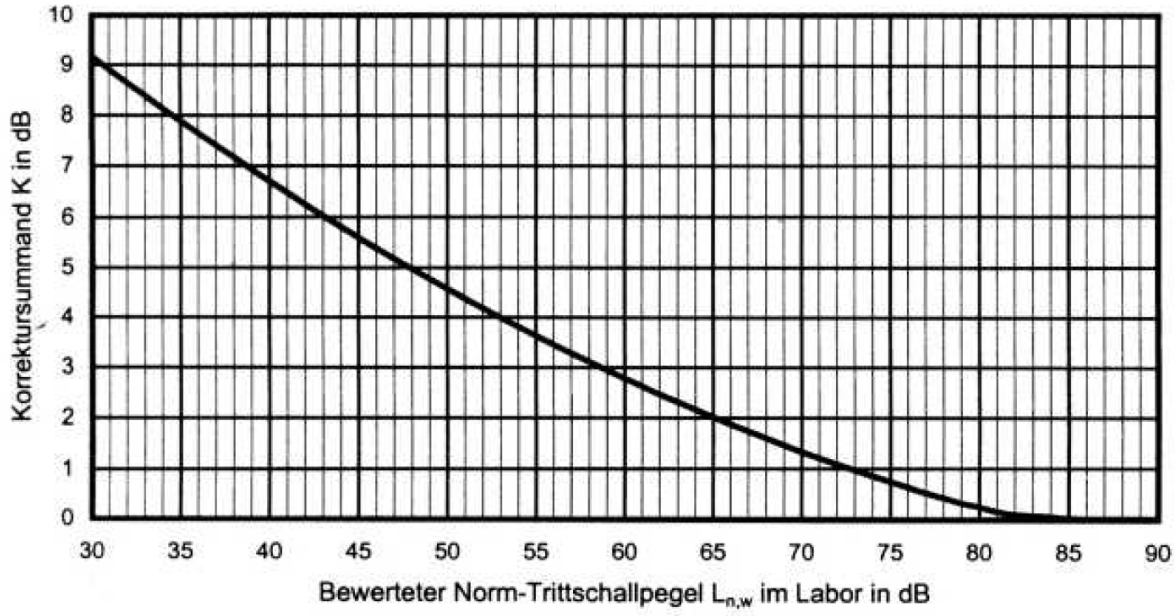


Abbildung 2: Korrektursummand K zur Berücksichtigung der Flankenübertragung [48]

Art des Nachweises

$$\boldsymbol{erf\ R'_w\ <\ vorh\ R'_w} \qquad \text{Gl. 3}$$

$$erf\ L'_w\ >\ vorh\ L'_w \qquad \text{Gl. 4}$$

3.3 Wärmeschutz

3.3.1 Allgemeines

Die Holzbauweise ermöglicht die Realisierung jedes gewünschten Qualitätsniveaus hinsichtlich der energetischen Eigenschaften und des Primärenergieverbrauchs. In Abhängigkeit des gewünschten energetischen Standards, der geplanten Gebäudetechnik, der Gebäudegeometrie und -gestaltung sowie der Gebäudenutzung können die Dämmschichtdicken und damit definierten Wärmedurchgangswiderstände gewählt werden.

Grundsätzlich ist auf ein möglichst wärmebrückenoptimiertes, bzw. wärmebrückenfreies Konstruieren zu achten, da diese vor allem bei sehr gut gedämmten Gebäudehüllen einen großen Anteil am Transmissionswärmeverlust bilden und sich die Summe der Wärmebrückenverluste ansonsten erheblich negativ auf das energetische Verhalten des Gesamtgebäudes auswirken kann.

Maßgebend für die energetische Dimensionierung eines Gebäudes war in Deutschland bis Ende Oktober 2020 die Energieeinsparverordnung in der Fassung vom 24.04.2007, welche zuletzt mit Änderungsverordnung vom 24.10.2015 geändert wurde (EnEV 2016) [6]. Seit 01.11.2020 sind die bisher parallel gültigen Gesetze und Verordnungen *Energieeinspa-*

rungsgesetz (EnEG) [49], *Energieeinsparverordnung* (EnEV) und *Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz* (EEWärmeG) [50] zu einem einheitlichen Gesetz *GebäudeEnergieGesetz* (GEG) zusammengefasst. Ziel ist hierbei die Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie (BGBl I 2008, 1658 vom 19.05.2010) auf nationaler Ebene, welche ab dem Jahr 2020 für alle neuen Gebäude Niedrigstenergiestandard fordert.

3.3.2 Flächige Bauteile

Im Hinblick auf den Wärmeschutz kann für einen Bauteilkatalog z. B. das Ziel formuliert werden, dass die Außenbauteile dem Passivhaus-Standard entsprechen sollen. Zum Passivhaus führen beim Entwurf eines Gebäudes im Wesentlichen vier Grundprinzipien: exzellente Wärmedämmung der opaken Bauteile, hochwertige Fenster, optimale solare Gewinne durch günstige Orientierung sowie eine hocheffiziente Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Beim Nachweis des Energiebedarfs gemäß GEG 2020 [6] bzw. DIN V 18599 [51–65] führt dann die Kombination dieser Einzelprinzipien zum Zielwert eines rechnerischen Heizenergiebedarfs.

Ein wichtiges Element für das Erreichen des Passivhaus-Standards ist also die exzellente Wärmedämmung der opaken Bauteile. Dabei existieren keine festen Vorgaben für die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte). Jedoch beträgt der übliche Ziel-U-Wert für eine Passivhaus-Außenwand $U \leq 0{,}15$ W/(m²K).

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz der Außenwände gemäß DIN 4108-2 [66] sind mit der Orientierung am Passivhaus-Standard naturgemäß eingehalten. Dies gilt ebenso für die Mindestanforderungen an den Wärmeschutz im Bereich der Anschlussdetails, die wärmebrückenfrei oder wärmebrückenoptimiert gestaltet wurden. Die Schimmelpilzfreiheit an der Innenoberfläche, in DIN 4108-2 mit dem Kriterium $\theta_{si} \geq 12{,}6$ °C definiert, wird von allen Anschlussdetails problemlos eingehalten.

Eine weitere wichtige Anforderung zum Erreichen des Passivhaus-Standards ist die luftdichte Gebäudehülle. Es sollte immer ein Blower-Door-Test gemäß DIN EN ISO 9972: 2018-12 Anhang NA [67] (Differenzdruckverfahren) ausgeführt werden, möglichst mit Leckageortung, um eventuelle Undichtigkeiten zu lokalisieren und daraus entstehende Feuchteschäden zu vermeiden. Der gemessene Luftwechsel sollte in einem Passivhaus den Wert $n_{50} = 0{,}6$/h nicht überschreiten.

Anlage 1 zu GEG 2020 [6] definiert Eigenschaften eines Referenzgebäudes, die für Neubauten seit dem 01.11.2020 nicht überschritten werden dürfen (siehe Tabelle 7). Gleichzeitig müssen die Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts eingehalten werden (siehe Tabelle 8).

Für die Erstellung von Bauteil- und Konstruktionskatalogen empfiehlt es sich daher, die Bauteile mindestens nach den Anforderungen an das Referenzgebäude aus Anlage 1 zum GEG 2020 [6] zu dimensionieren.

Für Außenwände wird in Anlehnung an eine Evaluierung des aktuellen Standards ausgeführter Projekte im mehrgeschossigen Holzbau in diesem Projekt nachfolgend ein maximal zulässiger U-Wert von 0,2 W/m^{2}K vorgeschlagen.

Tabelle 7: Energetische Anforderungen des Referenzgebäudes nach Anlage 1 zu EnEV 2016 [6]

Zeile	Bauteile/Systeme	Referenzausführung / Wert (Maßeinheit)	
		Eigenschaft (zu Zeilen 1.1 bis 3)	
1.0	Der nach einem der in Nummer 2.1 angegebenen Verfahren berechnete Jahresprimärenergiebedarf des Referenzgebäudes nach den Zeilen 1.1 bis 8 ist für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 mit dem Faktor 0,75 zu multiplizieren. § 28 bleibt unberührt.		
1.1	Außenwand (einschließlich Einbauten, wie Rollladenkästen), Geschossdecke gegen Außenluft	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 0,28 W/(m²K)
1.2	Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 0,35 W/(m²K)
1.3	Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 0,20 W/(m²K)
1.4	Fenster, Fenstertüren	Wärmedurchgangskoeffizient	U_w = 1,30 W/(m²K)
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_\perp$ = 0,60
1.5	Dachflächenfenster	Wärmedurchgangskoeffizient	U_w = 1,40 W/(m²K)
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_\perp$ = 0,60
1.6	Lichtkuppeln	Wärmedurchgangskoeffizient	U_w = 2,70 W/(m²K)
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_\perp$ = 0,64
1.7	Außentüren	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 1,80 W/(m²K)
2	Bauteile nach den Zeilen 1.1 bis 1.7	Wärmebrückenzuschlag	ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²K)
3	Luftdichtheit der Gebäudehülle	Bemessungswert n_{50}	bei Berechnung nach: - DIN V 4108-6: 2003-06: mit Dichtheitsprüfung - DIN V 18599-2: 2011-12: nach Kategorie I

Tabelle 8: Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts [6]

Zeile	Gebäudetyp		Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlustes
1	freistehendes Wohngebäude	mit $A_N \leq 350$ m²	$H'_T = 0{,}40$ W/(m²K)
		mit $A_N > 350$ m²	$H'_T = 0{,}50$ W/(m²K)
2	einseitig angebautes Wohngebäude		$H'_T = 0{,}45$ W/(m²K)
3	alle anderen Wohngebäude		$H'_T = 0{,}65$ W/(m²K)
4	Erweiterungen und Ausbauten von Wohngebäuden gemäß § 9 Absatz 5		$H'_T = 0{,}65$ W/(m²K)

3.3.3 Wärmebrücken

Als Wärmebrücken werden linien- oder punktförmige Anschlussdetails bezeichnet, an denen zusätzliche Wärmeverluste gegenüber den Regelbauteilen stattfinden oder stattfinden können. Sie sind damit Orte erhöhter Wärmestromdichten. Dabei ist eine Wärmebrücke nach DIN EN ISO 10211 [68] als Teil der Gebäudehülle definiert, wo der ansonsten gleichförmige Wärmedurchlasswiderstand durch

- eine vollständige oder teilweise Durchdringung der Gebäudehülle durch Baustoffe mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit und/oder
- eine Änderung der Dicke der Bauteile und/oder
- eine unterschiedlich große Differenz zwischen Innen- und Außenfläche, wie sie bei Wand-, Fußböden- und Decken-Anschlüssen auftritt und somit deutlich verändert wird.

Linienförmige Wärmebrücken treten am Stoß von zwei oder mehr Bauteilen auf, z.B. bei Anschlüssen von Außenwänden an Dach und Boden oder bei Anschlüssen von Fenstern. Punktförmige Wärmebrücken treten meist an Durchdringungen der wärmedämmenden Ebene auf, z.B. an Zugankern bei Wärmedämmverbundsystemen.

Wärmebrücken werden beim Nachweis nach § 24 GEG durch den Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} [W/(m²·K)] berücksichtigt; für seine Ermittlung gibt es prinzipiell drei Möglichkeiten:

a) Berücksichtigung durch pauschalen Zuschlag auf den U-Wert:

$\Delta U_{WB} = 0{,}10$ W/(m²·K)

Dieser Fall wird gewählt, wenn keine besonderen Maßnahmen zur Wärmebrückenoptimierung getroffen wurden. Aufgrund des relativ hohen Werts wird der pauschale Zuschlag quasi nicht mehr verwendet. Im Holzbau, insbesondere beim Passivhaus-Standard, kann er in der Praxis ausgeschlossen werden.

b) Nachweis der Gleichwertigkeit der Wärmebrücken mit den Details aus DIN 4108 Beiblatt 2 [69, 70]:

ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²·K)

Wenn die Anschlussdetails den Details aus DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen, darf der pauschale Wärmebrückenzuschlag halbiert werden. Hier ist aber zu beachten, dass alle Details eines Gebäudes (Gebäudekanten, Fenster- und Türenanschlüsse, Decken und Wandanschlüsse, Deckenauflager) den Ausführungen in DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen müssen. Dabei dürfen, was i.d.R. der Fall ist, gemäß EnEV §7 auch solche Konstruktionen in die Gleichwertigkeit einbezogen werden, die einen niedrigeren Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) aufweisen.

c) Berücksichtigung durch detaillierte Berechnung:

Im Fall von wärmebrückenoptimierten Anschlussdetails ist eine detaillierte Berechnung zu empfehlen. Sie führt im Holzbau i.d.R. zu einem Wärmebrücken-Zuschlag ΔU_{WB} zwischen 0 und 0,03 W/(m²·K). Die Berechnung muss entsprechend den Festlegungen und Randbedingungen aus DIN EN ISO 10211 [68] durchgeführt werden. Der Wärmebrückenzuschlag ergibt sich bei der detaillierten Berechnung wie folgt:

$$\Delta \boldsymbol{U_{WB}} = \frac{\sum \boldsymbol{\chi_j} + \sum \boldsymbol{\psi_j} \cdot \boldsymbol{l_j}}{\boldsymbol{A_{ges}}} \qquad \text{Gl. 5}$$

mit	χ_i	[W/K]	punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient
	ψ_j	[W/(m·K)]	linearer Wärmedurchgangskoeffizient
	l_j	[m]	Anschlusslänge von ψ_j
	A_{ges}	[m²]	Gebäudehüllfläche

Da die punktbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten aufgrund des i.d.R. verhältnismäßig geringen Einflusses im EnEV-Nachweis nicht berücksichtigt werden müssen, reduziert sich die Berechnung zu:

$$\Delta \boldsymbol{U_{WB}} = \frac{\sum \boldsymbol{\psi_j} \cdot \boldsymbol{l_j}}{\boldsymbol{A_{ges}}} \qquad \text{Gl. 6}$$

Es kann daher zur genaueren Ermittlung von Außenwandfugen zweckmäßig sein, detaillierte Berechnungen der linearen Wärmedurchgangskoeffizienten durchzuführen, mit deren Hilfe in einem konkreten Fall der Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} berechnet werden kann.

Der lineare Wärmedurchgangskoeffizient (ψ–Wert) ist sowohl von der Qualität der Anschlusskonstruktion als auch von den U-Werten der angrenzenden Regelbauteile und von dem gewählten Maßbezug abhängig. Wenn Wärmebrücken bspw. durch vergrößerte Abmessungen (wie bei Außenecken) bereits kompensiert sind, führt dies zu negativen ψ–Werten bei der Wärmebrückenberechnung.

Die Berechnung der linearen Wärmedurchgangskoeffizienten ψ muss außenmaßbezogen durchgeführt werden, wenn - wie im Regelfall - auch der wärmeschutztechnische Nachweis nach EnEV außenmaßbezogen ist.

3.4 Holzschutz / Feuchteschutz

Holzbauteile sind so zu konstruieren und einzubauen, dass die Anforderungen an den Holz- und Feuchteschutz aus DIN 4108-3 [71, 72] in Verbindung mit DIN 68800-2 [73] eingehalten werden. Zu unterscheiden ist hierbei zwischen Feuchtebeanspruchung durch Kontakt mit der Außenluft und Niederschlag, und der hygrothermischen Eignung des Bauteils in Bezug auf Tauwasserausfall im Bauteilinneren.

Ziel der Holzschutzmaßnahmen ist eine Einordnung der Holzbauteile in Gebrauchsklasse (GK) 0, um die Dauerhaftigkeit der Holzbauteile für die Lebensdauer des Bauwerks sicherzustellen und auf chemischen Holzschutz verzichten zu können. Die untersuchten Außenbauteile für dieses Forschungsvorhaben werden dahingehend feuchtetechnisch dimensioniert.

Gemäß DIN 68800-2 [73] darf die Holzfeuchte des Holzes im Fall von GK 0 maximal 20 M% (bzw. max. 18 M% bei Holzwerkstoffplatten) betragen.

Die Außenwände müssen entweder den Konstruktionsbeispielen aus DIN 68800-2 [73], Abschnitt 7 (Konstruktionsprinzipien für Außenbauteile, bei denen die Bedingungen der Gebrauchsklasse GK 0 erfüllt sind) entsprechen oder es muss ein hygrothermischer Nachweis gemäß DIN 4108-3 (Glaser-Verfahren) [72] oder eine hygrothermische Simulation gemäß DIN EN 15026 [74] durchgeführt werden. Bei beiden Nachweisverfahren sind die Bestimmungen von DIN 68800-2 [73] einzuhalten; z.B. ist eine rechnerische Trocknungsreserve nachzuweisen, womit Feuchtebelastungen durch Leckagen (konvektiver Feuchteeintritt) berücksichtigt werden.

Übliche Bauteilaufbauten mit nachgewiesenen hygrothermischen Eigenschaften und Eignung für die Einstufung in GK 0 sind z. B. im Regeldetailkatalog für den mehrgeschossigen Holzbau in Gebäudeklasse 4 [75] und dataholz [76] enthalten. Es wird empfohlen, im Rahmen dieses Vorhabens auf solche bereits nachgewiesenen und praktisch bewährten Bauteilaufbauten zurückzugreifen.

3.5 Brandschutz

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter, Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

Tabelle 9: Anforderungen an tragende und raumabschließende Bauteile nach LBO BW [1] i.V.m. LBOAVO [77]

	GK 4
Tragende Bauteile	R 60 [1) 2)]
Trennwände	EI 60 [1) 2)]
Nichttragende Außenwände	E 30 (i→o) EI 30-ef (i←o)
Brandwände	EI 60-M [1) 2)]
Decken	REI 60 [1) 2)]
Tragende Teile notw. Treppen	[nb]
Wände notw. Treppenräume	EI 60-M [1) 2)]
Wände notw. Flure	EI 30
Aufzugschachtwände	EI 60 [1) 2)]
	GK 5
Tragende Bauteile	R 90 [2)]
Trennwände	EI 90 [2)]
Nichttragende Außenwände	E 30 (i→o) EI 30-ef (i←o)
Brandwände	REI 90-M [nb]
Decken	REI 90 [2)]
Tragende Teile notw. Treppen	R 30 [nb]
Wände notw. Treppenräume	EI 90-M [nb]
Wände notw. Flure	EI 30
Aufzugschachtwände	EI 90 [nb]

1	Weiterhin mit einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung nach MHFHHolzR möglich: Die Brandschutzbekleidung muss eine Entzündung der tragenden einschließlich der aussteifenden Bauteile aus Holz oder Holzwerkstoffen während eines Zeitraumes von mind. 60 min verhindern und als $K_2$60 nach DIN EN 13501-2 klassifiziert sein.
2	Abweichend sind tragende oder aussteifende sowie raumabschließende Bauteile, die hochfeuerhemmend oder feuerbeständig sein müssen, aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn die hinsichtlich der Standsicherheit und des Raumabschlusses geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit nachgewiesen und die Bauteile und ihre Anschlüsse ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sind.
	in Holzbauweise möglich
	nicht in Holzbauweise möglich

3.6 Konstruktion

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter, Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

Im Zuge der Gewährleistung der Ausführungsqualität und Standards im mehrgeschossigem Holzbau wurden Qualitätssicherungsmaßnahmen etabliert (siehe Kapitel 8 Abgeleitete Empfehlungen für Anschlüsse von Holzbauteilen). Wesentlicher Bestandteil dieser Maßnahmen ist die weitgehende Elementierung und Vorfertigung der Bauteile.

Weiterhin ist das Konzept der haustechnischen Installation für die Bauteilauswahl von Bedeutung, da Durchdringungen der einzelnen polyfunktionalen Bauteilschichten zu keiner Einschränkung der Leistungseigenschaften führen dürfen. Alternativ sind hier geeignete Vorwandinstallationen zu wählen.

Empfehlungen zur Ausführung von Durchdringungen haustechnischer Installationen sowie weiterführende Literaturangaben werden im folgenden Kapitel erläutert.

4 Brandschutz haustechnischer Installationen im Holzbau

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

4.1 Einführung und Abgrenzung

Die Behinderung der Ausbreitung von Feuer und Rauch über raumabschließende Bauteile hinweg stellt entsprechend der Musterbauordnung sowie den einzelnen Landesbauordnungen eines der vorrangigen Schutzziele dar. Dementsprechend bildet der Raumabschluss von Wand und Deckenelementen neben der Tragfähigkeit eines der wichtigsten Beurteilungskriterien hinsichtlich des Feuerwiderstandes von Bauteilen. Die Beurteilung des Feuerwiderstandes solcher Bauteile basiert normalerweise auf standardisierten Brandprüfungen und Klassifikationen nach DIN EN 13501-2 [7] oder DIN 4102-2 wie auch technischen Regeln zur Bemessung, wie bspw. DIN EN 1995-1-2 [17] oder DIN 4102-4. Entsprechende Ansätze berücksichtigen im Regelfall jedoch den Einfluss von Element- und Bauteilfugen, Einbauteilen sowie Durchdringungen von haustechnischen Installationen nicht, beziehungsweise nur zu einem geringen Grad.

Elementfugen, Anschlüsse und haustechnische Installationen sind baupraktisch unvermeidlich. Die brandschutztechnische Ausführung der Bauteile muss dennoch so erfolgen, dass der Feuerwiderstand trotz Element- und Bauteilfugen sowie haustechnischer Installationen erhalten bleibt.

Für alle Bauarten und dementsprechend auch für Holzkonstruktionen können nachfolgende Brandausbreitungswege identifiziert werden (siehe Abbildung 3). Diese müssen bei der Planung frühzeitig berücksichtigt werden, um einen umfassenden Brandschutz gewährleisten zu können:

a) Elementfugen: Fugen resultierend aus Verbindungen zu benachbarten Elementen (z.B. Wandelement-Wandelement)

b) Bauteilfugen: Fugen resultierend aus Verbindungen zu anderen Bauteilen (z.B. Decke-Wand)

c) Installationsfugen: Fugen und Öffnungen, die sich aus Durchdringungen von haustechnischen Installationen ergeben.

Die Brennbarkeit von biogenen Baumaterialien kann in diesen Bereichen die Brandausbreitung weiter begünstigen. Insbesondere wenn Heißgase in die Konstruktion über Fugen, Anschlüsse und Installationen frühzeitig eindringen können oder diese das Bauteil vollständig durchströmen. Entsprechendes ist über konstruktive Maßnahmen auszuschließen.

In der nachfolgenden Betrachtung wird spezifisch auf Installationsfugen entstehend aus Durchdringungen und Versorgungseinrichtungen in Holzbaukonstruktionen eingegangen. Hierbei soll auf den allgemeinen Stand der Technik sowie der Forschung, hinsichtlich möglicher Ausführungsvarianten in Holzbaukonstruktionen eingegangen werden.

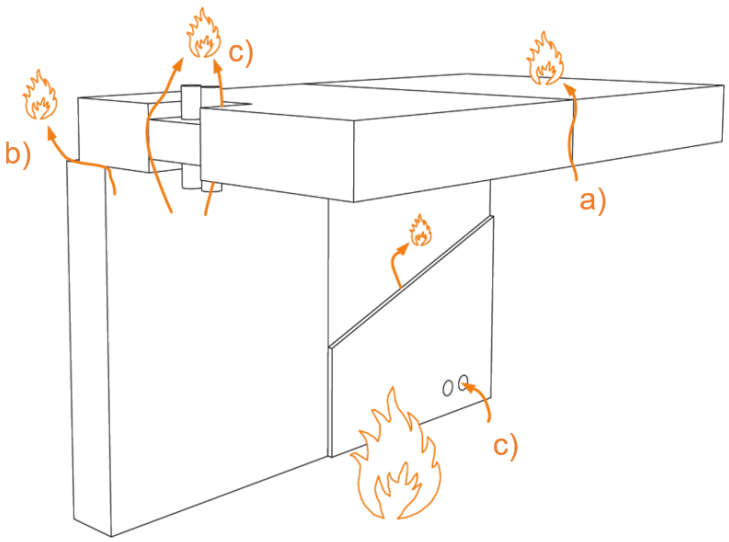


Abbildung 3: Schematische Darstellung möglicher Fugentypen bei Bauteilen

4.2 Schutzzielbetrachtung gemäß Landesbauordnung (LBO BW) und Ausführungsverordnung Baden-Württemberg (LBOAVO)

Die Anforderungen der Bauordnung für den Raumabschluss müssen entsprechend auf Durchführungen und Installationsführungen übertragen werden. Der Einbau dieser darf die Leistungsfähigkeit der raumabschließenden Bauteile nicht schwächen. Entsprechendes verdeutlichen auch §§ 30 und 31 LBO BW. Dementsprechend müssen

> *„Lüftungsanlagen, raumlufttechnische Anlagen und Warmluftheizungen betriebssicher und brandsicher sein“*

und dürfen

> *„den ordnungsgemäßen Betrieb von Feuerungsanlagen nicht beeinträchtigen. […] Leitungen, Installationsschächte und -kanäle müssen brandsicher sein. Sie sind so zu errichten und anzuordnen, dass die Brandweiterleitung ausreichend lange verhindert wird.“* [1]

4.3 Haustechnische Anlagen - Brandschutzlösungen

4.3.1 Allgemeines

Der Begriff „Haustechnische Anlagen“ umfasst alle zur Erschließung und Versorgung eines Gebäudes notwendigen Leitungen und Leitungs- und Lüftungsanlagen.

Entsprechend Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie (M-LAR) sind Leitungsanlagen

> *„[…] Anlagen aus Leitungen, insbesondere aus elektrischen Leitungen oder Rohrleitungen, sowie aus den zugehörigen Armaturen, Hausanschlusseinrichtungen, Messeinrichtungen, Steuer-, Regel-, und Sicherheitseinrichtungen, Netzgeräten, Verteilern und Dämmstoffen für die Leitungen. Zu den Leitungen gehören deren Befestigungen und Beschichtungen. Lichtwellenleiter-Kabel und elektrische Kabel gelten als elektrische Leitungen.“* [78]

Hiermit werden im Wesentlichen alle Leitungen für Elektro (Kabel), Sanitär sowie Heizung zusammengefasst. Auch Einbauteile, wie Steckdosen oder Lichtschalter, zählen zu den elektrischen Anlagen.

Entsprechend Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie (M-LüAR) bestehen Lüftungsanlagen aus

> *„Lüftungsleitungen und allen zu ihrer Funktion erforderlichen Bauteilen und Einrichtungen. Lüftungsleitungen bestehen aus allen von Luft durchströmten Bauteilen, wie Lüftungsrohren, -formstücken, -schächten, und -kanälen, Schalldämpfern, Ventilatoren, Luftaufbereitungseinrichtungen, Brandschutzklappen und anderen Absperrvorrichtun-*

gen gegen die Übertragung von Feuer und Rauch und Absperrvorrichtungen gegen Rauchübertragung (Rauchschutzklappen) sowie aus ihren Verbindungen, Befestigungen, Dämmschichten, brandschutztechnischen Ummantelungen, Dampfsperren, Folien Beschichtungen und Bekleidungen.“ [79]

Lüftungsanlagen sind auch Klimaanalagen, raumlufttechnische Anlagen und Warmluftheizungen.

4.3.2 Systemübersicht und Einteilung

Erhebungen zum Qualitätsniveau einzelner brandschutztechnischer Maßnahmen zeigen, dass die Mängelhäufigkeit bei Abschottungen für haustechnische Installationen infolge von Planungs- und Ausführungsfehlern sehr hoch ist [80] und damit im Hinblick auf die bauordnungsrechtlich geforderte Begrenzung zur Ausbreitung von Feuer und Rauch deutliche Defizite vorliegen können. Neben der Anwendung klassifizierter Systemlösungen ist die Integration von haustechnischen Einbauteilen und Durchdringungen, wie Elektro-, Gas- und Wasser-Installationen sowie Kommunikationsmedien und -anlagen bereits in der Planungsphase essentiell notwendig. Hierdurch kann deren Anzahl auf ein Minimum reduziert werden und nachträgliche Umplanungen und bauvorhabenspezifische Einzelnachweise können entfallen.

Innerhalb der brandschutztechnischen Planung sollte das Prinzip der - zentralen Erschließung mit anschließender Feinverteilung – grundsätzlich im Vordergrund stehen, um die Zuordnung der Haustechnikinstallation auf festgelegte Brandabschnitte zu realisieren. Ermöglicht werden kann dies durch:

a) *Installationsschächte, Kanäle*: Brandabschnittsbildende Bauteile (z.B. I-Kanäle), die einen Brandeintrag in Nutzungseinheiten außerhalb des Schachtes / Kanals verhindern. Im Ein- und Austrittsbereich von Installationsdurchführungen sind zugelassene Abschottungssysteme vorzusehen (siehe Abbildung 4).

b) *Einzelabschottungen*: Verhinderung der Brandausbreitung durch raumabschließende Wand- und Deckenelemente, welche durch Installationsleitungen mittels zugelassener Abschottungssysteme durchdrungen werden (siehe Abbildung 4).

c) *Ummantelungen*: Behinderung der Brandentstehung und Brandausbreitung an jeder einzelnen Installationsleitung über deren gesamte Länge (siehe Abbildung 4).

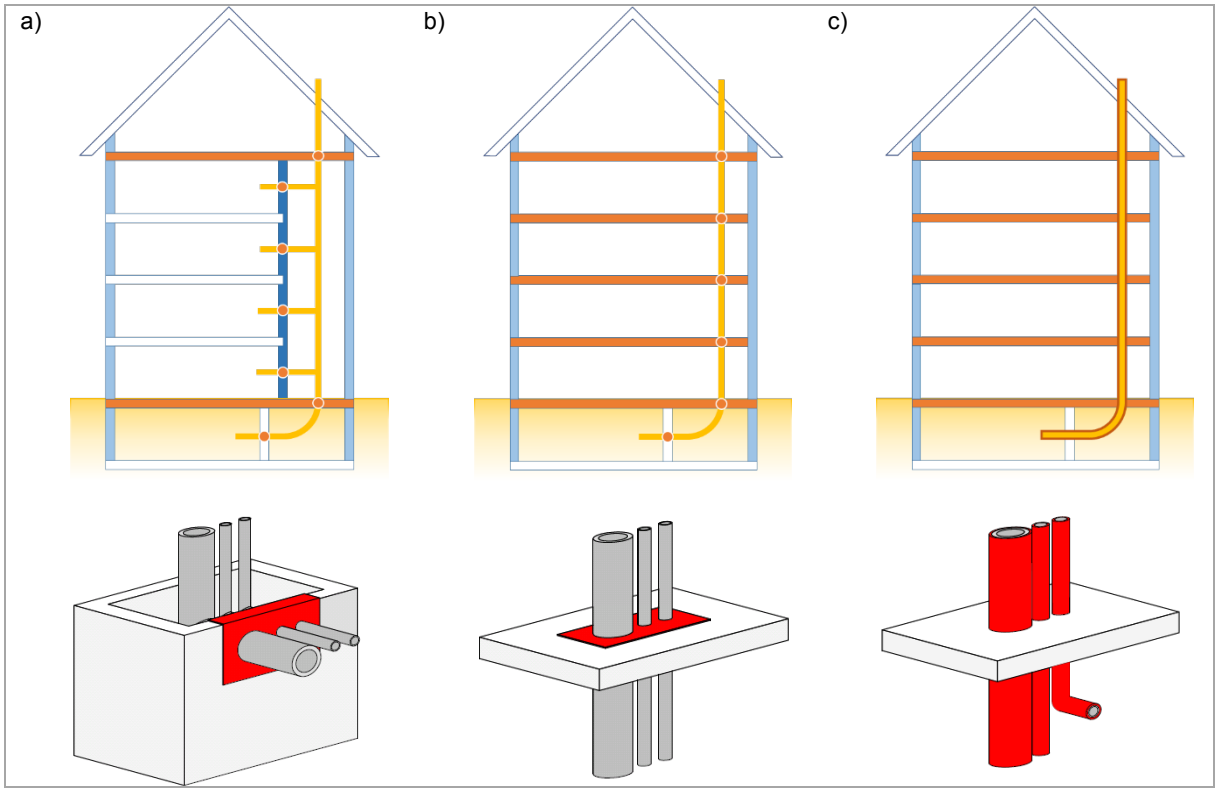


Abbildung 4: Brandschutztechnische Erschließungssystematik für haustechnische Installationen

Unter Berücksichtigung weiterführender Planungsprinzipien und Anforderungen, wie z.B. Schall-, Wärme- und Feuchteschutz treten im Holzbau in der Regeln Lösungen mit durchgehenden Installationsschächten und Einzelabschottungen in den raumabschließenden Bauteilen auf (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6). Im Hinblick auf den Geschosswohnungsbau muss zusätzlich das material- und bauweisespezifische Setzungsverhalten berücksichtigt werden, um die brandschutztechnische Dauerhaftigkeit der Bauteilfugen sicherzustellen.

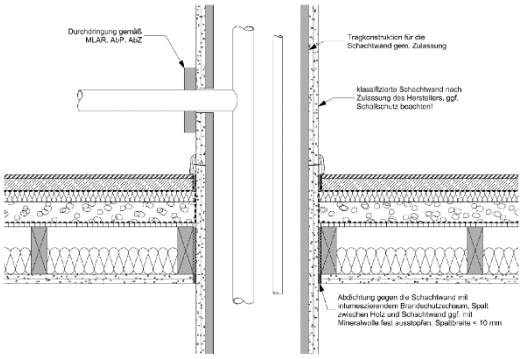


Abbildung 5: Ausführung mit klassifiziertem Installationsschacht [75]

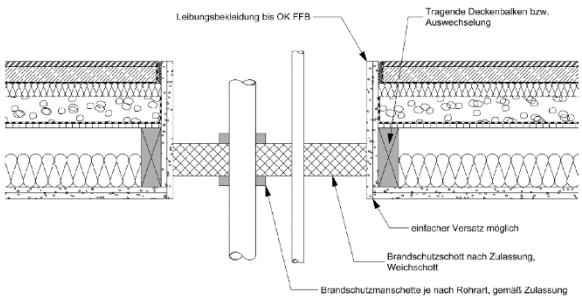


Abbildung 6: Ausführung mit Abschottung im raumabschließenden Bauteil [75]

Ist der Einbau haustechnischer Installationen und die Durchdringung der raumabschließenden Bauteile unumgänglich, werden klassifizierte Abschottungsmaßnahmen notwendig.

Brandversuche, technische Regeln und Verwendbarkeitsnachweise zeigen hierbei, dass jedes Abschottungssystem spezifische Charakteristika aufweist bzw. diesen Leistungseigenschaften und Anwendungsbereichen zugeordnet sind. Demzufolge liegt auch kein universell einsetzbares Abschottungssystem für haustechnische Installationen vor, das für alle Arten von Durchdringungen, Medien und Bauteile ein gleiches Schutzniveau aufweist. Eine systematische Zusammenstellung von Arten haustechnischer Installationen kann Abbildung 7 entnommen werden.

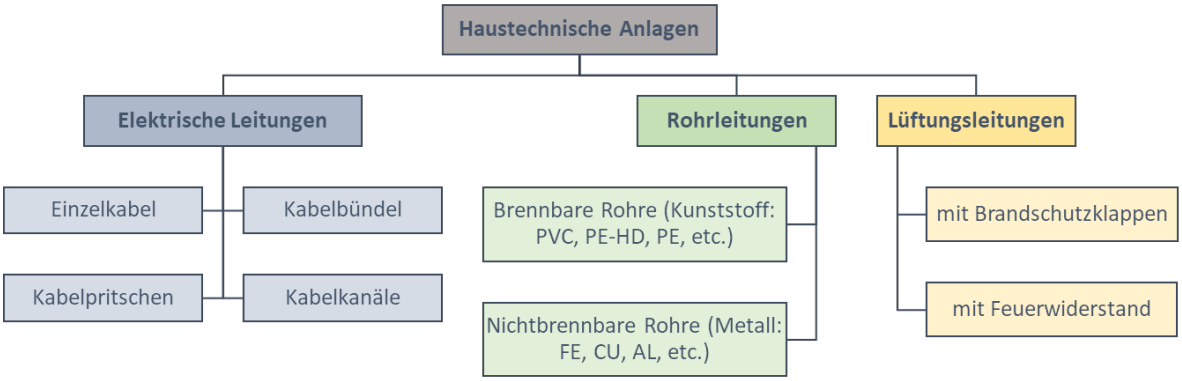


Abbildung 7: Arten von Durchdringungen infolge haustechnischer Installationen

Infolge der bisherigen Marktsituation wurden geprüfte und bauaufsichtlich zugelassene Lösungen vorrangig nur für Massiv- und Trockenbaukonstruktionen entwickelt und dem Markt zur Verfügung gestellt. Eine Übertragbarkeit dieser Lösungen auf Holzbaukonstruktionen ist jedoch nicht ohne eingehende Betrachtung und Nachweis der Gleichwertigkeit möglich. Zudem muss die bauordnungsrechtliche Anwendbarkeit abschließend über eine entsprechende technische Regel oder einen Verwendbarkeitsnachweis belegt werden.

4.3.3 Brandschutztechnische Klassifizierung von Durchdringungen

Auf europäischer Ebene beschreibt die DIN EN 1366-Reihe [38, 81–91] in Verbindung mit der DIN EN 1363-Reihe [20–22] Anforderungen an das Vorgehen bei Feuerwiderstandsprüfungen mit haustechnischen Installationen. Die DIN EN 13501-Reihe [7, 19, 35–37] beinhaltet die Klassifizierung auf Basis einer Feuerwiderstandsprüfung. Hierbei werden für Bauteile die Leistungskriterien Tragfähigkeit, Raumabschluss und Wärmedämmung für die Beurteilung des Feuerwiderstandes formuliert. Für die Beurteilung von haustechnischen Durchführungen sind Raumabschluss und Wärmedämmung sowie weitere Kriterien hinsichtlich besonderer Anforderung je nach Durchführungsart relevant.

Zudem gibt die DIN 4102-Reihe [18, 92–97] auf nationaler Ebene Prüf- und Klassifizierungskriterien für den Raumabschluss von Bauteilen bzw. der darin enthaltenen Abschottungssysteme für haustechnische Installationen vor.

Grundsätzlich sind die Prüfkriterien der europäischen DIN EN 13501 in Verbindung mit DIN EN 1363-1 mit den Prinzipien der nationalen DIN 4102- Reihe vergleichbar bzw. ähnlich. Eine direkte Übertragung der Klassifizierungen ist jedoch nicht möglich beziehungsweise vorgesehen. Besonders bei den Leistungskriterien für Lüftungsleitungen und Rohrabschottungen treten große Unterschiede auf. Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die jeweiligen Prüfkriterien sowie Klassifizierungsmöglichkeiten entsprechend nationaler und europäischer Normung.

Tabelle 10: Vergleich nationaler und europäischer Prüfkriterien und Klassifizierungsmöglichkeiten [19, 20, 35, 97]

	National		**Europäisch**	
	Prüfkriterien	**Klassifizierung**	**Prüfkriterien**	**Klassifizierung**
Rohrabschottungen	DIN 4102-11 [97]		DIN EN 1363-1 [20] i.V.m. DIN EN 1366-3 [83]	DIN EN 13501-2 [19]
	- Wattebausch - kein Flammendurchtritt auf der brandabgewandten Seite - Temperaturerhöhung an der Oberfläche von Rohren , Ummantelungen etc. um < 140 K im Mittel bzw. < 180 K an Einzelstelle	R 30/60/90/120	- Wattebausch (keine Anwendung bei Klassifizierung nur nach E) - Spaltlehre - keine Flammenbildung - Temperaturerhöhung < 140 K im Mittel, < 180 K an einer Einzelstelle	E 15/30/45/60/90/ 120/180/240 bzw. EI 15/20/30/45/60/ 90/120/180/240
Kabelabschottungen	DIN 4102-9 [96]		DIN EN 1363-1 [20] i.V.m. DIN EN 1366-3 [83]	DIN EN 13501-2 [19]
	- Wattebausch - kein Flammendurchtritt auf der brandabgewandten Seite - Anstieg der Oberflächentemperatur auf den Leitungen < 180 K	S 30/60/90/120/180	- Wattebausch (keine Anwendung bei Klassifizierung nur nach E) - Spaltlehre - keine Flammenbildung - Temperaturerhöhung < 140 K im Mittel, < 180 K an einer Einzelstelle	E 15/30/45/60/90/ 120/180/240 bzw. EI 15/20/30/45/60/ 90/120/180/240

Tabelle 10: Vergleich nationaler und europäischer Prüfkriterien und Klassifizierungsmöglichkeiten (Fortsetzung)

	National		Europäisch	
	Prüfkriterien	**Klassifizierung**	**Prüfkriterien**	**Klassifizierung**
Lüftungsleitungen	DIN 4102-6 [94]		DIN EN 1363-1 [20] i.V.m DIN EN 1366-12 [91]	DIN EN 13501-3 [35]
	- Standsicherheit innerhalb und außerhalb des Brandraumes - Wattebausch - kein Flammendurchtritt auf der brandabgewandten Seite - Temperaturerhöhung < 140 K im Mittel, < 180 K an einer Einzelstelle, < 300 K an Außenseiten von Zungen	L 30/60/90/120 bzw. F 30/60/90/120 -A	- Wattebausch - Spaltlehre - keine Flammenbildung - Temperaturerhöhung < 140 K im Mittel, < 180 K an einer Einzelstelle - Volumendurchfluss - Rauchleckage (falls erforderlich) Durchflussrate < 10 m³/(m²h) - Ausrichtung horizontal/ vertikal - Brandfall; Feuer innerhalb oder außerhalb der Leitung	E 15/30/45/60/90/120/180/240 bzw. EI 15/20/30/45/60/ 90/120/180/ 240
	National		**Europäisch**	
	Prüfkriterien	**Klassifizierung**	**Prüfkriterien**	**Klassifizierung**
Brandschutzklappen	DIN 4102-6 [94]		DIN EN 1363-1 [20] i.V.m DIN EN 1366-2 [82]	DIN EN 13501-3 [35]
	- Luftvolumenstrom < 10 m³/h je lfm - Verhindern von Durchtritt von Feuer und Rauch - Temperaturerhöhung < 140 K im Mittel, < 180 K an einer Einzelstelle	K 30/60/90	- Wattebausch - Spaltlehre - keine Flammenbildung - Temperaturerhöhung < 140 K im Mittel, < 180 K an einer Einzelstelle - Volumendurchfluss - Rauchleckage Leckrate < 200 m³/(m²h) innerhalb der ersten 5 Minuten - Ausrichtung horizontal/ vertikal - Brandfall; Feuer innerhalb oder außerhalb der Leitung	E 15/30/45/60/90/120/180/240 bzw. EI 15/20/30/45/60/ 90/120/180/240

4.4 Brandschutz haustechnischer Installationen im Holzbau

4.4.1 Allgemeines

Seit bereits über 10 Jahren wurden immer wieder Untersuchungen zur brandsicheren Integration haustechnischer Installationen im Holzbau durchgeführt [80], [98], [99]. Hierbei lag der Fokus auf der Anwendung von bereits für den Massiv- und Trockenbau nachgewiesenen Maßnahmen und Systemen und deren Adaption auf Holzbaukonstruktionen. Innerhalb der Untersuchungen wurde ersichtlich, dass vor allem die Kontaktfuge zwischen Abschottungsmaßnahme und Holzbauelement einen wesentlichen Einfluss auf das Versagen aufweist, und dass es bei Abschottungssystemen, die eine geringere Dicke als das Holzbauteil besitzen, zum vorzeitigen Einbrand in die Konstruktion und Durchtritt von Feuer und Rauch im Anschlussbereich kommen kann (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9).



Abbildung 8: Versagen im Abschlussbereich

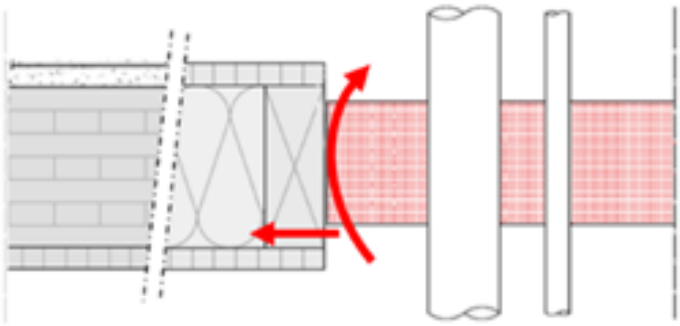


Abbildung 9: Brandüberschlagsweg beim Einbau von Abschottungsmaßnahmen

Besonders I-förmige Durchgangsfugen, an denen ein Durchtritt von Heißgasen möglich ist, und die Unterbrechung von Brandschutzbekleidungen oder Querschnittsreduktionen verbunden mit einer mehrseitigen Brandbeanspruchung führen zu einem vorzeitigen Versagen. Gleichzeitig zeigt sich, dass durch eine entsprechende Ausbildung der Details ein vorzeitiger Durchtritt von Feuer und Rauch wirksam und analog der Leistungseigenschaften der durchdrungenen Bauteile ausgeschlossen werden kann und so Nachweise für die baupraktisch relevanten Feuerwiderstandsklassen von 30, 60 und ebenso 90 Minuten erzielt werden können.

Im Hinblick auf die sichere Ausbildung der Kontaktfugen lassen sich zwei wesentliche Konzepte unterscheiden:

I) aktive Maßnahmen: wie elastische und intumeszierende Materialien, die unter Temperatureinwirkung entstehende Spalten und Fugen verschließen können.

II) passive Maßnahmen; wie Verspachtelung, Ausdämmung oder Bekleidung, die den Fugenbereich infolge ihrer Form- und Temperaturstabilität verschließen oder abdecken.

Bezüglich der Reduktion der Bauteildicke beim Einbau von Abschottungssystemen haben sich Laibungsbekleidungen als zweckdienlich erwiesen, um den Einbrand bzw. Durchbrand um das Abschottungssystem herum auszuschließen.

Die Leistungsfähigkeit entsprechender Maßnahmen und damit der Feuerwiderstand des durchdrungenen Bauteils wird durch die Begrenzung bzw. den Ausschluss von konvektiven Strömen, die infolge von Leckagen und der Überdruckbedingungen im Brandraum auftreten, in der Kontaktfuge deutlich unterstützt. Hierzu können übliche Luftdichtungsmaßnahmen wesentlich beitragen, wenn sie in Bereichen angeordnet werden, in denen ihre Leistungsfähigkeit erhalten bleibt [80], [98]. Dies kann beispielsweise durch Abklebungen mit Dichtbändern im Anschlussbereich oder dauerelastische Verfugungen als Maßnahme in der Kontaktfuge erzielt werden.

4.4.2 Elektroleitungen

Infolge der Notwendigkeit, Elektroleitungen und Leitungen von Kommunikationsmedien in Wand- und Deckenbauteile zu integrieren, werden Maßnahmen notwendig, diese im Durchdringungs- oder Austrittsbereich so auszubilden, dass die Feuerwiderstandsfähigkeit der raumabschließenden Bauteile trotzdem erhalten bleibt.

Zur brandschutztechnisch sicheren Führung von Elektroleitungen durch raumabschließende Bauteile (Wände und Decken) gibt die Muster-Leitungsanlagenrichtlinie MLAR [78] wesentliche Ausführungsempfehlungen. Die hierin zu Grunde gelegten Randbedingungen schließen jedoch eine Vielzahl von Holzbaukonstruktionen aus bzw. ist deren baupraktische Umsetzung im Zusammenhang mit Holzbaukonstruktionen nur begrenzt möglich.

In Versuchsreihen wurde daher die Eignung von verschiedenen Maßnahmen für Durchdringungen von Einzelkabeln und Kabelbündeln in Verbindung mit Holztafel- und Holzmassivkonstruktionen in Brandversuchen untersucht [80], [100]. Hierbei zeigte sich, dass der metallische Leiter innerhalb der Kabel zum Wärmetransport auf die brandabgewandte Seite beiträgt und mit zunehmender Größe der Leitungen bei direktem Kontakt mit dem umgebenden Holzbauteil ein frühzeitiges Entzünden der Holzoberfläche (Durchbrand) und der Kabel auf der brandabgewandten Seite eintreten kann (siehe Abbildung 10).

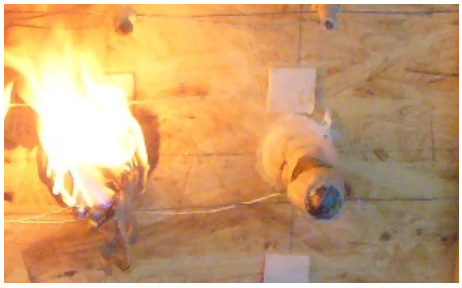


Abbildung 10: Entzündung auf der brandabgewandten Seite bei großem Kabelquerschnitt

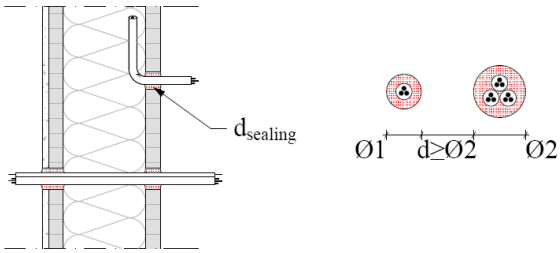


Abbildung 11: Ausführung von benachbarten Kabeldurchdringungen

Ausführungsempfehlungen für Durchdringungen einzelner Elektroleitungen und Kabelbündel, mit bis zu drei Einzelleitungen, durch Holzbaukonstruktionen lassen sich basierend auf Einzeluntersuchungen [80], [101], [102], [100] sowie [103] wie folgt zusammenfassen:

- Ein beidseitiger Verschluss des verbleibenden Öffnungsquerschnitts ist in der Dicke der Bekleidungslagen erforderlich. Bei Massivholzelementen soll die Verschlusstiefe beidseitig mindestens der Hälfte des zu erwartenden Abbrandes entsprechen, jedoch mindestens 20 mm.
- Maßnahmen zum Öffnungsverschluss sind gemäß Tabelle 11 anzuwenden.
- Der Abstand d zwischen benachbarten Kabeldurchdringungen muss mindestens dem Durchmesser des größten Öffnungsquerschnitts entsprechen (siehe Abbildung 11).
- Eine konvektionsdichte Ausführung im Durchdringungsbereich kann durch Anwendung von im Brandfall aufschäumenden dauerelastischen Dichtstoffen auf beiden Seiten des Bauteils erreicht werden.
- In Anlehnung an die MLAR [78] beschreibt E DIN 4102-4 A1 [104] einen Durchmesser von 32 mm als maximale Öffnungsgröße in Bekleidungen oder in Massivholzbauteilen zur Durchführung von Elektroleitungen, um damit den Leitungsquerschnitt zu begrenzen.

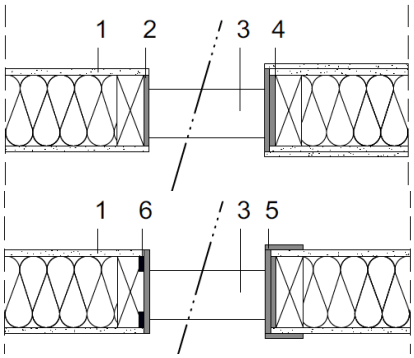
Tabelle 11: Ausführungsempfehlungen Kabeldurchdringungen

Kabeltyp	Maßnahme
Einzelkabel NYM ∅ ≤ 3x2,5 mm²	- keine Maßnahme notwendig bei Ringspalt ≤ 0,5mm
Einzelkabel NYM ∅ ≤ 5x16 mm²	- Gipsspachtel, Mineralwollverstopfung (Schmelzpunkt > 1000 °C), aufschäumende Brandschutzdichtmasse - umlaufender Ringspalt 5 bis 10 mm
Kabelbündel (maximal 3 Einzelleitungen) 3xNYM ≤ (3x2,5 mm²)	- Gipsspachtel, Mineralwollverstopfung (Schmelzpunkt > 1000 °C), aufschäumende Brandschutzdichtmasse; - umlaufender Ringspalt 5 bis 10 mm

Bei abweichender Ausführung bzw. Überschreitung der vorgenannten Ausführungsregeln wird die Anwendung von bauaufsichtlich zugelassenen Abschottungssystemen notwendig.

4.4.3 Systemabschottungen

Als wesentliches Konzept für die Installation von Systemabschottungen zur Aufnahme von Elektro- und Rohrinstallationen in Holzbaukonstruktionen hat sich die Einhausung der Laibung als effizientes Konzept erwiesen, um einem vorzeitigen Einbrand und Durchtritt von Feuer und Rauch im Anschlussbereich (siehe Abbildung 9) vorzubeugen. Hierüber können Einbauvoraussetzungen geschaffen werden, die äquivalent zu denen im Trocken- oder Massivbau angesehen werden können [80], [105]. Die nicht brennbare Laibungsbekleidung soll dabei mindestens die gleiche brandschutztechnische Qualität wie die flächige Bekleidung aufweisen, jedoch mindestens aus 18 mm dicken GKF oder GF Platten bestehen und den gesamten Laibungsbereich abdecken. Zur umlaufenden Befestigung ist eine mindestens 40 mm breite Rahmenkonstruktion anzuordnen. Durchgehende Fugen zwischen der umlaufenden Laibungsbekleidung und der Tragkonstruktion sind durch Ausbildung von Falzen an den Stoßkanten der Bekleidungen oder durch Einlegen intumeszierender Dichtstreifen konstruktiv auszuschließen [80], [98], [103], siehe Abbildung 12. Das Konzept der Laibungsbekleidung wird ebenfalls für den Einbau von Feuerschutzabschlüssen und Lüftungsleitungen empfohlen [106].



a/b - raumabschließendes Holzbauteil

1 - Bekleidung

2 - Laibungsbekleidung (Befestigung am Füllholz beidseitig im Abstand von maximal 100 mm)

3 - Schottung

4 - umlaufende Holzrahmenkonstruktion, b ≥ 40 mm

5 - Kragen aus nichtbrennbaren Bekleidungswerkstoffen, b = 100 mm, optional bei brennbaren Bekleidungen

6 - umlaufendener intumeszierender Dichtungsstreifen auf beiden Seiten

Abbildung 12: Prinzip der Laibungseinhausung

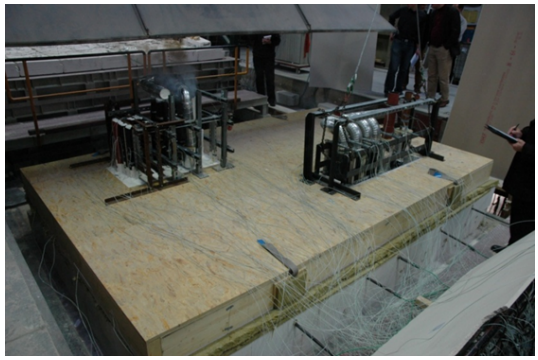


Abbildung 13: Prüfung eines Systemschotts in einer Holzrahmen Deckenkonstruktion [99]

Im Hinblick auf die Durchführung von metallischen Rohrleitungen durch Holzbauteile muss der Einfluss der über die Rohre erfolgten Wärmeleitung berücksichtigt werden. Trotz beidseitiger Abdichtung, zum Ausschluss konvektiver Strömungen, kann es durch die Wärmeleitung über den Rohrquerschnitt aber auch infolge von Verbindungsmitteln z.B. aus durchgehenden Gewindestangen zur vorzeitigen Entzündung auf der brandabgewandten Seite bzw. zum erhöhten Abbrand kommen. Für metallische Rohrleitungen kann eine stramm eingepasste durchgehende Rohrschale und Steckisolierung aus nicht brennbarer Mineralwolle (Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C) in Verbindung mit einer beidseitig außenseitigen Abdichtung aus dauerelastischen Dichtstoff empfohlen werden. Entsprechende Produkte müssen für diesen Anwendungsbereich nachgewiesen sein. Die umlaufende Dicke der Rohrisolierung (Dämmstoffdicke) muss dabei auf den entsprechenden Rohrdurchmesser und Typ angepasst sein, sollte aber mindestens 25 mm betragen [107]. Erweiternd kann auf Basis kanadischer Untersuchungen die Abdichtung mit intumeszierenden Materialien erfolgen, wobei hier der verfüllte Ringspalt zwischen Holz und Rohr ebenfalls mindestens 25 mm betragen soll [102]. Die Länge der anschließenden Steckisolierung aus nicht brennbarem Dämmstoff sollte mindesten 500 mm betragen. Brennbare Rohrdämmungen sind in jedem Fall in diesem Bereich zu unterbrechen.

Für die brandschutztechnisch sichere Durchführung einzelner brennbarer Rohrleitungen können Rohrmanschetten, oder Bandagen empfohlen werden, die durch intumeszierende Einlagen im Brandfall aufschäumen und den Restquerschnitt verschließen. Beidseitig der Durchdringung wird eine Abdichtung mit dauerelastischem Dichtstoff empfohlen, um auch

den Durchtritt von Rauchgasen zu minimieren (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15). Die abschließende Anwendbarkeit dieser Abschottungsmaßnahmen ist jedoch herstellerspezifisch nachzuweisen.

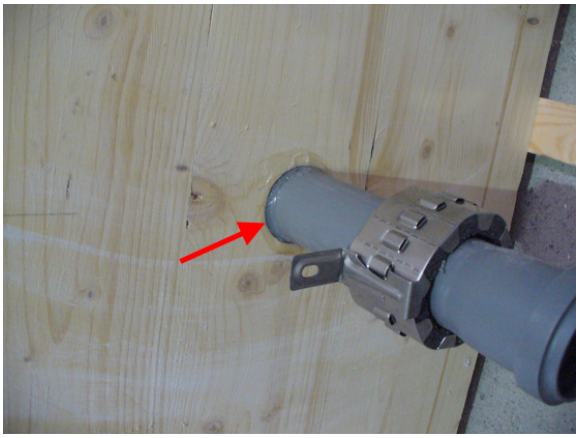


Abbildung 14: Rohrmanschette mit beidseitiger elastischer Abdichtung



Abbildung 15: Rohrmanschette im Brandfall in einer Brettsperrholzwand

Zum Ausschluss einer mechanischen Belastung im Durchdringungsbereich sind neben der Befestigung der Abschottungsmaßnahme ggf. weitere Haltekonstruktionen vorzusehen, die das Eigengewicht der Installationsleitungen abtragen und ausreichend in der Tragkonstruktion befestigt sind. In Holzbaukonstruktionen ist eine Befestigungstiefe von mindestens 10 mm im unverkohlten Bereich einzuplanen (siehe [17] und [75]). Durchgehende Verankerungen sollen jedoch ausgeschlossen werden.

Eine wesentliche Begrenzung des Anwendungsbereichs von aktuell zugelassenen Abschottungssystemen ist auf die geringe Berücksichtigung von Holzkonstruktionen innerhalb der Prüfnorm DIN EN 1366 zurückzuführen. Hierdurch wird aktuell die Anwendung nur auf die geprüfte Konstruktion beschränkt.

4.4.4 Einbauteile

Neben der Durchdringung einzelner Elektro- oder Kommunikationsleitungen sind zudem Einbauteile, wie Steck- und Schalterdosen oder Kabelboxen zu berücksichtigen. Zur Installation entsprechender Einbauteile stehen zwei wesentliche Konzepte zur Verfügung:

- Die Errichtung einer Vorwandinstallation oder abgehängter Decke zur Leitungsführung (siehe Abbildung 16), oder
- die Integration der Medien und Einbauteile in das raumabschließende Bauteil und der brandschutztechnische Verschluss der Einbauteile (siehe Abbildung 17).

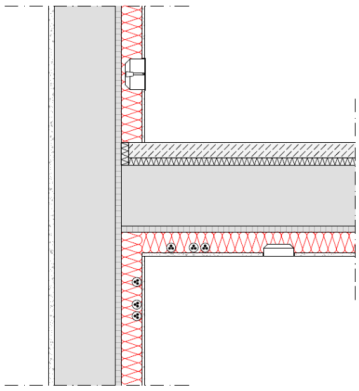


Abbildung 16: Vorwandinstallation

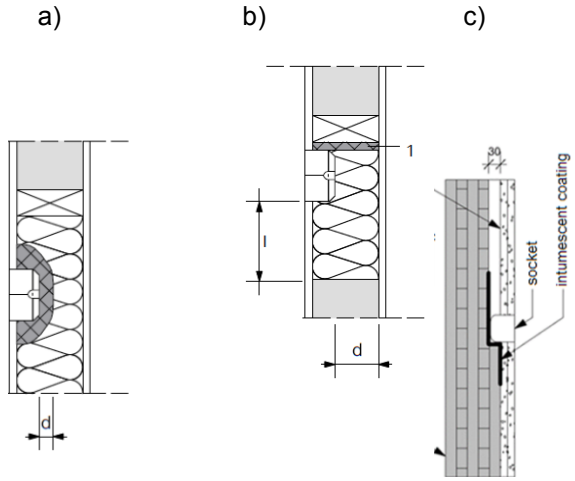


Abbildung 17: Maßnahmen zur brandschutztechnischen Installation von Einbaudosen

Für die brandschutztechnisch sichere Integration von Einbauteilen in raumabschließende Wandbauteile in Holzbauweise können folgende Maßnahmen empfohlen werden:

- Einbau in Gipsbett mit einer Dicke d ≥ 30 mm bei feuerhemmenden Bauteilen; d ≥ 40 mm bei hochfeuerhemmenden und feuerbeständigen Bauteilen; wobei zur Lagesicherung eine Gefach füllende flexible Dämmung notwendig ist (siehe Abbildung 17 a)).
- Einbau mit Gipskasten, wobei dessen Dicke mindestens der Dicke der durchdrungenen Bekleidungslagen entsprechen muss, jedoch mindestens 12,5 mm.
- Einbau mit hohlraumfreier Hinterlegung aus Mineralwolle mit einem Schmelzpunkt ≥ 1000 °C, wobei die Mineralwolle im Bereich des Einbauteiles auf eine minimale Dicke d von 25 mm für feuerhemmende Bauteile, 30 mm für hochfeuerhemmende Bauteile, 50 mm für feuerbeständige Bauteile zusammengedrückt werden darf. Der Abstand der Einbauteile zu brennbaren Konstruktionsbauteilen soll mindestens 150 mm betragen, kann aber durch Anordnung einer entsprechenden Brandschutzbekleidung am Holzbauteil unterschritten werden (siehe Abbildung 17 b)).
- Einbauteile mit intumeszierenden Eigenschaften, die den Öffnungsquerschnitt bei Brandeinwirkung verschließen. Diese Einbauteile besitzen einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis, mit spezifischen Randbedingungen zum Einbau und deren Anwendungsbereich (siehe Abbildung 17 c)).

Weiterhin liegen hierfür spezifische Regelungen für den gegenüberliegenden Einbau, für Abstände zwischen den Einbauteilen sowie zur maximalen Öffnungsgröße für Gruppen von Einbauteilen vor, die in der Planung und Ausführung zu beachten sind. [80, 104, 108].

Der Einbau von Schalter- und Elektrodosen in raumabschließenden Massivholzelementen führt ebenso wie im Holzrahmenbau zu Fehlstellen in den Bekleidungslagen und über dies hinaus zu Ausfräsungen innerhalb der Massivholzelemente (siehe Abbildung 18). Neben einem im Vergleich zur bekleideten Fläche erhöhten Abbrand im Bereich der Einbauteile, können ausgefräste Leitungskanäle auch zur Brandausbreitung innerhalb der Elemente beitragen.

Infolge des fehlenden Gefachbereichs bei Massivholzelementen stehen neben der Anwendung von Vorwandinstallationen im Vergleich zu den vorgenannten Maßnahmen nur begrenzte baupraktisch relevante Lösungen zu Verfügung.

- Dimensionierung des gesamten Bauteils infolge des verbleibenden Restholzquerschnittes am Dosengrund,
- Anordnung von brandschutztechnisch wirksamen Materialien oder Schutzbekleidungen im Dosengrund; infolge ihrer geringen Aufbauhöhe können hierfür intumeszierende Anstriche, eingelegte Laminate oder intumeszierende Brandschutzdosen empfohlen werden.



Abbildung 18: Einfräsungen in Massivholzelementen

a) b)

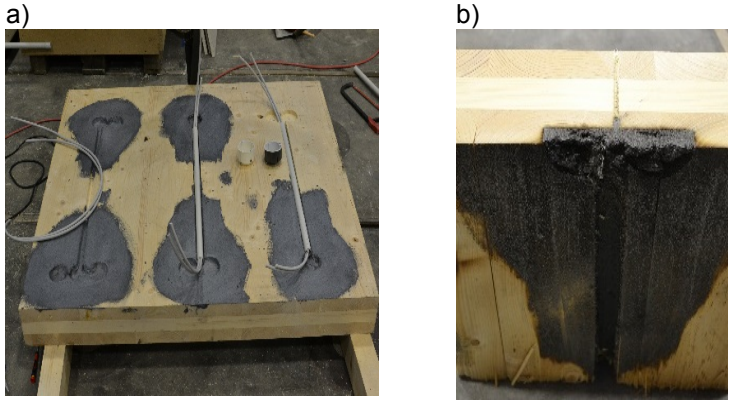


Abbildung 19: intumeszierender Anstrich; a) vor Einbau unter der Brandschutzbekleidung, b) nach Brandversuch

In Versuchsserien erwiesen sich neben Dosengehäusen aus intumeszierendem Material auch intumeszierender Anstrich im Dosengrund und 100 mm um das Einbauteil herum als äußerst wirksam, da hierdurch auch bei einem Aufwölben der Bekleidung ein Einbrand in die Elemente verhindert werden konnte (siehe Abbildung 19). [75]

4.4.5 Fazit

Zahlreiche Untersuchungen der letzten Jahre zeigen, dass Durchdringungen von haustechnischen Installationen in raumabschließenden Holztafel- bzw. Massivholzelementen unter

Einhaltung bestimmter konstruktiver Randbedingungen brandschutztechnisch sicher ausgeführt werden können.

Die wesentlichen Maßnahmen die zu einer brandschutztechnisch sicheren Installation von haustechnischen Installationen in Holzbaukonstruktionen beitragen, lassen sich wie folgt zusammenfassen.

- Berücksichtigung von haustechnischen Installationen und daraus resultierenden Durchdringungen raumabschließender Bauteile bereits in der Planungsphase, um diese auf ein Minimum zu begrenzen;
- Ausschluss von durchgehenden Fugen durch Ausbildung von Falzverbindungen bei Bekleidungen oder Einsatz von dauerelastischen, temperaturbeständigen Brandschutzdichtmassen;
- Schaffung von Einbaubedingungen, die denen von bereits zugelassener Systeme entsprechen u.a. durch die Anordnung von nicht brennbaren Laibungsbekleidungen zum Ausschluss eines vorzeitigen Einbrandes in die Holzbaukonstruktion;
- Ausschluss von Strömungspfaden durch beidseitige Ausbildung konvektionsdichter Anschlüsse, zur Minimierung des Durchtritts von Heiß- und Rauchgasen;
- ausreichende Verankerung der Verbindungsmittel zur Befestigung von Abschottungsmaßnahmen und Haltekonstruktionen in der tragfähigen Unterkonstruktion;
- Vermeidung von durchgehenden Rückverankerungen aufgrund des Temperatureintrags;
- Anordnung einer Steckisolierung für metallische Rohre neben der Ausfüllung des Ringspaltes;
- Anordnung von Vorwandinstallationen oder Ertüchtigung durch brandschutztechnisch wirksame Materialien um die Einbauteile herum.

Abschließend anzumerken ist, dass die Anwendbarkeit entsprechender Maßnahmen in Deutschland aufgrund einer eingeführten technischen Regel oder von einem Verwendbarkeitsnachweis sicher zu stellen ist. Jedoch können vorangestellte Konzepte und Maßnahmen innerhalb der Planungsphase als wichtiges und verlässliches Instrument angesehen werden. Eine Zusammenstellung von bereits am Markt vorliegenden und für den Holzbau zugelassenen Systemen kann dem Anhang A entnommen werden. Diese Systeme nutzen die vorangestellt beschriebenen Prinzipien.

5 Kriterienübersicht und Auswahl der brandschutztechnisch zu untersuchenden Bauteilanschlüsse

5.1 Begründung der Versuchsdurchführung

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

Im Rahmen des Forschungsprojektes HolzbauRLBW ist über den Feuerwiderstand flächiger Holzbauteile hinaus vor allem der Anschluss- und Fügungsbereich von Elementen hinsichtlich der Behinderung des Durchganges von Feuer und Rauch von Interesse.

Entsprechend § 26 (3) LBO [2] ist bei tragenden, aussteifenden und bzw. oder raumabschließenden Holzbauteilen abweichend von Absatz 2 Satz 3 zu beachten, dass die hinsichtlich der Standsicherheit und des Raumabschlusses geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit nachgewiesen und die Bauteile und ihre Anschlüsse ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sind.

Diese Anforderung soll mittels der nachfolgend zusammengestellten Versuche auf Grundlage der Kriterien für die Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit sowie einer qualitativen Beobachtung des Rauchdurchtritts entsprechend DIN 4102-2 [18] bzw. DIN EN 13501 [19] betrachtet werden. Weiterführend erfolgt eine ergänzende Betrachtung des Rauchdurchtritts durch ein quantitatives Messverfahren. Bei der Konzeption der Versuche wird der Grundsatz verfolgt, die Rauchdichtheit bzw. deren Begrenzung auf ein entsprechendes Maß über die funktional luftdichte Ebene herzustellen bzw. die Bauteilfügung und Strömungswege so auszubilden, dass sie einen ausreichenden Widerstand darstellen. Zusätzliche konstruktive Maßnahmen soll an dieser Stelle vorerst vermieden werden.

5.2 Theoretische Grundlagen

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

5.2.1 Auswahlkriterien

Die Planung der Versuche basierte zunächst auf der Auswahl bauteilrelevanter Anschlussarten und Konfigurationen. Diese wurden auf der Grundlage des Bauteilkanons bei entsprechendem Abgleich mit dem Bauteilkatalog dataholz.eu sowie weiterer praxisrelevanter Aufbauten gemäß Prüfzeugnissen festgelegt. Nachdem nur eine begrenzte Anzahl von Versuchen durchgeführt werden konnte, wurden die vorhandenen Anschlüsse hinsichtlich Doppelungen und gleichen bzw. ähnlichen Wirkprinzipien reduziert.

Grundsätzlich werden nachfolgenden Annahmen die vorhandenen Bauteile und deren Fügungen auf die wesentlichen, zu prüfenden und zu kombinierenden Bauteile reduziert:

- Holzständerwände sind tendenziell kritischer zu beurteilen, als Holzmassivwände: Holzständerwände bestehen aus verschiedenen Baustoffen und Schichten. Bei Versagen einzelner Schichten (z.B. der Bekleidungslage) können andere Schichten vorzeitig versagen (z.B. das Herausfallen der Zwischensparrendämmung nach Versagen der Bekleidungslage). Zusätzlich können bei Holzständerwänden durch das Fügen mehrerer Baustoffe zu einem Bauteil bei nicht hohlraumfreier Ausführung Hohlraumbrände begünstigt werden.
  Brettsperrholzbauteile können als massive Bauteile nahezu ohne Hohlräume angenommen werden und sind am Markt verfügbar. Zusätzlich sind diese durchgängig aus einem Baustoff (Holz) gefertigt, sodass in der Ebene durchgehend gleichbleibende Eigenschaften angenommen werden können.
- Der Einfluss von sichtbaren Massivholzoberflächen auf die Übertragungswege von Anschlüssen hinsichtlich Rauch muss überprüft werden: Entsprechend der LBO BW 2019 [2] können Bauteile mit brennbaren Oberflächen in der Gebäudeklasse 4 und 5 ausgeführt werden. Innerhalb der Versuche wurde auch überprüft, ob ein erhöhter Einbrand am Anschluss von Bauteilen in Verbindung mit brennbaren Oberflächen festgestellt werden kann. Baupraktisch werden nur Massivholzbauteile als sichtbare Bauteiloberfläche ausgeführt. Dementsprechend wurden diese mit aufgenommen.
- Der Anschluss von Holz auf Holz, unabhängig ob als Brettsperrholz-, Brettstapel- oder Holzständerbauteile verhält sich hinsichtlich des Durchganges von Rauch identisch: Solange die Stoßpunkte kraftschlüssig miteinander verbunden werden, hat die Art des konstruktiven Prinzips (Vollholzquerschnitt einer Holzständerwand, Brettsperr-/Brettstapelholzbauteil) keinen bzw. nur einen untergeordneten Einfluss auf die Dichtheit des Anschlusses, sofern die Abdichtungsmaßnahme unmittelbar mit ausgebildet wird. In jedem Fall treffen im Fügungsbereich massive Holzbauteile aufeinander, so dass diesbezüglich von einem nicht ausschlaggebenden Einfluss gesprochen werden kann.
- Sichtbalkendecken: Für die Überprüfung der Ausführung der Anschlüsse wurden nur Bauteile gewählt, die baupraktisch sowie wirtschaftlich für einen Feuerwiderstand von 60 bzw. 90 Minuten zu verwenden bzw. zu bemessen sind. Sichtbare Holzbalkendecken sind aufgrund der erhöhten Querschnittsabmessungen für diese geforderten Feuerwiderstände nicht mehr standardmäßig wirtschaftlich einsetzbar und wurden deshalb nicht als zu prüfendes Bauteil mit nur geringer Priorität berücksichtigt. Aussagen aus den Referenzuntersuchungen können jedoch auf diese Ausführungsoption übertragen werden.

- Reduktion der Bauteile auf die für den Feuerwiderstand notwendige Schichten: Die einzelnen Bauteile wurden soweit in ihren Bestandteilen reduziert, dass diese zwar den notwendigen Feuerwiderstand von 60 bzw. 90 Minuten erreichen, jedoch durch die Reduktion im Einsatz so variabel wurden, dass die geprüften Anschlusskriterien unabhängig von Vorsatzschalen bzw. weiteren Bekleidungen erreicht werden konnten. Dies ermöglicht in der Folge Planern eine größtmögliche Varianz der möglichen auszuführenden Bekleidungen und Vorsatzschalen.
- Bauteile mit einem klassifizierten Raumabschluss in der Fläche werden innerhalb dieser Auswahl als ausreichend rauchdicht angesehen: Mit vorliegendem Prüfansatz wurde der Widerstand für den Durchtritt von Feuer und Rauch im Anschlussbereich untersucht. Hierzu wurden die gleichen Kriterien wie für die flächigen Bauteile angesetzt. Die flächigen Bauteile wurden so gewählt, dass sie den geforderten Feuerwiderstand über einen entsprechenden Verwendbarkeitsnachweis bzw. technische Regel erbringen. Bauteile, welche entsprechend DIN 4102-2 sowie DIN EN 1363-1 geprüft wurden und auf Basis dessen als raumabschließende Bauteile klassifiziert sind, erbringen regelmäßig einen hinreichenden Widerstand gegen Feuer und Rauch, welcher innerhalb der Prüfung über die Messung der Temperaturerhöhung wie auch den Wattebauschtest sichergestellt wird. Eine erneute Überprüfung dieser Kriterien in der Fläche des Bauteils fand daher im Rahmen der im Forschungsprojekt HolzbauRLBW durchgeführten Versuche nicht statt.
- Gleitende Anschlüsse: Nichttragende Trennwände müssen mit gleitenden Deckenanschlüssen ausgeführt werden. Diese gelten grundsätzlich hinsichtlich des Durchtrittes von Feuer und Rauch als kritischer als tragende Anschlüsse, da aus statischen Gründen eine geplante Fuge zwischen den raumabschließenden Bauteilen ausgeführt werden muss. In Holzbauweise werden gleitende Anschlüsse kaum umgesetzt. Die Anschlüsse sind bauseits aufwendig auszuführen, weshalb an dieser Stelle auf standardmäßige Lösungen für den Trockenbau zurückgegriffen wird. Aus diesem Grund wurden in der Versuchsplanung gleitende Anschlüsse zwischen Trennwänden und raumabschließenden Decken nicht berücksichtigt.
- Innenwände: Eine Beurteilung von Anschlüssen von Innenwänden erfolgt nicht, da diese bauordnungsrechtlich keine raumabschließende Funktion aufweisen.
- Elementfugen: Als Fugentypen wurden stumpfe Elementstöße mit und ohne Dichtungsmaßnahmen betrachtet.

5.2.2 Brandwege und Brandnebenwege

In den nachfolgenden Abbildungen werden die möglichen Prinzipien verschiedener Bauteilstöße bzw. -anschlüsse aufgezeigt. Es werden in diesem Fall nur Bauteilstöße von Bauteilen aufgeführt, für welche brandschutztechnische Anforderungen an den Raumabschluss entsprechend der LBO BW 2019 [2] gestellt werden.

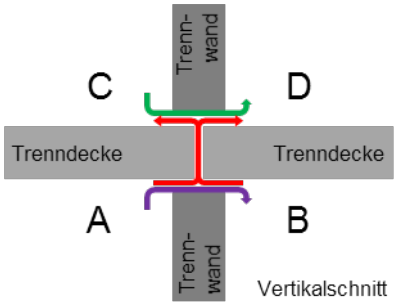


Abbildung 20: Anschluss 1 - Trennwand – Trenndecke

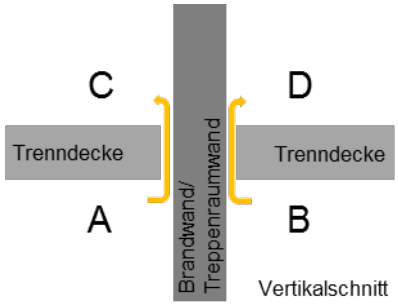


Abbildung 21: Anschluss 2 - Trenndecke – Brandwand

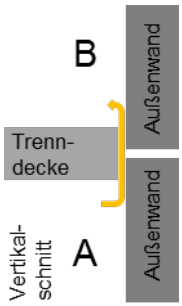


Abbildung 22: Anschluss 3 - Trenndecke – Außenwand 1

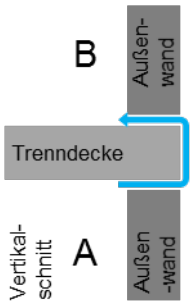


Abbildung 23: Anschluss 4 - Trenndecke – Außenwand 2

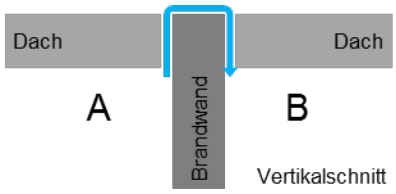


Abbildung 24: Anschluss 5 - Brandwand – Dach

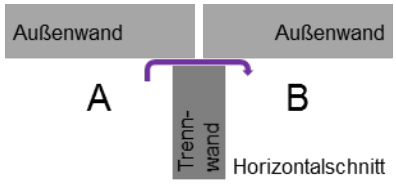


Abbildung 25: Anschluss 6 - Trennwand – Außenwand

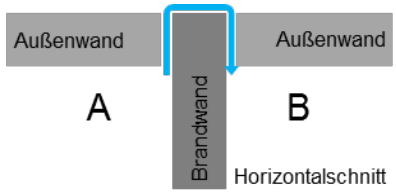


Abbildung 26: Anschluss 7 - Brandwand – Außenwand

Zu erkennen ist aufgrund der Prinzipiendarstellung der Anschlüsse, dass eine Reduktion auf wenige Grundprinzipien möglich ist. Im Prinzip der „gleichen Wege“, unabhängig von der Ausrichtung der kombinierten Bauteile, werden diese in den obenstehenden Darstellungen anhand der gleichen Farben dargestellt:

- Anschluss 1: Bei vorhandenem Bodenaufbau kann der Weg C-D als unkritischer gegenüber A-B eingestuft werden. Unter Realbedingungen herrscht bei einem

Brand im Bodenbereich Unterdruck und im Deckenbereich Überdruck. Zusätzlich ist durch den baupraktisch vorhandenen Fußbodenaufbau die Fuge überdeckt. Eine durchgängige Fuge, wie in der stark vereinfachten Darstellung dargestellt, ist somit nicht mehr vorhanden.

- Anschluss 1 (Weg A-B) und Anschluss 6: Das trennende Bauteil stößt an das anschießende bzw. flankierende Bauteil Es ist eine ungestörte Anschlussfuge vorhanden, die aus bauphysikalischer sowie brandschutztechnischer Sicht verschlossen werden muss. Unabhängig von der Ausrichtung der Bauteile sind die Fugen vom Aufbau vergleichbar und können über eine Stellvertreterprüfung abgedeckt werden. Nach demselben Schema können auch die Anschlüsse 2 sowie 3 zugeordnet werden.
- Anschluss 1 (Wege A-C und B-D): Durch die übliche schalltechnische Trennung der Geschoßdecke im Bereich der Trennwand ist eine planmäßige Fuge vorhanden.
- Anschlüsse 4, 5 und 7: Das trennende Bauteil durchstößt das anschließende Bauteil. Eine durchlaufende Anschlussfuge zu anderen Brandabschnitten ist somit nicht vorhanden. Diese Ausführung wird grundsätzlich als unproblematisch im Vergleich zu den Anschlüssen 2 und 3 angesehen und deshalb nicht in das Prüfprogramm aufgenommen.

5.2.3 Prinzipien des Abdichtens

Grundsätzlich wird bei der Konzeption der Prüfungen davon ausgegangen, dass eine intakte luftdichte Ebene auch eine ausreichende Rauchdichtigkeit aufweist. Die Versuchsaufbauten wurden prinzipiell so konzipiert, dass entweder immer mindestens eine Luftdichtungsmaßnahme im kalten Bereich des Versuchskörpers liegt und somit keiner Brandbeanspruchung ausgesetzt wird oder die Fügung der Bauteilschichten einen ausreichenden Strömungswiderstand erreicht. Bei der Konzeption wurden die flächigen Bauteile durch ihren Aufbau als ausreichend rauchdicht angesehen. Zudem werden verschiedene Dichtungsprinzipien angewendet:

- Klebebänder und komprimierbare Dichtbänder

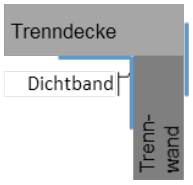


Abbildung 27: Anschluss I a) mit Dichtband im jeweils thermisch nicht beeinflussten Bereich[4]

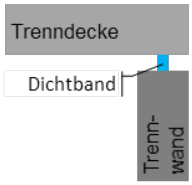


Abbildung 28: Anschluss I b) mit innenliegendem Dichtband

- Dauerelastischer Dichtstoff (z.B. (Brandschutz-)Silikon)

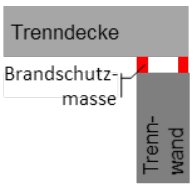


Abbildung 29: Anschluss II a) mit dauerelastischer Dichtmasse im jeweils thermisch nicht beeinflussten Bereich

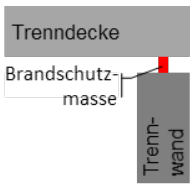


Abbildung 30: Anschluss II b) innenliegende dauerelastische Dichtmasse

- Schallschutzlager (z.B. PUR-Basis (Sylomer, Xylophon, etc.) Sand-Wabe (z.B. Wolf)

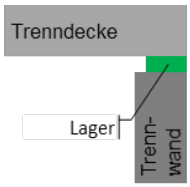


Abbildung 31: Anschluss III a) mit Schallschutz-Lager

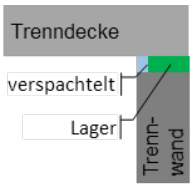


Abbildung 32: Anschluss III b) mit Schallschutz-Lager und Verspachtelung[5]

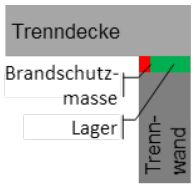


Abbildung 33: Anschluss III c) mit Schallschutz-Lager und Brandschutzdichtmasse

- Einlagen aus komprimierten Dämmstoffen

  Mineralwolle mit einem Schmelzpunkt von ≥ 1000 °C (Steinwolle) ist baupraktisch nur bei Elementfugen einzusetzen, da bei der Anwendung in Bauteilstößen Setzungen durch die Komprimierung des Materials zu erwarten sind.

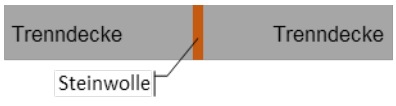


Abbildung 34: Elementanschluss IV a) mit Steinwolle[6]

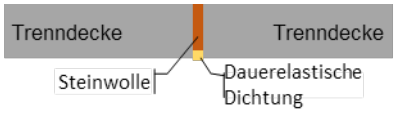


Abbildung 35: Elementanschluss IV b) mit Steinwolle und dauerelastischer Dichtung

Grundsätzlich wird das Prinzip verfolgt, beidseitig von Bauteilen eine Dichtungsmaßnahme anzubringen bzw. diese Maßnahme in einem thermisch unkritischen Bereich anzuordnen. So liegt bei einer Brandbeanspruchung eine der Maßnahmen grundsätzlich im kalten Bereich.

[4] abgeleitet aus Abbildung 36
[5] Anschluss baupraktisch bei bekleideten Wänden umsetzbar
[6] statische Kopplung/ Abdeckung im Fugenbereich in Abbildung nicht dargestellt

Bei zweischaligen Bauteilen (Trennwände / Brandwände) gibt es analog zu Abbildung 27 und Abbildung 28 zwei verschiedene Möglichkeiten, die Dichtungsebene anzuordnen:

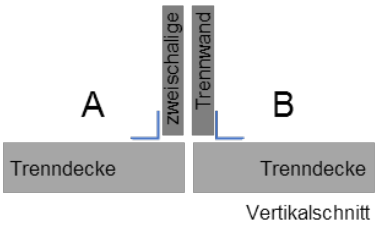


Abbildung 36: Anordnung der Dichtungsebene im Außenbereich des Bauteils

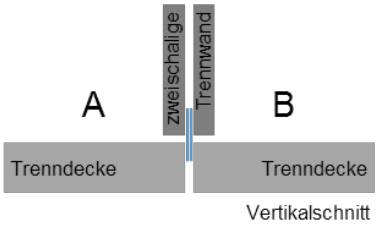


Abbildung 37: Anordnung der Dichtungsebene in Achse des Bauteils

Die kritischere Ausführung der Anordnung der Dichtungsebenen stellt Abbildung 37 dar. Im Fall einer Brandbeanspruchung liegen hier die luftdichtenden Maßnahmen in der gleichen Bauteilebene und versagen auf Grund der Temperaturbeanspruchung nahezu gleichzeitig.

Bei der Ausführung in Abbildung 36 liegen die luftdichtenden Schichten in verschiedenen Bauteilebenen. Dies hat zur Folge, dass bei Durchwärmung des Bauteils von einer Seite die Schichten zu unterschiedlichen Zeitpunkten versagen.

5.3 Auswahl von Bauteilen

Bearbeitung: Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

Innerhalb der experimentellen Untersuchungen wurden die Anschlusskriterien hinsichtlich ihres Widerstandes gegen den Durchtritt von Feuer und Rauch überprüft. Für die Wahl der Bauteile kamen deshalb klassifizierte Bauteile in Betracht. Diese wurden auf die für den Feuerwiderstand wesentlichen Schichten reduziert, um die Widerstandsfähigkeit der Fuge möglichst unabhängig von weiteren vorgesetzten Schichten für weitere bauphysikalische Zwecke beurteilen zu können. Grundsätzlich können so weitere Schichten zu den untersuchten Bauteilen hinzugefügt werden, um weitere Anforderungen hinsichtlich Schall- und Wärmeschutz zu erreichen, ohne dabei die brandschutztechnischen Eigenschaften zu beeinträchtigen. Diese zusätzlichen Schichten dürfen jedoch nicht in den Anschlussbereich hineingeführt, sondern lediglich bis an diesen herangeführt werden.

Bei den Versuchen wurden sowohl Holzmassiv- als auch Holzrahmenbauteile berücksichtigt. Hinsichtlich der aufgestellten These, dass das brandschutztechnische Verhalten hinsichtlich des Durchtrittes von Feuer und Rauch bei gleicher Anwendung konstruktiver Maßnahmen unabhängig von der Art der gefügten Bauteile ist, wurde dieses in Belegversuchen betrachtet.

5.4 Übersicht der durchgeführten Versuche im HolzbauRLBW-Projekt

Bearbeitung: Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

Tabelle 12: Vorversuchsreihe

Ver-such	**Beanspru-chung**	**Decke**	**Wand 1**	**Anschluss**
Z02	60 min ETK	BSP 30-40-30 d = 100 mm	BSP-Element 30-40-30 d = 100 mm	Mineralwollestreifen 20 mm auf 2-3 mm komprimiert
Z03	45 min ETK	BSP 30-40-30 d = 100 mm	BSP-Element 30-20-30 d = 80 mm	Holzfaserdämmstoff-Streifen 20 mm auf 5 mm kom-primiert
Z04	90 min ETK	BSP 40-20-20-20-40 d = 140 mm	dataholz awmo-po04a-03 massiv, BSP 30-40-30 bekleidet brandzu-gewandt mit 1 x 12,5 mm GF	III a) mit Sylomer d= 6 mm; GF-Fuge 2 mm ohne Verspachte-lung
Z05	70 min ETK	BSP 30-40-30 d = 100 mm	Holzrahmen, bekleidet mit HWP, d = 15 mm und brandraumseitig, 1x 15 mm GF	III c) mit Sylomer D = 6 mm, auf einer Breite von 60 mm; GF-Fuge 2 mm mit intu-meszierender BS-Masse
Z08	60 min ETK	Holztafelkonstruktion mit Unterdecke E DIN 4102-4/A1:2018-11, Tab. 10.26, Zeile 11	Holzrahmen, sym-metrisch bekleidet mit HWP, d = 10 mm und 1 x 15 mm GF E DIN 4102-4/A1:2018-11 Tab. 10.15, Zeile 8	Element ohne Dicht-streifen Balken und Verblo-ckung verschraubt Verblockung 1 mm dünner als Deckenbal-ken
Z09				Element mit intumes-zierendem Dichtband Balken und Verblo-ckung verschraubt Verblockung 2 mm dünner als Deckenbal-ken

Tabelle 13: Hauptversuchsreihe

Versuch	**Beanspruchung**	**Decke**	**Wand 1**	**Anschluss**
A1	60 min ETK	dataholz gdmnxn02 BSP 40-20-20-20-40, unbekleidet GS 3.2/15-087-2 in Verbindung mit P-SAC-02/III-708	dataholz: awmopo01 BSP 35-30-35, unbekleidet AbP Nr. P-SAC-02/III-691 i.V.m. GS 3.2/15-087-1	Ia) abgeklebt Fuge 1 mm keine Maßnahme in der Fuge
A2			dataholz: awrhho01-13/14 Holzrahmen, bekleidet in Anlehnung an AbP Nr. P-SAC-02/III-672 i.V.m. GS 3.2/15-214-1	Ia) + Ib) Kompriband in der Mitte in Einfräsung 15 mm, 50 mm Abstand von Rähm Fuge GF 2 mm Fuge OSB 1 mm
Ziele	- Untersuchung des Einflusses von Kompribändern im Vergleich zur Abklebung - Analyse des Einflusses unbekleideter Decken in Kombination mit unbekleideten Wänden auf die Fuge (i.V. zu Versuch B) - direkter Vergleich der Auflagersituation von Holzrahmen- und Holzmassivwänden mit Auswirkungen auf den Fugenbereich			
B1	90 min ETK	BSP 40-20-20-20-40, unbekleidet AbP Nr. P-SAC02_III-922 i.V.m. GS 3.2/15-087-2	dataholz: awmopo04a-03 massiv, 100 mm, bekleidet mit 1 x 12,5 mm GF AbP Nr. P-SAC-02/III-691 i.V.m. GS 3.2/15-087-1	IIIb) mit Sylomer d = 6 mm, GF-Fuge verspachtelt, brandabgewandt halbseitig abgeklebt
B2			dataholz: awrhho04b-05 Holztafel, bekleidet mit 2 x 12,5 mm GF AbP Nr. P-SAC-02/III-673	IIIc) mit Sylomer d = 12,5 mm und intumeszierender BS-Masse im Bereich der Bekleidungslagen Abklebung brandabgewandt
Ziele	- Vergleich der Einwirkungsdauer 60 und 90 Minuten (i.V. zu Versuch A) - Analyse des Einflusses unbekleideter Decken in Kombination mit unbekleideten Wänden auf die Fuge (i.V. zu Versuch A) - Beurteilung des Einflusses von brennbaren Schallschutzlagern auf den Rauchdurchtritt in der Fuge - Schutz der Funktion des Schallschutzlagers im Brandfall durch Brandschutzmasse bzw. Verspachtelung - direkter Vergleich der Auflagersituation von Holzrahmen- und Holzmassivwänden mit Auswirkungen auf den Fugenbereich - vergleichende Betrachtung des Einflusses von Klebebändern			

Tabelle 13: Hauptversuchsreihe (Fortsetzung)

Versuch	**Beanspruchung**	**Decke**	**Wand 1**	**Anschluss**
C1	90 min ETK	Holztafelkonstruktion mit Unterdecke Nachweis über Prüfzeugnis AbP Nr. P-SAC-02/III-514 i.V.m. GA-2017/099-Mey	dataholz: awmo-po04a-03 BSP 35-30-35, bekleidet mit 1 x 12,5 mm GF AbP Nr. P-SAC-02/III-691 i.V.m. GS 3.2/15-087-1 bzw. P-SAC02/III-939	III c) Sand-Waben-Lager, Abdichtung mit dauerelastischer Brandschutzmasse
Ziele	- Vergleich der Auswirkungen auf die Fuge verschiedener Deckenkonstruktionen (i.V. zu Versuch B) - Prüfung weiterer Schallschutzlagersituationen - Prüfung unterschiedlicher Brandschutzmaßnahmen für Schallschutzlager - Auswirkung von vollständig bekleideten Wänden und Decken auf die Einbrandsituation an der Fuge			
D1	90 min ETK	BSH-Element gemäß DIN EN 14080:2013-09, d = 140 mm, Lamellenbreite 40 mm		abgeklebte Elementfugen (stumpf) b = 3, 5 und 10 mm im Vergleich ohne Maßnahme in der Fuge
D2		dataholz: awrhho04b-05 Holztafel, bekleidet, 2 x 12,5 mm GF als Decke eingebaut AbP Nr. P-SAC-02/III-673		mittig angeordnete Elementfuge, b ≤ 5 mm, mit biogenen Dämmstoffen
Ziele	- Vergleich der Auswirkung verschiedener Fugenbreiten auf den Rauchdurchtritt (i.V. zu Versuch A) - Beurteilung des Feuerwiderstands und des Rauchdurchtritts bei Elementfugen - Einbau der Probekörper in Deckenposition zur Untersuchung der kritischen Brandbeanspruchung			

Tabelle 13: Hauptversuchsreihe (Fortsetzung)

Versuch	**Beanspruchung**	**Decke**	**Wand 1**	**Anschluss**
E1	90 min ETK	BSH-Element gemäß DIN EN 14080:2013-09, d = 140 mm, Lamellenbreite = 40 mm		Durchdringung Kabelbündel 3x (NYM 3x2,5) mit 5 mm Ringspalt, in Bekleidungsdicke mit Gipsspachtel bzw. mit intumeszierender Brandschutzmasse verspachtelt
E2		dataholz: awrhho04b-05 Holzrahmen, bekleidet mit 2 x 12,5 mm GFP, Wand als Decke eingebaut AbP Nr. P-SAC-02/III-673		
Ziele	- Untersuchung des Einflusses von haustechnischen Installationen bzw. Durchdringungen - Vergleich von Verspachtelung und intumeszierender Brandschutzmasse - Direkter Vergleich von Holzrahmen- und Holzmassivwänden mit Auswirkungen auf die Durchdringung - Einbau der Probekörper in Deckenposition zur Untersuchung der kritischen Brandbeanspruchung			
F1	90 min ETK	mineralische Massivbauweise, Stahlbeton entsprechend DIN 4102-4:2016-05, Kap. 5	mineralische Massivbauweise, Mauerwerk entsprechend DIN 4102-4:2016-05, Kap. 9	Mineralwollstreifen, d = 30 mm, entsprechend DIN 4102-4:2016-05, Bild 9.1
F3			mineralische Bauweise, Trockenbau entsprechend DIN 4102-4:2016-05, Kap. 10	gleitender Trockenbauanschluss entsprechend DIN 4102-4:2016-05, Bild 10.5
Ziele	- Referenzversuch zu mineralischen Bauweisen			
G1	90 min ETK	Holztafelkonstruktion Nachweis über Prüfzeugnis AbP Nr. P-SAC-02/III-514 i.V.m. GA-2017/099-Mey	BSH Element gemäß DIN EN 14080:2013-09, d = 120 mm, Lamellenbreite = 40 mm	Mineralwolle-Schott entsprechend DIN 4102-4:2016-05, 10.5.6
	- Untersuchung des Durchtrittes von Feuer und Rauch bei durchlaufenden Deckenbalken mit Einbau eines Mineralwolle-Schotts			

6 Entwicklung eines Messkonzeptes zur weiterführenden Beurteilung von Bauteil- und Elementfugen

Bearbeitung: Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

Im Rahmen des Arbeitspaketes 4 wurden brandschutztechnische Untersuchungen zur Beurteilung des Brandverhaltens von Bauteil- und Elementfugen einschließlich Durchdringungen haustechnischer Installationen zum Feuerwiderstand von Holzbaukonstruktionen im mehrgeschossigen Bauen durchgeführt. Hierzu werden praxisübliche Bauteilanschlüsse hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit im Sinne der Landesbauordnung Baden-Württemberg (LBO BW) [2] bewertet.

Durch die Herstellung z.T. ohnehin baupraktisch notwendiger, luftdichter Ebenen, der Dämmung von Hohlräumen und dem Verschluss von Fugen durch z.B. eine Verspachtelung, kann die Übertragung von Feuer und Rauchgasen in andere Nutzungseinheiten wirksam unterbunden werden, was sich aus experimentellen Untersuchungen ableiten lässt [109]. Für die Vermeidung von konvektiven Strömungen ist zudem sicherzustellen, dass die luftdichte Ebene im Brandfall entweder in einem thermisch nicht beanspruchten Bereich liegt oder eine ausreichend lange Beständigkeit gegenüber Temperaturbeanspruchungen aus dem Brandraum aufweist bzw. entsprechende Dämmschichten in Bauteilzwischenräumen einen ausreichenden Strömungswiderstand gegenüber konvektiven Strömungen besitzen. Der Fokus der Untersuchungen innerhalb des Forschungsvorhabens lag auf der Übertragung und Einhaltung bereits vorhandener Prüf- und Beurteilungskriterien nach DIN EN 13501-2 und DIN 4102-2 zum Raumabschluss (E), Isolation (I) und Rauchdurchtritt von flächigen Bauteilen auf die Fuge [18, 19].

Ergänzend zu den normativen Kriterien sollte innerhalb des Projektes die Qualität der Bauteil- und Elementfugen auch im Hinblick auf den Durchtritt von Rauchgasen messtechnisch erfasst werden. Derzeit erfolgt dies innerhalb der Prüfmethodik nach DIN 4102-2 für die raumabschließende Funktion der Fläche rein optisch [18]. Für die quantitative Beurteilung des Rauchdurchtritts in Form eines Leckagestroms oder einer Beurteilung der Toxizität, insbesondere durch die Anschlussfuge, liegen bereits unterschiedliche Ansätze im Rahmen von vorangegangenen Forschungsarbeiten vor. So wurden in Becker et.al. [110] mittels eines Rauchauffangkastens und weiterer Analytik bereits erste Untersuchungen bzgl. des Rauchdurchtritts von Wand-Anschlüssen bekleideter Holztafelbauelemente durchgeführt. Die Ansätze zur Messung der optischen Dichte und Rauchgaskonzentration werden dabei nachfolgend um das Konzept einer direkten Volumenstrommessung erweitert und kombiniert.

Mittels dieser Ansätze konnten unterschiedliche Variationen von Bauteilfügungen in Holzbauweise mit mineralischen Bauweisen auf Grundlage der Anforderungen des § 26 (3) LBO

BW verglichen werden [1]. Die normativen Kriterien zum Nachweis der Anforderungen hinsichtlich einer Begrenzung des Durchtritts von Feuer und Rauch werden so ergänzend und die Fügungen weiterführend bewertet. Nachfolgend erfolgt die Vorstellung der Leistungskriterien, messtechnischen Grundlagen sowie eine Übersicht über die durchgeführten Bauteilversuche. Vor diesem Hintergrund soll im Folgenden ein erweitertes Analyseverfahren zur wissenschaftlichen Beurteilung des Leckagestroms vorgestellt werden, mit welchem eine vergleichende Beurteilung der bisherigen Prüfkriterien mit dem tatsächlichen Rauchdurchtritt durch die Fuge ermöglicht werden soll.

6.1 Stand der Forschung und Technik zur quantitativen Beurteilung des Rauchdurchtrittes

Zur Prüfung des Durchtrittes von Feuer und Rauch durch raumabschließende Bauteile und deren Anschlüsse existiert abseits von Türen bzw. Abschlüssen derzeit kein standardisiertes Messverfahren. Bisherige Forschungsarbeiten lieferten unterschiedliche Beurteilungsansätze, die nachfolgend anhand ihrer Vor- und Nachteile kurz erläutert werden. Die Prüfung erfolgte hierbei an Bauteilanschlüssen z. B. Wand-Decken-Anschlüssen, die zeitgleich einer Brandbeanspruchung in einem Prüfofen unterzogen wurden.

HOSSER, KAMPMEIER et al. entwickelten ein Messprinzip, indem die entstehenden Rauchgase in einem Rauchauffangkasten (20 cm x 20 cm) gesammelt und zusammen mit einem Strom aus Frischluft durch ein Rohr mit einer Extinktionsmessstrecke geleitet werden (Abbildung 38). Durch eine Transmissionsmessung wird die optische Dichte des Mediums festgestellt. Ausgehend von Absorption und Streuung der Lichtstrahlen im Medium verringert sich die Intensität am entgegengesetzten Messpunkt mit zunehmender Trübung auf Grundlage des Beer-Lambertschen-Gesetzes [111]. Als Messinstrument wurde hierzu das Rauchdichtemessgerät MAURER ME 82 verwendet, welches ein nach DIN 50055 genormtes Messgerät zur Bestimmung der Rauchdichte darstellt [112]. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der genormten Messtechnik sowie einer verhältnismäßig einfachen Konstruktion. So wurde das Messprinzip bereits erfolgreich angewandt, um eine grundsätzliche Aussage bezüglich eines Leckagestromes durch Bauteilfugen zu treffen. Ein Nachteil der Messtechnik liegt in der Verfälschung der Transmissionsmessung durch z.B. Wasserdampf, der quantitativ nicht von einer Trübung durch Rauchgase unterschieden werden kann. Weiterhin kann mit dem Messverfahren kein direkter Leckagestrom bestimmt werden, sodass nur eine qualitative Aussage möglich ist. Da die optische Dichte der Rauchgase ebenfalls variabel ist, hängt das Ergebnis zudem vom Verbrennungsvorgang im Brandraum ab [113].

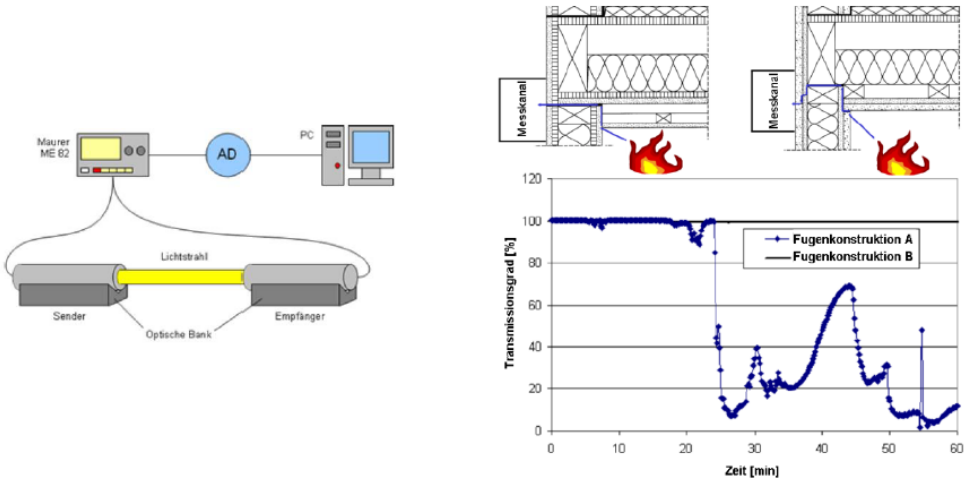


Abbildung 38: Prinzipskizze der Messtechnik sowie der Transmissionsmessung in einem an den Fugen angebrachten Messkanal [111, 114]

Ein anderes Messprinzip nach HOSSER et al., welches von STEIN [109] modifiziert wurde, basiert ebenfalls auf einem Rauchauffangkasten, der an der Bauteilfuge auf der feuerabgewandten Seite installiert wird (siehe Abbildung 39). Über eine Gasanalyse werden die Bestandteile der Brandgase im Ofen gemessen. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Konzentration über den Fugenverlauf nicht ändert. Anschließend werden die austretenden Gase unter Zuführung einer definierten Frischluftmenge (100 l/min) über einen Rauchauffangkasten einer erneuten Gasanalyse zugeführt. Über die Änderung der Gaskonzentrationen wird unter Berücksichtigung der Frischluftzufuhr aus dem Volumenstrom des Abgases auf die Leckagerate geschlossen [109].

Als Messtechnik werden mehrere Gasanalysatoren für O_2, CO bzw. CO_2 verwendet, die für den Einsatz im Brandofen eine ausreichende thermische Beständigkeit aufweisen müssen. Der Vorteil des Messprinzips liegt in der indirekten Messung des Leckagestroms, womit die Leckage indirekt anhand der Massenerhaltungsgleichung als Volumen pro Zeiteinheit quantifiziert werden kann. Auch dieses Messprinzip wurde bereits in mehreren Forschungsarbeiten verwendet, wobei eine Verfälschung der Ergebnisse durch Wasserdampf im Gegensatz zum vorherigen Messprinzip vermieden wird. Dennoch handelt es sich um ein fehleranfälliges Verfahren, da abhängig von verwendetem Brennstoff (Öl / Gas) kein direkter Vergleich möglich ist. Weiterhin kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Konzentration der aufgefangenen Gase durch Pyrolysevorgänge im Bauteil bzw. der Bauteilfuge verändert, womit die Massenerhaltungsgleichung nicht mehr erfüllt wäre.

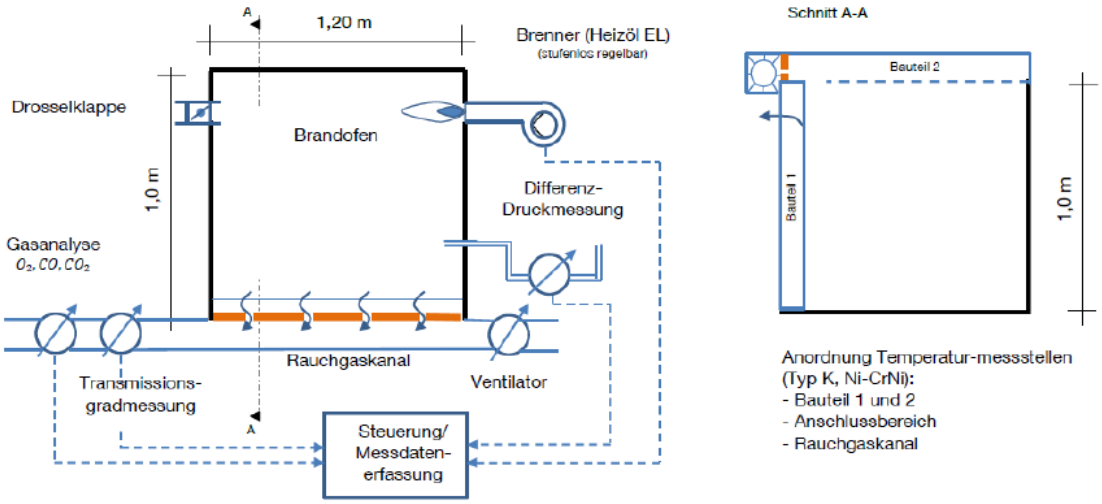


Abbildung 39: Prinzipskizze der Leckagestrombestimmung anhand Gasanalyse [109]

6.2 Messkonzept zur weiterführenden quantitativen Beurteilung des Leckagestroms

Im Rahmen des Projektes HolzbauRLBW wurde ein weiterer Ansatz zur Beurteilung des Rauchdurchtritts durch Bauteilfugen entwickelt, der sich aus einer Optimierung bestehender Versuchsgrundlagen ergibt. Das Vorgehen besteht im Gegensatz zu den vorherigen Forschungsarbeiten in der direkten Bestimmung des Volumenstroms in Kombination mit einer Gasanalyse.

Für das Auffangen der Rauchgase wurde auf bereits angewandte Prinzipien zurückgegriffen. Der Rauchauffangkasten (RAK) wird aus Siebdruckplatten hergestellt, auf denen vorderseitig eine Plexiglasscheibe als Sichtfenster angebracht ist. Das Außenmaß beträgt 200 mm x 200 mm x 950 mm. Die Siebdruckplatten sowie das Sichtfenster wurden untereinander mit hochtemperaturbeständigem Silikon abgedichtet. Die Dichtung zum Bauteilofen erfolgt über ein an der Innenseite angebrachtes Kamindichtband. Für die Prüfung von unterschiedlichen Wand-Decken-Anschlüssen sind zwei unterschiedliche Varianten konstruiert (siehe Abbildung 40). Zur Messung der normativen Kriterien werden Revisionsöffnungen vorgesehen, die während der gesamten Versuchsdauer einen Wattebauschtest an der Fuge ermöglichen.

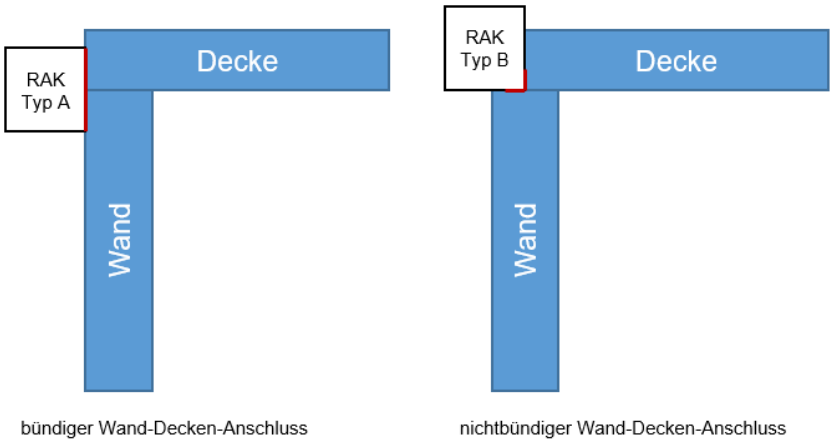


Abbildung 40: RAK für bündigen bzw. nichtbündigen Wand-Decken-Abschluss

An den RAK ist ein Abzugsrohr mit dem Nenndurchmesser 50 mm angeschlossen, in welchem die Rauchgase zunächst der Analytik zugeführt und anschließend über den Auslass abgeleitet werden. Für die Messung der Strömungsgeschwindigkeit und den daraus resultierenden Volumenstrom ist eine Vor- und Nachlaufstrecke zur Ausbildung eines annähernd rotationssymmetrischen Strömungsprofils am Messpunkt erforderlich. Da für die Länge der Strecke keine allgemeingültigen Empfehlungen existieren, wurde zunächst ein Vorlauf gewählt, der dem 10-fachen (Rücklauf mind. 5-fachen) Rohrdurchmesser entspricht. Am Messpunkt werden Strömungsgeschwindigkeit sowie die diversen Gasspezies mittels eines Kombimessgerätes bestimmt. Um einen etwaigen Überdruck im Messkanal zu registrieren, ist ein zusätzlicher piezoresistiver Drucksensor im RAK vorgesehen. Das Abzugsrohr wurde mit einem handelsüblichen Rauchrohr ausgeführt. In Abbildung 41 ist der Aufbau des verwendeten RAK dargestellt.

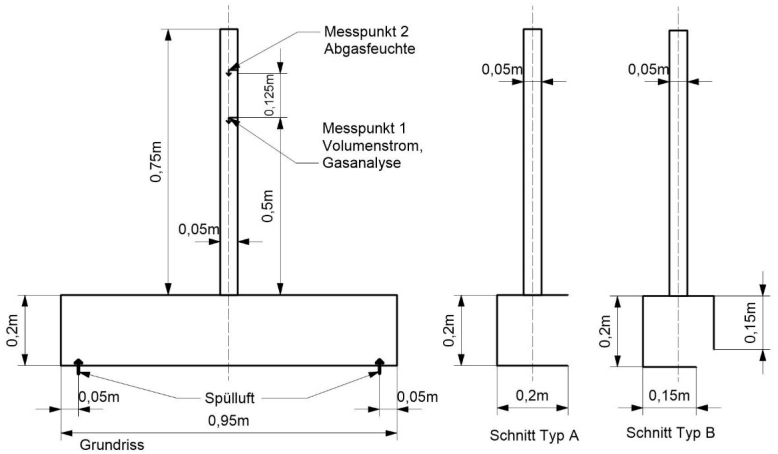


Abbildung 41: Detailzeichnung (Ansicht / Schnitte) des RAK mit Position der Messtechnik

Die Wahl der Rohrnennweite stellt aus strömungsmechanischen Gründen einen für die Messung signifikanten Parameter dar. Die messtechnisch sinnvollen Rohrnennweiten wurden daher auf Basis strömungsmechanischer Grundlagen bestimmt.

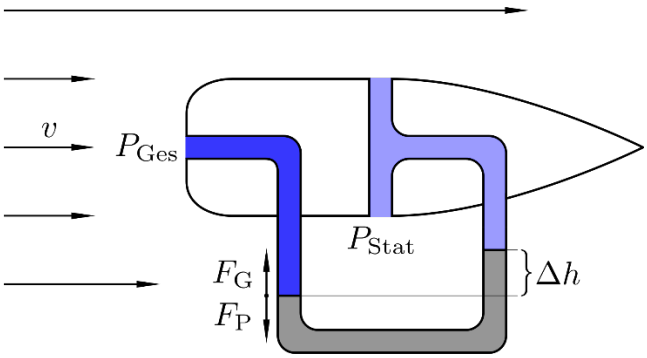


Abbildung 42: Schematische Darstellung einer Prandtl-Sonde [115]

Die Messung der Strömungsgeschwindigkeit basiert auf dem Gesetz von Bernoulli. Mithilfe einer Staudruck-(Prandtl-)Sonde (siehe Abbildung 42) werden der Gesamtdruck (entgegen der Strömungsrichtung) und der statische Druck (senkrecht zur Strömungsrichtung) im Abgasrohr gemessen, aus deren Differenz der dynamische Druck (Staudruck) resultiert [116]:

$$p_{Ges} = p_{Stat} + \rho g h + \frac{\rho}{2} v^2 \quad (6.1)$$

p_{Ges}	-	Gesamtdruck [Pa]
p_{Stat}	-	statischer Druck [Pa]
ρ	-	Fluiddichte [kg/m³]
v	-	Strömungsgeschwindigkeit (m/s)
h	-	Höhe über der Bezugsebene [m]

Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeiten v weit unterhalb der Schallgeschwindigkeit *c*, kann mit einer Mach-Zahl $Ma \ll 0{,}3$ von einer inkompressiblen Strömung ausgegangen werden. Gemäß Kontinuitätsgleichung ergibt sich der Volumenstrom am Messpunkt, der im weiteren Verlauf auf den Leckagestrom $\dot{V}_{Leck}$ des Bauteilanschlusses umgerechnet werden kann. Die Strömungsgeschwindigkeit v_{Sonde} ist bei gleichbleibendem Volumenstrom somit direkt antiproportional zur Querschnittfläche A_{Rohr} des Abgasrohrs [116].

Bei einer Genauigkeit des Drucksensors von ± 1 Pa ergibt sich gemäß Gleichung 6.1 im ungünstigsten Fall bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten ein maximaler Fehler von 0,5 m/s, was bei einem Querschnitt von 50 mm einem Volumenstrom von ± 1 l/s entspricht. Kleinere Querschnitte führen zu höheren Strömungsgeschwindigkeiten und damit einhergehend zunehmendem dynamischem Druck, wodurch sich der Messfehler bei niedri-

gen Volumenströmen verringern lässt. Der Querschnitt kann jedoch nicht beliebig verkleinert werden, da sich in Abhängigkeit der zu messenden Volumenströme wesentlich früher ein Gegendruck gegenüber der Fuge einstellen würde und ein freies Abströmen verhindert wird.

Der Messbereich wurde daher so gewählt, dass der Druckverlust im Rohr den festzulegenden Überdruck gegenüber der Umgebung nicht überschreitet, da es ansonsten zu einem Rückstaueffekt kommen kann. Gleichzeitig kann das Abgasrohr nicht beliebig vergrößert werden, da sonst keine signifikanten Strömungsgeschwindigkeiten auftreten. Durch strömungsmechanische Berechnungen konnte festgestellt werden, dass der Überdruck im Rauchauffangkasten bei einem Rohrquerschnitt von 50 mm und Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 15 l/s vernachlässigbar ist [117]. Ab einem Volumenstrom von 2 l/s, der durch den notwendigen Spülluftstrom ohnehin erreicht wird, kann von einer ausreichenden Messgenauigkeit ausgegangen werden.

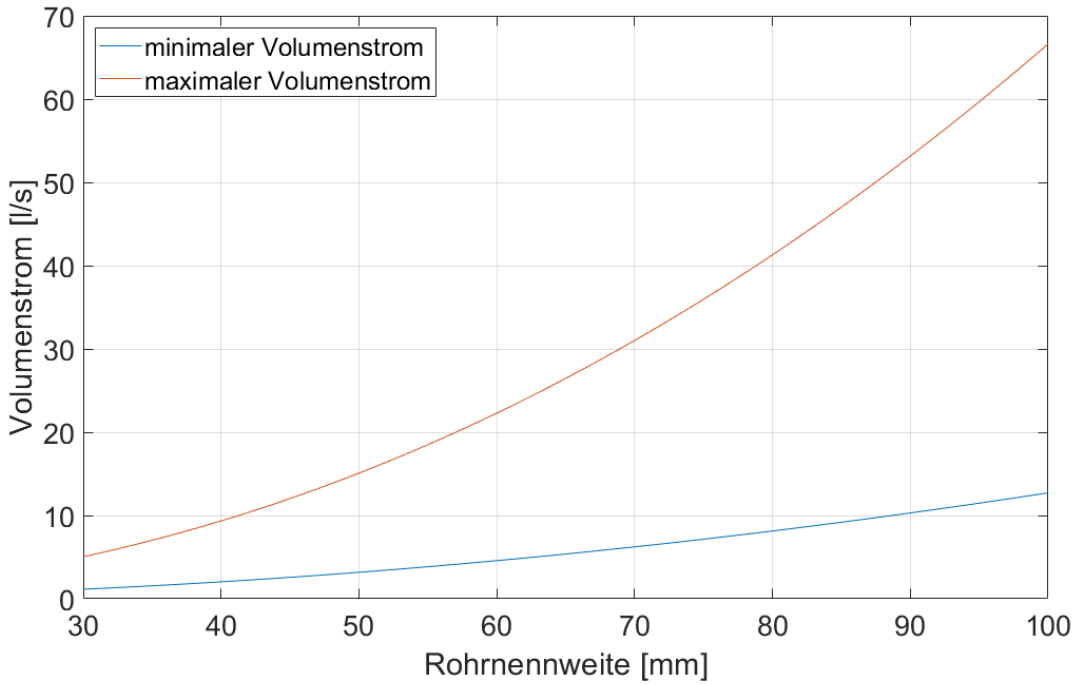


Abbildung 43: Obere und untere Messgrenzen für die Bestimmung des Volumenstroms am RAK

Für die Bestimmung des Volumenstroms sowie der Gaskonzentrationen wird ein Kombimessgerät aus der Emissionstechnik verwendet. Das Messgerät wird in vielen Bereichen bei Verbrennungsprozessen, sowie der Emissions- und Prozessgasüberwachung (u. a. von Schornsteinfegern) eingesetzt und ist durch die Filtertechnik und die Temperaturbeständigkeit bis 800 °C dementsprechend für Brandrauch deutlich besser geeignet als herkömmliche Multigas-Analysatoren. In Rücksprache mit dem Hersteller ist ein Einsatz über zwei Stunden im Rahmen der Messbereiche ohne weiteres möglich, anschließend wird das Gerät mit

Frischluft gespült, um die Sensorik zu schonen. Als Leitkomponenten werden hierbei CO, CO_2, O_2 mittels elektrochemischer Sensoren erfasst und parallel zum Leckagestrom aufgezeichnet.

Abgaskomponenten	Messbereich	Auflösung	Genauigkeit
Sauerstoff O2	0 ... 25,00 Vol.-%	0,01 %	± 0,2 Vol.-% abs.
Kohlendioxid CO_2 NDIR	0 ... 40,00 Vol.-%	0,01 %	± 0,3 % oder 5 % vom Messwert **
Kohlenwasserstoff HC NDIR	100 ... 40,000 ppm	10 ppm	± 400 ppm oder 5 % vom Messwert**
Kohlenmonoxid CO	0 ... 4.000 / 10.000 ppm*	0,01 ppm	± 10 ppm oder 5 % v. MW bis zu 4.000 ppm** oder 10 % v. MW bis zu 10.000 ppm**
Kohlenmonoxid CO low (Spezial Software und Kalibrierung)	0 ... 500 ppm	0,1 ppm	± 2 ppm oder 5 % vom Messwert**
Kohlenmonoxid CO very high	0 ... 40.000 / 100.000 ppm*	≤ 9.999 ppm: 1 ppm ≥ 10.000 ppm: 10 ppm	± 0,02 % oder 5 % v. MW bis zu 4,00 %** oder 10 % v. MW bis zu 10,00 %**
Stickstoff Monoxid NO	0 ... 1.000 / 5.000 ppm*	1 ppm	± 5 ppm oder 5 % v. MW bis zu 1.000 ppm** oder 10 % v. MW bis zu 5.000 ppm**
Stickstoff Monoxid NO low (Spezial Software und Kalibrierung)	0 ... 300 ppm	0,1 ppm	± 2 ppm oder 5 % vom Messwert**
Stickstoffdioxid NO_2	0 ... 200 / 1.000 ppm*	1 ppm	± 5 ppm oder 5 % v. MW bis zu 200 ppm** oder 10 % v. MW bis zu 1.000 ppm**
Stickstoffdioxid NO_2 low (Spezial Software und Kalibrierung)	0 ... 100 ppm	0,1 ppm	± 2 ppm oder 5 % vom Messwert**
Schwefeldioxid SO_2	0 ... 2.000 / 5.000 ppm*	1 ppm	± 10 ppm oder 5 % v. MW bis zu 2.000 ppm** oder 10 % v. MW bis zu 5.000 ppm**
Schwefelwasserstoff H_2S	0 ... 500 / 2.000 ppm*	1 ppm	± 5 ppm oder 5 % v. MW bis zu 500 ppm** oder 10 % v. MW bis zu 5.000 ppm**
Abgastemperatur T. Gas	0 ... 1.200 °C	0,1 °C	± 2 °C ... < 200 °C oder 1 % v. MW bis zu 200°C**
Verbrennungslufttemperatur T.Luft	0 ... 100 °C	0,1°C	± 1 °C
Differenztemperatur T1/T2	– 40 °C ... 1.200 °C (mit Thermoelement Typ K)	0,1 °C	± 2 °C oder 1% vom Messwert**
Zug/ Differenzdruck	– 300 ... + 300 hPa	0,01 hPa	± 0,02 hPa

** jeweils der größere Wert gilt

* nur für Kurzzeitmessungen

Abbildung 44: Auszug aus technischem Datenblatt des Kombimessgerätes [118]

Um Einflüsse im Randbereich des Probekörpers zu reduzieren, wurde ein seitlicher Abstand von 50 mm zum Rand des Bauteils auf jeder Seite eingehalten. Somit können zum Leckagestrom einzelne Rauchgaskomponenten differenziert betrachtet werden. Zur Berücksichtigung der Abgasfeuchte ist zudem ein Feuchtesensor vorgesehen. Neben der Gasanalytik ist das Gerät in der Lage, eine simultane Bestimmung des Volumenstroms über eine Kombi-Prandtl-Sonde durchzuführen. Die Sonde verfügt ebenfalls über ein Typ-K-Thermoelement, sodass der Volumenstrom unter Berücksichtigung der Abgasdichte bestimmt werden kann.

Bei den Vorversuchen wurde festgestellt, dass aus folgenden Gründen ein kontinuierlicher Spülluftstrom erforderlich ist:

- In der Anfangsphase erhalten Rauchgase oftmals nicht den nötigen Auftrieb, sodass die Messung stark zeitverzögert erfolgte.
- Rauchgase, die oberhalb des Rauchauffangkastens entstehen, können in das Messrohr absinken und somit die Konzentrationsmessung verfälschen.

- Es entstehen mitunter sehr hohe Rauchgaskonzentrationen, die den Messbereich überschreiten und auf Dauer zu einer Sensorvergiftung und Beschädigung des Messgerätes führen.

Zu diesem Zweck wurde auf der Unterseite des Rauchauffangkastens der Anschluss von zwei Spülluftleitungen vorgesehen. Die Versorgung mit Spülluft erfolgte über einen Druckluftkompressor, der über eine Lufttrocknungsanlage verfügt. Mittels eines Präzisionsdruckreglers wurde der Spülluftstrom vor Versuchsbeginn auf 2 l/s mit einer Abweichung von ± 0,2 l/s justiert. In Vorversuchen konnte bei einem Rohrquerschnitt von d = 50 mm kein signifikanter Überdruck (< 1 Pa) im Rauchauffangkasten festgestellt werden.

Die Volumenströme wurden in der Auswertung auf einen Normvolumenstrom bei 20 °C und 101,3 hpa umgerechnet.

Normierte Leckrate:

$$\dot{V}_{L,\infty} = \frac{dV}{dt} * \frac{T_\infty}{T_s} = \dot{V}_L * \frac{293{,}15\ K}{T_s} \qquad (6.2)$$

Die Auswertung der Gaskomponente i erfolgt als Massenstrom anhand folgender Gleichung:

$$\dot{m}_i = \frac{p\dot{V}_i}{R_f T_{Abgas}} \qquad (6.3)$$

mit

$$R_f = \frac{R_1}{1-\varphi\frac{p_d}{p_\infty}\left(1-\frac{R_1}{R_d}\right)} \qquad (6.4)$$

Die Gaskonstante R1 für trockene Luft wird mit R_1 = 287 J/(kg*K) und R_d =461, 5 J/(kg*K) für Wasserdampf verwendet. Um den Sättigungsdampfdruck bestimmen zu können, wird folgende Näherungsformel angewandt:

$$p_d = 10^{-3} * 10^{8{,}3246-\frac{1799{,}73}{\vartheta+238{,}734}} \qquad (6.5)$$

Die Anbringung des Rauchauffangkastens am Probekörper ist in Abbildung 45 schematisch dargestellt.

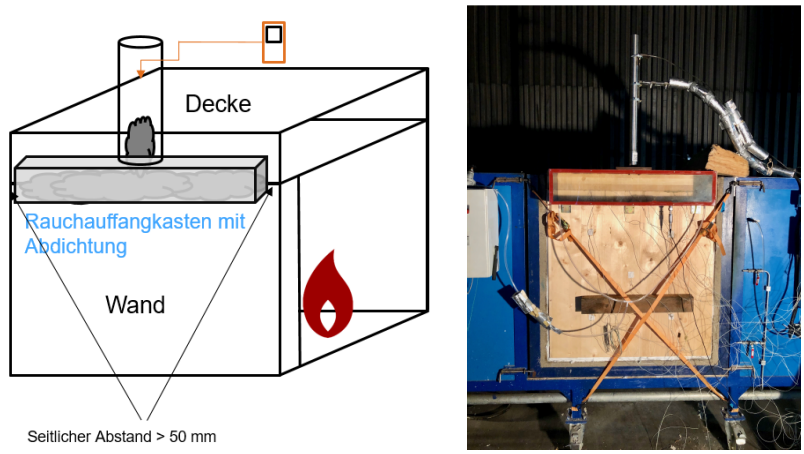


Abbildung 45: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus und Rauchauffangkasten

6.3 Versuchsdurchführung

Für die Untersuchung der Feuerwiderstandsfähigkeit gemäß §26 (3) LBO BW [2] bzw. die Erbringung des Nachweises der Widerstandsfähigkeit gegen die Brandausbreitung im Hinblick auf Bauteil-, Element- und Installationsfugen wurden im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes mehrere Brandversuche von 1 m x 1 m großen Wand- und Deckenbauteilen durchgeführt. Der Versuchskatalog enthielt eine Reihe von Anschlussdetails praxisrelevanter Bauteilfügungen von Elementen in Holztafel- und Holzmassivbauweise auf Basis von Verwendbarkeitsnachweisen bzw. technischen Regeln. Dabei wurden sowohl bekleidete als auch unbekleidete Varianten betrachtet. Die Grundlage der Versuchsdurchführung bildete dabei die Reduzierung der Bauteilaufbauten auf die brandschutztechnisch notwendige Schicht, womit eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf eine Vielzahl von Variationen gewährleistet bleibt. Für die Ausbildung der Fügestellen wurden unterschiedliche Dichtprinzipien wie Klebebänder / -schnüre, Schallschutzlager, Kompribänder oder Brandschutzmassen betrachtet. Durch den Versuchsaufbau ist davon auszugehen, dass die Brandversuche ein kritisches Szenario darstellen, da die relevante luft- bzw. rauchdichte Ebene im Vergleich zur späteren Ausführung näher an der brandzugewandten Seite liegt. Dabei wurden neben Holzbauteilen auch mineralische Bauweisen wie Stahlbeton- oder Trockenbauweisen vergleichend betrachtet.

Tabelle 14: Übersicht eingesetzter Messtechnik zur Rauchgasanalyse

Einsatzgebiet	**Messgerät**
Rauchgasanalytik	MRU Optima 7
Temperatur-Luftdruck-Feuchte Umgebung	Almemo FHAD 36-RAIC 102
Temperatur-Luftdruck-Feuchte Abgas	Almemo FHAD 36-RAIC 102
Datenlogger RAK	Almemo 710

Der vorgestellte Rauchauffangkasten lieferte hierfür in Kombination mit der Messtechnik (Tabelle 14) eine quantitative Bestimmung des Leckagestroms, die in Kombination mit einer Gasanalytik eine direkte Bestimmung der Volumen- bzw. Massenströme relevanter Rauchgaskomponenten ermöglichte.

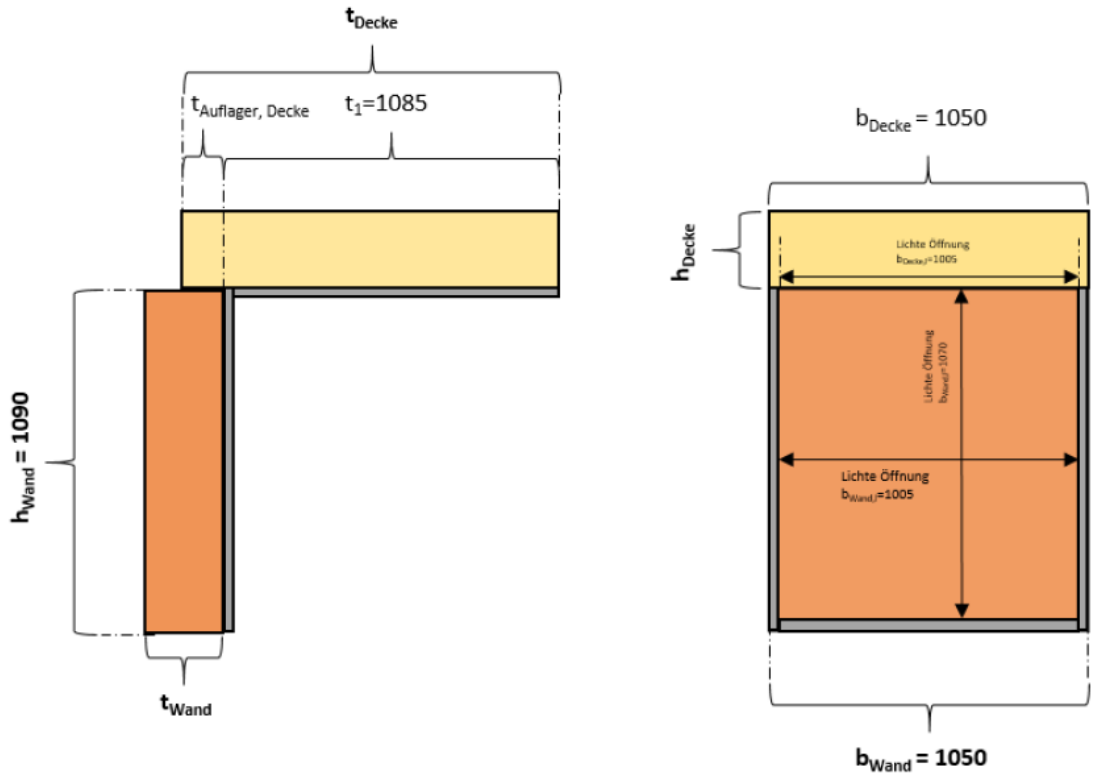


Abbildung 46: Probekörperabmessungen im 1 m x 1 m Bauteilofen in mm

Eine Konditionierung der Probekörper erfolgte nicht mittels eines Klimaraums, jedoch bei nahezu konstanten Randbedingungen in der Laborhalle von 20 °C und ca. 50 % relativer Luftfeuchte. Die Bestimmung der Materialfeuchte erfolgte gravimetrisch anhand mehrerer Materialstichproben. Die Wand- bzw. Deckenelemente wurden zunächst zu L-förmigen Bauteilen zusammengesetzt und in die Ofenöffnung eingebracht. Anschließend erfolgte eine umlaufende Abdichtung der Probekörper mit Hochtemperaturglaswolle. Die Probekörper wurden mittels Spanngurten befestigt, um eine entsprechende Abdichtung zu gewährleisten und eine Lageveränderung zu verhindern.

Die Versuchsdurchführung erfolgt in Anlehnung an die DIN EN 1363-1 sowie DIN EN 1365-1/1365-2 mit einseitiger Beflammung eines gasbefeuerten Ofens - ohne Prüflast - über einen Zeitraum von 60 bzw. 90 Minuten mittels Einheits-Temperaturzeitkurve. Der Ofenüberdruck wurde mit 20 Pa definiert. Die Überwachung und Steuerung der Brandraumtemperatur erfolgte mit einem Plattenthermometer mittig 100 mm unterhalb der Decke. Da die Anordnung eines zweiten Plattenthermometers nicht möglich war, erfolgte eine Referenzmessung mit-

tels Mantelthermoelementen an derselben Position wie der des Plattenthermometers sowie mittig im Abstand von 100 mm zur Wand.

Für die Temperaturerfassung am Bauteil wurden durchgehend NiCr-Ni-Thermoelemente vom Typ K verwendet. Eine schematische Darstellung der Positionierung ist in Abbildung 47 dargestellt, die genaue Elementierung ist den jeweiligen Versuchsberichten entnommen werden. Die Aufzeichnung begann mindestens 10 Minuten vor Versuchsbeginn in einem Intervall von 5 Sekunden.

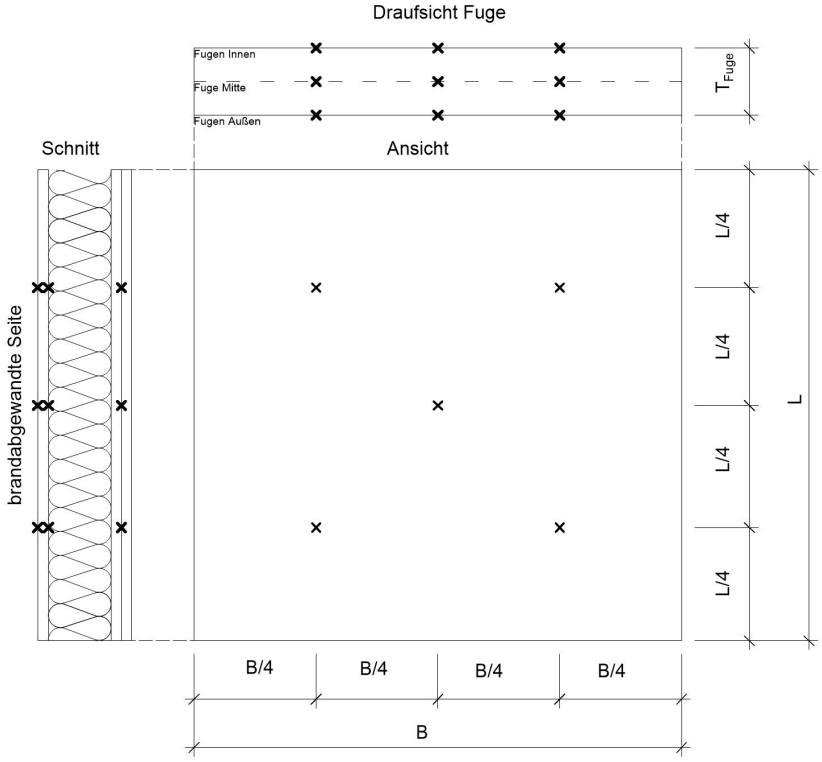


Abbildung 47: Standardpositionen der Thermoelemente in Wand- und Deckenbauteilen sowie Fuge

Für die brandraumabgewandte Seite sowie Hohlräume bzw. Dämmschichtebenen wurden Thermoelemente mit einem 12 mm Kupferplättchen der Dicke von 0,2 mm verwendet (Scheibenthermoelemente), während für alle anderen Ebenen Innenthermoelemente mit einer Schweißperle an der Spitze (Perlenthermoelemente) eingesetzt wurden. Die Scheibenthermoelemente an der Außenseite des Probekörpers wurden mittels Klammern befestigt und mit einer wärmedämmenden Abdeckung auf Silikatfaserbasis mit den Maßen 30 x 30 x 2 mm³ abgedeckt.

Für die Untersuchung des Raumabschlusses wurde ein Wattebausch aus Baumwollfasern gemäß DIN EN 1363-1 mit den Abmessungen 100 x 100 x 20 mm³ verwendet, der zuvor in einem Wärmeschrank bei 100 °C für 10 Minuten getrocknet und bis zur Verwendung in ei-

nem Exsikator aufbewahrt wurde. Zur Applikation wurde der Wattebausch in einem Drahtgestell mit den Maßen 100 x 100 x 20 mm³ positioniert, der mit einem Handgriff versehen war [20].

Folgende Bauteilebenen wurden in den vorliegenden Versuchen im Regelfall je nach Bauteilaufbau für Wand- und Deckenbauteile messtechnisch anhand der in Abbildung 47 dargestellten Positionen erfasst:

- brandabgewandte Seite der 1. brandzugewandten Bekleidungslage (sofern vorhanden),
- brandabgewandte Seite der Dämmung (sofern vorhanden) sowie
- brandabgewandte Seite des Bauteils (Außenseite).

Weiterhin erfolgte je nach Fugentyp die Positionierung von Thermoelementen in der Bauteilfuge gemäß Abbildung 47 an folgenden Positionen

- brandabgewandte Seite der Fuge,
- Mitte des Rähms / Schallschutzlagers / Massivholzbauteil sowie
- in Höhe der brandabgewandten Seite der 1. brandzugewandten Bekleidungslage.

Nach Versuchsende wurde der RAK demontiert und der Probekörper mittels eines Werkstattkrans aus der Ofenöffnung herausgehoben, abgesetzt und abgelöscht. Im Anschluss erfolgte eine Auftrennung der Bauteile zur Beurteilung der Abbrandtiefe. Alle weiteren Details können den Versuchsberichten in Anhang B entnommen werden.

7 Zusammenfassung und Auswertung der zugrundeliegenden Versuche

7.1 Versuche aus anderen nationalen und internationalen Forschungsvorhaben

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

7.1.1 Überblick der weiteren ausgewerteten Versuche

In den letzten Jahren haben sich viele Projekte mit der brandschutztechnischen Beurteilung von Holzkonstruktionen beschäftigt. Innerhalb der meisten Projekte und Industrieberichte wurden die erforderlichen Brandprüfungen nach der EN 1363- und der EN 1365-Reihe durchgeführt. Inhalt dieser Untersuchungen war neben der Beurteilung des Feuerwiderstandes der Elemente an sich auch die Betrachtung der Bauteilfugen.

Zur Bewertung der brandschutztechnischen Leistungsmerkmale der Prüfkörper werden die Kriterien „E“ (Raumabschluss) und „I“ (Isolation) der Klassifikationsnorm DIN EN 13501 [7] angewandt. Diese Kriterien stellen sicher, dass die Temperatur gegenüber den vorhandenen Umgebungsbedingungen nicht um mehr als 140 °C im Mittel bzw. 180 °C im Maximum auf der feuerabgewandten Seite des Prüfkörpers ansteigen und dass keine Heißgase oder Flammen auf der feuerabgewandten Seite aus dem Bauteil austreten. Der Rauchdurchtritt (Kalt- sowie Heißrauch) ist zum momentanen Zeitpunkt kein standardisiertes Beurteilungskriterium, womit eine allgemeingültige Bewertung hinsichtlich der „Rauchdichtheit“ als nicht gegeben anzusehen ist. Innerhalb des Prüfverfahrens der DIN 4102-2 werden visuelle Beobachtungen und daraus resultierende Bewertungen mit aufgenommen. Nachdem dies jedoch kein quantitatives Kriterium darstellt, weichen die Ergebnisse in den Prüfberichten teilweise stark voneinander ab und können abschließend nicht direkt miteinander verglichen werden.

Nachfolgend werden die Untersuchungsberichte aufgelistet, die dem vorliegenden Bericht zu Grunde liegen.

Tabelle 15: Auflistung der betrachteten Untersuchungs- und Forschungsberichte

Autor	**Stand**	**Titel**	**Kurzinhalt**	**Quelle**
Becker, K.; Tichelmann, K.; et al.	1997	Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise – Untersuchungsbericht Stufe 1	Zusammenfassung theoretischer Grundlagenuntersuchungen und Konkretisierung des Untersuchungsbedarfs in den nachfolgenden Projektstufen für ein brandschutztechnisch sicheres Bauen im mehrgeschossigen Holzbau	[119]
Frangi A., Fontana, M.	1999	Zum Brandverhalten von Holzdecken aus Hohlkastenelementen	Klein-/Großbrandversuche von Lignatur-Deckenelementen (Kasten-/Flächenelemente) 3 verschiedene Fugenausbildungen (Geaflexfeder, Nut-Kammverbindung) 60 und 90 Minuten Prüfdauer Temperaturbeanspruchung nach Einheitstemperaturzeitkurve (ETK)	[120]
Hosser, D.; Dehne, M.; Zehfuß, J.	2000	Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise – Untersuchungsbericht Stufe 2	Experimentelle Grundlagenuntersuchungen zur Entwicklung theoretischer Konzepte für die Ausführung mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise Temperaturbeanspruchung nach ETK	[121]
Hosser, D.; Wesche, J.; et al.	2001	Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise – Abschlussbericht	Empfehlungen für die Erarbeitung einer technischen Regel für Holzbauwerke der Gebäudeklasse 4 als Ergebnis der Stufe 3 des Forschungsvorhabens	[122]

Tabelle 15: Auflistung der betrachteten Untersuchungs- und Forschungsberichte (Fortsetzung)

Autor	Stand	Titel	Kurzinhalt	Quelle
Winter, Stein	2007	Untersuchung von brandschutztechnisch optimierten Wand- und Deckenaufbauten im Rahmen der Kampagne Brandschutz	Realbrandversuche zum Nachweis der Eingrenzung der Brandausbreitung durch einfache brandschutztechnische Maßnahmen in Holzgebäuden mit definierter Feuerwiderstandsdauer der Bauteile und Bauteilanschlüsse; Versuchsgebäude mit zwei Brandräumen mit Flur mit einem oberen Satteldachabschluss	[123]
Teibinger, Matzinger	2008	Urbanes Bauen in Holz- und Holzmischbauweise: Untersuchungen zum Brandverhalten von Wand-Deckenanschlüssen	5 Kleinbrandversuche von Wand- und Decken-Anschlüssen in Holzrahmen- und Holzmassivbauweise, Temperaturbeanspruchung nach ETK Prüfkörper bestehend aus halber Trennwand und Trenndecke Messstellen im Bereich der Anschlussfuge Versuchsdauer mind. 60 Minuten	[124]
Teibinger, Dolezal, Matzinger	2009	Deckenkonstruktionen für den mehrgeschossigen Holzbau	Durchführung von Kleinbrandversuchen im Rahmen der Entwicklung eines Bauteilkataloges für den mehrgeschossigen Holzbau	[125]
Hosser, Kampmeier	2008	Bewertung des Brandverhaltens unbekleideter flächiger massiver Bauteile im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten im mehrgeschossigen Holzbau unter Berücksichtigung des geltenden nationalen Sicherheitsniveaus sowie der DIN EN 1995-1-2	Kleinbrandversuche von Holzmassivelementen (160 mm dick) verschiedene Anschlussfugenausbildungen Temperaturbeanspruchung nach ETK	[126]
			Brandversuche mittlerer Größe von massiven Holzelementen mit einer Dicke von 110 mm Wand-/Deckenverbindungen und Elementfugen Temperaturbeanspruchung nach ETK	
			Großbrandversuche von Holzmassivelementen mit 120 mm Dicke 3 Anschlussfugenausbildungen Temperaturbeanspruchung nach ETK	

Tabelle 15: Auflistung der betrachteten Untersuchungs- und Forschungsberichte (Fortsetzung)

Autor	Stand	Titel	Kurzinhalt	Quelle
Osborne, Dagenais, Bénchiou	2012	Preliminary CLT Fire Resistance Testing Report	8 Großbrandversuche von BSP-Elementen (3 Wände, 5 Deckenelemente) Temperaturbeanspruchung nach ETK Versuche zum Einfluss verschiedener BSP-Lagen und Dicken auf den Feuerwiderstand	[127]
MFPA Leipzig GmbH, Studiengemeinschaft Holzleimbau	2013	Prüfbericht PB 3.2/12-119-1 Brettsperrholzwand mit 2 x 18 mm GKF Bekleidung	Großbrandversuch von 3-lagigen Brettsperrholzelementen zur Klassifizierung REI 90 + M 90 Minuten Brandbeanspruchung Temperaturbeanspruchung nach ETK	[128]
MFPA Leipzig GmbH, Studiengemeinschaft Holzleimbau	2013	Prüfbericht PB 3.2/13-210 Brettsperrholzwand mit 2 x 18 mm GKF Bekleidung	Großbrandversuch von 3-lagigen Brettsperrholzelementen zur Klassifizierung REI 90 + M 90 Minuten Brandbeanspruchung Temperaturbeanspruchung nach ETK	[129]
Mc Gregor	2013	Contribution of cross laminated timber panels to fire	Großbrandversuche von Brettsperrholzelementen mit 3 Lagen Naturbrandbelastung	[130]
Dagenais	2014	Fire Stops and Sealing Joints in Cross-laminated Timber Construction	6 kleinmaßstäbliche Brandversuche Unbekleidete Brettsperrholzelemente, 4 Wand-Decken-Anschlüsse mit Brandschutz-Dichtmasse 1 Versuch mit Fugendichtband, Durchdringungen eines unbekleideten BSP Elements	[131]

Tabelle 15: Auflistung der betrachteten Untersuchungs- und Forschungsberichte (Fortsetzung)

Autor	Stand	Titel	Kurzinhalt	Quelle
Gräfe, Merk, Werther, Winter	2014	Erarbeitung weiterführender Konstruktionsregeln / -details für mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4	4 Kleinbrandversuche Verschiedene Ausführungsarten von Fugen und Installationen v.a. im Hinblick auf das Kapselkriterium entsprechend M-HFHHolzR; Temperaturbeanspruchung nach ETK	[75]
Stein	2015	Zur Bewertung beeinflussender Faktoren auf Brandweiterleitungsmechanismen in Bauteilfugen vorgefertigter Holzbauelemente	Prüfung von 8 verschiedenen Anschlusskonstellationen als Kleinversuch Prüfung mit Rauchgaskanal Kalt- bzw. Heißversuche Ermittlung des Rauchdurchtritts über Rauchgaskanal, Temperaturbeanspruchung nach ETK	[132]
Hersteller A	2016	Gipsfaser-Platten: Brandschutz – CLT	2 Großversuche mit unterschiedlichen Elementfugen Temperaturbeanspruchung nach ETK	[133]
Imfeld, Wieland	2017	Holzverbindungen im Brandfall	6 Kleinbrandversuche 30 – 90 Minuten Brandbeanspruchung Temperaturbeanspruchung nach ETK Verschiedene Anschlusskonfigurationen von Wand-Deckenanschlüssen	[134]
Engel, Werther	2017	Untersuchungsbericht Nr. 02-03-17: XYLOFON Polyurethan Schalldämmband unter Brandbeanspruchung	Kleinbrandversuch nach DIN 4102-8 Prüfung einer Elementfuge mit Schalldämmstreifen Xylofon Rotho Blaas und luftdichter Abklebung auf der brandabgewandten Seite; Temperaturbeanspruchung nach ETK	[135]
Just, Karuse	2018	Large scale fire test of CLT – fire spread through the joints and penetrations	Realbrandversuch zum Selbstverlöschen innerhalb BSP-Gebäuden u.a. zur Darstellung der Brandausbreitung über Fugen und Durchdringungen sowie über die Fassade	[136]
Winston	2019	Fire stops in mass timber assemblies	Kleinbrandversuch zum Verhalten von Fugen und Durchdringungen mit Hilti-Brandschutzprodukten Temperaturbeanspruchung nach ETK	[137]

Tabelle 15: Auflistung der betrachteten Untersuchungs- und Forschungsberichte (Fortsetzung)

Autor	Stand	Titel	Kurzinhalt	Quelle
Werther, Kurzer	2019	Prüfbericht Nr. 01-10-19: Brandprüfung von einem Decken- und Wandelement zum Vergleich unterschiedlicher Bauteil- und Elementfugen im Holzbau	Kleinbrandversuch in Anlehnung an DIN EN 1363-4 Temperaturbeanspruchung nach ETK Unbelastetes Wand-Decken-Element mit 5 verschiedenen Fugenaufbauten Dokumentationskriterien für den Rauchdurchtritt entsprechend DIN 4102-4	[138]

7.1.2 Elementfugen

7.1.2.1 Hohlkastenelemente mit Federverbindungen

Tabelle 16: Fugen bei Hohlkastenelementen mit Federverbindungen

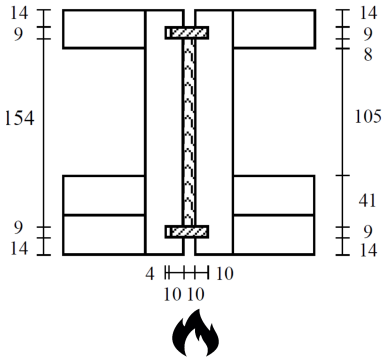
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Hohlkastenelement, doppelte Feder			
	- Lignatur-Elemente (Fichte, Festigkeitsklasse II entspr. SIA 164, ρ =450 kg/m³) - 2 Geaflexfedern furniert (Sperrholz), 9 x 30 mm - Fugendämmung: Mineralwolle 10 x 150 mm	- 60 min Prüfdauer, ETK - Kleinversuch (1.200 mm x 1.000 mm) - nicht belastet ➢ keine nennenswerte Temperaturerhöhung über die Prüfdauer auf der brandabgewandten Seite in der Fuge: Eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] ➢ kaum Rauchdurchtritt an der Fuge über die gesamte Versuchsdauer sichtbar	[120]
	- Lignatur-Elemente (Fichte, Festigkeitsklasse II entspr. SIA 164, ρ =450 kg/m³) - 2 Sperrholzfedern, 9 x 30 mm - Fugendämmung: Mineralwolle 10 x 150 mm	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großversuch (5.350 x 2.844 mm) - Belastung F_{fi} =33,6 kN ≙ 11,1 kN/m ➢ keine nennenswerte Temperaturerhöhung über die Prüfdauer auf der brandabgewandten Seite in der Fuge: Eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] ➢ kaum Rauchdurchtritt an der Fuge über die gesamte Versuchsdauer sichtbar	

Tabelle 16: Fugen bei Hohlkastenelementen mit Federverbindungen (Fortsetzung)

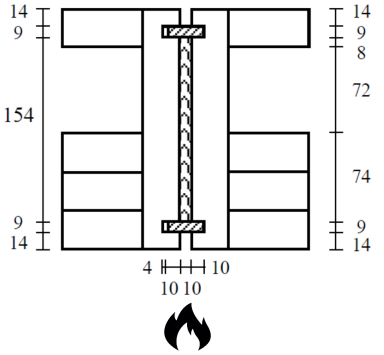
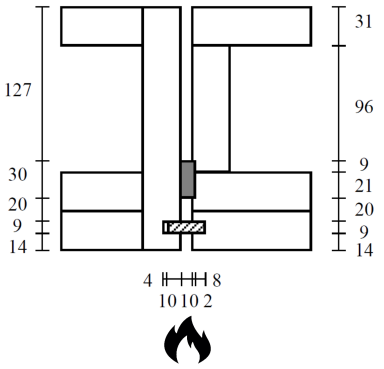
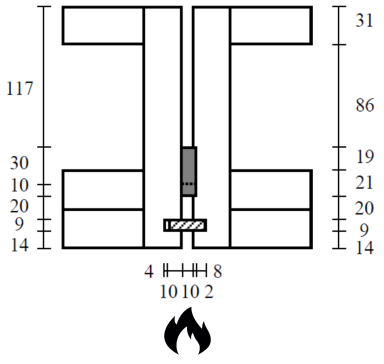
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Hohlkastenelement, doppelte Feder			
	- Lignatur-Elemente (Fichte, Festigkeitsklasse II entspr. SIA 164, ρ =450 kg/m³) - 2 Sperrholzfedern, 9 x 30 mm - Fugendämmung: Mineralwolle 10 x 150 mm	- 90 min Prüfdauer, ETK - Großversuch (5.350 x 2.844 mm) - F_{fi} =34,2 kN ≙ 12,03 kN/m ➢ keine nennenswerte Temperaturerhöhung über die Prüfdauer auf der brandabgewandten Seite der Fuge: eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] ➢ kaum Rauchdurchtritt an der Fuge über die gesamte Versuchsdauer sichtbar	[119]
Hohlkastenelement, einfache Feder			
	- Lignatur-Elemente (Fichte, Festigkeitsklasse II entspr. SIA 164, ρ =450 kg/m³) - 1 Geaflexfeder furniert (Sperrholz), 9 x 30 mm - Fugendichtband 12 x 30 mm (willseal firestop, Illbruck Bau AG)	- 60 min Prüfdauer, ETK - Kleinversuch (1.200 mm x 1.000 mm) - nicht belastet ➢ Temperaturerhöhung um ΔT = 49 K auf brandabgewandter Seite bis zum Aufquellen des Fugenbandes, ab Minute 35 Rückgang der Temperatur auf der brandabgewandten Seite: eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] ➢ starker Rauchdurchtritt an der Fuge von Minute 5 bis 16, danach Verschluss durch aufquellendes Fugenband	[120]
	- Lignatur-Elemente (Fichte, Festigkeitsklasse II entspr. SIA 164, ρ =450 kg/m³) - 1 Sperrholzfeder, 9 x 30 mm - Fugendichtband 12 x 30 mm und 12 x 40 mm (willseal firestop, Illbruck Bau AG), im Brandfall aufquellend	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großversuch (5.350 x 2.844 mm) - Belastung F_{fi} =33,6 kN ≙ 11,1 kN/m ➢ keine nennenswerte Temperaturerhöhung über die Prüfdauer auf der brandabgewandten Seite in der Fuge: eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] ➢ geringer Rauchdurchtritt an der Fuge von Minute 7 bis 37, danach Verschluss durch aufquellendes Fugenband	

Tabelle 16: Fugen bei Hohlkastenelementen mit Federverbindungen (Fortsetzung)

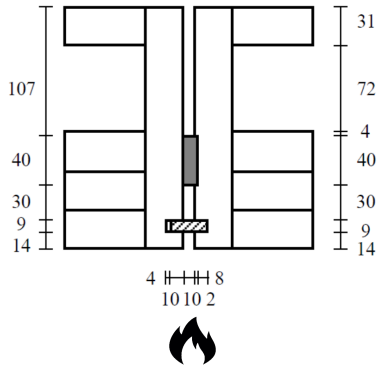
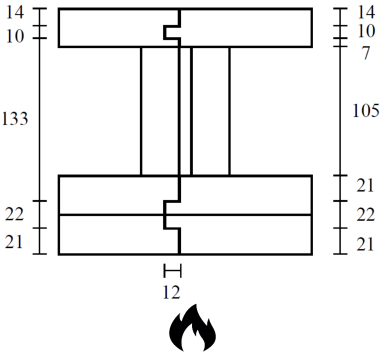
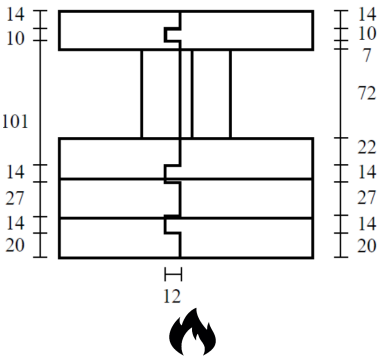
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Hohlkastenelement, einfache Feder			
	- Lignatur-Elemente (Fichte, Festigkeitsklasse II entspr. SIA 164, ρ =450 kg/m³) - 1 Sperrholzfeder, 9 x 30 mm - Fugendichtband 12 x 40 mm (willseal firestop, Illbruck Bau AG)	- 90 min Prüfdauer, ETK - Großversuch (5.350 x 2.844 mm) - F_{fi} =34,2 kN ≙ 12,03 kN/m ➢ Temperaturerhöhung um ΔT = 36 K auf brandabgewandter Seite bis zum Aufquellen des Fugenbandes, ab Minute 53 Rückgang der Temperatur auf der brandabgewandten Seite, ab Minute 86 wieder Anstieg bis 59 °C: eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] ➢ starker Rauchdurchtritt an der Fuge von Minute 3 bis 30, danach Verschluss durch aufquellendes Fugendichtband, ab Minute 30 geringer Rauchaustritt, ab Minute 85 nochmals geringer Rauchaustritt	[119]
Hohlkastenelement, doppelte Nut-Kammverbindung			
	- Lignatur-Elemente (Fichte, Festigkeitsklasse II entspr. SIA 164, ρ =450 kg/m³) - doppelte Nut-Kamm-Verbindung	- 60 min Prüfdauer, ETK - Kleinversuch (1.200 mm x 1.000 mm) - nicht belastet ➢ keine nennenswerte Temperaturerhöhung über die Prüfdauer auf der brandabgewandten Seite in der Fuge: eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] ➢ kaum Rauchdurchtritt an der Fuge über die gesamte Versuchsdauer sichtbar	[120]
		- 60 min Prüfdauer, ETK - Großversuch (5.350 x 2.844 mm) - Belastung F_{fi} =33,6 kN ≙ 11,1 kN/m ➢ keine nennenswerte Temperaturerhöhung über die Prüfdauer auf der brandabgewandten Seite in der Fuge: eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] ➢ kaum Rauchdurchtritt an der Fuge über die gesamte Versuchsdauer sichtbar	

Tabelle 16: Fugen bei Hohlkastenelementen mit Federverbindungen (Fortsetzung)

Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Hohlkastenelement, doppelte Nut-Kammverbindung			
	- Lignatur-Elemente (Fichte, Festigkeitsklasse II entspr. SIA 164, ρ =450 kg/m³) - dreifache Nut-Kamm-Verbindung	- 90 min Prüfdauer, ETK - Großversuch (5.350 x 2.844 mm) - F_{fi} =34,2 kN ≙ 12,03 kN/m ➢ keine nennenswerte Temperaturerhöhung über die Prüfdauer auf der brandabgewandten Seite in der Fuge: eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] ➢ kaum Rauchdurchtritt an der Fuge über die gesamte Versuchsdauer sichtbar	

7.1.2.2 Stumpfe Elementstöße

Tabelle 17: Ausführung von Fugen bei stumpfen Elementstößen

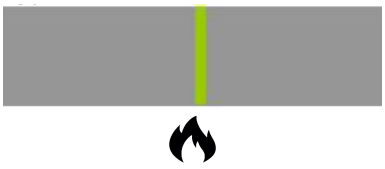
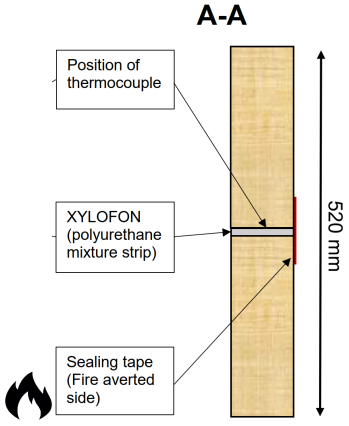
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, glatter Elementstoß			
	- Brettschichtholz (BSH) - Element - 160 mm Dicke - stumpf gestoßen, mit 10 mm Mineralwolle > 1.000 °C ausgedämmt (grün dargestellt)	- 60 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch nach DIN 4102-8 [95] - Prüfung mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ kein signifikanter Rauchdurchgang an der Fuge gemessen (Leckrate gegen 0 (< 0,01) $cm^3/(min*cm^2)$)	[126]
Brettsperrholz, glatter Elementstoß			
	- Brettsperrholz Binderholz GmbH - 100 mm Dicke, 5-lagig (20-(20)-20-(20)-20) - Fuge mit Rotho Blaas Xylophon 35 Shore, 6 mm - Fuge auf der brandabgewandten Seite luftdicht abgeklebt - Elementstoß an den Enden verschraubt	- 60 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch nach DIN 4102-8 - Thermoelemente in der Fuge bis zu einer Bauteiltiefe von 66 mm - nach 60 Minuten Prüfdauer 150 °C bei 66 mm Fugentiefe - zum Vergleich ca. 120 °C in einer Tiefe von 66 mm im Holzquerschnitt	[135]

Tabelle 17: Ausführung von Fugen bei stumpfen Elementstößen (Fortsetzung)

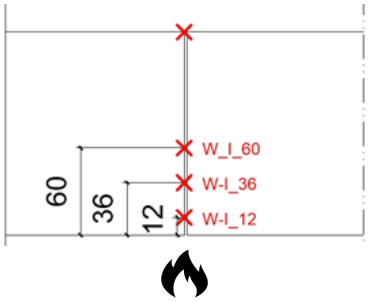
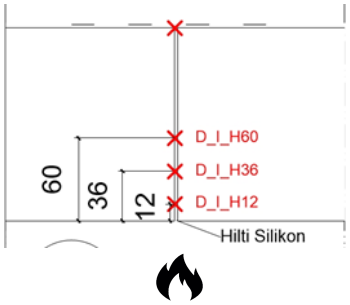
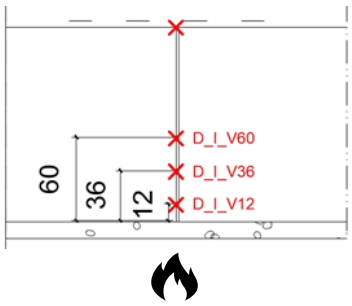
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, glatter Elementstoß ohne Brandschutzmaßnahme			
	- Brettschichtholz-Wandelement d = 120 mm - unbekleidet - Fugenausbildung Luftspalt 2 mm, keine weiteren Maßnahmen zur Rauchabdichtung	- 92 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,33m x 1,05m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ stellenweise messbare Strömung von 0,2 m/s nach 8 min, leichter Rauchaustritt (20 Pa Ofendruck) ➢ über weiteren Versuchsverlauf leichter Rauchaustritt im oberen und unteren Fugenbereich, im mittleren Bereich zunächst kein Rauchaustritt ➢ kein EI-Versagen	[138]
	- Brettschichtholz-Deckenelement d = 140 mm - unbekleidet - Fugenausbildung Luftspalt 2 mm - luftdichte Abklebung auf der brandabgewandten Seite - Abdichtung mit HILTI – Firestop Acrylic Sealant in 12,5 mm Fugentiefe	- 92 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,54 m x 1,05 m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ kein sichtbarer Rauchaustritt über gesamten Versuchsverlauf, keine messbare Luftströmung ➢ kein EI-Versagen	[138]
	- Brettschichtholz-Deckenelement d = 140 mm - Bekleidung mit 12,5 mm GKF - Fugenausbildung Luftspalt 2 mm - luftdichte Abklebung auf der brandabgewandten Seite	- 92 min Prüfdauer, ETK - Kleinversuch 1,54m x 1,05m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ kein sichtbarer Rauchaustritt über gesamten Versuchsverlauf, keine messbare Luftströmung ➢ kein EI-Versagen	[138]

Tabelle 17: Ausführung von Fugen bei stumpfen Elementstößen (Fortsetzung)

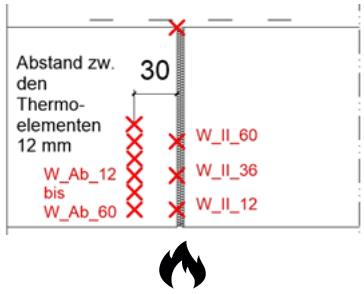
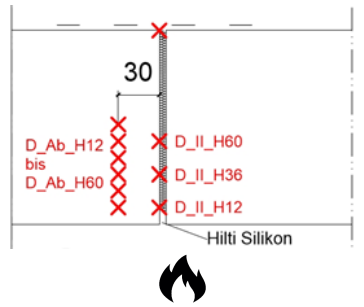
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, stumpfer Elementstoß mit komprimierter Holzfaser			
	- Brettschichtholz-Wandelement d = 120 mm - unbekleidet - Fugenausbildung (5 mm) mit Holzfaserdämmung (10 mm, komprimiert auf die Hälfte der Ausgangsdicke) - luftdichte Abklebung auf der brandabgewandten Seite	- 92 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,33 m x 1,05 m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ kein sichtbarer Rauchaustritt über gesamten Versuchsverlauf, keine messbare Luftströmung ➢ kein EI-Versagen	[138]
	- Brettschichtholz-Deckenelement d = 140 mm - unbekleidet - Fugenausbildung (5 mm) mit Holzfaserdämmung (10 mm, komprimiert auf die Hälfte der Ausgangsdicke) - Abdichtung mit HILTI – Firestop Acrylic Sealant in 12,5 mm Fugentiefe - luftdichte Abklebung auf der brandabgewandten Seite	- 92 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,54m x 1,05m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ kein sichtbarer Rauchaustritt über gesamten Versuchsverlauf, keine messbare Luftströmung ➢ kein EI-Versagen	[138]

Tabelle 17: Ausführung von Fugen bei stumpfen Elementstößen (Fortsetzung)

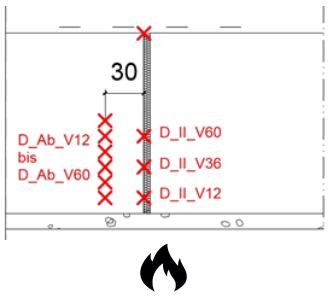
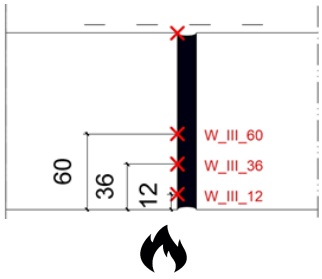
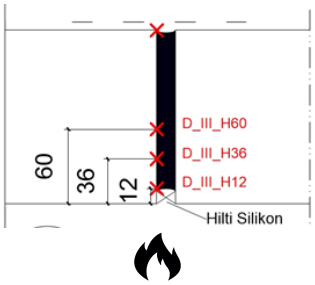
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, stumpfer Elementstoß mit komprimierter Holzfaser			
	- Brettschichtholz-Deckenelement d = 140 mm - Bekleidung mit 12,5 mm GKF - Fugenausbildung (5 mm) mit Holzfaserdämmung (10 mm, komprimiert auf die Hälfte der Ausgangsdicke) - luftdichte Abklebung auf der brandabgewandten Seite	- 92 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,54m x 1,05m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ kein sichtbarer Rauchaustritt über gesamten Versuchsverlauf, keine messbare Luftströmung ➢ kein EI-Versagen	[138]
Brettschichtholz, stumpfer Elementstoß mit Elastomerlager			
	- Brettschichtholz-Wandelement d = 120 mm - unbekleidet - Fugenausbildung (15 mm) mit Elastomerlager Sylodyn (15 mm) - luftdichte Abklebung auf der brandabgewandten Seite	- 92 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,33 m x 1,05 m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ Fuge versagt auf Durchbrand in der 55. Minute ➢ bis zum Durchbrand kein Rauchaustritt sichtbar	[138]
	- Brettschichtholz-Deckenelement d = 140 mm - unbekleidet - Abdichtung mit HILTI – Firestop Acrylic Sealant in 12,5 mm Fugentiefe - Fugenausbildung (15 mm) mit Elastomerlager Sylodyn (15 mm) - luftdichte Abklebung auf der brandabgewandten Seite	- 92 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,54m x 1,05m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ Schwarzfärbung an einer Stelle des Klebebandes, lokale Temperaturerhöhung über 180 K in der 84 Min. ➢ bis dahin kein Rauchaustritt sichtbar	[138]

Tabelle 17: Ausführung von Fugen bei stumpfen Elementstößen (Fortsetzung)

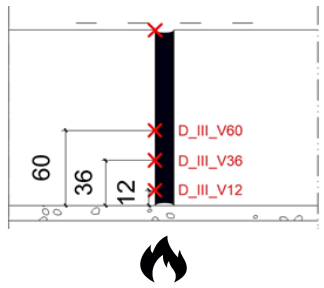
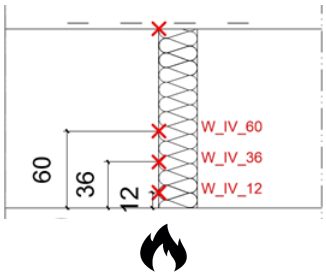
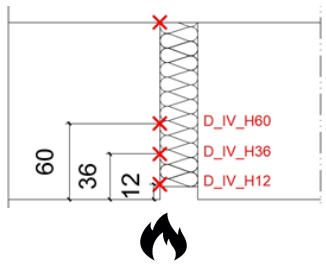
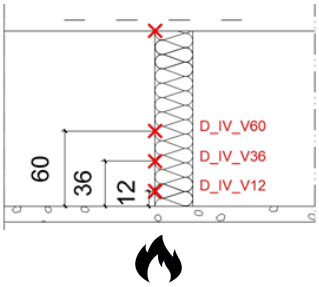
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, stumpfer Elementstoß mit Elastomerlager			
	- Brettschichtholz-Deckenelement d = 140 mm - Bekleidung mit 12,5 mm GKF - Fugenausbildung (15 mm) mit Elastomerlager Sylodyn (15 mm) - luftdichte Abklebung auf der brandabgewandten Seite	- 92 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,54 m x 1,05 m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ kein sichtbarer Rauchaustritt über gesamten Versuchsverlauf, keine messbare Luftströmung ➢ kein EI-Versagen	[138]
Brettschichtholz, stumpfer Elementstoß mit komprimierter Steinwolle			
	- Brettschichtholz-Wandelement d = 120 mm - unbekleidet - Fugenausbildung (30 mm) mit Mineralwolldämmung ≥ 1.000 °C (60 mm, komprimiert auf die Hälfte der Ausgangsdicke) - luftdichte Abklebung auf der brandabgewandten Seite	- 92 min Prüfdauer, ETK - Kleinversuch 1,332 m x 1,05 m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ kein sichtbarer Rauchaustritt über gesamten Versuchsverlauf, keine messbare Luftströmung ➢ kein EI-Versagen	[138]
	- Brettschichtholz-Deckenelement d = 140 mm - unbekleidet - Fugenausbildung (30 mm) mit Mineralwolldämmung ≥ 1.000 °C (60 mm, komprimiert auf die Hälfte der Ausgangsdicke) - 12 mm zurückgesetzte Dämmung brandzugewandt	- 92 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,54 m x 1,05 m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ Austritt von Dampf mit Kondensatbildung an der Oberfläche nach 15 Minuten ➢ dennoch kein sichtbarer Rauchaustritt über gesamten Versuchsverlauf ➢ kein EI-Versagen	[138]

Tabelle 17: Ausführung von Fugen bei stumpfen Elementstößen (Fortsetzung)

Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, stumpfer Elementstoß mit komprimierter Steinwolle			
	- Brettschichtholz-Deckenelement d = 140 mm - Bekleidung mit 12,5 mm GKF - Fugenausbildung (30 mm) mit Mineralwolldämmung ≥ 1.000 °C (60 mm, komprimiert auf die Hälfte der Ausgangsdicke) - luftdichte Abklebung auf der brandabgewandten Seite	- 92 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,54m x 1,05m - Thermoelemente in der Fuge über vollständige Fugentiefe - Strömungsmessung während Versuch ➢ kein sichtbarer Rauchaustritt über gesamten Versuchsverlauf, keine messbare Luftströmung ➢ kein EI-Versagen	[138]

7.1.2.3 Stufenfalz

Tabelle 18: Ausführung von Fugen mit Stufenfalz

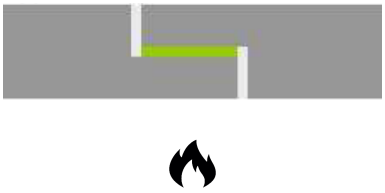
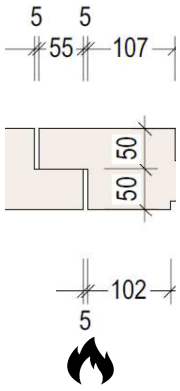
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, Stufenfalz			
	- Brettschichtholz (BSH) - Element - 160 mm Dicke - stumpf gestoßen, mit 10 mm Mineralwolle ≥ 1.000 °C Schmelzpunkt ausgedämmt (grün dargestellt)	- 60 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch nach DIN 4102-8 [95] - Prüfung mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ kein signifikanter Rauchdurchgang an der Fuge gemessen (Leckrate gegen 0 (< 0,01) $cm^3/(min*cm^2)$)	[126]
	- Brettschichtholzdecke GL24h 100 mm - Stufenfalz bei 50 mm mit l = 55 mm - Fuge von 5 mm - kraftschlüssig verschraubt - ohne weitere brandschutztechnische Vorkehrung	- 30 min Brandbeanspruchung - Kleinbrandversuch (1.160 x 960 mm) - ETK ➢ starker Rauchdurchtritt an der Fuge ab Minute 2 bei Ofendruck von 5,0 Pa ➢ eingehaltenes I-Kriterium nach EN 13501-2 [7]	[134]

Tabelle 18: Ausführung von Fugen mit Stufenfalz (Fortsetzung)

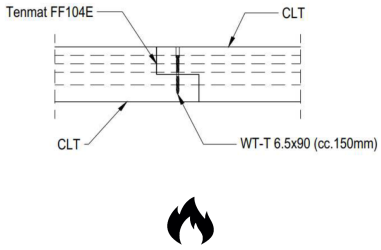
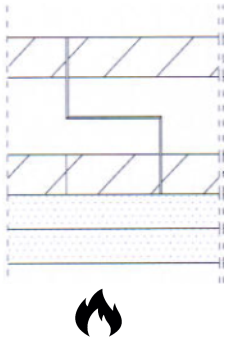
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettsperrholz, Stufenfalz			
	- Brettsperrholz-Wandelemente (130 mm, 40-30-20-20-20) - Stufenversatz, 100 mm Überlappung, bei 65 mm Bauteiltiefe - kraftschlüssiger Verbund - sichtbare Oberfläche - intumeszierendes Papier innerhalb der Fuge	- 140 min Prüfdauer, Realbrand mit 600 MJ/m² Brandlast (Abbildung eines vollmöblierten Büroraumes) ➢ im Stufenfalz (65 mm) max. Temperaturerhöhung auf 100 °C ➢ Temperaturen im Stufenfalz waren zu gering, um intumeszierendes Material zu aktivieren	[136]
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion (80 mm; 20-40-20) - Stufenversatz mit Verschraubung im Winkel von 30 ° bzw. 150 ° - im Fugenbereich selbstklebendes Dichtungsband „illbruck TP600“ - brandraumseitige 2-lagige Bekleidung mit 18 mm GKF-Platten	- 96 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 2.98 x 3,28 m - mechanischer Stoß - Belastung von 100 kN/m ➢ keine Schäden auf der brandabgewandten Seite nach dem ersten mechanischen Stoß, REI weiterhin erfüllt ➢ kein Rauchdurchtritt über die gesamte Prüfdauer ➢ Raumabschluss EI auch im Fugenbereich über die gesamte Prüfdauer eingehalten	[128]
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion (80 mm, 20-40-20) - Stufenversatz mit Verschraubung im Winkel von 30 ° - im Fugenbereich selbstklebendes Dichtungsband „illbruck TP600“ - brandraumseitige 2-lagige Bekleidung mit 18 mm GKF-Platten	- 95 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 2.98 x 3,28 m - mechanischer Stoß - Belastung von 300 kN/m ➢ keine Schäden auf der brandabgewandten Seite nach dem mechanischen Stoß, REI weiterhin erfüllt ➢ kein Rauchdurchtritt über die gesamte Prüfdauer	[129]

Tabelle 18: Ausführung von Fugen mit Stufenfalz (Fortsetzung)

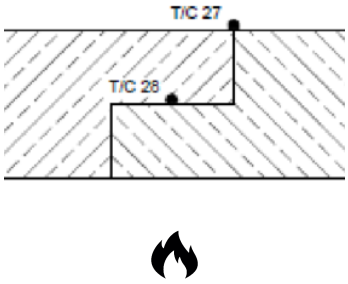
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettsperrholz, Stufenfalz			
	- Brettsperrholz-Deckenkonstruktion 3-lagig, Dicke 114 mm - Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite aus 2 x 12,7 mm GKF Lagen - Breite Stufenfalz 64 mm, kraftschlüssig durch Schrauben im Abstand von 300 mm	- 77 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 4,786 x 3,555 m - Belastung von 2,70 kPa ➢ kein Versagen ➢ kein Rauchaustritt aus der Fuge auf der brandabgewandten Seite	[127]
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion 3-lagig, Dicke 114 mm - Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite aus 2 x 12,7 mm GKF Lagen - Breite Stufenfalz 64 mm, kraftschlüssig durch Schrauben im Abstand von 300 mm	- 106 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 3,658 x 3,048 m - Belastung von 333 kN/m ➢ Versagen auf R ➢ Minute 59: Rauchdurchtritt über die Fuge auf der feuerabgewandten Seite ➢ Temperatur des Rauches auf der feuerabgewandten Seite max. 100 °C	
	- Brettsperrholz-Deckenkonstruktion 5-lagig, Dicke 175 mm - keine Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite - Breite Stufenfalz 64 mm, kraftschlüssig durch Schrauben im Abstand von 300 mm	- 96 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 4,846 x 3,632 m - Belastung von 11,75 kPa ➢ Versagen auf EI ➢ Minute 92: Rauchaustritt aus Fuge auf der brandabgewandten Seite ➢ Minute 96: Flammenaustritt aus der Fuge	

Tabelle 18: Ausführung von Fugen mit Stufenfalz (Fortsetzung)

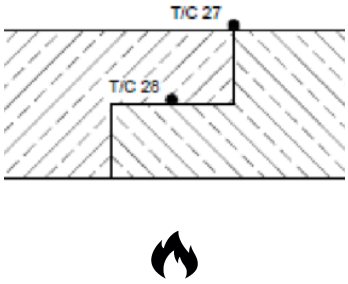
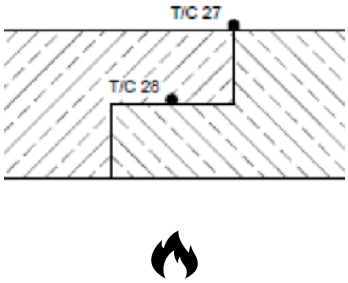
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettsperrholz, Stufenfalz			
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion 5-lagig, Dicke 175 - keine Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite - Breite Stufenfalz 64 mm, kraftschlüssig durch Schrauben im Abstand von 300 mm	- 113 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 3,658 x 3,048 m - Belastung von 333 kN/m ➢ Versagen auf R ➢ ab Minute 105 Austritt von Rauch aus der Fuge auf der feuerabgewandten Seite	
	- Brettsperrholz-Deckenkonstruktion 3-lagig, Dicke 105 mm - Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite aus 1 x 15,9 mm GKF Lage - Breite Stufenfalz 64 mm, kraftschlüssig durch Schrauben im Abstand von 300 mm	- 86 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 3,658 x 3,048 m - Belastung von 2,40 kPa ➢ Versagen auf EI ➢ kein Rauchaustritt aus den Fugen auf der brandabgewandten Seite während des Versuches	
	- Brettsperrholz-Deckenkonstruktion 5-lagig, Dicke 175 mm - Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite aus 1 x 15,9 mm GKF Lage - Breite Stufenfalz 64 mm, kraftschlüssig durch Schrauben im Abstand von 300 mm	- 124 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 3,658 x 3,048 m - Belastung von 8,10 kPa ➢ Versagen auf Raumabschluss ➢ Minute 87: Rauchaustritt über die Fuge auf der brandabgewandten Seite ➢ Minute 120: extremer Rauchaustritt aus der Fuge	[127]

Tabelle 18: Ausführung von Fugen mit Stufenfalz (Fortsetzung)

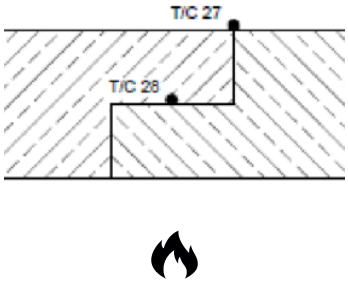
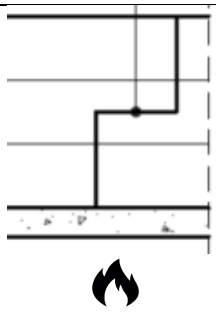
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettsperrholz, Stufenfalz			
	- Brettsperrholz-Deckenkonstruktion 7-lagig, Dicke 245 mm - keine Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite - Breite Stufenfalz 64 mm, kraftschlüssig durch Schrauben im Abstand von 300 mm	- 178 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 3,658 x 3,048 m - Belastung von 14,58 kPa ➢ Versagen auf Raumabschluss ➢ Minute 155: Starker Rauchaustritt aus Fuge auf der brandabgewandten Seite	[126]
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion 5-lagig, Dicke 105 mm - keine Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite - Breite Stufenfalz 64 mm, kraftschlüssig durch Schrauben im Abstand von 300 mm	- 57 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 3,658 x 3,048 m - Belastung von 72 kN/m ➢ Versagen auf Tragfähigkeit ➢ Minute 57: Flammenaustritt aus der Fuge auf der brandabgewandten Seite bei Versagen auf Tragfähigkeit	
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion 3-lagig, Dicke 120 mm (40-40-40) - Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite 18 mm Gipsfaserplatte	- 125 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 2,980 x 3,000 m - Belastung von 120 kN/m ➢ über die Beanspruchungsdauer von 120 min kein EI-Versagen und Rauchaustritt festgestellt	[133]

Tabelle 18: Ausführung von Fugen mit Stufenfalz (Fortsetzung)

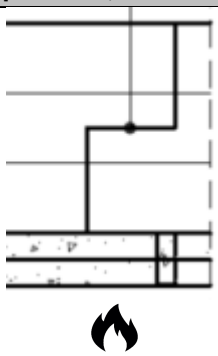
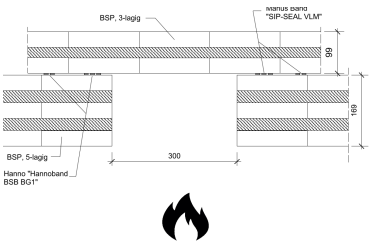
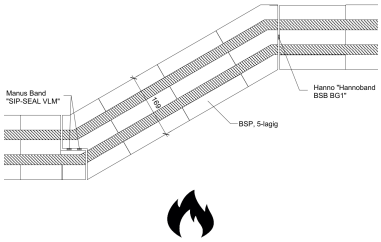
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettsperrholz, Stufenfalz			
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion 3-lagig, Dicke 120 mm (40-40-40) - Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite 2 x15 mm Gipsfaserplatte	- 132 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 2,980 x 3,000 m - Last von 200 kN/m bis Min. 90, 150 kN/m bis Min. 120 ➢ über die Beanspruchungsdauer von 120 min kein EI-Versagen und kein Rauchaustritt festgestellt	[130]
Brettsperrholz, Verbindungsstück			
	- 2 Brettsperrholzelemente, 169 mm Dicke, 5-lagig, mit einem Abstand von 0,30 m - Verbindungsstück: Brettsperrholzelement, 3-lagig, 99 mm Dicke - Seite 1: Abdichtung mit 2 Streifen Dichtungsbändern, Hannoband BSB BG 1 - Seite 2: Abdichtung mit Brandschutzdichtmasse Manus-Bond SIP SEAL VLM	- 120 min Prüfdauer, ETK - Kleinversuch 0,7 x 2,13 m ➢ Temperatur brandabgewandt entlang der Anschlussfugen max. 28 °C auf Seite 1 bzw. max. 65 °C auf Seite 2 auf brandabgewandter Seite der Fugen ➢ nach 108 Minuten erste Rauchaustritte am 3-lagigen BSP-Verbindungsstück ➢ kein Flammenaustritt an den Fugen	[131]

Tabelle 18: Ausführung von Fugen mit Stufenfalz (Fortsetzung)

Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettsperrholz, Stufenfalz			
	- 2 Brettsperrholzelemente, 169 mm Dicke, 5-lagig, höhenversetzt - Verbindungsstück: 5-lagiges Brettsperrholzelement, 169 mm Dicke - Fuge 1: Stufenfalz mit Abdichtung durch Manus Bond SIP SEAL VLM - Fuge 2: stumpf gestoßen mit Abdichtung durch Hannoband BSB BG 1 - geringe bis keine Spaltbreite	- 120 min Prüfdauer, Brandraumkurve mehrmals oberhalb der ETK - Kleinversuch 0,7 x 2,13 m - Thermoelemente an den Anschlussfugen ➢ Temperatur brandabgewandt entlang der Anschlussfugen Fuge 1: max. 50 °C ➢ Temperatur brandabgewandt in Fuge 2 max. 71 °C ➢ kein Feuer- und Rauchdurchtritt durch die Fugen und den Prüfkörper beobachtet	[131]

7.1.2.4 Verbindungen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung

Tabelle 19: Ausführung von Fugen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung

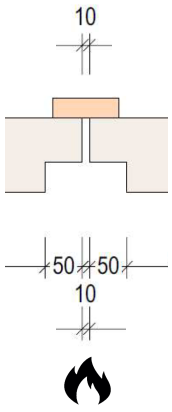
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, Deckbrett/Koppelbrett			
	- Brettschichtholzdecke GL24h 100 mm - kraftschlüssig über Deckbrett (27 mm Dicke) verschraubt - Fuge von 10 mm - ohne weitere brandschutztechnische Vorkehrung	- 30 min Brandbeanspruchung - Kleinbrandversuch (1.160 x 960 mm) - ETK ➢ starker Rauchdurchtritt an der Fuge ab Minute 2 bei Ofendruck von 5,0 Pa ➢ Überschreiten des Temperaturkriteriums von 180 K nach 10 min auf brandabgewandter Seite im Fugenbereich	[134]

Tabelle 19: Ausführung von Fugen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung (Fortsetzung)

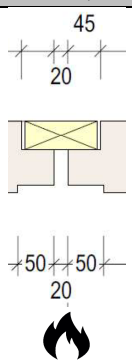
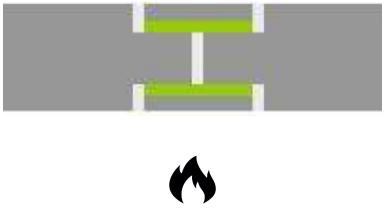
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, Deckbrett/Koppelbrett			
	- Brettschicht-holzdecke GL24h 100 mm - kraftschlüssig über Koppelbrett (40 mm Dicke) verschraubt - Einkerbung von 10 mm auf der brandzugewand-ten Seite im Fu-genbereich - Fuge von 20 mm - ohne weitere brandschutz-technische Vor-kehrung	- 30 min Brandbeanspruchung - Kleinbrandversuch (1.160 x 960 mm) - ETK ➢ starker Rauchdurchtritt an der Fuge ab Minute 2 bei Ofen-druck von 5,0 Pa ➢ Überschreiten des Tempera-turkriteriums von 180 K nach 22 min auf brandabgewandter Seite im Fugenbereich	[134]
Brettschichtholz, beidseitiges Koppelbrett			
	- Brettschichtholz (BSH) - Element - 160 mm Dicke - stumpf gesto-ßen, mit 10 mm Mineralwolle ≥ 1.000 °C Schmelzpunkt ausgedämmt (grün dargestellt)	- 60 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch nach DIN 4102-8 [95] - Prüfung mittels Rauchauffang-kasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ kein signifikanter Rauchdurch-gang an der Fuge gemessen (Leckrate gegen 0 $cm^3/(min*cm^2)$	[126]
Brettstapeldecke, Koppelbrett und Fremdfeder			
	- Brettstapeldecke - Dicke 140 mm - keine Abde-ckung auf der Deckenoberseite vorhanden	- Realbrandversuch 30 min - Brandlast: Holzkrippen mit einer Brandlast von 619 MJ/m² ➢ Abbrand der Decke bei ca. 20 mm ➢ keine Brandausbreitung durch die Fugenausbildung in be-nachbarte Bereiche	[123]

Tabelle 19: Ausführung von Fugen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung (Fortsetzung)

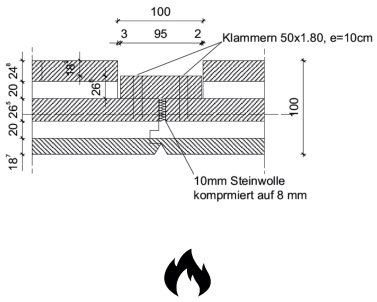
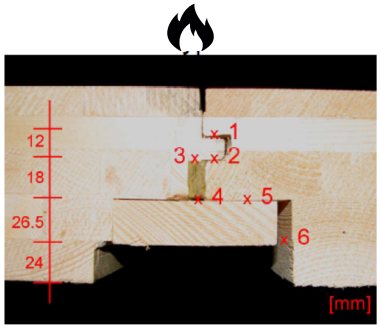
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettsperrholz, einfache Nut-Feder-Verbindung, einseitiges Koppelbrett abgesenkt			
	- Brettsperrholz (BSP) – Element - 110 mm Dicke - Stöße als einfache Nut-Feder-Verbindung mit 26,5 mm dickem und 95 mm breitem Koppelbrett - in der Fuge 10 mm dicker Steinwollstreifen auf ca. 8 mm komprimiert	- 60 min Prüfdauer, ETK - Kleinbrandversuch - 1,60 x 0,50 m - Prüfung mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ von Minute 3 - 15 geringer Rauchaustritt an der Fuge über Rauchauffangkasten ➢ ab 43. Minute Wiedereinsetzen des gemessenen Rauchaustritts ➢ ab Minute 43 sichtbarer Rauchaustritt aus Elementfuge ➢ Grenzwert von 54 $cm^3/(min*m)$ wird deutlich überschritten ➢ Temperaturanstieg unterhalb des Koppelbrettes: nach 60 Minuten 515 °C ➢ nicht eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7]	[126]
	- Brettsperrholz (BSP) – Element (Wand) - 120 mm Dicke - Stöße als einfache Nut-Feder-Verbindung mit 26,5 mm dickem und 95 mm breitem Koppelbrett, 24 mm abgesenkt - in der Fuge Steinwollstreifen 18 mm x 15 mm - beide Wandelemente unbekleidet	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch (Realmaßstab, 4 Wände b x h 3,80 m x 1,5 m) - unbelastet ➢ Temperaturanstieg unterhalb des Koppelbrettes: < 120 °C nach 60 Minuten: EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] eingehalten ➢ Rauchdurchtritt an der Fuge während der Prüfung erkennbar	[126]

Tabelle 19: Ausführung von Fugen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung (Fortsetzung)

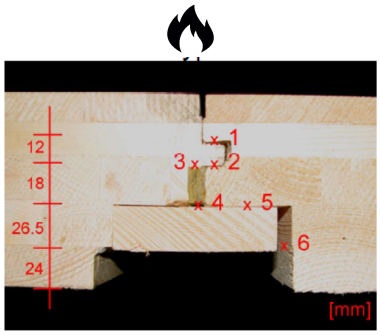
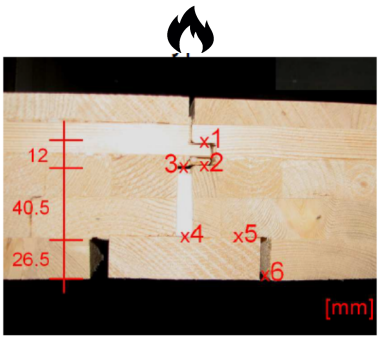
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettsperrholz, einfache Nut-Feder-Verbindung, einseitiges Koppelbrett abgesenkt			
	- Brettsperrholz (BSP) – Element (Wand) - 120 mm Dicke - Stöße als einfache Nut-Feder-Verbindung mit 26,5 mm dickem und 95 mm breitem Koppelbrett, 18 mm abgesenkt - in der Fuge Steinwollstreifen 18 mm x 15 mm - linkes Element wurde mit Bekleidung $K_2$30 brandraumseitig bekleidet	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch (Realmaßstab, 4 Wände b x h 3,80 m x 1,5 m) - unbelastet - Prüfung mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ bis 10. Minute Anstieg der Leckrate auf ca. 24 cm²/(min*m), anschließend Abfallen ➢ ab 50. Minute erneuter Anstieg auf ca. 18 cm²/(min*m) ➢ Grenzwert von 54 cm^3/(min*m) wird nicht überschritten ➢ Feststellung von Rauchdurchtritt an Fuge neben dem Rauchkanal	[126]
Brettsperrholz, einfache Nut-Feder-Verbindung, einseitiges Koppelbrett			
	**Ausführungsvariante A** - Brettsperrholz (BSP) – Element (Wand) - 120 mm Dicke - Stöße als einfache Nut-Feder-Verbindung mit 26,5 mm dickem und 95 mm breitem Koppelbrett - in der Fuge (10 mm) Steinwollstreifen 40 mm x **20 mm** (Darstellung mit Keramikpapier)	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch (Realmaßstab, 4 Wände b x h 3,80 m x 1,5 m) - unbelastet - Prüfung mittels Rauchauffangkasten für Ausführungsvariante B (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ Temperaturanstieg unterhalb des Koppelbrettes: < 100 °C nach 60 Minuten ➢ EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] brandabgewandt eingehalten ➢ Rauchdurchtritt an der Fuge bei beiden Fugenvarianten während der Prüfung erkennbar ➢ keine signifikanten Unterschiede bei den Ausführungsvarianten A und B	[126]

Tabelle 19: Ausführung von Fugen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung (Fortsetzung)

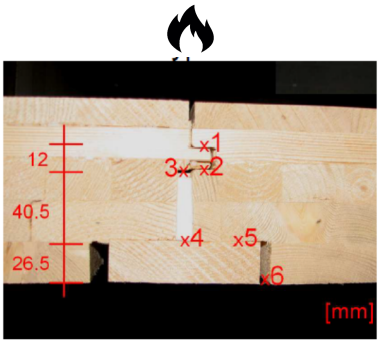
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettsperrholz, einfache Nut-Feder-Verbindung, einseitiges Koppelbrett			
	**Ausführungsvariante B** - Brettsperrholz (BSP) – Element (Wand) - 120 mm Dicke - Stöße als einfache Nut-Feder-Verbindung mit 26,5 mm dickem und 95 mm breitem Koppelbrett - in der Fuge (10 mm) Steinwollstreifen 40 mm x **15 mm** (Darstellung mit Keramikpapier)	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch (Realmaßstab, 4 Wände b x h 3,80 m x 1,5 m) - unbelastet - Prüfung mittels Rauchauffangkasten für Ausführungsvariante B (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ Temperaturanstieg unterhalb des Koppelbrettes: < 100 °C nach 60 Minuten ➢ EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] brandabgewandt eingehalten ➢ Rauchdurchtritt an der Fuge bei beiden Fugenvarianten während der Prüfung erkennbar ➢ keine signifikanten Unterschiede bei den Ausführungsvarianten A und B Auswertung des Rauchgaskanals bei Variante B: ➢ bis 10. Minute Anstieg auf ca. 6 $cm^3/(min*m)$, anschließend Abfallen der Leckrate ➢ Grenzwert von 54 $cm^3/(min*m)$ wird nicht überschritten ➢ Feststellung von Rauchdurchtritt an Fuge neben dem Rauchkanal	[125]
	Ausführungsvariante C - Brettsperrholz (BSP) – Element (Wand) - 120 mm Dicke - Stöße als einfache Nut-Feder-Verbindung mit 26,5 mm dickem und 95 mm breitem Koppelbrett - in der Fuge (10 mm) Keramikpapier 40 mm x 10 mm	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch (Realmaßstab, 4 Wände b x h 3,80 m x 1,5 m) - unbelastet ➢ Temperaturanstieg unterhalb des Koppelbrettes: < 100 °C über 60 Minuten ➢ EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] brandabgewandt eingehalten ➢ Rauchdurchtritt an der Fuge während der Prüfung erkennbar	

Tabelle 19: Ausführung von Fugen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung (Fortsetzung)

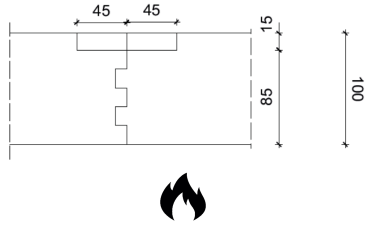
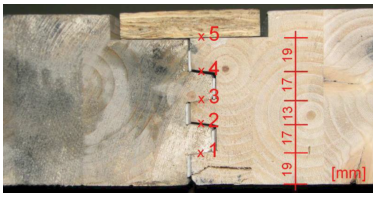
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, doppelte Nut-Feder-Verbindung, einseitiges Koppelbrett			
	- Brettschichtholz (BSH) – Element - 100 mm Dicke - Stoß als doppelte Nut-Feder-Verbindung mit 26,5 mm dickem und 95 mm breitem, aufgeklammerten Koppelbrett - auf den Stirnflächen der Federn 10 mm breite und 1 mm dicke Keramikpapierstreifen	- 60 min Prüfdauer, ETK - Brandversuch 1,60 x 0,50 m - Prüfung mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ keine Trübung im Rauchgaskanal während der Prüfung zu erkennen ➢ Grenzwert von 54 $cm^3/(min*m)$ wird nicht überschritten ➢ Temperaturanstieg unterhalb des Koppelbrettes < 180 K ➢ EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] eingehalten	[126]
	- Brettschichtholz (BSH) – Element (Decke) - 100 mm Dicke - Stoß als doppelte Nut-Feder-Verbindung mit 15 mm dickem und aufgeklammerten OSB-Koppelbrett - auf den Stirnflächen der Federn fünf 10 mm breite und 1 mm dicke Keramikpapierstreifen	- 60 min Prüfdauer, ETK - Kleinbrandversuch 1,60 x 0,50 m - Prüfung mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ Temperaturen unterhalb des Deckbrettes nach 60 Minuten < 50 °C ➢ EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] eingehalten ➢ Kondenswasser im Rauchauffangkasten erkennbar ➢ Rauchentwicklung an der Fuge über gesamte Prüfdauer nicht zu beobachten ➢ Grenzwert von 54 $cm^3/(min*m)$ wird nicht überschritten	[126]

Tabelle 19: Ausführung von Fugen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung (Fortsetzung)

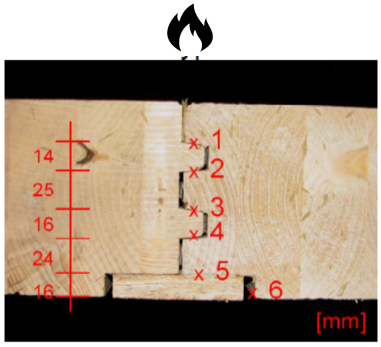
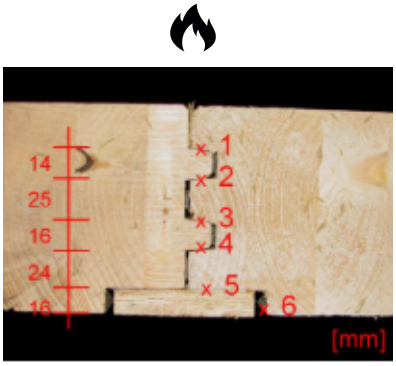
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, doppelte Nut-Feder-Verbindung, einseitiges Koppelbrett			
	- Brettschichtholz (BSH) – Element (Decke) - 100 mm Dicke - Stoß als doppelte Nut-Feder-Verbindung mit 26,5 mm dickem und 95 mm breitem, aufgeklammerten Koppelbrett - auf den Stirnflächen der Federn fünf 10 mm breite und 1 mm dicke Keramikpapierstreifen	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch (Realmaßstab, 4 Wände b x h 3,80 m x 1,5 m) - unbelastet - Prüfung mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ Temperaturen unterhalb des Deckbrettes nach 60 Minuten < 50 °C ➢ EI-Kriterium n. DIN EN 13501-2 [7] eingehalten ➢ langsame Erhöhung der Leckrate auf ca. 9 cm²/(min*m) bis zur 60. Prüfminute ➢ Grenzwert von 54 cm^3/(min*m) wird nicht überschritten ➢ Rauchdurchtritt außerhalb des Rauchauffangkastens erkennbar	[126]
	- Brettschichtholz (BSH) – Element (Decke) - 100 mm Dicke - Stoß als doppelte Nut-Feder-Verbindung mit 26,5 mm dickem und 95 mm breitem, aufgeklammerten Koppelbrett - auf den Stirnflächen der Federn fünf 10 mm breite und 1 mm dicke intumeszierende Dichtbänder	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch (Realmaßstab, 4 Wände b x h 3,80 m x 1,5 m) - unbelastet - Prüfung mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ Temperaturen unterhalb des Deckbrettes nach 60 Minuten < 50 °C ➢ EI-Kriterium n. DIN EN 13501-2 [7] eingehalten ➢ langsame Erhöhung der Leckrate auf ca. 12 cm^3/(min*m) bis zur 25. Prüfminute, danach Abflachen, erneute Erhöhung nach Minute 50 ➢ Grenzwert von 54 cm^3/(min*m) wird nicht überschritten ➢ Feststellung von Rauchdurchtritt an Fuge neben dem Rauchkanal	[126]

Tabelle 19: Ausführung von Fugen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung (Fortsetzung)

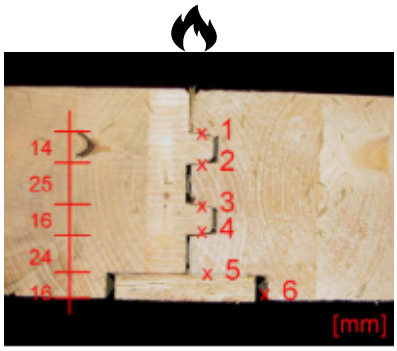
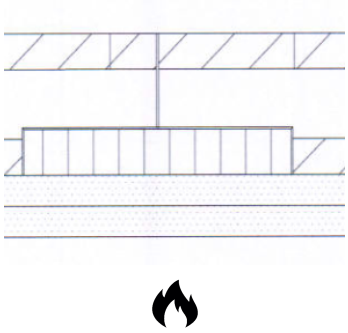
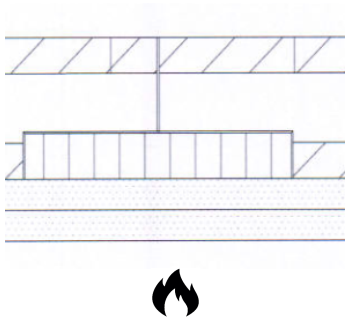
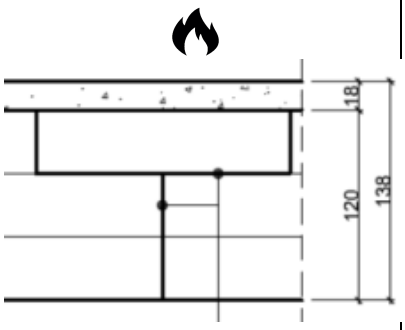
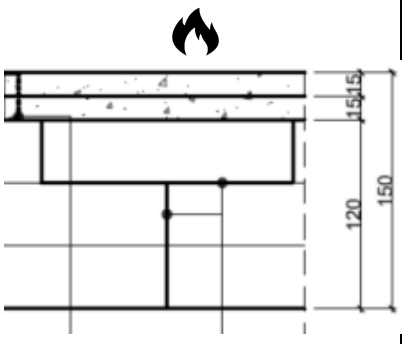
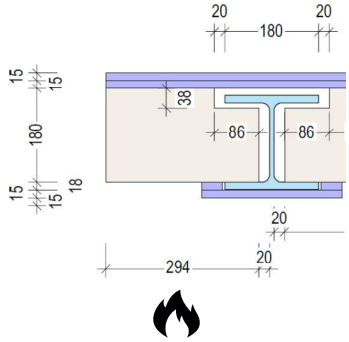
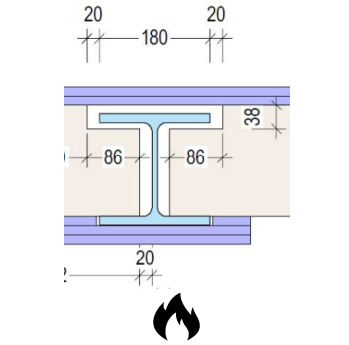
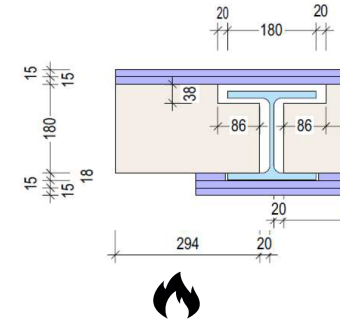
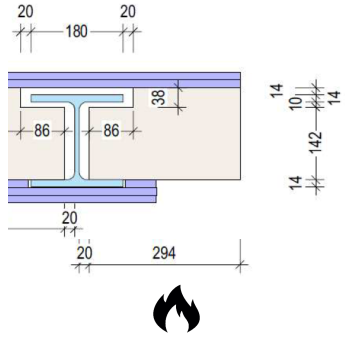
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, doppelte Nut-Feder-Verbindung, einseitiges Koppelbrett			
	- Brettschichtholz (BSH) – Element (Decke) - 100 mm Dicke - Stoß als doppelte Nut-Feder-Verbindung mit 26,5 mm dickem und 95 mm breitem, aufgeklammerten Koppelbrett - ohne zusätzliche Maßnahmen	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch (Realmaßstab, 4 Wände b x h 3,80 m x 1,5 m) - unbelastet - Prüfung mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ Temperaturen unterhalb des Deckbrettes nach 60 Minuten < 50 °C ➢ EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] eingehalten ➢ Erhöhung der Leckrate auf ca. 30 cm²/(min*m) bis zur 10. Prüfminute, danach Abflachen, stete Erhöhung auf 5 cm^3/(min*m) bis zur 60. Prüfminute ➢ Grenzwert von 54 cm²/(min*m) wird nicht überschritten ➢ Feststellung von Rauchdurchtritt an Fuge neben dem Rauchkanal	[126]
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion (80 mm) - Koppelbrett mit Verschraubung im Winkel von 30 ° bzw. 150 ° - im Fugenbereich selbstklebendes Dichtungsband „illbruck TP600“ - brandraumseitige zweilagige Bekleidung mit 18 mm GKF-Platten	- 96 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 2.98 x 3,28 m - mechanischer Stoß - Belastung von 100 kN/m ➢ keine Schäden auf der brandabgewandten Seite nach dem ersten mechanischen Stoß, REI weiterhin erfüllt ➢ 2 mm Öffnen der Fuge bei Prüfminute 76, 5 mm Öffnen nach 85 mm ➢ Rauchdurchtritt im oberen Wanddrittel bei Prüfminute 95,5 ➢ Raumabschluss EI im Fugenbereich über die gesamte Prüfdauer eingehalten	[128]

Tabelle 19: Ausführung von Fugen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung (Fortsetzung)

Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, doppelte Nut-Feder-Verbindung, einseitiges Koppelbrett			
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion (80 mm; 20-40-20) - Stufenversatz mit Verschraubung im Winkel von 30 ° bzw. 150 ° - im Fugenbereich selbstklebendes Dichtungsband „illbruck TP600“ - brandraumseitige zweilagige Bekleidung mit 18 mm GKF-Platten	- 95 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 2.98 x 3,28 m - mechanischer Stoß - Belastung von 300 kN/m ➢ keine Schäden auf der brandabgewandten Seite nach dem mechanischen Stoß, REI weiterhin erfüllt ➢ kein Rauchdurchtritt über die gesamte Prüfdauer	[129]
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion 3-lagig, Dicke 120 mm (40-40-40) - Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite 18 mm Gipsfaserplatte - Koppelbrett 40 mm	- 125 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 2,980 x 3,000 m - Belastung von 120 kN/m ➢ über die Beanspruchungsdauer von 120 min kein EI Versagen und Rauchaustritt festgestellt	
	- Brettsperrholz-Wandkonstruktion 3-lagig, Dicke 120 mm (40-40-40) - Bekleidung auf der feuerzugewandten Seite 2 x15 mm Gipsfaserplatte - Koppelbrett 40 mm	- 132 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch b x h 2,980 x 3,000 m - Last von 200 kN/m bis Min. 90, 150 kN/m bis Min. 120 ➢ über die Beanspruchungsdauer von 120 min kein EI-Versagen und Rauchaustritt festgestellt	

7.1.2.5 Holzdecken-Stahlträger-Verbindungen

Tabelle 20: Ausführung von Holzdecken-Stahlträger-Verbindungen

Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Brettschichtholz, Holzdecken-Stahlträger-Verbindung			
	- Brettschichtholzdecke (GL24h) 180 mm - Stahlprofile HEB 180, S235 - geschützt durch Gipsfaserplatte 15 mm - oberseitig mit 2 x 15 mm Gipsfaserplatte bekleidet	- 65 min Brandbeanspruchung, ETK - Kleinversuch 0,96 x 1,16 m ➢ Temperatur an Oberseite Flansch nach 65 min bei ca. 90 °C ➢ keine besonderen Beobachtungen zum Durchtritt von Feuer und Rauch auf der brandabgewandten Seite	[134]
	- Brettschichtholzdecke (GL24h) 180 mm - Stahlprofile HEB 180, S235 - geschützt durch Gipsfaserplatten 2 x 15 mm - oberseitig mit 2 x 15 mm Gipsfaserplatte bekleidet	- 65 min Brandbeanspruchung, ETK - Kleinversuch 0,96 x 1,16 m ➢ Temperatur an Oberseite Flansch nach 65 min bei ca. 40 °C ➢ keine besonderen Beobachtungen zum Durchtritt von Feuer und Rauch auf der brandabgewandten Seite	[134]
	- Brettstapeldecke mit Einkerbungen alle 40 mm auf Ober und Unterseite der Decke (GL24h) - Stahlprofile HEB 180, S235 - geschützt durch Gipsfaserplatten 2 x 15 mm	- 65 min Brandbeanspruchung, ETK - Kleinversuch 0,96 x 1,16 m ➢ Temperatur an Oberseite Flansch nach 65 min bei ca. 80 °C ➢ keine besonderen Beobachtungen zum Durchtritt von Feuer und Rauch auf der brandabgewandten Seite	[134]
	- Brettschichtholzdecke mit durchgehender 5 mm breiter Fuge alle 140 mm (GL24h) - Stahlprofile HEB 180, S235 - geschützt durch Gipsfaserplatten 2 x 15 mm	- 65 Minuten Brandbeanspruchung, ETK - Kleinversuch 0,96 x 1,16 m ➢ Temperatur an Oberseite Flansch nach 65 min bei ca. 75 °C ➢ keine besonderen Beobachtungen zum Durchtritt von Feuer und Rauch auf der brandabgewandten Seite	[134]

7.1.3 Bauteilfugen

7.1.3.1 Wand – Wand

Tabelle 21: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Wand

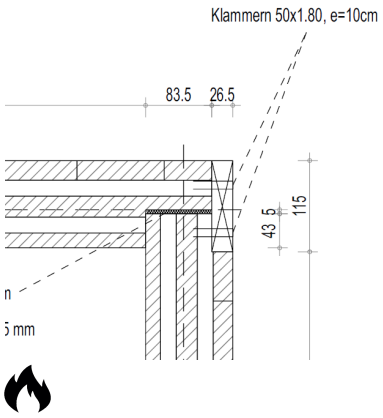
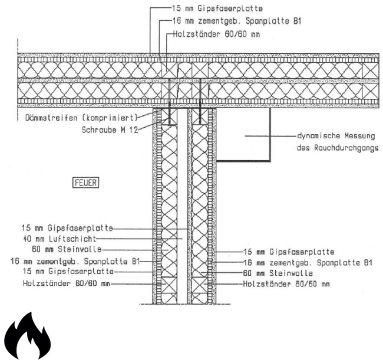
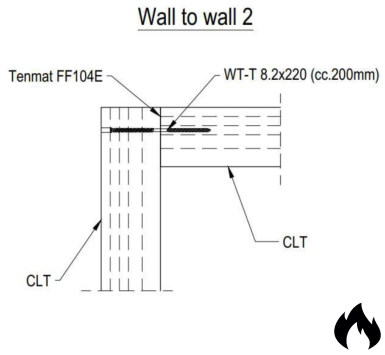
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Wand – Wand (Eckausbildung), Brettsperrholz			
	- Brettsperrholz (BSP) – Element - 110 mm Dicke - Verbindung der Elemente über Koppelbrett (b = 115 mm, d = 26,5 mm) und Verblattung - Abdichtung des Stufenfalzes durch 10 mm dicken Steinwollstreifen auf 5 mm komprimiert	- 60 min Prüfdauer, ETK - Kleinbrandversuch (Decke 0,21 x 0,16 m, Wände 1,2 x 0,5 m bzw. 1,6 x 0,5 m) ➢ kein bis geringer Rauchaustritt zu beobachten ➢ Temperatur auf brandabgewandter Seite < 180 K: Eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7]	[126]
Wand – Wand (stumpfer Stoß), Holztafelbau			
	- Wandelemente in Holztafelbau mit stumpfem Stoß verbunden - Holzständer 60 x 60 mm - Steinwolledämmung (60 mm) - Bekleidung aus Gipsfaserplatte (15 mm) und zementgebundener Spanplatte (16 mm) - Verbindung der Elemente durch kraftschlüssigen Verbund über M12-Gewindestangen im Abstand von jeweils 40 cm - Abdichtung der Fuge durch komprimierten Steinwollstreifen	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch (3,08 x 1,50 m) - Beobachtung über die Abkühlphase - Rauchauffangkasten ➢ Überschreitung des 300°C Kriteriums an der Holzkonstruktion hinter der brandraumseitigen Bekleidung nach 55 Minuten durch frühzeitige Rissbildungen in der Bekleidung ➢ keine lichttrübenden Einflüsse im Rauchauffangkasten über die gesamte Versuchsdauer trotz der Risse und Temperaturerhöhungen ➢ leichter Anstieg von CO_2 und CO auf maximal ca. 0,10% zwischen der 20. und 30. Minute sowie erneut ab der 45. Minute	[121]

Tabelle 21: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Wand (Fortsetzung)

Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Wand – Wand, Brettsperrholz			
	- Brettsperr-holzelemente - stumpf gestoßen - kraftschlüssiger Verbund - sichtbare Oberfläche bei einer der Wände - anschließende Wand mit 2 x 15 mm - intumeszierendes Papier innerhalb der Fuge	- 140 min Prüfdauer, Realbrand mit 600 MJ/m² Brandlast (Abbildung eines vollmöblierten Büroraumes) ➢ auf brandabgewandter Seite innerhalb der BSP-Elemente kurzzeitiger Anstieg auf 220 °C ➢ anschließend ca. 25 °C bis Versuchsende	[136]

7.1.3.2 Wand –Decke

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke

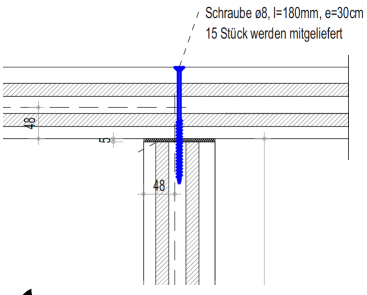
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Wand – Decke, Brettsperrholz, stumpfer Stoß			
	- Brettsperrholz (BSP) – Elemente, d = 110 mm - Eckanordnung: eine Decke mit zwei über Eck gestoßenen Wänden - stumpf gestoßen - Abdichtung durch 10 mm dicken Steinwollstreifen (≥ 1.000 °C Schmelzpunkt) auf 5 mm komprimiert - kraftschlüssige Verbindung mit 180 mm langen Holzschrauben - Elementfuge in der Decke mit einfacher Nut-Feder-Verbindung und Koppelbrett	- 60 min Prüfdauer, ETK - Kleinbrandversuch (Decke 0,21 x 0,16 m, Wände 1,2 x 0,5 m bzw. 1,6 x 0,5 m) - Prüfung der Fuge mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) Fugenmessung 1 (Wand1-Decke): ➢ von Minute 4 - 15 geringer Rauchaustritt unterhalb des Grenzwerts von 54 $cm^3/(min*m)$ durch Rauchdichtemessung ermittelt ➢ ab 34. Minute erneuter Rauchaustritt ➢ ab Minute 40 Rauchdurchtritt oberhalb des Grenzwerts ➢ Temperaturerhöhung auf brandabgewandter Seite < 180 K: EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] eingehalten	[126]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

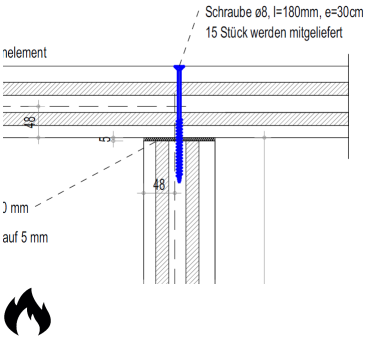
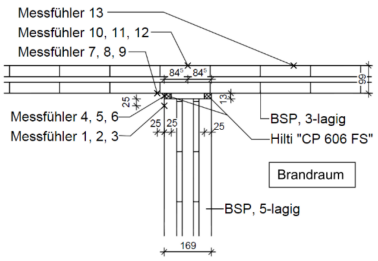
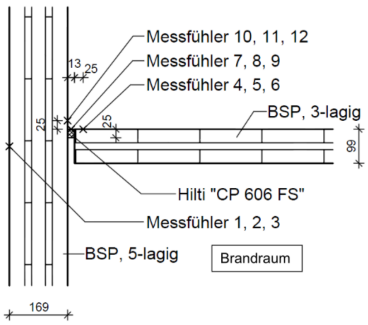
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Wand – Decke, Brettsperrholz, stumpfer Stoß			
		Fugenmessung 2 (Wand 2 – Decke; Aufeinandertreffen der Deckenelementfuge mit Koppelbrett und einfacher Nut-Feder-Verbindung und der Bauteilfuge Wand-Decke): ➢ ab Minute 4 Grenzwert von 54 $cm^3/(min*m)$ über Rauchdichtemessung erreicht	[125]
	- Decke: durchlaufendes BSP-Element, d = 99 mm - Wand: BSP-Element, d = 169 mm - stumpf gestoßen - Verschraubung der Elemente - Abdichtung mit Brandschutzdichtmasse HILTI CP 606 FS, Einbringtiefe 25 mm, beidseitig	- 90 min Prüfdauer, ETK - Kleinversuch 2,13 x 1,86 m ➢ Temperatur brandabgewandt entlang der Bauteilfuge max. 130 °C ➢ eingehaltenes EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] ➢ kein Durchtritt von Feuer und Rauch an der Bauteilfuge ➢ klassifizierter Raumabschluss 90 min	[131]
Wand – Decke, Brettsperrholz			
	- Decke: BSP-Element, d = 99 mm - Wand: BSP-Element, d = 169 mm - stumpf gestoßen - durchl. Anschlussfuge 13 mm - Verschraubung der Bauteile mit Holzschrauben (254 mm) - Abdichtung mit Brandschutzdichtmasse, Einbringtiefe 25 mm, auf feuerabgewandter Seite - Tiefe der Fuge ca. 74 mm	- 95 min Prüfdauer, ETK - Kleinversuch 2,13 x 2,28 m ➢ Temperatur brandabgewandt entlang der Anschlussfuge max. 130 °C. EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] eingehalten ➢ kein Durchtritt von Feuer und Rauch an der Bauteilfuge ➢ klassifizierter Raumabschluss 90 min	[131]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

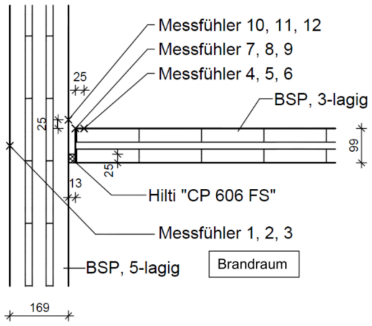
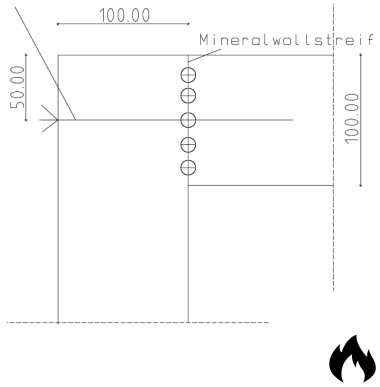
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während Prüfung	Qu.
Wand – Decke, Brettsperrholz			
	- Decke: Brettsperrholzelement, 99 mm Dicke - Wand: Brettsperrholzelement, 169 mm Dicke - stumpf gestoßen - Verschraubung der Bauteile mit Holzschrauben - Abdichtung mit Brandschutzdichtmasse, Einbringtiefe 25 mm, auf feuerzugewandter Seite	- 60 min Prüfdauer, ETK - Kleinversuch 2,13 x 2,28 m ➢ Temperatur brandabgewandt entlang der Anschlussfuge max. 150 °C. EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] eingehalten ➢ kein Durchtritt von Feuer und Rauch an der Bauteilfuge ➢ klassifizierter Raumabschluss 60 min	[131]
Wand – Wand (Eckausbildung), Brettschichtholz			
	- Brettschichtholzelemente - Eckanordnung: eine Decke mit zwei über Eck gestoßenen Wänden - 100 mm Dicke - stumpfer Stoß - Abdichtung durch 10 mm dicken Steinwollstreifen (≥ 1.000 °C Schmelzpunkt) auf 5 mm komprimiert - kraftschlüssige Verbindung mit 180 mm langen Holzschrauben	- 60 min Prüfdauer, ETK - Kleinbrandversuch (Decke 0,21 x 0,16 m, Wände 1,2 x 0,5 m bzw. 1,6 x 0,5 m) - Prüfung mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) ➢ keine Trübung im Rauchgaskanal während der Prüfung zu erkennen ➢ Grenzwert von 54 cm^3/(min*m) wird nicht überschritten ➢ Temperaturanstieg auf der brandabgewandten Seite: < 180 K: EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] eingehalten	[140]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

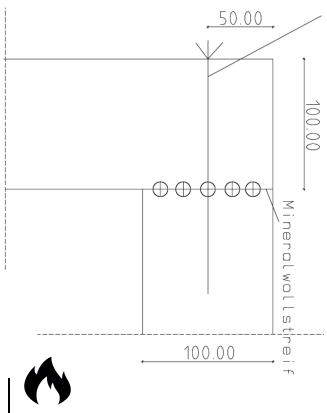
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand – Decke, Brettschichtholz, stumpfer Stoß			
	- Brettschicht-holzelemente - Eckanordnung: Eine Decke mit zwei über Eck ge-stoßenen Wänden - 100 mm Dicke - stumpfer Stoß - Abdichtung durch 10 mm dicken Steinwollstreifen (≥ 1.000 °C Schmelzpunkt) auf 5 mm komprimiert - kraftschlüssige Verbindung mit 180 mm langen Holzschrauben - Elementfuge in der Decke mit doppelter Nut-Federverbindung und Koppelbrett, , eingelegte Kera-mikpapierstreifen in den Nuten	- 60 min Prüfdauer, ETK - Kleinbrandversuch (Decke 0,21 x 0,16 m, Wände 1,2 x 0,5 m bzw. 1,6 x 0,5 m) - Messung des Rauchdurchtritts mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) Fugenmessung 1: ➢ ab 30. Minute Trübung in der Messeinrichtung erkennbar ➢ Anstieg der Leckrate bis Minu-te 60 auf 51 cm²/(min*m) ➢ Grenzwert von 54 cm^3/(min*m) wird nicht überschritten ➢ Temperaturerhöhung auf brandabgewandter Seite < 180 K: EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] eingehalten Fugenmessung 2 (Aufeinander-treffen der Deckenelementfuge und der Bauteilfuge Wand-Decke): ➢ ab 37. Minute Trübung in der Messeinrichtung erkennbar ➢ Anstieg der Leckrate bis Minu-te 60 auf 26 cm²/(min*m) ➢ Grenzwert von 54 cm^3/(min*m) wird nicht überschritten ➢ Temperaturerhöhung auf brandabgewandter Seite < 180 K: EI-Kriterium nach DIN EN 13501-2 [7] eingehalten	[140]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

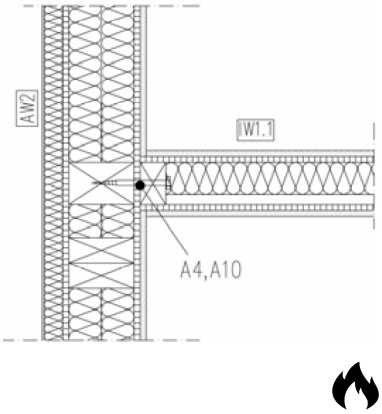
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand – Decke, Brettschichtholz, stumpfer Stoß			
	- Trennwand in Holzständerbauweise (b/h 55/92 mm², e = 625 mm, KVH C24); beidseitig bekleidet mit Spanplatte 13 mm + GKB 12,5 mm, teilgedämmt mit Steinwolle 70 mm - Außenwand in Holzständerbauweise (b/h 55/140 mm², e = 625 mm, KVH C24); beidseitig bekleidet mit 3-S-Platte 13 mm + GKB 12,5 mm, vollgedämmt mit Steinwolle 140 mm - Anschluss stumpf gestoßen, kraftschlüssig verbunden, Fugenversatz in GKB	- Realbrandversuch 30 min - Brandlast: Holzkrippen Brandlast von 619 MJ/m² ➢ im Anschlussbereich Temperaturerhöhung auf max. 100 °C ➢ Ausbreitung von Heißgasen in benachbarte Räume ➢ nach Abfallen der GKB Ausbreitung des Brandes über Rähm	[123]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

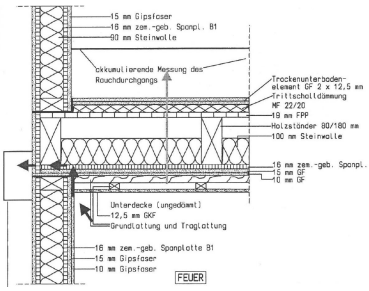
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Holzständer – Holzbalken, stumpfer Stoß, formschlüssig			
	- stumpfer Stoß mit komprimiertem Steinwollstreifen - formschlüssige Verbindung über nicht angezogene Gewindestangen mit Abstand 0,50 m - Wand in Holztafelbauweise - Steinwolledämmung - beidseitig zweilagige Bekleidung aus zementgebundener Spanplatte (16 mm) und Gipsfaserplatte (15 mm) - brandraumseitig zusätzlich eine dritte Lage Gipsfaserplatte (10 mm) - Holzbalkendecke (Deckenbalken 80 x 180 mm), brandraumseitige zweilagige Bekleidung aus zementgebundener Spanplatte (16 mm) und Gipsfaserplatte (15 mm), darunter zusätzlich Unterdecke aus GKF-Platte auf Holztraglattung	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch - Messung des Rauchdurchtritts mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) - 40-minütige Abkühlphase ➢ erstes Erreichen des Temperaturkriteriums nach 67 Minuten, an manchen Stellen erst nach 90 Minuten hinter der brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung ➢ $K_2$60-Kapselung wurde ausreichend sichergestellt ➢ Anstieg des CO_2 und CO-Messwertes nach 10 Minuten, deutliche Veränderung nach 25 Minuten nach Ablösen der Gipsfaserplatte gleichzeitig fiel der Transmissionsgrad auf 10 % ab ➢ starke Veränderung des Transmissionsgrades während der Prüfung	[121]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

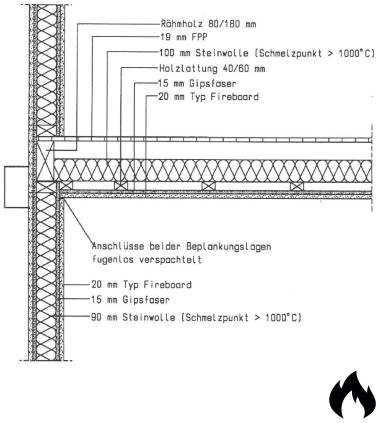
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Holzständer – Holzbalken, stumpfer Stoß, formschlüssig			
	- stumpfer Stoß mit komprimiertem Steinwollstreifen - kraftschlüssige Verbindung über nicht festgezogene Gewindestangen mit Abstand 0,50 m - Wand in Holztafelbauweise - Steinwolledämmung - zweilagige Bekleidung aus Gipsfaserplatte (15 mm) und Knauf-Fireboard auf Traglattung - Stoß der Bekleidung als einfacher Stufenfalz - Versetzte Plattenstöße - Holzbalkendecke (Deckenbalken 80 x 180 mm), zweilagige Bekleidung aus Gipsfaserplatte (15 mm) und Knauf-Fireboard auf Traglattung	- 60 min Prüfdauer, ETK - Großbrandversuch - Messung des Rauchdurchtritts mittels Rauchauffangkasten (Rauchdichtemessung entspr. DIN 50055 [139]) - 30-minütige Abkühlphase ➢ keine Rissbildung der Bekleidung während der Brandbeanspruchung ➢ $K_2$60-Kapselung wurde ausreichend sichergestellt ➢ Temperaturanstieg max. 198 °C hinter der Bekleidung ➢ Transmissionsgrad über gesamte Prüfdauer bei 100 % ➢ Anstieg des CO_2-Messwertes auf maximal 0,13 % und des CO-Gehaltes auf maximal 0,03 %	[121]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

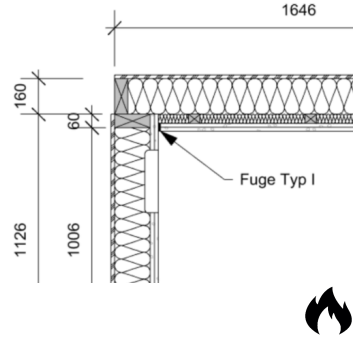
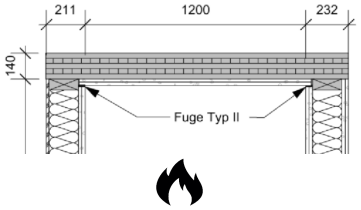
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Holz-Ständer – Holz-Balken, stumpf gestoßene Gips-Bekleidung			
	- Holz-Ständer- und Holz-Balken-Bauweise, 160 mm Dicke - Bekleidung mit 2 x 18 mm GF - Decke mit Installationsebene mit Steinwolle ausgedämmt, 60 mm Dicke - Bekleidungsfuge Spaltbreite 7 mm - Fuge halbseitig mit Brandschutzschaum abgedichtet - weitere Fugenhälfte ohne Maßnahme	- Kleinbrandversuch, ETK - Wand 1,250 x 1,126 m, Decke 1,646 x 1,250 m - 60 min Prüfdauer ➢ Beschädigung des Prüfkörpers durch seitlichen Einbrand nach Versuch zu groß, um Aussagen treffen zu können ➢ Fuge mit Brandschutzschaum grundsätzlich zu empfehlen ➢ Fuge ohne Brandschutzschaum nicht empfehlenswert	[75]
Wand-Decke, Holzrahmen-Wand, Brettsperrholzdecke, stumpf gestoßene Gips-Bekleidung			
	- Brettsperrholzdecke, 140 mm Dicke - Holzrahmenwände, 232 bzw. 211 mm Dicke - Kapselbekleidung aus GF-Platten 2 x 18 mm - mit 7 und 10 mm Fugen, mit Brandschutzschaum verfüllt	- Kleinbrandversuch, ETK - Wand 1,050 x 1,322 m, Decke 1,322 x 1,643 m - 60 min Prüfdauer ➢ vollständige Fugenabdichtung beider Fugenstärken durch den Brandschutzschaum ➢ keine verfärbten/verkohlten Stellen an angrenzenden Holzbauteilen ➢ Kapselkriterium wurde aufrechterhalten ➢ EI Kriterium wurde eingehalten ➢ keine sichtbare Rauchentwicklung festgestellt	[75]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

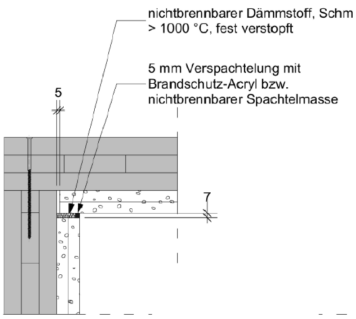
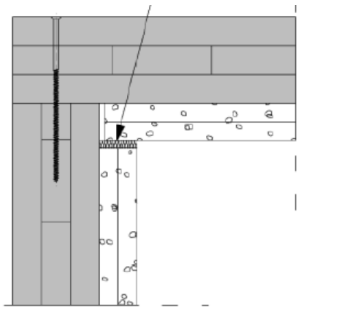
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Holzrahmen-Wand, Brettsperrholzdecke, stumpf gestoßene Gips-Bekleidung			
	- Brettsperrholzdecke, 100 mm Dicke - Holzrahmenwand, 232 bzw. 211 mm Dicke - Kapselbekleidung aus GKF-Platten - 7 mm Fugen der Bekleidung mit Mineralwolle verstopft - Verspachtelung mit nichtbrennbarer Spachtelmasse mit einer Dicke von ca. 5 mm über die Hälfte der Fuge auf brandzugewandter Seite - andere Hälfte der Fuge ohne weitere Maßnahmen	- Kleinbrandversuch, ETK - Wand 1,250 x 1,126 m, Decke 1,646 x 1,250 m - 60 min Prüfdauer ➢ Kapselkriterium wurde aufrechterhalten ➢ beide Ausführungen der Wand-Deckenfuge geeignet ➢ EI Kriterium wurde eingehalten ➢ keine sichtbare Rauchentwicklung festgestellt	[75]
	- Brettsperrholzdecke und -wand, 100 mm Dicke - Kapselbekleidung aus GKF-Platten - 7 mm Fuge, mit Mineralwolle verstopft - Verspachtelung mit nichtbrennbarer Spachtelmasse mit einer Dicke von ca. 5 mm über die Hälfte der Fuge - andere Hälfte der Fuge ohne weitere Maßnahmen	- Kleinbrandversuch, ETK - Wand 1,250 x 1,126 m, Decke 1,646 x 1,250 m - 60 min Prüfdauer ➢ Kapselkriterium wurde aufrechterhalten ➢ beide Ausführungen der Wand-Deckenfuge erwiesen sich als geeignet ➢ EI-Kriterium wurde eingehalten ➢ keine sichtbare Rauchentwicklung festgestellt	[75]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

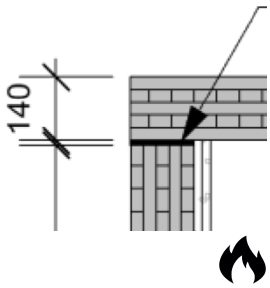
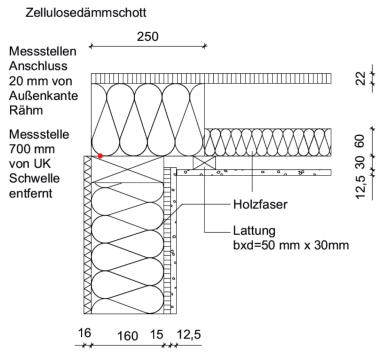
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Brettsperrholzelemente, stumpf gestoßen, Decke unbekleidet			
	- Brettsperrholzdecke und –wand mit 140 mm Dicke - Kapselbekleidung der Wand mit GF - Sichtbare Decke im Bereich der Fuge - stumpfer Stoß der Wandbekleidung an Decke - halbseitige Verspachtelung des stumpfen Stoßes mit Brandschutzacryl - andere Hälfte der Fuge ohne weitere Maßnahmen - Fugenausbildung mit Elastomerlager	- 60 min Prüfdauer - Kleinbrandversuch, ETK - Wand 1,040 x 1,250 m, Decke 1,1250 x 1,626 m ➢ kein Hohlraumbrand aufgrund des stumpfen Deckenstoßes ➢ keine Brandspuren am Elastomerlager sichtbar ➢ beide Ausführungen der Wand-Deckenfuge erwiesen sich als geeignet ➢ EI-Kriterium wurde eingehalten ➢ keine sichtbare Rauchentwicklung festgestellt	[75]
Wand-Decke, Holzrahmenbauweise, Zellulosedämmschott			
	- Holztafelbauwand - Bekleidung mit GKF (12,5 mm) und OSB (15 mm) - Gefachdämmung Holzfaser (160 mm) - Balkendecke - Holzfaserdämmung (60 mm) - Zellulosedämmschott (250 mm) - abgehängte nicht gedämmte Deckenkonstruktion (12,5 GKF + 30 mm Installationsebene) - stumpf ausgeführter Stoß der GKF-Platten - kraftschlüssige Verbindung von Decken und Wandkonstruktion	- 33 min Prüfdauer - Brandversuch, ETK - Wand, Decke beflammt jeweils ca. 1,0 x 1,2 m - Messung der austretenden Rauchgaszusammensetzung mit Rauchgaskanal ➢ Temperaturerhöhung in der Fuge auf maximal 75 °C auf der brandabgewandten Seite 20 mm von der Außenkante Rähm ➢ maximale CO_2-Konzentration bei 12 % ➢ maximale CO-Konzentration bei 6 % ➢ EI-Kriterium in der Fuge eingehalten	[132]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

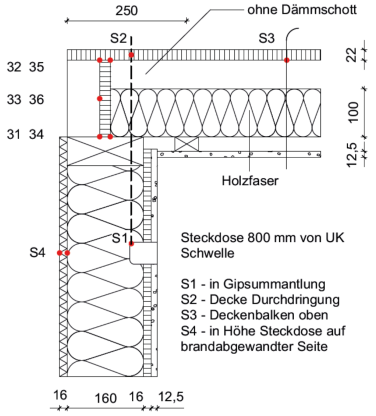
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Holzrahmenbauweise, OSB-Schott			
	- Holztafelbauwand - Bekleidung mit GKF (12,5 mm) und OSB (15 mm) - Gefachdämmung Holzfaser (160 mm) - Balkendecke - teilgedämmt mit Holzfaserdämmung (60 mm) - OSB Schott - abgehängte nicht gedämmte Deckenkonstruktion (12,5 GKF + 30 mm Installationsebene) - stumpf ausgeführter Stoß der GKF-Platten - kraftschlüssige Verbindung von Decken und Wandkonstruktion	- 31 min Prüfdauer - Brandversuch, ETK - Wand, Decke beflammt jeweils ca. 1,0 x 1,2 m - Messung der austretenden Rauchgaszusammensetzung mit Rauchgaskanal ➢ Temperaturerhöhung in der Fuge auf maximal 58 °C auf der brandabgewandten Seite des OSB Schotts ➢ maximale CO_2-Konzentration bei 6 % ➢ maximale CO-Konzentration bei 4 % ➢ gleichbleibende O_2-Konzentration bei ca. 40 % ➢ EI-Kriterium in der Fuge eingehalten	[132]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

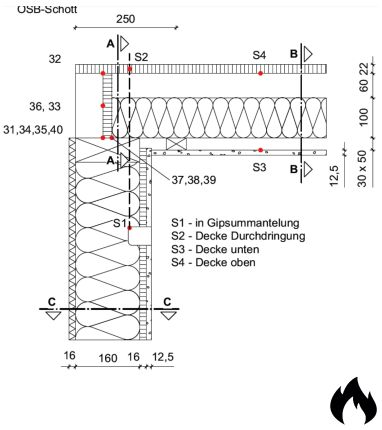
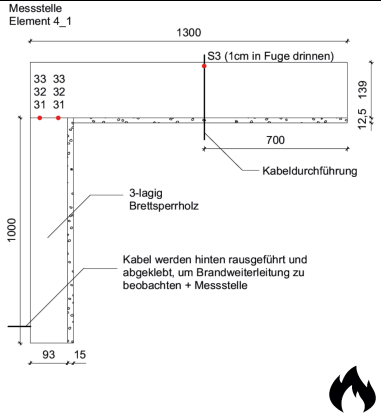
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Holzrahmenbauweise, OSB-Schott			
	- Holztafelbauwand - Bekleidung mit GKF (12,5 mm) und OSB (15 mm) - Gefachdämmung Glasfaser (160 mm) - Balkendecke - teilgedämmt mit Glasfaserdämmung (60 mm) - OSB Schott) - abgehängte nicht gedämmte Deckenkonstruktion (12,5 GKF + 30 mm Installationsebene) - stumpf ausgeführter Stoß der GKF-Platten - kraftschlüssige Verbindung von Decken und Wandkonstruktion	- Brandversuch, ETK - Wand, Decke beflammt jeweils ca. 1,0 x 1,2 m - 32 min Prüfdauer - Messung der austretenden Rauchgaszusammensetzung mit Rauchgaskanal ➢ Temperaturerhöhung in der Fuge auf maximal 92 °C auf der Innenseite des OSB Schotts ➢ maximale CO_2-Konzentration bei 2,5 % ➢ maximale CO-Konzentration bei 1 % ➢ gleichbleibende O_2-Konzentration bei ca. 18 - 22 % ➢ EI-Kriterium in der Fuge eingehalten	[132]
Wand-Decke, Brettsperrholzelemente, stumpf gestoßen, Decke unbekleidet			
	- Brettsperrholz 93 mm - Bekleidung mit GKF (15 mm) - Brettsperrholzdecke (139 mm) - stumpf ausgeführter Stoß der GKF-Platten - kraftschlüssige Verbindung von Decken und Wandkonstruktion	- 46 min Prüfdauer - Wand, Decke beflammt jeweils ca. 1,0 x 1,2 m - Messung der austretenden Rauchgaszusammensetzung mit Rauchgaskanal ➢ Temperaturerhöhung in der Fuge auf maximal 100 °C an den brandraumzugewandten Messstellen ➢ maximale CO_2-Konzentration bei 2 % ➢ maximale CO-Konzentration bei 1 % ➢ gleichbleibende O_2-Konzentration bei ca. 19 - 21 % ➢ EI-Kriterium in der Fuge eingehalten	[132]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

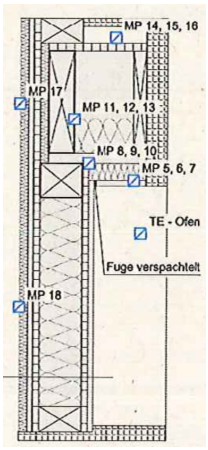
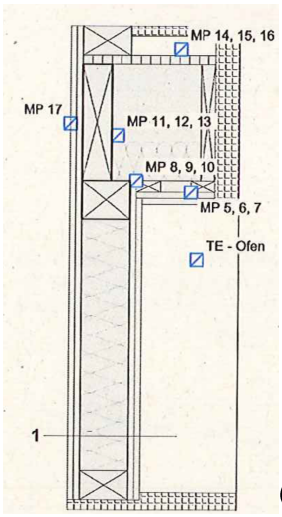
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Holzrahmenwand – Tramdecke			
	- Holzrahmenbauteile - mit 12,5 mm GKF bekleidet - OSB-Bekleidung unter der GKF-Bekleidung - im Bereich der Anschlussfuge durchlaufende OSB-Platte auf der brandabgewandten Seite	- 66 min Prüfdauer 66 - Kleinbrandversuch, ETK ➢ kein sichtbarer Rauchdurchtritt während der Prüfung festgestellt ➢ Temperaturerhöhung auf der brandabgewandten Seite < 40 K ➢ Temperaturerhöhung im Bereich der Fuge brandraumseitig auf der brandraumzugewandten Seite des Rähms < 150 K ➢ EI-Kriterium entsprechend DIN EN 13501-2 eingehalten	[124]
Wand-Decke, Holzrahmenwand – Tramdecke			
	- Holzrahmenbauteile - mit 2 x 12,5 mm Gipskartonfeuerschutzplatte bekleidet - OSB-Bekleidung unter der GKF-Bekleidung - ohne Installationsebene - im Bereich der Anschlussfuge durchlaufende 2-lagige GKF-Platten auf der brandabgewandten Seite	- 66 min Prüfdauer - Kleinbrandversuch - ETK ➢ keine besonderen Beobachtungen hinsichtlich des Rauchdurchtritts ➢ Temperaturerhöhung auf der brandabgewandten Seite < 50 K ➢ Temperaturerhöhung im Bereich der Fuge brandraumseitig hinter der zweiten Lage Gips < 270 K ➢ EI-Kriterium entsprechend DIN EN 13501-2 eingehalten	[124]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

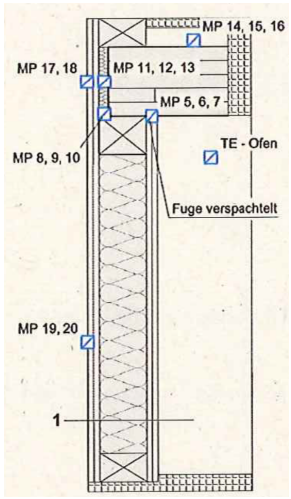
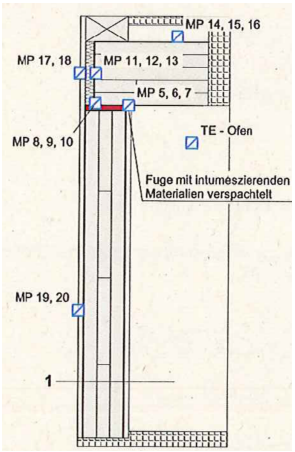
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Holzrahmenwand – Massivholzdecke			
	- Holzrahmenbau-Wand - mit 2 x 12,5 mm Gipskartonfeuer-schutzplatte be-kleidet - unbekleidete Brettsperrholz-Decke - ohne Installati-onsebene - Verspachtelung der Anschlussfuge mit herkömmlicher Fugenmasse - im Bereich der Anschlussfuge durchlaufende 2-lagige GKF-Platten auf der brandabgewand-ten Seite	- 75 min Prüfdauer - Kleinbrandversuch - ETK ➢ keine besonderen Beobach-tungen hinsichtlich des Rauchdurchtritts ➢ Temperaturerhöhung auf der brandabgewandten Seite < 40 K ➢ Temperaturerhöhung im Be-reich der Fuge brandabge-wandt vor der ersten Lage Gips < 60 K ➢ EI-Kriterium entsprechend DIN EN 13501-2 eingehalten	[124]
Wand-Decke, Massivholzwand – Massivholzdecke			
	- Massivholzbau-Wand - mit 1 x 12,5 mm Gipskartonfeuer-schutzplatte be-kleidet - unbekleidete Brettsperrholz-Decke - ohne Installati-onsebene - Sylodynlager in der Anschlussfuge - Fuge auf der feu-erzugewandten Seite mit intumes-zierendem Materi-al verschlossen - im Bereich der Anschlussfuge durchlaufende 1-lagige GKF-Platten auf der brandabgewand-ten Seite	- 75 min Prüfdauer - Kleinbrandversuch - ETK ➢ keine besonderen Beobach-tungen hinsichtlich des Rauchdurchtritts ➢ Temperaturerhöhung auf der brandabgewandten Seite < 30 K ➢ Temperaturerhöhung im Be-reich der Fuge brandabge-wandt vor der Lage Gips < 20 K ➢ EI-Kriterium entsprechend DIN EN 13501-2 eingehalten	[124]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

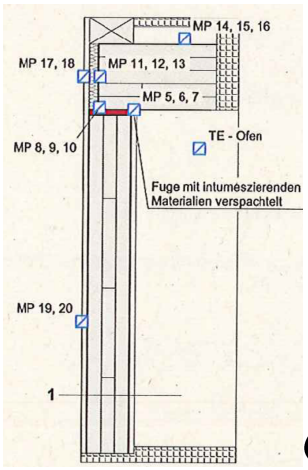
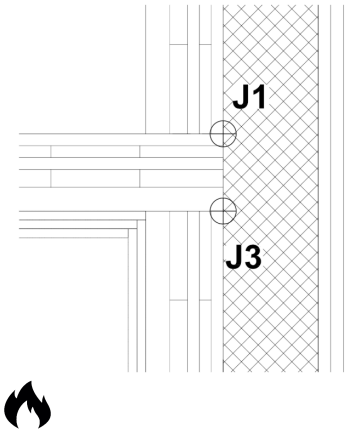
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Massivholzwand – Massivholzdecke			
	- Massivholzbau-Wand - mit 1 x 12,5 mm Gipskartonfeuer-schutzplatte be-kleidet - unbekleidete Brettsperrholz-Decke - ohne Installati-onsebene - Sylodynlager in der Anschlussfuge - Fuge auf der feu-erzugewandten Seite mit Acryl-masse verschlos-sen - im Bereich der Anschlussfuge durchlaufende 1-lagige GKF-Platten auf der brandabgewand-ten Seite	- 90 min Prüfdauer - Kleinbrandversuch - ETK ➢ keine besonderen Beobach-tungen hinsichtlich des Rauchdurchtritts ➢ Temperaturerhöhung auf der brandabgewandten Seite < 30 K ➢ Temperaturerhöhung im Be-reich der Fuge brandabge-wandt vor der Lage Gips < 20 K ➢ EI-Kriterium entsprechend DIN EN 13501-2 eingehalten	[124]
Wand-Decke, Massivholzwand – Massivholzdecke			
	- Brettsperr-holzelemente - stumpf gestoßen - kraftschlüssiger Verbund - Brandraumseitig mit zwei Lagen Gipskartonfeuer-schutzplatten be-kleidet, Stufenver-satz im An-schlussbereich - brandabgewandt keine Bekklei-dungslagen - intumeszierendes Papier innerhalb der Fuge	- 140 min Prüfdauer, Realbrand mit 600 MJ/m² Brandlast (Ab-bildung eines vollmöblierten Büroraumes) ➢ in der Fuge im Erdgeschoss auf brandabgewandter Seite hinter BSP-Element bei Minute 60 kurzzeitige Temperaturer-höhung auf 340 °C bis zum Reagieren des intumeszieren-den Materials ➢ in der Fuge oberhalb der De-cke Temperaturerhöhung < 10 K ➢ anschließend ca. 15 °C bis Versuchsende	[136]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

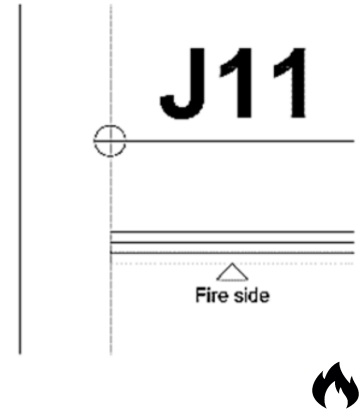
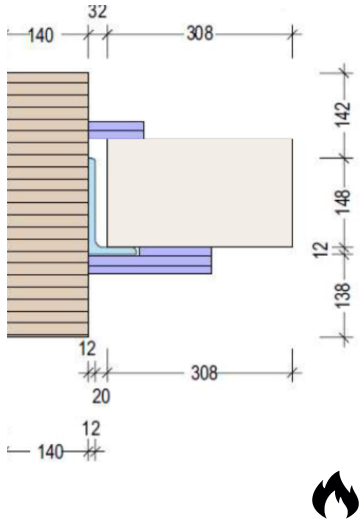
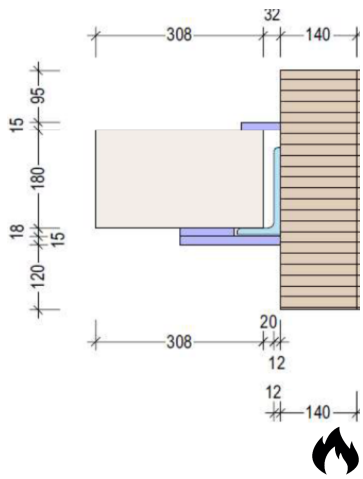
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Massivholzwand – Massivholzdecke			
	- Brettsperr-holzelemente - stumpf gestoßen - brandraumseitig mit zwei Lagen Gipskartonfeuer-schutzplatten an der Decke bekleidet - brandabgewandt keine Bekleidungs-lagen - intumeszierendes Papier innerhalb der Fuge	- 140 min Prüfdauer, Realbrand mit 600 MJ/m² Brandlast (Abbildung eines vollmöblierten Büroraumes) ➢ brandabgewandt Temperaturerhöhung um 30 °C von Minute 65 bis Minute 85 ➢ anschließend ca. 5 °C bis Versuchsende	[136]
Wand-Decke, Brettschichtholzwand – Brettschichtholzdecke mit Stahlprofil			
	- Anschluss Brett-schichtholzdecke (GL24h) (180 mm) an Brettschicht-holzwand (140 mm) - Fuge inkl. Stahl-profil deckenober- und –unterseitig mit 2 x 15 mm GKF bekleidet (Breite 205 mm), Befesti-gung der Bekleidung erfolgt an der Brettschichtholz-decke	- 90 Minuten Prüfdauer - ETK - Kleinversuch 0,96 x 1,16 m ➢ Anstieg der Temperaturen unter den Gipsplatten auf der brandabgewandten Seite auf ca. 50 °C ➢ kein Durchtritt von Rauch auf der brandabgewandten Seite sichtbar	[134]
	- Anschluss Brett-schichtholzdecke (GL24h) (180 mm) an Brettschicht-holzwand (140 mm) - Fuge inkl. Stahl-profil deckenober- und –unterseitig mit 1 x 15 mm GKF bekleidet (Breite 185 mm), Befesti-gung erfolgt an der Brettschichtholz-decke	- 90 Minuten Prüfdauer - ETK - Kleinversuch 0,96 x 1,16 m ➢ Anstieg der Temperaturen unter der Gipsplatte auf der brandabgewandten Seite auf ca. 150 °C ➢ kein Durchtritt von Feuer und Rauch auf der brandabgewandten Seite sichtbar	[134]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

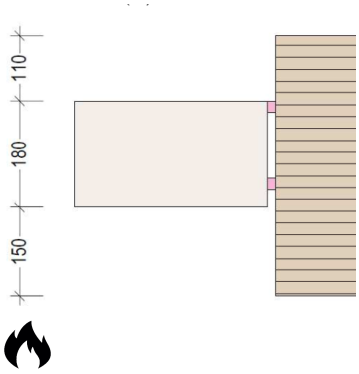
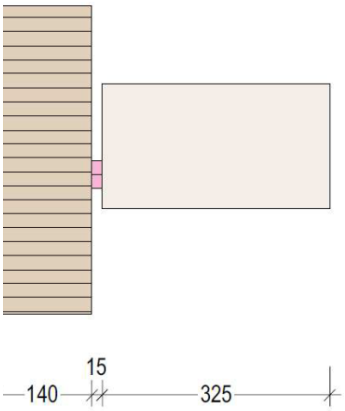
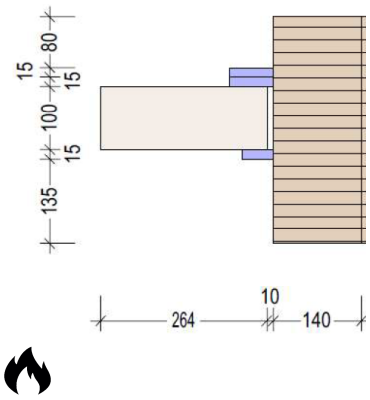
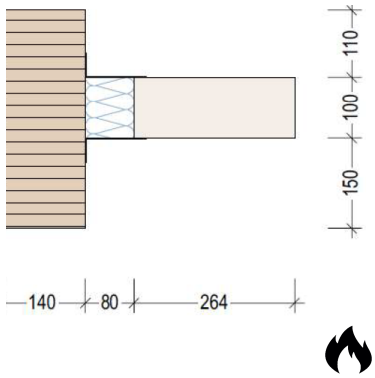
Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Brettschichtholzwand – Brettschichtholzdecke mit Fugenbändern			
	- Anschluss Brettschichtholzdecke (GL24h) (180 mm) an Brettschichtholzwand (140 mm) - Fugenbreite 15 mm - Abdichtung mit Aestuver Fugenband Fermacell 40 mm oberhalb Unterkante Decke - weitere Abdichtung mit Aestuver Fugenband an der Oberkante Decke	- 90 Minuten Prüfdauer - ETK - Kleinversuch 0,96 x 1,16 m ➢ Einhalten des EI-Kriteriums im Fugenbereich ➢ kein Durchtritt von Feuer und Rauch sichtbar	[134]
	- Anschluss Brettschichtholzdecke (GL24h) (180 mm) an Brettschichtholzwand (140 mm) - Fugenbreite 10 mm - Abdichtung der Fuge mit doppeltem Hanno-Band 40 mm über Unterkante der Holzdecke	- 90 Minuten Prüfdauer - ETK - Kleinversuch 0,96 x 1,16 m ➢ nach 74 min erste Verfärbungen an der Wandoberseite ➢ nach 84 min sichtbare Flammen auf der brandabgewandten Seite im Fugenbereich	[134]
	- Anschluss Brettschichtholzdecke (GL24h) (100 mm) an Brettschichtholzwand (140 mm) - Fugenbreite 10 mm - Abdichtung der Fuge mit 1 x 15 mm Gipsfaserplatte auf der brandzugewandten Seite und 2 x 15 mm Gipsfaserplatten auf der brandabgewandten Seite	- 73 Minuten Prüfdauer - ETK - Kleinversuch 0,96 x 1,16 m ➢ Temperatur zwischen den Gipsplatten auf brandabgewandter Seite bei maximal 60 °C ➢ kein Durchtritt von Feuer und Rauch im Versucht sichtbar	[134]

Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke (Fortsetzung)

Darstellung der Fuge	Beschreibung	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung	Qu.
Wand-Decke, Brettschichtholzwand – Brettschichtholzdecke mit Fugenbändern			
	- Anschluss Brettschichtholzdecke (GL24h (100 mm) an Brettschichtholzwand (140 mm)) - Fuge mit 80 mm - Abdichtung der Fuge mit Steinwolle ρ 38 kg/m³ - Abdichtung der Fuge oben und unten mit Klebeband Siga Wigluv 60	- 73 Minuten Prüfdauer - ETK - Kleinversuch 0,96 x 1,16 m ➢ Temperatur zwischen den Gipsplatten auf brandabgewandter Seite bei maximal 60 °C ➢ Einhalten des EI-Kriteriums im Fugenbereich, maximal 125 °C ➢ kein Durchtritt von Feuer und Rauch sichtbar	[134]

7.2 Im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes durchgeführte Versuche

Bearbeitung: Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

7.2.1 Vorversuchsreihe

Tabelle 23: Vorversuchsreihe

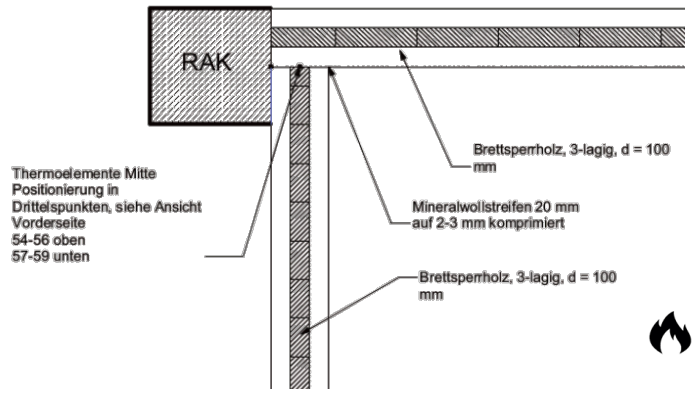
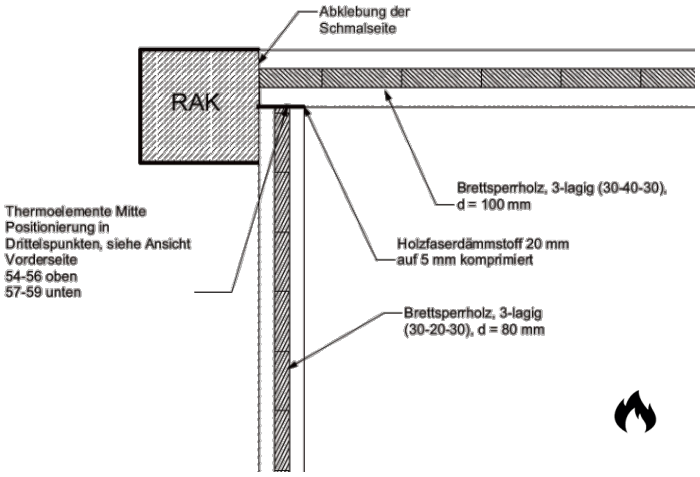
	Darstellung der Fuge	**Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung**
Z02		- Anstieg der Gaskonzentrationen weit vor optischer Beobachtung eines Rauchgasdurchtrittes - Volumenstrom nahm über den Versuchszeitraum annähernd linear zu - Temperaturanstieg in Mitte der Fuge mit einer Stagnation bei ca. 100 °C (vermutlich durch Wasserdampf) - Temperaturen an der Außenseite der Fuge trotz entsprechenden Rauchdurchtritts vergleichsweise niedrig (<< 100 °C)
Z03		- Temperatur- und Rauchentwicklung mit Versuch Z01 (Mineralwolle) vergleichbar - kein Durchbrand des Dämmstreifens - nach Versuchsende leichter Abbrand, jedoch kein kontinuierliches Glimmen des Dämmstoffes

Tabelle 23: Vorversuchsreihe (Fortsetzung)

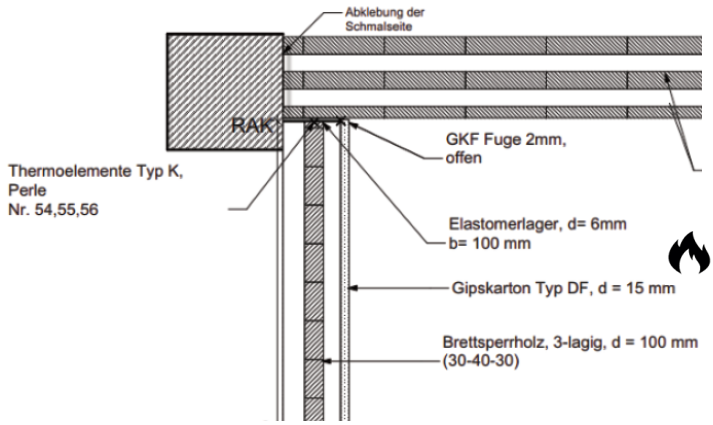
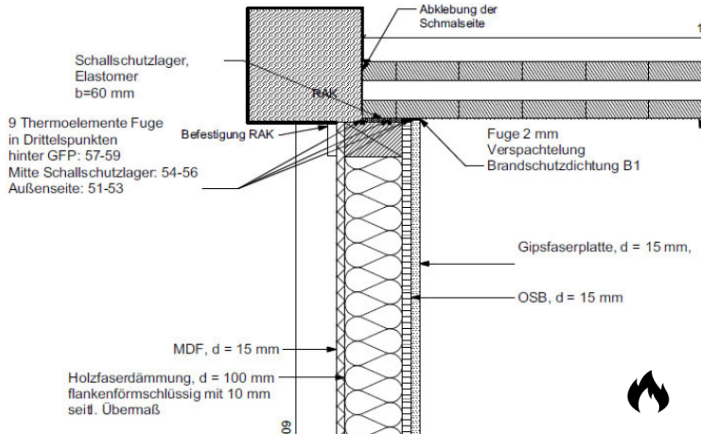
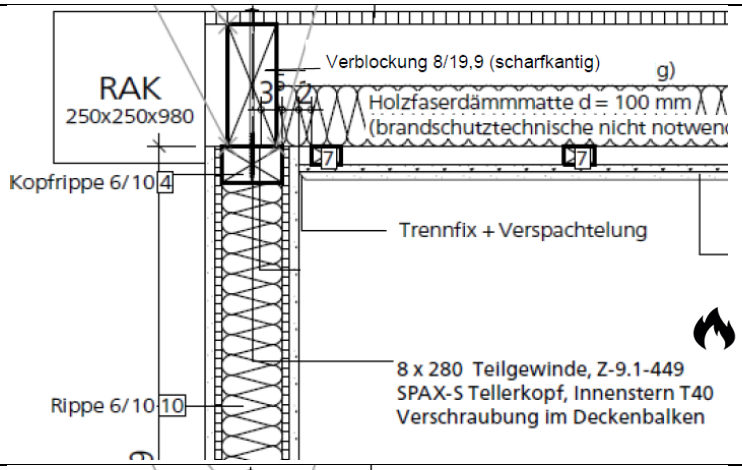
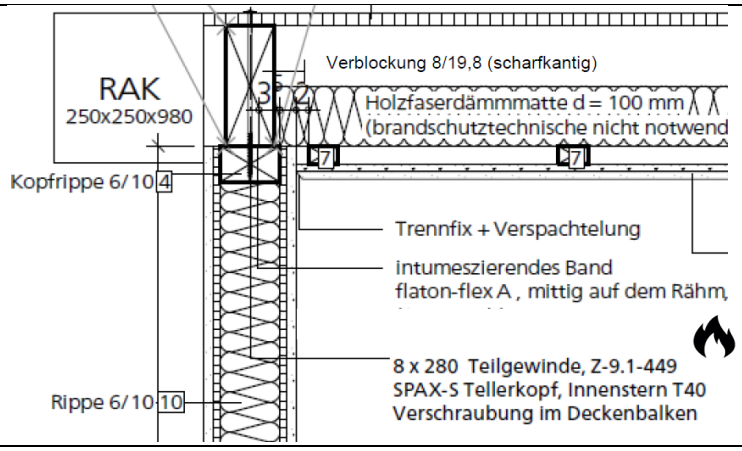
	Darstellung der Fuge	**Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung**
Z04		- Ausrichtung der Decklagen stellt eine im Brandfall günstige Ausrichtung dar - auch ohne Verspachtelung des Schallschutzlagers vorhandene Schutzwirkung der Gipsplatte - kein Durchbrennen des Schallschutzlagers - die maximale Abbrandtiefe am Schallschutzlager 60 mm - die Temperaturen an der Außenseite der Fuge weit unterhalb der EI-Kriterien (< 20 °C)
Z05		- Wasserdampfaustritt an der brandabgewandten Seite der Wand, insbesondere an den Spalten zwischen den Ständern und Schwelle / Rähm - minimaler Rauchgasdurchtritt im Rauchauffangkasten, erst ab der 45. Minute messbar - verspachtelte Gipsfaserplatte (Brandschutzdichtung) schützt die Fuge bis ca. zur 45. Minute, die Temperaturen in Fugenmitte liegen im Durchschnitt bei 50 °C, im Außenbereich bei Umgebungstemperatur, obwohl die Auflagertiefe insgesamt nur 60 mm beträgt

Tabelle 23: Vorversuchsreihe (Fortsetzung)

	Darstellung der Fuge	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung
Z08		- leichter Rauchaustritt unterhalb der Verblockung feststellbar - $T_{Fuge,\ brandabgewandt}$ < 40 °C - kein Überschreiten der EI-Kriterien festgestellt - $\dot{V}_{max} \approx 3\frac{l}{s}$
Z09		- leichter Rauchdurchtritt unterhalb Verblockung - kein Überschreiten der EI-Kriterien festgestellt - $\dot{V}_{max} \approx 4\frac{l}{s}$ - kein Intumeszieren des Dichtbandes feststellbar, - - $T_{Fuge,\ brandabgewandt}$ < 40 °C

7.2.2 Hauptversuchsreihe

Tabelle 24: Hauptversuchsreihe

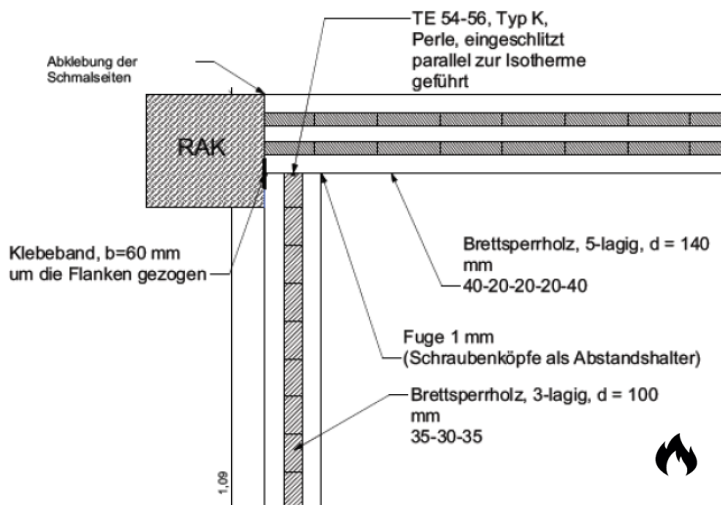
	Darstellung der Fuge	Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung
A1		- Rauchdurchtritt zwischen den Brettlagen an der Wandseite zeitnah nach Versuchsbeginn - Temperatur brandabgewandte Seite der Fuge < 80 °C - Temperatur brandabgewandte Seite der flächigen Bauteile < 30 °C - $\dot{V}_{max} \approx 4\frac{l}{s}$ - kein Ablösen des Klebebands während der gesamten Versuchsdurchführung - kein Überschreiten der EI-Kriterien

Tabelle 24: Hauptversuchsreihe (Fortsetzung)

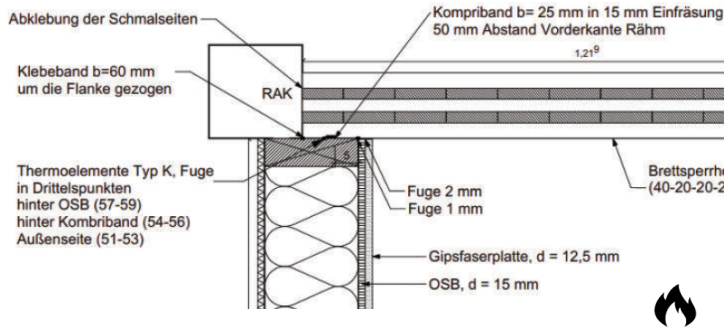
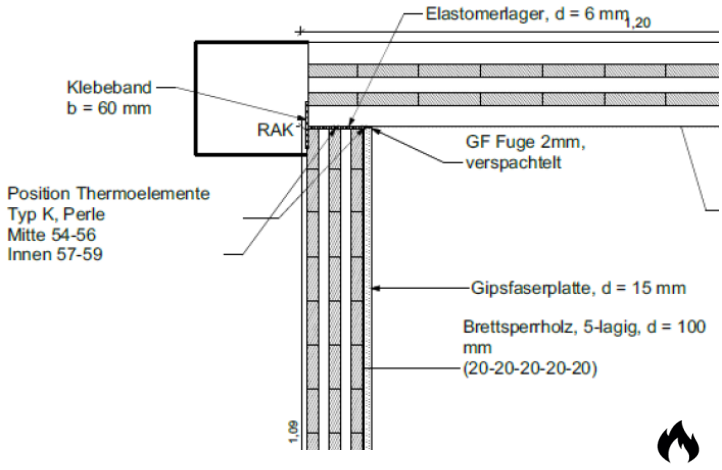
	Darstellung der Fuge	**Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung**
A2		- deutliche Begrenzung des Rauchdurchtritts in Kombination mit einem Klebeband ($\dot{V}_{max} \approx 2\frac{l}{s}$) - Temperatur Fugenmitte ≤ 100 °C - deutlich verstärkter Rauchdurchtritt nach Abnahme des Klebebandes in der 60. Minute - Kompriband durch die geringe Temperaturbelastung in der Fuge nahezu unversehrt - kein Überschreiten der EI-Kriterien
B1		- mehrere durchgängige Elementfugen aufgrund fehlender Flankenverleimung in den Brettlagen der Decke; zum Vergleich auf der Hälfte der Bauteilfuge mittels Klebeband abgeklebt - Rauchdurchtritt ab der 1. Brandminute zwischen den Brettlagen der Decke (Lamellenfuge) im Bereich des nicht abgeklebten Bereichs - Klebeband mindert den Rauchdurchtritt wirksam ab, kein Ablösen feststellbar; $\dot{V}_{max} \approx 3\frac{l}{s}$ - kein Überschreiten der EI-Kriterien

Tabelle 24: Hauptversuchsreihe (Fortsetzung)

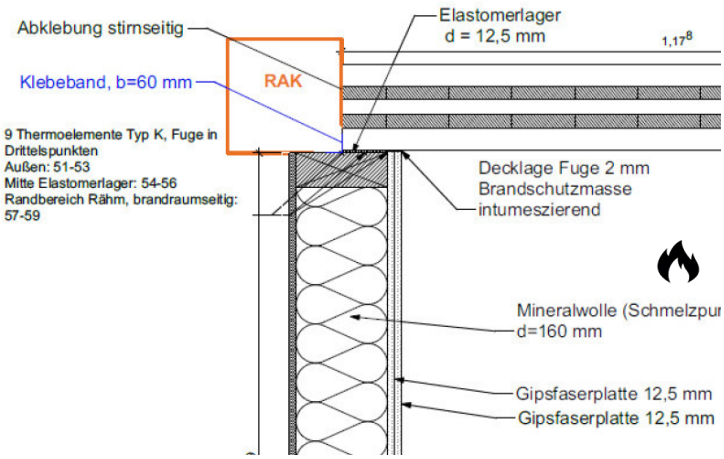
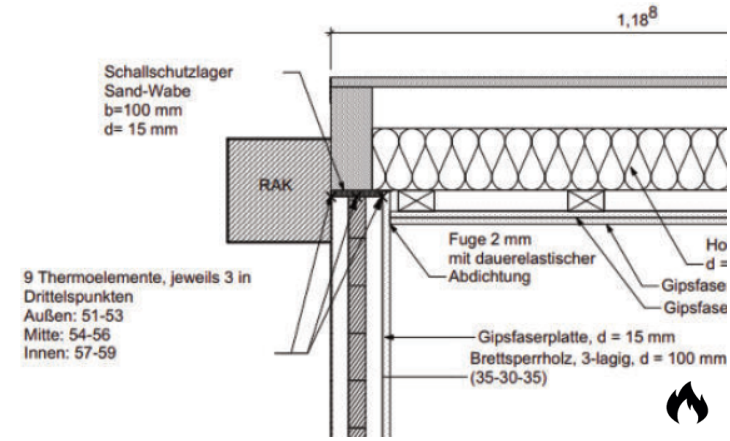
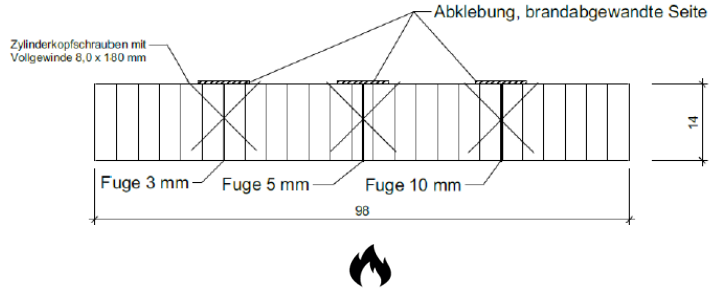
	Darstellung der Fuge	**Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung**
B2		- intumeszierende Brandschutzmasse verschließt im Gegensatz zu vorherigen Dichtstoffen die Lamellenfugen wirksam bis ca. zur 45 Minute - Kombination aus Klebeband, Elastomerlager und intumeszierender Brandschutzmasse mit sehr guten Resultaten; $\dot{V}_{max} \approx 3\frac{l}{s}$ - Schallschutzlager weist nach Versuchsende auf Restbreiten von mehr als 40 mm auf - kein Überschreiten der EI-Kriterien
C1		- Holztafelbauanschluss in Kombination mit einem Schallschutzlager ohne Abklebung - Rauchdurchtritt optisch kaum wahrnehmbar; $\dot{V}_{max} \approx 3\frac{l}{s}$ - Holztafelbauelemente durch monolithische Eigenschaften vermutlich unkritischer - kein Überschreiten der EI-Kriterien
D1		- Maximaltemperaturen in Fugenmitte zur 60. Minute: - 3 mm: 120 °C - 5 mm: 320 °C - 10 mm: 500 °C - kein Ablösen des Klebebands über den gesamten Versuch bei 3 mm Fugenbreite - geringfügiges Ablösen (Blasenbildung) bei 5 mm - Durchbrand der 10 mm Fuge nach ca 86 Minuten mit Überschreiten der EI-Kriterien

Tabelle 24: Hauptversuchsreihe (Fortsetzung)

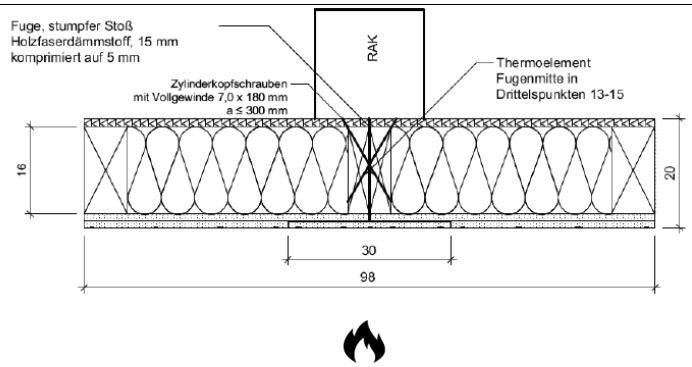
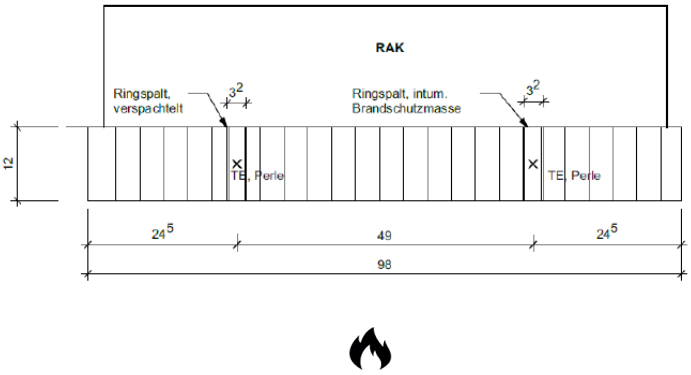
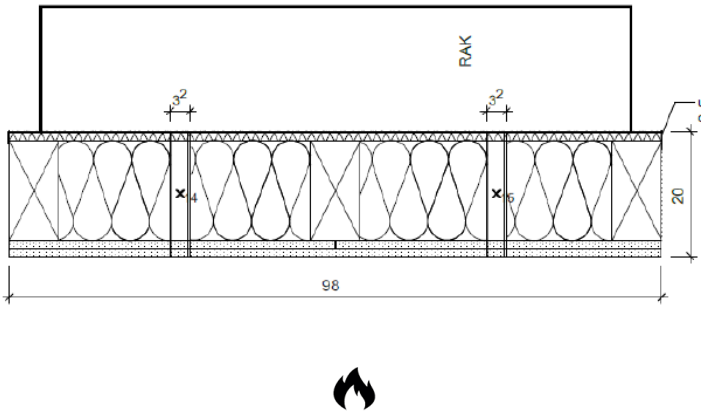
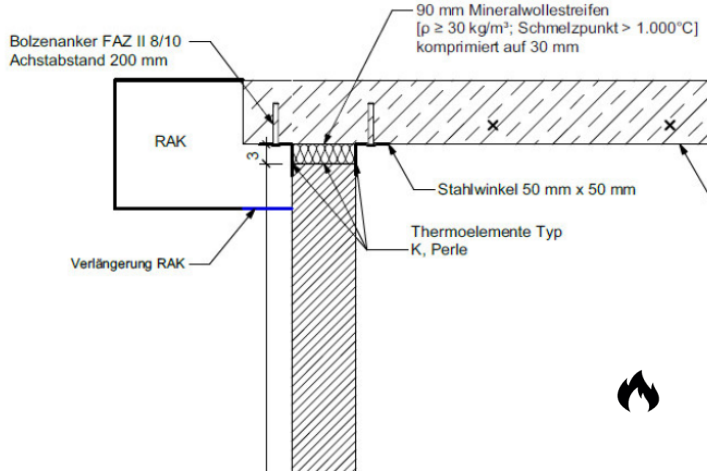
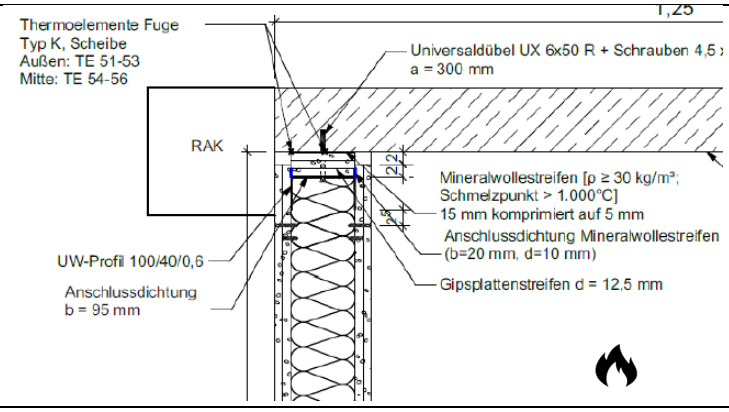
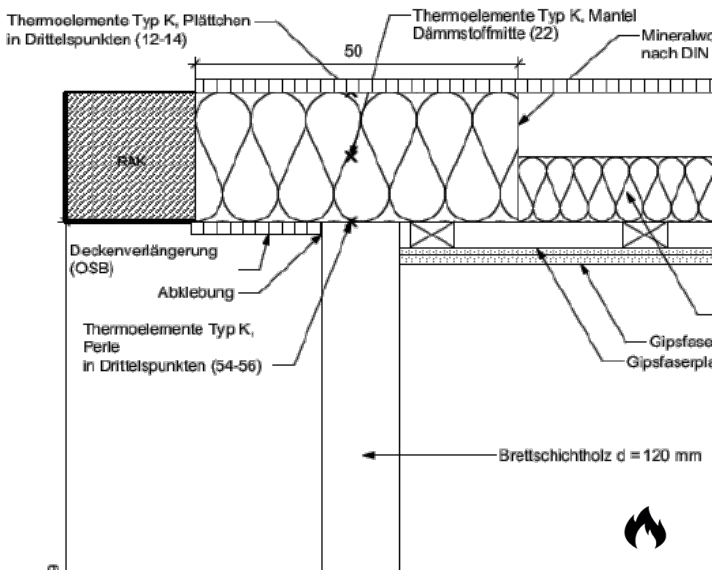
	Darstellung der Fuge	**Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung**
D2		- Maximaltemperatur in Fugenmitte: 100 °C - leichter Rauchdurchtritt erkennbar, vorwiegend Kondenswasserbildung - kein Überschreiten der EI-Kriterien
E1		- Temperaturen in der Mitte der Durchdringungen bei Brandschutzspachtel im Schnitt 150 °C niedriger als bei Gipspachtel - Zusammenschmelzen der Kabel an der brandabgewandten Seite der Durchdringung mit Gipsspachtel nach ca. 30 Minuten - leichter Rauchdurchtritt an beiden Kabelbündeln durch den Zwickel - deutlicher Anstieg des Volumenstroms auf ca. 4 l/s nach ca 45 Minuten
E2		- Temperaturen in der Mitte der Durchdringungen bei Brandschutzspachtel und Gipsspachtel bis zur 60. Minute vergleichbar, anschließend ca. 100 °C höhere Temperaturen bei Gipsspachtel - Volumenstrom nach 45 Minuten bei ca. 3,5 l/s - ab 66. Minute deutliche Rauchentwicklung und Anstieg des Volumenstroms auf bis zu 6,5 l/s

Tabelle 24: Hauptversuchsreihe (Fortsetzung)

	Darstellung der Fuge	**Verhalten und Besonderheiten während der Prüfung**
F1		- günstiger Anschluss (Kompression auf 90 kg/m³) - deutlich höhere Volumenströme (6 - 7 l/s) im Maximum als bei vergleichbaren Holz-Holz-Anschlüssen - kein Überschreiten der EI-Kriterien
F3		- frühzeitiger Rauchgasdurchtritt, vermutlich unterhalb des Gleitlagers durch das Gefach - maximale Volumenströme von bis zu 7,5 l/s (höchster festgestellter Wert aller Anschlusstypen) - kein Überschreiten der EI-Kriterien
G1		- nach Abfallen/Rissbildung der Gipsfaserplatten deutliche Rauchgasströmung durch das Schott - wesentlich höhere Volumenströme (5 l/s) als bei vergleichbaren Versuchen mit Randbalken (C1) - Temperaturen in Schottmitte bis zur 70. Minute ca. 100 °C; steigen anschließend schnell weiter an - kein Überschreiten der EI-Kriterien

7.2.3 Auswertung der Einflüsse auf das Brandverhalten von Bauteil- und Elementfugen

Die Auswertung der vorgestellten Versuche ergibt, dass das Brandverhalten von Bauteil- und Elementfugen von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist. Hierzu zählen unter anderem:

- Fugenabstand
- Materialien, die zwischen den Kontaktflächen angeordnet sind
- Materialien, welche die Fuge brandraumseitig abdecken oder verschließen
- Materialien, welche die Fuge auf der brandraumabgewandten Seite abdecken oder verschließen
- Beschaffenheit der Kontaktflächen
- Anschluss flankierender Bauteile

7.2.3.1 Fugenabstand

Die vergleichende Untersuchung der drei Fugenabstände 3, 5 und 10 mm in Versuch D1 zeigt, dass der Abstand einen signifikanten Einfluss auf die Temperaturentwicklung in Bauteil- und Elementfugen hat. In Abbildung 48 sind die Mittelwerte der Temperaturen in der Mitte der Fuge (70 mm Tiefe) dargestellt. Während es bei der 10 mm Fuge bereits bei Versuchsbeginn zu einem deutlichen Anstieg oberhalb von 100 °C kommt, zeigt sich dieser Trend bei der 5 mm Fuge nach ca. 30 Minuten und bei der 3 mm Fuge erst nach 60 Minuten.

Die im Bauteil enthaltene Feuchtigkeit bildet dabei zunächst eine physikalische Begrenzung der Maximaltemperaturen an der Kontaktfläche. Bis zu einer Fugenbreite von 3 mm kann diese über einen längeren Zeitraum aufrecht erhalten werden, bevor das Wasser durch den konvektiven Wärmestrom vollständig verdampft ist.

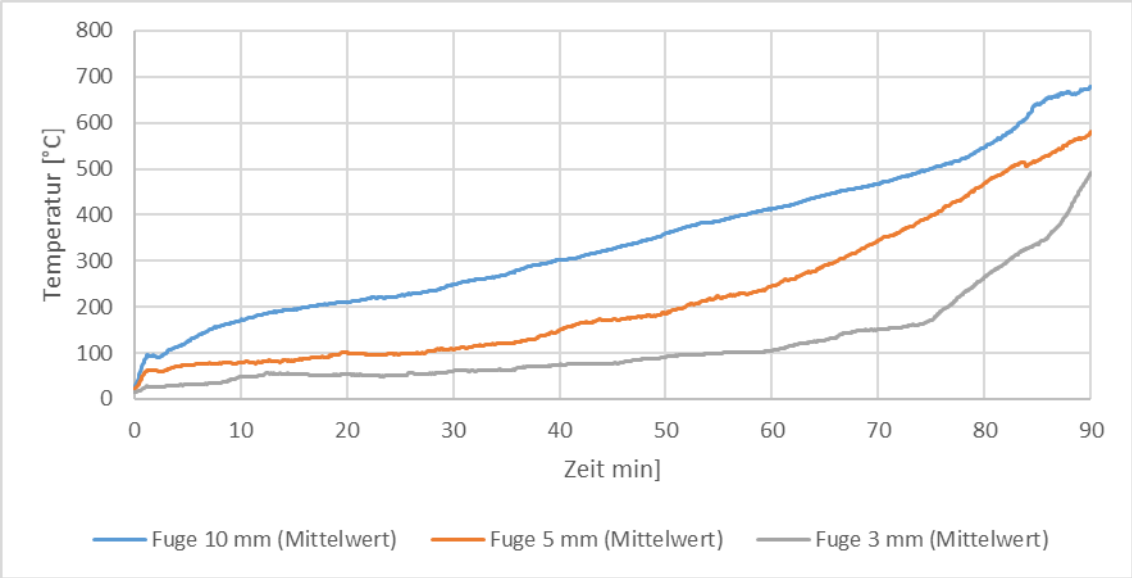


Abbildung 48: Vergleich der Temperaturen in Fugenmitte bei Elementfugen mit 3, 5 und 10 mm Fugenbreite und Abklebung auf der brandabgewandten Seite (Versuch D1, 140 mm BSH Element)

Die Beobachtung des 100 °C-Plateaus konnte auch bei Versuchen mit Bauteilfügungen festgestellt werden. Die Auswertung des Versuchs A1 ohne Maßnahmen in der Kontaktfläche ergibt eine ähnliche Begrenzung der Maximaltemperaturen in Fugenmitte auf 100 °C, siehe Abbildung 49. Sie konnte bei allen anderen Versuchen mit Bauteilanschlüssen aus Holz festgestellt werden und stellt einen wichtigen Beitrag zur Begrenzung des Rauchdurchtritts dar.

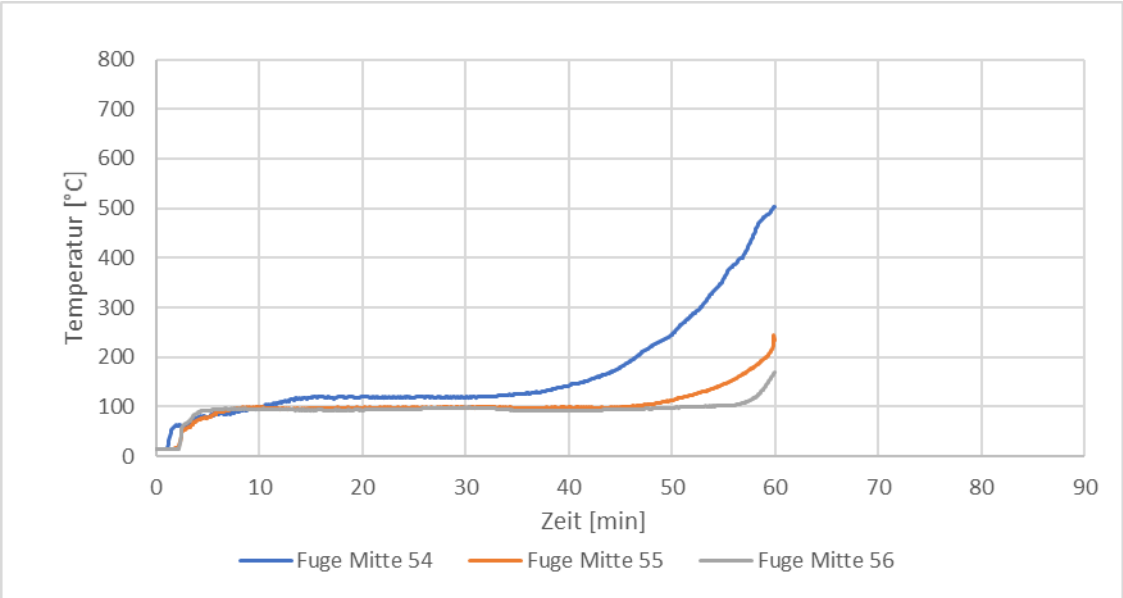


Abbildung 49: Vergleich der Temperaturen in Fugenmitte bei Bauteilfugen mit 1 mm Fugenbreite und Abklebung auf der brandabgewandten Seite (Versuch A1, 100 mm BSP Element)

Je größer der Querschnitt der Fuge, desto höhere Temperaturen sind im Verlauf der Fuge zu erwarten. Durch die Querschnittsvergrößerung kommt es zu einem verstärkten konvektiven Wärmestrom in der Fuge, der je nach Fugenabstand zu einer unterschiedlichen Durchwärmung führt. Abbildung 50 visualisiert den Verlauf der Isothermen bei der Brandbeanspruchung von Bauteilfugen. Während es bei kleinen Fugenabständen zu einem geringen Eintrag von Wärme in die Fuge selbst kommt, vergrößert sich dieser Effekt deutlich mit zunehmender Fugenbreite. Eine Möglichkeit zur Verminderung des Wärmeeintrages stellt daher die Begrenzung des Fugenabstandes s dar [109].

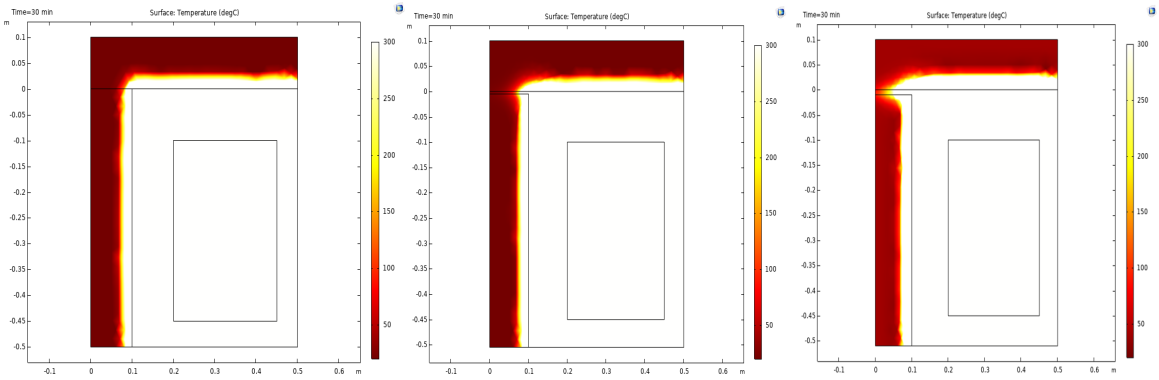


Abbildung 50: Schematische Visualisierung der Temperaturverteilung in Bauteilen und Bauteilanschlüssen in Abhängigkeit des Fugenabstandes [Simulation Fraunhofer WKI, Shaghayegh Ameri]

7.2.3.2 Ausführung der Kontaktflächen

Neben der Begrenzung des Fugenabstandes können Maßnahmen in der Kontaktfuge ebenfalls zu einer Verbesserung des Brandverhaltens der Fügung führen. Die damit verbundene Erhöhung des Strömungswiderstandes führt sowohl zu einer Begrenzung des konvektiven Wärmestroms als auch des Rauchdurchtrittes. In Abbildung 51 zeigt sich die Ausbildung eines 100 °C-Temperaturplateaus in der Fugenmitte über den gesamten Versuchszeitraum bei Verwendung eines mineralischen Dämmstreifens.

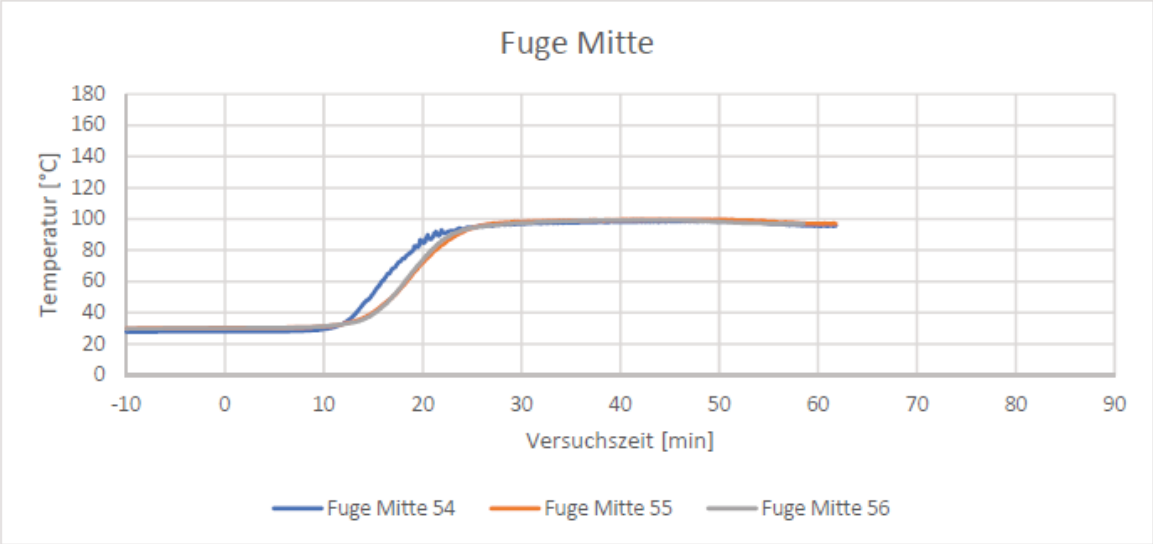


Abbildung 51: Temperaturen in Fugenmitte bei Verwendung eines komprimierten Mineralwollstreifens (Versuch Z02)

Der Rauchdurchtritt wird durch den eingelegten, komprimierten Mineralwollstreifen deutlich hinreichend reduziert, jedoch nicht vollständig verhindert (siehe Versuch Z02). Vergleichbare Ergebnisse wurden im Versuch Z03 (selbst bei komprimiertem Dämmstoff mit hoher Rohdichte) mit biogenen Dämmstoffen erzielt. Hier kam es zwar aufgrund der Brennbarkeit des Materials zu einer thermischen Zersetzung des ersten Zentimeters des Dämmstoffstreifens, jedoch nicht zu einem erhöhten Rauchdurchtritt. Zudem konnte nach Ende des Versuchs kein kontinuierliches Schwelen beobachtet werden.

Im Holzbau werden innerhalb der Kontaktfläche oftmals aus Schallschutzgründen entsprechende Schallschutzlager angeordnet. Der Beitrag von Sylomerlagern im Hinblick auf das Brandverhalten der Fuge wurde insbesondere in den Versuchen B1 und B2 betrachtet. Die BSP-Elemente wurden dabei ohne Anforderungen an die Sichtqualität ausgeführt.

Für die Begrenzung des Durchtrittes von Feuer und Rauch ist es notwendig, dass die in der in der Kontaktfuge angeordneten brennbaren Baustoffe über den Brandverlauf nicht über die gesamte Fugenlänge abschmelzen und ein hinreichender Restquerschnitt erhalten bleibt.

In Versuch B1 wurde ein Elastomerlager mit einer Dicke von 6 mm zwischen zwei BSP-Elementen in der Kontaktfläche mit einer Breite von 100 mm angeordnet. Das Wandelement wurde brandraumseitig mit einer 15 mm Gipsfaserplatte bekleidet, welche eine 2 mm Fuge zur Decke aufwies, die verspachtelt wurde. In Abbildung 52 sind die Temperaturen an der brandzugewandten (Vorderkante BSP) und brandabgewandten Seite dargestellt. Da die Fuge brandabgewandt halbseitig abgeklebt wurde soll hier nur die Messachse ohne Anordnung eines außenseitigen Klebebands betrachtet werden, um den Einfluss des Schallschutzlagers zu bewerten. Auch nach 90 Minuten kommt es zu keinem signifikanten Temperaturanstieg

oberhalb von 100 °C in der Fugenmitte. Auf der Außenseite werden im Mittel 60 °C erreicht. Das Schallschutzlager weist eine Abbrandtiefe von 40-50 mm auf und schützt damit die brandabgewandte Seite auch nach 90 Minuten effektiv.

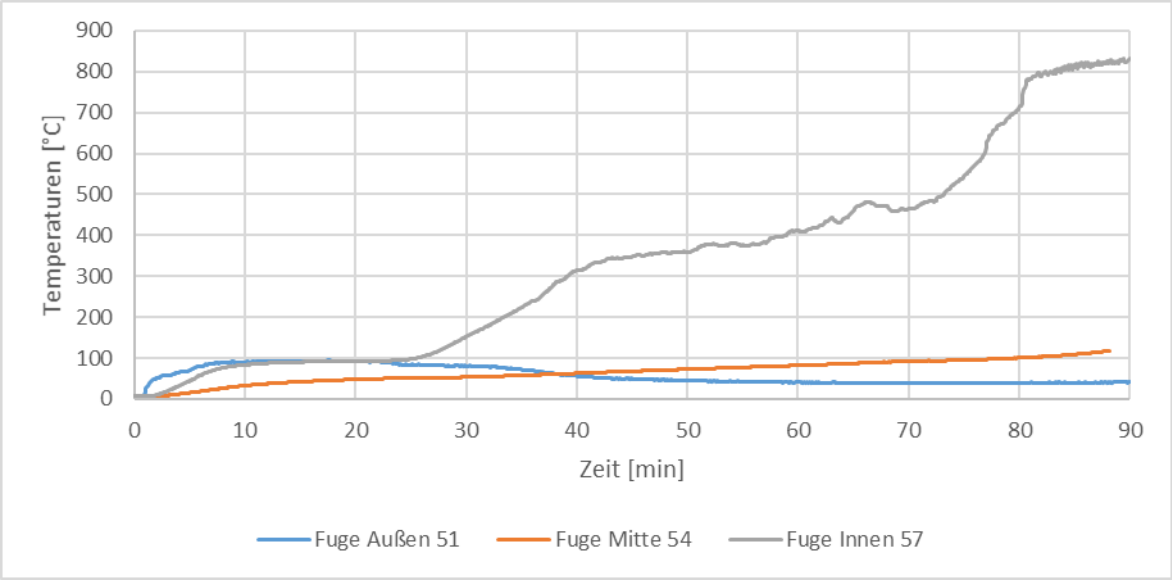


Abbildung 52: Temperaturen brandzugewandte Kante BSP (Innen), Fugenmitte und Außenseite der Fuge in der Messachse ohne Anordnung eines außenseitigen Klebebands (Versuch B1)

In Versuch B2 wurde ein Elastomerlager mit einer Dicke von 12,5 mm zwischen einer BSP-Decke und einer Holztafelbauwand angeordnet. Die Holztafel war brandraumseitig mit zwei 12,5 mm Gipsfaserplatten bekleidet, die 2 mm Fuge zur Decke wurde mittels einer intumeszierenden Brandschutzmasse verschlossen. Die Auswertung der Temperaturen in Fugenmitte und auf brandabgewandter Seite der Fuge liefern ähnliche Ergebnisse. Die aufgetretenen Temperaturen haben ebenfalls maximal 100 °C nicht überschritten sowie eine vergleichbare Abbrandtiefe des Lagers wie in Versuch B1 aufgewiesen.

Im Versuch C1 wurde ein Sandwaben-Lager in der Kontaktfläche angeordnet. Die Holzbalkendecke war mit einer abgehängten Decke aus 2 x 15 mm Gipsfaserplatten und das BSP-Wandelement ebenfalls mit einer 15 mm dicken nichtbrennbaren Bekleidung versehen. Die 2 mm Fuge zwischen den beiden Bekleidungsebenen wurde mit einer dauerelastischen Abdichtung verschlossen. Die Auswertung der mittleren Temperaturen in der Fuge an der brandzugewandten Vorderkante des BSP-Elements sowie in Fugenmitte und an der Außenseite werden in Abbildung 53 dargestellt.

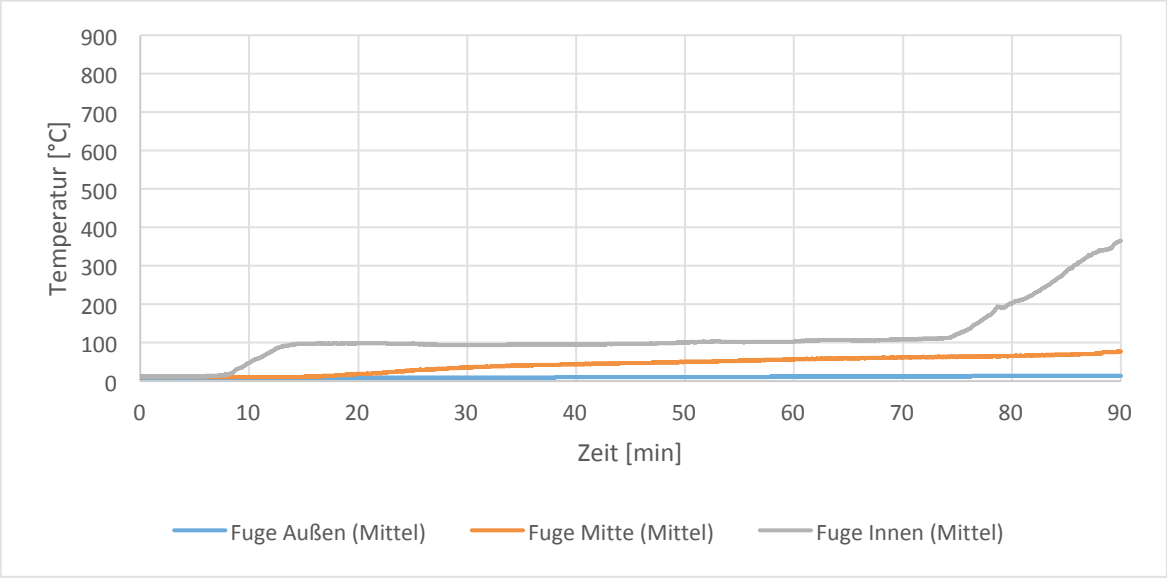


Abbildung 53: Mittlere Temperaturen brandzugewandte Kante BSP (Innen), Fugenmitte und Außenseite der Fuge (Versuch C1)

Im Vergleich zu den Versuchen B1 und B2 wurden Temperaturen oberhalb von 100 °C an der Innenseite der Fuge (Vorderkante BSP) erst in der 75. Versuchsminute erreicht. Die Fuge wurde sowohl durch die abgehängte Bekleidung der Decke als auch durch die Wandbekleidung vor einer größeren Erwärmung wirksam geschützt, bis diese abfallen bzw. eine signifikante Rissbildung aufweisen. Das Schallschutzlager wurde dementsprechend nur gering beansprucht, sodass eine Verkohlung der Kartonage des Lagers erst nach der 75. Minute erwartet werden kann. Es kam zu einer maximalen Einbrandtiefe von 40 mm, sodass der Rest des Sand-Waben-Lagers auch nach Versuchsende noch intakt war. Auf der Außenseite der Fuge wurden maximal 30 °C registriert.

Auch in der Fuge angeordnete Dichtbänder konnten durch einen ausreichenden Abstand zur Vorderkante des Rähms den Brandverlauf nahezu unbeschadet überstehen. In Abbildung 54 sind die gemittelten Temperaturen auf der Innen- und Außenseite der Fuge sowie in der Fugenmitte dargestellt.

Die Fugentiefe betrug 125 mm und das Kompriband war in einem Abstand von 50 mm zur Vorderkante des Rähms eingefräst, welches mit einer OSB (1 mm Fuge) und einer Gipsfaserplatte (2 mm Fuge) bedeckt war.

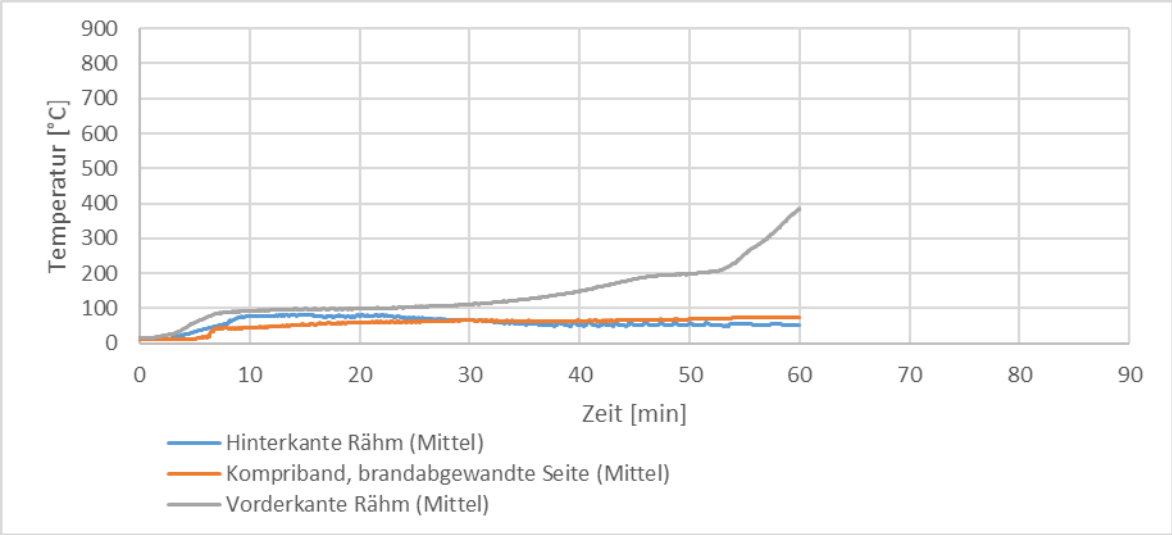


Abbildung 54: Mittlere Temperaturen an Vorderkante Rähm, Mitte und Hinterkante des Rähms (Versuch A2)

Die Bekleidungslagen führten im Bereich der Vorderkante zu einem Temperatur-Plateu bis zur 30. Minute, anschließend stiegen die Temperaturen auf über 100 °C an. Hinter dem Kompriband konnten keine Temperaturen oberhalb des Siedepunktes von 100 °C registriert werden und das Kompriband überstand den Versuch ohne sichtbaren Einbrand. Kann die luftdichte Ebene über den Brandverlauf ausreichend geschützt werden, sodass ihre Zersetzungstemperatur nicht überschritten wird bzw. ein Restquerschnitt der Ebene nicht vom Brand betroffen ist, so leistet dies einen wichtigen Beitrag zur Begrenzung des Rauchdurchtrittes.

In Versuch D2 wurde eine Elementfuge eines Holztafelbauelements (Gefachtiefe 160 mm) untersucht, welche mit biogenen Dämmstoffen gefüllt war. Hierzu wurde ein Dämmstoffstreifen mit einer Dicke von 15 mm in die Fuge eingebracht und mittels kreuzweiser Verschraubung auf ca. 5 mm komprimiert. Die 2. Bekleidungslage wurde mit einem Versatz von 300 mm gestoßen und die Plattenstöße verspachtelt. In Abbildung 56 ist die Auswertung der Temperaturen in Fugenmitte dargestellt. Es kommt zeitnah nach Versuchsbeginn zu einem Temperaturanstieg, der allerdings bis zur 90. Minute (Versuchsende) maximal 100 °C erreicht. Ein Blick auf die Abbrandtiefen in Fugenmitte bestätigt, dass der Abbrand des Dämmstoffstreifens maximal bis zur Fugenmitte stattgefunden hat. Ein kontinuierliches Schwelen konnte nach Versuchsende nicht beobachtet werden. Vor diesem Hintergrund können biogene Dämmstoffe ebenfalls zu einer wirksamen Reduzierung der Temperaturbeanspruchung in der Fuge führen.

Es ist jedoch durch geeignete Maßnahmen wie die Überdeckung mit nichtbrennbarer Bekleidung sicherzustellen, dass der Abbrand begrenzt wird und ein Herausfallen des Dämmstoffstreifens nicht stattfindet.



Abbildung 55: Blick auf den Dämmstoffstreifen in der Elementfuge nach Versuchsende (Versuch D2)

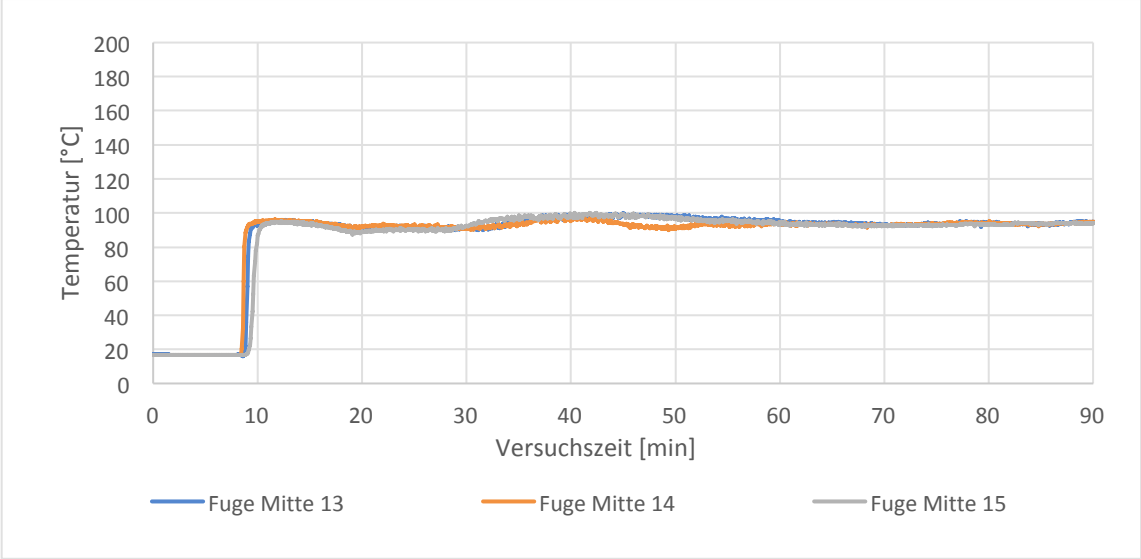


Abbildung 56: Temperaturen in Fugenmitte (Elementfuge Versuch D2)

7.2.3.3 Maßnahmen auf der brandzugewandten Seite der Fuge

Im Folgenden soll der Einfluss von Maßnahmen auf der brandzugewandten Seite der Fuge bewertet werden. Zum Schutz der Fuge können hierfür beispielsweise nichtbrennbare Bekleidungen infrage kommen, die im Bereich der Fuge mit entsprechenden Abdichtungsmaßnahmen wie Gipsspachtel oder intumeszierender Brandschutzmasse verschlossen werden.

Hierzu soll nachfolgend in Versuch B1 die brandzugewandte Seite des BSP-Elements zwischen der Fuge und der Fläche vergleichend betrachtet werden. In Abbildung 57 sind die mittleren und maximalen Temperaturen an der brandzugewandten Seite des Wandelements (Ebene zwischen Bekleidung und Massivholzelement) dargestellt. In Versuch B1 wurde eine einlagige, 15 mm dicke Bekleidung verwendet, die an der brandabgewandten Seite der Fuge verspachtelt wurde. Dabei zeigt sich eine Temperaturdifferenz von bis zu 190 K zwischen Fläche und Fuge.

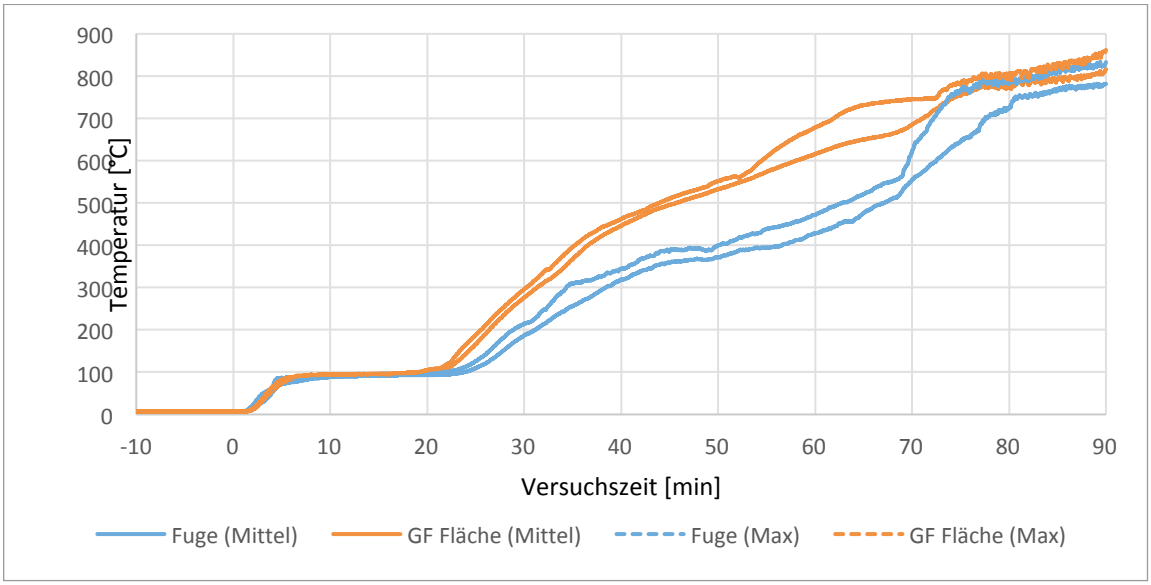


Abbildung 57: Temperaturen an der brandzugewandten Seite des BSP-Elements, Vergleich zwischen Fuge und Fläche in derselben Ebene (Versuch B1)

Die Verspachtelung einer nichtbrennbaren Bekleidung als Maßnahme auf der brandzugewandten Seite der Fuge konnte in diesem Versuch somit als thermisch unkritischer als das flächige Bauteil selbst bewertet werden. Auch in Versuch B2 (bei Verwendung einer intumeszierenden Brandschutzmasse, 2 x 12,5 mm GF) konnten deutlich niedrigere Temperaturen in der Fuge als in der Fläche der brandzugewandten Bekleidungslagen gemessen werden.

7.2.3.4 Beschaffenheit der Kontaktflächen

Die Beschaffenheit der flächigen Elemente kann ebenfalls einen Einfluss auf das Brandverhalten der Fuge ausüben. So können beispielsweise Lamellenfugen oder konstruktiv bedingte Risse, die über eine Fuge hinweg verlaufen zu einer Ausbildung eines Strömungspfades entlang der Fuge führen. Im Versuch B1 wurde ein BSP Element ohne Flankenverklebung hinsichtlich des Einflusses der Lamellenfugen untersucht. Hierzu wurden zwei Lamellenfugen mit einer Breite von 4 mm mittels einer Kreissäge definiert, die über die Bauteilfuge hinwegführen.

Als Referenzachse wurde die Bauteilmitte gewählt, in der sich keine Lamellenfuge befand. Eine Ansicht auf die brandzugewandte Seite der Decke einschließlich des angrenzenden Wandbauteils ist in Abbildung 58 dargestellt.

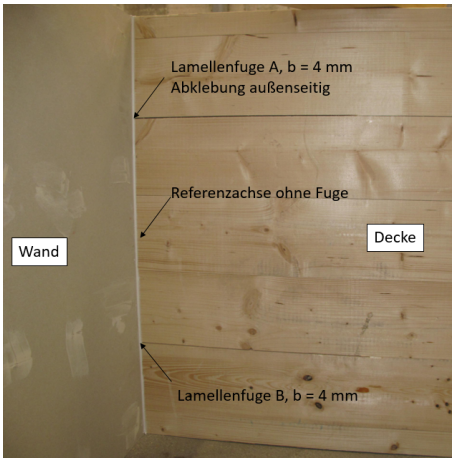


Abbildung 58: Ansicht der brandzugewandten Seite der Decke mit Anordnung der Lamellenfugen (Versuch B1)

Zum Vergleich werden die Thermoelemente an der Fugenmitte oberhalb des Schallschutzlagers vergleichend gegenübergestellt. In Abbildung 59 ist eine deutliche Temperaturdifferenz zwischen den beiden Lamellenfugen und dem Referenzpunkt festzustellen. Durch die direkte Verbindung der Fuge mit dem Brandraum werden bereits nach kurzer Zeit Temperaturen von ca. 100 °C in den Lamellenfugen festgestellt, während die Temperatur der Referenzachse erst in der 75. Minute vergleichbare Messwerte aufweist. Dennoch ist auch in diesem Fall wieder die Ausbildung eines Temperatur-Plateaus zu erkennen, sodass sich der Bereich der Lamellenfuge in Fugenmitte erst sehr spät über 100 °C erwärmt und die Heißgase auf der brandabgewandten Seite über einen langen Zeitraum dementsprechend kalt sind.

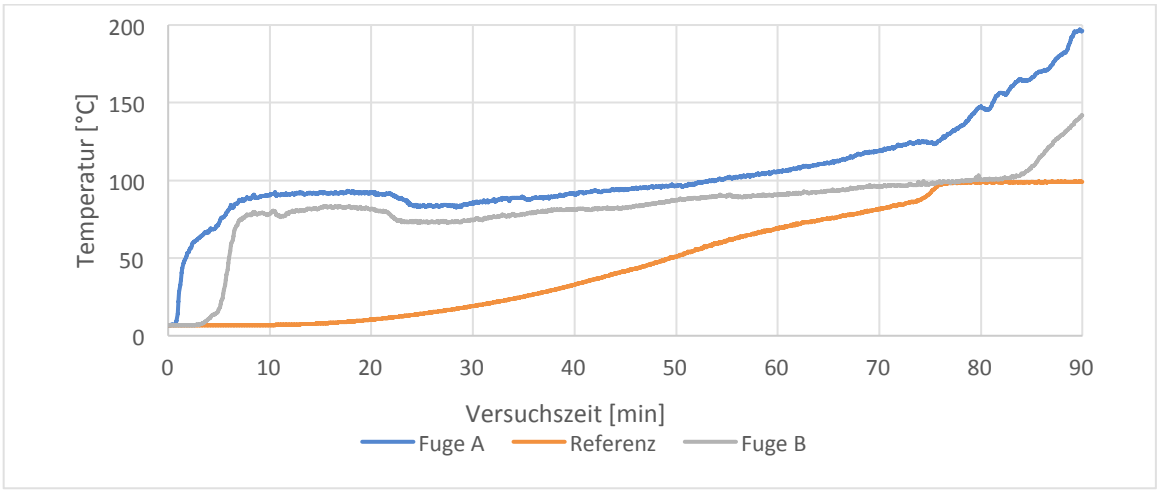


Abbildung 59: Temperaturen in der Mitte der Bauteilfuge oberhalb des Schallschutzlagers mit und ohne Lamellenfuge (Versuch B1)

Auch wenn die Temperaturen in Lamellenfugen oder herstellungsbedingten Risse über einen langen Zeitraum niedrig bleiben, stellen sie dennoch eine potenzielle Möglichkeit zum Durchtritt von Rauchgasen dar, sodass geeignete Maßnahmen zur Erzielung der rauchdichten

Ebene notwendig sind. Vergleichbare Kontaktflächen wie beispielsweise Holzbalken stellen in diesem Fall durch ihre monolithische Herstellung eine günstigere Variante dar.

7.2.3.5 Flankierende Bauteile

Im Versuch G1 wurde der Anschluss einer Massivholzwand an eine flankierende Holzbalkendecke untersucht. Hierzu wurde ein Mineralwolleschott nach DIN 4102-4 mit einer Breite von 500 mm oberhalb des Anschlusses zwischen den durchgehenden Deckenbalken angeordnet. Auch wenn sich die Temperaturen hier ebenfalls in einem niedrigen Bereich bewegen, konnte bezüglich des Volumenstroms festgestellt werden, dass der Anschluss vergleichbare bzw. ab der 45. Minute höhere Volumenströme als die Versuche mit mineralischen Anschlüssen F1 und F3 aufweist. Aufgrund der extrem hohen Rauchgaskonzentrationen von > 10.000 ppm Kohlenmonoxid musste die Messtechnik im Versuch G1 in der 60. Minute deinstalliert werden.

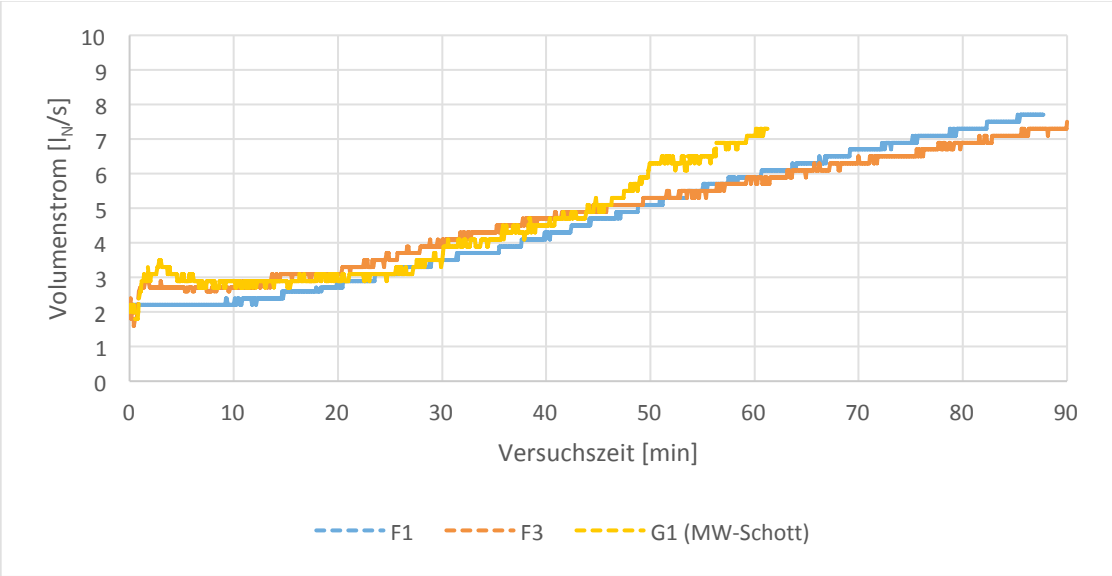


Abbildung 60: Normierte Volumenströme der Versuche F1, F3 und G1 im Vergleich

7.2.4 Vergleich mit mineralischen Bauweisen

Um einen Vergleich zu den dem Stand der Technik entsprechenden mineralischen Anschlüssen herzustellen, wurden Anschlussdetails aus der DIN 4102-4:2016-05 herangezogen, welche eine eingeführte technische Baubestimmung darstellt.

In Versuch F1 wurde ein Mauerwerksanschluss (b = 100 mm) an eine Stahlbetondecke gemäß DIN 4102-4:2016-05, Kap. 9 untersucht. Hierzu wurde ein mineralischer Dämmstoffstreifen mit einer Dicke von 90 mm auf eine Dicke von 30 mm komprimiert, sodass eine Rohdichte im Einbauzustand von ≥ 90 kg/m³ erzielt wurde. Die Temperaturentwicklung in der Fugenmitte ist in Abbildung 61 dargestellt.

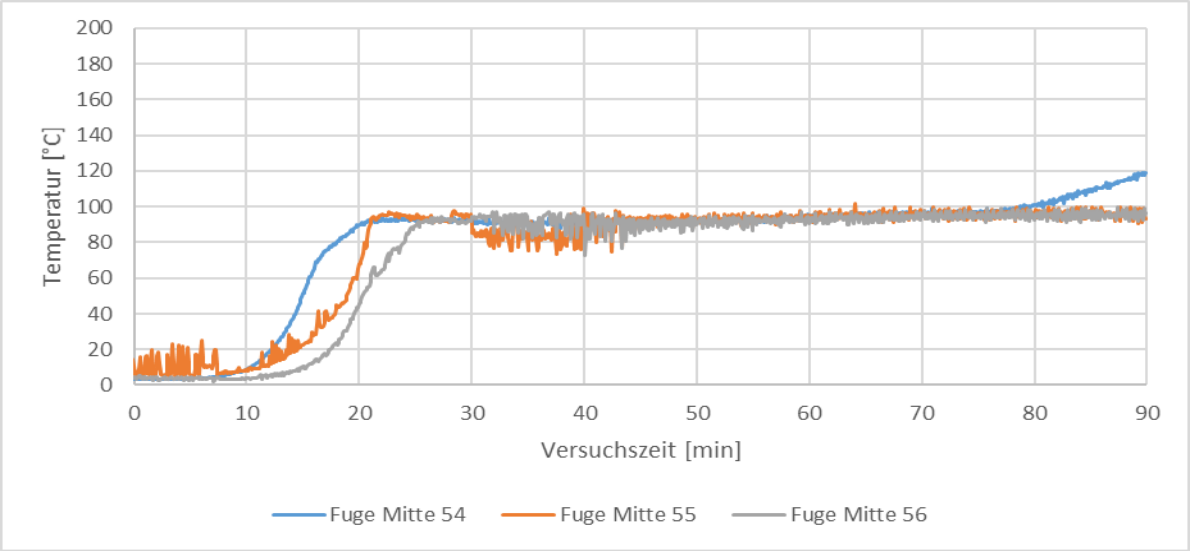


Abbildung 61: Temperatur in der Mitte der Bauteilfuge (Versuch F1)

In Versuch F3 wurde ein gleitender Trockenbauanschluss DIN 4102-4:2016-05, Kap. 10 betrachtet. Hierzu wurde das UW-Profil deckenseitig mittels drei Gipsplattenstreifen mit einer Dicke von 12,5 mm gleitend an der Decke befestigt. Die Auswertung der Temperaturen in der Fugenmitte ist in Abbildung 62 dargestellt.

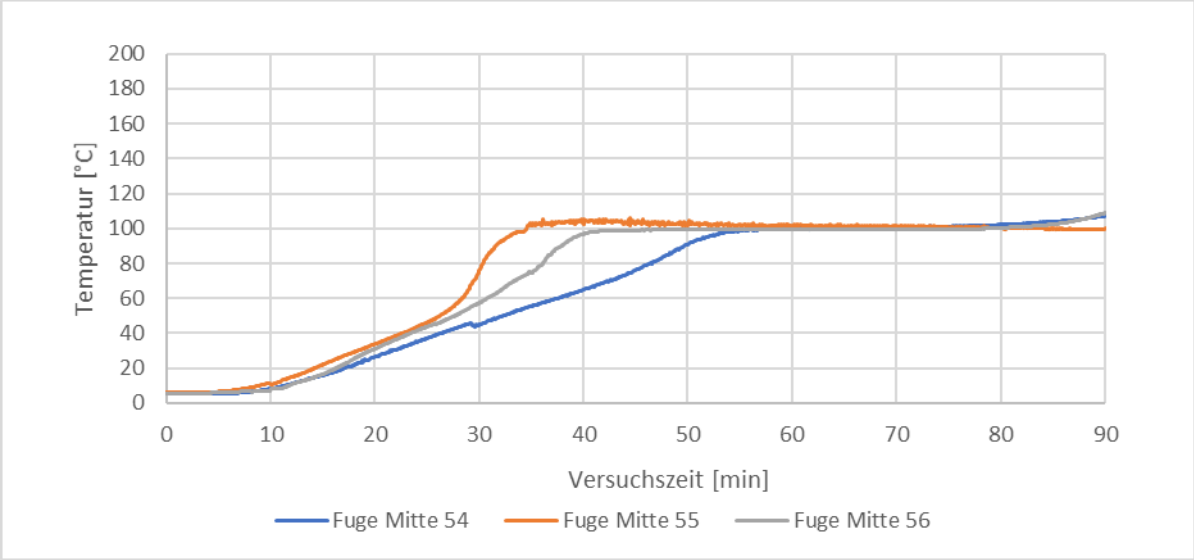


Abbildung 62: Temperatur in der Mitte der Bauteilfuge (Versuch F3)

Das Erreichen der Maximaltemperaturen von 100 °C in der Fugenmitte konnte auch in den mineralischen Referenzversuchen mit gleitendem Trockenbauanschluss und einem Mauerwerksanschluss beobachtet werden. Weiterführend wurde mithilfe der Rauchgasanalytik untersucht, ob die untersuchten Bauteilanschlüsse aus brennbaren Baustoffen mindestens die Dichtigkeit der mineralischen, nichtbrennbaren Referenzbauteile aufwiesen. In Abbildung 63 sind die normativen Volumenströme der Holz-Holz-Anschlüsse mit den Referenzversuchen

F1 und F3 gegenübergestellt. Mit Ausnahme von Versuch A1 weisen alle Versuche mit Holz-Holz-Anschlüssen einen geringeren Rauchgasvolumenstrom als vergleichbare mineralische Anschlüsse auf. Die Abgastemperatur stieg innerhalb des Versuchszeitraums bei den Holz-Holz-Anschlüssen (Versuche A1, A2, B1, B2, C1) um maximal 10 K an. Bei den Versuchen F1 (+40 K) und F3 (+45 K) konnten wesentlich höhere Abgastemperaturen beobachtet werden. Weiterhin konnte insbesondere bei Versuch F3 im Gegensatz zu den Holz-Holz-Anschlüssen ein signifikant höherer CO / CO_2-Massenstrom festgestellt werden, womit die höheren Messwerte des Abgasvolumenstroms bestätigt werden konnten.

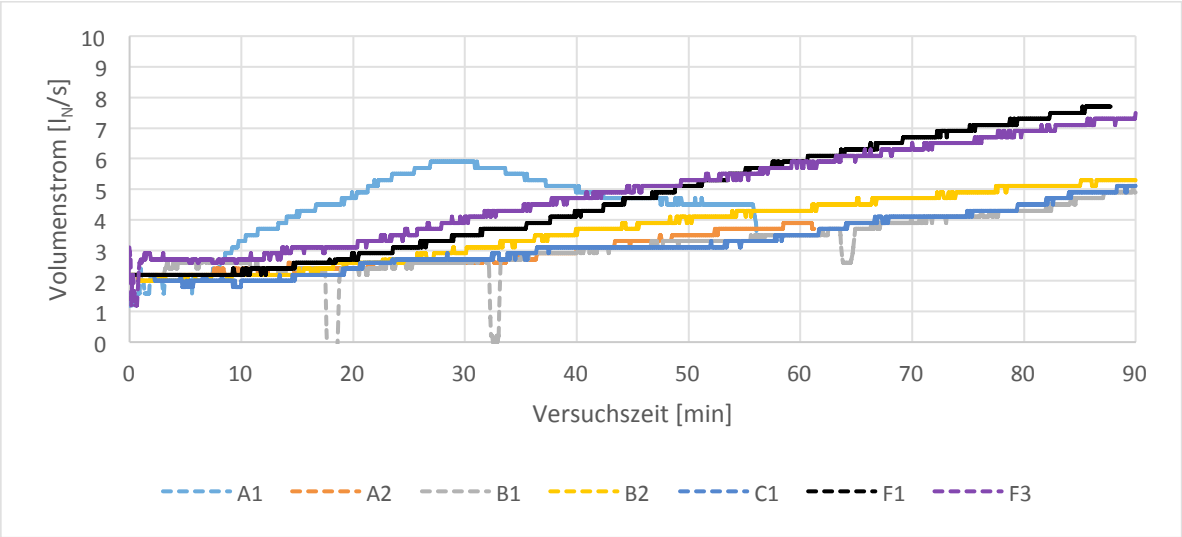


Abbildung 63: Vergleich der normativen Volumenströme zwischen Bauteilanschlüssen von brennbaren und nichtbrennbaren Bauteilen

7.3 Verhalten von Luftdichtungsmaßnahmen unter Temperatureinwirkung

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

7.3.1 Hinführung

Innerhalb einer Masterarbeit mit dem Titel „Dauerhaftigkeit der Leistungsfähigkeit von Maßnahmen zur Strömungs- und Luftdichtung in Holzbaukonstruktionen im Brandfall" [141] wurde am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der Technischen Universität München die Temperaturbeständigkeit von Luftdichtungsmaßnahmen untersucht.

7.3.2 Begründung der Versuche

Anschlüsse stellen bei der Ausbildung einer luftdichten Schicht oftmals die größte Schwachstelle dar, da sie konstruktiv mit mehr Aufwand verbunden sind als die Fläche. Innerhalb der Anschlüsse müssen die einzelnen Funktionsschichten der Bauteile verbunden werden, ohne ihre Leistungseigenschaften zu verlieren. Klebebänder stellen dabei eine Methode dar, luftdichte Anschlüsse herzustellen.

Im Holzbau wird in der Praxis allgemein davon ausgegangen, dass die luftdichte Funktion eines Bauteilanschlusses auch die Weiterleitung von Brandgasen ausreichend behindert.

Allerdings weisen die genannten Klebebänder und Dichtungsfolien laut der Herstellerangaben nur eine geringe Temperaturbeständigkeit auf und bieten somit bei erhöhtem Temperaturniveau die im Kaltzustand nachgewiesenen Leistungseigenschaften nicht mehr.

Mit Hilfe der innerhalb der Masterarbeit durchgeführten Versuche konnte die Leistungsfähigkeit der Klebebänder und Folien unter erhöhter Temperaturbeanspruchung und damit der folglich mögliche Einsatzbereich zur Behinderung des Durchtritts von Feuer und Rauch im Brandfall über Anschlüsse und Fugen untersucht werden.

7.3.3 Versuchsaufbau

7.3.3.1 Ausgewählte Materialien

Im Bereich von Wand-Wand- bzw. Wand-Decken-Anschlüssen stehen zahlreiche Dichtungsmaßnahmen zur Verfügung, die in unterschiedlichen Lagen innerhalb und außerhalb der Fuge angebracht werden können. Schlussendlich wurde in der Arbeit das Temperaturverhalten von Klebebändern sowie Kleberollen in Kombination mit einem Dampfbremsstreifen überprüft, da diese flexibel, sowohl im Holzmassiv- als auch im Holzrahmenbau, eingesetzt werden können.

Der Versuchsaufbau basiert auf der statischen Schälprüfung der DIN 4108-11, wurde jedoch an einigen Stellen abgewandelt ausgeführt, da in dieser Arbeit der Fokus vor allem auf die Dauerhaftigkeit von Klebeverbindungen in Form von Klebebändern unter Temperaturbeanspruchung gelegen hat. Eine Versuchsreihe unter Temperaturbelastung erscheint insoweit sinnvoll, da Klebebänder bzw. Kleberollen im Allgemeinen nur eine geringe Temperaturbeständigkeit aufweisen und keinen nennenswerten Beitrag zum Feuerwiderstand eines Bauteils leisten. Eine direkte Beflammung von Klebebändern und Folien wird in der Praxis durch eine über dem Klebeband angebrachte Bekleidungslage weitestgehend verhindert bzw. liegt die Luftdichtungsmaßnahme im Bauteil oder auf der brandabgewandten Seite.

Innerhalb der Arbeit wurden sechs Versuche basierend auf der DIN 4108-11 in einem Thermoschrank durchgeführt, bei welchen die angebrachten Klebebänder bzw. Kleberollen unter Schälbelastung auf im Holzbau typischerweise verwendeten Untergründen unter Temperatureinwirkung beansprucht wurden.

Zu den in den Versuchen untersuchten Klebegründen zählen:

- OSB-Platte nach DIN EN 300
- GKF-Platte nach DIN EN 520
- Gipsfaserplatte nach DIN EN 15283-2
- Fichtenholz gehobelt
- Dampfbremse aus Polypropylen-Vlies

Das Fichtenholz repräsentierte dabei auch die Oberfläche einer Mehrschichtplatte, beispielsweise Brettsperrholz, wie sie im Holzmassivbau eingesetzt wird. Da davon ausgegangen wird, dass Klebebänder nur einen geringen thermischen Einfluss aufweisen und sich dadurch direkt an der Oberfläche durchwärmen, spielte die Dicke des Untergrundes in diesem Fall eine untergeordnete Rolle.

Innerhalb der Versuche wurden unterschiedliche Klebebänder verschiedener Hersteller auf Basis ihres verwendeten Klebstoffes, ihres Trägermaterials sowie der Menge des Klebstoffauftrages ausgewählt, um eine möglichst große und repräsentative Auswahl abdecken zu können.

Zusätzlich wurden drei Kleberollen ausgewählt, um eine Vergleichbarkeit ihrer Leistungsfähigkeit untereinander und mit den Klebebändern herzustellen. Das „Trägermaterial“ für die Kleberollen bestand aus einem Streifen Dampfbremse.

Tabelle 25: Ausgewählte Produkte für die Versuche [141]

Nr.	Hersteller	Produkt	Klebeauftrag bzw. Klebstoffdicke	Klebstoff	Trägermaterial	max. Temp. der Anwendung nach Hersteller
1	1	Klebeband	200 g/m²	Acrylat	PE	90
2	1	Klebeband	200 g/m²	Acrylat	PP	90
3	1	Klebeband	200 g/m²	Acrylat	Papier	90
4	2	Klebeband	220 g/m²	Acrylat	PE	100
5	2	Klebeband	220 g/m²	Acrylat	PP	100
6	3	Klebeband	240 g/m²	Acrylat	PE	120
7	4	Klebeband	250 g/m²	Dispersion	PE	80
8	4	Klebeband	245 g/m²	Dispersion	Papier	100
9	3	Klebeband	210 g/m²	Dispersion	PE	100
10	3	Klebeband	180 g/m²	Dispersion	Papier	100
11	1	Kleberolle	3 mm	Acrylat	PP	100
12	2	Kleberolle	2,5 mm	Acrylat	PP	70
13	4	Kleberolle	3,75 mm	Dispersion	PP	80
14	1	Dampfbremse	-		PP	80

Auf eine Vorbehandlung der Oberflächen mittels Primern wurde verzichtet, da diese in der Praxis oftmals nicht angewendet werden und nur zu einer stärkeren Haftung führen, was die Versuchsergebnisse nur verbessern sollte.

7.3.3.2 Versuchsstand

Im Versuch sollten die Klebebänder auf ihre Schälfestigkeit beansprucht werden. Obwohl ein spannungsfreier Einbau auf der Baustelle vorausgesetzt ist, konnten durch die aufgebrachte mechanische Belastung die einzelnen Klebebänder in ihrem Verhalten gegenüber Temperaturbeanspruchung direkt miteinander unter einer kritischen Beanspruchung verglichen werden, die einerseits die Einwirkung des Überdrucks im Brandfall als auch die in der Praxis auftretenden Beanspruchungen exemplarisch darstellen. Da der Aufbau aufgrund der Temperaturbelastung in einem Thermoschrank stattfand, bot sich die vergleichsweise einfache Konstruktion des statischen Schälversuchs im Gegensatz zu Scher- und Zugfestigkeitsmessungen an, bei denen spezielle Prüfgeräte zur Messung der aufgebrachten Kräfte notwendig sind. Bei statischen Schälversuchen werden Gewichte an die Klebebänder angebracht und der Schälweg während der Temperaturerhöhung sowie das Abfallen/Versagen in Abhängigkeit der Zeit und Temperatur der Klebstoffverbindung aufgezeichnet. Die festgelegten Untergründe zum Befestigen der Klebebänder wurden um 30° zur Horizontalen geneigt, wodurch ein freies Hängen der Gewichte ermöglicht wurde (vgl. Abbildung 64). Insgesamt wurden sechs Versuche mit unterschiedlichen Untergründen durchgeführt:

- Versuch 1: OSB-Platte mit Klebebändern
- Versuch 2: GKF-Platte mit Klebebändern
- Versuch 3: Dampfbremse mit Klebebändern
- Versuch 4: Holzbrett aus Fichte mit Klebebändern
- Versuch 5: Gipsfaserplatte mit Klebebändern
- Versuch 6: OSB-Platte mit Klebebändern und Kleberollen

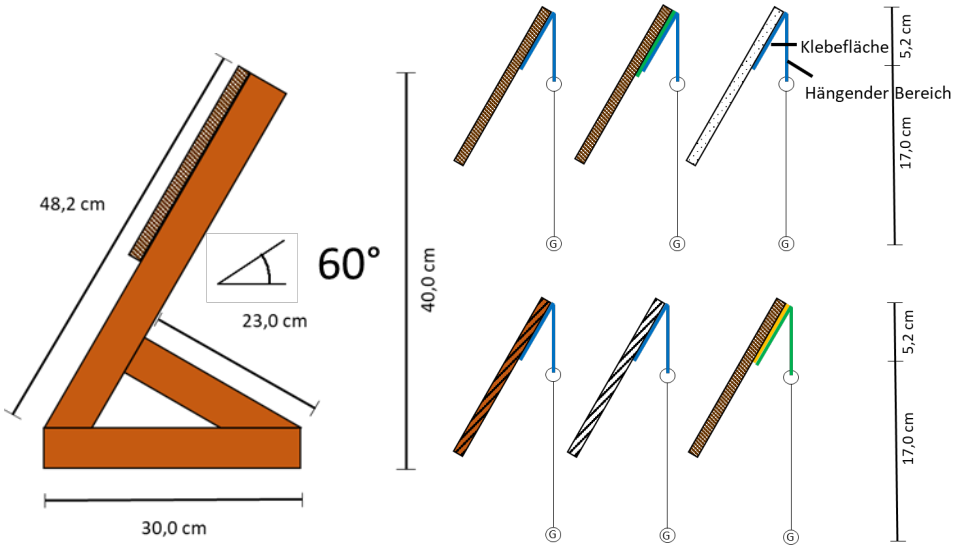


Abbildung 64: Schematische Darstellung des finalen Prüfaufbaus mit Untergründen [141]

Die im Vorhinein festgelegten Klebebänder bzw. Kleberollen wurden stets vor Versuchsbeginn auf den Untergründen befestigt. Die für die Schälbelastung notwendigen Gewichte von 30 g wurden erst kurz vor dem Beginn der Messung ohne Pendeln eingehängt, was eine zusätzliche Belastung der Klebeverbindung verhindern sollte. Der Prüfkörper wurden mit einem festgelegten Temperaturintervall von 5 °C bzw. ab 120 °C Ofentemperatur von 10 °C beansprucht, bis alle Klebebänder unter der aufgebrachten Last versagten oder die maximale Ofentemperatur von 180 °C erreicht wurde.

Versuch 6 unterschied sich von den anderen Versuchen insofern, dass bei diesem neben vier im Vorhinein ausgewählten Klebebändern sechs Proben mit Kleberollen in Kombination mit einer Dampfbremse aufgebracht wurden. Die vier Klebebänder für Probekörper 6 wurden gleichzeitig mit denen von Probekörper 1 befestigt, um den Einfluss einer länger haftenden Klebstoffverbindung beurteilen zu können. Zusätzlich wurden sieben weitere Klebebandstreifen ohne Gewichtsbelastung aufgeklebt, um das Trägermaterialverhalten bei hohen Temperaturen bewerten zu können.

Die im Ofen vorherrschende Lufttemperatur sowie die Oberflächentemperatur wurde an je drei festgelegten Messstellen zwischen getestetem Produkt und Untergrund mit Hilfe von Thermoelementen des Typs K minutenweise aufgezeichnet (siehe Abbildung 65). Durch die zeitliche Protokollierung von Ereignissen, die vom Abschälvorgang der Klebebänder (Messung des Schälwegs), dem Abfallen der Gewichte bis zum Schmelzen des Trägermaterials reichen, konnten diese eindeutig den zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Temperaturen im Prüfofen zugeordnet werden.

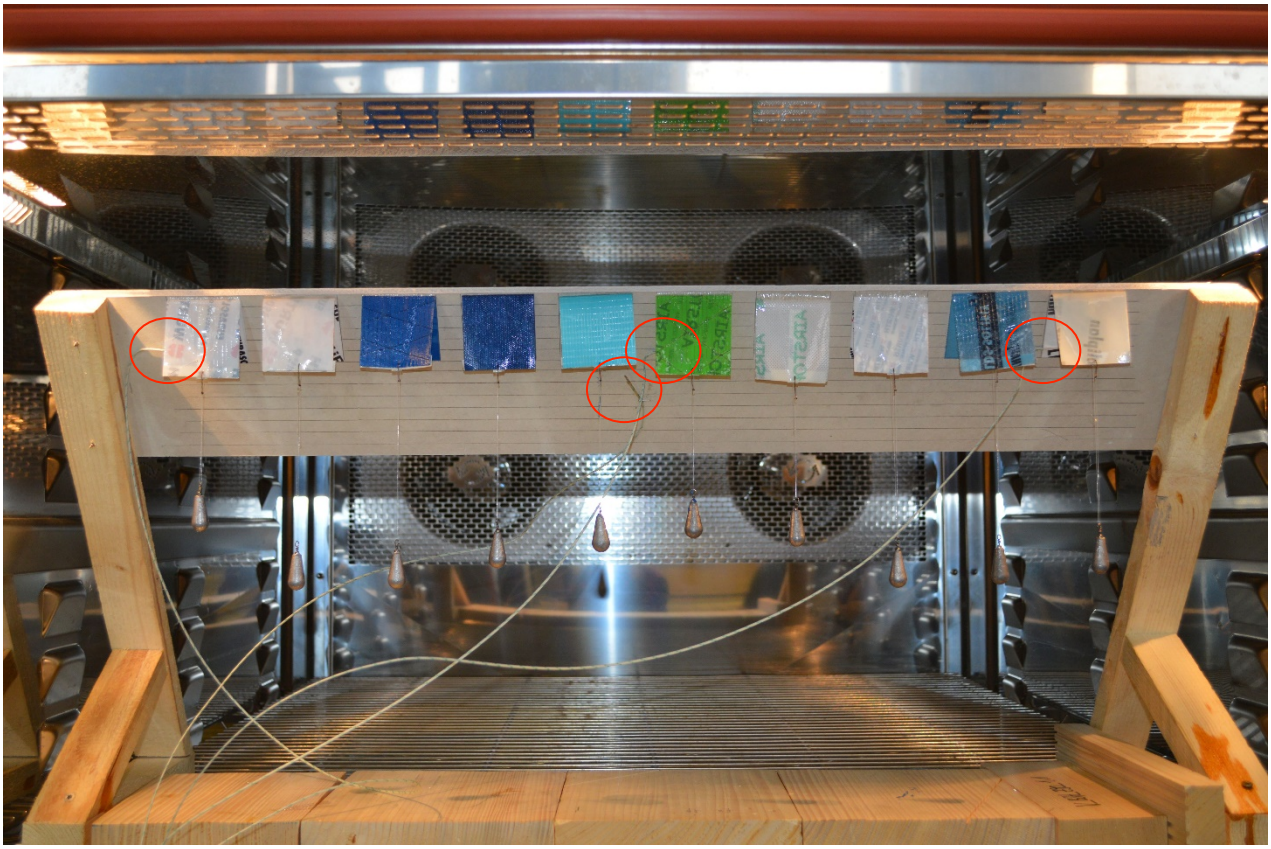


Abbildung 65: Versuchsaufbau mit Positionen der Thermoelemente (rot) [141]

7.3.4 Versuchsergebnisse

7.3.4.1 Abfallen des Klebebands

Bei den Klebebändern kann im Allgemeinen zwischen einem Versagen des Trägermaterials oder des Klebstoffs unterschieden werden. Entweder fällt das Gewicht durch den Abriss des Trägermaterials ab oder der Klebstoff verliert seine Haftkraft, wodurch es zu einem Abschälvorgang kommt bis das Klebeband abfällt. Hierbei kann für das Klebstoffversagen noch zwischen dem Kohäsionsbruch (innere Festigkeit des Klebstoffs), dem Adhäsionsbruch, bei dem sich der Klebstoff zum Untergrund oder zum Trägermaterial löst sowie dem Mischbruch als Kombination zwischen Adhäsions- und Kohäsionsbruch unterschieden werden. Eine Übersicht mit den Versagensarten der Klebebänder in der jeweiligen Versuchsreihe wird in nachfolgender Tabelle 26 dargestellt. Die gestrichelten Bereiche für „OSB lang“ zeigen die nicht verwendeten Klebebänder, die durch Kleberollen ersetzt werden. Detaillierte Diagramme mit der Versagensart sowie den zugehörigen Zeitpunkten und gemessenen Oberflächen- bzw. Ofentemperaturen sind in der zu Grunde liegenden Masterarbeit enthalten [141].

Tabelle 26: Versagensart der Klebebänder mit Oberflächentemperatur in °C [141]

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 10
OSB	121,1			104,5	93,3	108,2	110,5		106,4	154,2
GKF	121,1	164,4	167,4	116,4	107,6	118,1	117,1		120,3	143,2
Dampfbremse	119,7	127,4	134,4	115,4	105,5	127,5	119,7		118,4	156,3
Holz	114,5	134,4	155,0	105,9	96,6	109,4	117,9		114,7	155,6
Gipsfaserplatte	118	150		112,6	104,7	117,5	114,2	154,8	117,9	133,9
OSB lang	119,2	----	----	112,0	---	----	115,5	---	119,5	----

Adhäsion Substrat
Kohäsion
Adhäsion Trägermaterial
Trägermaterial versagt
Gewicht abgerissen

Ein Reißen des Trägermaterials konnte nur für Bänder aus Polyethylen beobachtet werden (Nr. 1, 4, 7 und 9). Aufgrund des Erweichens durch die Temperaturbelastung lösten sich die Verstärkungsfäden aus dem Material. Des Weiteren konnte am Trägermaterial Bläschenbildung festgestellt werden, die die luftdichte Funktion des Klebebands nicht mehr sicherstellen würde. Diese setzte im Allgemeinen erst bei höheren Temperaturen nach dem Abriss des Trägermaterials ein. Aus diesem Grund ist es sehr wahrscheinlich, dass ohne die zusätzliche Gewichtsbelastung die Luftdichtheit über einen größeren Zeitraum sichergestellt werden kann (bis zur Bläschenbildung). Lediglich bei einem Band aus Polyethylen (Nr. 6) wurde stattdessen ein Kohäsionsbruch des Klebstoffs ohne Bläschenbildung am Trägermaterial erfasst. Folglich ist davon auszugehen, dass Verbesserungen in der Produktionsweise des Trägermaterials möglich sind, die die Temperaturbeständigkeit erhöhen. Über den Einfluss des Klebstoffs auf das Schälverhalten kann wegen dem frühzeitigen Versagen des Trägermaterials keine Aussage getroffen werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass der bei Band 1 verwendete Klebstoff, der identisch mit dem der Bänder 2 und 3 ist, länger halten würde, da diese in den Versuchen deutlich länger am Substrat haften, wenn das Trägermaterial einen höheren Temperaturwiderstand aufweist.

Bei den Bändern aus Polypropylen kam es ebenfalls zu einem Schmelzen des Trägermaterials. Der Schmelzpunkt lag allerdings höher als bei Bändern aus Polyethylen, konnte aber aufgrund des frühzeitigeren Versagens des Klebstoffs im Vergleich zum Trägermaterial in den Versuchen nicht näher spezifiziert werden.

Insgesamt wiesen Klebebänder mit Kraftpapier als Trägermaterial den höchsten Temperaturwiderstand auf. Da dieses unter Temperatur- und Gewichtsbelastung nicht schmilzt bzw. sich nicht verformt, sind für die Dauer der Haftung die jeweilige Klebstoffart sowie die Klebstoffmenge ausschlaggebend. Die Temperaturbeständigkeit erreichte in den Versuchen Werte von knapp über 160 °C.

Beim Vergleich der Versagenstemperaturen der Klebebänder fällt auf, dass diese bei einer Kombination von Bändern mit Acrylatdispersion als Klebstoff und einem Untergrund aus Gipsplatten niedriger lagen als für Bänder mit Solidacrylat. Dies kann auf die in der Dispersion vorhandenen Emulgatoren zurückgeführt werden, an denen sich bei einer Temperaturerhöhung das verdampfende Wasser des Substrats anlagern kann, was zu einer Verflüssigung des Klebstoffs führt und schlussendlich in einem früheren Abfallen des Klebebands resultiert.

7.3.4.2 Schälen des Klebebands / der Kleberollen

Des Weiteren wurde neben dem Abfallen der Zeitpunkt betrachtet, an dem ein Klebeband bzw. eine Kleberolle begann, sich von der Oberfläche des Untergrundes abzuschälen. Bei Beginn des Schälvorgangs wurde von einer Erweichung des Klebstoffs ausgegangen, sodass die Haftung zum Substrat nicht mehr als gewährleistet betrachtet werden kann. Hierzu wurde während der Versuche der Schälweg vor dem eigentlichen Versagen/Abfallen gemessen. Beim Antragen dieses Weges auf die gemessene Temperatur, konnte festgestellt werden, zu welchem Zeitpunkt konstantes Schälen eintrat.

Die einzelnen Versuchsergebnisse ähneln sich für jedes Klebeband auf den jeweiligen Untergründen, weswegen auf Basis der Diagramme kein Unterschied zum Schälverhalten oder der Schälgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Untergrund festgestellt werden kann. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass die herstellerspezifische Klebstoffzusammensetzung einen größeren Einfluss auf das Schälverhalten der Klebstoffe besitzt.

7.3.5 Fazit und Ausblick der durchgeführten Versuche

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Temperaturbeständigkeit der Klebebänder deutlich höher liegt als von den Herstellern im Allgemeinen angegeben wird. Diese Kenntnis erleichtert es, in der Planung von luftdichten Bauteilfugen geeignete Lösungen und im Falle der Klebebänder bzw. Kleberollen passende Produkte zu finden, die den notwendigen Ansprüchen gerecht werden. Da die Versuche aufgrund der untypischen Belastungssituation wie beispielsweise der Schälbelastung mittels Gewichten und der freien Luftströmung um den Versuchskörper auf der sicheren Seite liegen, ist davon auszugehen, das noch höhere Widerstände im Hinblick auf die Behinderung konvektiver Strömungen möglich sind. In der Praxis sind die entsprechenden Verklebungen oftmals durch Bekleidungen abgedeckt, was eine Schälbeanspruchung im Normalfall ausschließt. Bei nicht konstruktionsgerechter Ausführung der Wand- und Deckenanschlüsse können sich die Bauteile unter Wärmeeinwirkung verformen was zu einer anderen Beanspruchung der Dichtungsmaßnahme führen kann, die durch die Versuche nicht abgedeckt wird. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass für Trägermaterialien aus Polyethylen und Polypropylen der Versagenszeitpunkt abhängig vom Schmelzpunkt des Trägers ist, da aufgrund der einsetzenden Bläschenbildung keine Luftdichtheit mehr gewährleistet werden kann.

Im Allgemeinen sollte eine beidseitige Befestigung an der Konstruktion aufgrund der Unkenntnis des Ausbruchorts eines Schadenfeuers eine sicherere Lösung darstellen. Durch den im Brandfall entstehenden Überdruck kann sich bei Versagen der Dichtungsebene eine konvektive Strömung durch den Anschluss bilden, die Brandrauch mit sich führt. Da die Klebebänder nur eine geringe Temperaturbeständigkeit aufweisen, ist auf der brandzugewandten Seite mit einem frühen Versagen zu rechnen. Eine beidseitige Anbringung verhindert die Durchströmung der Fuge mit Rauch- bzw. Heißgasen bei einseitigem Versagen einer Dichtung. Hierbei sollten die Dichtungsmaßnahmen an einer thermisch unkritischen Stelle in der Konstruktion positioniert werden, um eine möglichst späte und geringe Temperaturbeanspruchung der Klebebänder zu gewährleisten. Dies kann in Verbindung mit den in der Tabelle 30 dargestellten Maßnahmen erreicht werden.

Allgemein lässt sich festhalten, dass das Versagen im Schälversuch bei Ofentemperaturen auftrat, die mit den Temperaturkriterien zur Wärmedämmung auf der abgewandten Oberfläche vergleichbar sind.

8 Vorschläge zu qualitätssichernden Maßnahmen

Bearbeitung: Norbert Rüther, Ludger Dederich

8.1 Einleitung

Innerhalb dieses Forschungsvorhabens liegt der Fokus auf den Anschlüssen von Bauteilen wie bspw. Wand und Decke. Bauteile können als Ganzes oder in Teilen (als elementierte Bauteile) grundsätzlich werkseitig vorgefertigt, also als Bauprodukt auf die Baustelle geliefert werden. Diese können aber auch als Bauart direkt auf der Baustelle gefertigt bzw. montiert werden. In der Praxis ist es üblich, dass vorgefertigte Bauelemente (bspw. in Holztafelbauweise als beidseitig geschlossene oder nur einseitig beplankte Bauelemente) mit auf der Baustelle gefertigten Bauteilen kombiniert werden. Bei den Anschlüssen der Bauelemente und Bauteile verhält es sich hingegen in der Art, dass diese ausnahmslos auf der Baustelle auf Grundlage einer detaillierten Planung (Werk- und Montageplanung) hergestellt werden.

Im Holzbau wurden in der Vergangenheit unterschiedliche qualitätssichernde Maßnahmen etabliert, und es wird davon ausgegangen, dass in Holzbauunternehmen grundsätzlich ein funktionierendes Qualitätsmanagementsystem (werkseigene Produktionskontrolle) Bestandteil der Planungs-, Produktions- und Umsetzungsprozesse sowohl im Rahmen der werkseitigen Vorfertigung als auch auf der Baustelle ist. Zudem sind die Fragen der Zuständigkeiten im Bauprozess in den jeweiligen Landesbauordnungen beschrieben. Nachstehend wird somit ausschließlich auf ergänzende Fragen hinsichtlich qualitätssichernder Maßnahmen mit Bezug auf die Anschlüsse der Bauteile eingegangen. Gleichzeitig wird, um die grundsätzliche Relevanz der Bauteilanschlüsse zu verdeutlichen, auch auf Allgemeingültiges verwiesen.

8.2 Zielstellung

Das Ziel der qualitätssichernden Maßnahmen ist, dass die tatsächlich auf der Baustelle realisierten, fertiggestellten Anschlüsse exakt die Eigenschaften aufweisen, wie diese gemäß Planung erforderlich sind. Es wird davon ausgegangen, dass die Erreichung dieses Ziels mittels einer Dokumentation nachvollziehbar belegt wird.

8.3 Allgemeines

8.3.1 Phasen des Bauablaufs

Hinsichtlich der qualitätssichernden Maßnahmen können unterschiedliche Phasen des Bauablaufs betroffen und unterschiedliche Tiefen (Art und Umfang) der Maßnahmen erforderlich sein.

In Bezug auf die Phasen des Bauablaufs sind

- Entwurfsplanung,
- Fertigungsplanung,
- Fertigung,
- Montage sowie
- Betrieb (Nutzung)

zu unterscheiden. Demontage oder Abriss werden hier nicht betrachtet.

Vorgenanntes gilt allgemein und somit gleichfalls für die Anschlüsse der Bauteile. Die Bauteilanschlüsse müssen somit auch hinsichtlich der Eigenschaften gegenüber Brandeinwirkungen in allen Phasen des Bauablaufs berücksichtigt werden, obwohl die Herstellung der Anschlüsse praktisch immer auf der Baustelle erfolgen wird.

8.3.2 Art und Umfang der qualitätssichernden Maßnahmen

Die Inhalte (Art und Umfang) der qualitätssichernden Maßnahmen sind grundsätzlich in Abhängigkeit der bauordnungsrechtlichen Gebäudeklassifizierung in Verbindung mit der gestellten Bauteilanforderung differenzierbar. Die Landesbauordnungen legen die grundlegenden Rahmenbedingungen und Grundanforderungen bzw. Verantwortlichkeiten fest. In der Musterbauordnung unter den folgenden Paragraphen:

- § 54 MBO Entwurfsverfasser
- § 55 MBO Unternehmen
- § 56 MBO Bauleiter
- § 66 MBO Bautechnische Nachweise

An diesen Stellen ist beschrieben, welche Qualifikation vorhanden sein muss, um bspw. Brandschutznachweise (in Abhängigkeit der Gebäudeart) erstellen zu dürfen (s. Tabelle 27).

Tabelle 27: Verantwortlichkeiten für qualitätssichernde Maßnahmen in Abhängigkeit der Gebäudeklasse und der Planungs- bzw. Umsetzungsphase nach MBO [9]

<table>
<tr><th rowspan="2">Projektphasen</th><th colspan="5">Grundlegende Anforderungen hinsichtlich QM bei Gebäudeklasse</th><th rowspan="2">Grundlagen / Dokumente</th></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Entwurfsplanung</td><td colspan="5">Entwurfsverfasser</td><td rowspan="3">Entwurfsplanung, Standsicherheitsnachweis u.a. Bauvorlagen (einschließlich Brandschutz- und Luftdichtheitskonzept), Ausschreibungsunterlagen</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">Prüfingenieur Standsicherheit</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Prüfingenieur Brandschutz</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Werk- und Montageplanung</td><td colspan="5">Entwurfsverfasser und Unternehmen</td><td rowspan="3">Baugenehmigung einschließlich Standsicherheitsnachweisen und Brandschutznachweisen (ggfs. Brandschutz- und Luftdichtheitskonzept), Ausschreibungsunterlagen, Ausführungsplanung</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">Prüfingenieur Standsicherheit</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Prüfingenieur Brandschutz</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Fertigung im Werk</td><td colspan="5">Unternehmen</td><td rowspan="2">Übereinstimmungserklärung nach MVV TB (z.B. C 2.3.1.4, C 3.2) oder bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis (abZ, ZiE, abP)</td></tr>
<tr><td colspan="5">Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle, soweit in der MVV TB oder in bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweisen gefordert</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Ausführung auf der Baustelle bzw. Montage</td><td colspan="5">Bauleiter und Unternehmen</td><td rowspan="3">Bauleiter:
u.a. Dokumentation der Endkontrolle der ordnungsgemäßen Ausführung

Unternehmen:
Bestätigung der Übereinstimmung mit den Technischen Baubestimmungen und ggfs. mit bauaufsichtlichen Anwendbarkeitsnachweisen (aBG, vBG, abP) durch den Ausführenden unter Berücksichtigung der Standsicherheits- und Brandschutznachweise (ggfs. einschließlich Brandschutzkonzept und Luftdichtheitskonzept)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td colspan="2">Prüfingenieur Standsicherheit</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>Prüfingenieur Brandschutz</td></tr>
<tr><td>Nutzung</td><td colspan="5">Bauherr bzw. Eigentümer</td><td>ordnungsgemäße Unterhaltung und Instandsetzung</td></tr>
</table>

Die Tätigkeit der Prüf- und Überwachungsstellen im Werk und der Prüfingenieure auf der Baustelle beschränkt sich auf situationsangemessene stichprobenartige Kontrollen.

Bauherr bzw. Baueigentümer sind für die ordnungsgemäße Instandhaltung eines Gebäudes in der Nutzungsphase verantwortlich. Die Ausführung der von Bauteilanschlüssen und Elementfugen muss aufgrund der Unzugänglichkeit in Übereinstimmung mit den in Kapitel 10 dargestellten Vorschlägen wartungsfrei und dauerhaft über die gesamte Nutzungsdauer sein.

Die Verantwortlichkeiten sind nach LBO BW [2] und der aufgrund dieses Gesetzes erlassenen Vorschriften teilweise anders gelagert als nach MBO [9]. So ergibt sich das Erfordernis der Prüfung der Standsicherheitsnachweise und der Überwachung der Ausführung in konstruktiver Hinsicht nicht aus der Zuordnung zu einer Gebäudeklasse, sondern ist über Kriterien geregelt, die in der Verfahrensverordnung zur LBO BW aufgeführt sind [76]. Die in Tabelle 27 beschriebenen Aufgaben des Prüfingenieurs für Brandschutz werden unabhängig von einer Gebäudeklasse von der zuständigen Baurechtsbehörde wahrgenommen.

8.4 Eigenschaften der Anschlüsse mit Bezug auf Brandeinwirkungen

Eine ausreichend lange Widerstandsfähigkeit gegen Brandausbreitung ist bei Bauteilanschlüssen gegeben, wenn diese Anschlüsse einen

- ausreichend hohen Widerstand gegenüber thermischer Beanspruchung und
- ausreichend hohen Widerstand gegenüber (Luft-)Strömung bzw. Rauch (d.h. Rauchdichtheit)

aufweisen.

Innerhalb dieses Vorhabens wurde ermittelt, welche Randbedingungen eingehalten werden müssen, damit die beiden oben aufgeführten Eigenschaften ausreichend lange erhalten bleiben. In Kapitel 10 dieses Berichtes sind die aus den Versuchen (siehe Kapitel 7) abgeleiteten Empfehlungen für Anschlüsse von Holzbauteilen zusammengefasst.

Der Widerstand gegenüber thermischer Beanspruchung beruht vorrangig auf der Wahl und Anordnung der Baustoffe und auf den geometrischen Abmessungen derselben. Diese sind zeichnerisch darstellbar und in Tabelle 30 zusammengefasst. Der Widerstand gegenüber (Luft-)Strömung bzw. Rauch hängt primär von der Qualität der Ausführung und der Einhaltung von zulässigen Toleranzen (Maßhaltigkeit) ab. Bei einer korrekten Ausführung gemäß Tabelle 30 ist somit davon auszugehen, dass die Widerstände der Anschlüsse gegenüber thermischer Beanspruchung und gegenüber Strömung ausreichend hoch sind.

Die Wahl, Anordnung und die geometrischen Abmessungen der Baustoffe sind über die Fertigungszeichnungen, Wareneingangskontrollen, werkseigene Produktionskontrollen und über stichprobenartige Kontrollen auf der Baustelle kontrollierbar und dokumentierbar. Die Qualität der Ausführung und somit der ausreichende Widerstand gegenüber Strömung ist visuell kontrollierbar und könnte zudem auf der Baustelle messtechnisch überprüft werden.

Zur messtechnischen Ermittlung der Luftdichtheit von Bauteilen und deren Anschlüssen hat sich das Differenzdruck-Messverfahren, geregelt in DIN EN 13829 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden [67], im Bauwesen etabliert. Das Verfahren wird seit vielen Jahren zur Überprüfung der ausreichenden Luft-

dichtheit der Gebäudeaußenhülle angewendet, und es liegen umfangreiche Erfahrungen mit Durchführung und Auswertung vor.

Die Maßnahmen zur Sicherstellung der ausreichenden Rauchdichtheit, also die Maßnahmen zur Realisierung eines ausreichenden Strömungswiderstandes, erfolgen entweder konstruktiv, über die gesamte Bauteilfuge, oder mittels zusätzlicher dichtender Maßnahmen (z.B. Klebebänder) auf der brandabgewandten und somit „kalten“ Seite der Fügung. Wegen der geringen thermischen Beanspruchung der dichtenden Maßnahme kann die Überprüfung der Ausführungsqualität im kalten Zustand, also in der Bauphase visuell und mit dem Differenzdruck-Messverfahren erfolgen.

Sowohl die visuelle Sichtkontrolle, als auch die messtechnische Kontrolle haben ihre Grenzen hinsichtlich der Anwendbarkeit. So ist die Sichtkontrolle verhältnismäßig subjektiv und zudem können nicht einsehbare Bereiche nicht kontrolliert werden. Hinsichtlich der messtechnischen Kontrolle können zum aktuellen Zeitpunkt keine wissenschaftlich belegbaren Grenzwerte beschrieben werden. Auch in diesem Forschungsvorhaben konnte hinsichtlich der konkret zu erzielenden Dichtheit der Fügung keine quantitaive Aussage getroffen werden.

Grundsätzlich sind die Ziele, d.h. die Vermeidung von unkontrollierten Strömungen hinsichtlich der Gewährleistung von Wärmeschutz und Brandschutz identisch. Die sichere Anwendung des Differenzdruck-Messverfahrens in Bezug auf die konkreten Belange des Brandschutzes, die Interpretation von Messergebnissen in diesem Zusammenhang und insbesondere die Festschreibung von Grenzwerten bedarf jedoch weiterer Untersuchungen und eines breit aufgestellten Diskurses.

Als qualitätssichernde Maßnahme zur Kontrolle und Dokumentation der Ausführungsqualität der Bauteilfügungen sind somit die beiden im Bauwesen seit langem etablierten Maßnahmen erforderlich:

- Kontrolle der Übereinstimmung der Ausführung hinsichtlich der Wahl, Anordnung und der geometrischen Abmessungen der Baustoffe mit den Planungsunterlagen und mit den Ausführungsprinzipien gemäß Tabelle 30.
- Kontrolle der Dichtheit des Brandabschnittes mit Hilfe einer Sichtkontrolle und eventuell mit Hilfe des Differenzdruck-Messverfahrens nach DIN EN 13829.

9 Entwicklung von Vorschlägen für die brandschutztechnische Ausführung von Treppenraumwänden

Bearbeitung: Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Ludger Dederich

9.1 Definition von Schutzzielen und qualitativen Anforderungen für Bauteile in notwendigen Treppenräumen und Fluren

Insbesondere zur Erfüllung der Schutzziele „Rettung von Menschenleben“ und der Ermöglichung „wirksamer Löscharbeiten“ kommt der Ausführung des (bauordnungsrechtlich) notwendigen Treppenraumes eine besondere Bedeutung zu. Gemäß § 15 Abs. 4 LBO BW muss der erste Rettungsweg von Nutzungseinheiten, die nicht zu ebener Erde liegen, über eine notwendige Treppe führen [1]. Neben der Verwendung als primärem Fluchtweg dient der Treppenraum ebenso der Sicherung eines Angriffs- bzw. Rückzugsweges für die Feuerwehr im Inneneinsatz. Notwendige Treppenräume müssen daher lt. LBO BW [2] so angeordnet und ausgebildet sein, dass die Nutzung der notwendigen Treppen im Brandfall ausreichend lang möglich ist. Dieses Ziel wird im Wesentlichen durch die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden, vor allem aber auch raumabschließenden Bauteile sowie durch die Herstellung einer brandlastarmen Zone (Treppenraum) erreicht, welche durch Abschlüsse (Türen) bzw. weitere brandlastarme Bereiche (notwendige Flure) von den Nutzungseinheiten getrennt wird.

Gemäß § 12 LBOAVO [77] sind notwendige Flure **nicht** erforderlich

- „in Wohngebäuden der Gebäudeklassen 1 und 2,
- in sonstigen Gebäuden der Gebäudeklassen 1 und 2, ausgenommen in Kellergeschossen,
- innerhalb von Wohnungen oder innerhalb von Nutzungseinheiten mit nicht mehr als 200 m² ,
- innerhalb von Nutzungseinheiten, die einer Büro- oder Verwaltungsnutzung dienen, mit nicht mehr als 400 m²; das gilt auch für Teile größerer Nutzungseinheiten, wenn diese Teile nicht größer als 400 m² sind, Trennwände nach § 6 Abs. 1 Nr. 1 haben und jeder Teil unabhängig von anderen Teilen Rettungswege nach § 15 Abs. 3 LBO hat. [77]“

Notwendige Flure werden im Bauordnungsrecht dort gefordert, wo Rettungswege von Aufenthaltsräumen oder von Nutzungseinheiten mit Aufenthaltsräumen zu notwendigen Treppenräumen oder ins Freie führen (§ 36 (1) MBO [9] bzw. § 28 (3) LBO BW [2]). Abseits der Anordnung eines notwendigen Flures innerhalb von Nutzungseinheiten besteht grundsätzlich die Möglichkeit, beispielsweise Wohnungen auch in höheren Gebäudeklassen direkt über

den notwendigen Treppenraum zu erschließen. Es bestehen dabei unterschiedliche Anforderungen an die Türqualitäten.

Öffnungen in Treppenräumen zu notwendigen Fluren müssen rauchdichte und selbstschließende Abschlüsse erhalten, wohingegen Öffnungen zu Wohnungen lediglich dichtschließende Abschlüsse erfordern [77] (siehe Abbildung 66).

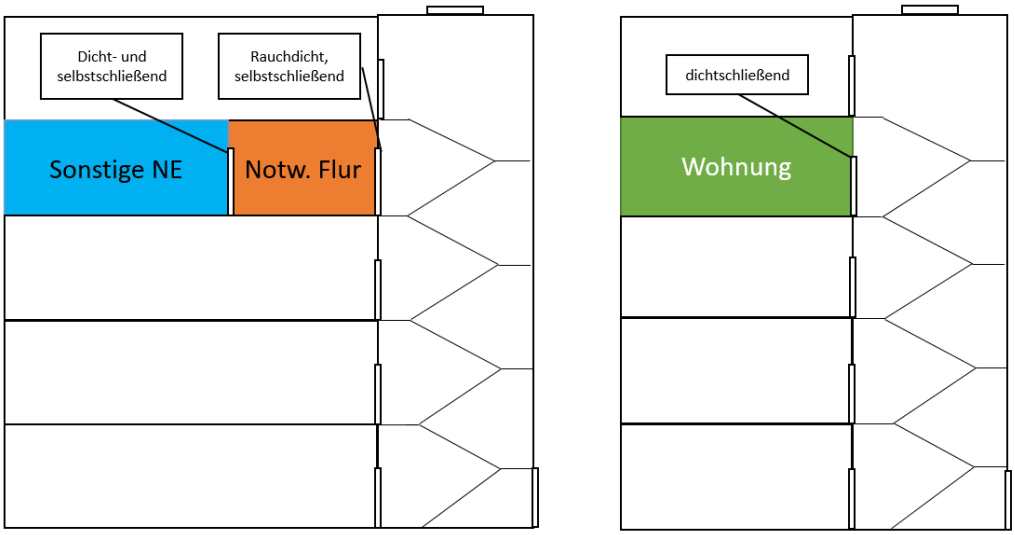


Abbildung 66: Musterbeispiele für Treppenräume mit und ohne notwendigem Flur gemäß LBOAVO [77]

Weiterhin müssen in notwendigen Treppenräumen gemäß § 11, Absatz 4:

1. *„Bekleidungen, Putze, Dämmstoffe, Unterdecken und Einbauten aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen,*
2. *Wände und Decken aus brennbaren Baustoffen eine Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen in* ***ausreichender Dicke*** *haben,*
3. *Bodenbeläge, ausgenommen Gleitschutzprofile, aus mindestens schwerentflammbaren Baustoffen bestehen.*“ [77]

Die Ausführung hochfeuerhemmender Bauteile in Holzbauweise (Holztafel-, Holzrahmen- und Fachwerkbauweise) ist zunächst über die Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise (HFHHolzR) geregelt [142].

Durch diese Anforderungen sollen

- ein Brennen der tragenden und aussteifenden Holzkonstruktionen,
- die Einleitung von Feuer und Rauch in die Wand- und Deckenbauteile über Fugen, Installationen oder Einbauten sowie eine Brandausbreitung innerhalb dieser Bauteile und

- die Übertragung von Feuer und Rauch über Anschlussfugen von raumabschließenden Bauteilen in angrenzende Nutzungseinheiten oder Räume

verhindert werden.

Gemäß § 26 Abs. 3 sind in Baden-Württemberg jedoch „Abweichend […] tragende oder aussteifende sowie raumabschließende Bauteile, die hochfeuerhemmend oder feuerbeständig sein müssen, aus brennbaren Baustoffen zulässig, **wenn die hinsichtlich der Standsicherheit und des Raumabschlusses geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit nachgewiesen und die Bauteile und ihre Anschlüsse ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sind.**“ [1]. Hieraus resultiert, dass auch Treppenräume in der GK 4, an die hochfeuerhemmende sowie mechanische Anforderungen bestehen, in Holzbauweise zulässig sind und abweichend ohne eine brandschutztechnisch notwendige Bekleidung gemäß HFHHolzRL ausgeführt werden könnten.

Gemäß § 11 (4) Nr. 2 LBOAVO (vgl. § 35 (5) Nr. 2 MBO) müssen Wände von Treppenräumen und notwendigen Fluren jedoch in jedem Fall treppenraumseitig mit einer Schicht aus nichtbrennbaren Baustoffen **in „ausreichender Dicke“** bekleidet werden, um ein Einbrennen in die Konstruktion und die Ausbreitung von Feuer und Rauch über Fugen und Hohlräume zu verhindern [77].

Die im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes zu bearbeitende Problemstellung ergibt sich durch die nicht bestimmte Definition der „ausreichenden Dicke“. Aus diesem Grund soll im Folgenden ein schutzzielorientierter Ansatz verfolgt werden, aus dem Vorschläge für die Ausführung der brandschutztechnischen Bekleidung in Treppenraumwänden resultieren.

Für die Benutzbarkeit des Treppenraums als auch des notwendigen Flures als Flucht- und Rettungsweg müssen folgende qualitativen Anforderungen eingehalten werden:

Tabelle 28: Übersicht von Anforderungen und Maßnahmen zur Erreichung der Schutzziele

Qualitative Anforderungen	**Maßnahmen**
Vorbeugung von des Brandentstehung im Treppenraum/notwendigem Flur	Begrenzung mobiler Brandlasten und Zündquellen
im Brandfall Verhinderung des Eintritts von Feuer und Rauch in den Treppenraum / notwendigen Flur	Anforderungen an Öffnungen und Abschlüsse, notwendige Flure, außenliegender Treppenraum
Möglichkeit zur Entrauchung des Treppenraumes im Falle von Raucheintritt	Möglichkeiten zur Rauchableitung
Begrenzung der Brandbeteiligung von immobilen Brandlasten	**nichtbrennbare Bekleidung in ausreichender Dicke**, schwerentflammbare Fußböden, Treppen aus nichtbrennbaren Baustoffen
Möglichkeit der Rettung / schnelle Entfluchtung	Entrauchung, Beleuchtung, ausreichende Sichtweite, Mindestbreite, Ausgänge

Eine Konkretisierung der im § 11 angegebenen ausreichenden Dicke für Flure findet sich bereits in der Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums und des Wirtschaftsministeriums über Technische Baubestimmungen (Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen - VwV TB) vom 20. Dezember 2017 [143]:

- MVV-TB 11/2017: A 2.1.12 Notwendige Flure und offene Gänge

„*Für den Fall, dass die Decken und Wände aus brennbaren Baustoffen bestehen, ist eine Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen ausreichender Dicke erforderlich, z. B. in Form einer* ***12,5 mm dicken Gipsplatte***."

Für Treppenräume hingegen findet sich in der Verwaltungsvorschrift keine weitere Konkretisierung. Vor diesem Hintergrund soll ein ingenieurgemäßer Nachweis mittels eines Naturbrandmodelles erfolgen, welches im Parallelprojekt TIMpuls auf Basis großmaßstäblicher Brandversuche erarbeitet wird. Im Rahmen des Projektes wurden zwei Naturbrandkurven entwickelt, die unterschiedliche Bemessungsbrandszenarien abdecken. Die Temperaturen an der Bekleidung werden anschließend zur Beurteilung des Wärmeeindringverhaltens einer Finite-Element-Simulation mittels COMSOL Multiphysics zugeführt. Anhand eines Wärmeleitungsmodelles auf Basis von effektiven Materialparametern der verwendeten Bekleidungslagen werden die Temperaturen innerhalb der Wandaufbauten bestimmt. Das Schutzziel liegt in der Verhinderung eines Brandeintrags in die Konstruktion, welches anhand der Temperatur des Kapselkriteriums nach DIN EN 13501-2 (siehe Abbildung 67) nachgewiesen werden soll. Hieraus ergibt sich die maximale Schutzzeit der Konstruktionen im Vergleich. Im Rahmen einer Schutzzielbetrachtung können somit geeignete Vorschläge für die Ausführung der Treppenraum- und Flurwände im Sinne der Landesbauordnung bzw. Ausführungsverordnung für Baden-Württemberg bestimmt werden.

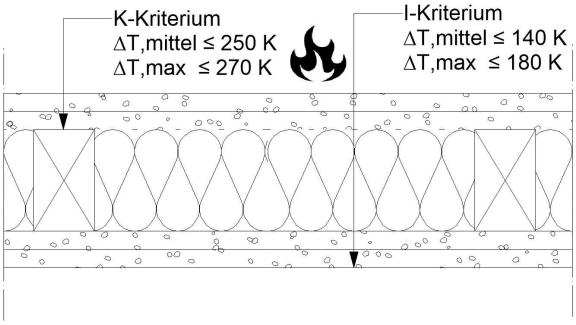


Abbildung 67: Schematische Darstellung des Kapsel- und Isolationskriteriums

9.2 Anwendung repräsentativer Naturbrände als Bemessungsbrandszenarien

Die Bauteilbemessung abseits der Einheitstemperatur-Zeitkurve mittels ingenieurgemäßer Methoden erfordert die Festlegung geeigneter Bemessungsbrandszenarien. Eine große Herausforderung besteht daher in der Festlegung geeigneter Parameter, welche den tatsächlichen Brandverlauf hinreichend genau abdecken. Da prinzipiell unendlich viele Brandszenarien mit zugehörigen Bemessungsbränden denkbar sind, müssen für den vorliegenden Fall geeignete Modelle ausgewählt werden, welche einen realistischen Brandverlauf widerspiegeln und diesen auf der sicheren Seite liegend abdecken können. Zu diesem Zweck existieren unterschiedliche Bemessungsverfahren wie das vereinfachte Naturbrandmodell nach DIN EN 1991-1-2 [144], welches eine Vielzahl von möglichen Lastfällen abdeckt.

Für die Erstellung von Bemessungsbränden sind u.a. Kenntnisse bzw. Abschätzungen über die Raumgeometrie, Öffnungsflächen, Brandausbreitungsgeschwindigkeit sowie die Anordnung von Brandlasten erforderlich. Im Holzbau sind jedoch nicht nur mobile Brandlasten in den Nutzungseinheiten, sondern auch die Brennbarkeit der Bauteiloberflächen selbst zu berücksichtigen. Die Pyrolyse bzw. der Abbrand der Holzoberflächen kann dabei zu einer nicht vernachlässigbaren Erhöhung der Wärmefreisetzung im Brandraum führen, welche durch die bisherigen Bemessungsmodelle nach DIN EN 1991-1-2/NA noch nicht abdeckt ist.

Im Rahmen des Projektes TIMpuls erfolgen daher brandschutztechnische Grundlagenuntersuchungen für eine erweiterte Anwendung des Holzbaus einschließlich der Naturbrandbemessung von Bauteilen unter Berücksichtigung einer Beteiligung von Holzbauteilen am Brandgeschehen. Im Rahmen des Projektes erfolgt eine Erweiterung der Gleichungen des vereinfachten Naturbrandmodelles nach DIN EN 1991-1-2/NA anhand von experimentellen und numerischen Untersuchungen aus der sich zwei repräsentative Naturbrandkurven ergeben, welche den Einfluss immobiler Brandlasten berücksichtigen und für die Untersuchung von Bauteilen in Brandöfen hinsichtlich des Naturbrandverhaltens geeignet sind [145].

Naturbrand 1 mit einer Temperaturamplitude oberhalb der ETK geht dabei von einer schnellen Brandentwicklungsphase und einer Amplitude von 1100 °C nach 45 Minuten aus, anschließend beginnt die Abklingphase. Für die Berücksichtigung mobiler und immobiler Brandlastung wird von einer typischen Wohnraumnutzung mit sichtbarer Massivholzdecke ausgegangen [146]. Die Naturbrandkurve 1 stellt einen kurzen aber intensiven Naturbrand dar. Für das Berechnungsmodell wird damit ein hoher Temperaturgradient zwischen Bauteil und Umgebung in den ersten 30 bzw. 60 Minuten erreicht. Dieser Zeitraum ist insbesondere für die Selbst- und Fremdrettung sowie die ersten Löschmaßnahmen der Feuerwehr relevant, sodass diese für die nachfolgende Bemessung der Schutzzeiten verwendet wird. Weiterhin wurde in den im TIMpuls-Projekt durchgeführten Brandversuchen vorrangig Natur-

brand 1 verwendet, womit eine bessere Vergleichbarkeit über die Forschungsvorhaben hinweg ermöglicht wird.

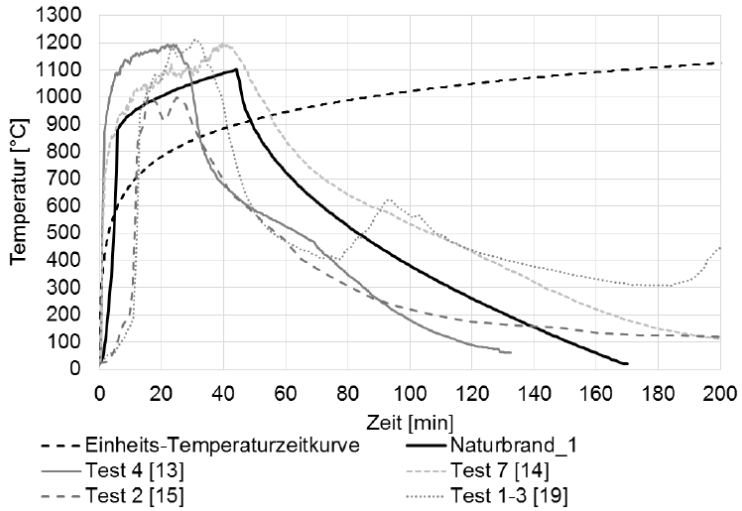


Abbildung 68: Repräsentative Naturbrandkurve 1 im Vergleich zur ETK sowie experimentellen Brandkurven [146]

Aus folgenden Gründen wird die Naturbrandkurve 1 nachfolgend für die Bemessung der Bekleidung von Bauteilen in notwendigen Fluren und Treppenräumen herangezogen:

- Es erfolgt eine Berücksichtigung der Beteiligung von brennbaren Holzoberflächen am Brandgeschehen, welche durch bisherige Modelle nicht abgedeckt sind.
- Die Temperaturzeitkurve deckt ungünstige Brandverläufe mit hohen Amplituden und einer langen Abklingphase weitestgehend ab und wurde im Abgleich mit Brandversuchen im Realmaßstab entwickelt.
- Der kritische Fall stellt eine Wohnungsnutzung mit dem ungünstigen Fall einer offenstehenden Tür dar; eine mögliche Abkühlung der Brandgase auf dem Weg vom Brandraum in den angrenzenden Flur / Treppenraum wird nachfolgend vernachlässigt, da sich im ungünstigsten Fall der Brandherd in der Nähe zur Türöffnung befindet.
- Es liegen bereits mehrere (Groß-)Brandversuche zu dieser Temperaturzeitkurve vor, sodass eine Modellvalidieriung möglich ist.

Wie bereits erwähnt muss dabei beachtet werden, dass die Naturbrandbemessung unter Berücksichtigung immobiler Brandlasten in Form brennbarer Holzoberflächen derzeit noch ein höchst aktuelles Forschungsfeld im Bereich des konstruktiven Brandschutzes darstellt. In Abhängigkeit der Eingangsparameter ist eine Vielzahl von Brandverläufen möglich. Die hier verwendete Naturbrandkurve berücksichtigt dabei die Ausführung der Decke als sichtbare Holzoberfläche. Da jedoch keine anderen Ansätze mit vergleichbarer experimenteller Validie-

rung vorliegen, wird die dem aktuellen Stand der Forschung am besten entsprechende Methodik ausgewählt und die Parameter auf der sicheren Seite liegend ausgewählt.

9.3 Anwendung eines FE-Modells zur numerischen Berechnung des Wärmedurchgangs in Bauteilen

Die im vorherigen Abschnitt vorgestellte Naturbrandkurve soll nachfolgend zur Berechnung des Wärmedurchgangs einschließlich der Materialtemperaturen in den jeweiligen Bauteilschichten mittels eines 1-dimensionales FE-(Finite-Element)-Modells herangezogen werden. Die Berechnung erfordert die Festlegung geeigneter thermischer Materialparameter, auf welche nachfolgend eingegangen werden soll. Der vorliegende Ansatz wird im Anschluss mithilfe von drei Großbrandversuchen validiert und dient zur Berechnung der Dicke der notwendigen nichtbrennbaren Bekleidungen in verschiedenen Kombinationen.

9.3.1 Beschreibung des FE-Modells

Zur Bestimmung der Temperaturverteilung in Bauteilen liegen im Vergleich zur Brandbeanspruchung unter ETK für Naturbrandszenarien aktuell nur begrenzte Beurteilungsmöglichkeiten vor. Neben dem versuchstechnischen Nachweis und einigen empirischen Ansätzen können hierfür validierte numerische Simulationen angewendet werden. Zur Lösung der zugehörigen Wärmeleitungsgleichungen und Bestimmung der Temperaturverteilung im Bauteil unter Naturbrandbeanspruchung wurde in nachfolgenden Analysen auf das Finite-Element-Modell-Programm COMSOL Multiphysics 5.5 zurückgegriffen. Da die im hier vorliegenden Anwendungsfall angesetzte Temperatureinwirkung zeitabhängig erfolgt und damit ein transientes Problem besteht, ist die Anwendung eines instationären Modelles notwendig. Neben der Berücksichtigung der Wärmeübergangsbedingungen im Brandfall wird die Durchwärmung des Bauteils über die temperaturabhängigen thermischen Materialkennwerte (Dichte, Wärmeleitfähigkeit, spez. Wärmekapazität) der einzelnen Bauteilschichten wesentlich charakterisiert. Prozesse, wie das Schrumpfen, die Rissbildung, konvektive Durchströmungen oder Phasenübergänge werden im vorliegenden Modellansatz nicht explizit innerhalb der Bestimmungsgleichungen erfasst, sondern effektiv über Materialparameter mit abgebildet. Diese spiegeln zwar nicht den tatsächlichen messtechnisch erfassten Verlauf der physikalischen Größen wider, erlauben jedoch unter Validierung für spezifische Temperatureinwirkungen eine hinreichend genaue Beschreibung der Bauteiltemperaturen. Üblicherweise liegen validierte Materialkennwerte nur für die ETK-Einwirkung vor. Eine Zusammenstellung von Kennwerten für holzbauspezifische Materialien gibt Schleifer [147] in ihrer Dissertation „Zum Verhalten von raumabschließenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall“, die für ETK-Brandbeanspruchung abgeleitet wurden. Die Anwendung der Materialparameter aus [147] auf Naturbrandmodelle liegt prinzipiell außerhalb des validierten Modellbereichs, sodass eine

Überprüfung der Anwendbarkeit auf vorliegende Fälle mithilfe eines Vergleichs zu Großbrandversuchen notwendig wird, vgl. Abschnitt 9.3.4.

9.3.2 Geometrische Randbedingungen

Der Temperaturgradient verläuft senkrecht zur Wandoberfläche, sodass die Berechnung des Wandaufbaus vereinfachend auf eine eindimensionale Betrachtung reduziert werden.

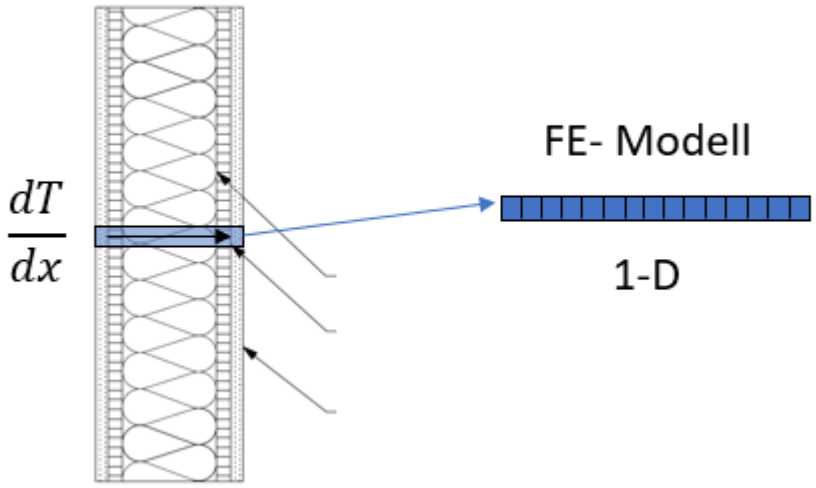


Abbildung 69: Reduzierung des Bauteils auf einen 1-dimensionalen Aufbau in x-Richtung

Zur Vernetzung der Geometrie wurde auf ein adaptives Netz zurückgegriffen, die Gitterweite der Zellen betrug im gesamten Rechengebiet 1 mm. Durch die maximale Ausdehnung des Berechnungsgebietes von einer Zelle in y- und z-Richtung wurde eine eindimensionale Geometrie erzeugt. Zwischen den Zellen wurde im Übergangsbereich zwischen den Materialen thermische Analysepunkte eingefügt, welche die Oberflächentemperaturen der Bauteilschichten auf der brandzugewandten Seite ausgeben.

9.3.3 Numerische Randbedingungen

Für die Berücksichtigung der Wärmestrahlung bzw. Emissivität wurde auf die Parameter für Naturbrände gemäß DIN EN 1991-1-2 zurückgegriffen [144]. Für die Berücksichtigung des konvektiven Wärmeübergangs wurde auf der brandzugewandten Seite ein Wärmeübergangskoeffizient von 35 W/m² und für die brandabgewandte Seite von 4 W/m² festgelegt. Der resultierende Emissionskoeffizient ε wurde sowohl für die brandzugewandte Seite als auch für die brandabgewandte Seite mit 0.8 definiert. Die Berechnung wurde mindestens so lange fortgeführt, bis alle Knoten absteigende Temperaturentwicklungen aufwiesen.

Für die numerische Simulation wurden folgende temperaturabhängige Materialparameter definiert:

- Wärmeleitfähigkeit λ [W/(mK)]
- Spezifische Wärmekapazität c [J/(kg*K)]
- Rohdichte [kg/m³]

Durch die Anwendung von effektiven Materialparametern wurde die Verdampfung von Wasser sowie die Rissbildung der Bekleidungslagen berücksichtigt, siehe Abbildung 70. Als Materialien wurden die Materialparameter gemäß [147] für Mineralwolle, Gipsplatten sowie OSB-Platten adaptiert.

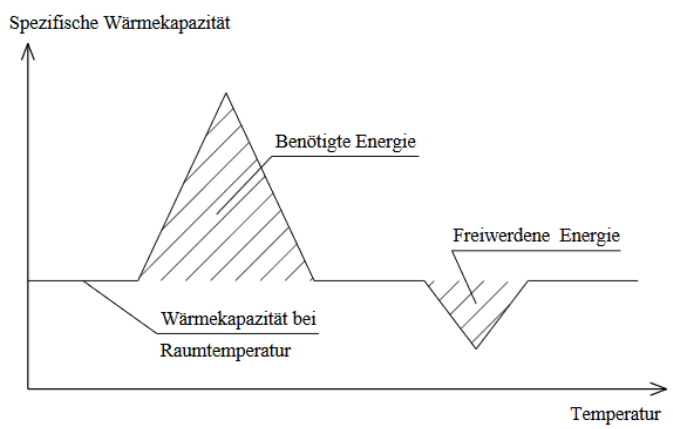


Abbildung 70: Beispiel für die Modulation von Materialparametern für die Berücksichtigung physikalischer Effekte [147]

Dabei muss berücksichtigt werden, dass diese effektiven Werte experimentell für die Aufheizphase der ETK ermittelt wurden und damit nicht zwangsläufig für einen Naturbrand und insbesondere der dort vorliegende Abkühlphase gelten müssen. So wird die Wasserverdampfung im Bereich von 100 °C zwar möglicherweise in der Aufheizphase korrekt berücksichtigt. Da das Wasser jedoch bei der Abkühlphase nicht erneut in diesem Ausmaß kondensiert bzw. die Materialdichte i.d.R. nicht wieder zunimmt oder eine Rehydrierung der Gipskristalle stattfindet, läge hier ein für die vorliegende Naturbrandbemessung ungünstiger Modellfehler vor. Aus diesem Grund werden die thermischen Materialparameter mithilfe zusätzlicher Feldvariablen für die Abkühlphase als konstant angenommen, d.h. diese behalten die bis zum Zeitpunkt des Beginns der Abkühlphase erreichten Materialeigenschaften bis zum Ende der Simulation bei. Der Ansatz bzw. die getroffenen Modellannahmen hinsichtlich der Materialparameter sollen zur Überprüfung mit Versuchen im folgenden drei Brandversuchen gegenübergestellt werden.

9.3.4 Modellvalidierung

Für die Überprüfung der Anwendbarkeit der in Abschnitt 9.3.3 vorgestellten Modellannahmen wurden drei Großbrandversuche aus dem Projekt TIMpuls mit 1,5 m x 3,8 m großen Wandbauteilen und einer zweilagigen Bekleidung mit 18 mm Gipsfaserplatten mittels Simulation nachgerechnet und mit den Versuchsergebnissen verglichen. In allen drei Versuchen wurde die in Abschnitt 9.2 vorgestellte, repräsentative Naturbrandkurve 1 verwendet, sodass ein direkter Vergleich mit der für die nachfolgende Bemessung verwendeten Naturbrandkurve gegeben ist. Der Wandaufbau ist in Abbildung 71 dargestellt.

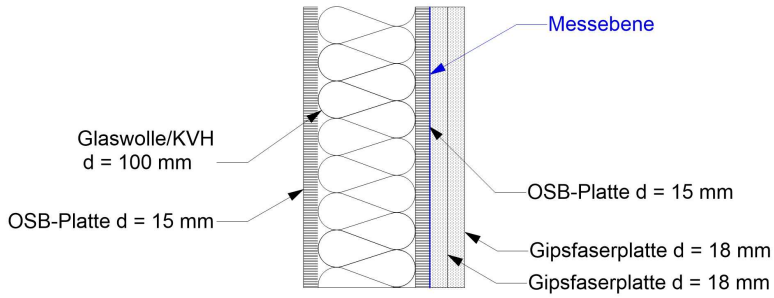


Abbildung 71: Wandaufbau der drei ausgewählten, im TIMpuls-Projekt durchgeführten Versuche

Für die Auswertung der Brandversuche wurden jeweils die Mittelwerte in der Grenzschicht zwischen OSB- und Gipslage liegenden Thermoelemente in Form von vier Messachsen (I-IV) verwendet, welche in Abbildung 72 dargestellt sind.

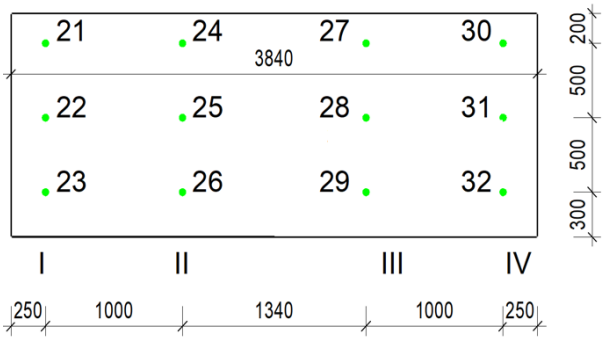


Abbildung 72: Messplan mit den in der Messebene angeordneten Thermoelementen, gruppiert in vier Messachsen [S. Brunkhorst, iBMB]

Die Temperaturrandbedingungen zum Zeitpunkt t = 0 in der Simulation entsprechen den Versuchsbedingungen. Für die Simulation wurde die in den jeweiligen Versuchen tatsächlich gefahrene Temperaturzeitkurve implementiert. Die Materialeigenschaften im Modell wurden anhand der Materialdichten der im Versuch verwendeten Bauteile angepasst.

Als Vergleich werden die Maximaltemperaturen der Messachsen in Abbildung 73 bis Abbildung 75 mit den Ergebnissen der Simulation gegenübergestellt.

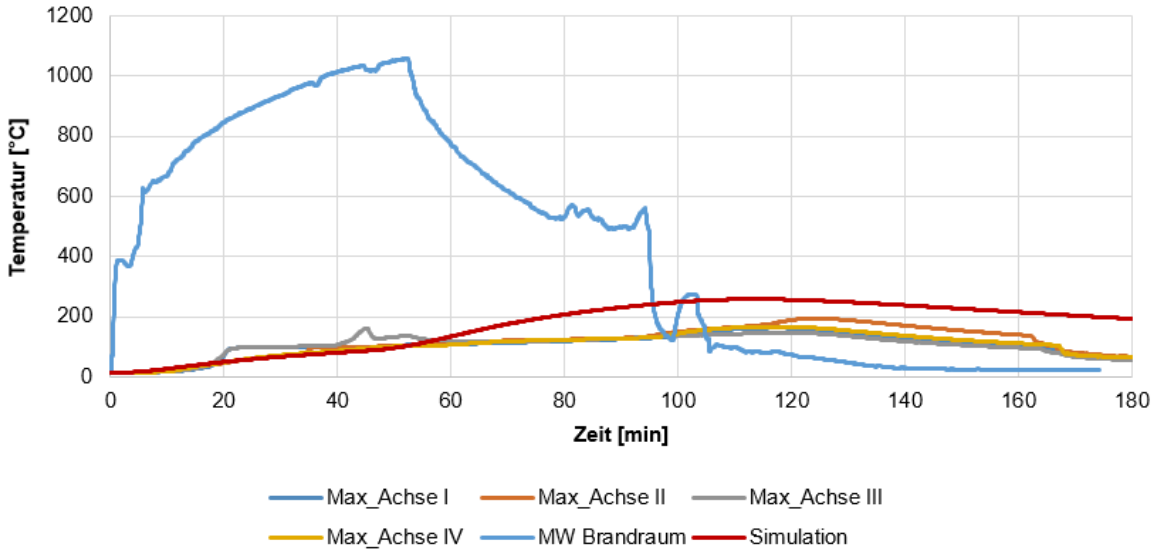


Abbildung 73: Vergleich der im Referenzversuch Nr. 1 gemessenen Maximaltemperaturen in der Grenzschicht zwischen Gipsfaserplatte und OSB mit den Simulationsergebnissen

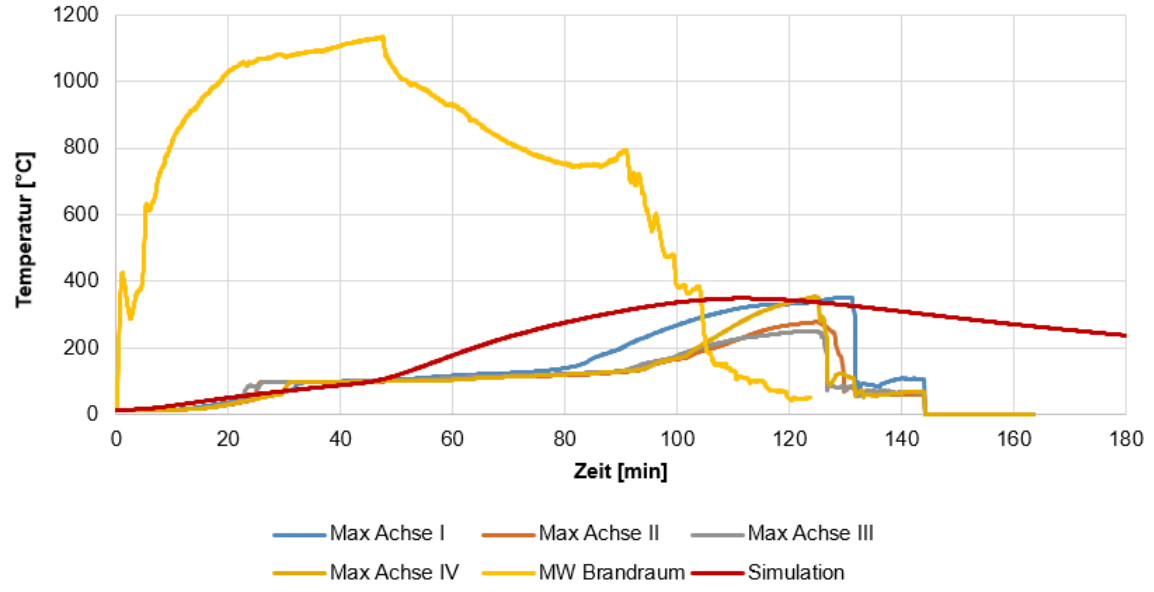


Abbildung 74: Vergleich der im Referenzversuch Nr. 2 gemessenen Maximaltemperaturen in der Grenzschicht zwischen Gipsfaserplatte und OSB mit den Simulationsergebnissen

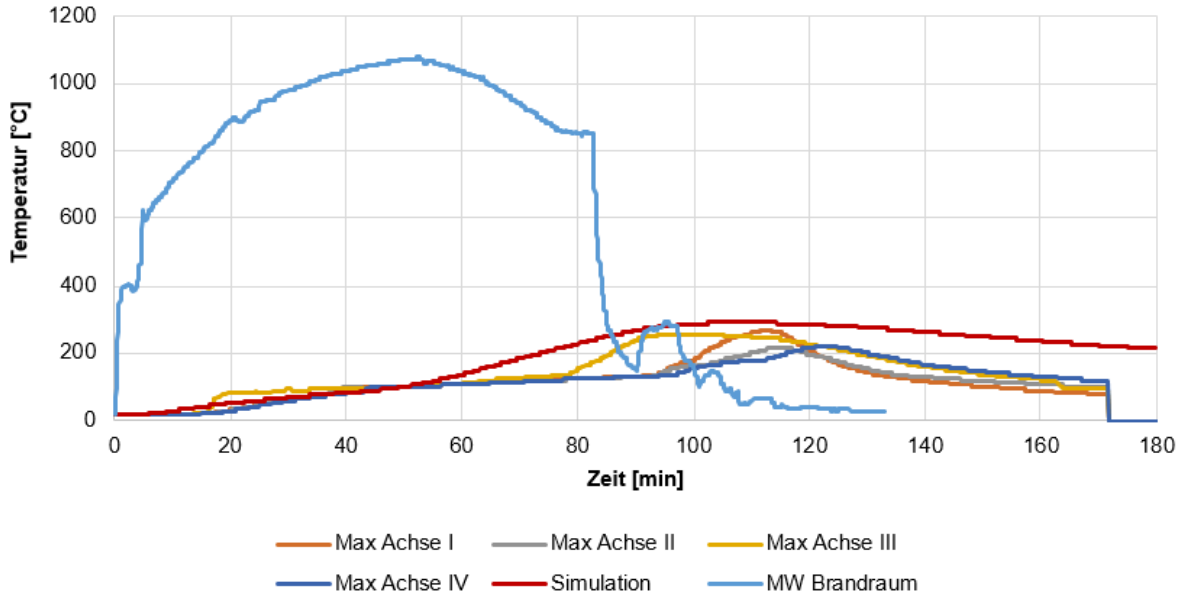


Abbildung 75: Vergleich der im Referenzversuch Nr. 3 gemessenen Maximaltemperaturen in der Grenzschicht zwischen Gipsfaserplatte und OSB mit den Simulationsergebnissen

Tabelle 29: Vergleich der berechneten und gemessenen Maximaltemperaturen in der Grenzschicht zwischen Gipsfaserplatte und OSB aus Simulation und Experiment

	T_{max} Sim.	**T_{max} Versuch**	**Differenz**
Versuch 1	258 °C	194 °C	+64 K
Versuch 2	349 °C	355 °C	- 6 K
Versuch 3	290 °C	266 °C	+ 44 K

Anhand des Vergleichs der drei Versuche mit der Simulation kann festgestellt werden, dass die Aufheizphase bis zur 45. Minute in der Simulation mit guter Genauigkeit vorhergesagt werden kann. Ab dem Beginn der Abkühlphase überschätzt das verwendete Modell die Temperaturen im Mittel um ca. 50 °C und die maximalen Temperaturen um etwa 35 °C. Da Schutzzeiten somit eher unterschätzt werden, kann dieser Modellfehler jedoch als konservativ angesehen werden.

Aufgrund der hinreichenden Übereinstimmung mit den experimentellen Daten und den auf der sicheren Seite liegenden Ergebnissen der Simulation wird das Modell für den vorgesehen Anwendungszweck als ausreichend validiert angesehen. Eine Übertragung des Ansatzes auf andere Temperaturzeitkurven sollte ohne vorherige Überprüfung und Validierung nicht durchgeführt werden.

9.4 Berechnung der Schutzzeiten für repräsentative Wandaufbauten in notwendigen Fluren und Treppenräumen

Als Wandaufbauten für Flurwände wurden feuerhemmende, raumabschließende Wandaufbauten mit einer Mindestanforderung von EI 30 gewählt und mit unterschiedlichen nichtbrennbaren Bekleidungslagen kombiniert.

Der erste Wandaufbau entspricht mit einer Bekleidungsdicke von 12,5 mm jeweils der Empfehlung der aktuellen Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen und dient als Referenz zu den anderen Wandaufbauten, welche einer brandschutztechnisch wirksamen Kapselung nach DIN EN 13501-2 mit einer Schutzzeit von 30 bzw. 60 Minuten unter ETK-Beanspruchung entsprechen [19]. Der restliche Wandaufbau wurde für eine bessere Vergleichbarkeit identisch aufgebaut. Als Dämmstoff wurde für die Simulation von einer Steinwolle mit einer Rohdichte von 30 kg/m³ ausgegangen, da diese häufig im Bereich von Hohlraumdämmungen angetroffen wird und im Vergleich zu Glaswolle insbesondere in höheren Temperaturbereichen geringere Wärmeleitfähigkeiten und damit eine schlechtere Wärmeabfuhr aus der Grenzschicht zur Bekleidung erwartet werden können. Die Rohdichte der nichtbrennbaren Bekleidungen entspricht den Mindestanforderungen nach DIN EN 520 Typ DF, womit sich eine Rohdichte von 800 kg/m³ für die nichtbrennbaren Bekleidungen ergibt [148].

Da in der eindimensionalen Simulation mittlere Wandtemperaturen berechnet werden, wird als Kriterium eine Temperaturdifferenz von $\Delta T = 250$ K festgelegt.

In Abbildung 76 ist der grundsätzliche Wandaufbau der betrachteten Flurwände dargestellt. Auf die Anordnung einer Holzwerkstoffplatte wurde innerhalb der Berechnung der Flurwände verzichtet, da sich durch den Wärmestau zwischen Konstruktions- bzw- Dämmebene und Bekleidung ein potenziell ungünstigeres Szenario ergibt. Das Wärmedämmverhalten führt dabei zu einem Temperaturstau in der Ebene, der zu einer Entzündung der brennbaren Konstruktion führen kann.

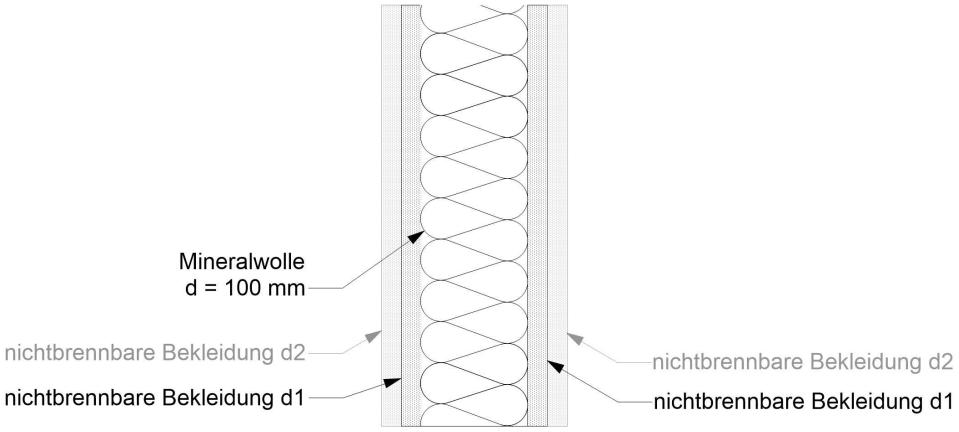


Abbildung 76: Aufbau der berechneten Flurwände

Wandaufbau	GP2	GP1	Dämmung	GP4	GP3
Flur-A		12,5 mm	100 mm Mineralwolle	12,5 mm	
Flur-B		18 mm		18 mm	
Flur-C	12,5 mm	12,5 mm		12,5 mm	12,5 mm
Flur-D	18 mm	18 mm		18 mm	18 mm

Als Wandaufbauten für Treppenraumwände wurden als Mindestanforderung für die GK 4 tragende, raumabschließende Bauteile mit einem zusätzlichen Widerstand gegen mechanische Beanspruchung und mindestens hochfeuerhemmenden Eigenschaften (EI 60-M bzw. EI 90-M) gewählt und mit unterschiedlichen nichtbrennbaren Bekleidungslagen kombiniert. Für die Gebäudeklasse 5 besteht mit der Anforderung "*in der Bauart von Brandwänden*" ohnehin das Erfordernis, alle Baustoffe für den Wandaufbau nichtbrennbar zu wählen.

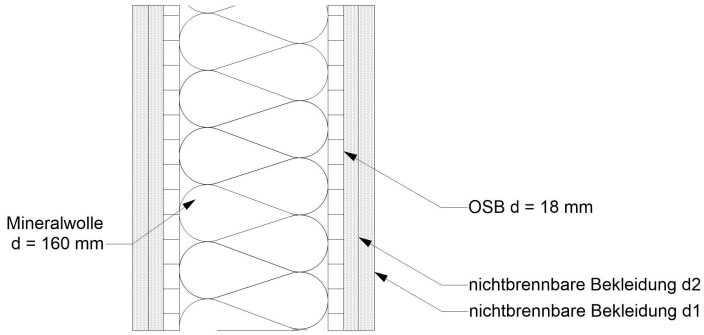


Abbildung 77: Aufbau der berechneten Treppenraumwände

Wandaufbau	GP2	GP1	OSB	Dämmung/Konstruktion	OSB	GP4	GP3
TR-A	12,5 mm	12,5 mm	18 mm	160 mm Mineralwolle	18 mm	12,5 mm	12,5 mm
TR-B	18 mm	18 mm				18 mm	18 mm

9.4.1 Ergebnisse der Berechnungen

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse mit Angabe der Oberflächentemperaturen auf der brandzugewandten (-i) bzw. brandabgewandten (-a) Seite der jeweiligen Lagen dargestellt. T_Dämm bezeichnet die Dämm- bzw. Konstruktionsebene.

9.4.1.1 Flurwände

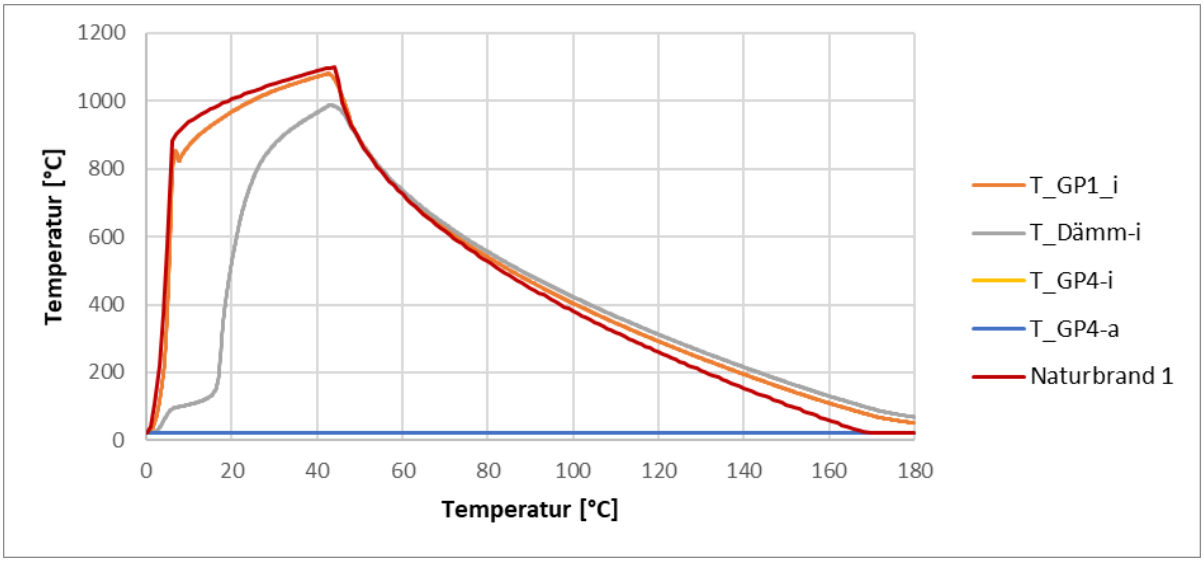


Abbildung 78: Ergebnisse des Wandaufbaus "Flur-A" (1x12,5 mm)

- Temperaturdifferenz des Kapselkriteriums von ΔT = 250 K in der Konstruktionsebene wird nach **17,5 Minuten** überschritten.
- Das Temperaturdifferenz des Isolationskriteriums wird nicht überschritten.

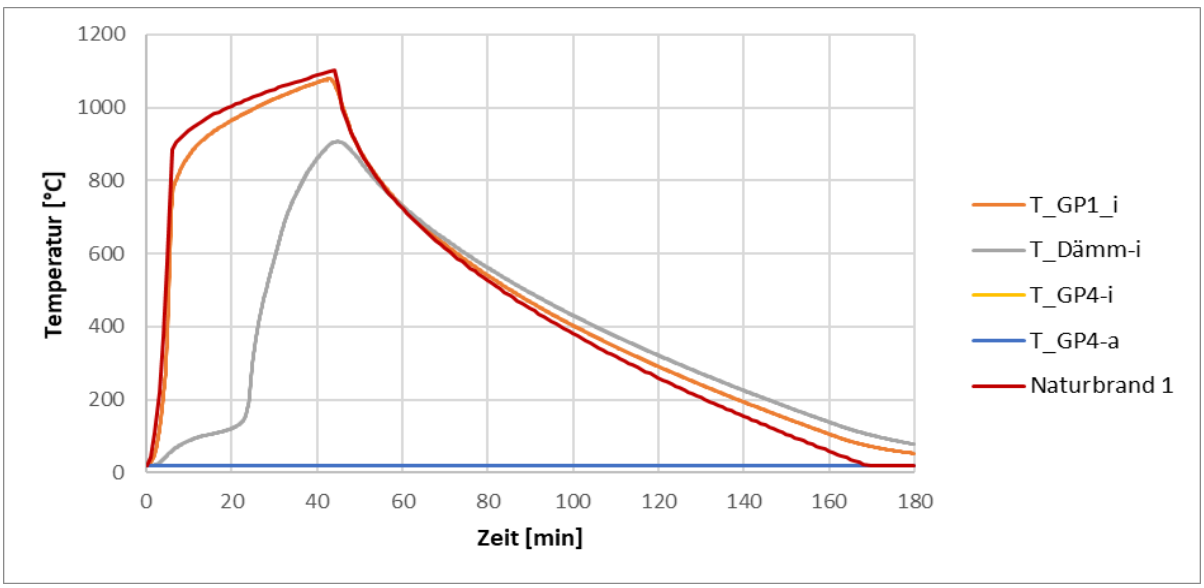


Abbildung 79: Ergebnisse des Wandaufbaus "Flur-B" (1x18 mm)

- Temperaturdifferenz des Kapselkriteriums von ΔT = 250 K in der Konstruktionsebene wird nach **24,7 Minuten** überschritten.
- Temperaturdifferenz des Isolationskriteriums wird nicht überschritten.

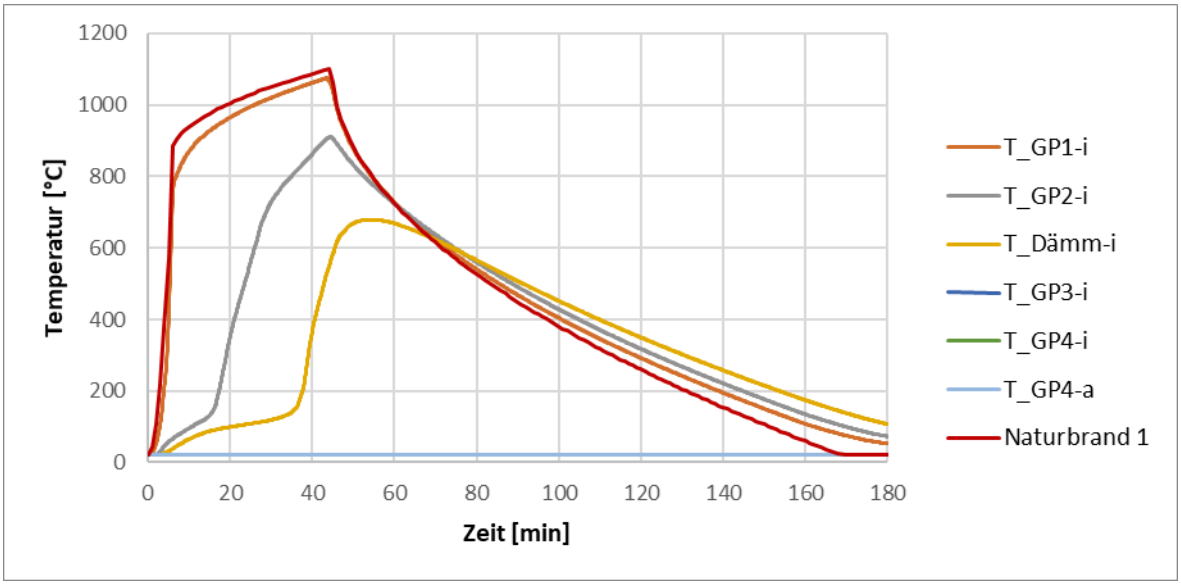


Abbildung 80: Ergebnisse des Wandaufbaus "Flur-C" (2x12,5 mm)

- Temperaturdifferenz des Kapselkriteriums von ΔT = 250 K in der Konstruktionsebene wird nach **38,7 Minuten** überschritten.
- Temperaturdifferenz des Isolationskriteriums wird nicht überschritten.

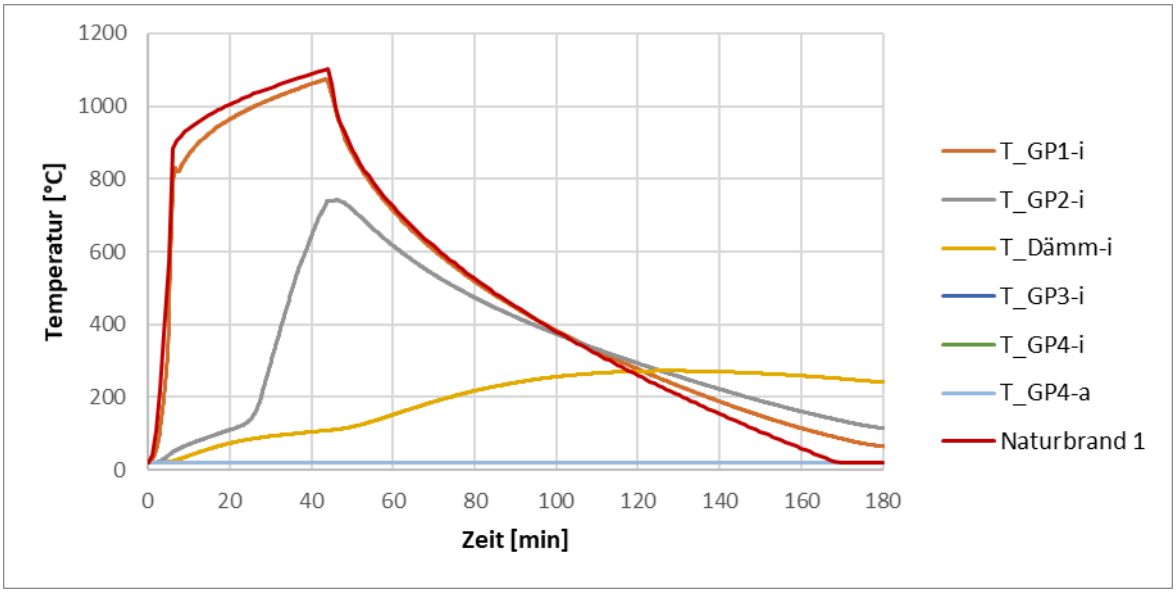


Abbildung 81: Ergebnisse des Wandaufbaus "Flur-D" (2x18 mm)

- Temperaturdifferenz des Kapselkriteriums von ΔT = 250 K im Mittel in der Konstruktionsebene wird nach **117 Minuten und um maximal 3 K** überschritten.
- Temperaturdifferenz des Isolationskriteriums wird nicht überschritten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es in allen betrachteten Fällen zu einem Überschreiten der Temperatur des Kapselkriteriums kam. Die Temperaturen des Isolationskriteriums wurden in keinem der Fälle überschritten.

Während die einlagigen Bekleidungen von 12,5 mm und 18 mm nach etwa 17 Minuten bzw. 24 Minuten versagen, kann mit einer 2-lagigen nichtbrennbaren Bekleidung von 2 x 12,5 mm eine Schutzzeit von über 30 Minuten erzielt werden, sodass die äquivalente $K_2$30 Schutzzeit nach ETK-Bemessung mit dieser Bekleidungsdicke erreicht werden kann.

Da das Übertreten des Kriteriums im Falle des Wandaufbaus „Flur-D“ nur kurzzeitig überschritten wurde und das Modell eher eine Überschätzung der Temperaturen vornimmt, kann hier am ehesten davon ausgegangen werden, dass das Bauteil den vorgegebenen Naturbrand ohne Einbrand in die Konstruktion übersteht. Möglicherweise kommt es hier zu einer ersten Pyrolyse ohne selbstständigen Brand der Holzkonstruktion bzw. zu einem Selbstverlöschen der Bauteile, was jedoch nicht mit hinreichender Sicherheit vorhergesagt werden kann. Nichtsdestotrotz ist bei diesem Aufbau von einer Schutzzeit weit oberhalb von 60 Minuten auszugehen. Innerhalb dieser Szenarien wurde ein Eingreifen der Feuerwehr nicht berücksichtigt, was eine zusätzliche Sicherheit darstellt.

9.4.1.2 Treppenraumwände

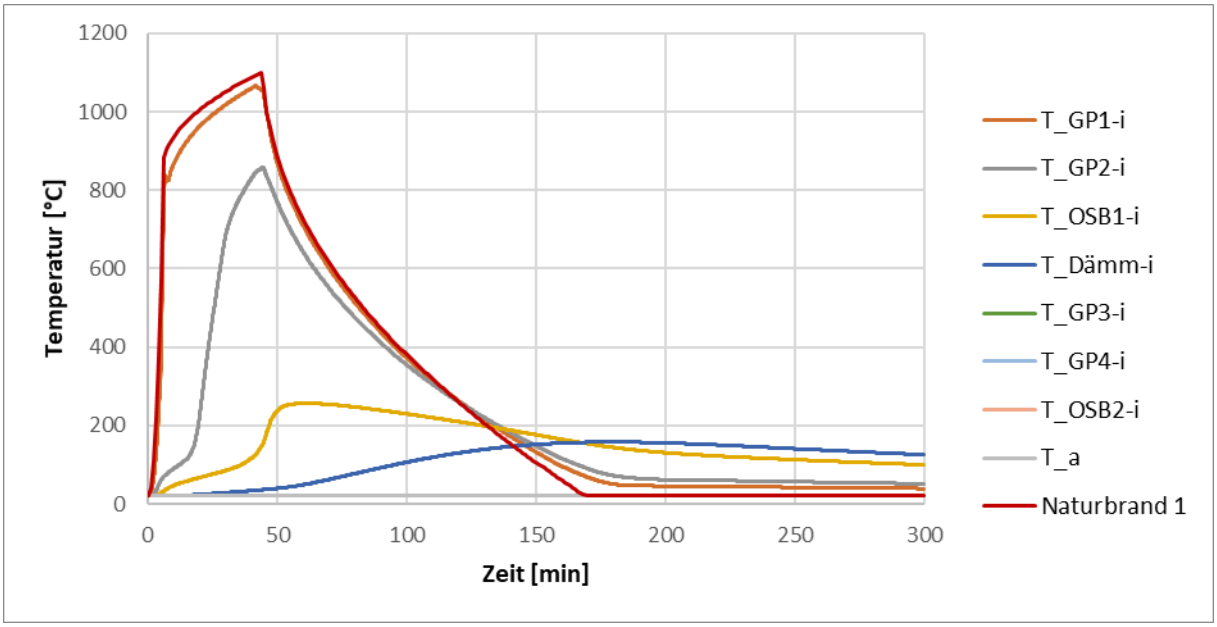


Abbildung 82: Ergebnisse des Wandaufbaus "TR-A" (2x12,5 mm)

- Temperaturdifferenz des Kapselkriteriums von ΔT = 250 K an der OSB-Platte wird nicht überschritten.
- Temperaturdifferenz des Isolationskriteriums wird nicht überschritten.

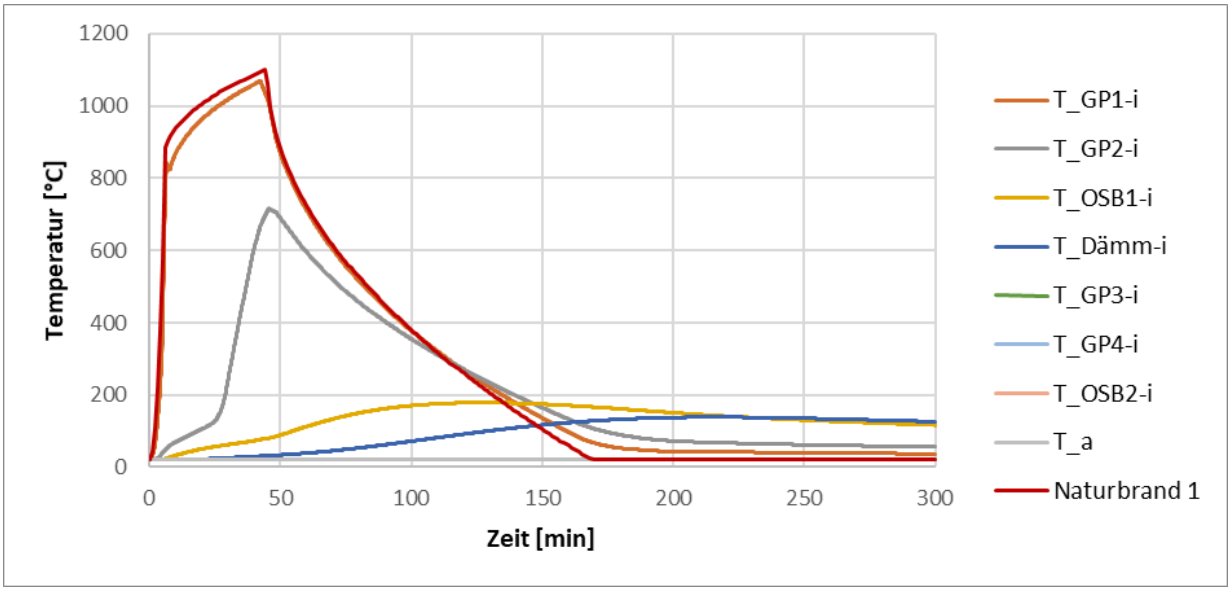


Abbildung 83: Ergebnisse des Wandaufbaus "TR-B" (2x18 mm)

- Temperaturdifferenz des Kapselkriteriums von ΔT = 250 K an der OSB-Platte wird nicht überschritten.
- Temperaturdifferenz des Isolationskriteriums wird nicht überschritten.

In beiden Treppenraumaufbauten konnte kein Überschreiten der Temperaturen des Kapsel- oder Isolationskriteriums festgestellt werden. Die zusätzliche Anordnung einer Holzwerkstoffplatte als lastabtragenden Element im Sinne einer mechanischen Beanspruchung wirkt sich dabei günstig auf die Isolation des Bauteils auf.

Ausgehend von einem Naturbrandverlauf wurden die Schutzzeiten der jeweiligen Bekleidungslagen betrachtet. Dabei muss berücksichtigt werden, dass dieser Bemessungsbrand viele jedoch nicht alle Brandverläufe auf der sicheren Seite abdecken kann. Der Brandverlauf ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig und das erweiterte Naturbrandmodell mit Berücksichtigung von immobilen Holzbrandlasten befindet sich derzeit noch in Entwicklung.

Aus diesem Grund wurde ein konservatives Brandszenario davon ausgehend gewählt, dass die Temperatur am Türsturz bzw. der direkt der Wohnungstür umgebenden Flur- bzw. Treppenraumwand mit der Brandraumtemperatur übereinstimmt und keine Abkühlung der Brandgase stattfindet. Die Wohnungstür wurde aufgrund ihrer fehlenden Selbstschließfunktion als offen angenommen, sodass eine geschlossene Tür die Temperatureinwirkung weiter reduzieren kann. Das Wärmedurchgangsmodell wurde hierbei erstmals auf den Naturbrand übertragen und konnte mit verschiedenen Brandversuchen überprüft werden und Modellfehler liegen auf der sicheren Seite. Die Berechnungen der Schutzzeiten dienen dabei einer orientierenden Bewertung der Leistungsfähigkeit von nichtbrennbaren Bekleidungen. Die Ergebnisse dieses leistungsorientierten Nachweises müssen daher immer in Zusammenhang mit einer adäquaten Schutzzielbetrachtung betrachtet werden.

9.5 Empfehlung zur Ausführung der Bekleidungsdicke in notwendigen Fluren und Treppenräumen

Um die Aussagekraft der Ergebnisse auch unter Berücksichtigung der Ausfallwahrscheinlichkeit von Türabschlüssen (z.B. Offenlassen bei Selbstrettung) und unabhängig von der Größe und Form des notwendigen Flures bzw. Treppenraumes beibehalten zu können, wurde von einem ungünstigen Szenario ausgegangen. Das vorliegende Szenario geht als „worst-credible-Szenario“ davon aus, dass sich eine nahegelegene Nutzungseinheit in direkter Nähe zum notwendigen Treppenraum befindet und somit dort eine hohe Brandbelastung entsteht. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass es sich um eine Nutzungseinheit in Vollbrand handelt, und die Türen von Brandbeginn an offenstehen. Durch das Vorhandensein eines notwendigen Flures kann die Temperaturbelastung in Treppenräumen durch den Abstand zum Brandraum und das Vorhandensein einer Rauchschutztür in Abhängigkeit der Flurlänge vermutlich deutlich reduziert werden, sodass bei Vorhandensein eines notwendigen Flures im Treppenraum von niedrigeren Temperaturen ausgegangen werden kann. Eine weitere Möglichkeit zur Verringerung der Brandeinwirkung stellt die Anordnung von Türen mit Selbstschließungsmechanismus dar. Insbesondere bei Wohnungen ohne notwendigen Flur, welche direkt an den Treppenraum angrenzen, sollte diese Option geprüft werden.

Für die betrachteten Szenarien wurde stets von einer nichtbrennbaren Dämmung aus Mineralwolle ausgegangen. Die Verwendung von Gipsfaserplatten anstelle von Gipskartonplatten kann aus Sicht der Kapselung als gleichwertig betrachtet werden. Die Anordnung der Verbindungsmittel und Fugen ist dem Verwendbarkeitsnachweis des Bauteilaufbaus zu entnehmen.

Im Hinblick auf die Erreichung der Schutzziele bildet der Treppenraum eine wichtige Funktion sowohl für die Selbst- als auch Fremdrettung einer Vielzahl von Personen. Weiterhin garantiert die Zugänglichkeit des Treppenraumes über den gesamten Brandverlauf wirksame Löscharbeiten durch die Feuerwehr. Für den abwehrenden Brandschutz ist daher sicherzustellen, dass die Bekleidung von brennbaren Bauteilen im Treppenraum in der GK 4 auch im worst-credible-Fall nach 60 Minuten noch kein Überschreiten der Temperatur des Kapselkriteriums aufweist, was einen Sekundärbrand im Treppenraum zur Folge haben könnte. Dies ist basierend auf dem vorliegenden Naturbrandnachweis bei maximaler thermischer Belastung theoretisch mit einer Bekleidungsdicke von 2 x 12,5 mm zu erreichen. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Sicherheit des Treppenraumes wird in Äquivalenz zur M-HFH-HolzbauR jedoch weiterhin die Anordnung einer brandschutztechnisch wirksamen Bekleidung in Form einer $K_2$60-Bekleidung mit 2 x 18 mm Dicke empfohlen. Für die GK 5 ist ohnehin eine nichtbrennbare Konstruktion als Bauart von Brandwänden und damit nicht in Holz möglich.

Verglichen mit dem Treppenraum bestehen für den notwendigen Flur geringere Anforderungen hinsichtlich der Ausfallsicherheit. So werden an die raumabschließenden Bauteile feuerhemmende Anforderungen und an die Türen zu Nutzungseinheiten lediglich dichtschließende Anforderungen gestellt. Basierend auf den geringeren Anforderungen wird für die Bekleidung in notwendigen Fluren daher eine abgestufte Ausführung als $K_2$30-Bekleidung (z.B. in Form einer einlagigen 18 mm GKF- oder GF-Bekleidung, besser 2 x 12,5 mm) empfohlen. Ausgehend von einer ersten Brandbekämpfung innerhalb von 25 Minuten ist auch hier nicht von einem Einbrand in die Tragkonstruktion auszugehen.

Zusammenfassend kann der im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes durchgeführte Naturbrandnachweis durch konservative Annahmen in der Wahl des Bemessungsbrandszenarios für eine erste Festlegung der Ausführung der Bekleidung von Bauteilen in notwendigen Fluren und Treppenräumen herangezogen werden. Aufgrund noch nicht abgeschlossener brandschutztechnischer Grundlagenuntersuchung im Hinblick auf eine erweiterte Anwendung des Holzbaus und einer Vielzahl von möglichen Einflussfaktoren stellt das Modell einen Ansatz dar, der in weiteren Forschungsvorhaben ergänzt werden sollte, um beispielsweise die Wärmefreisetzung brennbarer Oberflächen im Detail zu berücksichtigen oder den Einfluss von selbstschließenden Türen ohne Anforderungen an den Brandschutz ebenfalls einbeziehen zu können.

10 Abgeleitete Empfehlungen für Anschlüsse von Holzbauteilen

10.1 Allgemeines

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

Aus bauordnungsrechtlicher Sicht müssen Anschlüsse und Fügungen zwischen Elementen (Elementfugen) und zu angrenzenden Bauteilen (Bauteilfugen) so ausgeführt werden, dass die raumabschließende Funktion ganzheitlich sichergestellt wird. Die aus [149] übernommenen Maßnahmen dienen der Behinderung des Durchtritts von Feuer und Rauch. Unter Einhaltung der aufgeführten Maßnahmen kann davon ausgegangen werden, dass der Feuerwiderstand der flächigen Bauteile trotz (Element- / Bauteil-)Fügungen für die geforderte Feuerwiderstandszeit erhalten bleibt. Die Ausführungsmöglichkeiten für Bauteil- und Elementfugen aus [149] wurden im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes übernommen und nochmals spezifisch im Hinblick auf den quantitativen Rauchgasdurchtritt vergleichend zu herkömmlichen mineralischen Ausführungen untersucht. Die bauaufsichtlichen Anforderungen gemäß LBO BW 2019 [2] können unter Einhaltung der nachfolgenden Vorgaben als erfüllt angesehen werden.

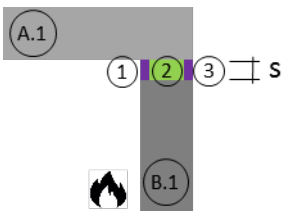
10.2 Ausführungsmöglichkeiten für Bauteil- und Elementanschlüsse

Bearbeitung: Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

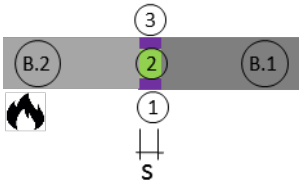
10.2.1 Darstellung der Anschlüsse

Die nachfolgend dargestellten Anschlüsse sind sowohl für Element- als auch Bauteilfügungen anzuwenden.

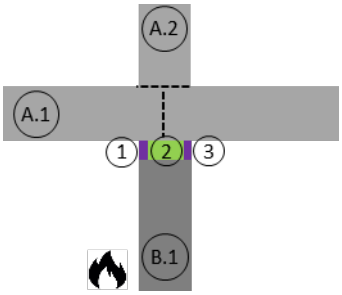
a) Fügung Ecke



b) Fügung in der Ebene



c) Kreuzfügung



1	Maßnahme auf der brandzugewandten Seite	A1 / A2	raumabschließendes Bauteil/Element
2	Maßnahme in der Fuge	B1 / B2	raumabschließendes Bauteil/Element
3	Maßnahme auf der brandabgewandten Seite		

Abbildung 84: Systematik zur konstruktiven Ausführung von Anschlüssen für Element- und Bauteilfügungen

Die Maßnahmen sind entsprechend des Fugenabstandes s aus nachfolgender Tabelle zu wählen. Sie gelten sowohl für Holztafel- als auch Massivholzkonstruktionen bzw. Kombinationen derer.

Alle dargestellten Maßnahmen der brandzugewandten Seite, brandabgewandten Seite und in der Kontaktfläche sind für jede Nutzungseinheit und damit an jeder Seite einer möglichen Brandbeanspruchung für die jeweiligen Anschlüsse separat zu planen und auszuführen. Da üblicherweise davon ausgegangen werden muss, dass eine Brandbeanspruchung auf jeder Seite eines raumabschließenden Bauteils auftreten kann, sind zugehörige Maßnahmen auch für beide Übertragungswege auszuführen.

Da die in Abbildung 84 dargestellten Maßnahmen in allen Fügungsprinzipien gleichermaßen auftreten und gleichwertig zu behandeln sind, wird in Tabelle 30 exemplarisch nur die Ausführung mit Fügung über Eck abgebildet. Mit den aufgeführten Maßnahmen werden die Anforderungen der LBO BW 2019 [2] hinsichtlich des Durchtrittes von Feuer und Rauch erfüllt.

Tabelle 30: Ausführungsvarianten für Bauteil-/Elementanschlüsse zur Erzielung der Kriterien nach DIN 4102-2 [18]

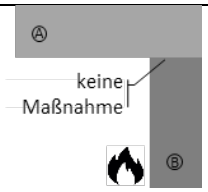
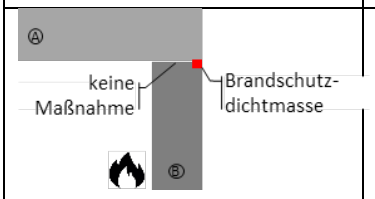
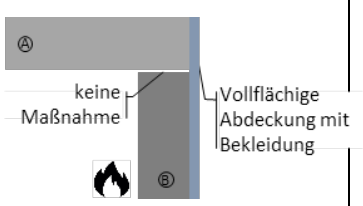
Zeile	s	Detail	brand-zugewandt	Kontaktfläche Fuge	brandabgewandt
1	s ≤ 0,5 mm		keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig
2	s ≤ 2 mm		keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig	Verspachtelung entsprechend 10.2.4
3			keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig	Brandschutz-dichtmasse entsprechend 10.2.4
4			keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig	vollständige Abdeckung mit der Bekleidung der flächigen Bauteile 10.2.7 bzw. durch Fußboden-aufbau

Tabelle 30: Ausführungsvarianten für Bauteil-/Elementanschlüsse zur Erzielung der Kriterien nach DIN 4102-2 [18] (Fortsetzung)

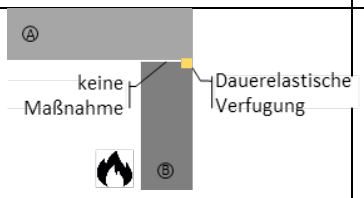
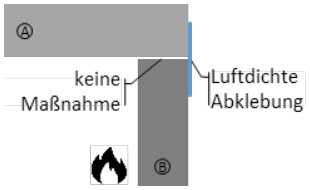
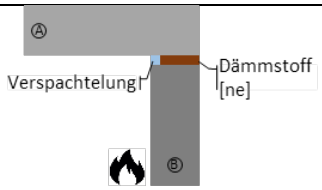
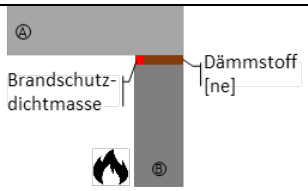
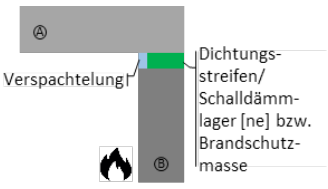
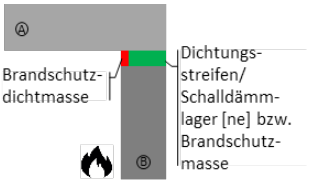
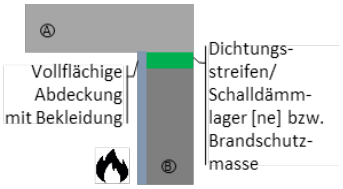
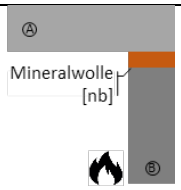
Zeile	s	Detail	brand-zugewandt	Kontaktfläche Fuge	brandabge-wandt
5	s ≤ 2 mm		keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig	dauerelastische Verfugung entsprechend 10.2.4
6			keine Maßnahme notwendig	keine Maßnahme notwendig	luftdichte Abklebung
7	s ≤ 5 mm		Verspachtelung entsprechend 10.2.4	Dichtungsstreifen aus mind. normalentflammbarem Dämmstoff entsprechend 10.2.2	keine Maßnahme notwendig
8			Brandschutzdichtmasse entsprechend 10.2.4	Dichtungsstreifen aus mind. normalentflammbarem Dämmstoff entsprechend 10.2.2	keine Maßnahme notwendig
9			vollständige Abdeckung mit der Bekleidung der flächigen Bauteile entsprechend 10.2.7 bzw. durch Fußbodenaufbau	Dichtungsstreifen aus mind. normalentflammbarem Dämmstoff entsprechend 10.2.2	keine Maßnahme notwendig
10	s ≤ 15 mm		Verspachtelung entsprechend 10.2.4	Dichtungsstreifen / Schalldämmlager entsprechend 10.2.3 oder Brandschutzfugendichtmasse entsprechend 10.2.4	keine Maßnahme notwendig
11			Brandschutzdichtmasse entsprechend 10.2.4	Dichtungsstreifen / Schalldämmlager entsprechend 10.2.3 oder Brandschutzfugendichtmasse entsprechend 10.2.4	keine Maßnahme notwendig

Tabelle 30: Ausführungsvarianten für Bauteil-/Elementanschlüsse zur Erzielung der Kriterien nach DIN 4102-2 [18] (Fortsetzung)

12			vollständige Abdeckung mit der Bekleidung entsprechend 10.2.7 der flächigen Bauteile bzw. durch Fußbodenaufbau	Dichtungsstreifen / Schalldämmlager entsprechend 10.2.3 oder Brandschutzfugendichtmasse entsprechend 10.2.4	keine Maßnahme notwendig
13	**s ≤ 30 mm**		keine Maßnahme notwendig	Dichtungsstreifen aus mind. nichtbrennbarem Dämmstoff entsprechend 10.2.2	keine Maßnahme notwendig

Ergänzend zu den Anschlussprinzipien in Tabelle 30 können Fugen von Elementen auch wie nachfolgend beschrieben nach Tabelle 31 ausgeführt werden. Die relevante maximale Fugenbreite bezieht sich immer auf die jeweils betrachtete Seite der Brandbeanspruchung.

Tabelle 31: Ergänzende Anschlüsse für Elementfugen (Wand - Wand, Decke - Decke, Dach - Dach)

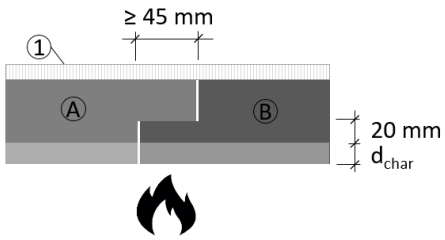
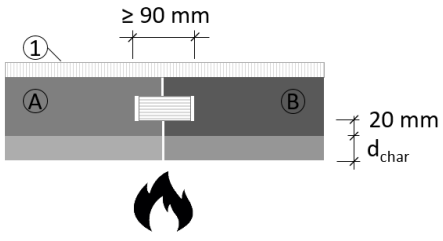
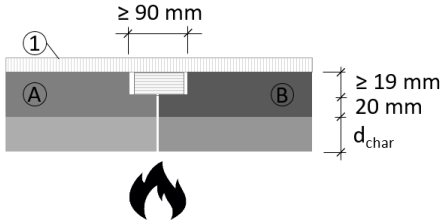
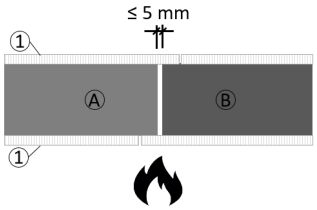
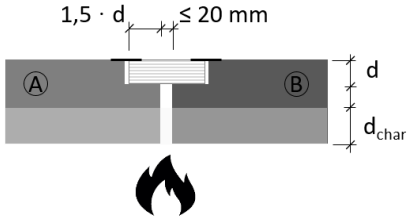
Z	Detail	Legende	Beschreibung
1		Fuge s ≤ 2 mm [b] ① Bekleidung [a] entsprechend 10.2.7 oder Fußbodenaufbau zur Verhinderung von Konvektionsströmen A/B – Massivholzelement	Verbindung mit Stufenfalz mit einer minimalen ideellen Dicke des Restholzquerschnittes von 20 mm bis zum Stufenfalz
2		Fuge s ≤ 2 mm [b] ① Bekleidung [a] entsprechend 10.2.7 oder Fußbodenaufbau zur Verhinderung von Konvektionsströmen A/B – Massivholzelement	Verbindung mit Nut-Feder oder Fremdfeder mit einer minimalen ideellen Dicke des Restholzquerschnittes von 20 mm bis zur Feder
3		Fuge s ≤ 2 mm ① Bekleidung [a] entsprechend 10.2.7 oder Fußbodenaufbau zur Verhinderung von Konvektionsströmen A/B – Massivholzelement	Verbindung mit beidseitig angeordnetem Deckbrett mit einer minimalen ideellen Dicke des Restholzquerschnittes von 20 mm bis zum Deckbrett

Tabelle 31: Ergänzende Anschlüsse für Elementfugen (Wand - Wand, Decke - Decke, Dach - Dach) (Fortsetzung)

Z	Detail	Legende	Beschreibung
4		Fuge s ≤ 5,0 mm ① Bekleidung [a] entsprechend 10.2.7 oder Fußbodenaufbau zur Verhinderung von Konvektionsströmen A/B – Vollholzquerschnitt oder Massivholzelement	Fugen ≤ 5 mm mit beidseitiger Abdeckung durch die Bekleidung oder den Fußbodenaufbau
5		Fuge s ≤ 20 mm A/B – Vollholzquerschnitt oder Massivholzelement	Fugen ≤ 20 mm mit rückseitiger Abdeckung durch Deckbrett der Dicke d $d = t_{erf} \cdot \beta_0 + 20\ mm$
a)	Auf die Bekleidung der brandabgewandten Seite kann verzichtet werden, sofern eine entsprechende Luftdichtungsmaßnahme in der Nut-Feder-Verbindung, dem Stufenfalz oder am Deckbrett angeordnet wird und diese ebenfalls mindestens 20 mm innerhalb des jeweiligen rechnerischen Restholzquerschnittes liegen.		
b)	Auf der brandabgewandten Seite darf im Bereich des rückwärtigen Stufenfalzes oder hinter der Feder-Verbindung die Fugenbreite auf maximal das doppelte Maß erhöht werden.		

10.2.2 Dämmstoffeinlage

Ein normalentflammbarer Dämmstoff, der entsprechend Tabelle 30 angesetzt wird, muss eine Rohdichte ρ ≥ 50 kg/m³ im unkomprimierten Zustand aufweisen, dies kann unter anderem mit Dämmstoffen nach DIN EN 13171 [150] erreicht werden.

Nichtbrennbare Dämmstoffe nach DIN EN 13162, die entsprechend Tabelle 30 angesetzt werden, müssen einen Schmelzpunkt ≥ 1.000 °C sowie eine Rohdichte ρ ≥ 30 kg/m³ im unkomprimierten Zustand aufweisen. Abweichend dazu ist für Fugenbreiten s ≤ 5 mm ein Dämmstoff nach DIN EN 13162 [151] ausreichend (keine Anforderung an den Schmelzpunkt), wenn dessen Rohdichte ρ ≥ 15 kg/m³ beträgt.

Entsprechende Dämmstoffarten müssen im eingebauten Zustand mindestens auf die Hälfte der Ausgangsdicke zusammengedrückt werden.

10.2.3 Dichtungsstreifen und Schalldämmlager

Dichtungsstreifen und Schalldämmlager, die entsprechend Tabelle 30 angesetzt werden, müssen eine Rohdichte ρ ≥ 200 kg/m³ aufweisen.

10.2.4 Verspachtelungen und Verfugungen

Verspachtelungen bzw. Verfugungen, welche entsprechend vorliegender Tabelle als Abdichtung brandzugewandt bzw. brandabgewandt angesetzt werden, müssen in der Dicke der Bekleidungslage ausgeführt werden.

Für dauerelastische Verfugungen gilt, dass diese Maßnahmen auch innerhalb der Kontaktfuge angeordnet werden können, sofern diese mindestens 20 mm innerhalb des jeweiligen rechnerischen Restholzquerschnittes liegen. Abweichend dazu darf für Brandschutzdichtmassen / -stoffe dieses Vorhaltemaß auf 0 mm reduziert werden (vgl. Abbildung 85).

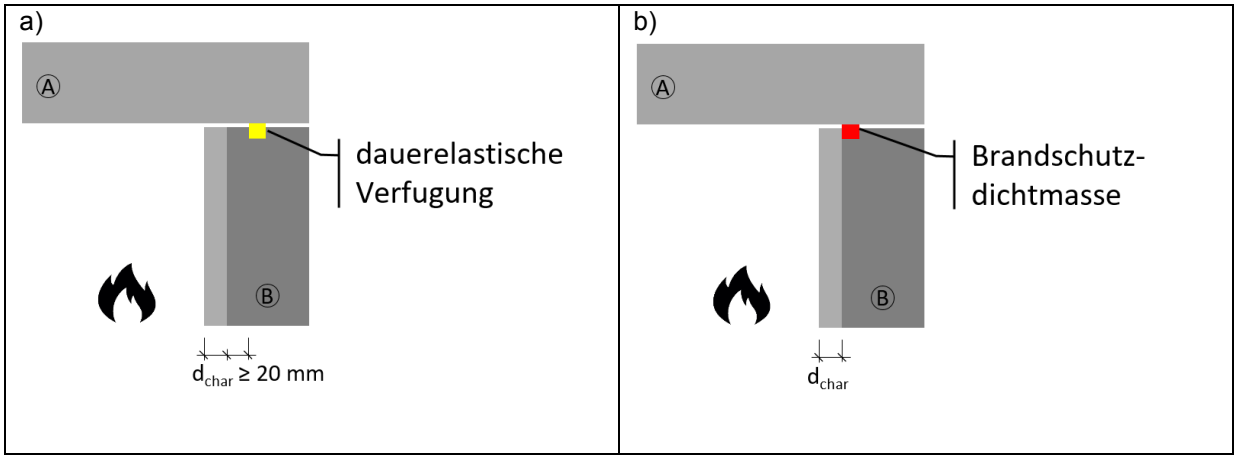


Abbildung 85: Position einer dauerelastischen Abdichtung im Bauteil

a) Ausführung mit dauerelastischer Verfugung/Dichtstoff
b) Ausführung mit Brandschutzdichtmasse

10.2.5 Breite von Dichtungsmaßnahmen

Die Breite von Dichtungsmaßnahmen in der Kontaktfläche der Elemente / Bauteile muss mindestens in der Dicke der tragenden Konstruktion (Brettsperrholzelement / Holzständer/ Deckenbalken) erfolgen. Abweichend dazu kann für unbekleidete Massivholzelemente die brandzugewandte Abdichtung in den ersten 15 mm der Massivholzkonstruktion erfolgen. Die verbleibende Querschnittsfläche ist entsprechend Tabelle 30 auszuführen.

10.2.6 Konstruktive Verbindung der Elemente und Bauteile

Die Elemente bzw. Bauteile sind im Bereich der Anschlüsse und Fügungen mit Hilfe stiftförmiger Verbindungsmittel abhängig von den statischen Anforderungen kraftschlüssig miteinander zu verbinden, jedoch mindestens in einem Abstand von 500 mm. Die Befestigung erfolgt in den tragenden Teilen der Elemente und Bauteile. Hierdurch soll eine gegenseitige Verschiebung und Öffnung der Element-/Bauteilfuge verhindert werden.

10.2.7 Bekleidungen

Die Fügungsprinzipien gelten für Bauteile mit einlagigen sowie mit mehrlagigen Bekleidungslagen. Die Ausführungsvarianten mit einlagigen Bekleidungslagen sind entsprechend auf mehrlagige Bekleidungen zu übertragen. Insbesondere sind Verspachtelungen oder Verfugungen in allen Lagen auszuführen.

10.2.8 Flankierende Bauteile

Werden Holztafel- oder Massivholzelemente oder Elemente mit nicht hohlraumfrei ausgefüllten Gefachen über raumabschließende Holzkonstruktionen hinweggeführt, sind entsprechende zusätzliche Elemente in Form von Verblockungen im Anschlussbereich einzubauen, um eine Brandweiterleitung innerhalb des überbrückenden (flankierenden) Bauteils auszuschließen, Abbildung 86 a). Alternativ zu einer Verblockung aus Holz kann ein Dämmschott nach DIN 4102-4 eingesetzt werden. Diese Maßnahme dient dazu, dass die in Tabelle 30 in Verbindung mit den in Abschnitt 10.2 getroffenen Maßnahmen nicht innerhalb der flankierenden Bauteile überlaufen werden. Fugen zwischen Elementen die ein raumabschließendes Bauteil flankieren, sind brandschutztechnisch entsprechend vorbenannter Maßnahmen (vgl. Tabelle 30) zu berücksichtigen. Weiterführende Hinweise sind in Kapitel 10.3 benannt.

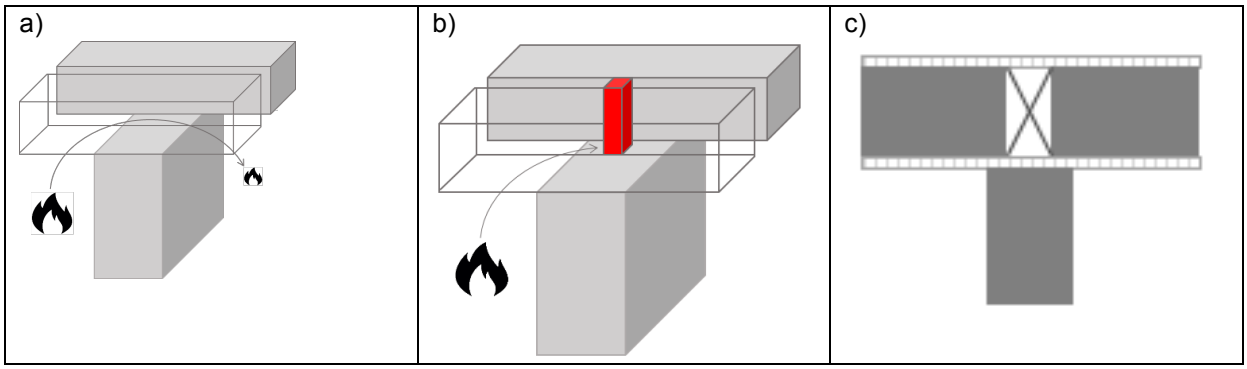


Abbildung 86: Brandübertragungspfad durch flankierende Bauteile

a) Brandübertragung über ein raumabschließendes Bauteil hinweg über durchgehende Elementfugen
b) Dichtungsmaßnahme in den Elementfugen
c) Verblockung innerhalb des Bauteils

10.2.9 Anschluss von nicht-raumabschließenden Bauteilen an raumabschließende Bauteile

In vorhergehenden Fügungsprinzipien wird ausschließlich der Anschluss von jeweils raumabschließenden Bauteilen oder Elementen betrachtet. Soll ein nicht-raumabschließendes Bauteil an ein raumabschließendes Bauteil angeschlossen werden, dürfen die zum Raumabschluss Beitrag leistenden Bauteillagen durch den Anschluss nicht beeinträchtigt oder unterbrochen werden. Die Befestigung der nicht-raumabschließenden Konstruktion muss in die Tragkonstruktion der raumabschließenden Konstruktion oder in zusätzliche, lastabtragende

Elemente erfolgen. Andernfalls sind die in Tabelle 30 aufgeführten Konstruktionsprinzipien anzuwenden.

10.3 Besonderheiten bezüglich der Rauchentwicklung bei Bauteilanschlüssen

Bearbeitung: Patrick Sudhoff, Björn Kampmeier, Norbert Rüther, Ludger Dederich, Elisabeth Suttner, Norman Werther, Stefan Winter

Im Hinblick auf die Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit im Sinne des § 26 (3) der LBO BW [2] wurden die vorgestellten Ausführungsempfehlungen aus Abschnitt 10.2 im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes experimentell (vgl. Abschnitt 7.2) untersucht. Hieraus ist abzuleiten, dass das EI-Kriterium nach DIN 13501-2 [35] nicht als hinreichendes Kriterium zur wissenschaftlichen Beurteilung des Rauchdurchtrittes / der Rauchdichtheit herangezogen werden kann, da eine Durchströmung von auf ihrem Strömungsweg abgekühlten Brandgasen bis hin zur brandabgewandten Seite weiterhin möglich ist. Auch die optische Beurteilung nach DIN 4102-2 [18] liefert nur eine rein qualitative Aussage, die je nach Prüfsituation unterschiedlich ausgelegt werden kann.

Eine absolute Rauchdichtheit, wie in der ursprünglichen Fassung der LBO BW 2015 [1] angedeutet, ist baupraktisch nicht realisierbar. Alle Bauteile und insbesondere Bauteil- und Elementfugen weisen i.d.R. Eigenschaften auf, die eine Permeabilität und Durchströmung vermindern, jedoch nicht gänzlich verhindern können.

Ergänzend zu den Vorgaben in Abschnitt 10.2 und Entwurf zur M-HolzbauRL [14] zur Ausführung mit Mineralwolldämmstreifen innerhalb der Bauteil- und Elementfugen wird gemäß der vergleichenden Untersuchungen zur Leckrate und Rauchgaskonzentration gemäß Abschnitt 7.2.2 eine Kompression des Dämmstoffes im Einbauzustand auf mindestens 90 kg/m³ empfohlen. Die Anforderungen hinsichtlich des Schmelzpunktes ≥ 1.000 °C bleiben bestehen.

Über die Bauteilfuge weitergeführte Lamellenfugen, wie beispielsweise bei Massivholzdecken mit nur verminderten Anforderungen an die Sichtqualität, sind im Hinblick auf den Rauchdurchtritt ungünstig zu bewerten, da sie die Integrität der Anschlussfuge beeinflussen können. Daher ist eine Flankenverklebung von Massivholzelementen oder anderweitige konstruktive Maßnahmen in Form von Bekleidungen oder Abklebungen der Lamellenfugen im Bereich der Bauteilfuge vorzusehen.

Anhand der vergleichenden Untersuchungen zwischen mineralischen und holzbautypischen Anschlussvarianten ergeben sich folgende zentrale Erkenntnisse aus der quantitativen Beurteilung des Rauchdurchtrittes durch die Anschlussfuge:

1. Es gibt keine absolute Rauchdichtheit.
2. Die Ausführung einer luftdichten Ebene zwischen Nutzungseinheiten ist eine hinreichende Maßnahme zur Begrenzung des Rauchdurchtrittes.
3. Die luftdichte Ebene muss für die Dauer der vorgesehenen Brandeinwirkung dauerhaft erhalten bleiben. Brandschutztechnisch wirksame Maßnahmen auf der brandzugewandten Seite, die im Regelfall beidseitig ausgeführt werden, verringern den Rauchdurchtritt zusätzlich und erhöhen die Ausfallsicherheit des Gesamtsystems Bauteilanschluss. Diese Doppelung erzeugt zudem eine erhöhte Robustheit, da bei kleinen einseitigen Defekten weiterhin keine Strömungen entstehen können. Die Schall- und Geruchsschutzeigenschaften der Bauteile werden ergänzend unterstützt.
4. Abweichend zu DIN 4102-2 [18] ist die Einhaltung des EI-Kriteriums nach DIN EN 13501-2 [35] zwar Grundvoraussetzung für eine Beurteilung der Bauteilfuge, aber allein keine hinreichende Bedingung zur Beurteilung der Rauchdichtheit. Durch die Einhaltung der o.a. konstruktiven Randbedingungen ist jedoch die Äquivalenz der Rauchdichtheit entsprechend der allgemein anerkannten Regeln der Technik aller Bauweisen gegeben.
5. Übliche Anschlüsse von Bauteilen in Holztafelbauart und Massivholzbauart sowie aktuell bauaufsichtlich eingeführte, dem Stand der Technik entsprechende, mineralische Anschlüsse sind im Bezug auf den Rauchdurchtritt gleichwertig.
6. Zu raumabschließenden Bauteilen flankierende, durchgehende Bauteil-, Lamellen- und Elementfugen erfordern zusätzliche Maßnahmen sowie die Unterbrechung des Übertragungsweges im Anschlussbereich. Unbekleidete Bauteile können weitergehende Maßnahmen in der Lamellen- / Element- / Bauteilfuge erfordern.

Entsprechende Ausführungsdetails, welche die vorgenannten Anschlussprinzipien nach 10.2 unter zusätzlicher Berücksichtigung der hier genannten zentralen Erkenntnisse (Punkte 1 - 6) abbilden, können den Leitdetails von dataholz.eu [76] entnommen werden.

11 Literaturverzeichnis

[1] MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU BADEN-WÜRTTEMBERG: *Landesbauordnung für das Land Baden-Württemberg (LBO BW 2015)* (idF v. 5. 3. 2010 mehrfach geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 11. 11. 2014 (GBl. S. 501))

[2] MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU BADEN-WÜRTTEMBERG: *Landesbauordnung für Baden-Württemberg (LBO BW 2019) in der Fassung vom 5. März 2010 zuletzt geändert durch Gesetz vom 18. Juli 2019*

[3] Norm DIN EN ISO 20484:2017. 07/2017. *Zerstörungsfreie Prüfung - Dichtheitsprüfung - Begriffe*

[4] DEUTSCHER BUNDESTAG: *Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden - Wärmeschutzverordnung* (idF v. 16. 8. 1994)

[5] Norm DIN 4108-7:2011-01. 01/2011. *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden*

[6] DEUTSCHER BUNDESTAG: *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden - Energieeinsparverordnung* (in Kraft getr. am 24. 7. 2007) (2007-07-24). URL juris.de – Überprüfungsdatum 2018-06-12

[7] Norm DIN EN 13501-1:2019-05. 05/2019. *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zur ihrem Brandverhalten*

[8] Norm DIN EN 1634-3:2015-01. 01/2005. *Feuerwiderstandsprüfungen für Tür- und Abschlusseinrichtungen*

[9] *Musterbauordnung* (idF v. November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 13. 5. 2016)

[10] DEHNE, KRUSE BRANDSCHUTZINGENIEURE GMBH & CO. KG: *Referenzen zur Bauweise von Treppenhäuser in mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise, die gemäß individueller Brandschutznachweise errichtet wurden.* Telefoninterview. 2020-09-25. Patrick Sudhoff (Adressat)

[11] HOLZBAU DEUTSCHLAND - INSTITUT E.V. (Hrsg.); KRUSE, Dirk (Mitarb.); DEHNE, Michael (Mitarb.) : *Brandschutzkonzepte für mehrgeschossige Gebäude und Aufstockungen*. Informationsdienst Holz, 2019 (holzbau handbuch Reihe 5 Teil 2 Folge 2)

[12] DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen: Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile*. Berlin : Beuth Verlag, 05/2016

[13] MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU BADEN-WÜRTTEMBERG: *Richtlinie über brandschutztechnsiche Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise* (idF v. 08/2005). URL https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Bauen/Bauvorschriften/Richtlinie-HFHHolzR.pdf

[14] FACHKOMMISSION BAUAUFSICHT DER BAUMINISTERKONFERENZ, KONFERENZ DER FÜR DAS BAU-, WOHNUNGS- UND SIEDLUNGSWESEN ZUSTÄNDIGEN MINISTER/SENATOREN DER LÄNDER (ARGEBAU): *Entwurf – Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an Bauteile und Außenwandbekleidungen in Holzbauweise – MHolzBauRL – (Stand: Mai 2020)*

[15] MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU BADEN-WÜRTTEMBERG: *Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriems und des Wirtschaftsministeriums über Technische Baubestimmungen - Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen* (idF v. 01/2019) – Überprüfungsdatum 2019-06-04

[16] BAUMINISTERKONFERENZ: *Änderungen der MVV TB für die Ausgabe 2019/1 im Ergebnis der Anhörungen 2016 und 2017- Kenntnisgabedokument* - (idF v. 2019/1). URL https://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=22392&o=759O763O16154O19813O22392 – Überprüfungsdatum 2019-06-04

[17] Norm DIN EN 1995-1-2. 12/2010. *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*

[18] Norm DIN 4102-2. 1977/09. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen*

[19] Norm DIN EN 13501-2:2016-12. 12/2016. *KLassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zur ihrem Brandverhalten*

[20] Norm DIN EN 1363-1. 10/2012. *Feuerwiderstandsprüfungen*

[21] Norm DIN EN 1363-2. 10/1999. *Feuerwiderstandsprüfungen*

[22] Vornorm DIN ENV 1363-3. 09/1999. *Feurwiderstandsprüfungen*

[23] Norm DIN EN 1364-3. 05/2014. *Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile*

[24] Norm DIN EN 1364-4. 05/2014. *Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile*

[25] Norm DIN EN 1364-1. 09/2015. *Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile*

[26] Entwurf E-DIN EN 1364-6. 05/2016. *Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile*

[27] Norm DIN EN 1364-5. 09/2017. *Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile*

[28] Norm DIN EN 1364-2. 03/2018. *Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile*

[29] Norm DIN EN 1365-4. 10/1999. *Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile*

[30] Norm DIN EN 1365-3. 02/2000. *Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile*

[31] Norm DINE EN 1365-6. 02/2005. *Feuerwiderstandsprüfung für tragende Bauteile*

[32] Norm DIN EN 1365-5. 02/2005. *Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile*

[33] Norm DIN EN 1365-1. 08/2013. *Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile*

[34] Norm DIN EN 1365-2. 02/2015. *Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile*

[35] Norm DIN EN 13501-3:2010-02. 02/2010. *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten*

[36] Norm DIN EN 13501-4:2016-11. 12/2016. *Klassifizierung von Bauprodukten und Baurten zu ihrem Brandverhalten*

[37] Norm DIN EN 13501-5. 12/2016. *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zur ihrem Brandverhalten*

[38] Norm DIN EN 1366-4:2010-08. 08/2010. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[39] Norm DIN 4109. 1989. *Schallschutz im Hochbau*

[40] Norm DIN 4109-1. 01/2018. *Schallschutz im Hochbau*

[41] Beiblatt 2 DIN 4109. 11/1989. *Schallschutz im Hochbau*

[42] Richtlinie VDI 4100. 10/2012. *Schallschutz im Hochbau*

[43] Norm DIN 4109-2. 01/2018. *Schallschutz im Hochbau*

[44] Norm DIN 4109-33. 07/2016. *Schallschutz im Hochbau*

[45] Beiblatt 1 DIN 4109. 11/1989. *Schallschutz im Hochbau*

[46] ENTWICKLUNGSGEMEINSCHAFT HOLZBAU (EGH) IN DER DGFH E.V. (Hrsg.); HOLTZ, Fritz (Mitarb.); HESSINGER, Joachim (Mitarb.); RABOLD, Andreas (Mitarb.); BUSCHBACHER, Hans-Peter (Mitarb.) : *holzbau handbuch* : *Schallschutz*. Wände und Dächer. München, 2004 (Reihe 3 - Bauphysik Teil 3, Folge 4)

[47] ENTWICKLUNGSGEMEINSCHAFT HOLZBAU (EGH) IN DER DGFH E.V. (Hrsg.); SCHULZE, Horst (Mitarb.): *holzbau handbuch* : *Grundlagen des Schallschutzes*. München, 1998 (Reihe 3 - Bauphysik Teil 3, Folge 1)

[48] ENTWICKLUNGSGEMEINSCHAFT HOLZBAU (EGH) IN DER DGFH E.V. (Hrsg.); HOLTZ, Fritz (Mitarb.); HESSINGER, Joachim (Mitarb.); BUSCHBACHER, Hans-Peter (Mitarb.); RABOLD, Andreas (Mitarb.) : *holzbau handbuch* : *Schalldämmende Holzbalken- und Brettstapeldecken*. München, 1999 (Reihe 3 - Bauphysik Teil 3, Folge 3)

[49] DEUTSCHER BUNDESTAG: *Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden - Energieeinsparungsgesetz* (idF v. 1. 9. 2005) (1980-06-26). URL juris.de – Überprüfungsdatum 2018-06-19

[50] DEUTSCHER BUNDESTAG: *Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich - Erneuerbare Energien Wärmegesetz* (idF v. 20. 10. 2015) (2008-08-07). URL juris.de – Überprüfungsdatum 2018-06-19

[51] Vornorm DIN V 18599-1:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[52] Vornorm DIN V 18599-2:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[53] Vornorm DIN V 18599-3:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[54] Vornorm DIN V 18599-4:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[55] Vornorm DIN V 18599-5:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[56] Vornorm DIN V 18599-6:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[57] Vornorm DIN V 18599-7:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[58] Vornorm DIN V 18599-8:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[59] Vornorm DIN V 18599-9:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[60] Vornorm DIN V 18599-10:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[61] Vornorm DIN V 18599-11:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[62] Vornorm DIN V 18599-12:2016-10. 10/2016. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[63] Vornorm DIN V 18599 Bbl 1:2010-01. 01/2010. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[64] Vornorm DIN V 18599 Bbl 2:2012-06. 06/2012. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[65] Vornorm DIN V 18599 Bbl 3:2015-07. 07/2015. *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung*

[66] Norm DIN 4108-2:2013-03. 2013/02. *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden*

[67] Norm DIN EN 13829:2001-02. 2001/02. *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden - Differenzdruckverfahren*

[68] Norm DIN EN ISO 10211:2018-03. 2018/03. *Wärmebrücken im Hochbau - Wärmeströme und Oberflächentemperaturen - Detaillierte Berechnungen*

[69] Norm DIN 4108 Bbl 2:2006-03. 2006/03. *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele*

[70] Entwurf DIN 4108 Bbl 2:2017-11. 2017/11. *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Wärmebrücken - Planungs- und Ausführungsbeispiele*

[71] Norm DIN 4108-03:2014-11. 2014/11. *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden*

[72] Entwurf DIN 4108-3:2017-09. 2017/09. *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden*

[73] Norm DIN 68800-2:2012-02. 2012/02. *Holzschutz*

[74] Norm DIN EN 15026:2007-07. 2007/07. *Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen - Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation*

[75] GRÄFE, Martin ; MERK, Michael ; WERTHER, Nomran ; FÜLLE, Claudia ; LEOPOLD, NAdine ; SPRINZ, Dietmar ; BUSCH, MAtthias ; BRUNN, Markus: *Regeldetailkatalog für den mehrgeschossigen Holzbau in Gebäudeklasse 4*. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag

[76] HOLZFORSCHUNG AUSTRIA - ÖSTERREICHISCHE GESELLSCHAFT FÜR HOLZFORSCHUNG: *dataholz.eu*. URL https://www.dataholz.eu/. – Aktualisierungsdatum: 2018 – Überprüfungsdatum 2018-06-19

[77] MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU BADEN-WÜRTTEMBERG: *Allgemeine Ausführungsverordnung des Wirtschaftsministeriums zur Landesbauordnung* (idF v. 5. 2. 2010) (2017-02-23). URL http://www.landesrecht-bw.de/jportal/?quelle=jlink&query=BauOAV+BW&psml=bsbawueprod.psml&max=true&aiz=true – Überprüfungsdatum 2018-06-19

[78] ARBEISTKREIS TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG DER FACHKOMMISSION BAUAUFSICHT DER BAUMINISTERKONFERENZ: *Muster-Richtlinie über brandschutztechnsiche Anforderungen ans Leitungsanlagen (Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie)* (idF v. 10. 2. 2015) (2015). URL https://www.is-argebau.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=759O986O991

[79] ARBEISTKREIS TECHNISCHE GEBÄUDEAUSRÜSTUNG DER FACHKOMMISSION BAUAUFSICHT DER BAUMINISTERKONFERENZ: *Muster-Richtlinie über brandschutztechnsiche Anforderungen an Lüftungsanlagen (Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie)* (idF v. 29. 9. 2005) (zul. geändert 2015-12-11). URL https://www.is-argebau.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=759O986O991

[80] ÖSTMANN, Birgit ; MIKKOLA, Esko ; STEIN, René ; FRANGI, Andrea ; KÖNIG, Jürgen ; DHIMA, Dhionis ; HAKKARAINEN, Tuula ; BREGULLA, Julie: *Fire Safety in Timber Buildings* : *Technical guidline for Europe*. 2010 (SP Report 2010:19)

[81] Norm DIN EN 1366-1:2014-12. 12/2014. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[82] Norm DIN EN 1366-2:2015-09. 09/2015. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[83] Norm DIN EN 1366-3:2009-07. 07/2009. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[84] Norm DIN EN 1366-5:2010-07. 07/2010. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[85] Norm DIN EN 1366-6:2005-02. 02/2005. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[86] Norm DIN EN 1366-7:2004-09. 09/2004. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[87] Norm DIN EN 1366-8:2004-10. 10/2004. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[88] Norm DIN EN 1366-9:2008-08. 08/2008. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[89] Norm DIN EN 1366-10:2017-07. 07/2017. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[90] Norm DIN EN 1366-11:2018-07. 07/2018. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[91] Norm DIN EN 1366-12:2014-12. 12/2014. *Feuerwiderstandsprüfungen für Installationen*

[92] Norm DIN 4102-1. 1998/05. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen*

[93] Norm DIN 4102-3. 1977/09. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen*

[94] Norm DIN 4102-6. 1977/09. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen*

[95] Norm DIN 4102-8. 2003/10. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen*

[96] Norm DIN 4102-9. 1990/05. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen*

[97] Norm DIN 4102-11. 1985/12. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen*

[98] TEIBINGER, Martin ; MATZINGER, Irmgard: *Brandabschottung im Holzbau*. Wien, 2012 (HFA Schriftenreihe 38)

[99] MPA BRAUNSCHWEIG: *Prüfung einer etwa 285 mm dicken, raumabschließenden, wärmedämmenden Deckenkonstruktion mit einer unterseitigen „K260 Brandschutzbekleidung“ aus 2 x 18 mm dicken Gipskartonfeuerschutzplatten (GKF) zum baupraktischen Nachweis des „Kapselkriteriums“ in Verbindung mit Durchführungen von Kabeln und Rohren bei Brandbeanspruchung von der Deckenunterseite*. Braunschweig, 25.08.2006 (Prüfbericht 3049/9435-13-TP)

[100] GHL CONSULTANTS LTD: *Firestopping test witness report* : *for Nordic Structures*. Vancouver, 26.09.2016 (NEW-4830.01)

[101] ALBRACHT, Natasha ; CARPENTER, Karen: *Fire resistance performance evaluation of a penetration firestop system tested in accordance with ASTM E814-13A, standard test method for fire tests of penetration firestop systems*. San Antonio, Texas, 22.10.2015 (01.21428.01.001a)

[102] LUM, Conroy: *CLT Firewalls Detailling Penetraitions* : *Recent testing and lesson learned*. 2017

[103] STUDHALTER, Jakob ; KOLB, Josef ; WEBER, Heinz ; WIEDERKEHR, Reinhard ; KAMMER, Peter: *Haustechnik* : *Installationen und Abschottungen*. Zürich, 2010 (Lignum-Dokumentation Brandschutz 6.1)

[104] Änderung A1 DIN 4102-4/A1:2018-11. 11/2018. *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen*

[105] LIPPE, Manfred ; CZEPUCK, Knut ; MÖLLER, Frank ; REINTSEMA, Jörg: *Kommentar mit Anwendungsempfehlungen und Praxisbeispielen zu der Muster-Leitungsanlagen-Richtlinie MLAR, Muster-Systembödenrichtlinie MSysBöR, Muster einer Verordnung über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen EltBauVO* : *Praxis für Architekten, Baubehörden, Fachplaner für technische Gebäudeausrüstung (TGA), Elektro- und SHK-Handwerk, Prüfsachverständige (PrüfSV), Brandschutzsachverständige/ Ersteller von Brandschutzkonzepten, Fachbauleiter Brandschutz : inkl. einem Schwerpunkt zu sicherheitstechnischen Anlagen und Wechselwirkungen/Einwirkung der Gewerke untereinander*. 5., komplett überarbeitete Auflage. Köln, Winnenden, Rudolf Müller : FeuerTRUTZ Network; Heizungs-Journal Verlags-GmbH, 2018

[106] ANGEHRN, Christoph ; BRÜHWILER, Ivan ; WIEDERKEHR, Reinhard: *Bauteile in Holz* : *Anschlüsse bei Bauteilen mit Feuerwiderstand*. Zürich, 2018 (Lignum-Dokumentation Brandschutz 4.2)

[107] WERTHER, Norman ; MERK, Michael ; STEIN, René ; WINTER, Stefan: Influence of service installations for the separating and structural performance of timber assemblies exposed to fire. In: FONTANA, Mario; FRANGI, Andrea; KNOBLOCH, Michael (Hrsg.): *Proceedings of 7th International Conference on Structures in Fire*. Zürich, 2012

[108] Entwurf EN 1995-1-2:2020 (E). 05/2019. *Eurocode 5 - Design of timber structures*

[109] STEIN, René: *Zur Bewertung beeinflussender Faktoren auf Brandweiterleitungsmechanismen in Buateilfugen vorgefertigter Holzbauelemente*. München, Technische Universität München. Dissertation. 2015

[110] BECKER, Klaus ; TICHELMANN, Karsten ; HOSSER, Dietmar ; EL-HARIRI, M. ; WESCHE, Jürgen: *Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise: Untersuchungsbericht Teil 1 Theoretische Grundlagenuntersuchungen: Forschungsauftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) gefördert aus Mitteln des DIBt und der Holzwirtschaft*. Braunschweig :

[111] HOSSER, Dietmar ; DEHNE, Michael ; ZEHFUß, Jürgen: *Theoretische und experimentelle Grundlagenunetrsuchungen zum Brandschutz bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise, Stufe 2 (Bauteilversuche) und Stufe 3 (Empfehlungen): Abschlussbericht zur Stufe 2 Bauteilversuche: Forschungsauftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) gefördert aus Mitteln des DIBt und der Holzwirtschaft*. Braunschweig :

[112] DIN 50055:1989-03. *Lichtmeßstrecke für Rauchentwicklungsprüfungen*

[113] RÜTHER, N. ; SUDHOFF, P. ; DEDERICH, L. ; KAMMERER, E. ; WERTHER, N.: *Anforderung an die Rauchdichtigkeit von Holzbauteilen in den GK 4 und 5*. In: *Tagungsband 6. Magdeburger Brand und Explosionsschutztage* (2019)

[114] WEIGAND, M. ; BREIN, D.: *Räumliche Erfassung der Verdünnung von Brandrauch, Gasen und Dämpfen bei Brandsimulation in unterschiedlichen Modellmaßstäben* : *Brandschutzforschungsbericht Nr. 170*. Karlsruhe, 2012

[115] MATHMON: *"Prandtlsches Staurohr"*. URL https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prandtlsches_Staurohr.svg – Überprüfungsdatum 2019-07-31

[116] SUREK, D. ; STEMPIN, S.: *Technische Strömungsmechanik*. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2017

[117] SUDHOFF, P. ; ET AL.: *Beurteilung der Feuerwiderstandsfähigkeit von Bauteil- und Elementfugen im Rahmen des HolzbauRLBW-Projektes*. In: *Tagungsband Braunschweiger Brandschutztage - Symposium Heißbemessung* (2019)

[118] *MRU Optima 7 Multigas Analysator – Technisches Datenblatt*. URL https://www.mru.eu/fileadmin/medien/produkte/detailseite-pdf/DE-Prospekt-OPTIMA7.pdf – Überprüfungsdatum 2019-07-31

[119] BECKER, Klaus ; TICHELMANN, Karsten ; HOSSER, Dietmar ; EL-HARIRI, M. ; WESCHE, Jürgen: *Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen zum Brandschutz mehrgeschossiger Gebäude in Holzbauweise* : *Untersuchungsbericht Teil 1 Theoretische Grundlagenuntersuchungen*. Forschungsauftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) gefördert aus Mitteln des DIBt und der Holzwirtschaft. Braunschweig, 1997 (DGfH-Nr. F-96/10)

[120] FRANGI, Andrea ; FONTANA, Mario: *Zum Brandverhalten von Holzdecken aus Hohlkastenelementen*. Zürich, 1999

[121] HOSSER, Dietmar ; DEHNE, Michael ; ZEHFUß, Jürgen: *Theoretische und experimentelle Grundlagenunetrsuchungen zum Brandschutz bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise, Stufe 2 (Bauteilversuche) und Stufe 3 (Empfehlungen)*: *Abschlussbericht zur Stufe 2 Bauteilversuche*. Forschungsauftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) gefördert aus Mitteln des DIBt und der Holzwirtschaft. Braunschweig, 2000 (DIBt-Nr. IV 12-5-4.111.1-896/98; DGfH-Nr. F-98/29)

[122] HOSSER, Dietmar ; WESCHE, Jürgen ; DEHNE, Michael ; BECKER, Klaus ; TICHELMANN, Karsten: *Theoretische und experimentelle Grundlagenunetrsuchungen zum Brandschutz bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 in Holzbauweise*: *Abschlussbericht*. Forschungsauftrag der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung (DGfH) gefördert aus Mit-

teln des DIBt und der Holzwirtschaft. Braunschweig, 2001 (DIBt-Nr. IV 12-5-4.111.1-896/98; DGfH-Nr. F-98/29)

[123] WINTER, Stefan ; STEIN, René: *Untersuchungen von brandschutztechnisch optimierten Wand- und Deckenaufbauten im Rahmen der Kampagne Brandschutz*. München, 2007

[124] TEIBINGER, Martin ; MATZINGER, Irmgard: *Urbanes Bauen in Holz- und holzmischbauweise* : *Untersuchungen zum Brandverhalten vn Wand-Deckenanschlüssen*. Wien, 2008

[125] TEIBINGER, Martin ; DOLEZAL, Franz ; MATZINGER, Irmgard: *Deckenkonstruktionen für den mehrgeschossigen Holzbau* : *Schall- und Brandschutz*. Wien, Mai 2009 (HFA Schriftenreihe Band 20)

[126] HOSSER, Dietmar ; KAMPMEIER, Björn: *Bewertung des Brandverhaltens unbekleideter flächiger massiver Holzbauteile im hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten im mehrgeschossigen Holzbau unter Berücksichtigung des geltenden nationalen Sicherheitsniveaus sowie der DIN EN 1995-1-2*. Braunschweig, 2008

[127] OSBORNE, Lindsey ; DAGENAIS, Christian ; BÉNICHOU, Noureddine: *Preliminary CLT Fire Resistance Testing Report*. 2012 (301006155)

[128] FISCHKANDL, Hendrik: *Feuerwiderstandsprüfung mit zusätzlicher mechanischer Beanspruchung (Stoßprüfung) einer tragenden, raumabschließenden Brettsperrholzwandkonstruktion mit einer 2 x 18 mm dicken Gipsarton-Feuerschutzplattenbekleidung auf der feuerzugewandten Seite zur Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer hinsichtlich des Raumabschlusses, der Wärmedämmung sowie der Tragfähigkeit bei einer einseitigen Brandbeanspruchung gemäß DIN EN 1365-1 in Verbindung mit DIN EN 1363-1 und DIN EN 1363-2*. Leipzig, 2013 (PB 3.2/12-119-1)

[129] HAUSWALDT, Sebastian: *Feuerwiderstandsprüfung mit zusätzlicher mechanischer Beanspruchung (Stoßprüfung) einer tragenden, raumabschließenden Brettsperrholzwandkonstruktion mit einer 2 x 18 mm dicken Gipskarton-Feuerschutzplattenbekleidung auf der feuerzugewandten Seite zur Ermittlung der Feuerwiderstanddauer hinsichtlich des Raumabschlusses, der Wärmedämmung sowie der Tragfähigkeit bei einer einseitigen Brandbeanspruchung gemäß DIN EN 1365-1* in Verbindung mit DIN EN 1363-1 und DIN EN 1363-2*. Leipzig, 2013 (PB 3.2/13-210)

[130] MCGREGOR, Cameron James: *Contribution of cross laminated timber panels to fires*. Ottawa, Carleton University, Ottawa-Carleton Institute of Civil and Environmental Engineering. Dissertation. 2013

[131] DAGENAIS, Christian: *Fire Stops and Sealing Joints in Cross-laminated Timber Construction*. Vancouver, 2014 (301006715)

[132] STEIN, René: *Zur Bewertung beeinflussender Faktoren auf Brandweiterleitungsmechanismen in Buateilfugen vorgefertigter Holzbauelemente*. München, Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion. Dissertation. 2015

[133] MÖLLENBECK, Markus: *fermacell Gipsfaser-Platten* : *Brandschutz - CLT (STORA-ENSO)*. Vortrag. 2016

[134] IMFELD, Luca ; WIELAND, Franziska: *Holzverbindungen im Brandfall*. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut Baustatik und Konstruktion - Professur Holzbau. Projektarbeit. 2017

[135] ENGEL, Thomas ; WERTHER, Norman: *Untersuchungsbericht XYLOFON Polyurethan Schalldämmband unter Brandbeanspruchung*. München, 30.05.2017 (02-03-17)

[136] KARUSE, Mihkel: *Large scale fire test of CLT - fire spread through the joints and penetrations*. Tallinn, Tallinn University of Technology. Masterarbeit. 2018

[137] WINSTON, Matthiew: *Firestops in mass timber assemblies*. 03/2019

[138] WERTHER, Norman ; KURZER, Christoph: *Prüfbericht Brandprüfung von einem Decken- und Wandelement in Anlehnung an DIN EN 1363-4 zum Vergleich unterschiedlicher Bauteil- und Elementfugen im Holz-bau bei jeweils einseitiger Brandbeanspruchung nach DIN EN 1363 zur Ermittlung des Feuerwiderstandes in Verbindung mit den Dokmentationskriterien zum Rauchdurchtritt nach DIN 4102-2.* München, 2020

[139] Norm DIN 50055. 1989/03. *Lichtmeßstrecke für Rauchentwicklungsprüfungen*

[140] HOSSER, Dietmar: *Bewertung des Brandverhaltens unbekleideter flächiger massiver Holzbauteile im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten im mehrgeschossigen Holzbau unter Berücksichtigung des geltenden nationalen Sicherheitsniveau s sowie der DIN EN 1995-1-2*. Braunschweig, 2008

[141] DUMLER, Patric: *Dauerhaftigkeit der Leistungsfähigkeit von Maßnahmen zur Strömungs- und Luftdichtung in Holzbaukonstruktionenim Brandfall*. München, Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion. Master's Thesis. 2019

[142] MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU BADEN-WÜRTTEMBERG: *Richtlinie über brandschutztechnsiche Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise: HFHHolzR*. URL https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Bauen/Bauvorschriften/Richtlinie-HFHHolzR.pdf

[143] MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU BADEN-WÜRTTEMBERG: *Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriems und des Wirtschaftsministeriums über Technische Baubestimmungen - Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen:*

VwV TB. URL https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/3_Umwelt/Baurechts-_und_Bergbeh%C3%B6rde/171220_VwV_Technische_Baubestimmungen.pdf

[144] DIN EN 1991-1-2:2010-12. *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke; Deutsche Fassung EN 1991-1-2:2002 + AC:2009*

[145] TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG (Hrsg.); BRUNKHORST, S. (Mitarb.); ZEHFUß, J. (Mitarb.) : *Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Brandverlauf von Raumbränden mit immobilen Brandlasten*, 2019

[146] TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG (Hrsg.); WINTER, S. (Mitarb.); ENGEL, Thomas (Mitarb.); WERTHER, N. (Mitarb.); ZEHFUß, J. (Mitarb.); BRUNKHORST, S. (Mitarb.): *Brandschutztechnische Grundlagenuntersuchung für eine erweiterte Anwendung des Holzbaus*, 2019 (Heft 235)

[147] SCHLEIFER, Vanessa: *Zum Verhalten von raumabschliessenden mehrschichtigen Holzbauteilen im Brandfall*. Zürich : vdf, Hochsch.-Verl. AG an der ETH, 2009 (Bericht / Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich Nr. 313)

[148] DIN EN 520:12-2009. *Gipsplatten – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 520:2004+A1:2009*

[149] SUTTNER, Elisabeth ; WERTHER, Norman ; DUMLER, Patrick: *Stand der Technik zur Qualität von Bauteil- und Elementfugen in Holzbaukonstruktionen im Hinblick auf den Durchtritt von Feuer und Rauch*. 2020

[150] DIN EN 13171:2015-04. *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Holzfasern (WF) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13171:2012+A1:2015*

[151] DIN EN 13162:2015-04. *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus Mineralwolle (MW) – Spezifikation; Deutsche Fassung EN 13162:2012+A1:2015*

12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schallübertragungswege nach DIN 4109-2:2018 [43] 30
Abbildung 2: Korrektursummand K zur Berücksichtigung der Flankenübertragung [48] 32
Abbildung 3: Schematische Darstellung möglicher Fugentypen bei Bauteilen 40
Abbildung 4: Brandschutztechnische Erschließungssystematik für haustechnische Installationen 43
Abbildung 5: Ausführung mit klassifiziertem Installationsschacht [75] 43
Abbildung 6: Ausführung mit Abschottung im raumabschließenden Bauteil [75] 43
Abbildung 7: Arten von Durchdringungen infolge haustechnischer Installationen 44
Abbildung 8: Versagen im Abschlussbereich 47
Abbildung 9: Brandüberschlagsweg beim Einbau von Abschottungsmaßnahmen 47
Abbildung 10: Entzündung auf der brandabgewandten Seite bei großem Kabelquerschnitt 49
Abbildung 11: Ausführung von benachbarten Kabeldurchdringungen 49
Abbildung 12: Prinzip der Laibungseinhausung 51
Abbildung 13: Prüfung eines Systemschotts in einer Holzrahmen Deckenkonstruktion [99] 51
Abbildung 14: Rohrmanschette mit beidseitiger elastischer Abdichtung 52
Abbildung 15: Rohrmanschette im Brandfall in einer Brettsperrholzwand 52
Abbildung 16: Vorwandinstallation 53
Abbildung 17: Maßnahmen zur brandschutztechnischen Installation von Einbaudosen 53
Abbildung 18: Einfräsungen in Massivholzelementen 54
Abbildung 19: intumeszierender Anstrich; a) vor Einbau unter der Brandschutzbekleidung, b) nach Brandversuch 54
Abbildung 20: Anschluss 1 - Trennwand – Trenndecke 59
Abbildung 21: Anschluss 2 - Trenndecke – Brandwand 59
Abbildung 22: Anschluss 3 - Trenndecke – Außenwand 1 59
Abbildung 23: Anschluss 4 - Trenndecke – Außenwand 2 59
Abbildung 24: Anschluss 5 - Brandwand – Dach 59
Abbildung 25: Anschluss 6 - Trennwand – Außenwand 59
Abbildung 26: Anschluss 7 - Brandwand – Außenwand 59
Abbildung 27: Anschluss I a) mit Dichtband im jeweils thermisch nicht beeinflussten Bereich 61
Abbildung 28: Anschluss I b) mit innenliegendem Dichtband 61
Abbildung 29: Anschluss II a) mit dauerelastischer Dichtmasse im jeweils thermisch nicht beeinflussten Bereich 61
Abbildung 30: Anschluss II b) innenliegende dauerelastische Dichtmasse 61
Abbildung 31: Anschluss III a) mit Schallschutz-Lager 61
Abbildung 32: Anschluss III b) mit Schallschutz-Lager und Verspachtelung 61

Abbildung 33: Anschluss III c) mit Schallschutz-Lager und Brandschutzdichtmasse 61
Abbildung 34: Elementanschluss IV a) mit Steinwolle 61
Abbildung 35: Elementanschluss IV b) mit Steinwolle und dauerelastischer Dichtung..... 61
Abbildung 36: Anordnung der Dichtungsebene im Außenbereich des Bauteils..... 62
Abbildung 37: Anordnung der Dichtungsebene in Achse des Bauteils 62
Abbildung 38: Prinzipskizze der Messtechnik sowie der Transmissionsmessung in einem an den Fugen angebrachten Messkanal [111, 114] 69
Abbildung 39: Prinzipskizze der Leckagestrombestimmung anhand Gasanalyse [109]..... 70
Abbildung 40: RAK für bündigen bzw. nichtbündigen Wand-Decken-Abschluss..... 71
Abbildung 41: Detailzeichnung (Ansicht / Schnitte) des RAK mit Position der Messtechnik . 71
Abbildung 42: Schematische Darstellung einer Prandtl-Sonde [115] 72
Abbildung 43: Obere und untere Messgrenzen für die Bestimmung des Volumenstroms am RAK 73
Abbildung 44: Auszug aus technischem Datenblatt des Kombimessgerätes [118] 74
Abbildung 45: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus und Rauchauffangkasten .. 75
Abbildung 46: Probekörperabmessungen im 1 m x 1 m Bauteilofen in mm 77
Abbildung 47: Standardpositionen der Thermoelemente in Wand- und Deckenbauteilen sowie Fuge 78
Abbildung 48: Vergleich der Temperaturen in Fugenmitte bei Elementfugen mit 3, 5 und 10 mm Fugenbreite und Abklebung auf der brandabgewandten Seite (Versuch D1, 140 mm BSH Element)..... 136
Abbildung 49: Vergleich der Temperaturen in Fugenmitte bei Bauteilfugen mit 1 mm Fugenbreite und Abklebung auf der brandabgewandten Seite (Versuch A1, 100 mm BSP Element) 136
Abbildung 50: Schematische Visualisierung der Temperaturverteilung in Bauteilen und Bauteilanschlüssen in Abhängigkeit des Fugenabstandes [Simulation Fraunhofer WKI, Shaghayegh Ameri]..... 137
Abbildung 51: Temperaturen in Fugenmitte bei Verwendung eines komprimierten Mineralwollstreifens (Versuch Z02) 138
Abbildung 52: Temperaturen brandzugewandte Kante BSP (Innen), Fugenmitte und Außenseite der Fuge in der Messachse ohne Anordnung eines außenseitigen Klebebands (Versuch B1) 139
Abbildung 53: Mittlere Temperaturen brandzugewandte Kante BSP (Innen), Fugenmitte und Außenseite der Fuge (Versuch C1)..... 140
Abbildung 54: Mittlere Temperaturen an Vorderkante Rähm, Mitte und Hinterkante des Rähms (Versuch A2) 141

Abbildung 55: Blick auf den Dämmstoffstreifen in der Elementfuge nach Versuchsende (Versuch D2) 142
Abbildung 56: Temperaturen in Fugenmitte (Elementfuge Versuch D2) 142
Abbildung 57: Temperaturen an der brandzugewandten Seite des BSP-Elements, Vergleich zwischen Fuge und Fläche in derselben Ebene (Versuch B1) 143
Abbildung 58: Ansicht der brandzugewandten Seite der Decke mit Anordnung der Lamellenfugen (Versuch B1) 144
Abbildung 59: Temperaturen in der Mitte der Bauteilfuge oberhalb des Schallschutzlagers mit und ohne Lamellenfuge (Versuch B1) 144
Abbildung 60: Normierte Volumenströme der Versuche F1, F3 und G1 im Vergleich 145
Abbildung 61: Temperatur in der Mitte der Bauteilfuge (Versuch F1) 146
Abbildung 62: Temperatur in der Mitte der Bauteilfuge (Versuch F3) 146
Abbildung 63: Vergleich der normativen Volumenströme zwischen Bauteilanschlüssen von brennbaren und nichtbrennbaren Bauteilen 147
Abbildung 64: Schematische Darstellung des finalen Prüfaufbaus mit Untergründen [141] 151
Abbildung 65: Versuchsaufbau mit Positionen der Thermoelemente (rot) [141] 152
Abbildung 66: Musterbeispiele für Treppenräume mit und ohne notwendigem Flur gemäß LBOAVO [77] 162
Abbildung 67: Schematische Darstellung des Kapsel- und Isolationskriteriums 164
Abbildung 68: Repräsentative Naturbrandkurve 1 im Vergleich zur ETK sowie experimentellen Brandkurven [146] 166
Abbildung 69: Reduzierung des Bauteils auf einen 1-dimensionalen Aufbau in x-Richtung 168
Abbildung 70: Beispiel für die Modulation von Materialparametern für die Berücksichtigung physikalischer Effekte [147] 169
Abbildung 71: Wandaufbau der drei ausgewählten, im TIMpuls-Projekt durchgeführten Versuche 170
Abbildung 72: Messplan mit den in der Messebene angeordneten Thermoelementen, gruppiert in vier Messachsen [S. Brunkhorst, iBMB] 170
Abbildung 73: Vergleich der im Referenzversuch Nr. 1 gemessenen Maximaltemperaturen in der Grenzschicht zwischen Gipsfaserplatte und OSB mit den Simulationsergebnissen 171
Abbildung 74: Vergleich der im Referenzversuch Nr. 2 gemessenen Maximaltemperaturen in der Grenzschicht zwischen Gipsfaserplatte und OSB mit den Simulationsergebnissen 171
Abbildung 75: Vergleich der im Referenzversuch Nr. 3 gemessenen Maximaltemperaturen in der Grenzschicht zwischen Gipsfaserplatte und OSB mit den Simulationsergebnissen 172
Abbildung 76: Aufbau der berechneten Flurwände 174
Abbildung 77: Aufbau der berechneten Treppenraumwände 174
Abbildung 78: Ergebnisse des Wandaufbaus "Flur-A" (1x12,5 mm) 175

Abbildung 79: Ergebnisse des Wandaufbaus "Flur-B" (1x18 mm) 175
Abbildung 80: Ergebnisse des Wandaufbaus "Flur-C" (2x12,5 mm) 176
Abbildung 81: Ergebnisse des Wandaufbaus "Flur-D" (2x18 mm) 176
Abbildung 82: Ergebnisse des Wandaufbaus "TR-A" (2x12,5 mm) 177
Abbildung 83: Ergebnisse des Wandaufbaus "TR-B" (2x18 mm) 178
Abbildung 84: Systematik zur konstruktiven Ausführung von Anschlüssen für Element- und Bauteilfügungen 181
Abbildung 85: Position einer dauerelastischen Abdichtung im Bauteil 186
Abbildung 86: Brandübertragungspfad durch flankierende Bauteile 187

13 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zulässige Leckraten für Rauchschutztüren entsprechend DIN EN 13501-2 16
Tabelle 2: Übersicht der Gebäudeklassen nach MBO [9] 18
Tabelle 3: Übersicht der derzeitigen Möglichkeiten für die Holzbauweise nach MBO und LBO BW (2019) 19
Tabelle 4: Klassifizierung nichttragender Bauteile entsprechend DIN EN 13501-2 25
Tabelle 5: Klassifizierung raumabschließender Bauteile entsprechend DIN 4102-2 26
Tabelle 6: Übersicht der Schallschutzanforderungen nach DIN 4109 29
Tabelle 7: Energetische Anforderungen des Referenzgebäudes nach Anlage 1 zu EnEV 2016 [6] 34
Tabelle 8: Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts [6] 35
Tabelle 9: Anforderungen an tragende und raumabschließende Bauteile nach LBO BW [1] i.V.m. LBOAVO [77] 38
Tabelle 10: Vergleich nationaler und europäischer Prüfkriterien und Klassifizierungsmöglichkeiten [19, 20, 35, 97] 45
Tabelle 11: Ausführungsempfehlungen Kabeldurchdringungen 50
Tabelle 12: Vorversuchsreihe 63
Tabelle 13: Hauptversuchsreihe 64
Tabelle 14: Übersicht eingesetzter Messtechnik zur Rauchgasanalyse 76
Tabelle 15: Auflistung der betrachteten Untersuchungs- und Forschungsberichte 81
Tabelle 16: Fugen bei Hohlkastenelementen mit Federverbindungen 85
Tabelle 17: Ausführung von Fugen bei stumpfen Elementstößen 88
Tabelle 18: Ausführung von Fugen mit Stufenfalz 93
Tabelle 19: Ausführung von Fugen mit Koppelbrett mit/ohne Nut-Feder-Verbindung 99
Tabelle 20: Ausführung von Holzdecken-Stahlträger-Verbindungen 108
Tabelle 21: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Wand 109
Tabelle 22: Ausführung von Bauteilverbindungen Wand-Decke 110
Tabelle 23: Vorversuchsreihe 128
Tabelle 24: Hauptversuchsreihe 130
Tabelle 25: Ausgewählte Produkte für die Versuche [141] 149
Tabelle 26: Versagensart der Klebebänder mit Oberflächentemperatur in °C [141] 153
Tabelle 27: Verantwortlichkeiten für qualitätssichernde Maßnahmen in Abhängigkeit der Gebäudeklasse und der Planungs- bzw. Umsetzungsphase nach MBO [9] 158
Tabelle 28: Übersicht von Anforderungen und Maßnahmen zur Erreichung der Schutzziele 163

Tabelle 29: Vergleich der berechneten und gemessenen Maximaltemperaturen in der Grenzschicht zwischen Gipsfaserplatte und OSB aus Simulation und Experiment 172
Tabelle 30: Ausführungsvarianten für Bauteil-/Elementanschlüsse zur Erzielung der Kriterien nach DIN 4102-2 [18] 182
Tabelle 31: Ergänzende Anschlüsse für Elementfugen (Wand - Wand, Decke - Decke, Dach - Dach) 184

Anhang A Tabellarische Auflistung von Abschottungen im Holzbau

Nachfolgende Zusammenstellung ersetzt nicht das Vorhalten und die Studie der bauaufsichtlichen Nachweise. Infolge der unterschiedlichen Zulassungssystematik ist die Gültigkeit durch den Anwender zu prüfen, auch weil diese Neuausfertigungen und Verlängerungen unterliegen. Die Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf abschließende Vollständigkeit, eine fortlaufende Erweiterung erfolgt seitens der Autoren.

Tabelle 1: Lüftungsabschottungen

Hersteller	Typ	Klassifizierung	Nachweis	Nummer	Anwendungsbereich und Besonderheiten
Balzer	Absperrvorrichtung gegen Feuer und Rauch in Lüftungsleitungen entsprechend DIN 18017-3 Serie U	K 90	AbZ	Z-41.3-369	- Der Zulassungsgegenstand darf ausschließlich zum Einbau innerhalb von Wandungen von feuerwiderstandsfähig klassifizierten Schächten F30 und F60 eingesetzt werden
Bartholomäus GmbH	Brandschutz-Revisionsenddeckel REV-EDW	K90	AbZ	Z-41.3-683	- Einbau in Deckenbauteile
Bartholomäus GmbH	Absperrvorrichtung gg. Feuer und Rauch in Lüftungsleitungen	K90	AbZ	Z-41.3-686	- Mörtelverguss (F90: 100 mm; F30/F60: 50 mm von der Außenkante der luftführenden Laibung bis zur Kante des Holzbauteils) - Einbau in Deckenbauteile
Helios	Absperrvorrichtung gg. Feuer und Rauch Typ BAE	K90/30	AbZ	Z.41.3-696	- in Holzbalkendecken mit umlaufendem Mörtelverguss - Einbau in Deckenbauteile
Schulte & Todt	Absperrvorrichtung gg. Feuer und Rauch Typ ST-ADW	K90/30	AbZ	Z-41.3-689	- Einbau in Holzbalkendecke F30-B - unmittelbar unter/in oder auf der Decke, - Mindeststärke 150 mm
Wildeboer	TS18	K90	AbZ	Z-41.3-556	- Einbau unter, über und in Decken möglich - Holzbalkendecke mit Bekleidung - Verguss aus Mörtel als Ringspaltverschluss

Tabelle 2: Rohrabschottung

Hersteller	Typ	Klassifizierung	Nachweis	Nummer	Besondere Einbaumaßnahmen
Air Firetech	RORCOL	EI 90 - 120	ETA	ETA-13/0758	- Einbau in Brettsperrholzdecken und -wände und Leichtbauwände - Ringspaltabdichtung mittels Mineralwolle > 1.000 °C und Brandschutzmasse
bst	System bst Brand-schutzschwamm SPG/NE, Kombi-schott	EI 120	ETA	ETA-17-0003	- Kombischott - Einbau in Wandbauteile
Doyma	Curaflam XS Pro	EI 90	ETA	ETA-11/0498	- Einbau in Holzbalkendecken ≥ 150 mm
FLAMRO	Variant N II A		ETA	ETA-13/0922	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
FLAMRO	Variant N EC	EI 60-120	ETA	ETA-15/0802	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
FLAMRO	Variant N III wrap	EI 60-240	ETA	ETA-16/0056	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
Geberit	Rohrummantelung PushFit/Mepla	R30-R120	AbZ	P-MPA-E00-063	- Einbau in Wandbauteile
Rockwool	Conlit Manschette	R30 – R90	abP	P-3725/4130 MPA BS P3726/4140MPA BS Z19.172124	- Einbau in Holzbalken- und Brettsperrholzdecken - Ringspaltabdichtung mittels Mineralwolle > 1.000 °C und/oder Brandschutzmasse, Weich-schott, Mörtelverguss
Rolf Kuhn GmbH	ROKU System EC Endless Collar	EI 90 - EI120	ETA	ETA-13/0640	- Einbau in Wandbauteile
Rolf Kuhn GmbH	ROKU System IWM III plus	R 90; EI 90/120/240	AbZ; ETA	Z-19.17-1219; Z-19.17-2131; ETA-15/0869	- Einbau in Deckenbauteile und leichte Trennwände
Rolf Kuhn GmbH	ROKU System AWM III/ AWM II Light	R 90; EI 90/120/240	AbZ;	Z-19.17-1651	- Einbau in leichte Trennwände
Rolf Kuhn GmbH	ROKU System FSC 4 Fire Stop Collar	EI 60-240	ETA	ETA-15/0907	- Einbau in leichte Trennwände

Fortsetzung Tabelle 2: Rohrabschottung

Viega	Advantix	R 30-120	AbZ	Z-19.17-1770	- Einbau in mindestens 150 mm dicke Holzbalkendecken
Walraven	BIS Pacifyre EFC System	EI 60-240	ETA	ETA-13/0793	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
Würth	EC Endless Collar	EI 60-240	ETA	ETA-13/0791	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
zz	System ZZ_Brand-schutzschaum 2K NE, Kombischott		ETA	ETA-11/0206	- Einbau in Wandbauteile

Tabelle 3: Brandschutzklappen

Hersteller	**Typ**	**Klassifizierung**	**Nachweis**	**Nummer**	**Besondere Einbaumaßnahmen**
Air Firetech	Inlap/Inlap ST	EI 90 - 120	EN	15650:2010	- Einbau in Brettsperrholzdecken und -wände und Leichtbauwände - Ringspaltabdichtung mittels Mineralwolle > 1.000 °C und Brandschutzmasse

Tabelle 4: Elektroleitungen

Hersteller	**Typ**	**Klassifizierung**	**Nachweis**	**Nummer**	**Besondere Einbaumaßnahmen**
bst	System bst Brand-schutzschwamm SPG/NE, Kombi-schott	EI 120	ETA	ETA-17-0003	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
Flamro	DSB-W	EI 120	ETA	ETA-16/0318	- Einbau in Wände
FLAMRO	FLAMRO BSB-K Kombiabschottung EN	EI 90-180	ETA	ETA 15/0710	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
FLAMRO	FLAMRO Multi-Kom-bischott EN	EI 90/120	ETA	ETA-13/0756	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C

Fortsetzung Tabelle 4: Elektroleitungen

FLAMRO	FLAMRO BS-MK Kombiabschottung	EI 45-120	ETA	ETA-15/0237	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
FLAMRO	FLAMRO KSL	EI 60-120	ETA	ETA -16/0320	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
Hensel	HENSOMASTIK Kombischott EI 90/EI120	EI 60-120	ETA	ETA 15/0295 vom 21.11.2018	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
Hensel	HENSOMASTIK Kombischott EI 90/EI120	EI 60-120	ETA	ETA 15/0295 vom 21.11.2018	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
Hilti	CFS-CC Brand-schutzkabelman-schette	EI 30-120	ETA	ETA-13/0704	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
Hilti	Brandschutzstopfen CFS-PL, Brand-schutzfüllmasse CFS-FIL, Brand-schutzputtybandage CFS-P BA	EI 30-120	ETA	ETA-13/0125	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
Hilti	Hilti Brandschutz-schaum CFS-F FX	EI 60-120	ETA	ETA 10/0109	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
Kaiser	Dosen-/Decken-schott DS 90	EI 90	ETA	ETA-14/0159	- leichte Trennwände: - 2 Lagen aus 12,5 mm dicken mineralischen (z.B. zement- bzw. gips-gebundenen) Bauplatten mit einem Brandverhalten der Klasse A1 bzw. A2 nach EN 13501-1 (nicht brennbare Baustoffe). - Öffnungen zu Ständer und Riegeln ≥ 100 mm- Mindestwanddicke ≥ 100 mm - Für klassifizierte Wände gemäß EN 13501-2 mit einer Feuerwiderstandsdauer von EI30 - EI9
Kaiser	Electronic- Dose HWD 90	EI 30-EI 120	aBG; ETA	Z-19.21-2064;ETA-18/0091 vom 11.04.2018	- Einbau in Wände und Decken

Fortsetzung Tabelle 4: Elektroleitungen

Kaiser	Bauarten zum Verschließen von Elektroinstallationsöffnungen in feuerwiderstandsfähigen Bauteilen		AbZ	Z-19.21-1788	- Einbau in Wände und Decken
Rockwool	Conlit-Bandage	S30 – S90	AbZ	Z-19.15-1877	- Einbau in Holzbalken- und Brettsperrholzdecken - Ringspaltabdichtung mittels Mineralwolle > 1.000 °C und/oder Brandschutzmasse, Weichschott, Mörtelverguss
Wichmann	WD90	S90	AbZ	Z-19.15-202	- Einbau in Holzbalken-/Holzmassivdecken
Rolf Kuhn GmbH	ROKU System FPP-N Fire Protection Pillows-N	EI 90-180	ETA	ETA-17/0242	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
Rolf Kuhn GmBH	ROKU System MFS	EI 60-120	ETA	ETA-15/0014	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
OBO	PYROCOMB Intube, Typ CTS; PYROCOMB Intube, Typ CTS-HP	EI 90-120	ETA	ETA-13/0904	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
OBO	PYROCOMB TUBES	EI 120	ETA	ETA-12/0207	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
OBO	PYROPLUG Block - System FBA-B200	S 90; EI 60-120	AbZ; ETA	Z-19.15-1849; ETA-15/0803	- Einbau in Wände
OBO	System PYROPLUG Peg	S 30-90	AbZ; ETA	Z-19.15-1558; ETA-15/0701	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
OBO	PYROSIT NG, FBS	EI 60-120	ETA	ETA-11/0527	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
svt	PYRO-SAFE CT Abschottungssystem	EI 45-120	AbZ; ETA	Z-19.53-2324; ETA-13/0821	- Einbau in Wandbauteile

Fortsetzung Tabelle 4: Elektroleitungen

svt	PYRO-SAFE Flam-motect-zweilagig	EI 120	ETA	ETA-13/0903	- leichte Trennwände > 100 mm
Würth	Würth Kabel Röhre System B2	EI 90-120	ETA	ETA-13/0695	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
ZZ	Kabelabschottung ZZ C31 (System ZZ-Brandschutzsilikon NE)	EI 60-120	ETA	ETA-13/0123 vom 23.08.2018	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
ZZ	Kabelabschottung ZZ C30 (System ZZ-Brandschutzmasse NE)	EI 60-120	ETA	ETA-13/0093 vom 23.08.2018	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C
ZZ	Kombiabschottung ZZ M 30 (System ZZ-Brandschutzschaum 2 KNE)	EI 60-120	ETA	ETA-11/0206	- Einbau in Leichtbauwände mit beidseitiger Bekleidung aus nichtbrennbaren Baustoffen und Dämmstoffen mit einem Schmelzpunkt > 1.000°C

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: A1_BSP-BSP_KLB_60

Datum: 18.12.2019

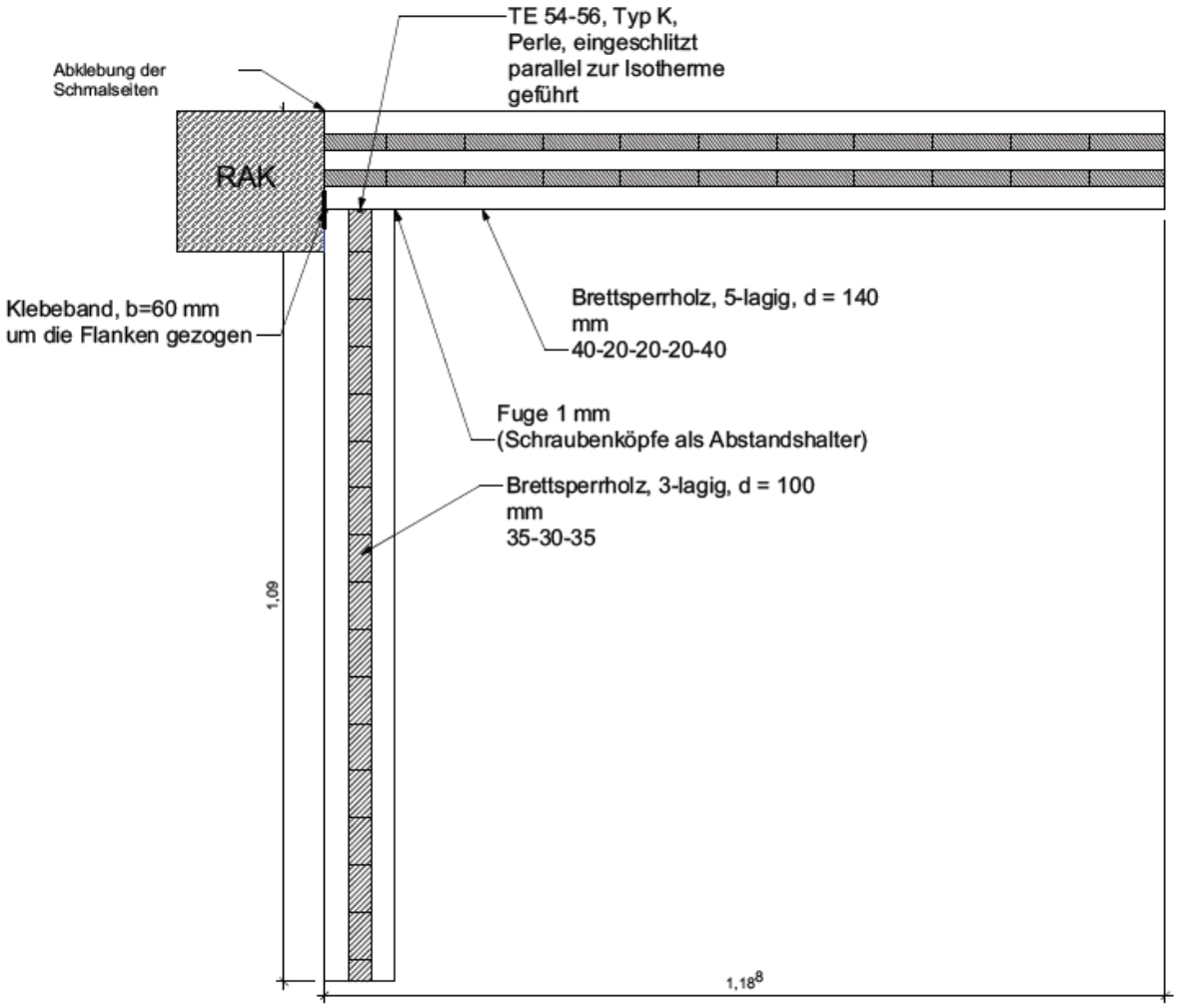
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Ansicht (brandabgewandte Seite) 4
Draufsicht (brandabgewandte Seite) 4
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 5
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 5
Weitere verwendete Materialien 5
2.Versuchsparameter 6
2.1 Umgebungsbedingungen 6
2.2 Prüfbedingungen 6
Temperaturzeitkurve 6
Grenzabweichungen 7
Ofenüberdruck 7
3.Auswertung 8
3.1. Temperaturverläufe 8
Temperaturverlauf Bauteilfuge 8
Temperaturverlauf Wand: 9
Temperaturverlauf Decke: 9
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 10
Volumenstrom 10
Massenströme CO, CO_2, O_2 10
Absolute Abgasfeuchte 10
3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 11
4. Anhänge/Fotodokumentation 12
4.1. Darstellung der Restquerschnitte 21

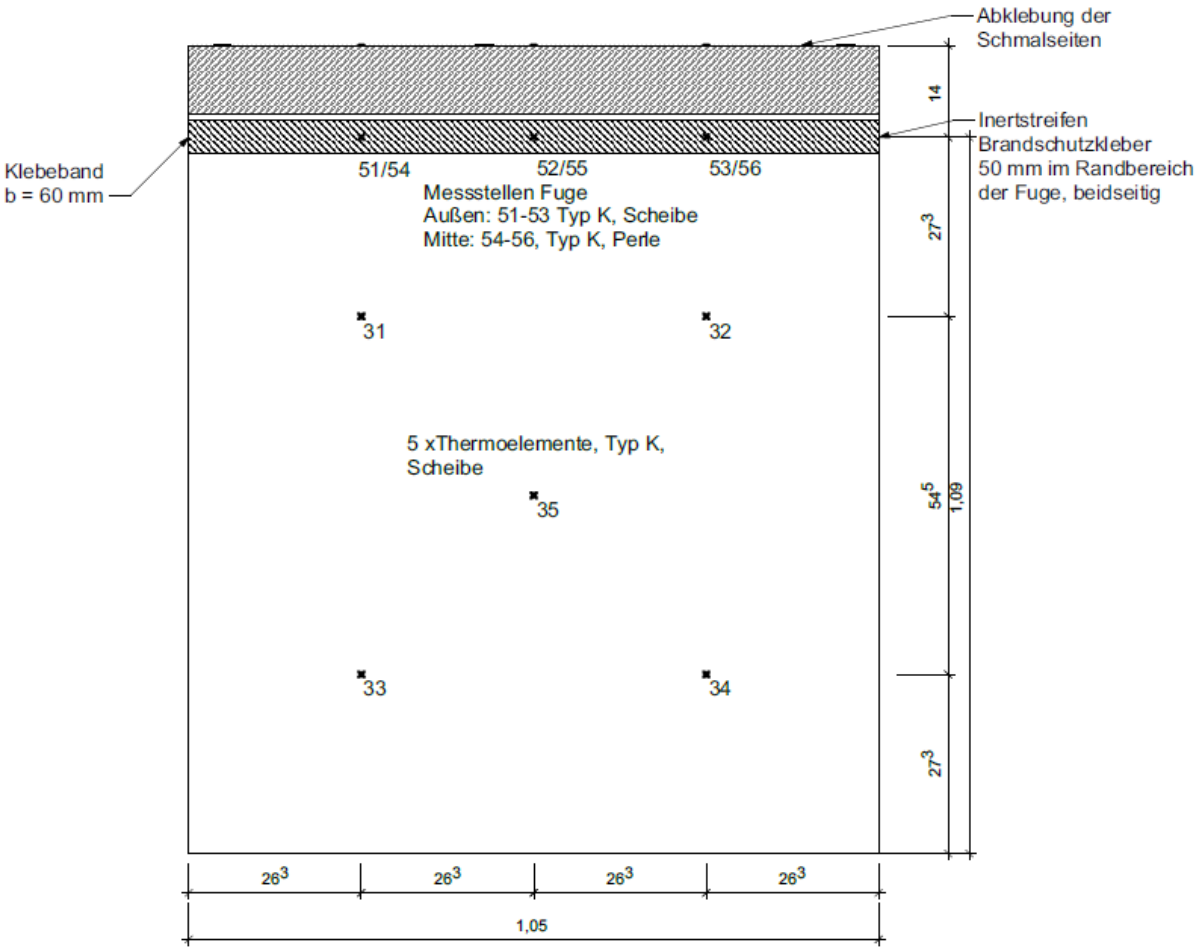
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

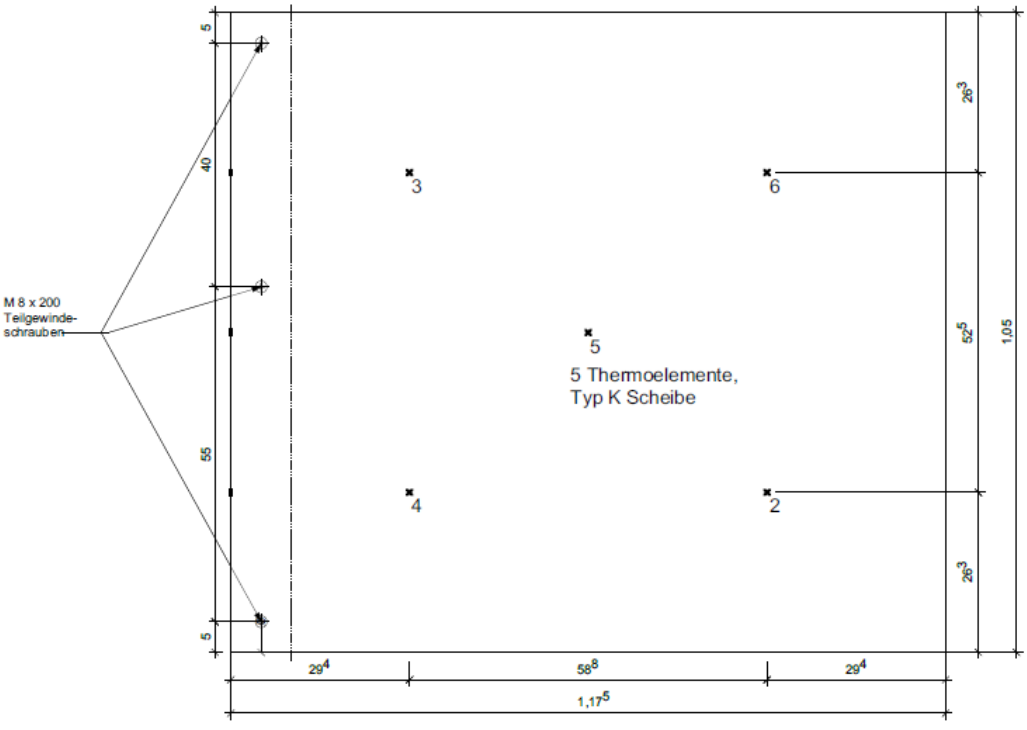
Schnitt



Ansicht (brandabgewandte Seite)



Draufsicht (brandabgewandte Seite)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	100 mm BSP-Element (35-30-35), BBS, nSi	465	11 %	Binderholz

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	140 mm BSP-Element (40-20-20-20-40), BBS, nSi	465	11 %	Binderholz

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Holzbau-Teilgewindeschraube, Scheibenkopf, 6x200 mm	Würth	W1-D1
Klebeband UNI Tape ®, b=60 mm	ProClima	Fügung (brandabgewandte Seite, Flanken)
Klebeband EURASOL ® Thermo HT, b=100mm	Würth	Abklebung der Schmalseiten
Isifest Brandschutzkleber	HBT	Randbereich Fuge

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	18.12.2019, 12:07:36 Uhr
Versuchsende:	18.12.2019, 13:08:12 Uhr
Versuchsdauer in min:	60 min

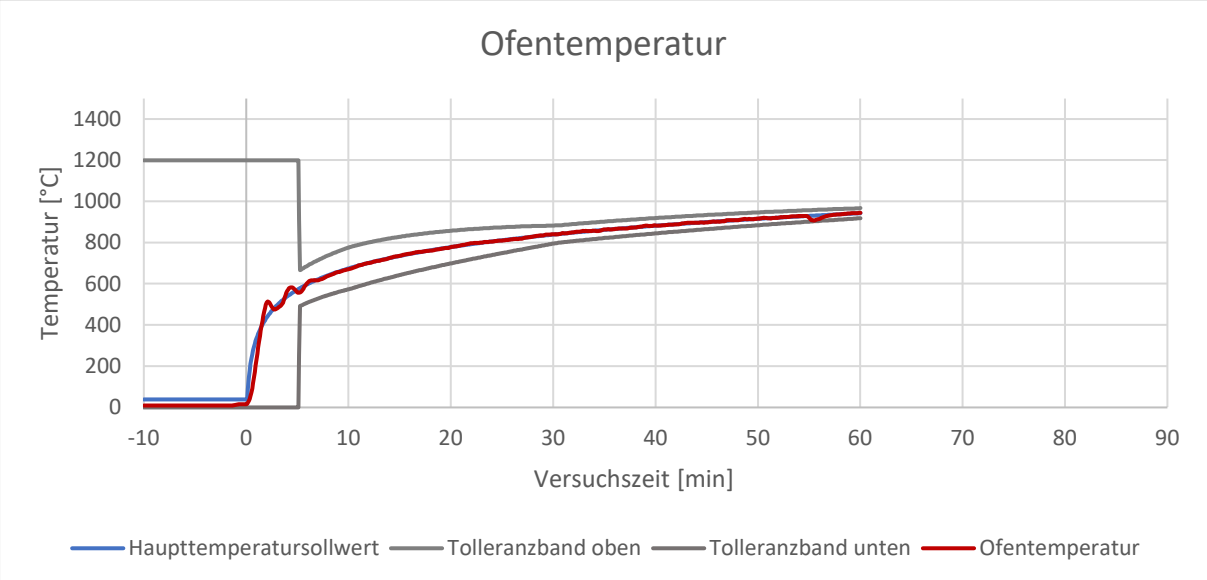
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

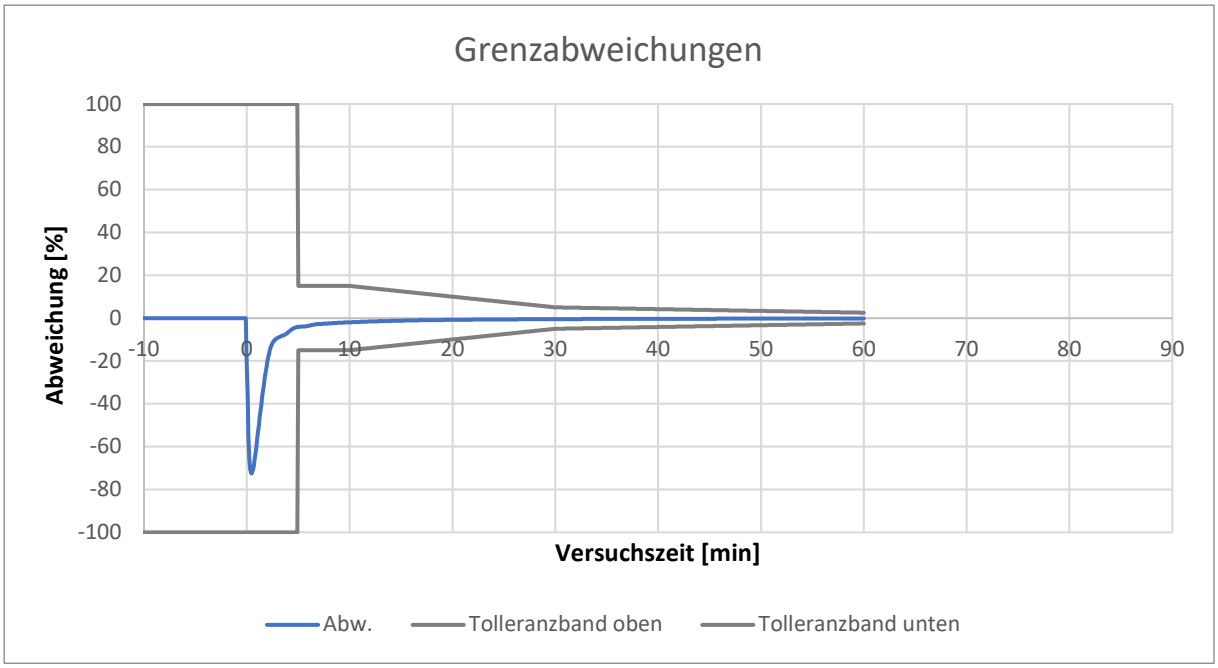
Umgebungsdruck:	1011 mbar
Umgebungstemperatur:	8,2 °C
Luftfeuchte in %:	68 % rh

2.2 Prüfbedingungen

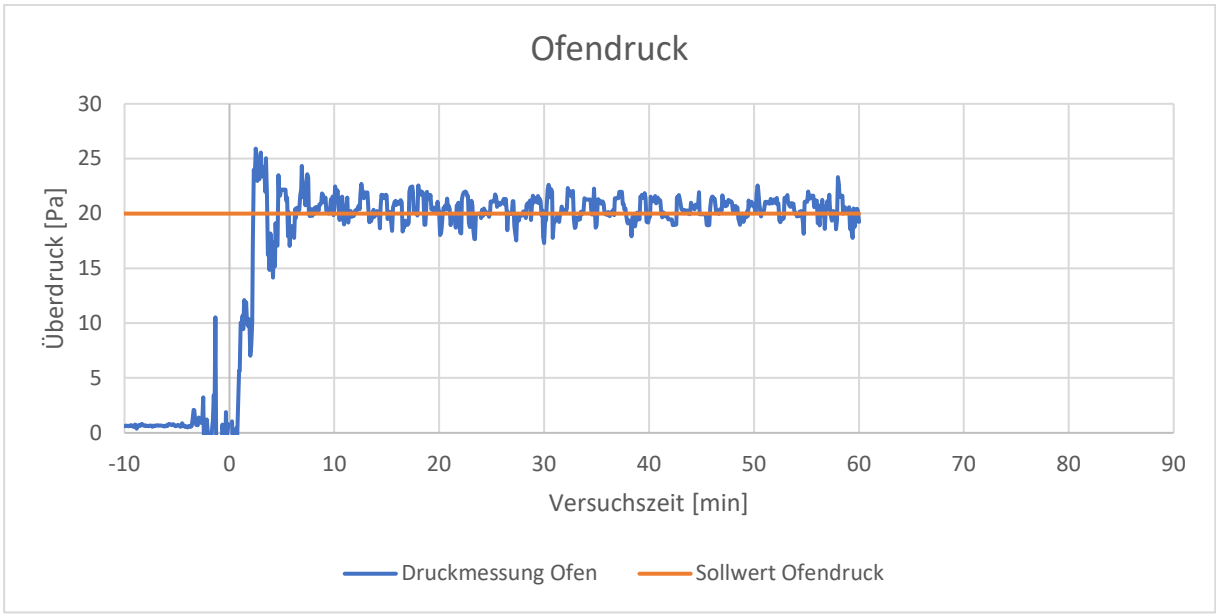
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



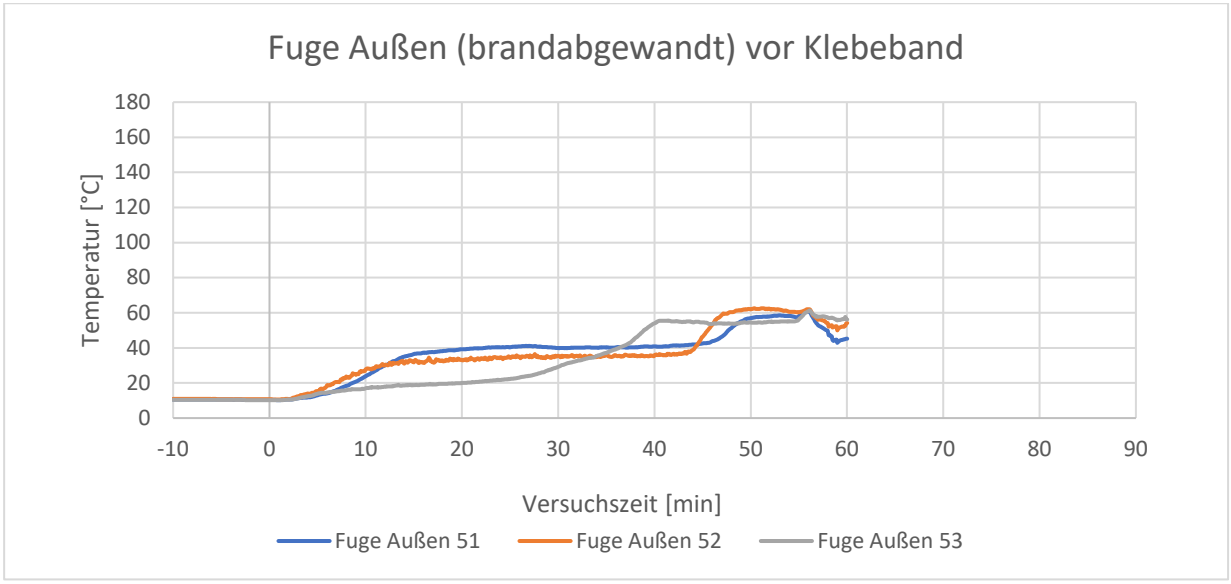
Ofenüberdruck

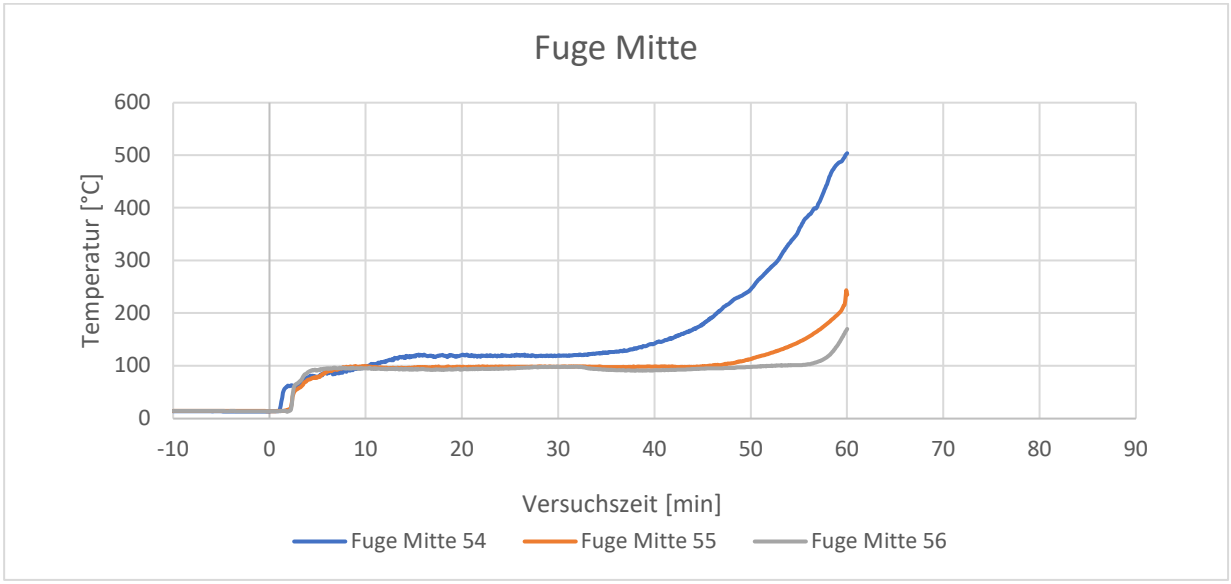


3.Auswertung

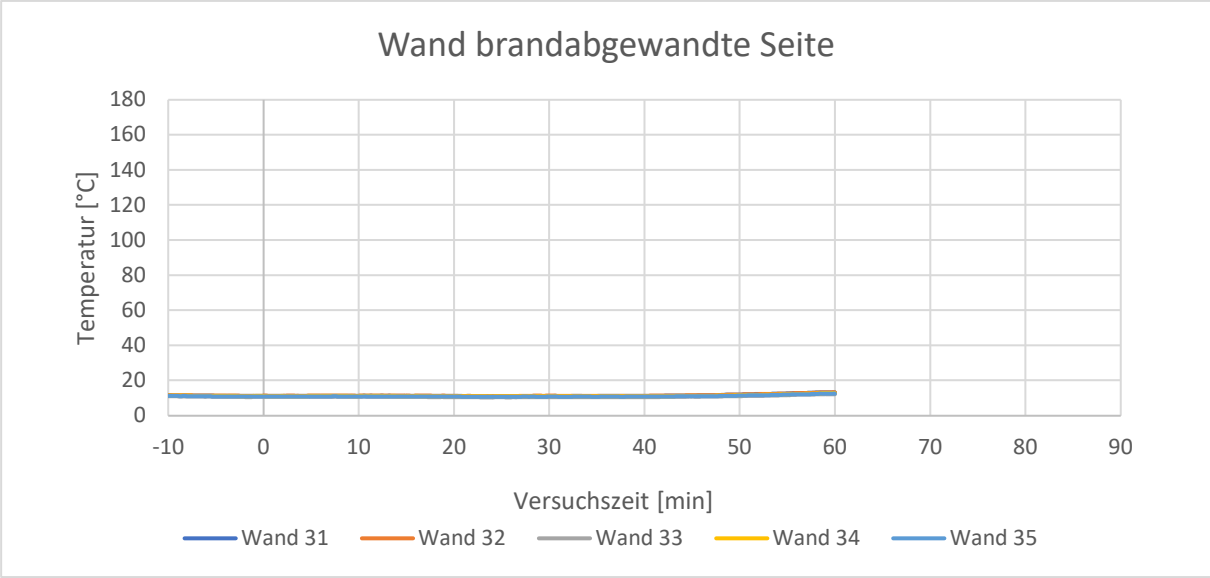
3.1. Temperaturverläufe

Temperaturverlauf Bauteilfuge

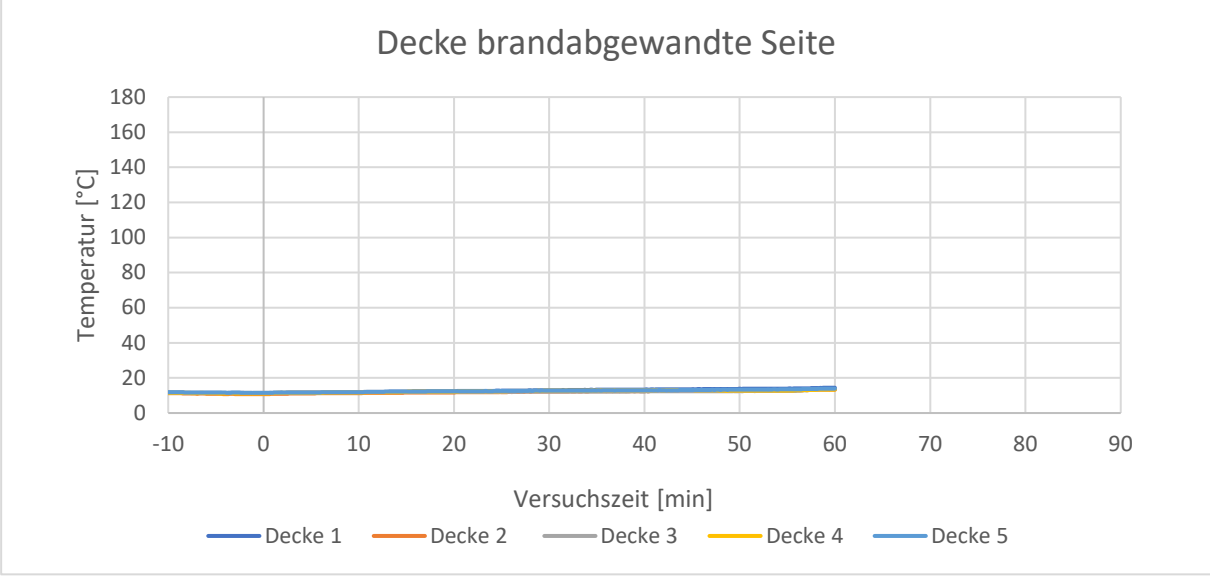




Temperaturverlauf Wand:

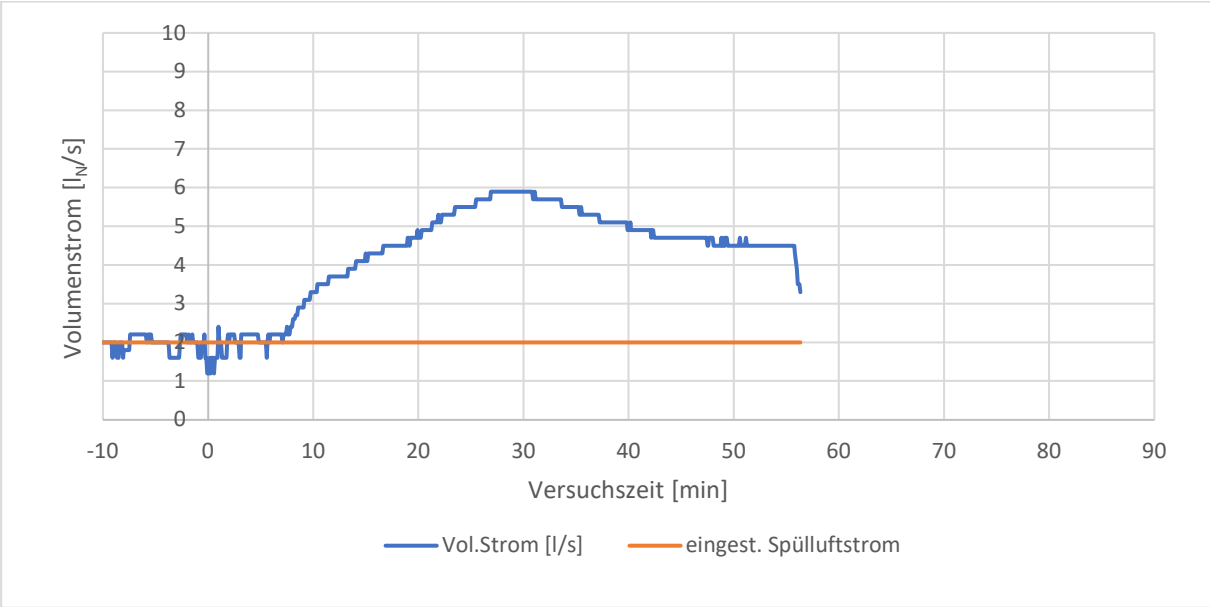


Temperaturverlauf Decke:



3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

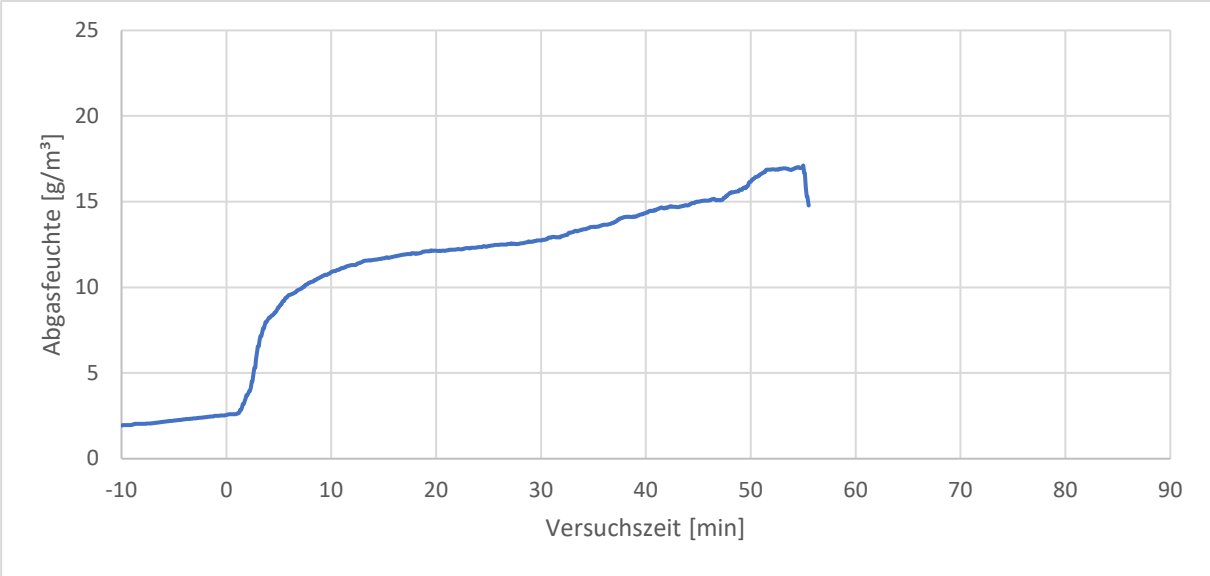
Volumenstrom



Massenströme CO, CO_2, O_2

➔ Nicht aufgezeichnet, Ausfall Gaspumpe/Analytik

Absolute Abgasfeuchte



3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
	Die Brandraumtemperatur wurde ohne Kontroll-Thermoelement überwacht	
1.	Versuchsbeginn	
2.	Zunehmender Rauchdurchtritt zwischen den Brettlagen der brandabgewandten Wandseite linksseitig	X
5.	RAK füllt sich mit Rauch	X
10.	Gemessene Rauchgasanalytik zu niedrig – Defekt der Gasanalytik vermutet. Volumenstrommessung wird fortgesetzt	
29.	Wattebauschtest Wand brandabgewandte Seite negativ	X
30.	RAK: An Pos. TE 51 stärkerer Rauchdurchtritt als TE 52 und 53, kein Ablösen des Klebebands sichtbar; Rauchdurchtritt erfolgt durch die äußeren Brettlagen der Wand	
36.	Verringerung der Rauchentwicklung im RAK, Verfärbung ca. 5 cm rechts unterhalb TE 51 sichtbar	X
52.	Wieder zunehmende Rauchentwicklung im RAK sichtbar	
55.	RAK zum Schutz der Messtechnik abgenommen	
57.	Verkohlung und Rauchdurchtritt unterhalb des Klebebandes, Höhe 5 cm rechts unterhalb TE 51, kein Ablösen des Klebebands feststellbar	X
58.	Wattebauschtest an Stelle des Rauchdurchtrittes Höhe TE 51 negativ, leichte Verkohlung, keine Entzündung	X
60.	Gas abgeschaltet	
62.	Kein Ablösen des Klebebands feststellbar, wird manuell entfernt, sofort starke Rauchentwicklung an der Fuge feststellbar	
Nach Versuchsende	Messgaspumpe Gasanalytik ausgefallen, Reparatur durch Hersteller veranlasst. Volumenstrommessung nicht durch defekt betroffen	

4. Anhänge/Fotodokumentation

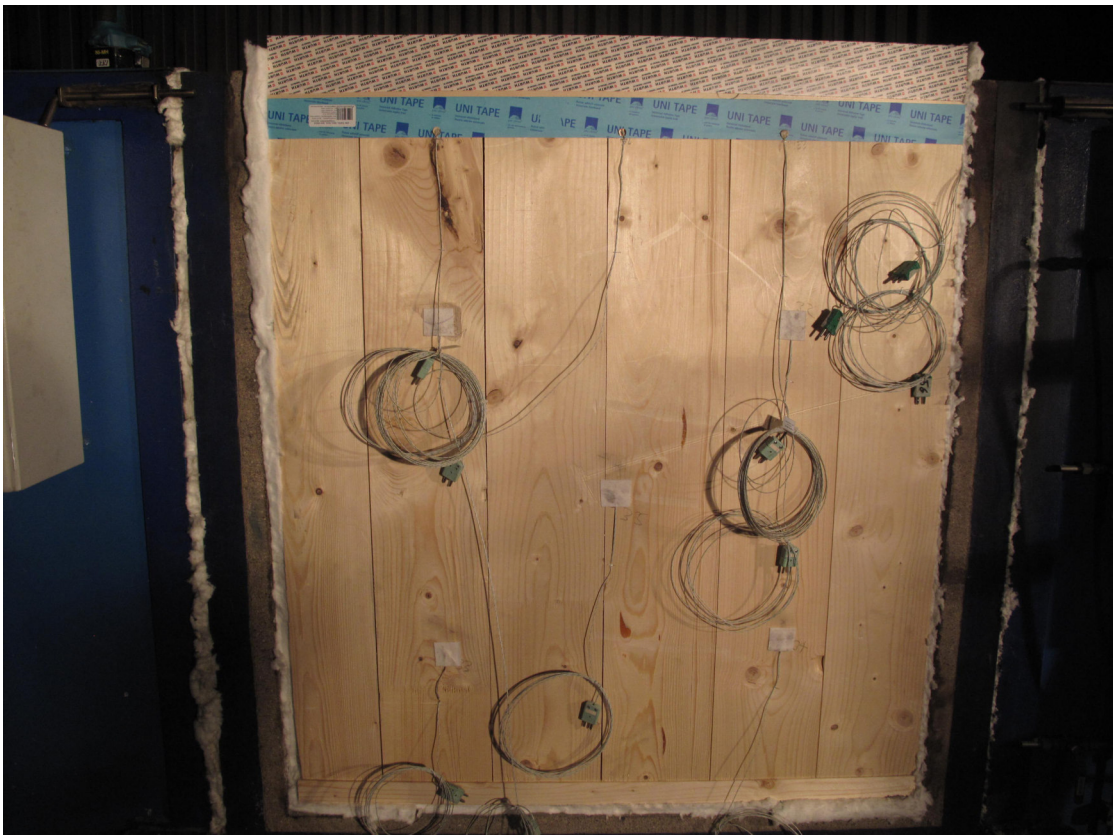


Abbildung 1: Wand brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn



Abbildung 2: Fuge brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn

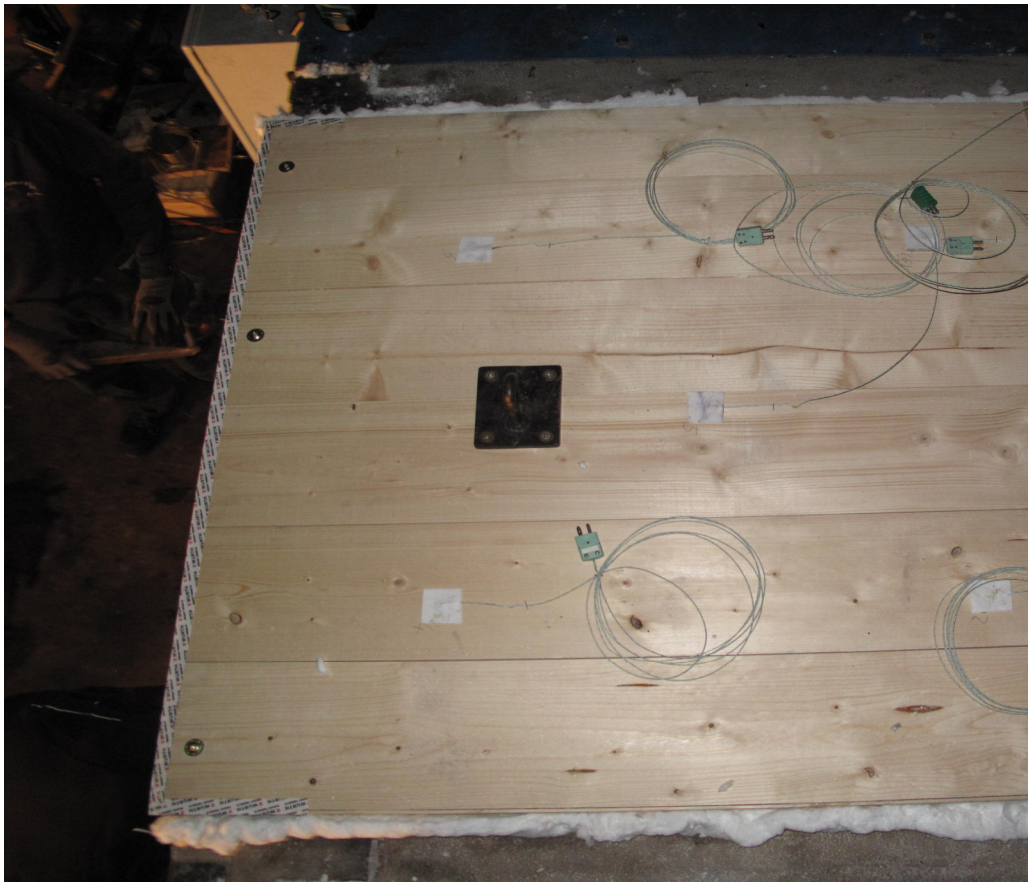


Abbildung 3: Decke brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn

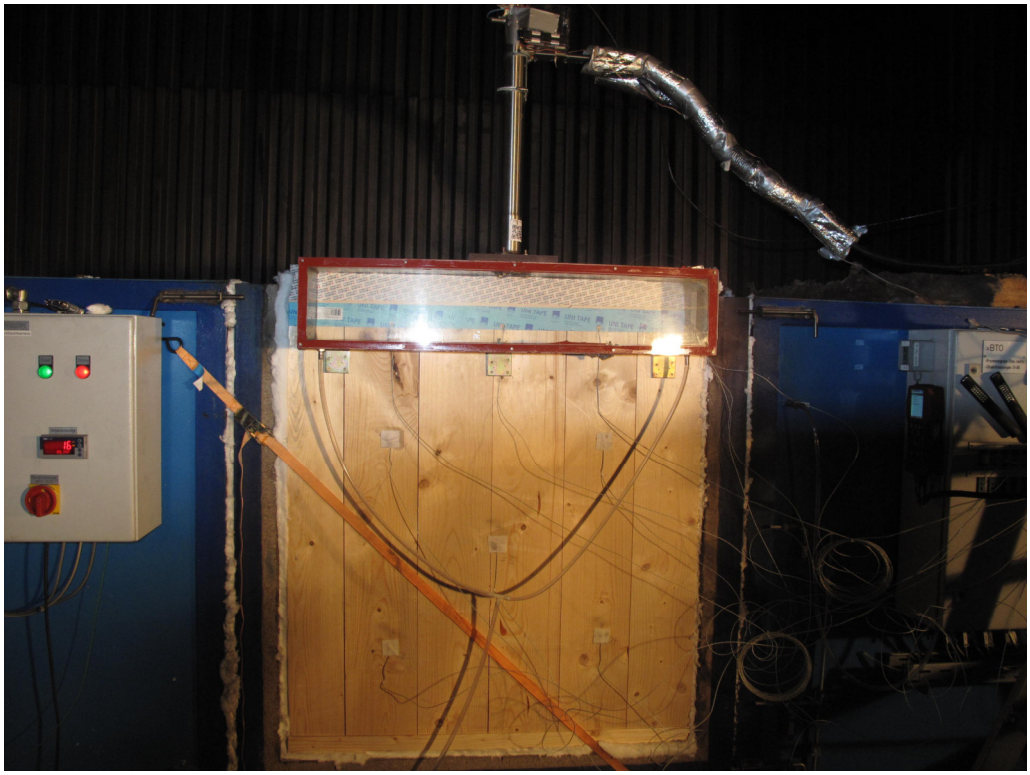


Abbildung 4: Probekörper vor Versuchsbeginn

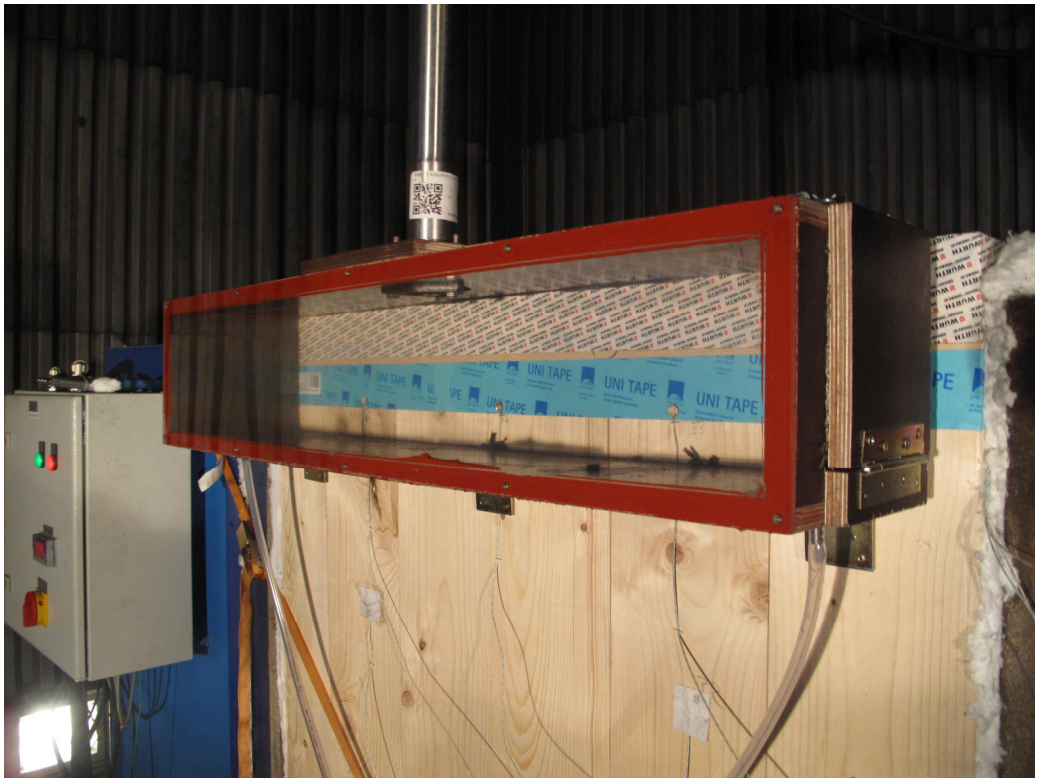


Abbildung 5: Wand, brandabgewandte Seite, Montage des RAK

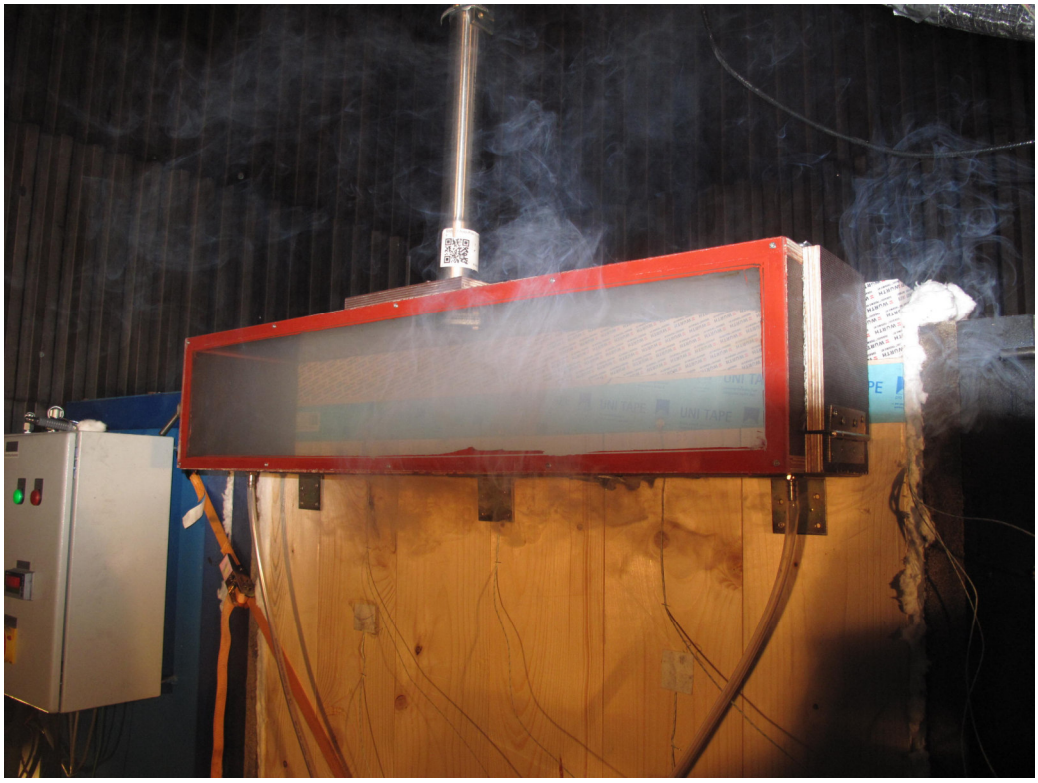


Abbildung 6: Wand, brandabgewandte Seite Rauchdurchtritt Wand (2. Versuchsminute)



Abbildung 7: Rauchdurchtritt Wand (2. Versuchsminute)



Abbildung 8: Rauchdurchtritt Wand (10. Versuchsminute)



Abbildung 9: Rauchdurchtritt Wand (20. Versuchsminute)



Abbildung 10: Wattebauschtest Wand (29. Versuchsminute)



Abbildung 11: Ergebnis Wattebauschtest Wand (29. Versuchsminute) negativ

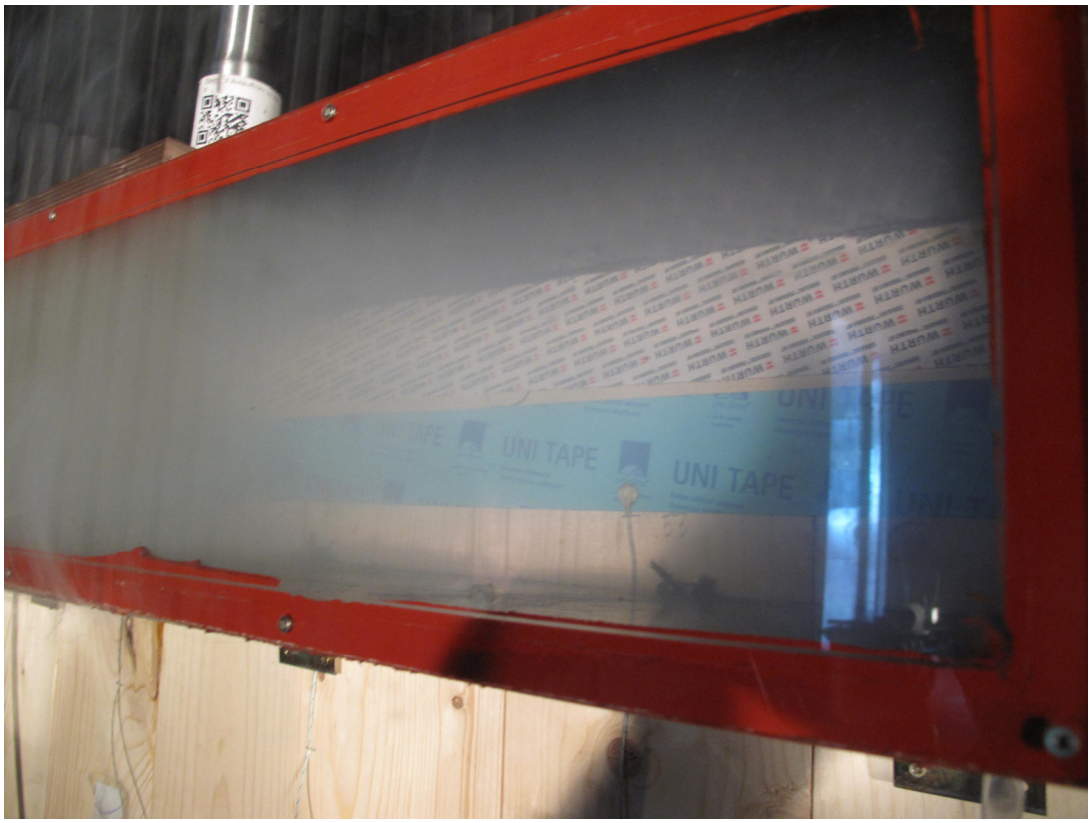


Abbildung 12: Abnehmende Rauchentwicklung, Klebeband intakt (36. Brandminute)



Abbildung 13: Abnahme RAK, Rauchdurchtritt zwischen TE 51 und 52, Klebeband intakt

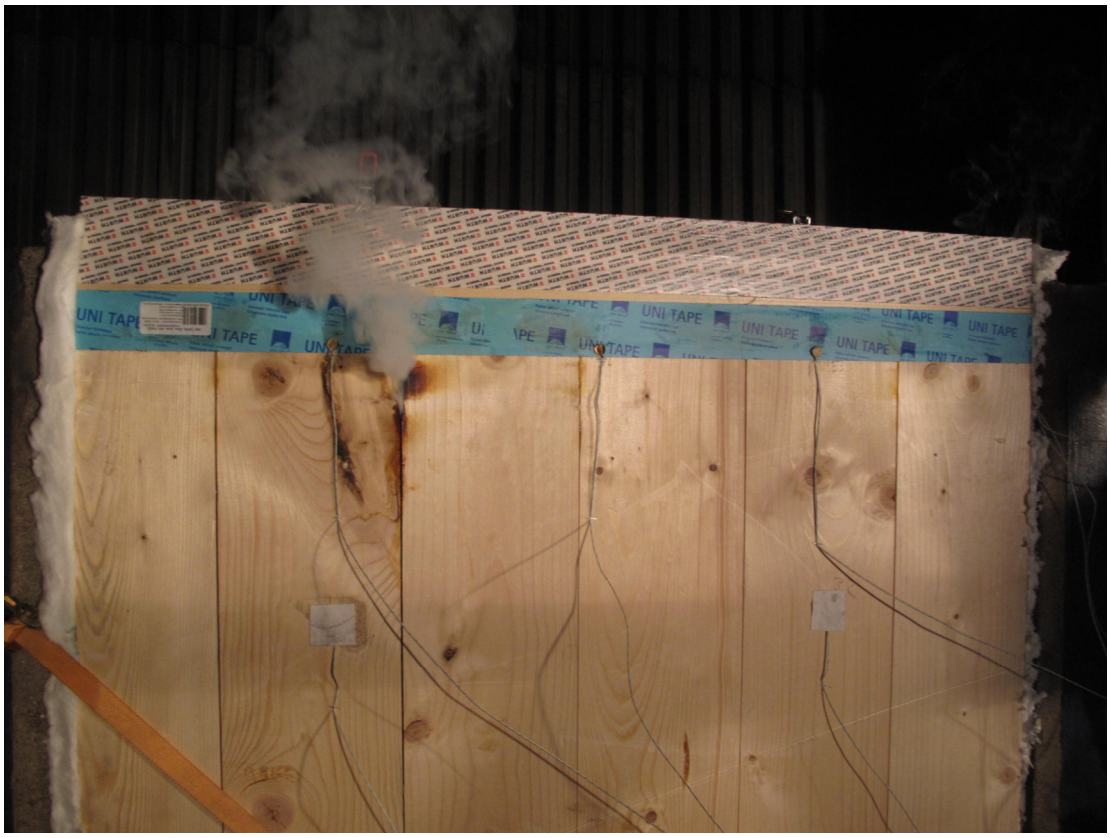


Abbildung 14: Wand brandabgewandte Seite (60. Brandminute)



Abbildung 15: Manuelles Entfernen des Klebebandes (60. Brandminute)

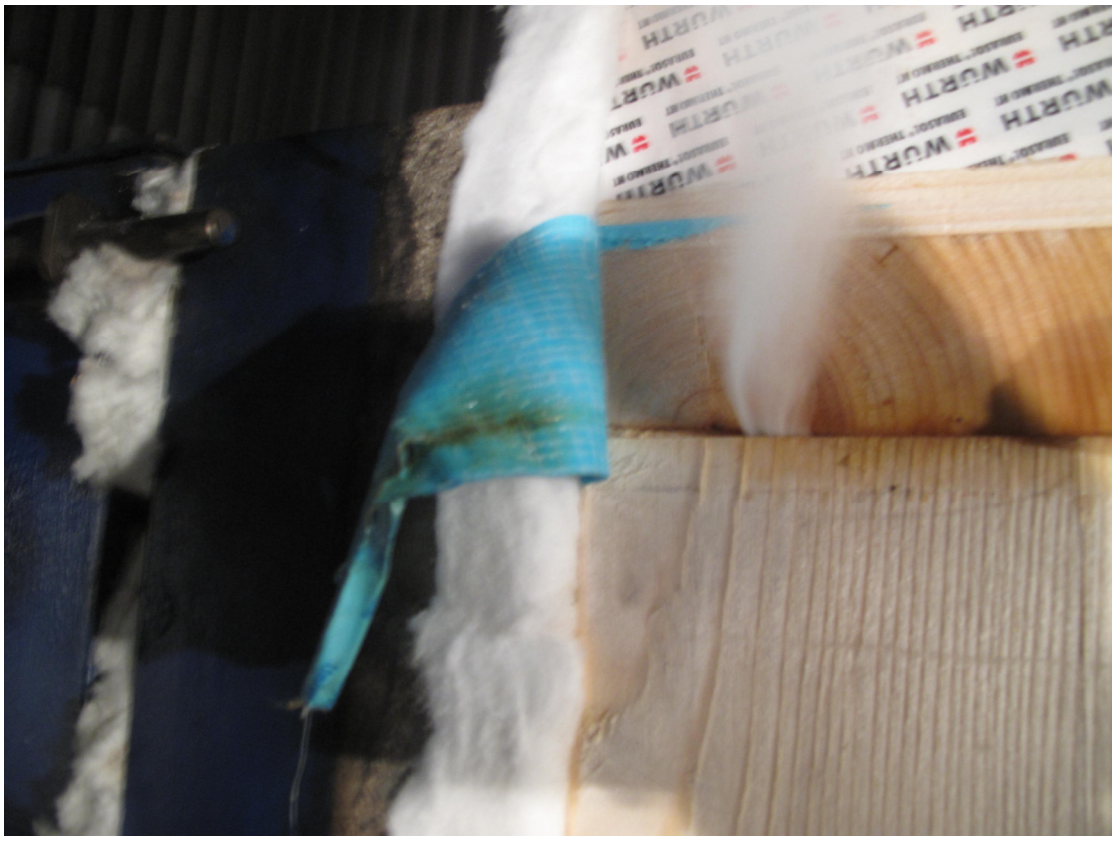


Abbildung 16: Manuelles Entfernen des Klebebandes (60. Brandminute)

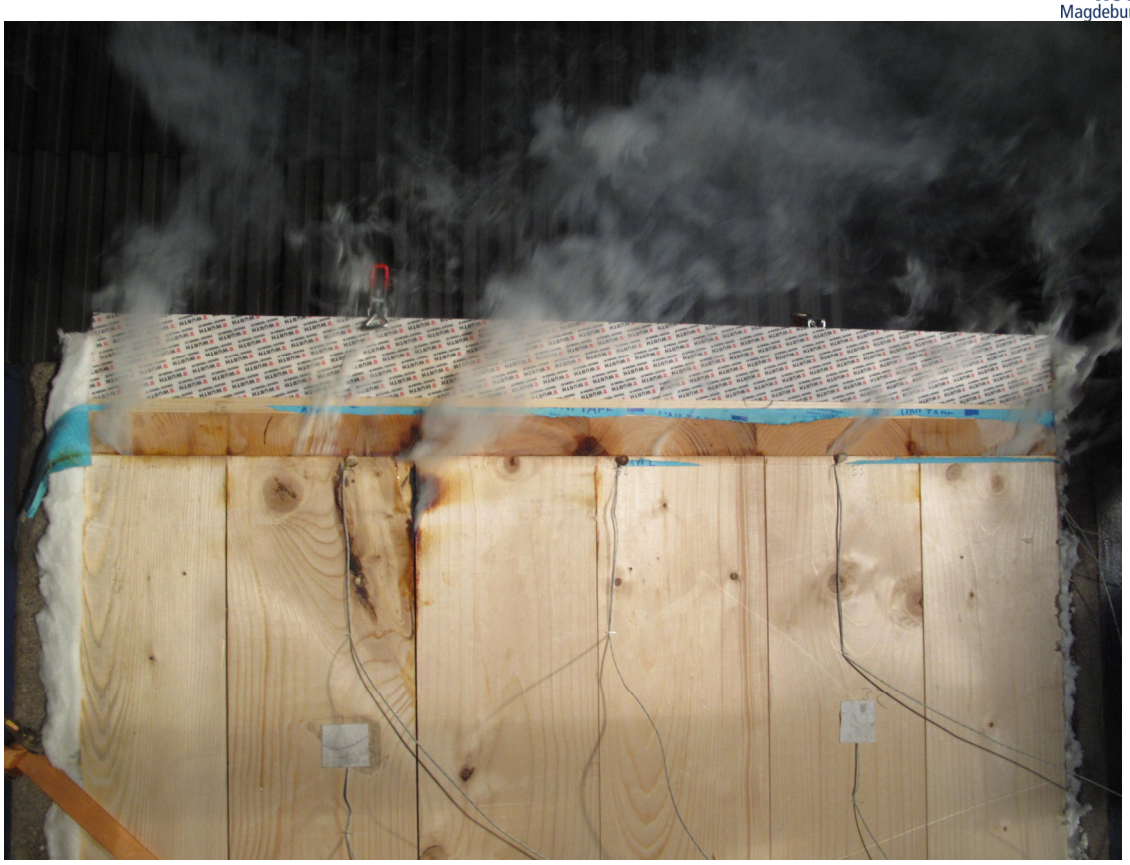


Abbildung 17: Wand brandabgewandte Seite nach Entfernen des Klebebandes

4.1. Darstellung der Restquerschnitte



Abbildung 18: Restquerschnitt Fuge

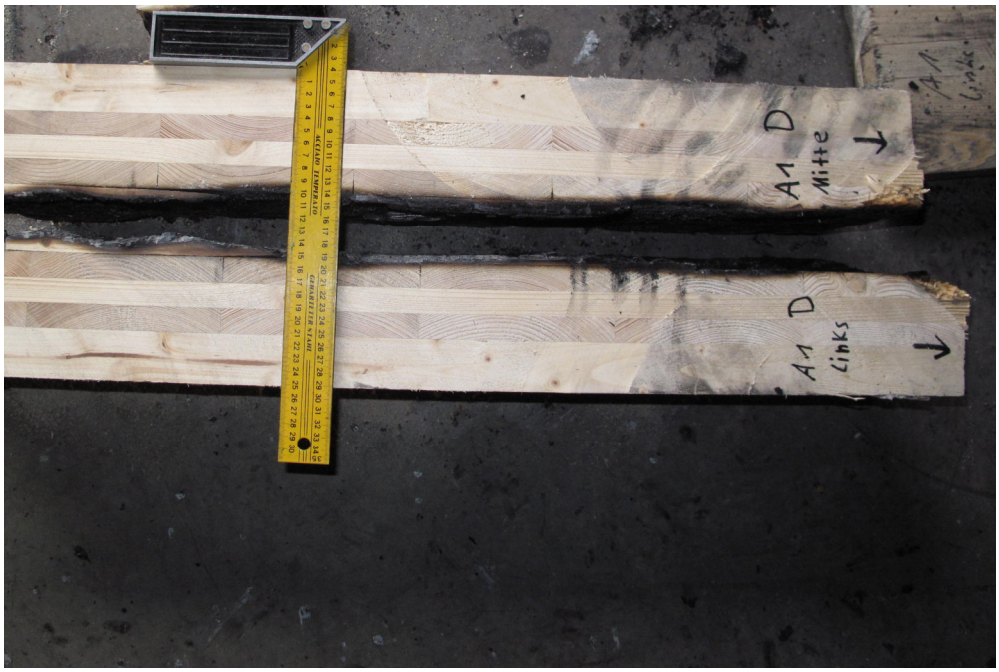


Abbildung 19: Restquerschnitt in Schnittachse Deckenmitte (Pfeilrichtung = Anschlussseite)



Abbildung 20: Restquerschnitt in Schnittachse Wandmitte (Pfeilrichtung = Anschlussseite)

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: A2_HTB-BSP_KB_60

Datum: 27.01.2020

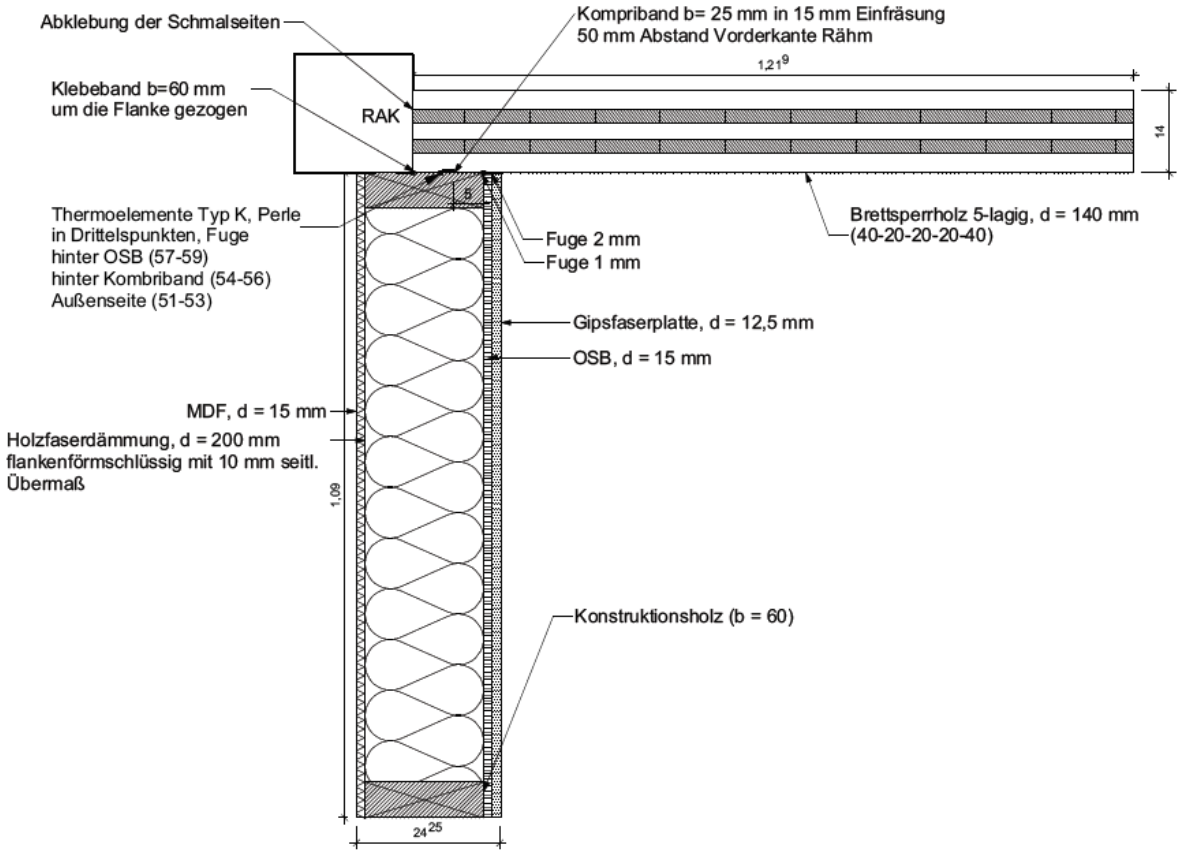
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite, MDF) 4
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, OSB) 4
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, Gipsfaserplatte) 5
Draufsicht (brandabgewandte Seite) 5
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 6
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 6
Weitere verwendete Materialien 6
2.Versuchsparameter 7
2.1 Umgebungsbedingungen 7
2.2 Prüfbedingungen 7
Temperaturzeitkurve 7
Grenzabweichungen 8
Ofenüberdruck 8
3.Auswertung 9
3.1. Temperaturverläufe 9
Temperaturverlauf Bauteilfuge 9
Temperaturverlauf Wand: 10
Temperaturverlauf Decke: 12
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 12
Volumenstrom 12
Massenströme CO, CO_2, O_2 13
Massenströme CxHy, NOx 13
O_2-Konzentration 14
Abgastemperatur 14
Absolute Abgasfeuchte 15
3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 15
4. Anhänge/Fotodokumentation 16
4.1. Darstellung der Restquerschnitte 30

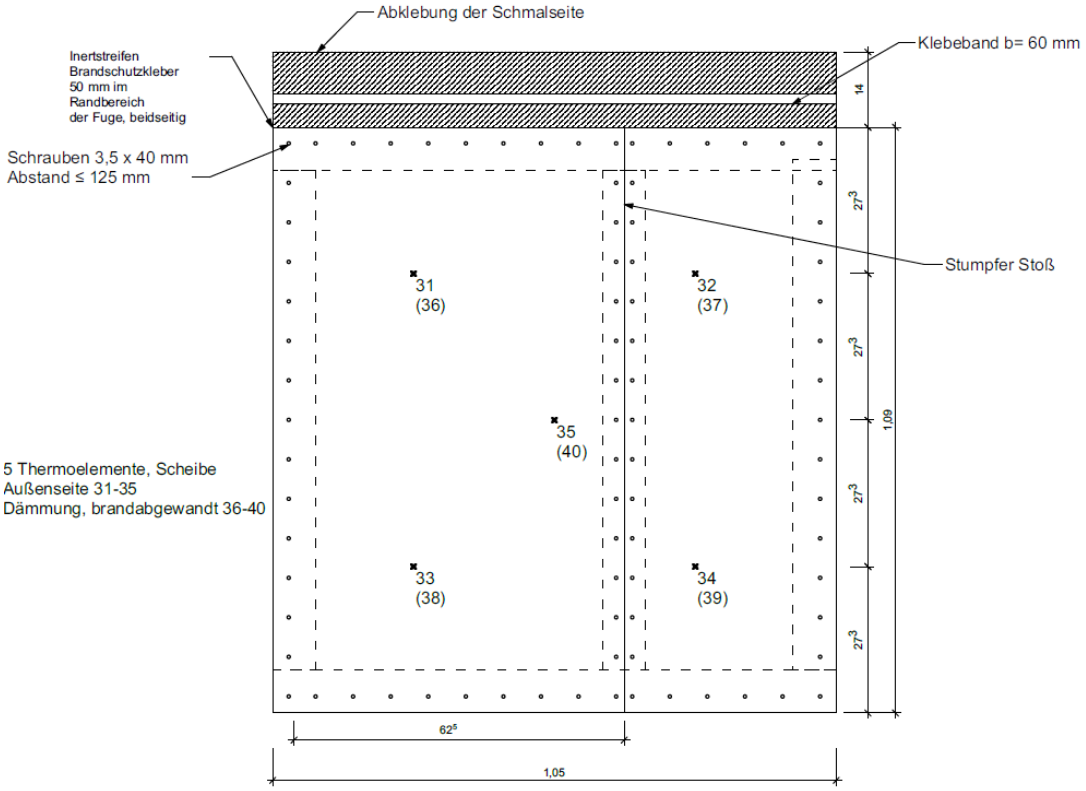
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

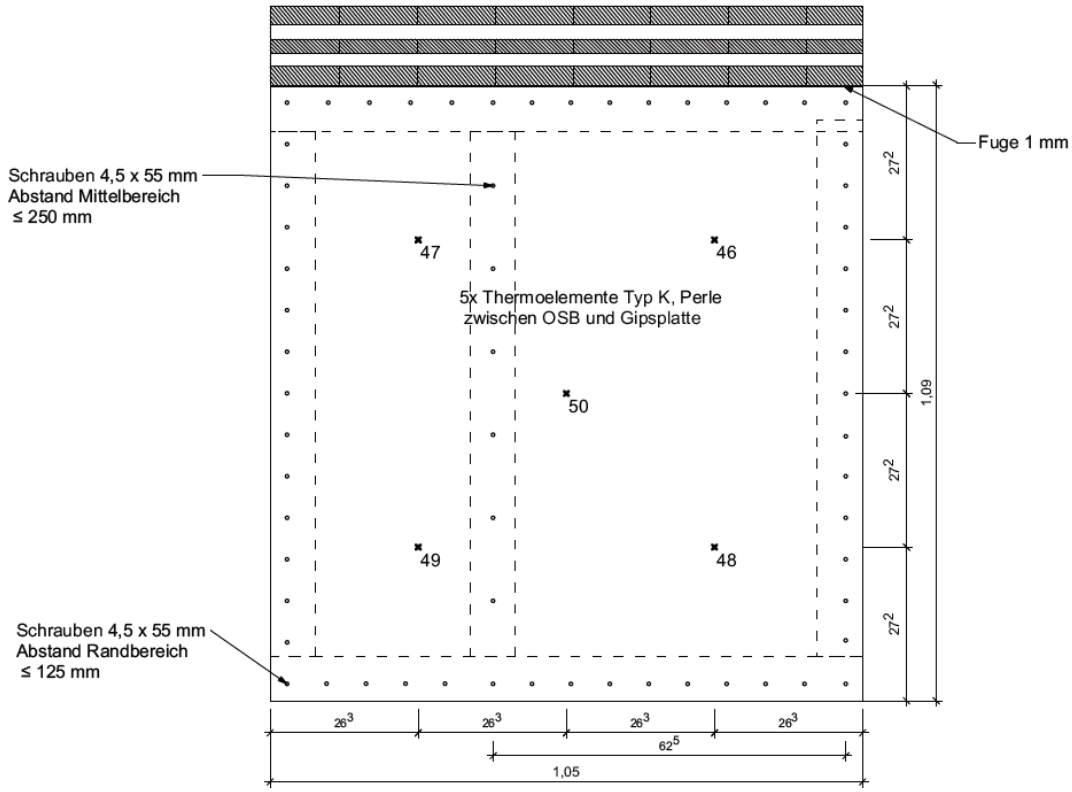
Schnitt



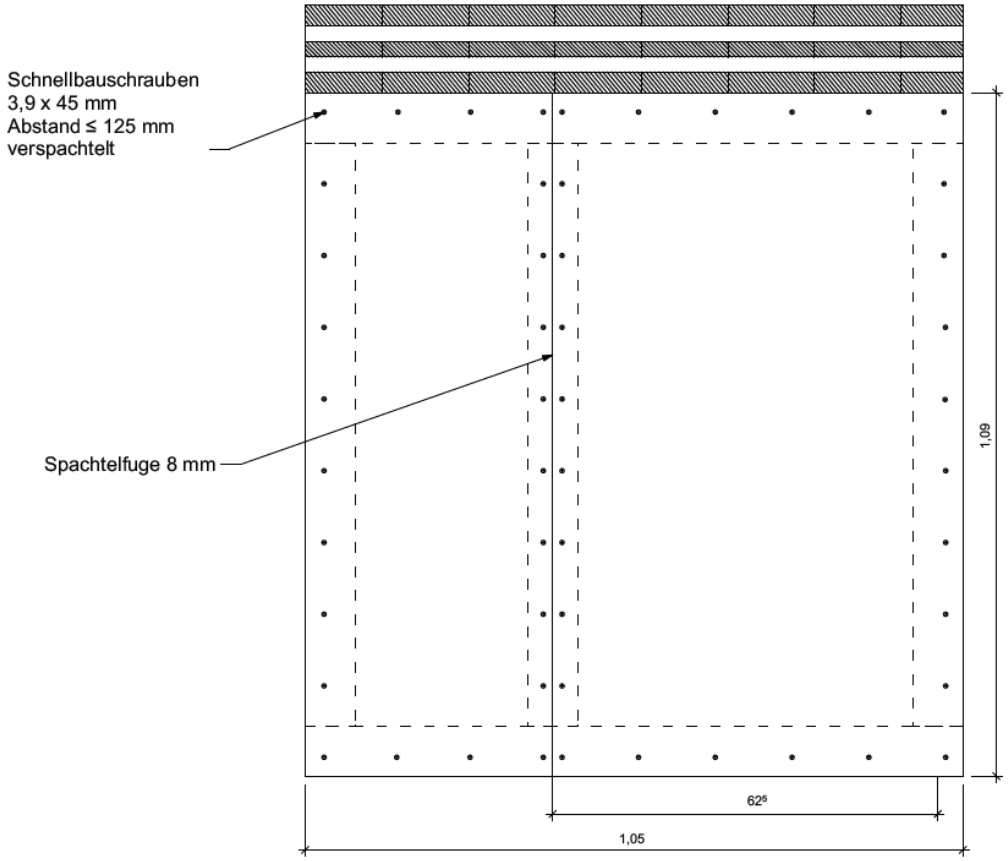
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite, MDF)



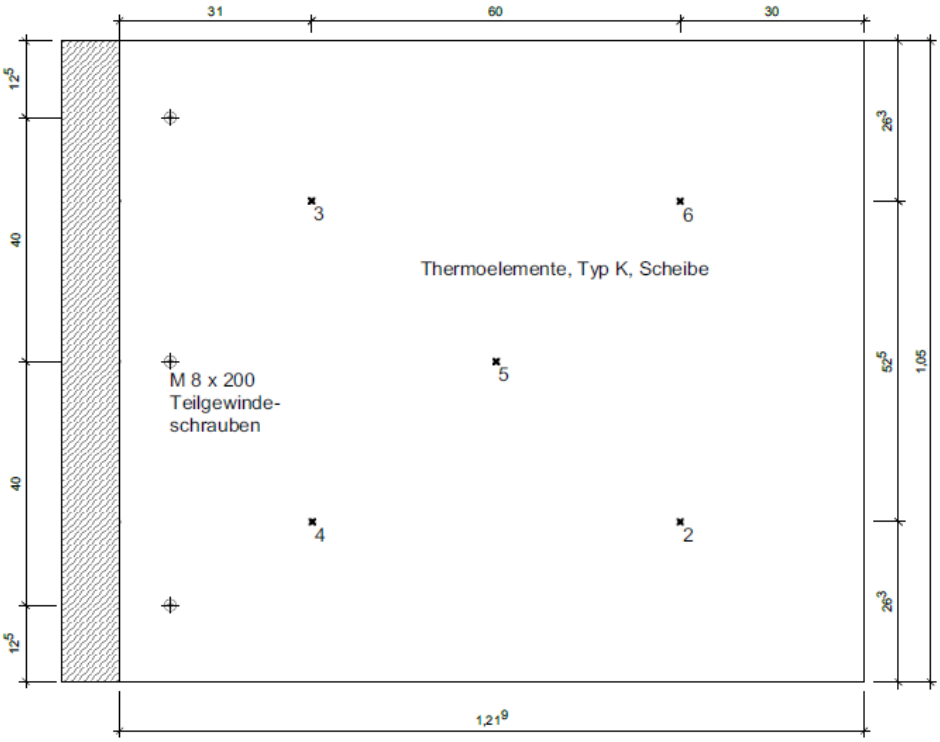
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, OSB)



Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, Gipsfaserplatte)



Draufsicht (brandabgewandte Seite)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W2	15 mm OSB/3 Platte	610	6 %	Egger
W3	200 mm HFD-Matte Thermoflex ®	50	10 %	Gutex
W3	Konstruktionsvollholz Fi/Ta (80x200)	460	10 %	Sporkenbach
W4	15 mm MDF Platte	685	6 %	Egger

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	140 mm Brettsperrholz BBS (40-20-40-20-40), nSi	465	11 %	Binderholz

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben 3,9 x 45 mm	GiX	W1
Universalschrauben 4,5 x 55 mm	Spax	W2
Universalschrauben 3,5 x 40 mm	Spax	W4
Holzbauschrauben 8 x 200 mm	Würth	D1
Fermacell ® Gipsspachtel	JamesHardie	W1
Klebeband Tescon Vana ®	ProClima	Fügung, brandabgewandte Seite
Kompriband 25/10	Würth	D1, Fügung
Klebeband Eurasol HT ®	Würth	Schmalseite
Isifest Brandschutzkleber	HTB	Randbereich Fuge

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	27.01.2020, 11:53:10 Uhr
Versuchsende:	27.01.2020, 12:53:19 Uhr
Versuchsdauer in min:	60

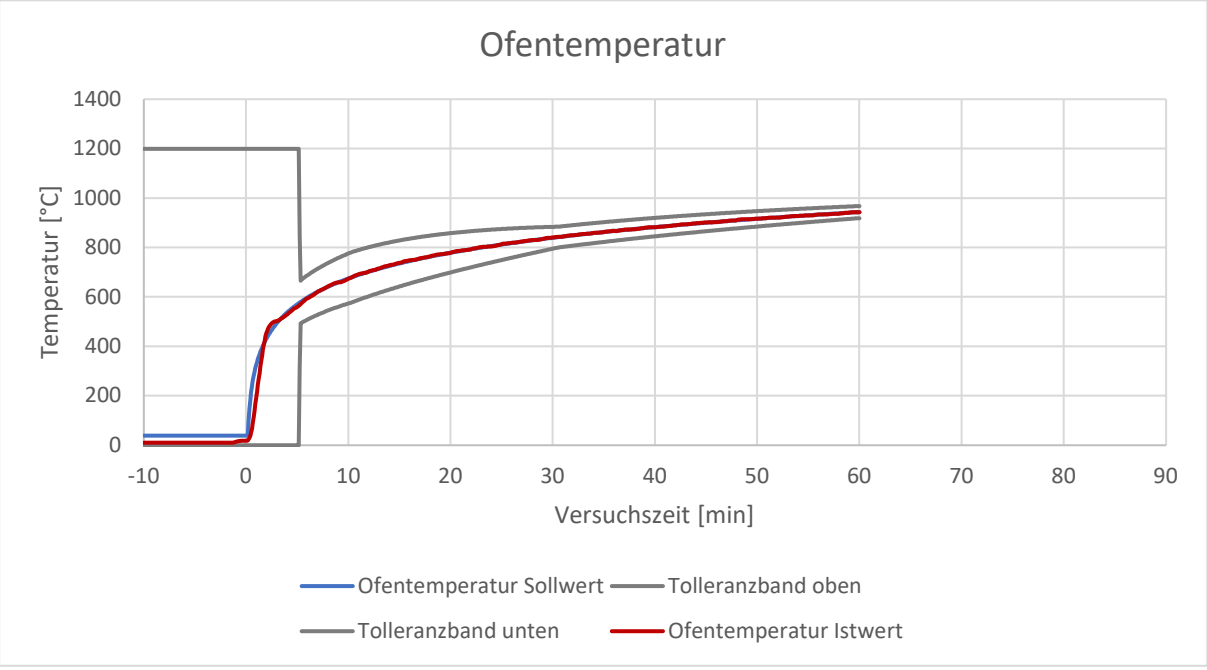
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

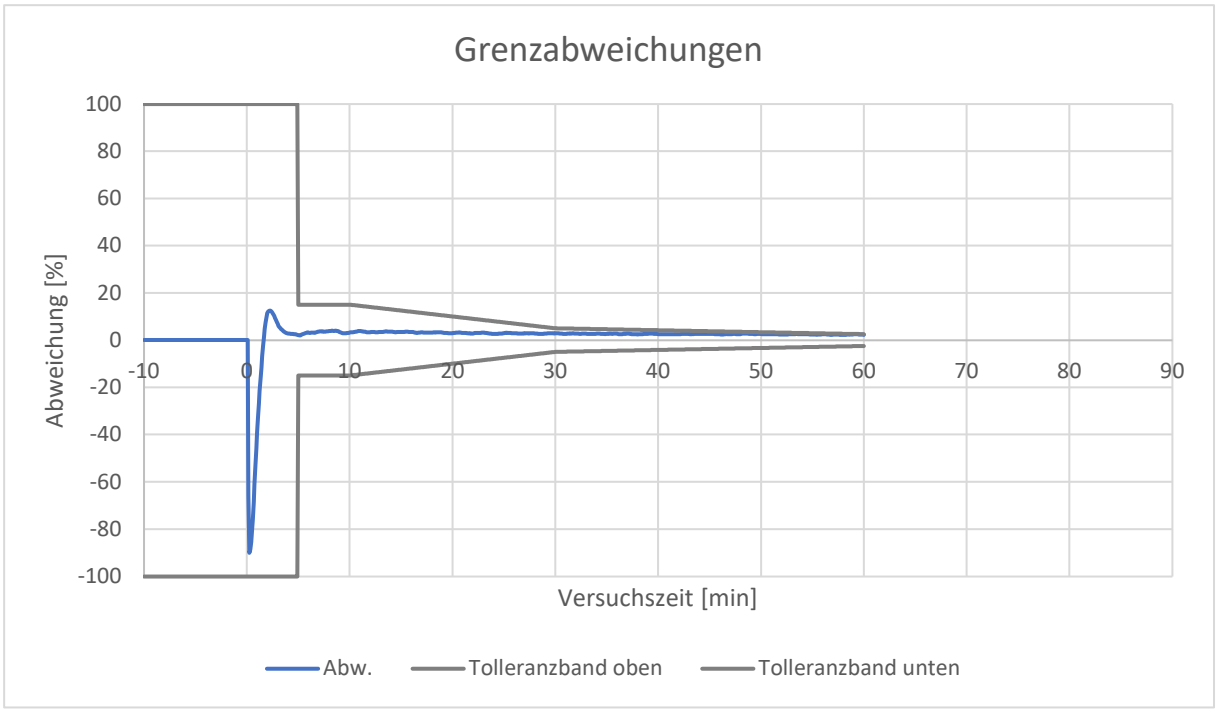
Umgebungsdruck:	1003 mbar
Umgebungstemperatur:	7,6 °C
Luftfeuchte in %:	80 % rh

2.2 Prüfbedingungen

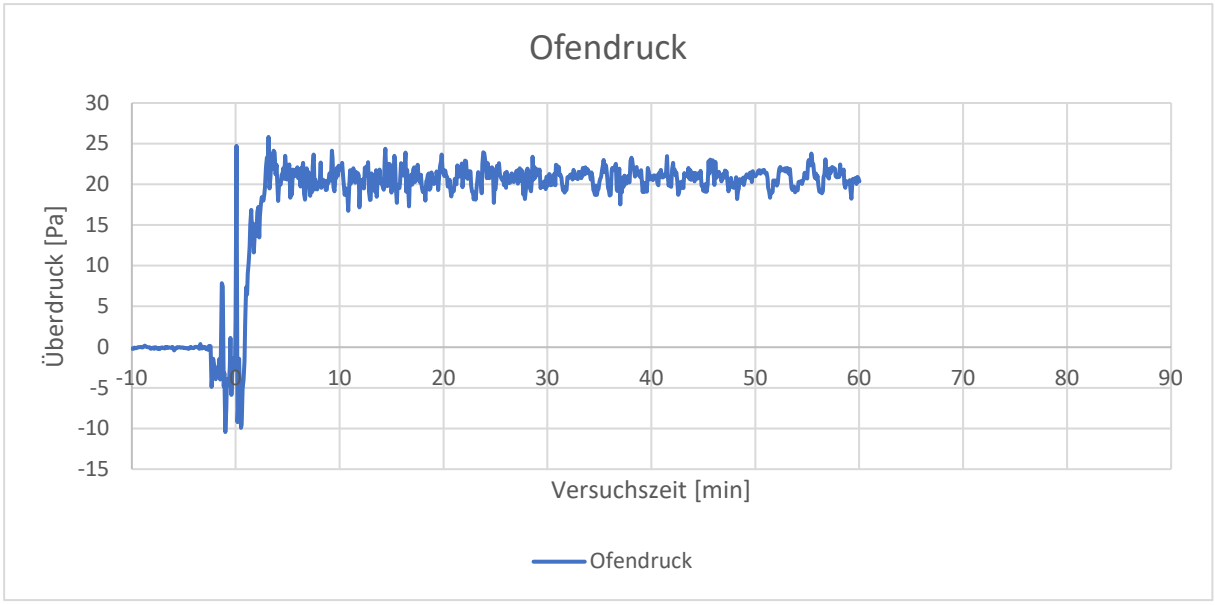
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



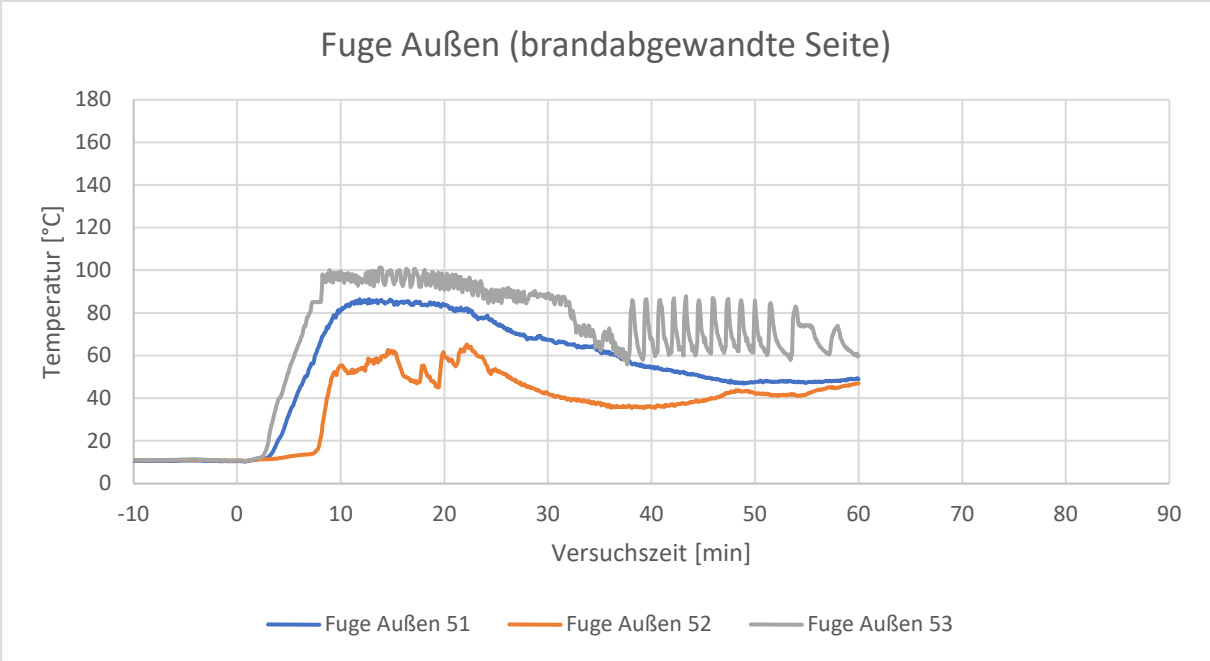
Ofenüberdruck

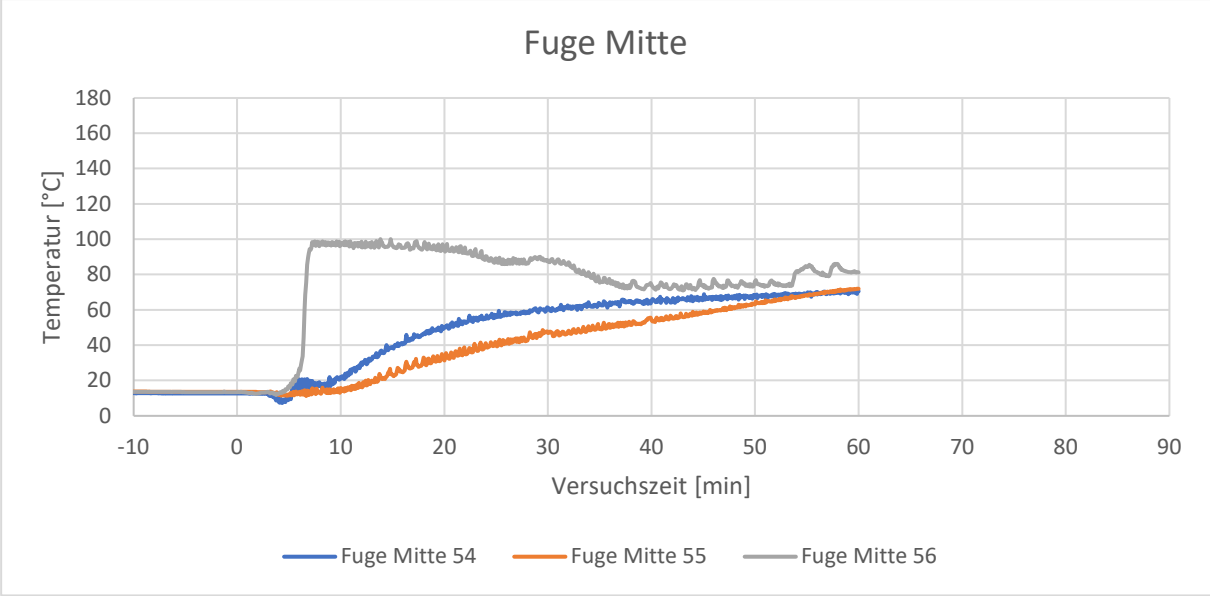


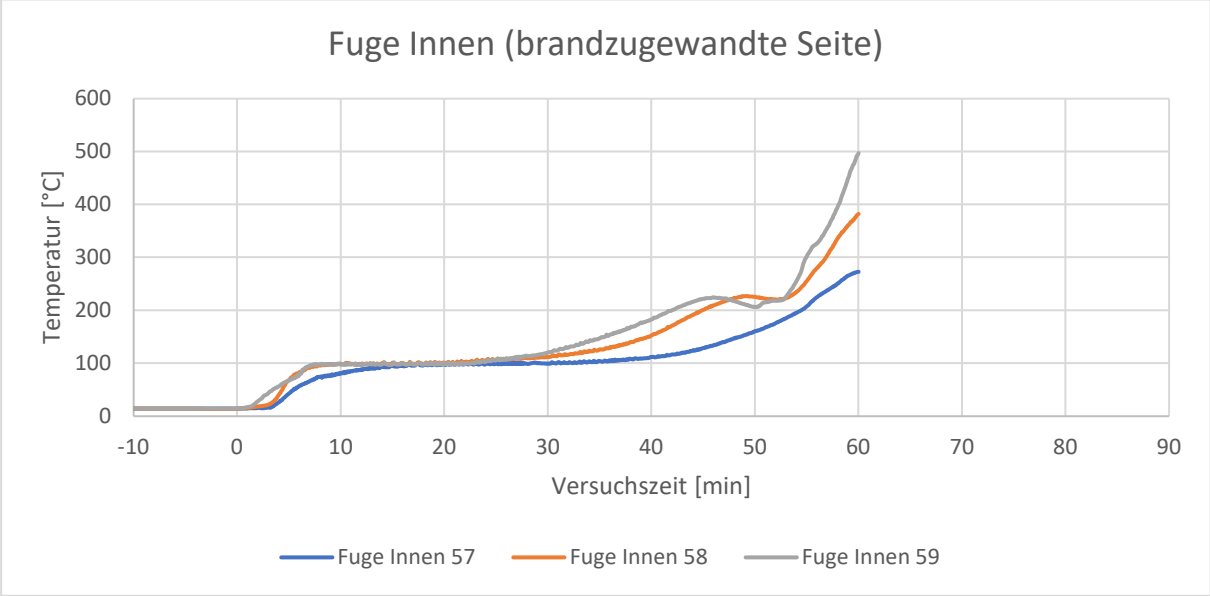
3.Auswertung

3.1. Temperaturverläufe

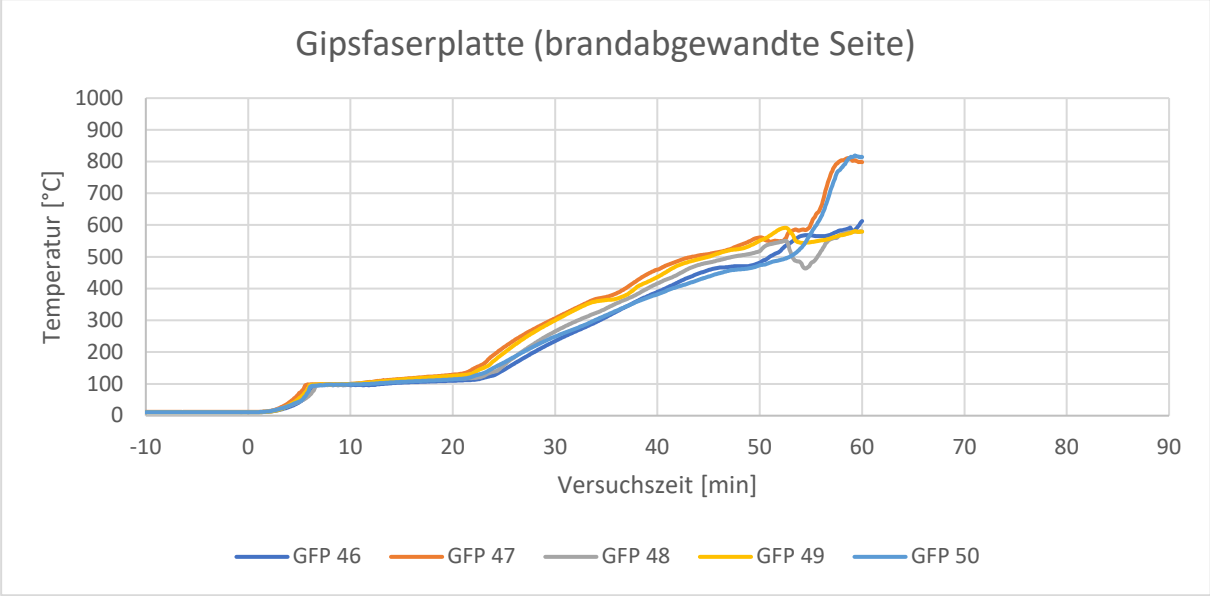
Temperaturverlauf Bauteilfuge

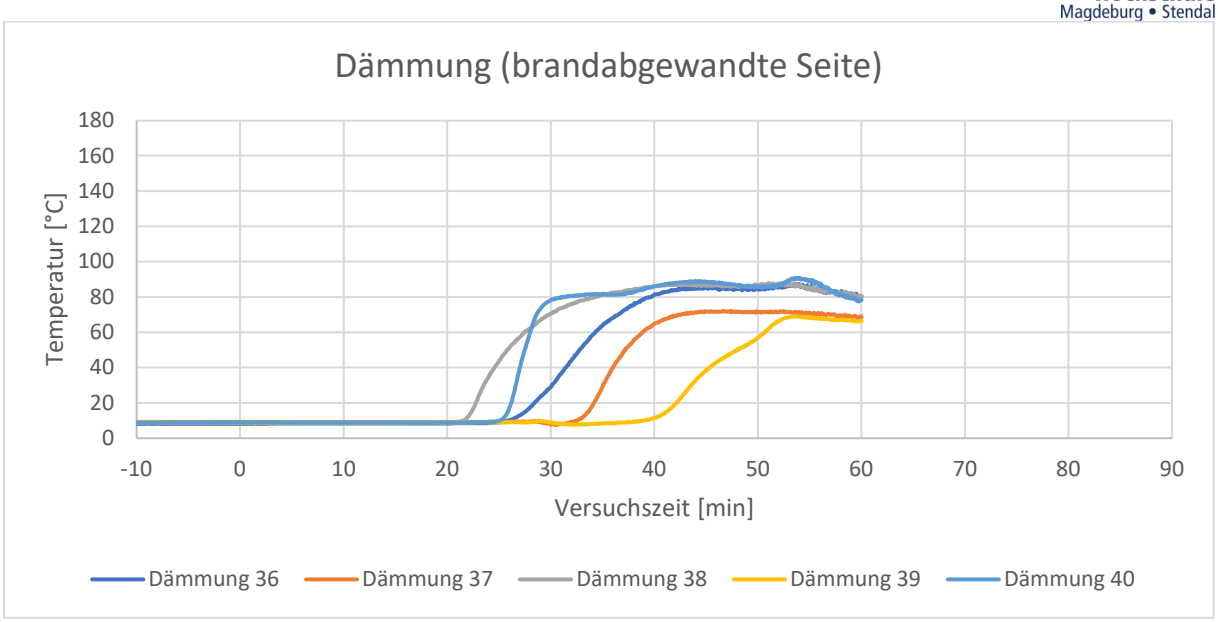


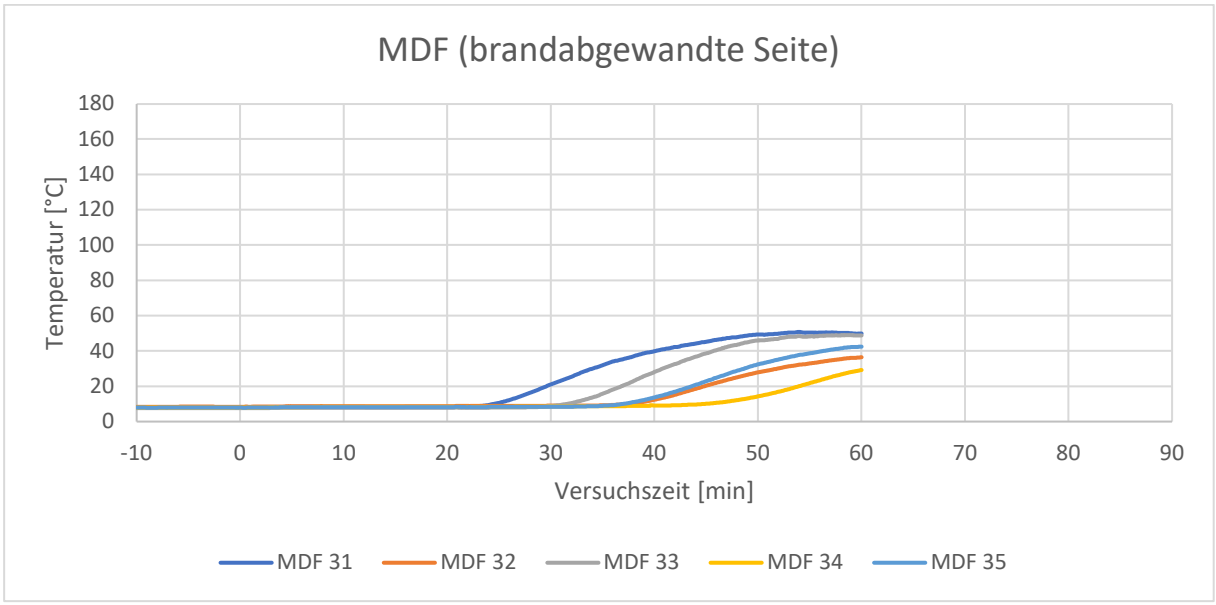




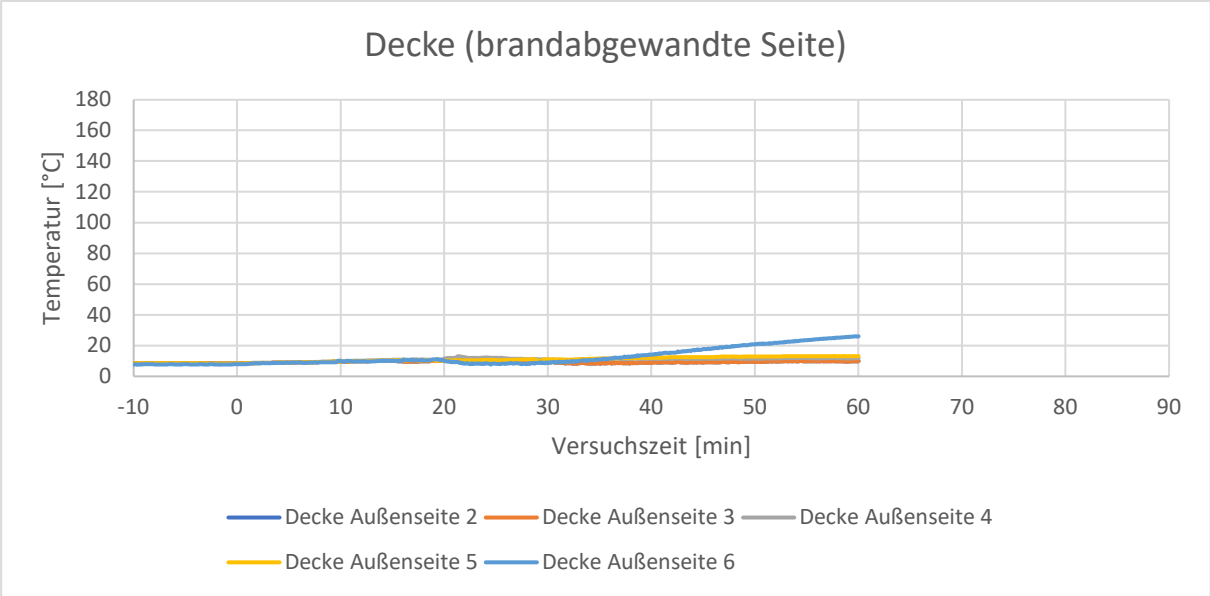
Temperaturverlauf Wand:




Dämmung (brandabgewandte Seite)
Temperatur [°C]
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
Dämmung 36
Dämmung 37
Dämmung 38
Dämmung 39
Dämmung 40

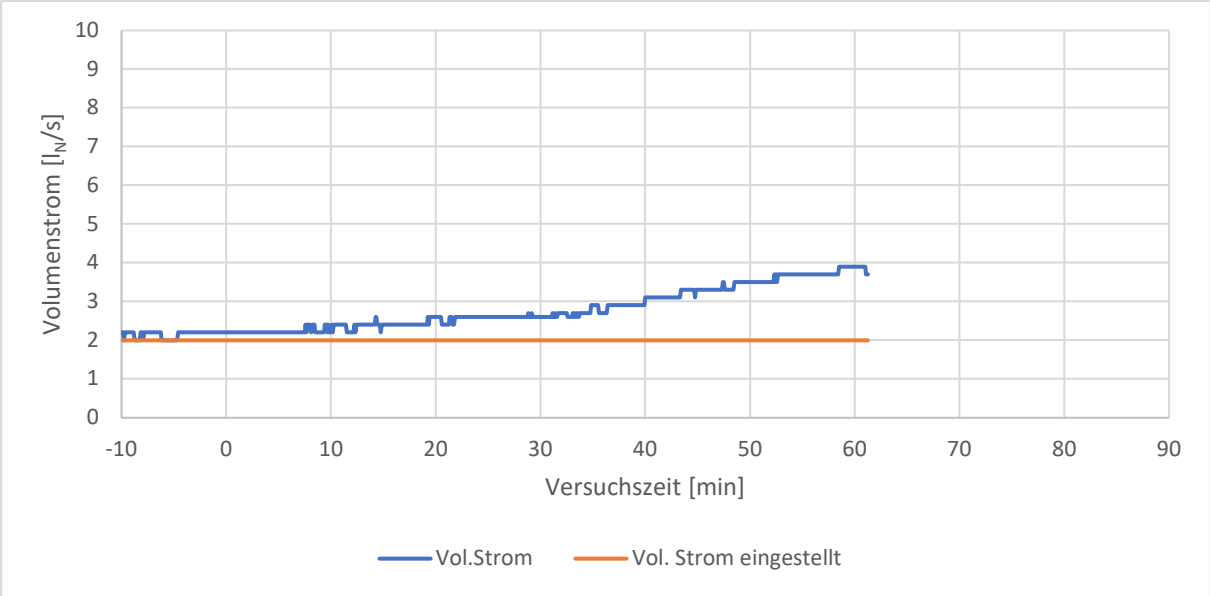

MDF (brandabgewandte Seite)
Temperatur [°C]
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
MDF 31
MDF 32
MDF 33
MDF 34
MDF 35

Temperaturverlauf Decke:

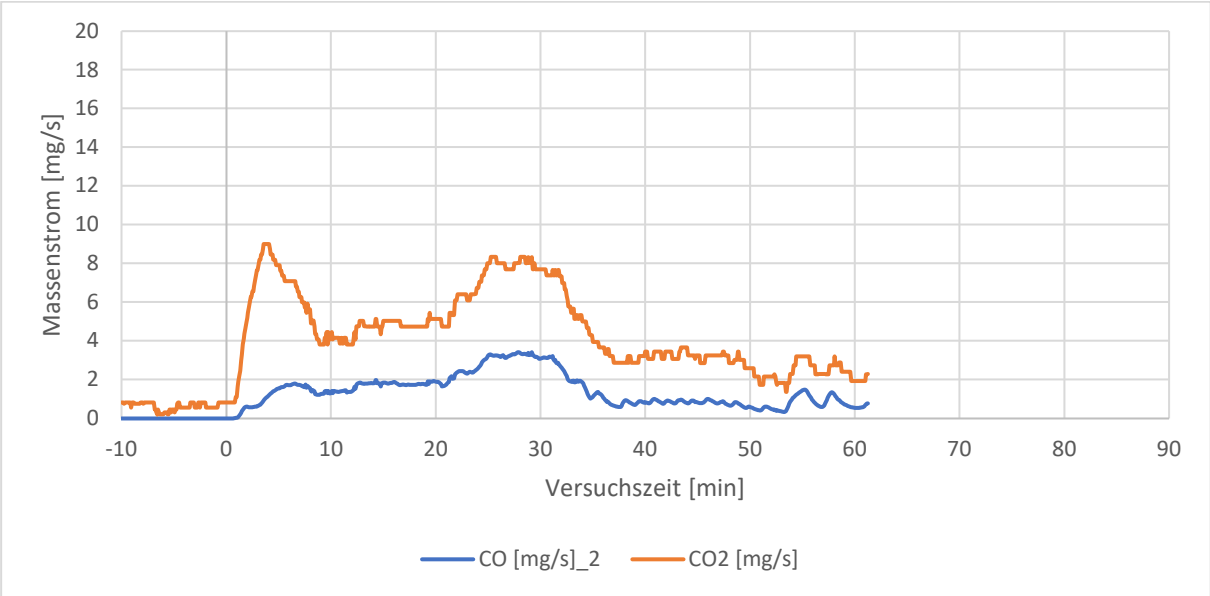


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

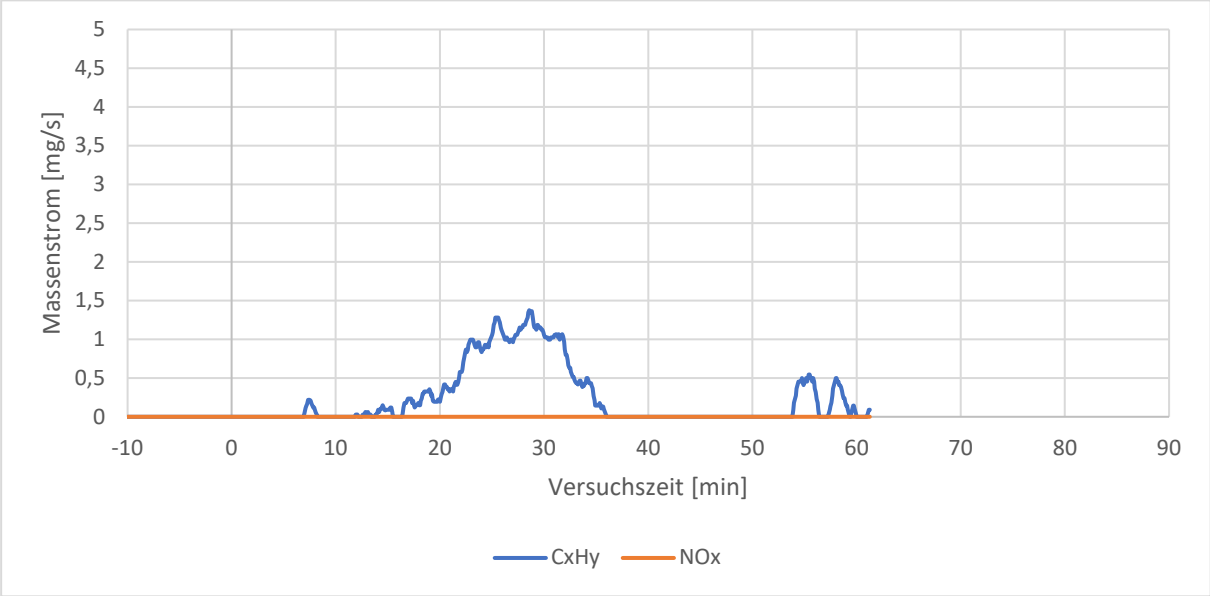
Volumenstrom



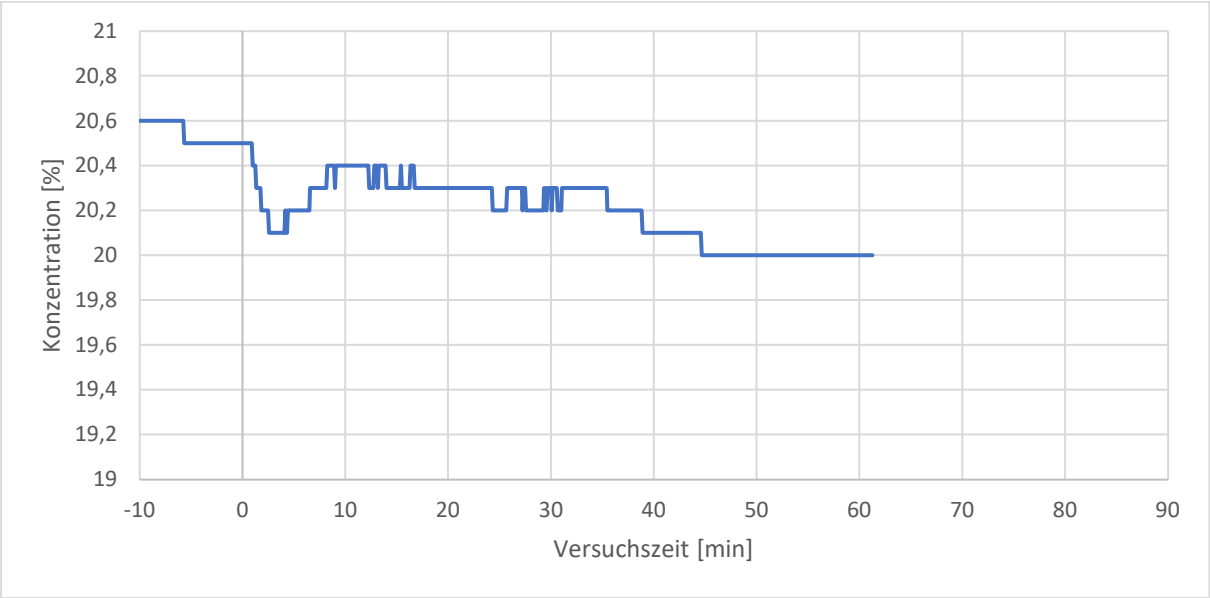
Massenströme CO, CO_2, O_2



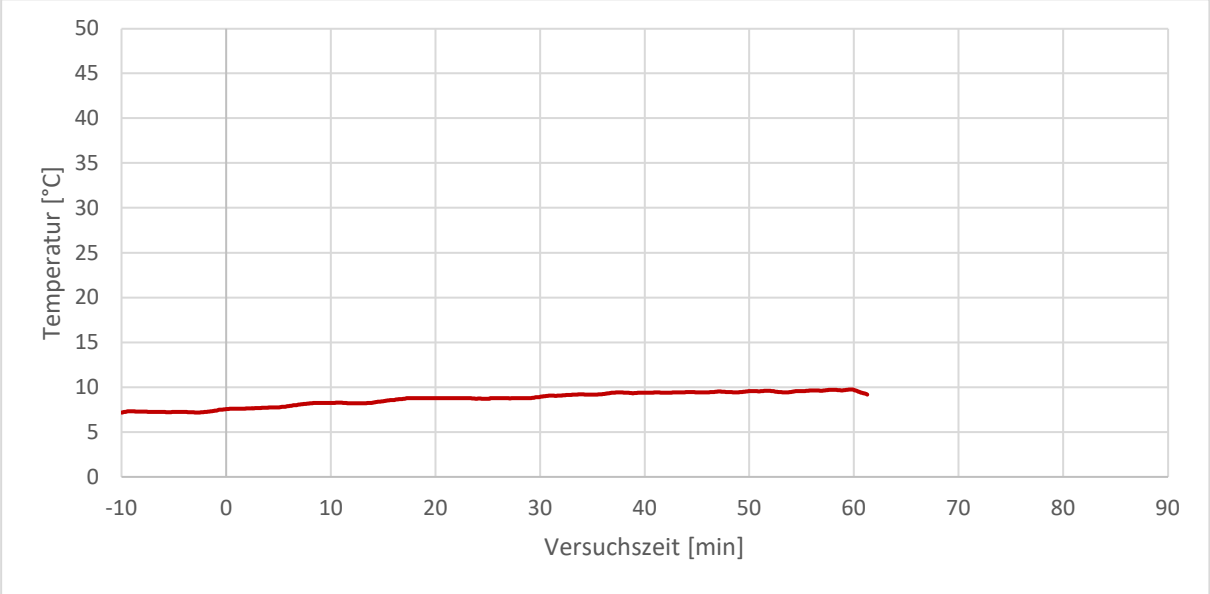
Massenströme CxHy, NOx



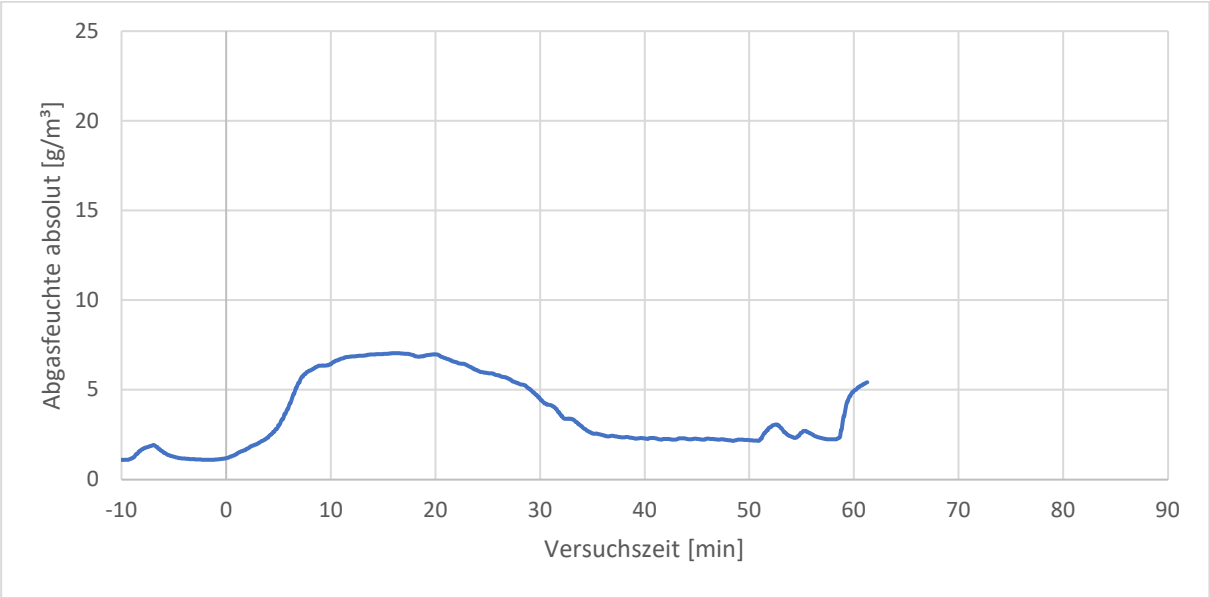
O_2-Konzentration



Abgastemperatur



Absolute Abgasfeuchte



3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
	Die Brandraumtemperatur wurde ohne Kontroll-Thermoelement überwacht	
2.	Rauchdurchtritt in Höhe TE 53	x
8.	Schneller Temperaturanstieg TE 56	
10.	Zunehmender Rauchdurchtritt im rechten Bereich des RAK	x
34.	Nachdichten TE Durchführungen Wandseite rechts	
37.	Abnahme der Rauchdichte im Kasten sichtbar	x
42.	Rauchentwicklung im RAK verringert sich weiter	x
50.	Zunahme der Rauchentwicklung im RAK	x
60.	Gas abgeschaltet, Versuchsende	

4. Anhänge/Fotodokumentation



Abbildung 1: Kompriband in Einfräsung



Abbildung 2: Durchgehende Lamellenfuge



Abbildung 3: Bauteilfuge, brandzugewandte Seite



Abbildung 4: Bauteilfuge, brandabgewandte Seite

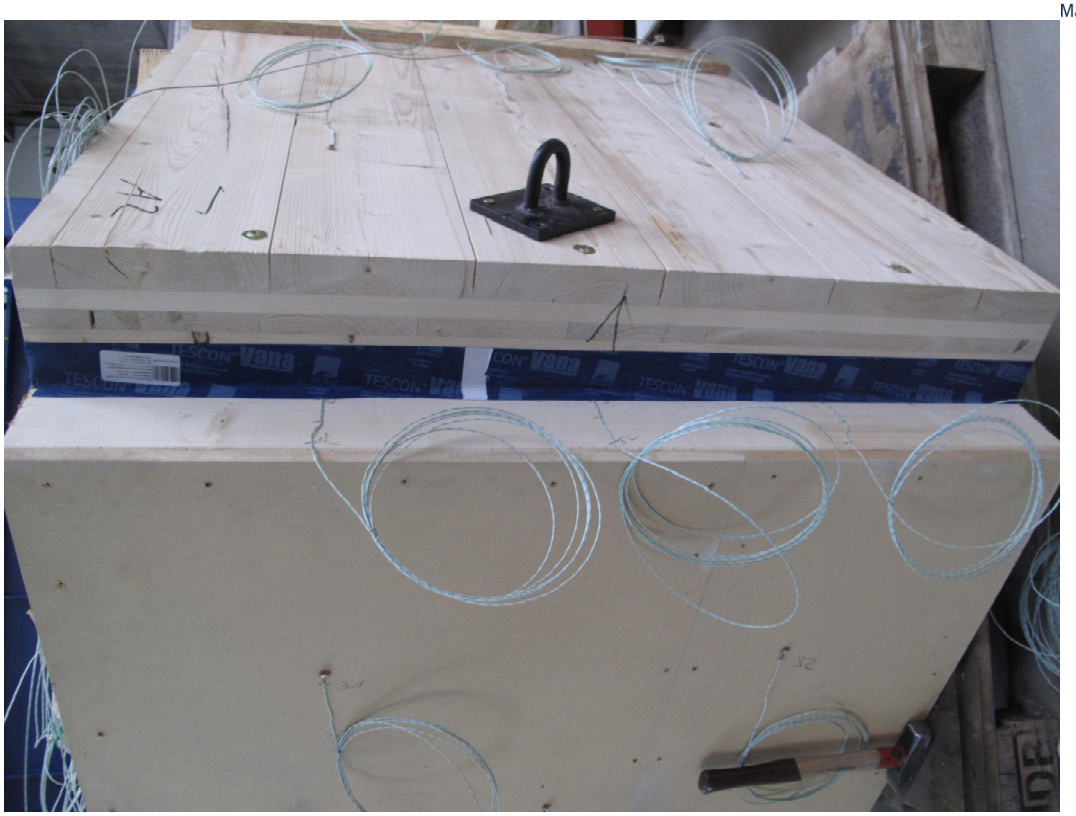


Abbildung 5: Anbringung des Klebebandes



Abbildung 6: Installation des RAK

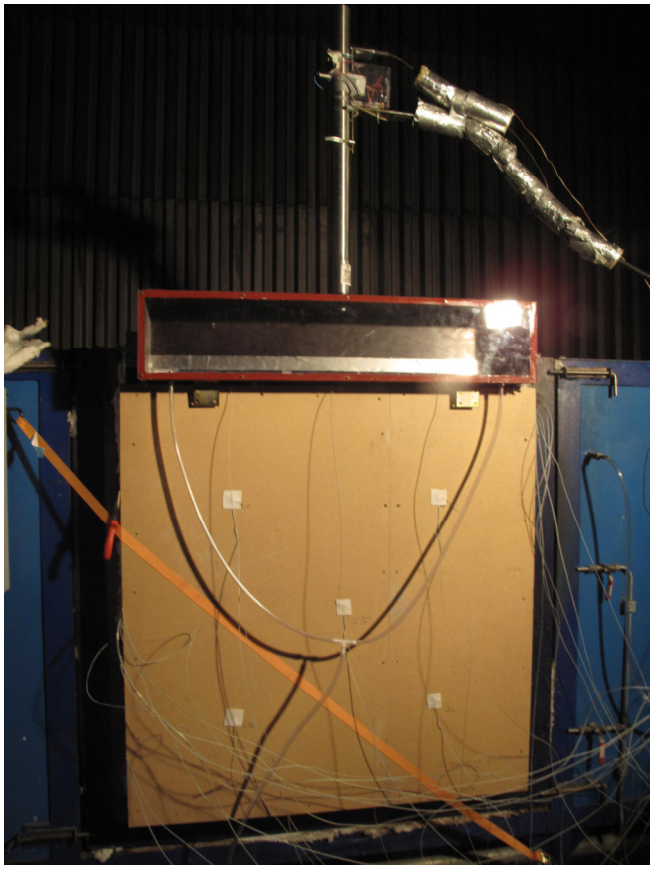


Abbildung 7: Probekörper (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 8: Rauchdurchtritt im Randbereich der Fügung (6. Versuchsminute)

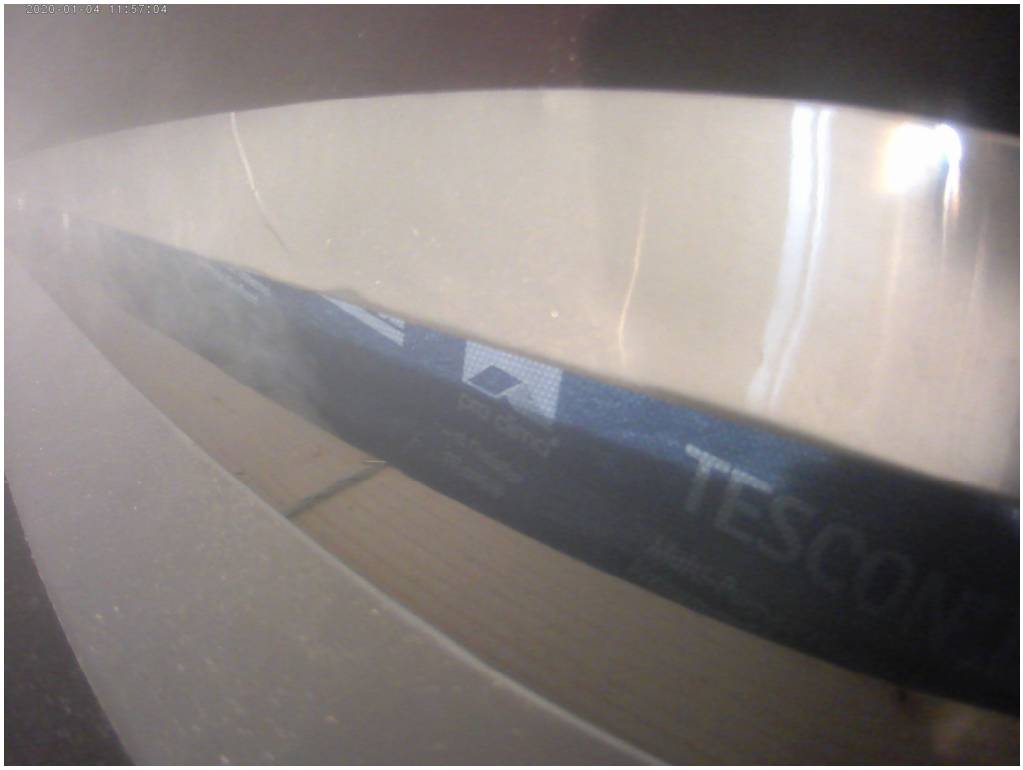


Abbildung 9: Rauchentwicklung im RAK (4. Versuchsminute)



Abbildung 10: Zunehmende Rauchentwicklung im RAK (15. Versuchsminute)

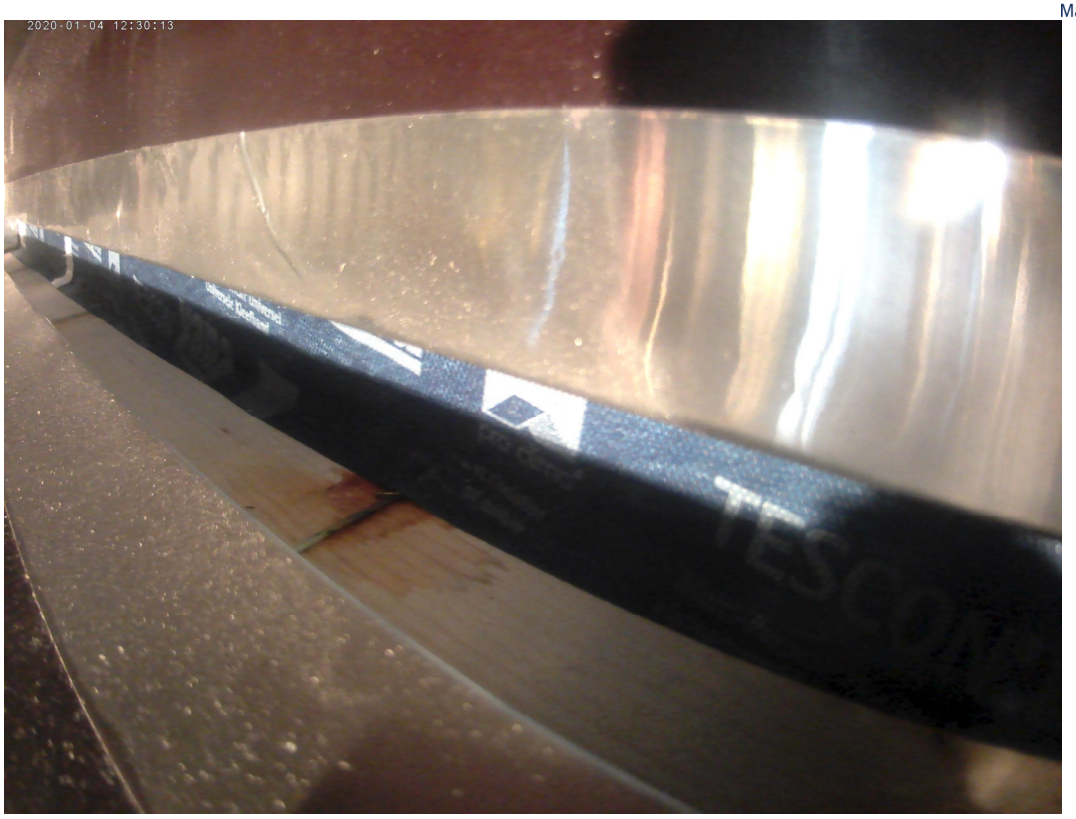


Abbildung 11: Abnahme der Rauchentwicklung (37. Versuchsminute)

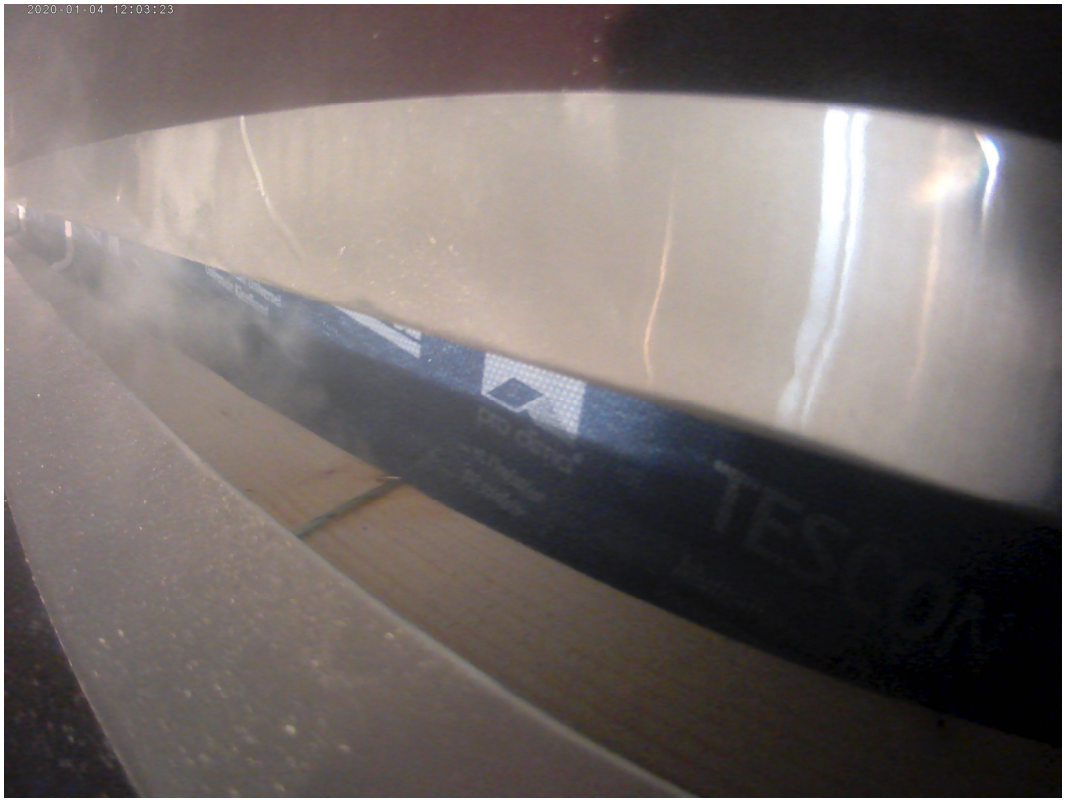


Abbildung 12: Verstärkte Rauchentwicklung (50. Brandminute)

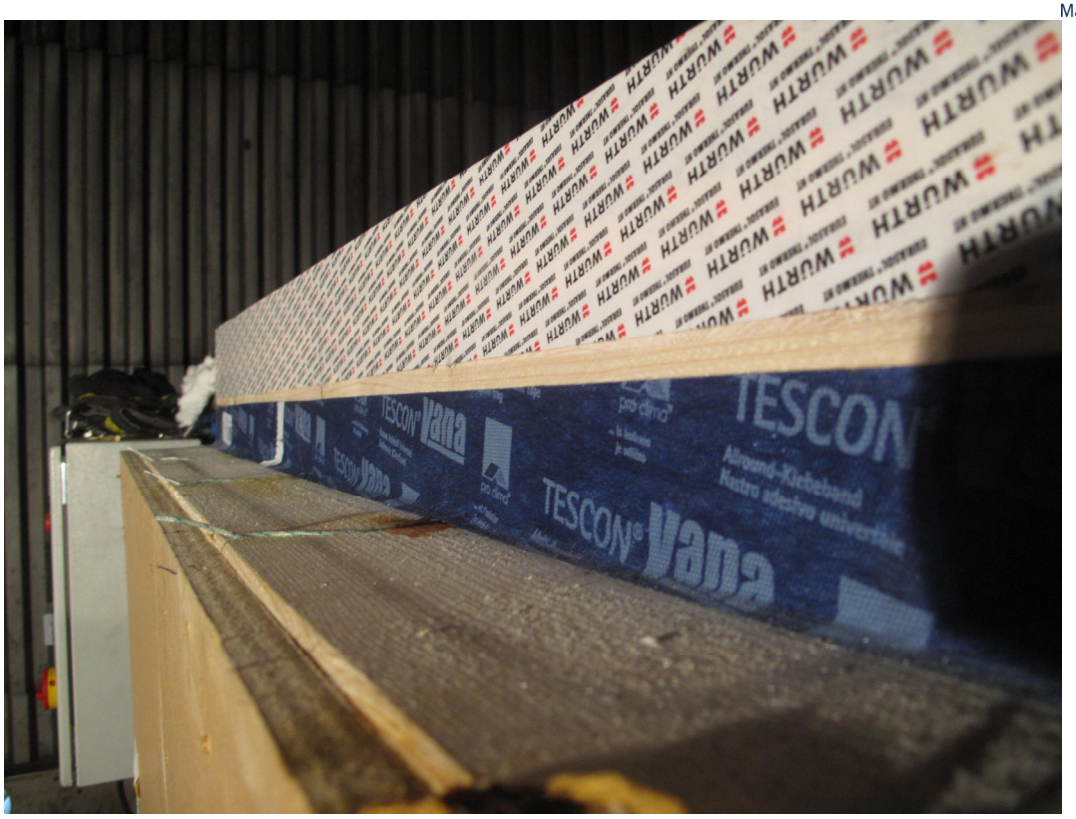


Abbildung 13: Blick auf die Bauteilfügung von rechts (60. Versuchsminute)

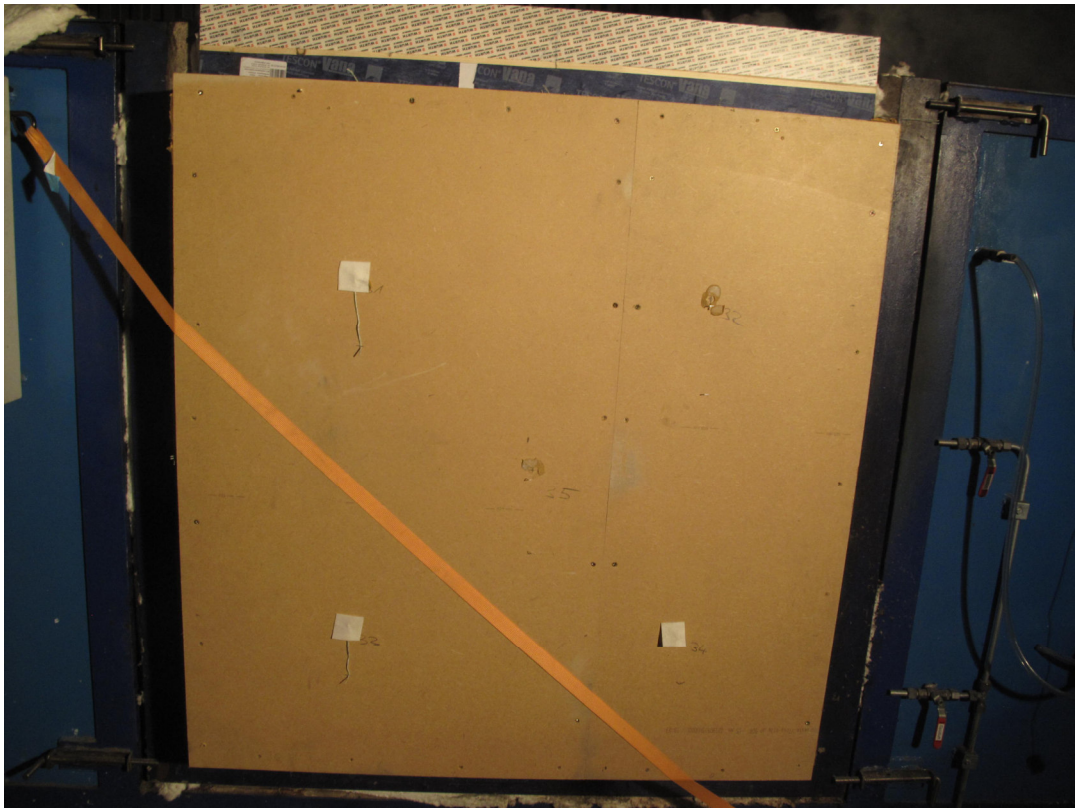


Abbildung 14: Wand, brandabgewandte Seite (60. Versuchsminute)



Abbildung 15: Blick auf die Bauteilfügung von rechts (60. Versuchsminute)

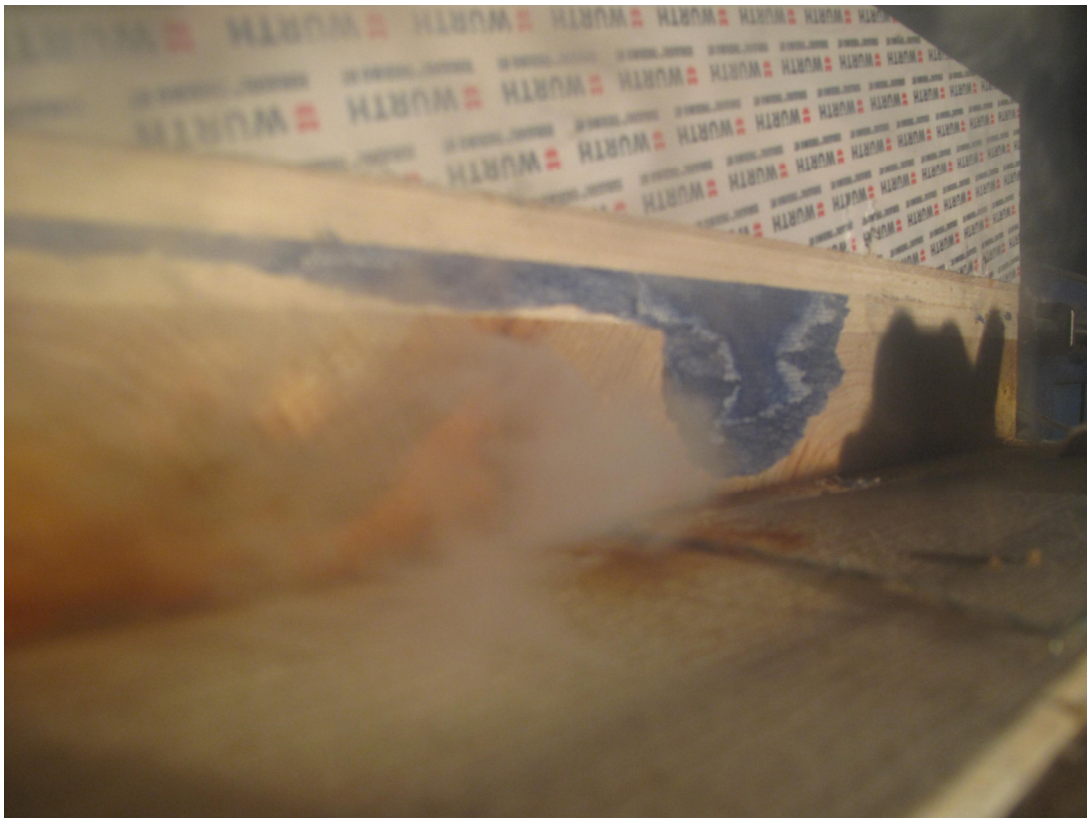


Abbildung 16: Rauchdurchtritt an Pos. TE 53 nach Entfernen des Klebebandes (60. Versuchsminute)



Abbildung 17: Rauchdurchtritt durch Fuge nach Entfernen des Klebebandes (60. Versuchsminute)

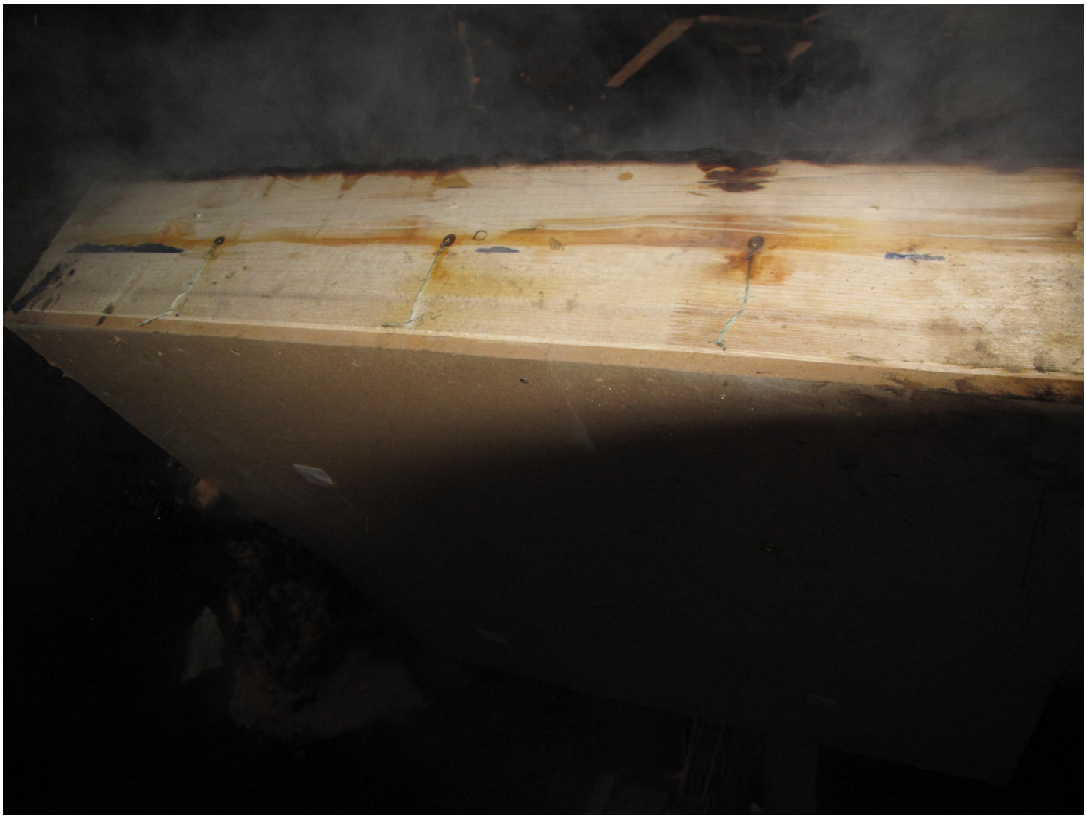


Abbildung 18: Blick auf das Rähm, brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 19: Kompriband in Decke (nach Versuchsende)



Abbildung 20: Kompriband in Decke (nach Versuchsende)



Abbildung 21: Decke, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)

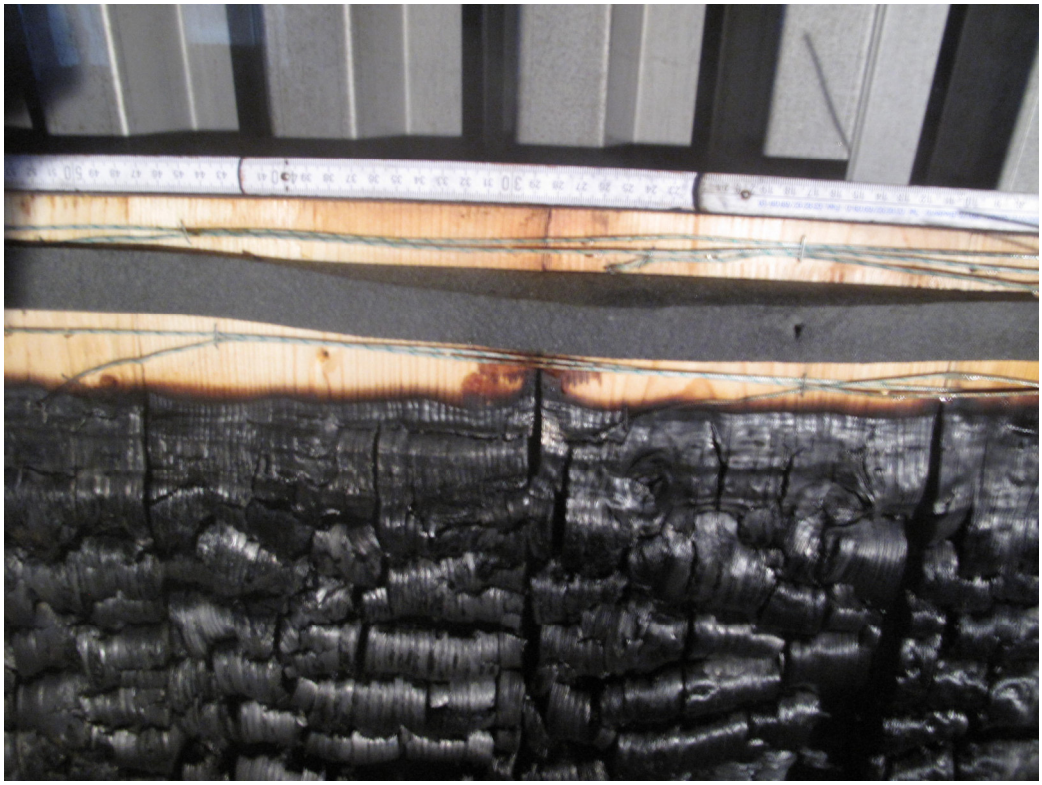


Abbildung 22: Kompriband in Decke (nach Versuchsende)



Abbildung 23: Rähm, Blick von brandzugewandter Seite



Abbildung 24: Wand, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 25: Abbrand in Deckenmitte, linke Flanke



Abbildung 26: Linke Deckenflanke



Abbildung 27: Blick auf das abgenommene Kompriband, Höhe TE 53



Abbildung 28: Bauteilfügung, Decke nach Abnahme des Kompribands

4.1. Darstellung der Restquerschnitte

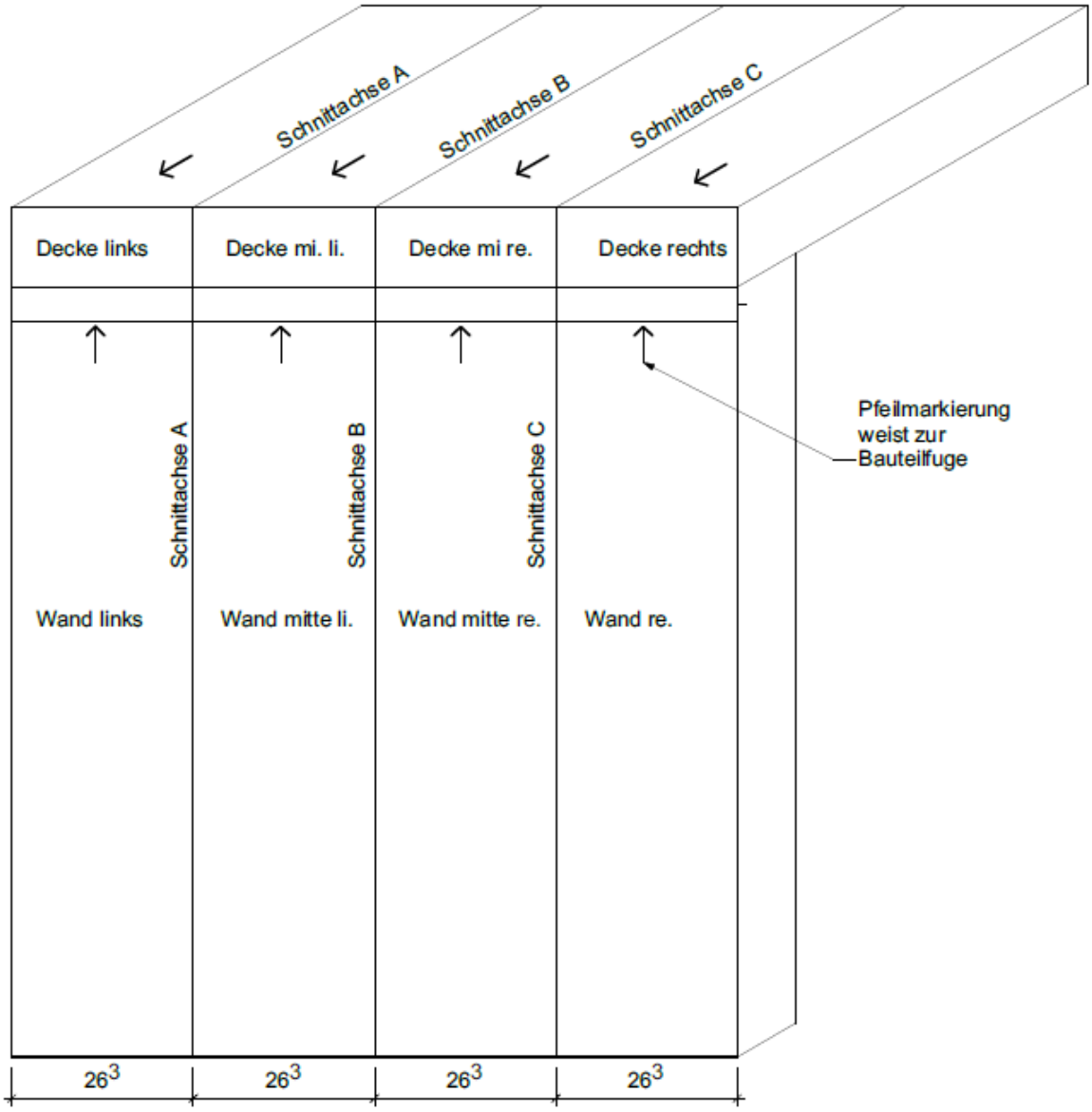


Abbildung 29: Schnittebenen

Hinweis: Falsche Beschriftung der Probekörper auf den Fotos („A1“), es handelt sich um die Proben von Versuch A2



Abbildung 30: Restquerschnitt Decke, Schnittachse A



Abbildung 31: Restquerschnitt Decke, Schnittachse B

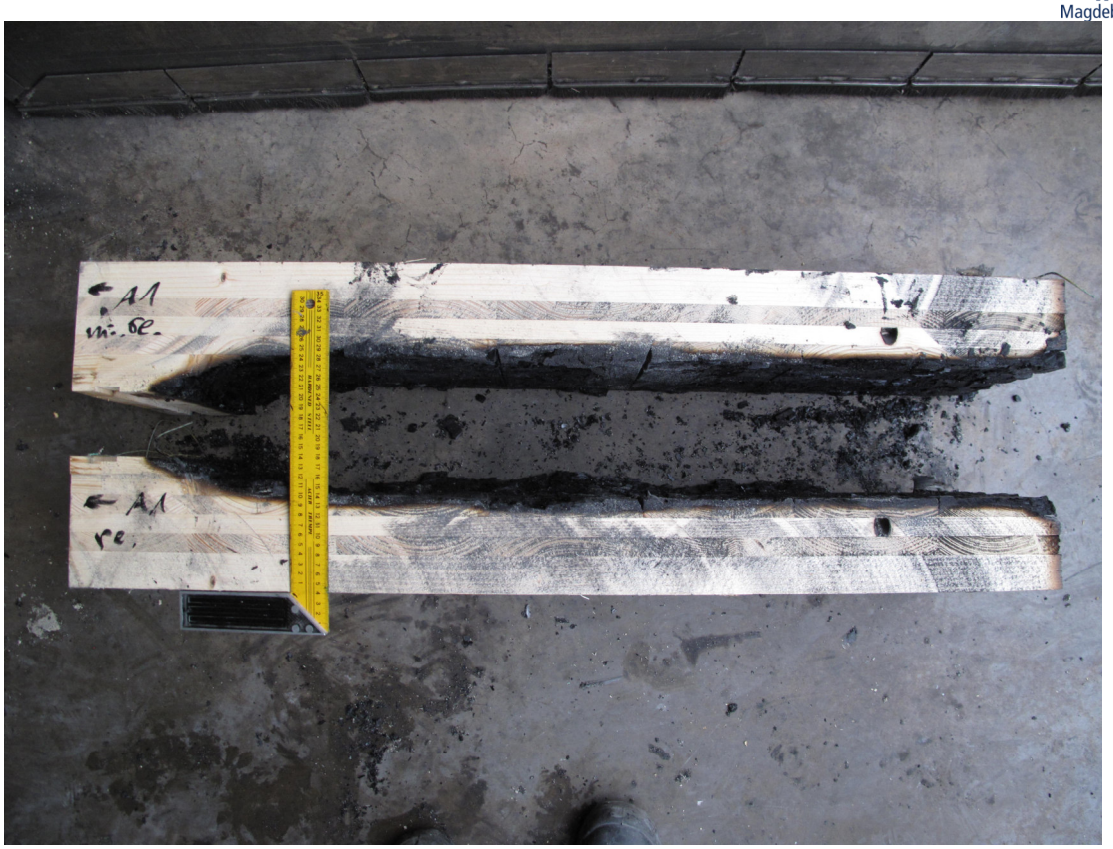


Abbildung 32: Restquerschnitt Decke, Schnittachse C



Abbildung 33: Restquerschnitt Decke, Außenseite



Abbildung 34: Restquerschnitt Wand, Außenseite links



Abbildung 35: Restquerschnitt Wand, Schnittachse A



Abbildung 36: Restquerschnitt Wand, Schnittachse B



Abbildung 37: Restquerschnitt Wand, Schnittachse C



Abbildung 38: Restquerschnitt Wand, Außenseite rechts

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: B1_BSP-BSP_EL-V

Datum: 04.12.2019

Inhalt

1. Versuchsaufbau 3

1.1 Detailzeichnungen 3

Schnitt 3

Ansicht (Wand, brandabgewandte Seite) 4

Ansicht (Wand, brandzugewandte Seite) 4

Draufsicht (brandabgewandte Seite) 5

Benennung der Bauteilschichten (Wand) 6

Benennung der Bauteilschichten (Wand) 6

Weitere verwendete Materialien 6

2.Versuchsparameter 7

2.1 Umgebungsbedingungen 7

2.2 Prüfbedingungen 7

Temperaturzeitkurve 7

Grenzabweichungen 8

Ofenüberdruck 8

3.Auswertung 9

3.1. Temperaturverläufe 9

Temperaturverlauf Bauteilfuge 9

Temperaturverlauf Wand 11

Temperaturverlauf Decke 12

3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 12

Volumenstrom 12

Massenstrom CO und CO_2 (netto) 13

Massenstrom C_xH_y und NO_x (netto) 13

O_2-Konzentration 14

Abgastemperatur 14

Absolute Abgasfeuchte 14

3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 15

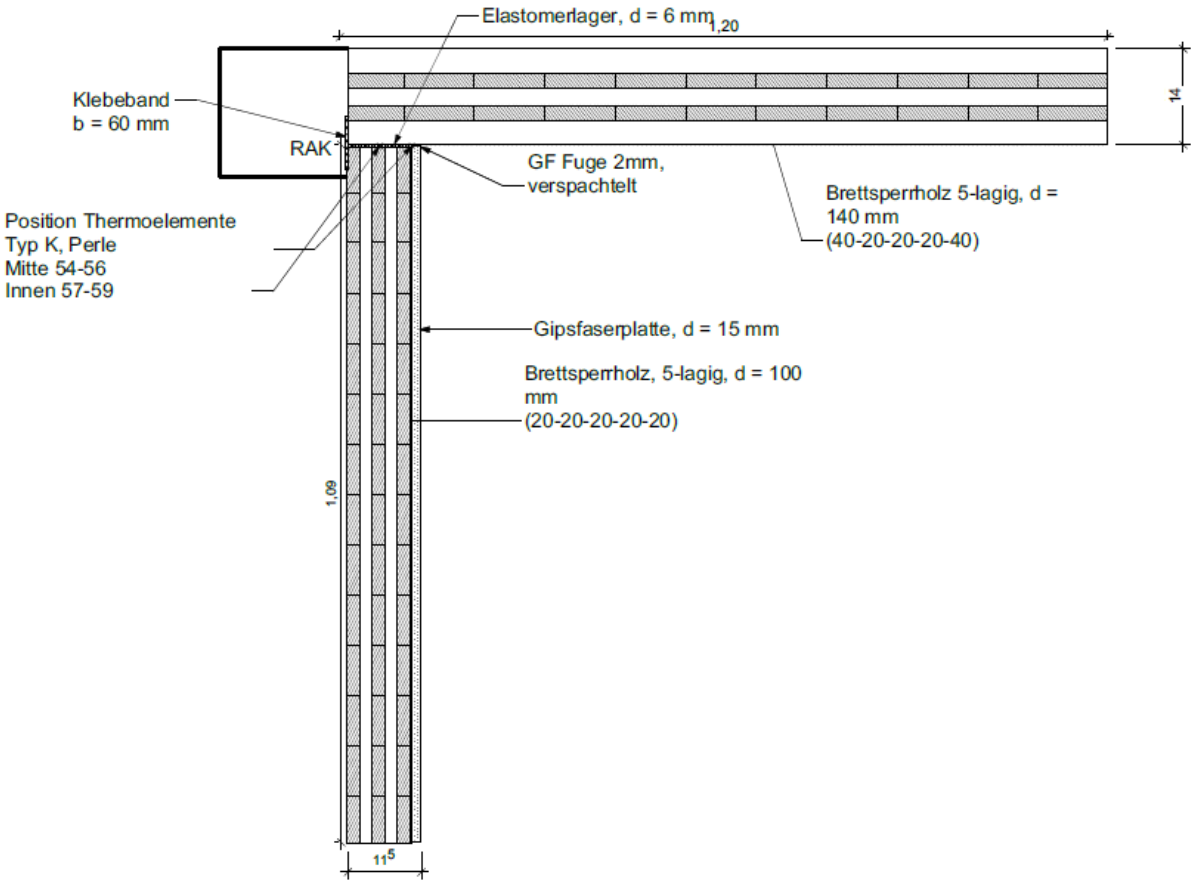
4. Anhänge/Fotodokumentation 16

4.1 Darstellung der Restquerschnitte 24

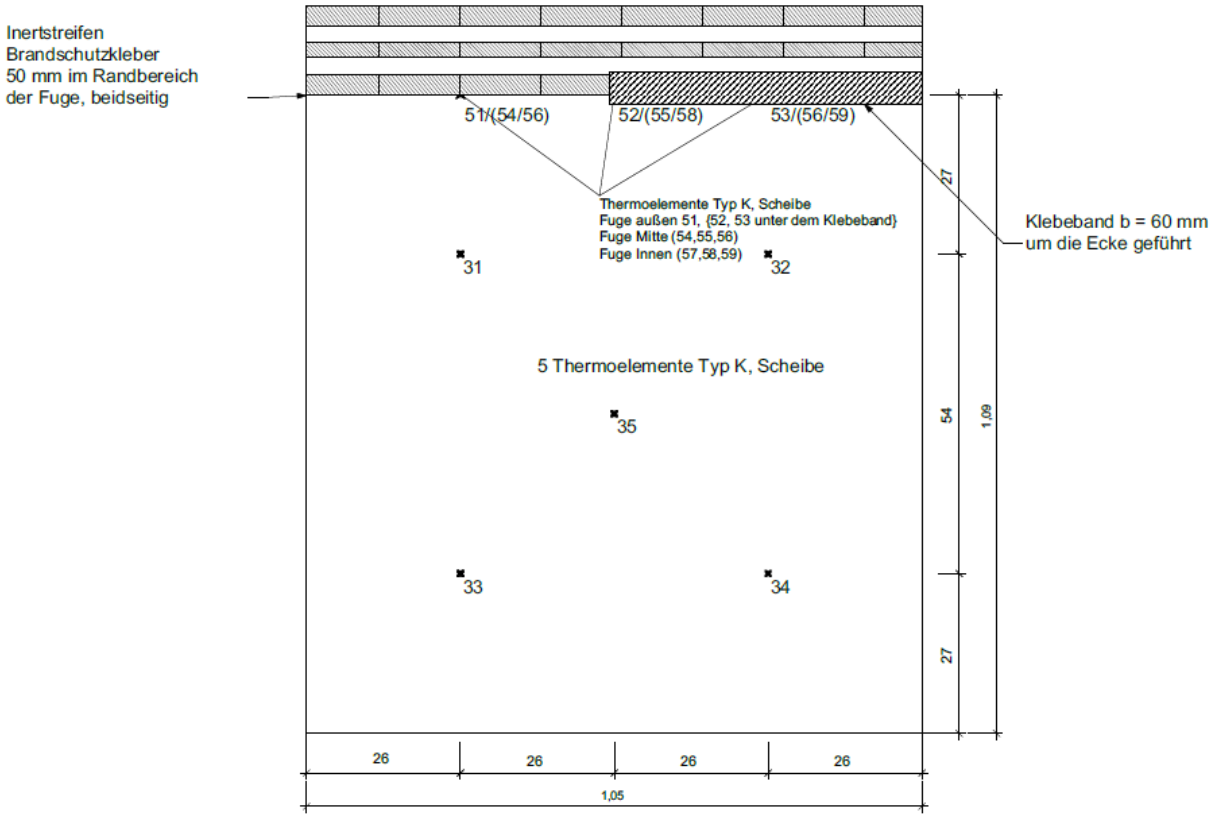
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

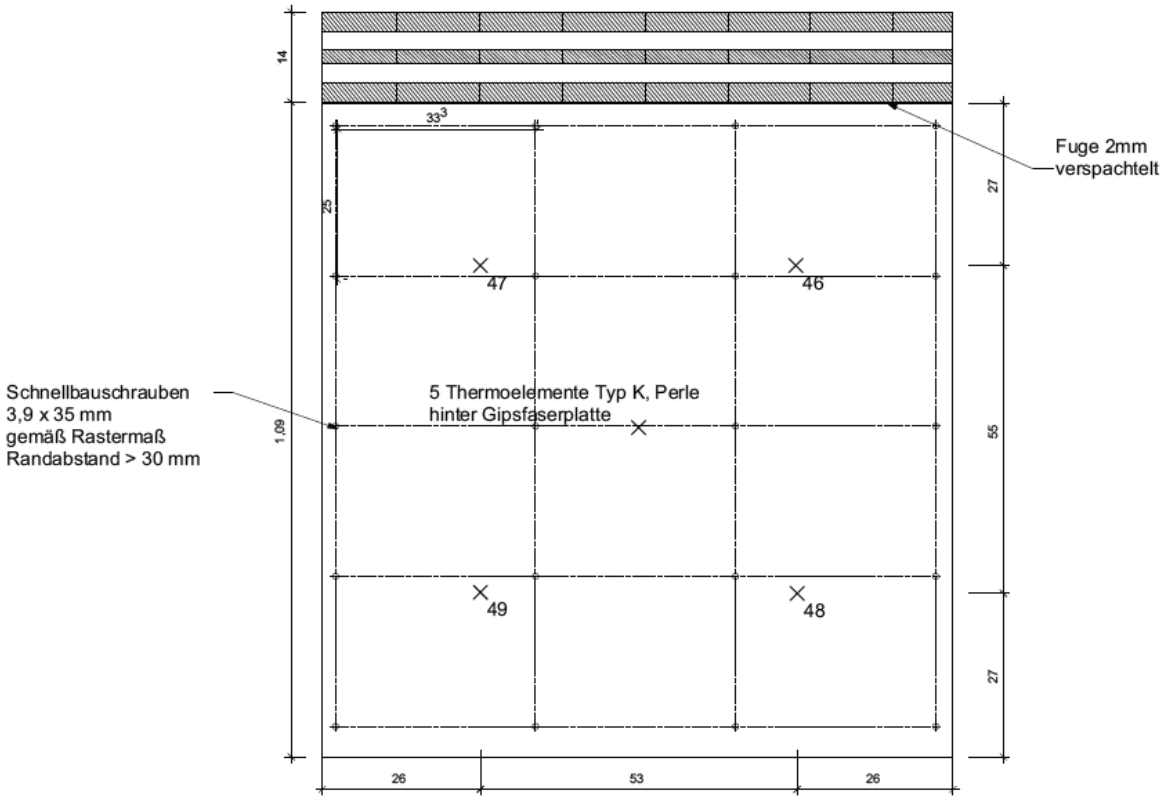
Schnitt



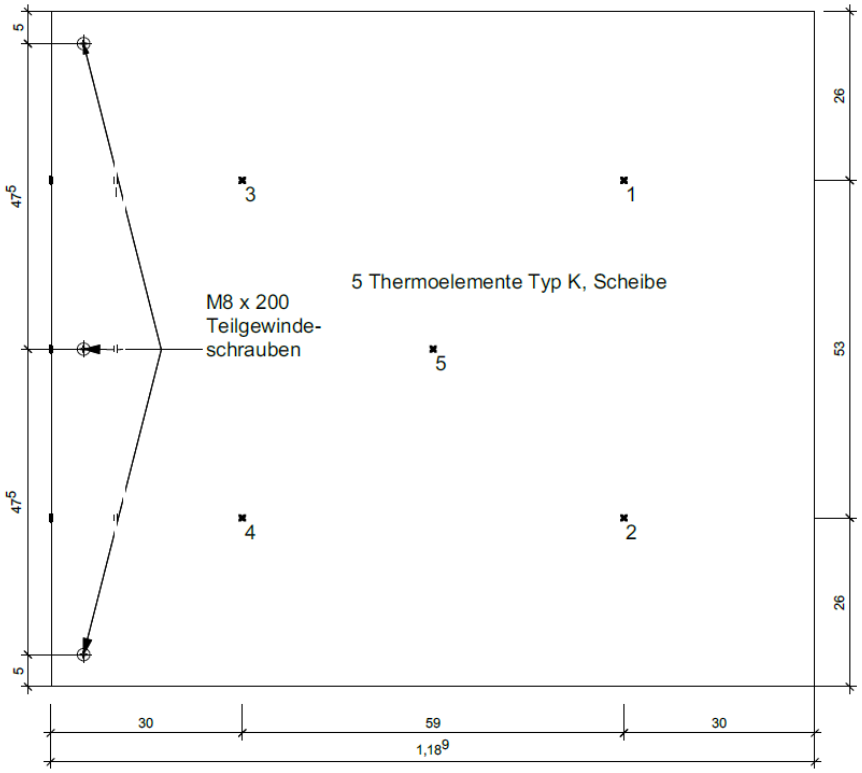
Ansicht (Wand, brandabgewandte Seite)



Ansicht (Wand, brandzugewandte Seite)



Draufsicht (brandabgewandte Seite)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	15 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W2	100 mm BSP-Element (20-20-20-20-20) BBS Binderholz, nSi	465	11 %	Binderholz

Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	140 mm BSP-Element (20-40-20-40-20) BBS, nSi	465	11 %	Binderholz

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben 3,9 x35 mm	GiX	W1
Klebeband UNI Tape ®	ProClima	Bauteilfuge (brandabgewandte Seite)
Xylophon ® Shore 35	RothoBlaas	Bauteilfuge
Holzbau-Teilgewindeschrauben 8,0x200 mm	Würth	D1-W1
Isifest Brandschutzkleber	HTB	Randbereich Fuge

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	04.12.2019, 13:24:12 Uhr
Versuchsende:	04.12.2019, 14:54:30 Uhr
Versuchsdauer in min:	90

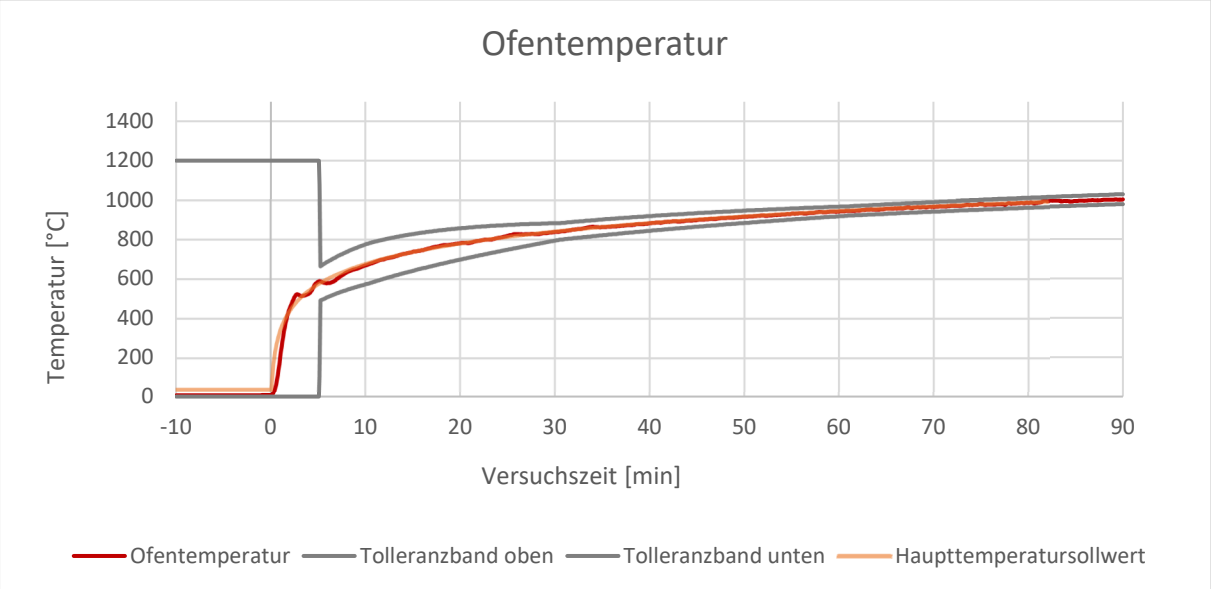
2.1 Umgebungsbedingungen:

bei Versuchsbeginn

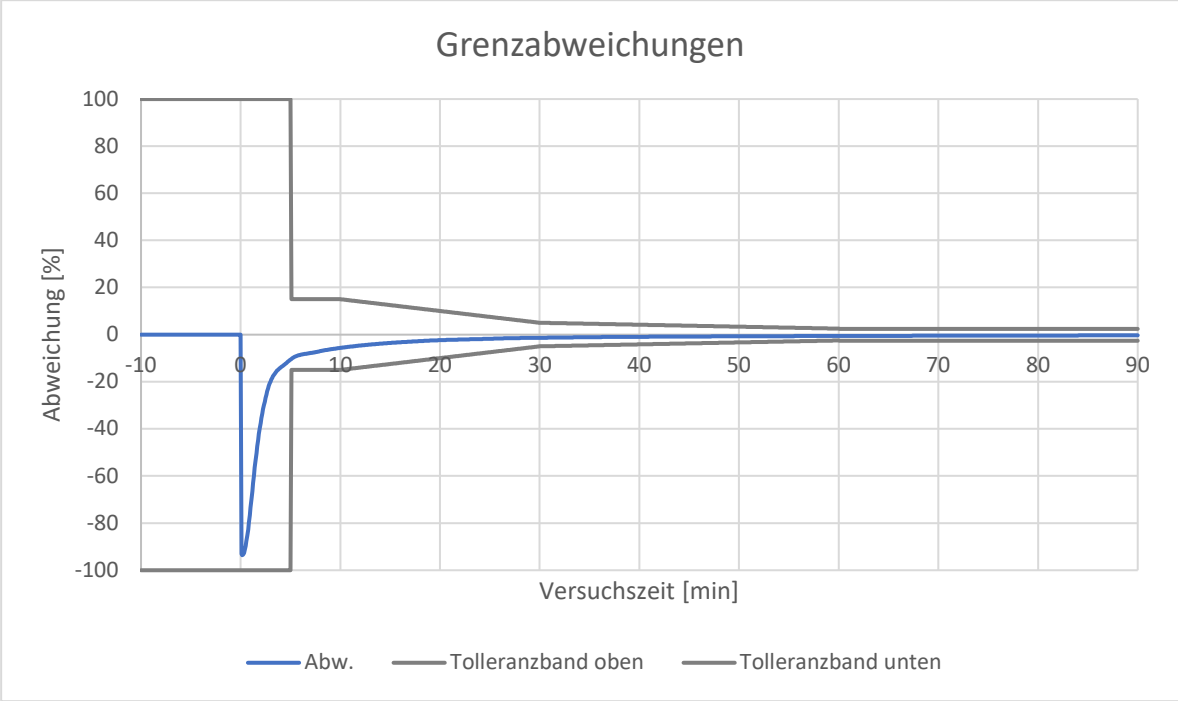
Umgebungsdruck:	1016 hPa
Umgebungstemperatur:	8,7 °C
Luftfeuchte in %:	67 % rh

2.2 Prüfbedingungen

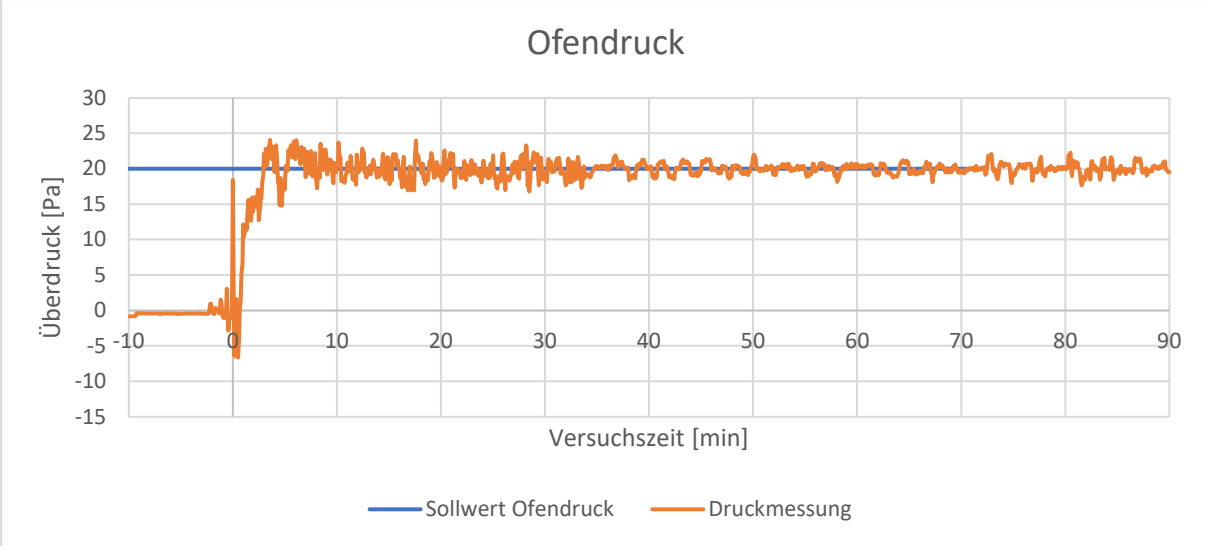
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



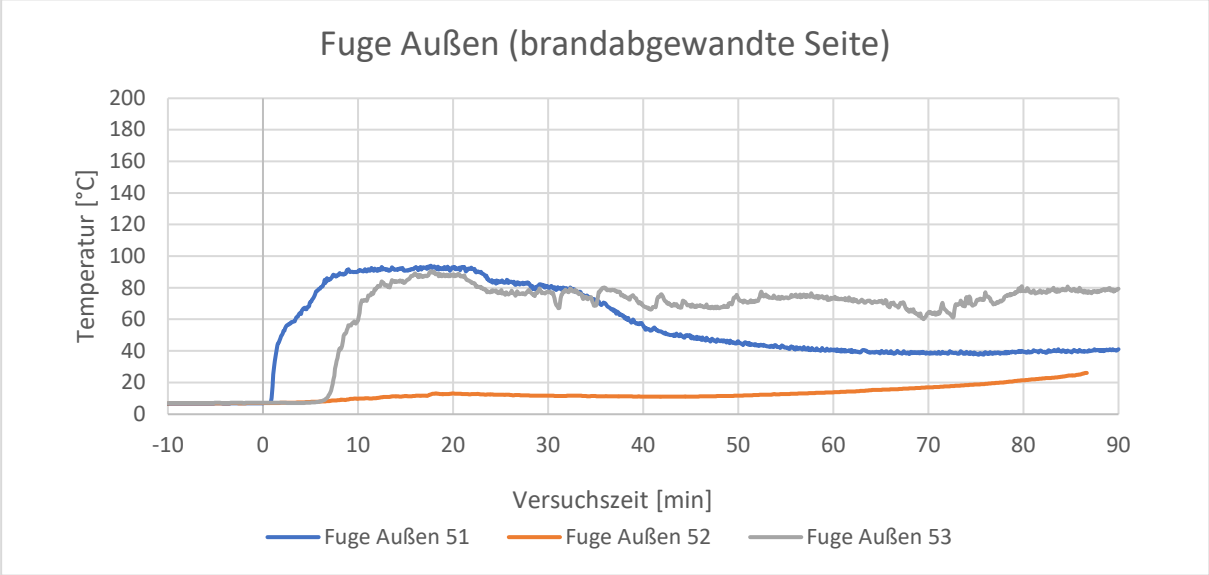
Ofenüberdruck

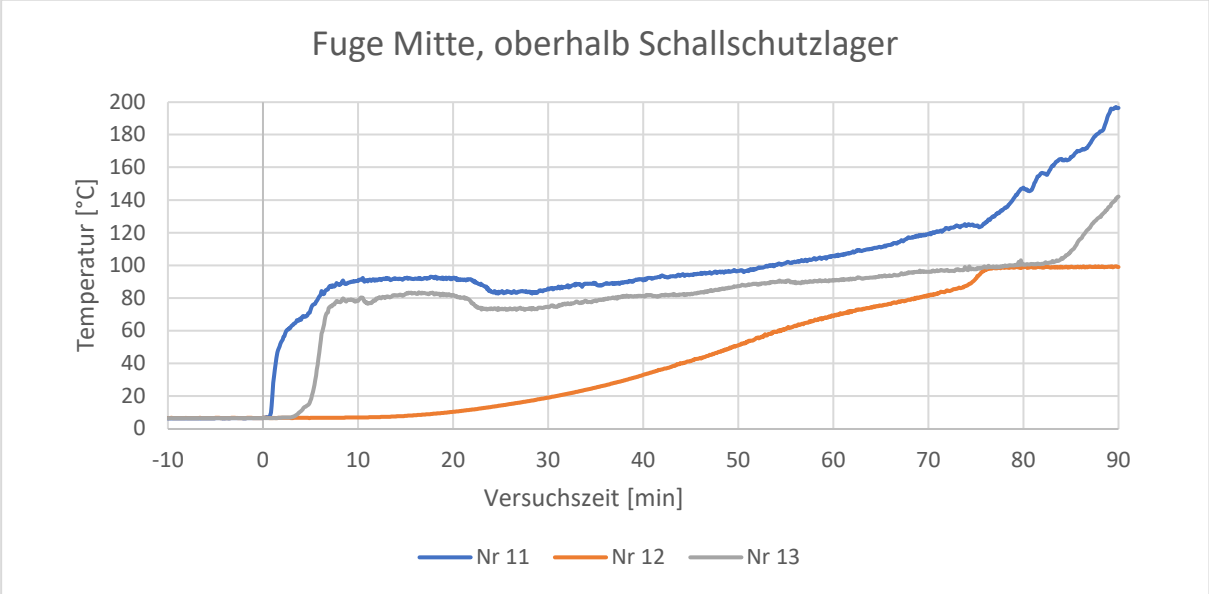


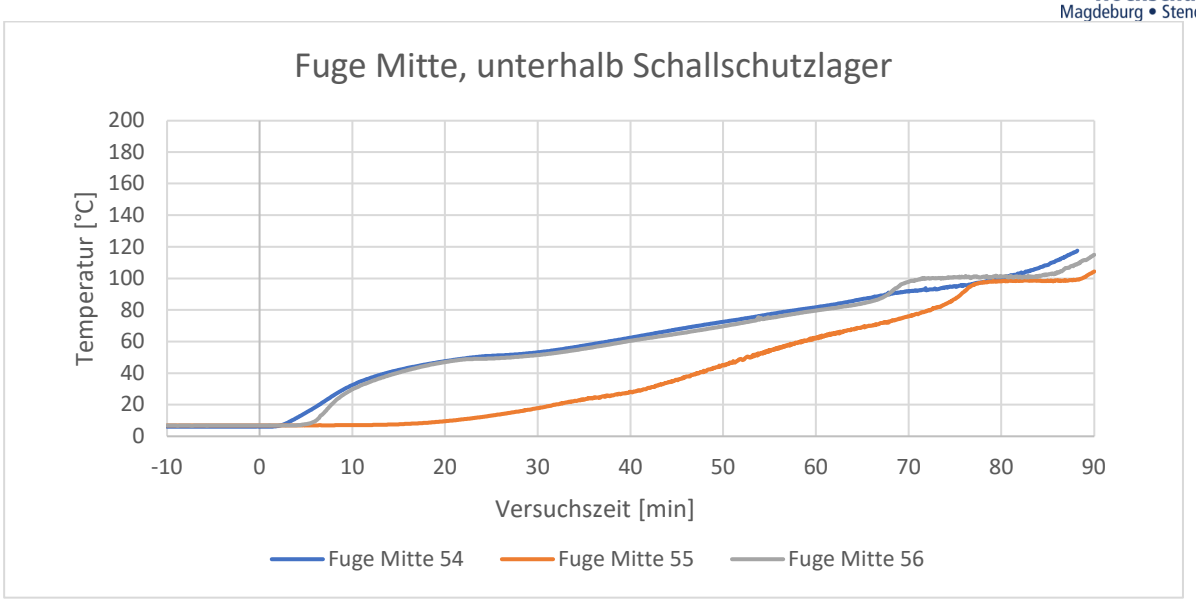
3.Auswertung

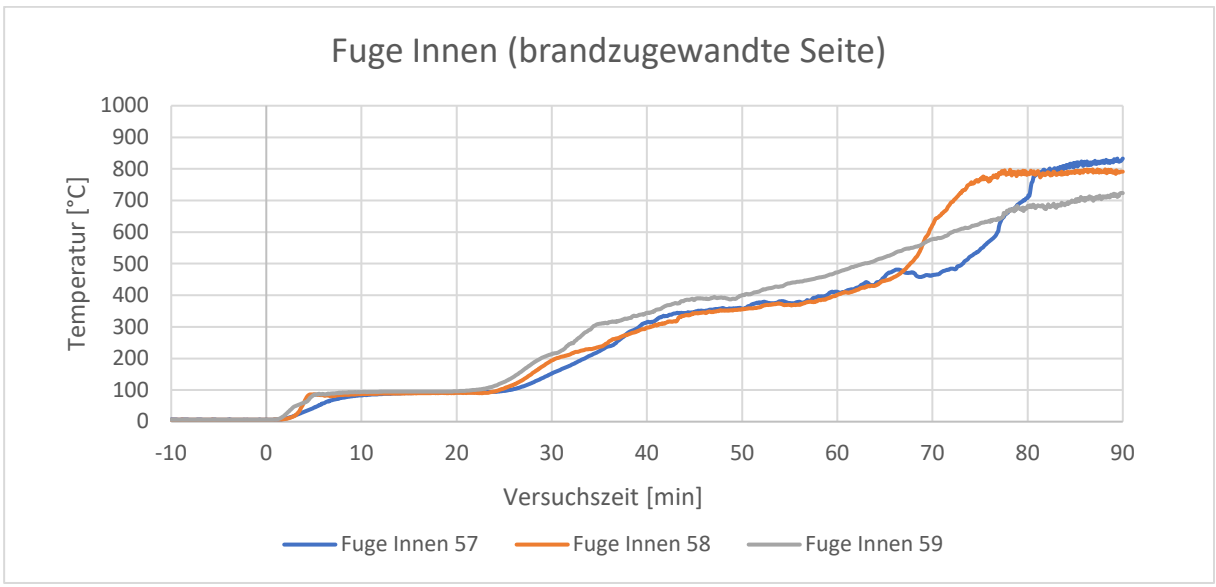
3.1. Temperaturverläufe

Temperaturverlauf Bauteilfuge

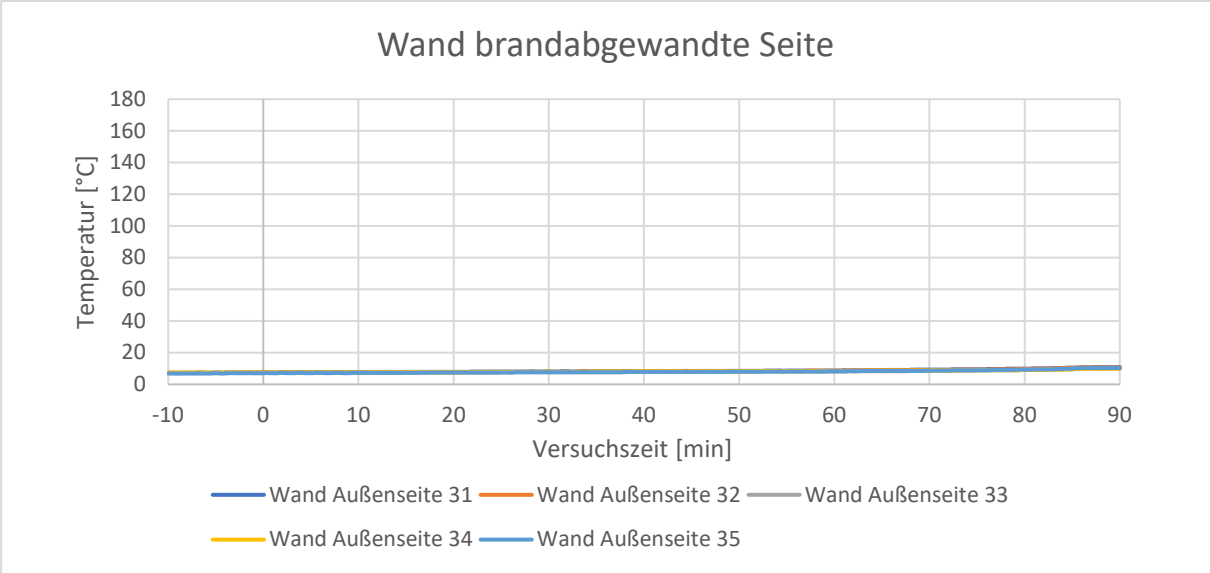


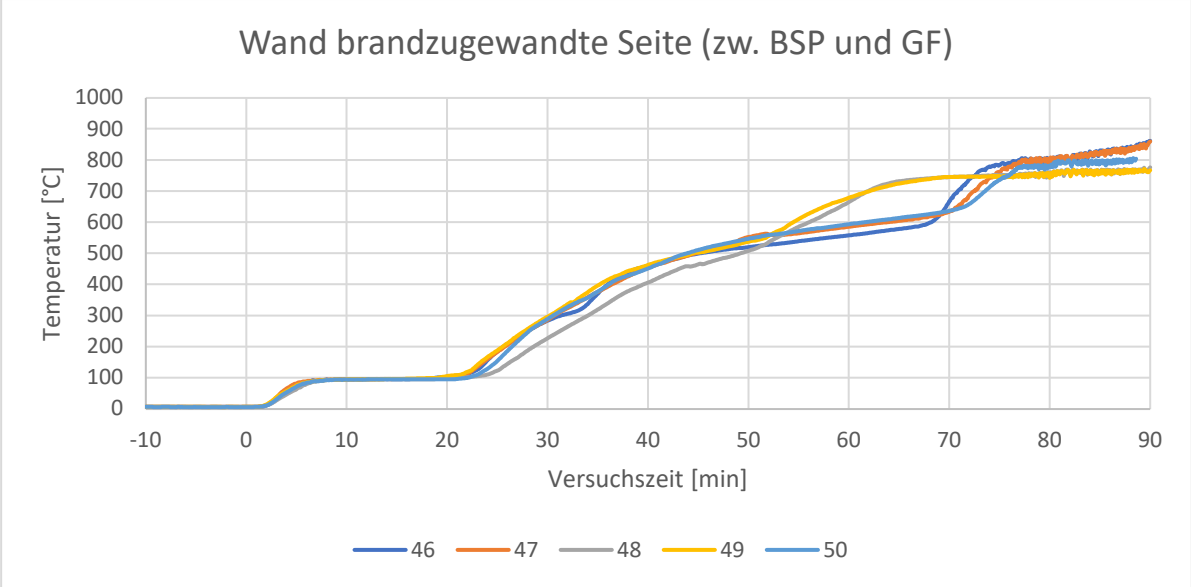



Fuge Mitte, unterhalb Schallschutzlager
Temperatur [°C]
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
Fuge Mitte 54
Fuge Mitte 55
Fuge Mitte 56

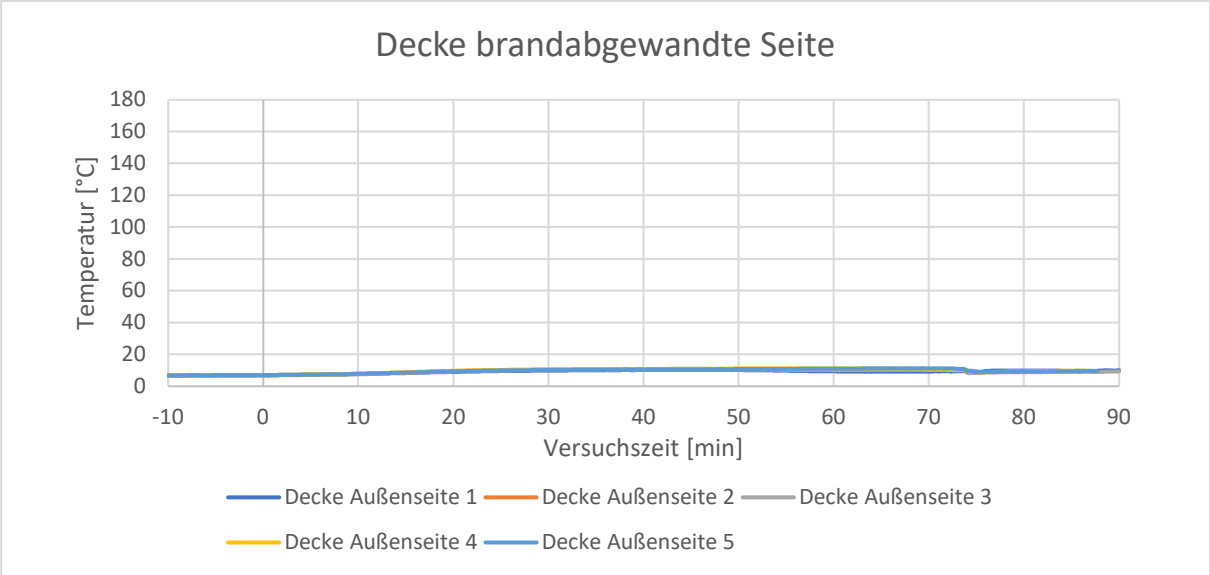

Fuge Innen (brandzugewandte Seite)
Temperatur [°C]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
Fuge Innen 57
Fuge Innen 58
Fuge Innen 59

Temperaturverlauf Wand



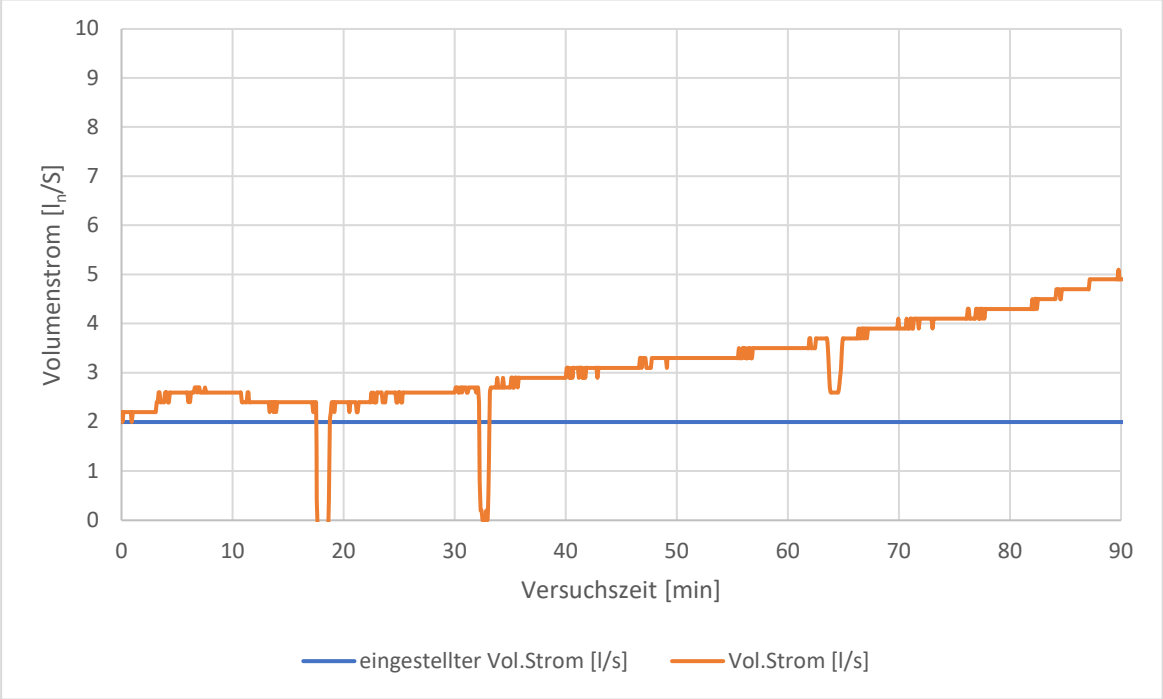


Temperaturverlauf Decke

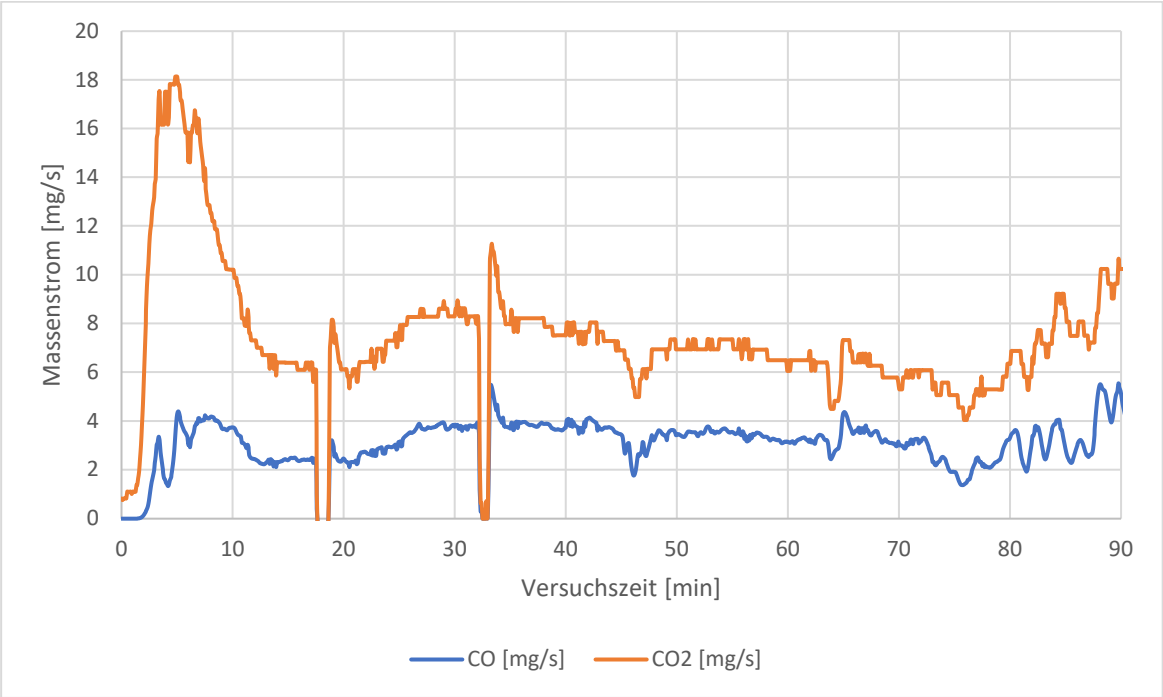


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

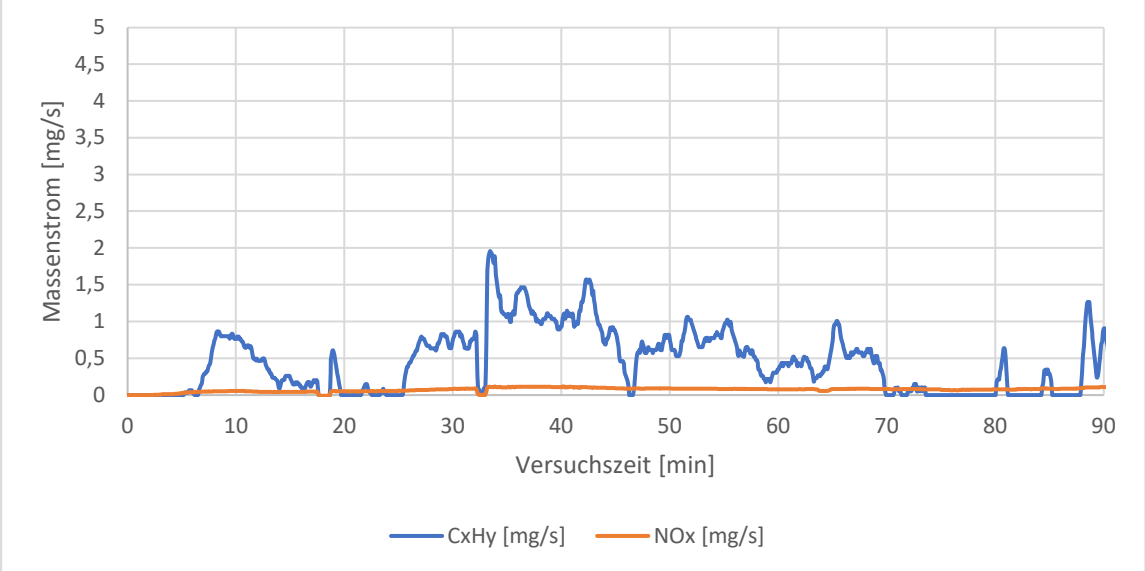
Volumenstrom



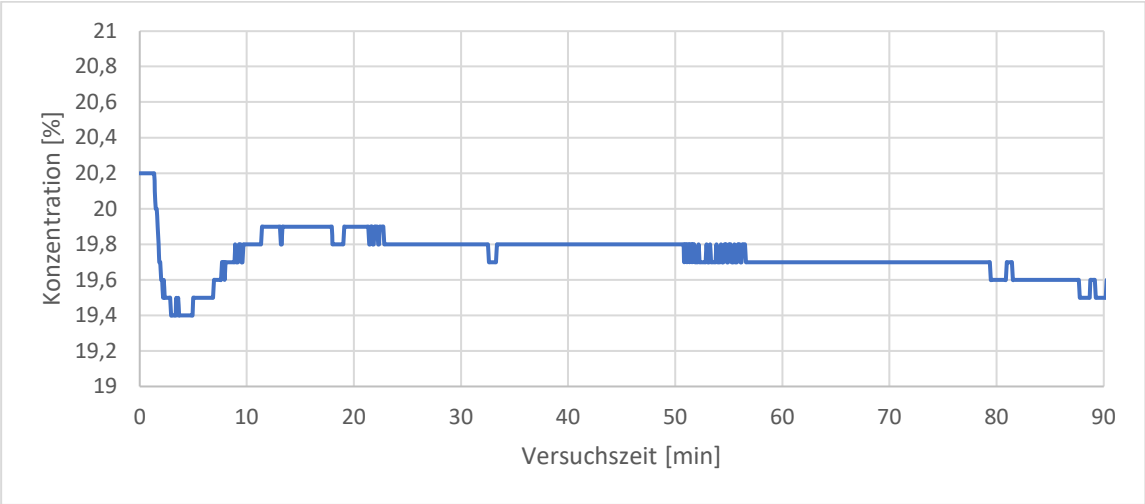
Massenstrom CO und CO_2 (netto)



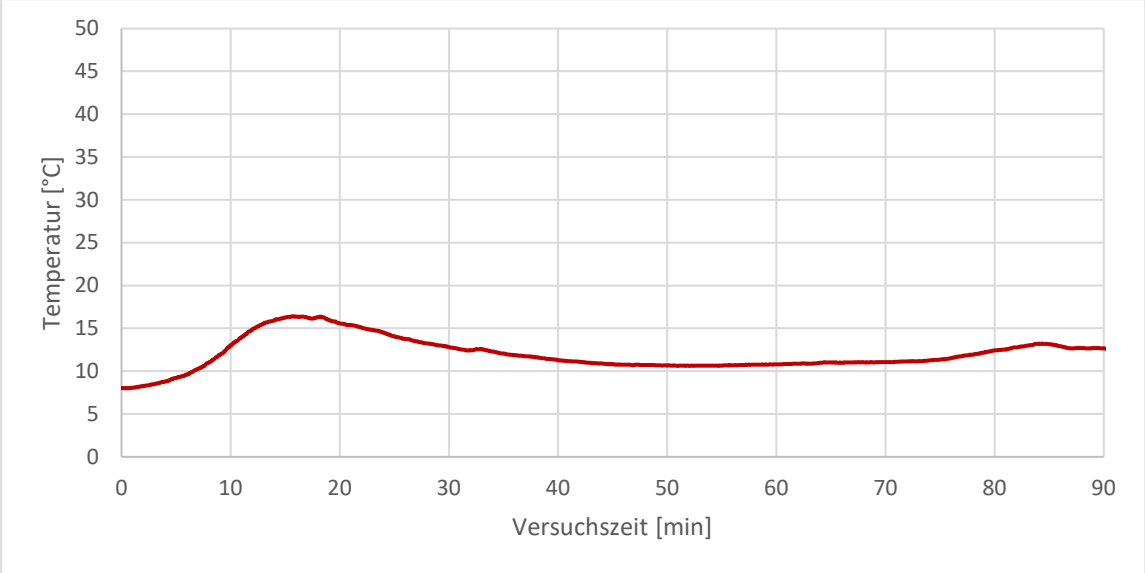
Massenstrom C_xH_y und NO_x (netto)



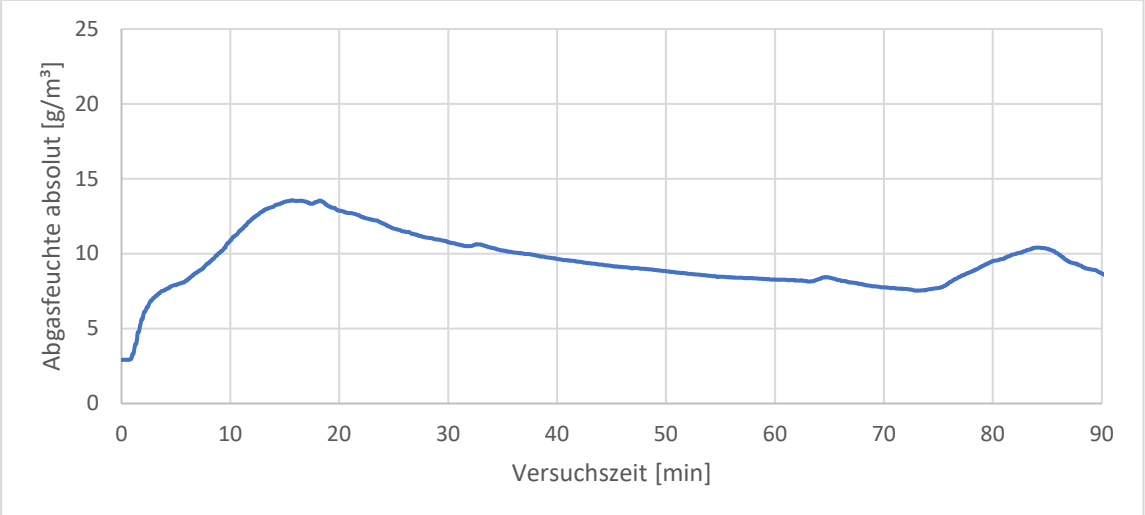
O_2-Konzentration



Abgastemperatur



Absolute Abgasfeuchte



3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
	Die Brandraumtemperatur wurde ohne Kontroll-Thermoelement überwacht	
1.	Erster Rauchdurchtritt Fuge Bereich TE 52 wahrnehmbar	x
6.	Weiterhin leichter Rauchdurchtritt, Klebeband löst sich nicht ab	
18.	1. Wattebauschtest an TE 51 Ergebnis negativ, keine Verfärbung	
25.	Rauchentwicklung nimmt ab	x
32.	2. Wattebauschtest an TE 51 Ergebnis negativ, keine Verfärbung	
36.	Rauchentwicklung im rechten Bereich des RAK, Rauchdurchtritt zwischen den äußeren Brettlagen	
50.	Rissbildung auf GF wahrnehmbar	
55.	Weiterhin nur geringes Ablösen des Klebebandes beobachtbar	
62.	3. Wattebauschtest an TE 51 Ergebnis negativ, keine Verfärbung	
70.	Wandelement am linken Rand nachgedichtet	
77.	Deckenelement am rechten Rand nachgedichtet	
79.	Rauchentwicklung im RAK lässt nach	x
84.	Rauchdurchtritt an TE 51 gering, vergleichbar mit Pos. TE 53	x
90.	Versuchsende, RAK abgebaut	

4. Anhänge/Fotodokumentation



Abbildung 1: Probekörper brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 2: Probekörper, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 3: Durchgehende Lamellenfuge zwischen den Brettlagen, Position TE 51 (vor Versuchsbeginn)

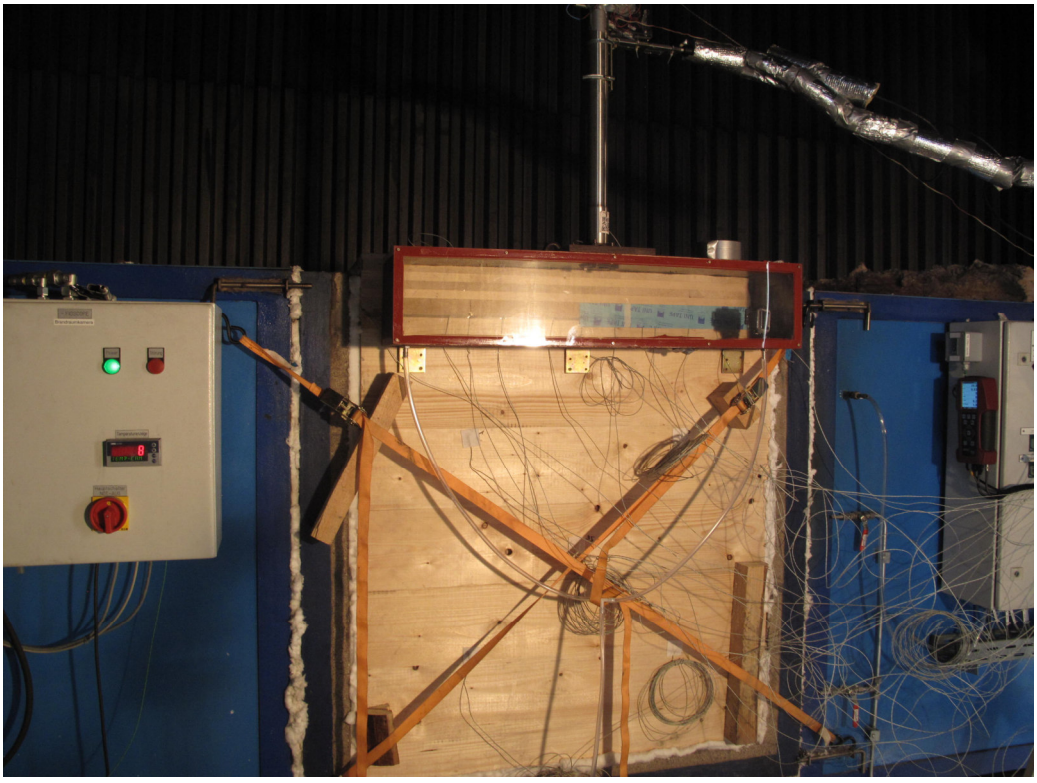


Abbildung 4: Anbringung des RAK (vor Versuchsbeginn)

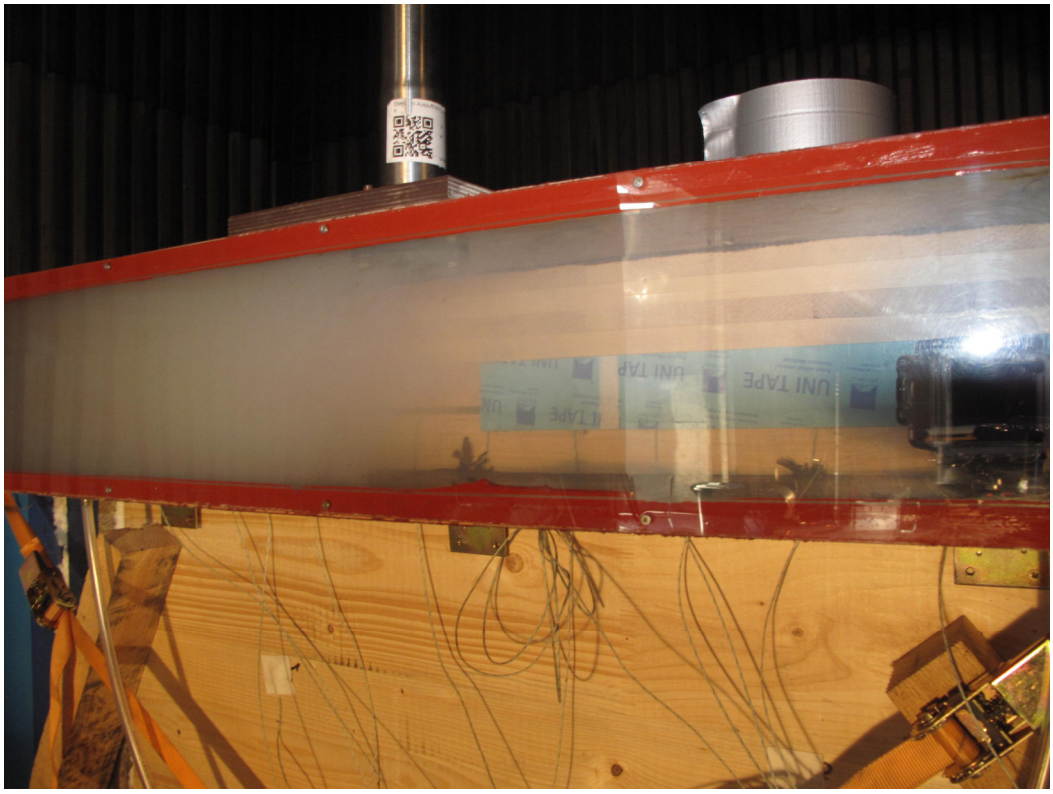


Abbildung 5: Rauchdurchtritt an TE 51 (1. Brandminute)



Abbildung 6: RAK füllt sich zunehmenden mit Rauch (7. Brandminute)



Abbildung 7: Rauchdichte im RAK nimmt ab, kein Ablösen des Klebebandes (25. Brandminute)

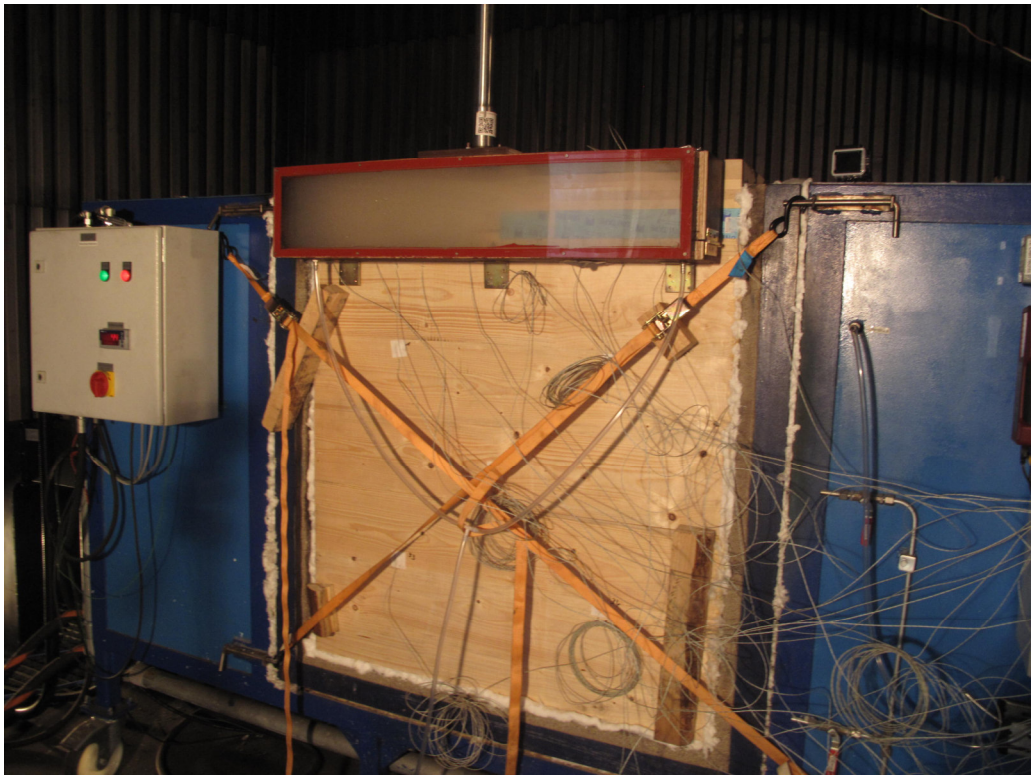


Abbildung 8: Wand, brandabgewandte Seite (34. Brandminute)

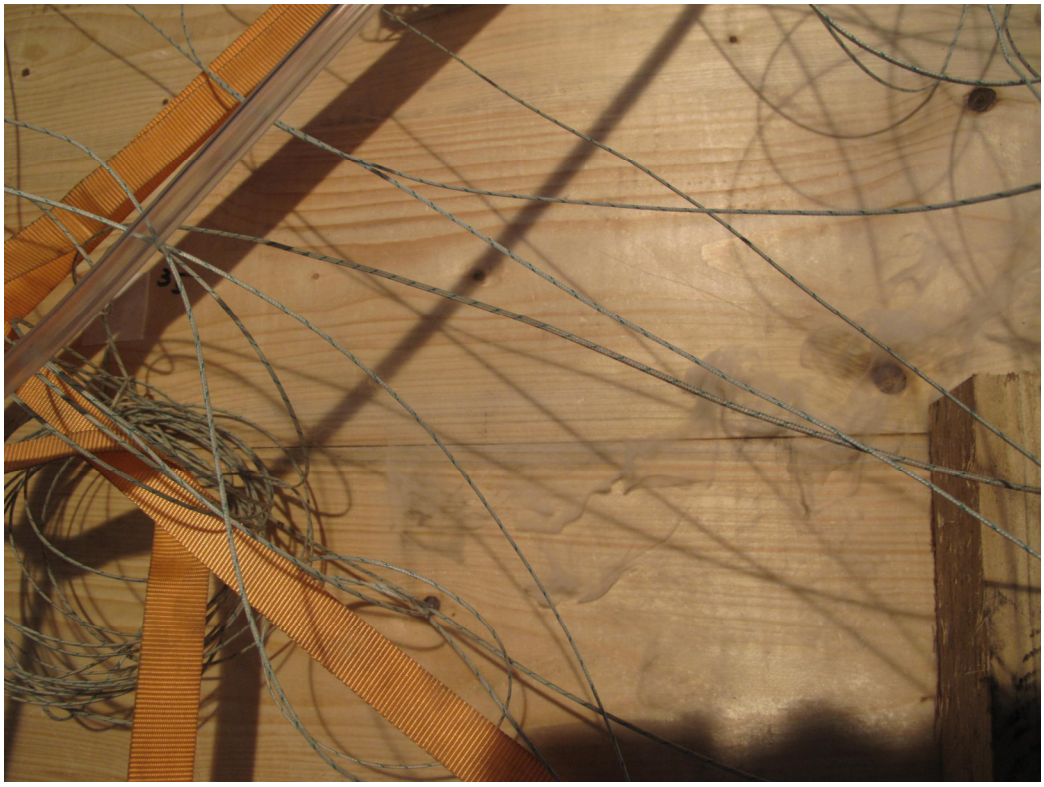


Abbildung 9: Rauchdurchtritt brandabgewandte Seite zwischen den Brettlagen, unterer rechter Quadrant der Wand (37. Brandminute)



Abbildung 10: Blick auf Pos. TE 53 (48. Brandminute)



Abbildung 11: Blick auf Pos. TE 53 (70. Brandminute)



Abbildung 12: Blick auf TE 51 (70. Brandminute), Abnahme der Rauchentwicklung



Abbildung 13: Wand, brandabgewandte Seite (85. Brandminute)



Abbildung 14: Bauteilfuge/Schallschutzlager nach Versuchsende



Abbildung 15: Bauteilfuge/Schallschutzlager nach Versuchsende



Abbildung 16: Bauteilfuge ohne Schallschutzlager nach Versuchsende

4.1 Darstellung der Restquerschnitte

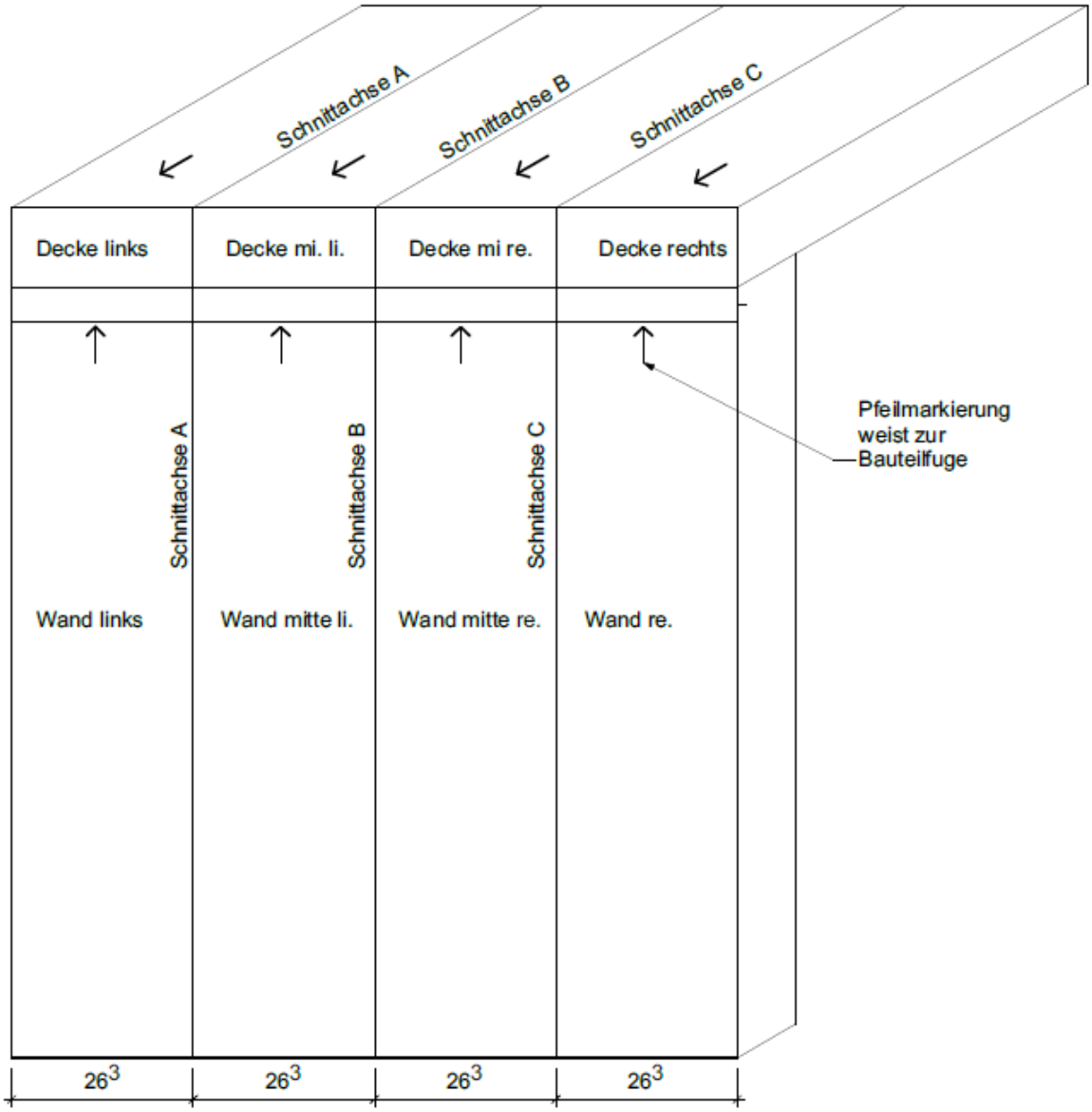


Abbildung 17: Schnittebenen

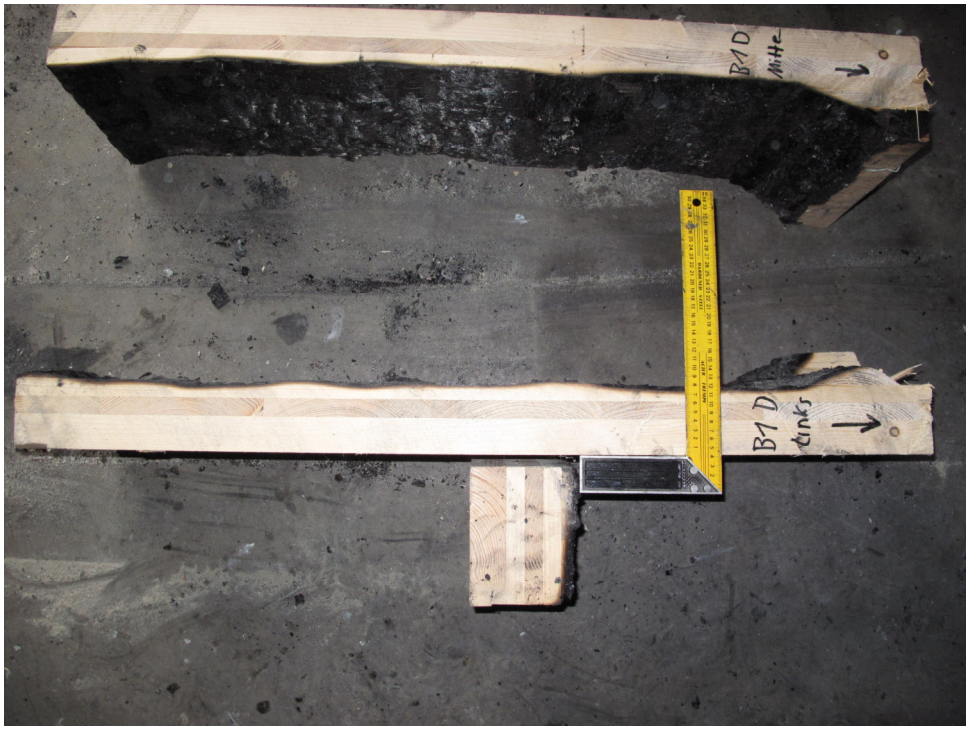


Abbildung 18: Restquerschnitt Decke, Schnittachse A



Abbildung 19: Restquerschnitt Decke, Schnittachse B



Abbildung 20: Restquerschnitt Wand, Schnittachse A



Abbildung 21: Restquerschnitt Wand, Schnittachse B

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: B2_HTB-BSP_EL_BS_90

Datum: 31.01.2020

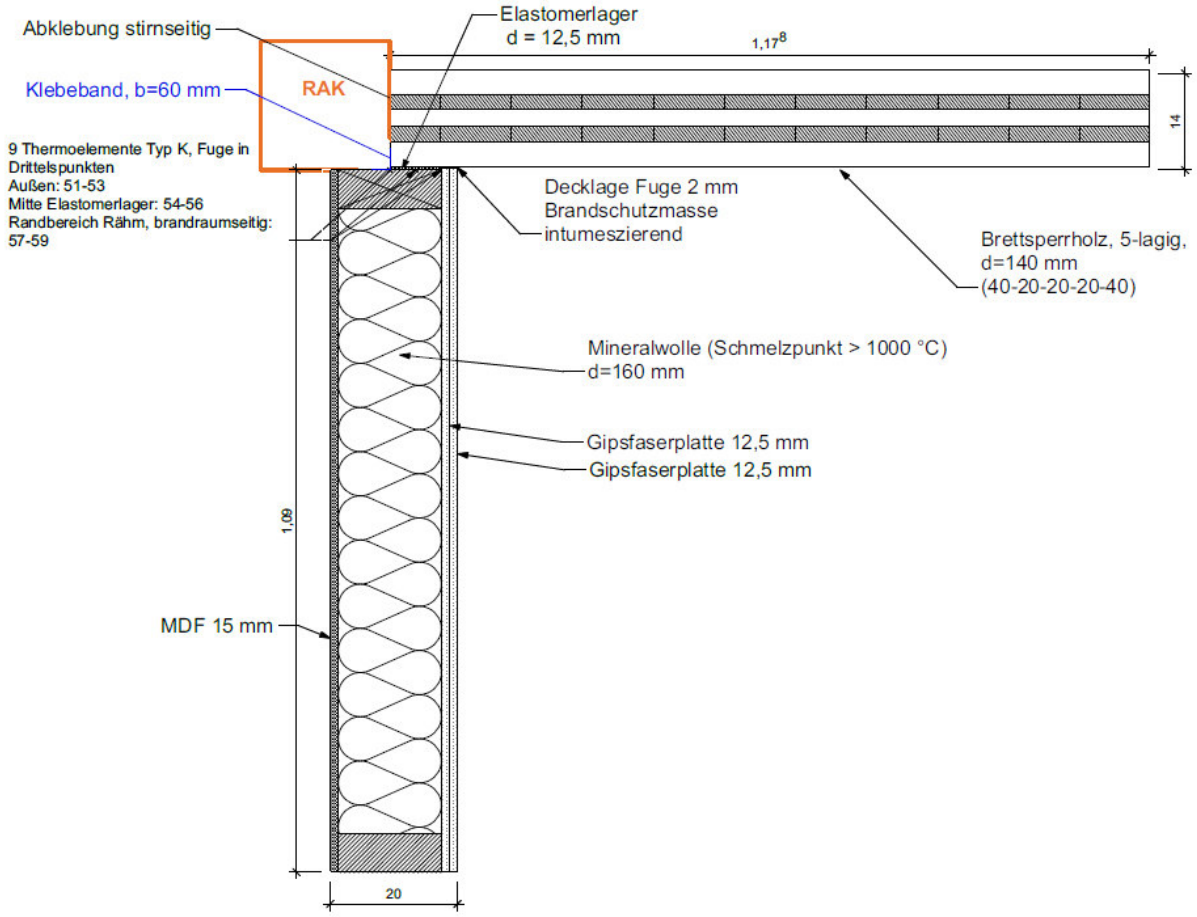
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Ansicht Wand (MDF, brandabgewandte Seite) 4
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, innere Bekleidung) 4
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, äußere Bekleidung) 5
Draufsicht (brandabgewandt) 5
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 6
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 6
Weitere verwendete Materialien 6
2.Versuchsparameter 7
2.1 Umgebungsbedingungen 7
2.2 Prüfbedingungen 7
Temperaturzeitkurve 7
Grenzabweichungen 8
Ofenüberdruck 8
3.Auswertung 9
3.1. Temperaturverläufe 9
Temperaturverlauf Bauteilfuge 9
Temperaturverlauf Wand 10
Temperaturverlauf Decke 12
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 12
Volumenstrom 12
Massenströme CO, CO_2 13
Massenströme C_xH_y, NO_x 13
O_2-Konzentration 14
Abgastemperatur 14
Absolute Abgasfeuchte 15
3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 15
4. Anhänge/Fotodokumentation 16
4.1. Darstellung der Restquerschnitte 30

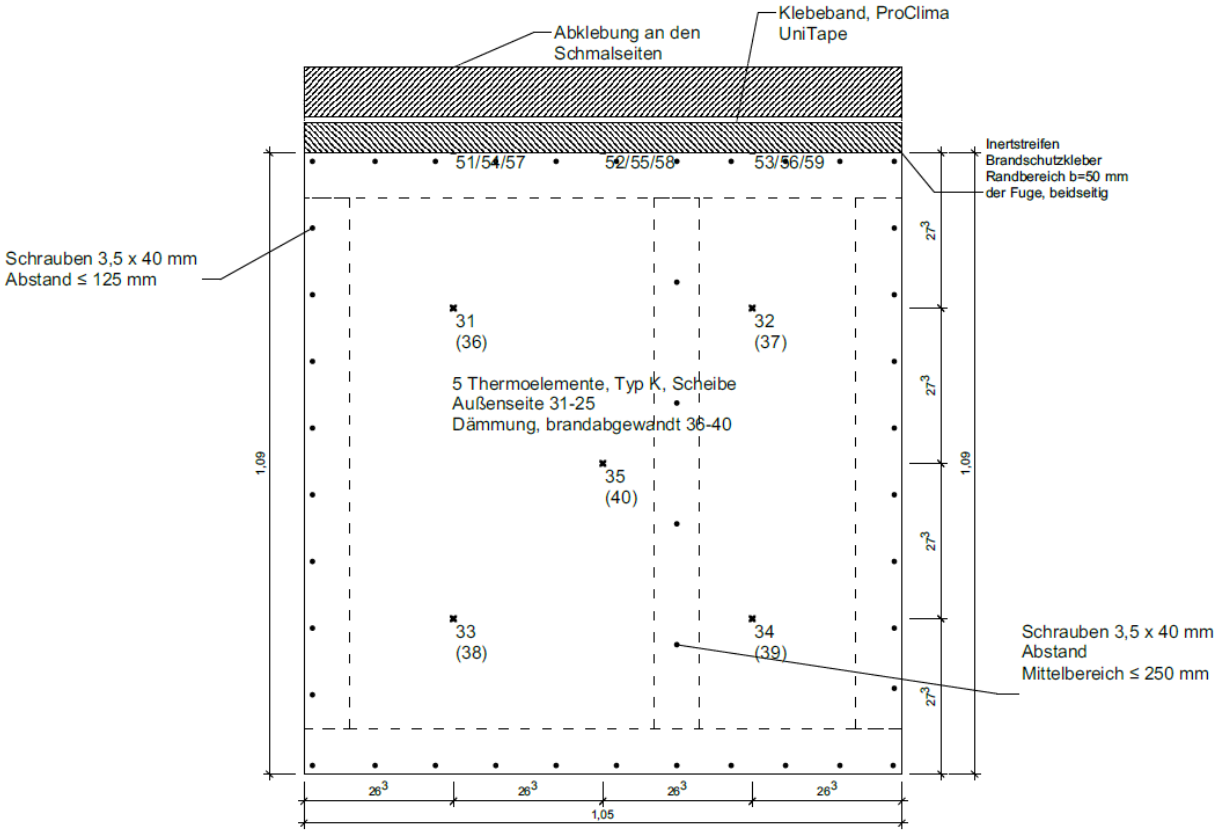
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

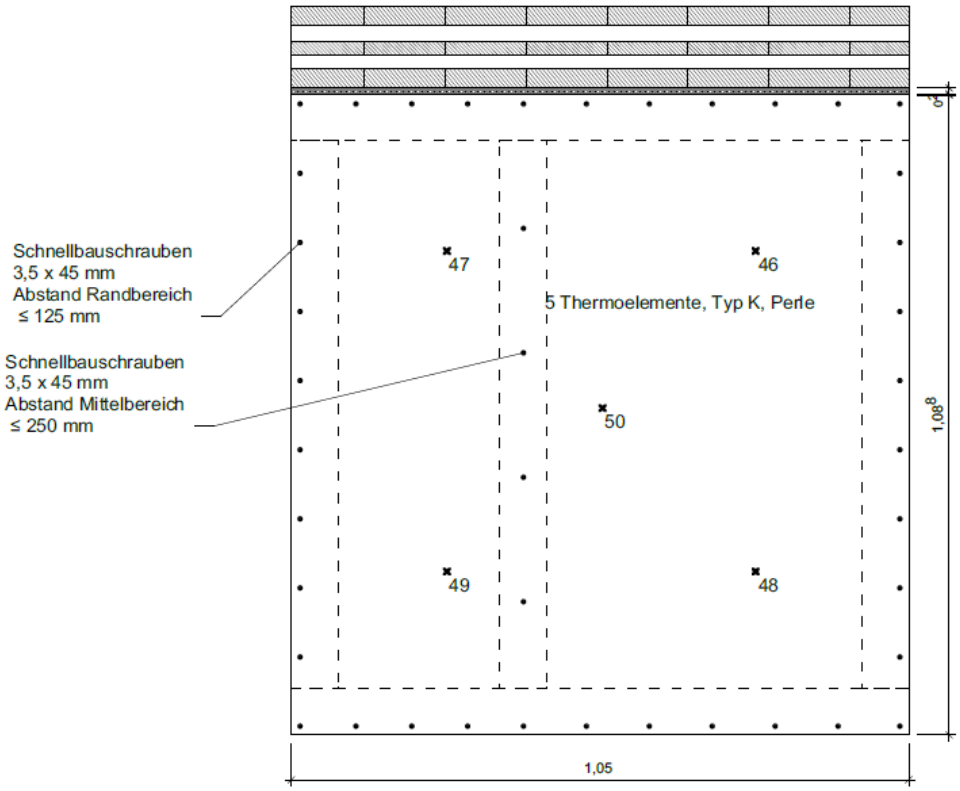
Schnitt



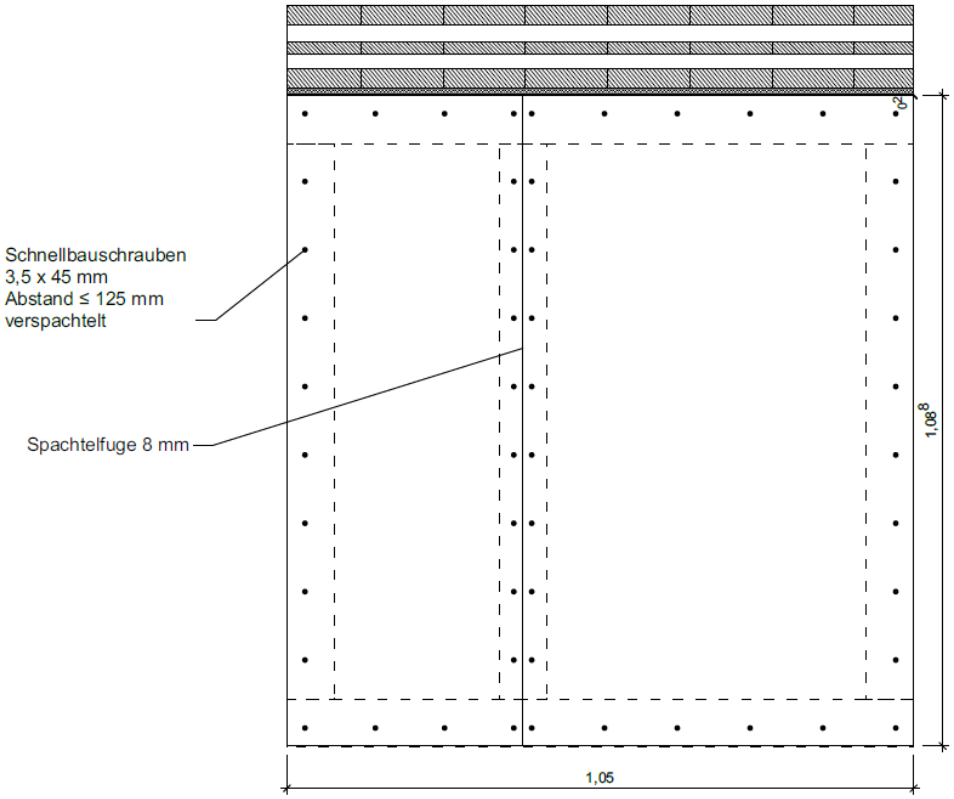
Ansicht Wand (MDF, brandabgewandte Seite)



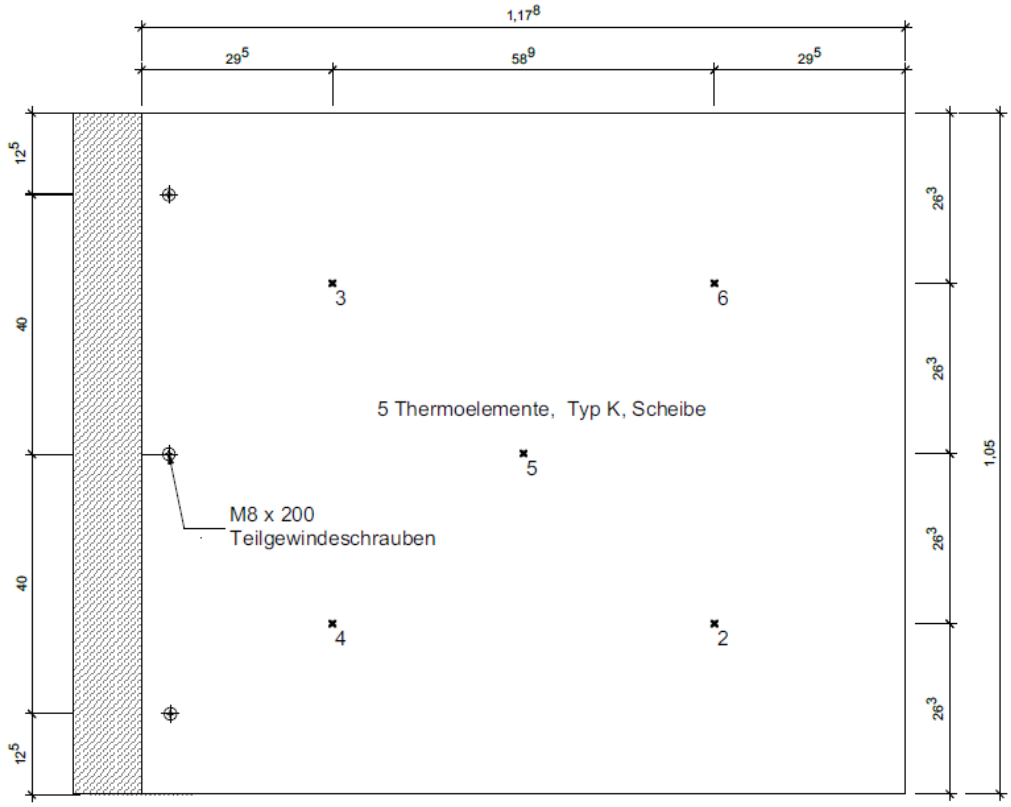
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, innere Bekleidung)



Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, äußere Bekleidung)



Draufsicht (brandabgewandt)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Materialfeuchte	Hersteller
W1	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W2	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W3	Mineralwolle Flexirock 035	30	1 %	Rockwool
W3	Konstruktionsvollholz (80x160)	470	10 %	Sporkenbach
W4	15 mm MDF Platte	690	6 %	Egger

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Materialfeuchte	Hersteller
D1	140 mm Brettsperrholz BBS (40-20-40-20-40), nSi	465	11 %	Binderholz

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben 3,5 x 45 mm	GiX	W1, W2
Universalschrauben 3,5 x 40 mm	Spax	W4
Holzbauschrauben 8 x 200 mm	Würth	D1
Fermacell ® Gipsspachtel	JamesHardie	W1
Klebeband UniTape ®	ProClima	Fügung, brandabgewandte Seite
Elastomerlager Sylodyn ® NB 12,5 mm, b=100 mm	Getzner	Fügung
Klebeband EURASOL HT ®	Würth	Abklebung der Schmalseiten
Isifest Brandschutzkleber	HBT	Randbereich Fuge

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	31.01.2020, 10:10:50 Uhr
Versuchsende:	31.01.2020, 11:41:30 Uhr
Versuchsdauer in min:	90

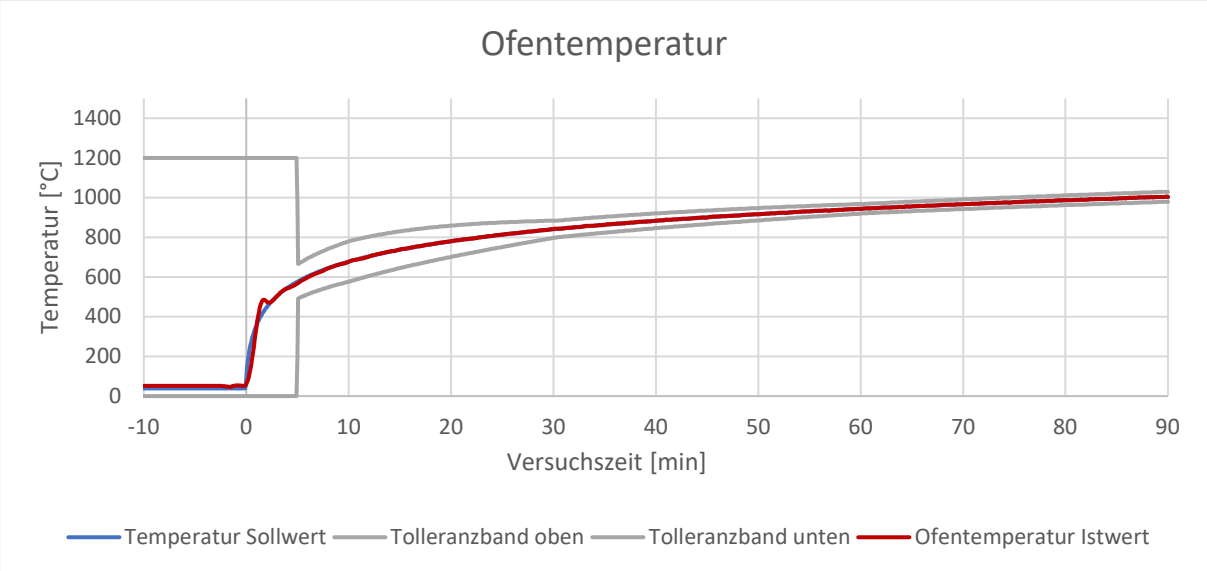
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

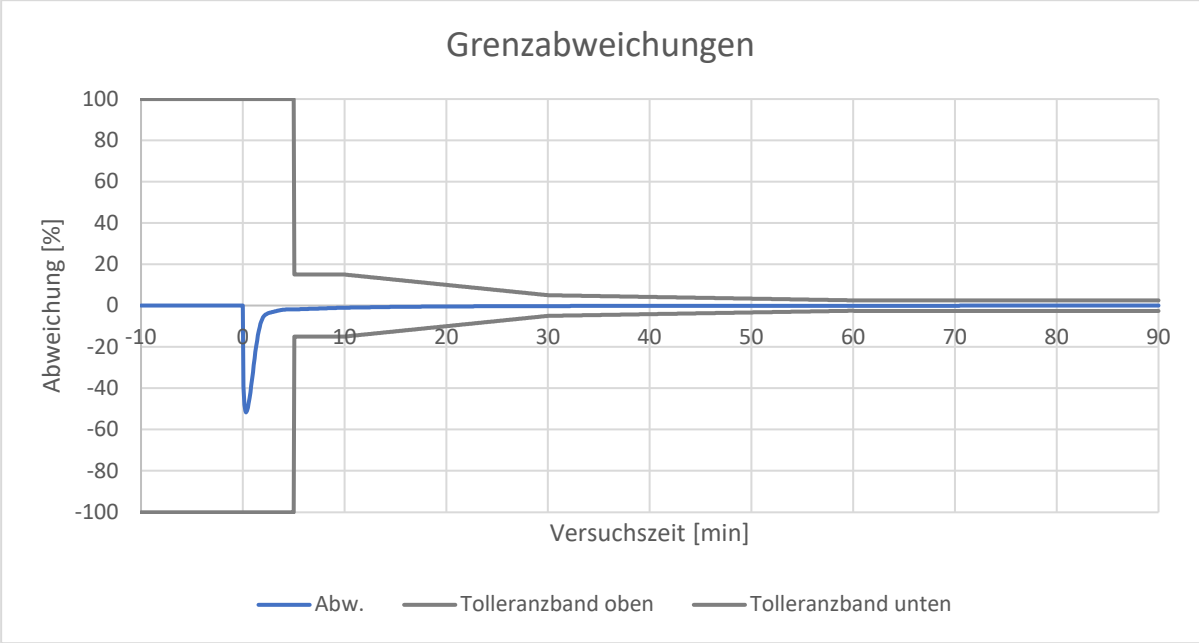
Umgebungsdruck:	998 mbar
Umgebungstemperatur:	11 °C
Luftfeuchte in %:	72 % rh

2.2 Prüfbedingungen

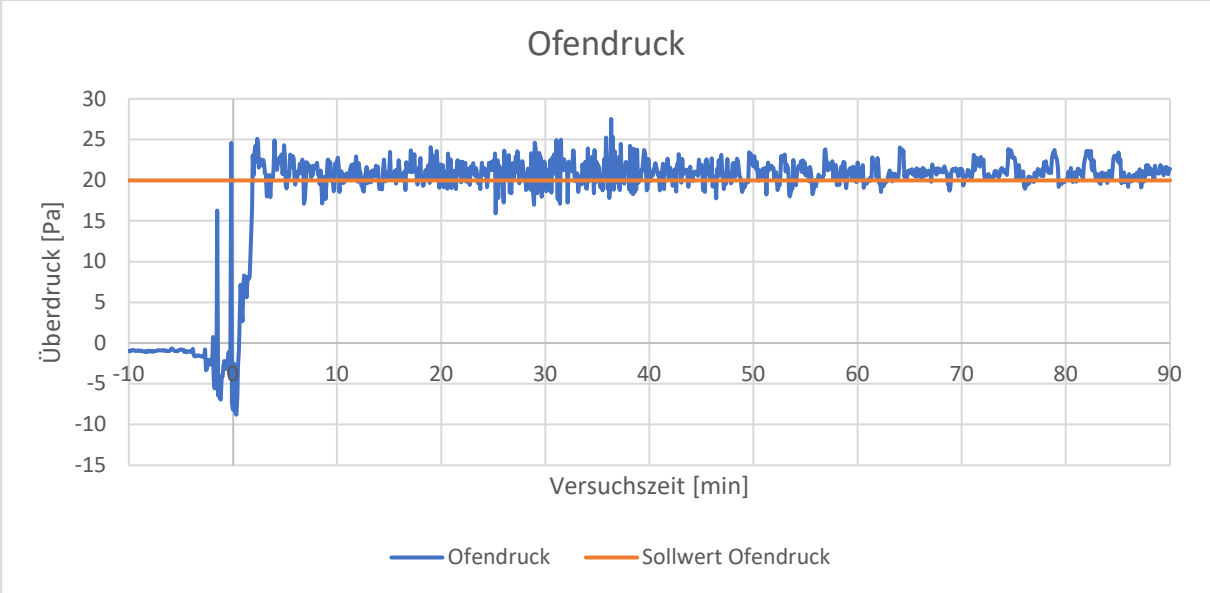
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



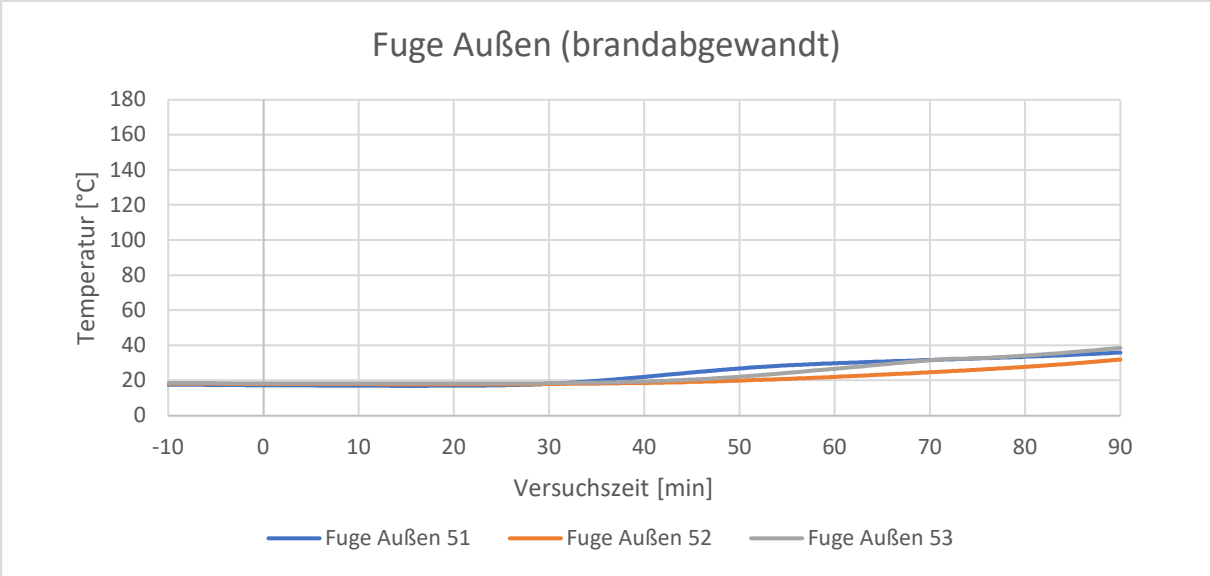
Ofenüberdruck

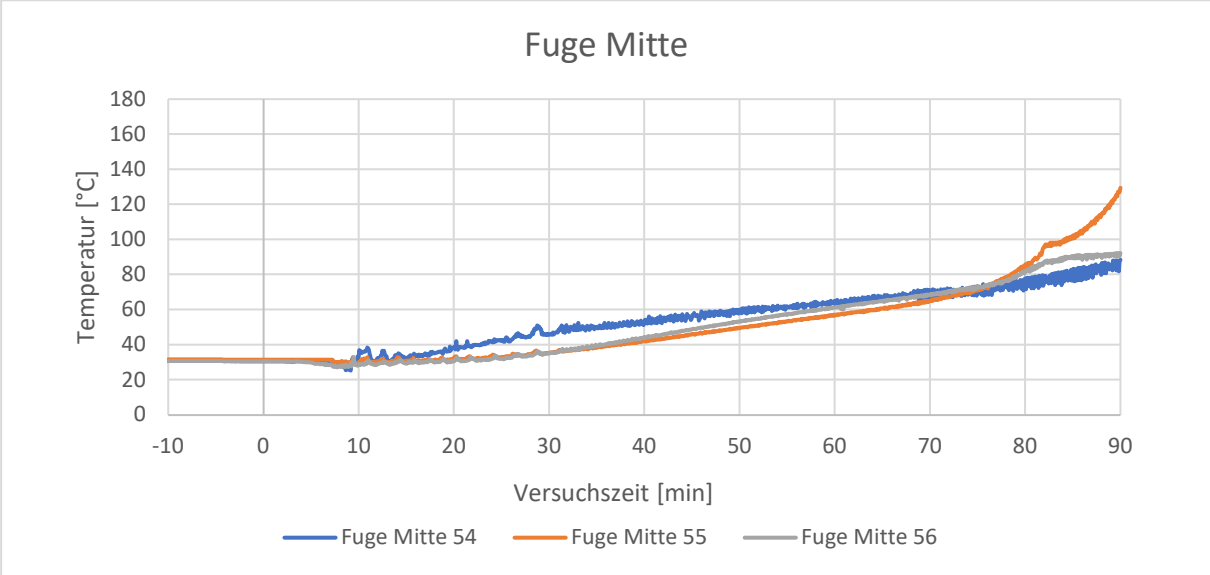


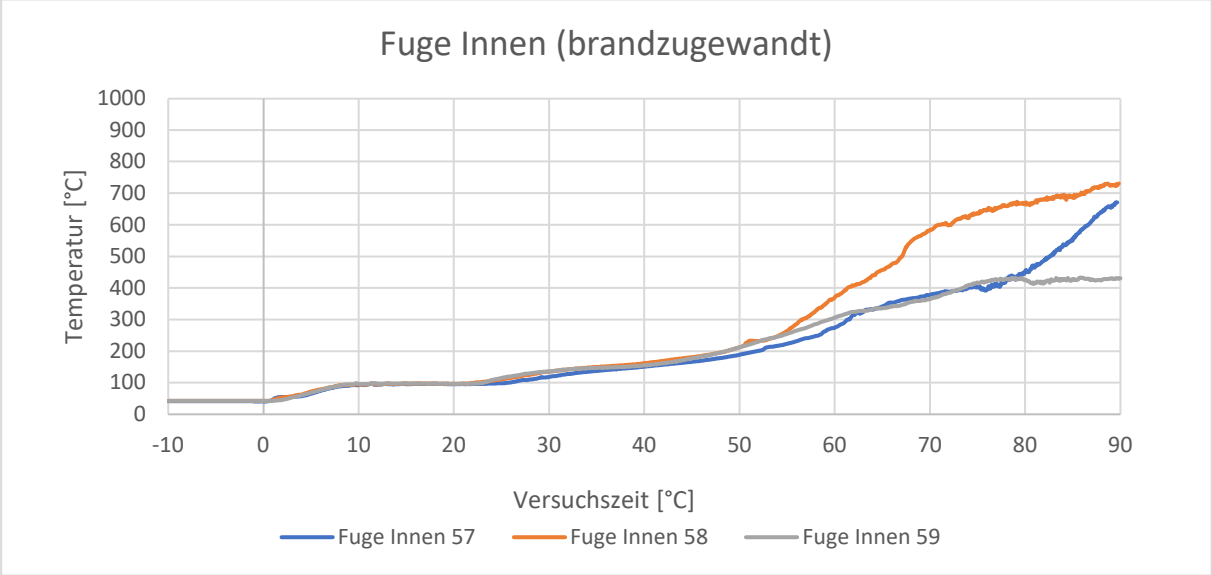
3.Auswertung

3.1. Temperaturverläufe

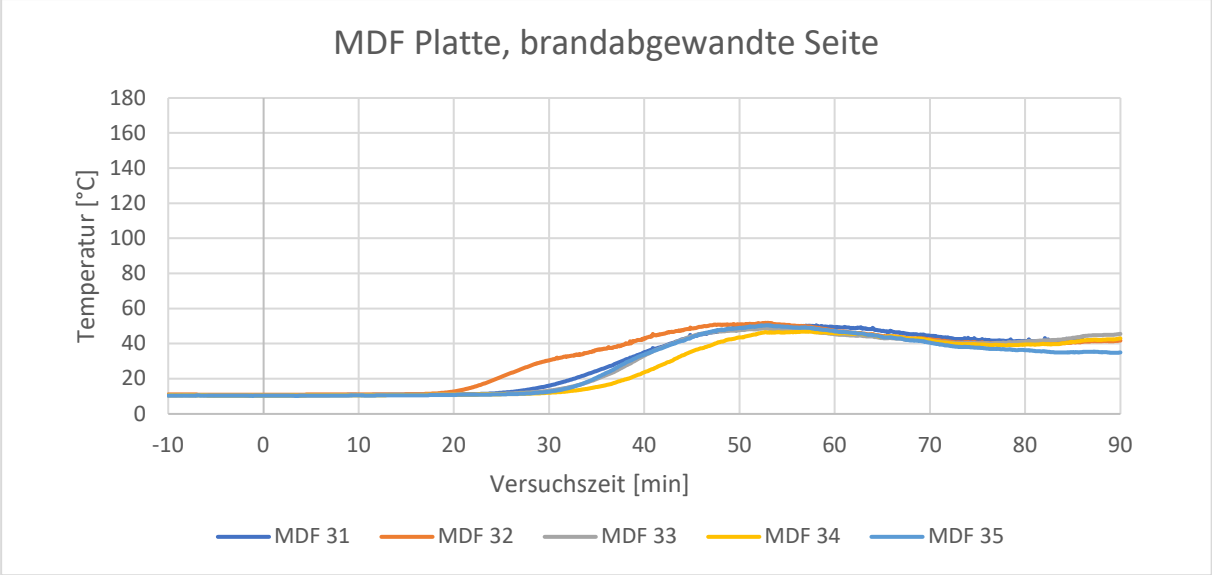
Temperaturverlauf Bauteilfuge

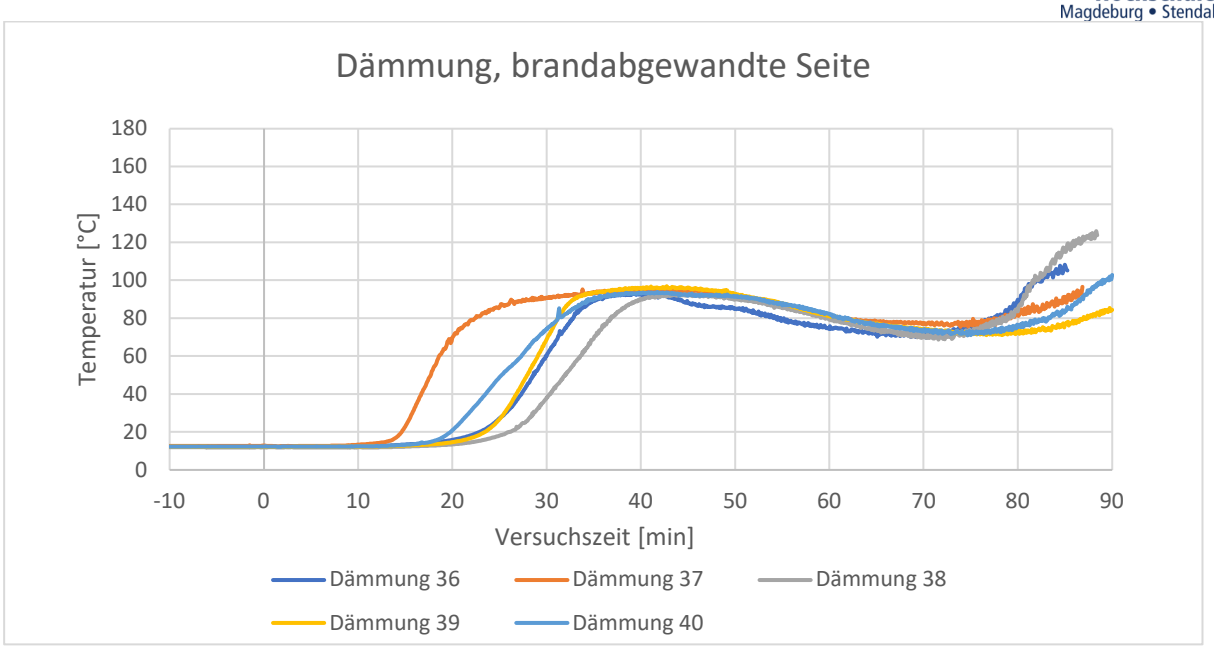


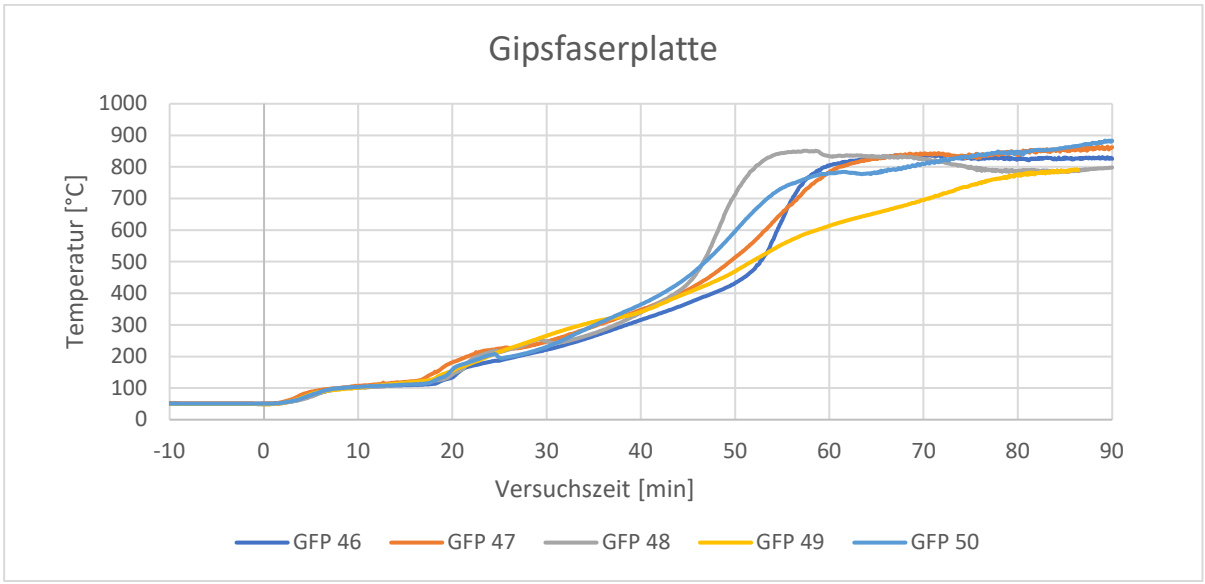




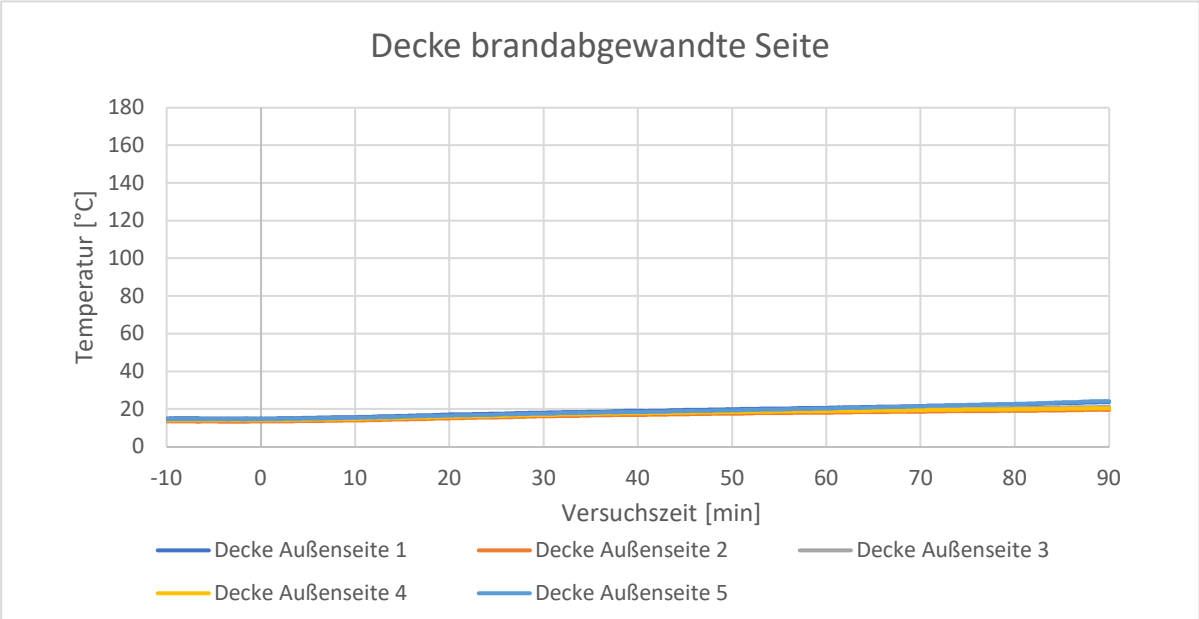
Temperaturverlauf Wand




Dämmung, brandabgewandte Seite
Temperatur [°C]
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
Dämmung 36
Dämmung 37
Dämmung 38
Dämmung 39
Dämmung 40

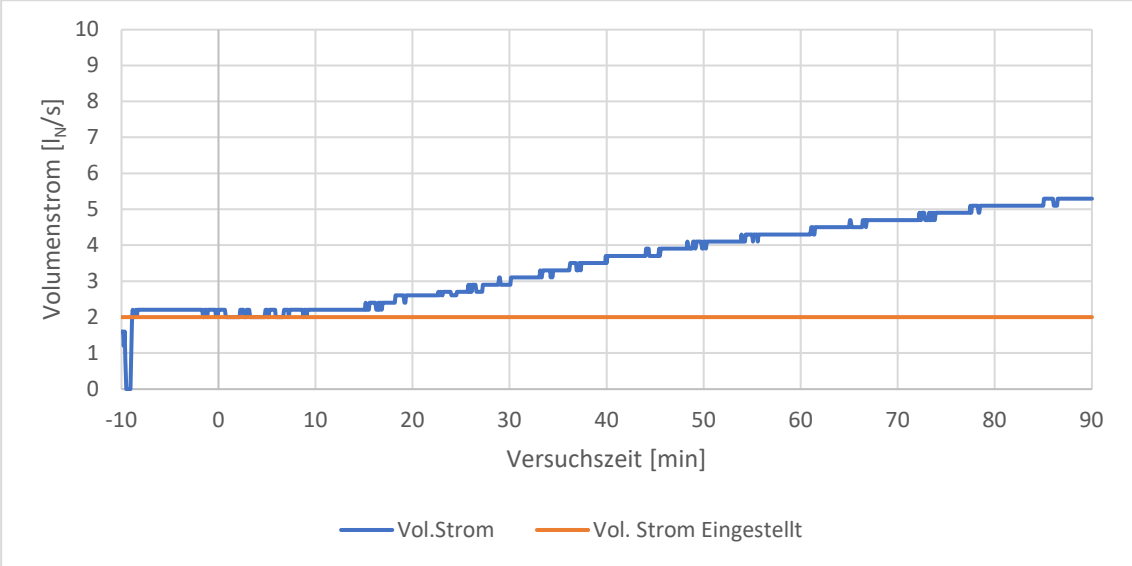

Gipsfaserplatte
Temperatur [°C]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
GFP 46
GFP 47
GFP 48
GFP 49
GFP 50

Temperaturverlauf Decke

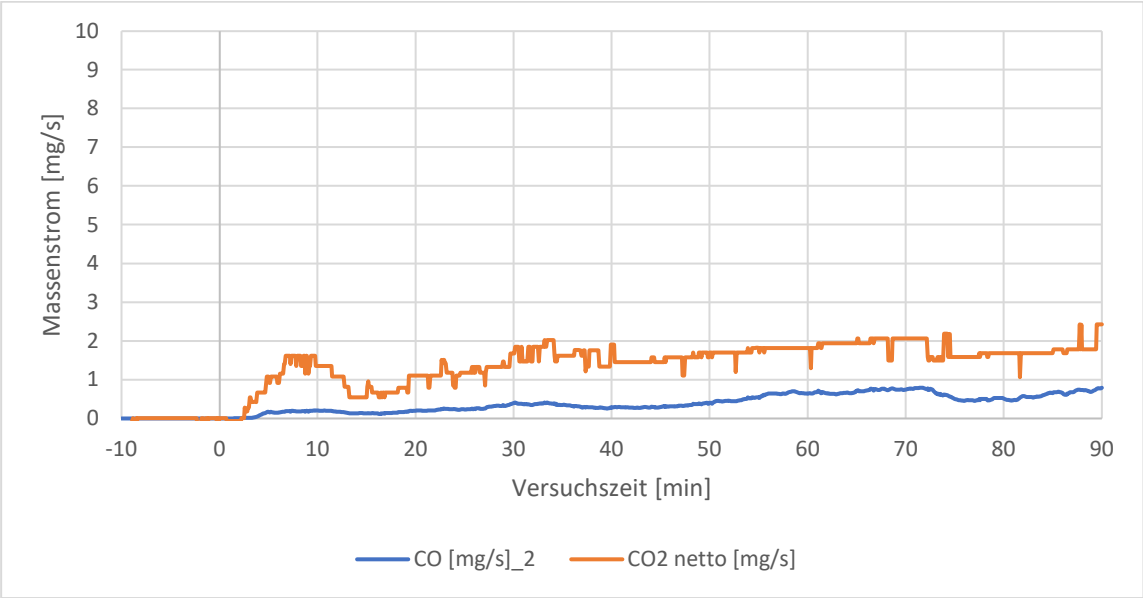


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

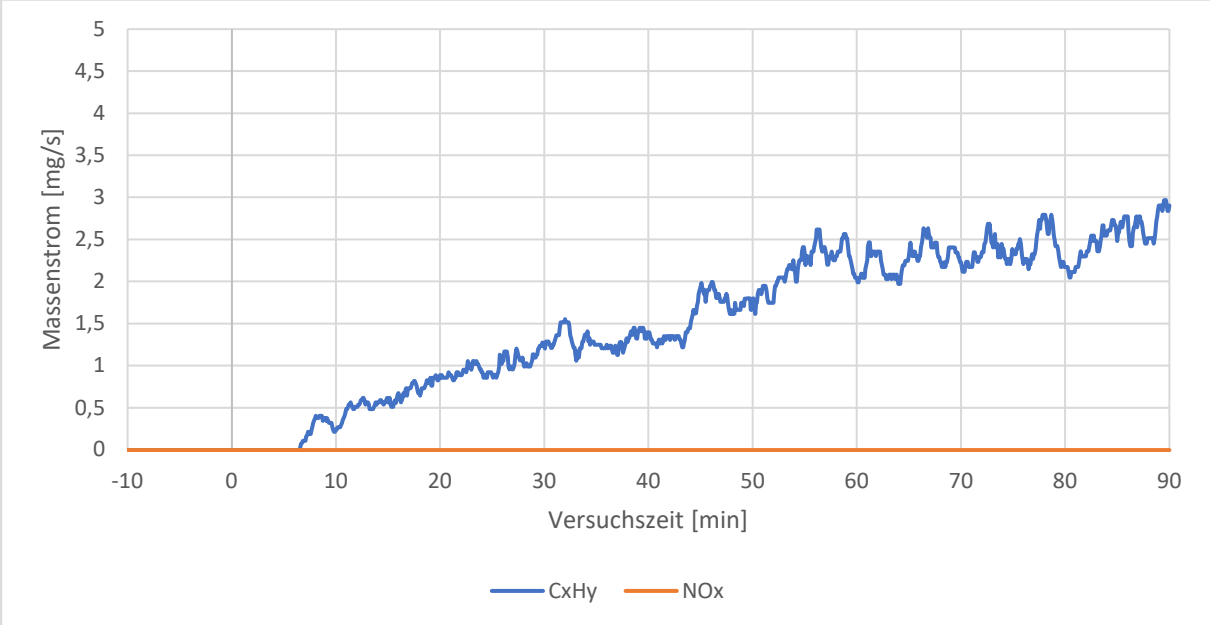
Volumenstrom



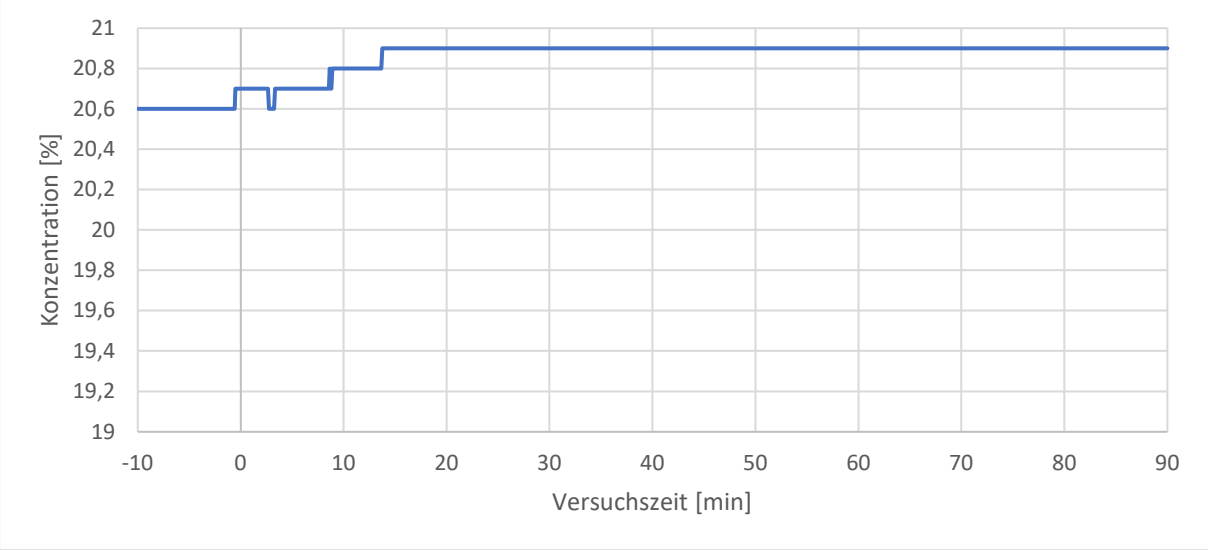
Massenströme CO, CO_2



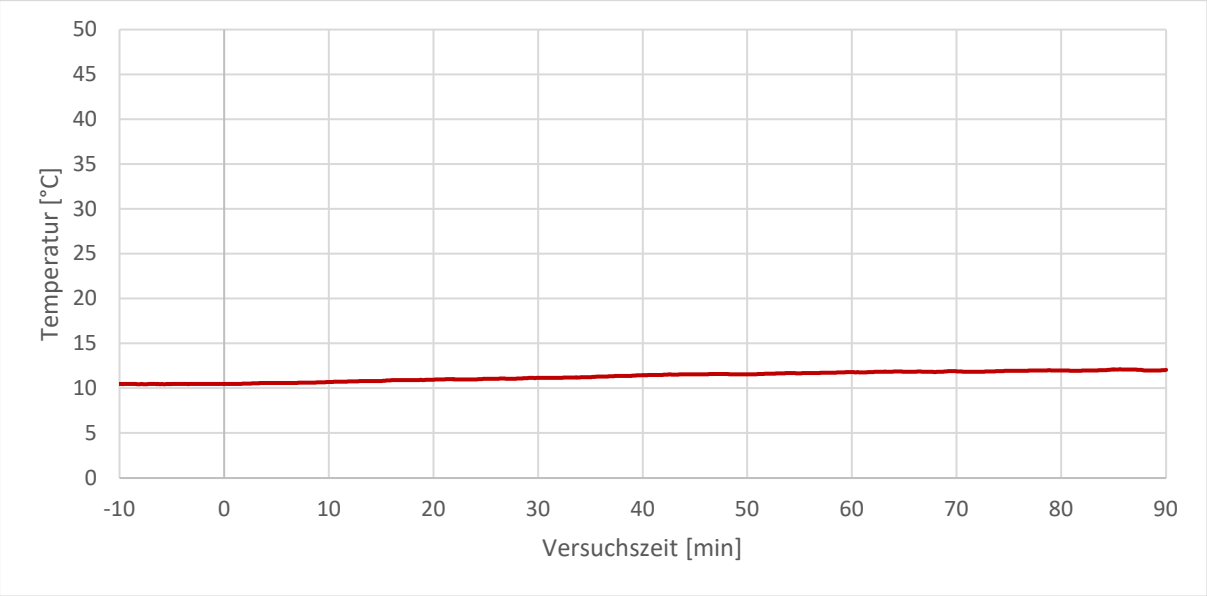
Massenströme C_xH_y, NO_x



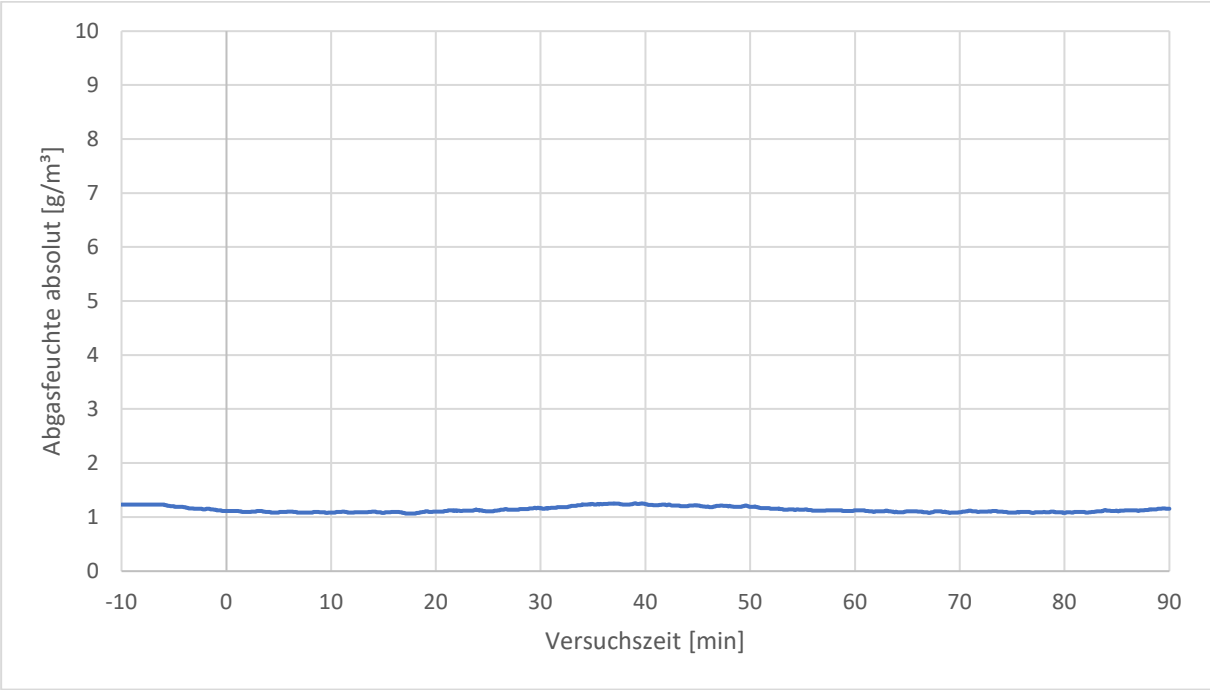
O_2-Konzentration



Abgastemperatur



Absolute Abgasfeuchte



3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
6.	Geringer Rauchdurchtritt im linken Randbereich der Bauteilfuge außerhalb RAK, mit Klebeband abgedichtet	x
20.	Schneller Temperaturanstieg an TE 37	
29.	Leichter Wasserdampfaustritt am Rähm rechtsseitig	x
31.	Wasserdampfaustritt zw. Schwelle/Rähm und Ständer beidseitig	x
32.	Fuge optisch Dicht, Anstieg Rauchgasvolumenstrom RAK	
39.	Nachdichtung Deckenbereich rückseitig	
46.	Dampfdurchtritt zw. KVH und MDF-Platte sichtbar	
51.	Leichte Rauchgasströmung aus dem Abgasrohr des RAK erkennbar	x
72.	Leichte Rauchentwicklung im RAK	
90.	Versuchsende	

4. Anhänge/Fotodokumentation

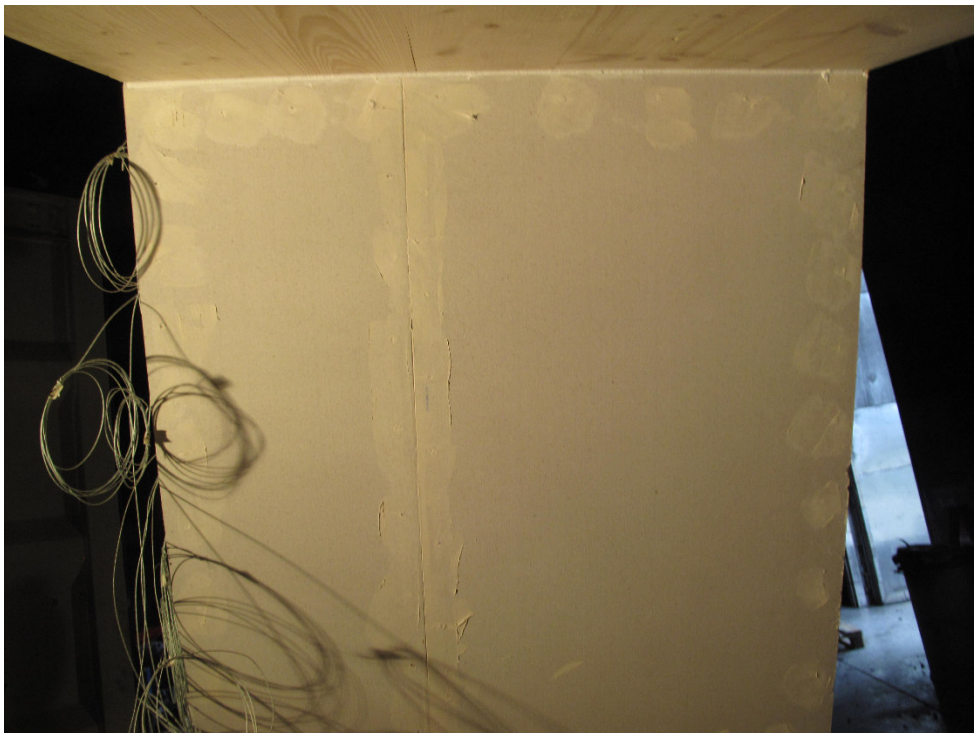


Abbildung 1: Probekörper, brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 2: Fuge, brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

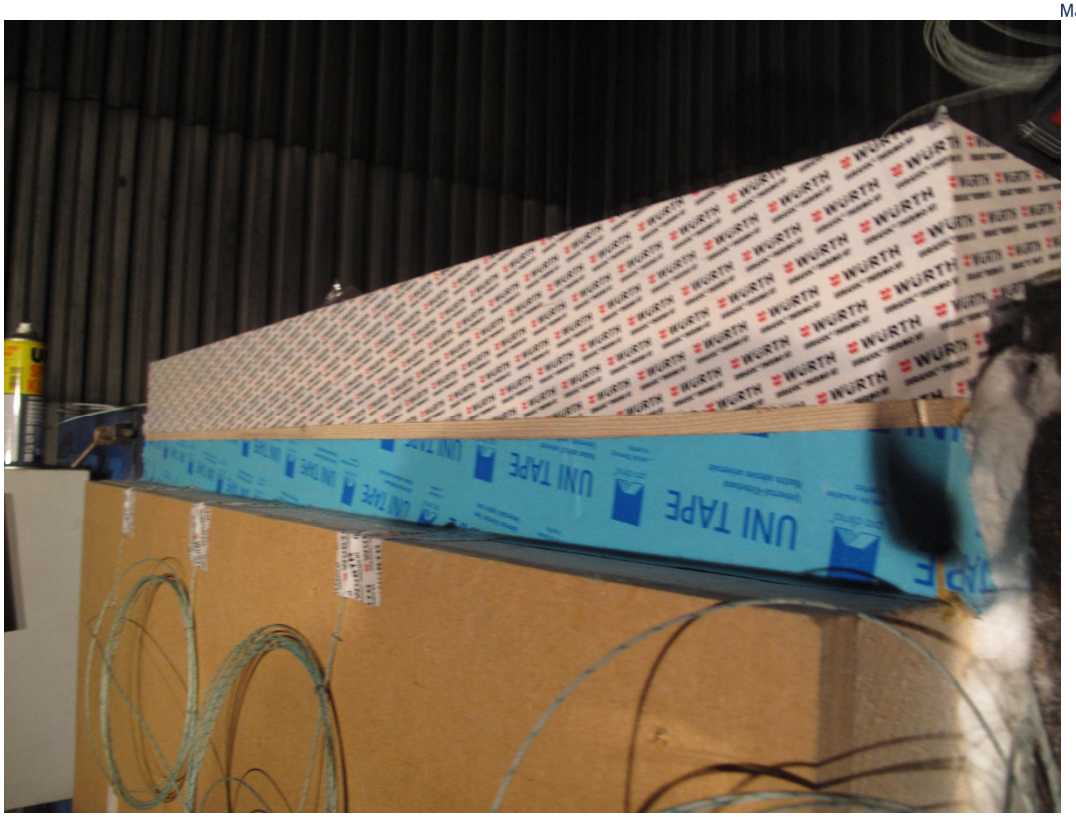


Abbildung 3: Fuge, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

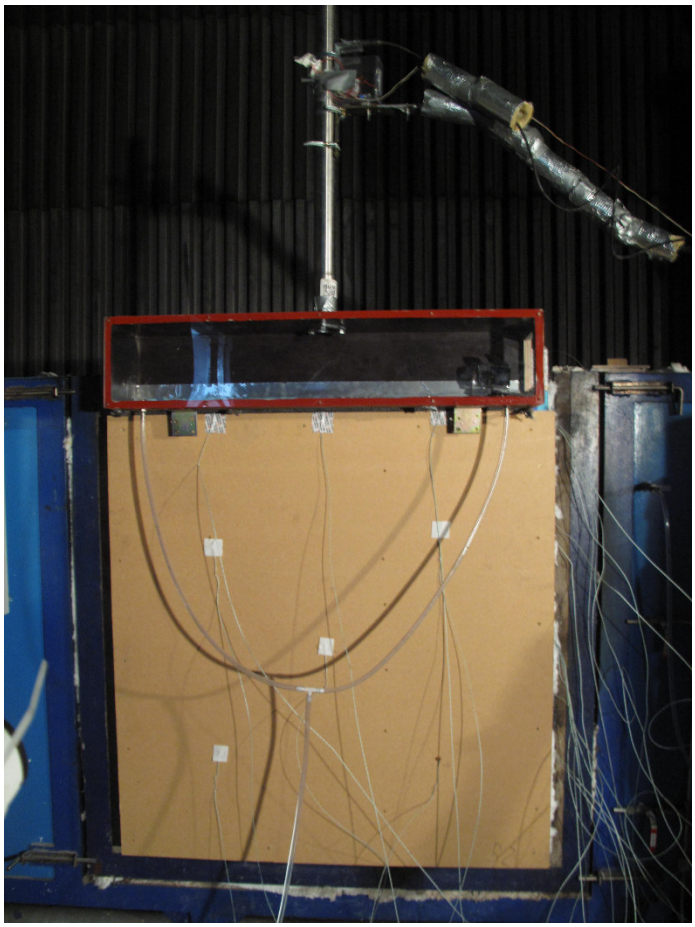


Abbildung 4: Wand, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 5: Decke, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

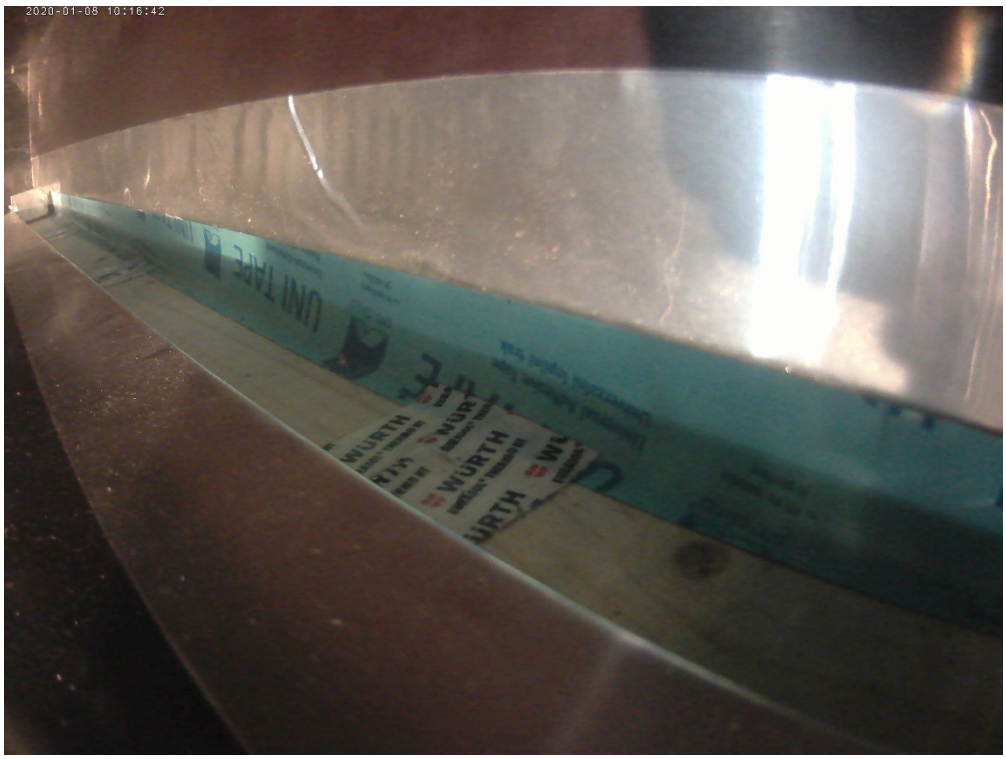


Abbildung 6: Fuge, RAK (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 7: Geringer Rauchdurchtritt im Randbereich, abgedichtet (6. Versuchsminute)



Abbildung 8: Leichte Kondenswasserbildung zwischen Rähm und Stiel, rechtsseitig (29. Versuchsminute)



Abbildung 9: Leichte Kondenswasserbildung zwischen Schwelle und Stiel, linksseitig (31. Versuchsminute)

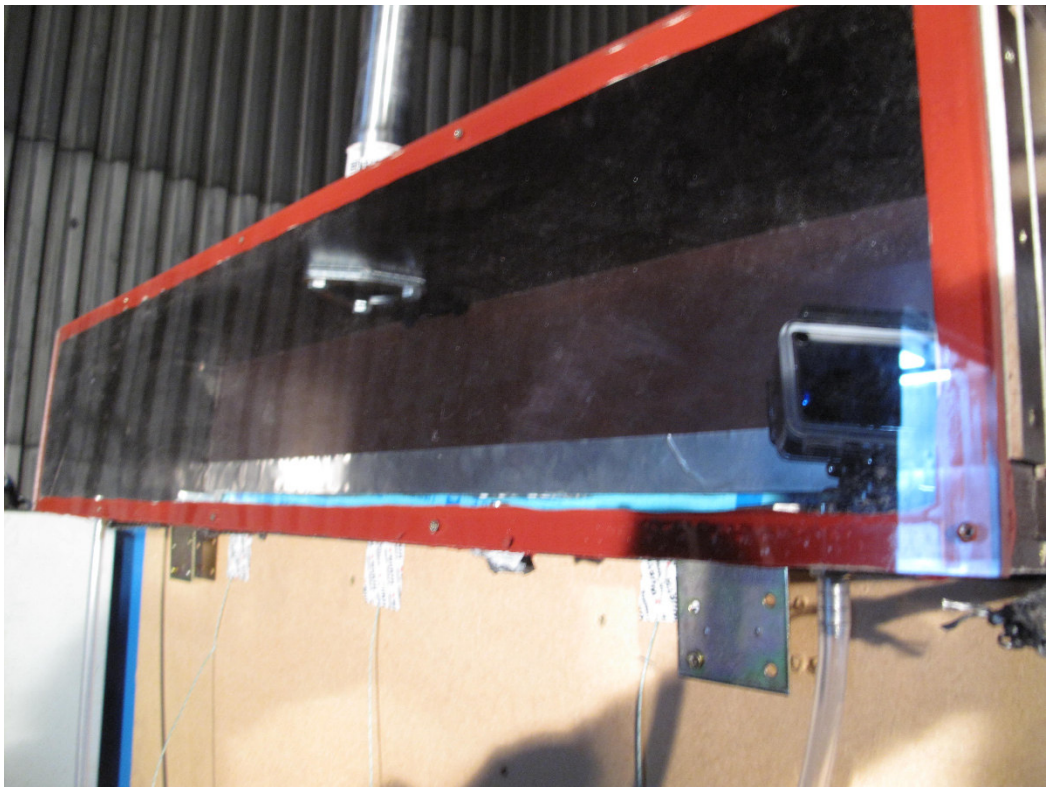


Abbildung 10: Geringe Rauchentwicklung im RAK sichtbar (51. Versuchsminute)



Abbildung 11: Wand, brandabgewandte Seite (70. Versuchsminute)

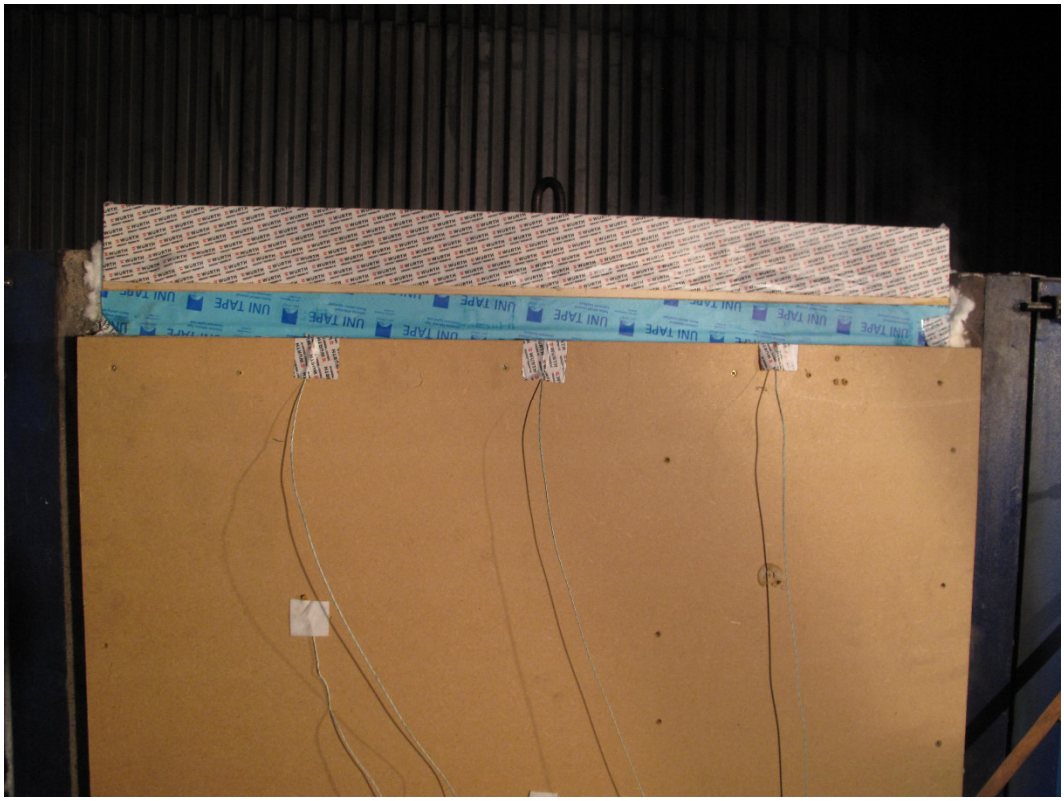


Abbildung 12: Wand, brandabgewandte Seite (90. Versuchsminute)



Abbildung 13: Bauteilfuge, brandabgewandte Seite (90. Versuchsminute)

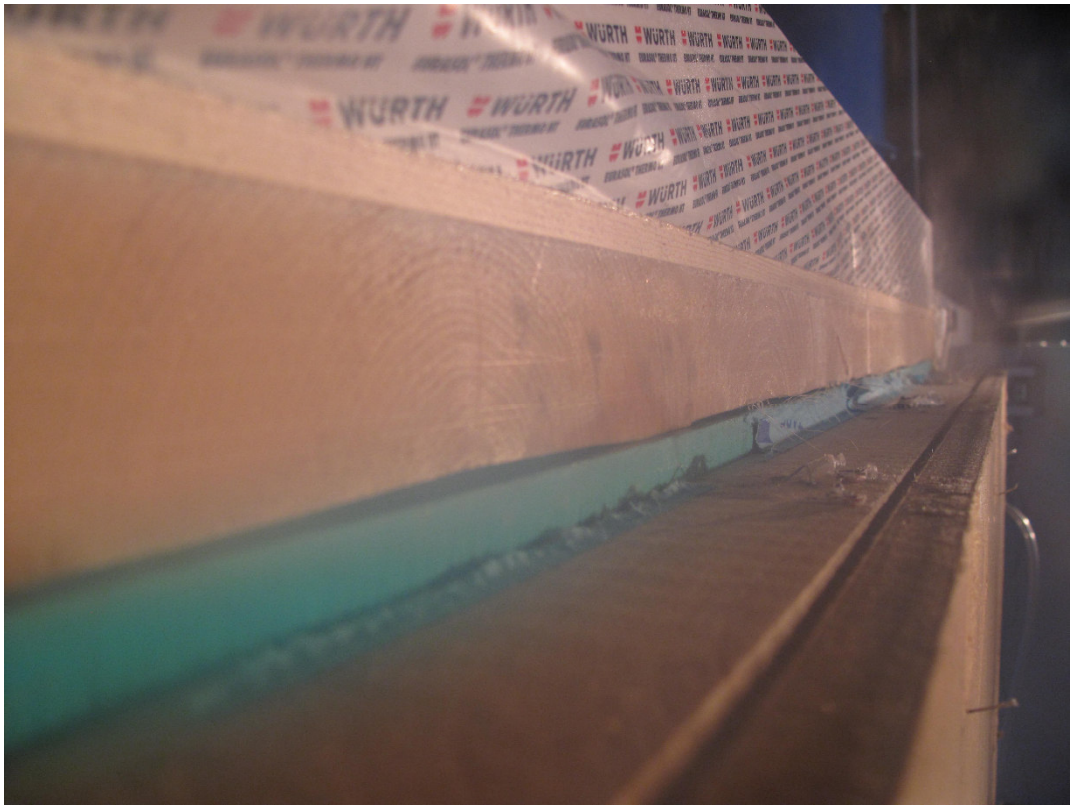


Abbildung 14: Bauteilfuge, brandabgewandte Seite, Abnahme des Klebebandes (90. Versuchsminute)

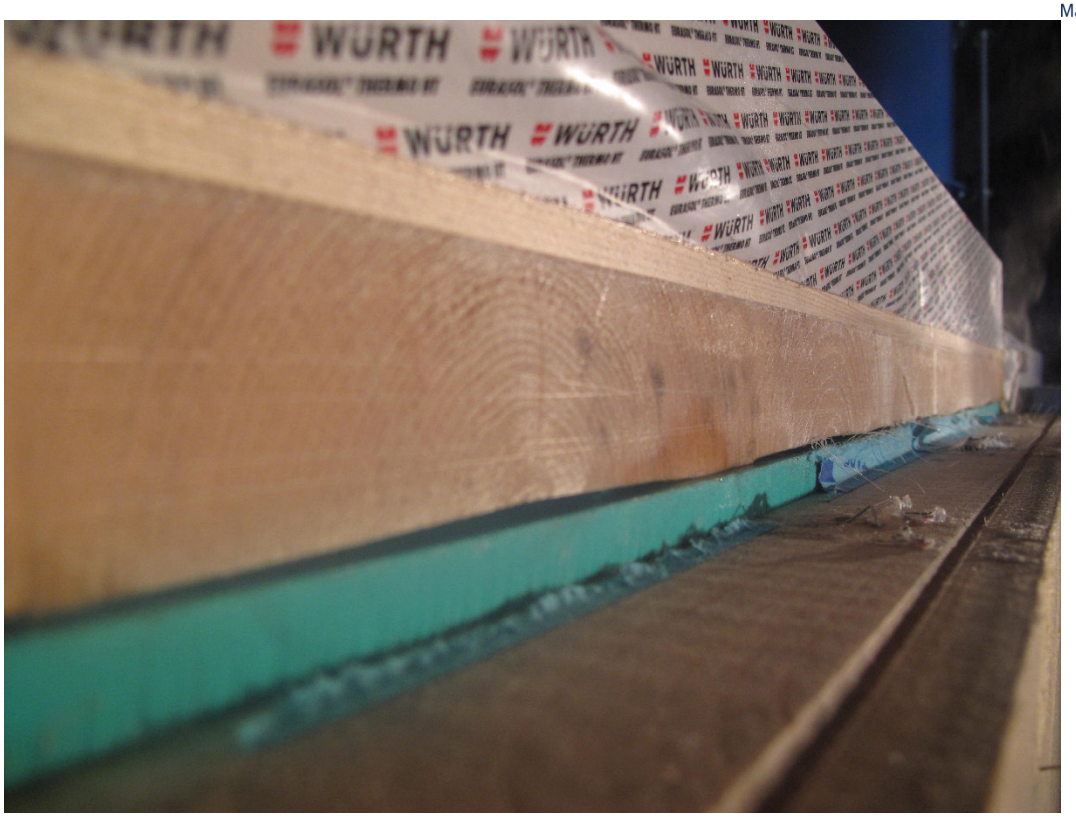


Abbildung 15: Bauteilfuge, brandabgew. Seite, Abnahme Klebeband (nach Versuchsende), Blick von links

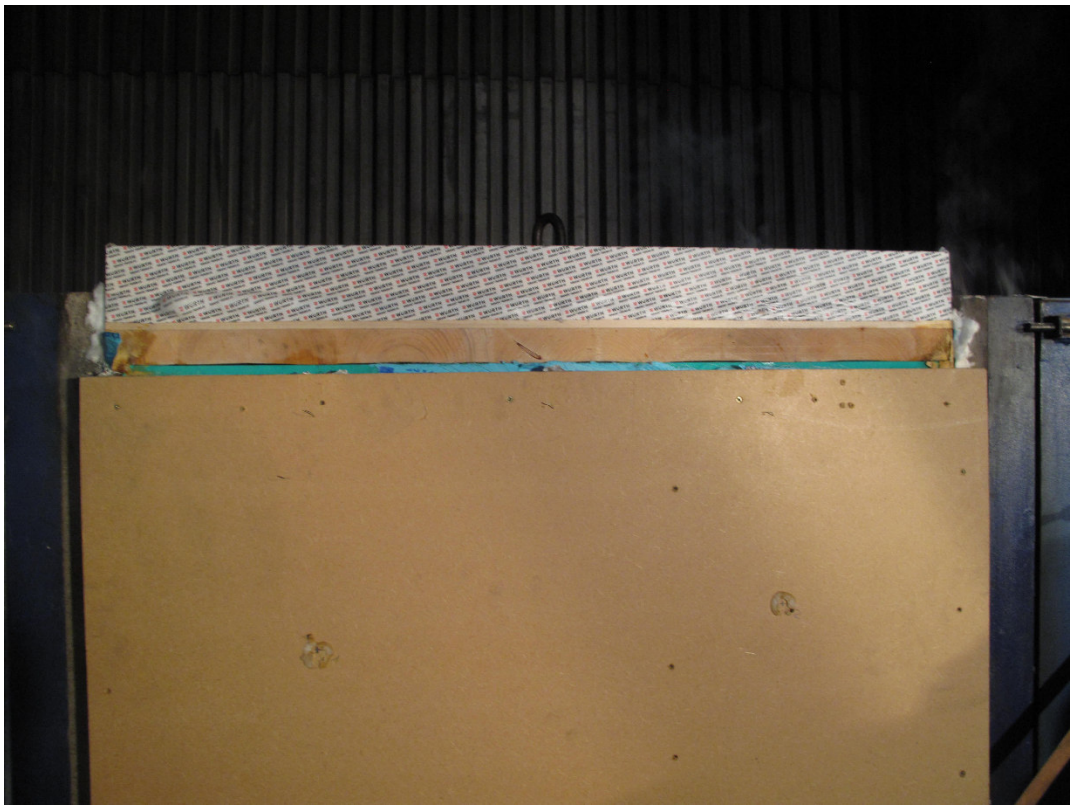


Abbildung 16: Bauteilfuge, brandabgew. Seite, Abnahme Klebeband (nach Versuchsende)

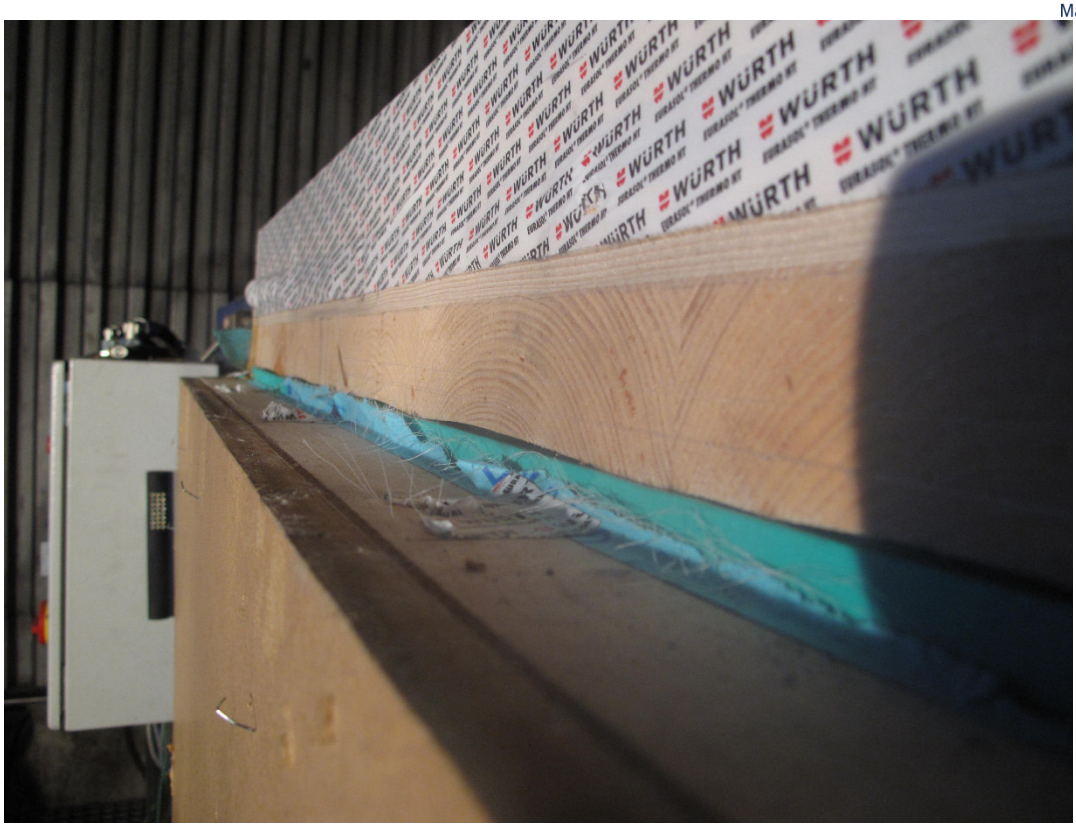


Abbildung 17: Bauteilfuge, brandabgew. Seite, Abnahme Klebeband (nach Versuchsende), Blick von rechts



Abbildung 18: Wand mit Elastomerlager, Blick von brandabgew. Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 19: Wand mit Elastomerlager, Blick von brandzugew. Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 20: Wand, Blick von brandzugew. Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 21: Wand, Blick von brandzugew. Seite (nach Versuchsende)

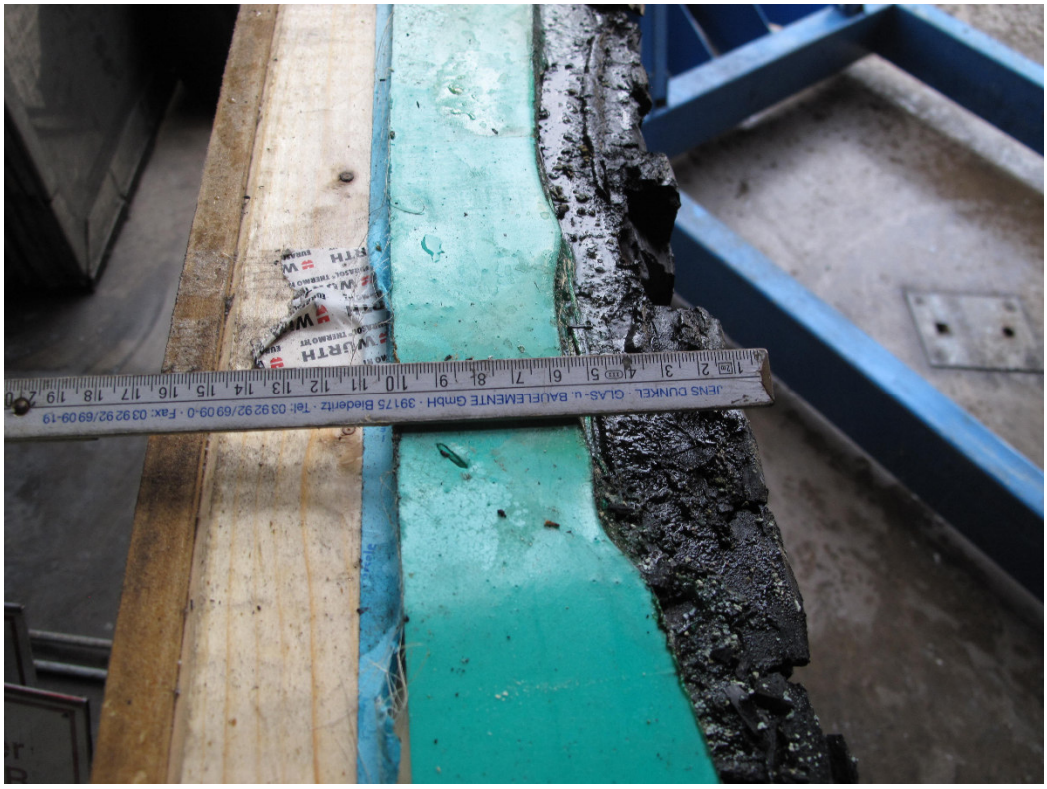


Abbildung 22: Abbrandtiefe des Elastomerlagers (TE 53)

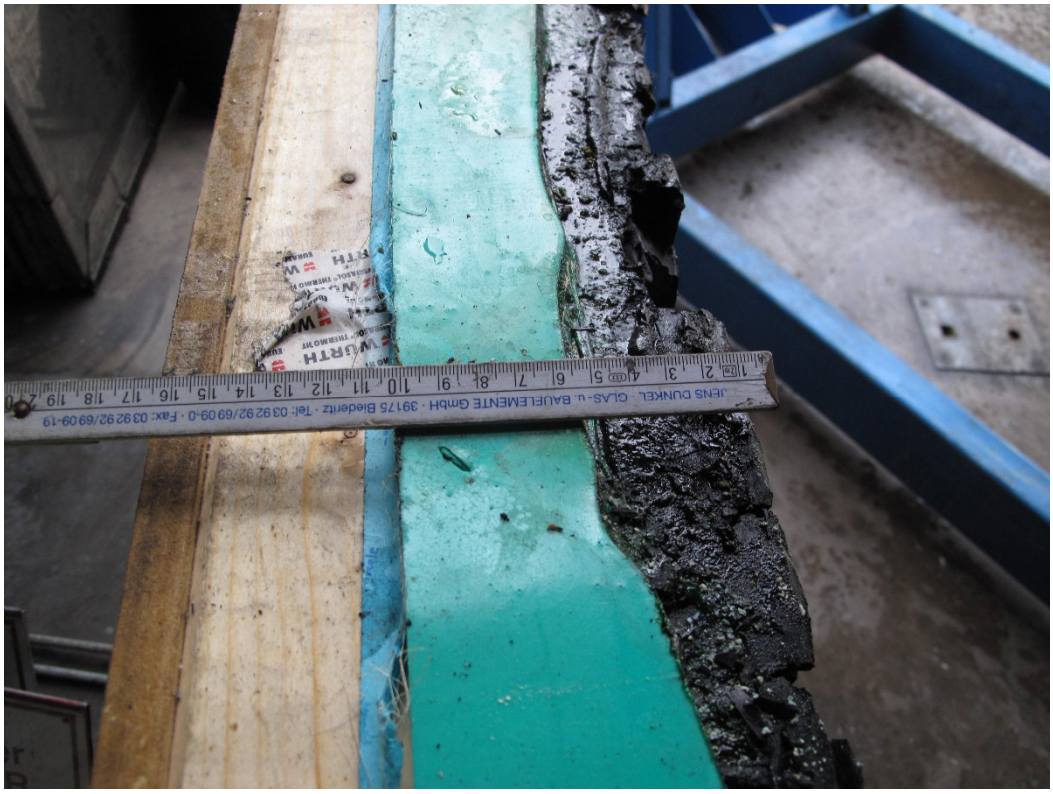


Abbildung 23: Abbrandtiefe des Elastomerlagers (TE 52)



Abbildung 24: Abbrandtiefe des Elastomerlagers (TE 51)



Abbildung 25: Wand mit Elastomerlager, Blick von brandabgew. Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 26: Decke, Blick von brandzugew. Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 27: Decke, Blick von brandzugew. Seite (nach Versuchsende)

4.1. Darstellung der Restquerschnitte

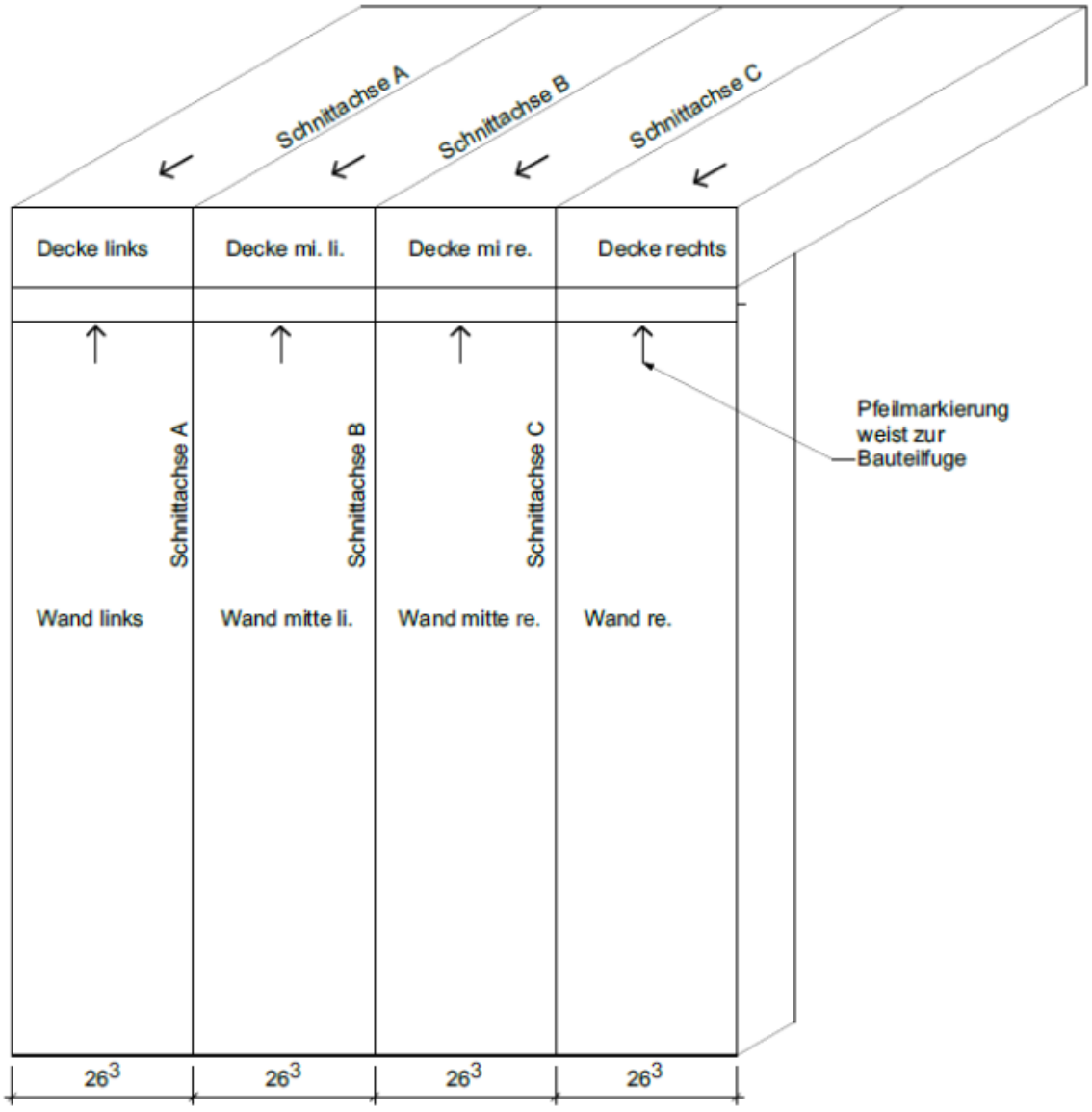


Abbildung 28: Schnittebenen



Abbildung 29: Restquerschnitt Decke, Schnittebenen



Abbildung 30: Restquerschnitt Decke, Außenseite links



Abbildung 31: Restquerschnitt Decke, Schnittachse A



Abbildung 32: Restquerschnitt Decke, Schnittachse B



Abbildung 33: Restquerschnitt Decke, Schnittachse C



Abbildung 34: Restquerschnitt Decke, Außenseite rechts

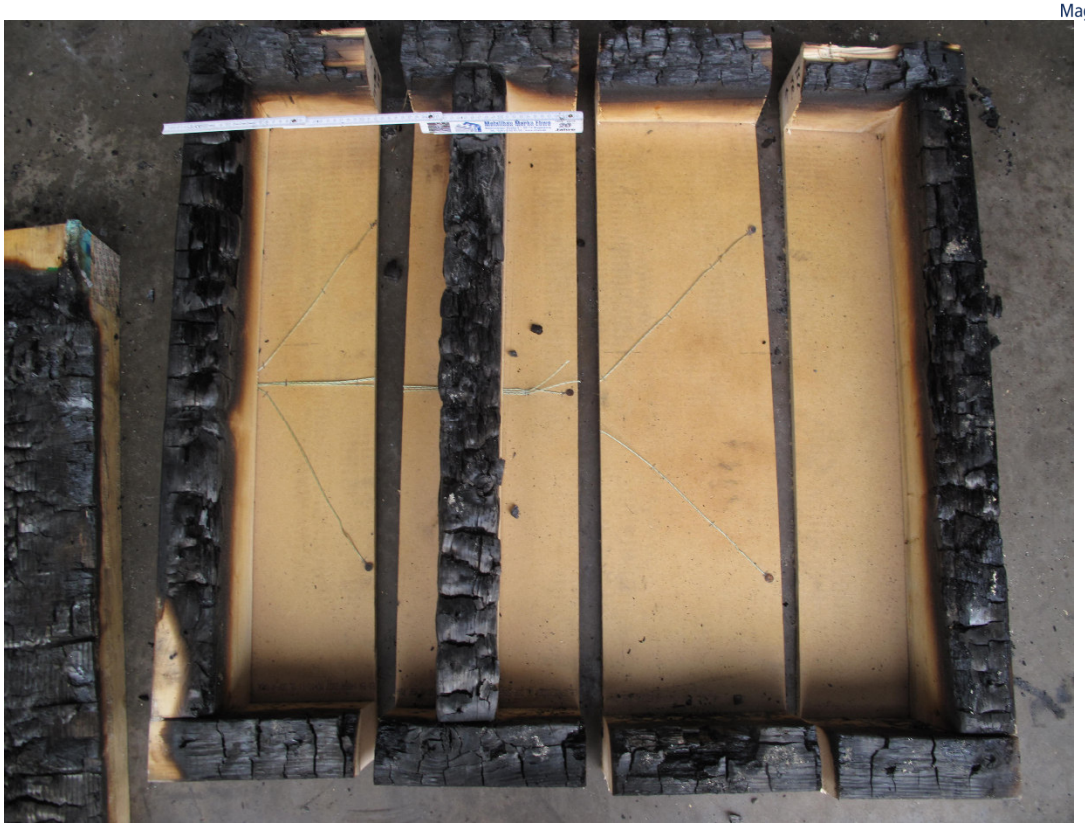


Abbildung 35: Restquerschnitt Wand, brandzugewandte Seite



Abbildung 36: Restquerschnitt Wand, Schnittachse A



Abbildung 37: Restquerschnitt Wand, Schnittachse B

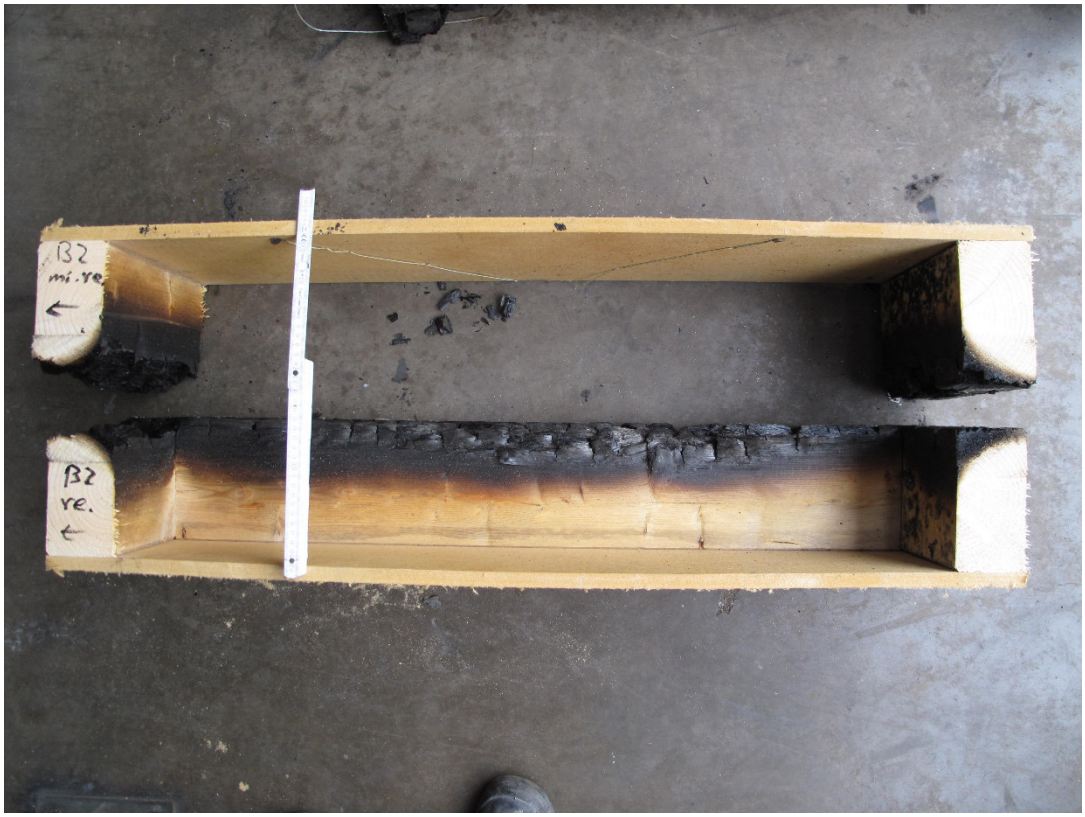


Abbildung 38: Restquerschnitt Wand, Schnittachse C

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: C1_BSP-HTB_SW-V_90

Datum: 18.02.2020

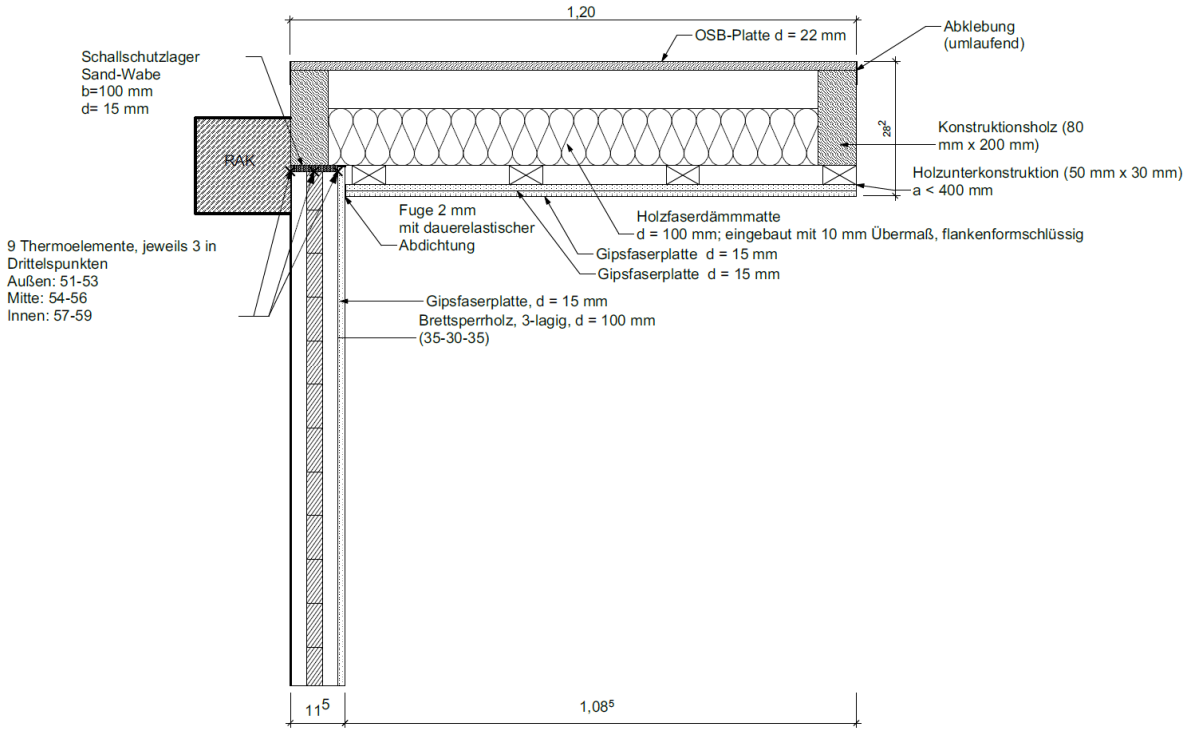
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite) 4
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite) 4
Draufsicht Decke (brandabgewandte Seite) 5
Untersicht Unterkonstruktion Decke (brandzugewandte Seite) 5
Ansicht Unterseite Decke 1. Lage (brandzugewandte Seite) 6
Ansicht Unterseite Decke 2. Lage (brandzugewandte Seite) 6
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 7
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 7
Weitere verwendete Materiallen 7
2.Versuchsparameter 8
2.1 Umgebungsbedingungen 8
2.2 Prüfbedingungen 8
Temperaturzeitkurve 8
Grenzabweichungen 9
Ofenüberdruck 9
3.Auswertung 10
3.1. Temperaturverläufe 10
Temperaturverlauf Bauteilfuge 10
Temperaturverlauf Wand: 11
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 13
Volumenstrom 13
Massenströme CO, CO_2 13
Massenströme CxHy, NOx 14
O_2-Konzentration 14
Abgastemperatur 15
Absolute Abgasfeuchte 15
3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 16
4. Anhänge/Fotodokumentation 17
4.1. Bestimmung der Restquerschnitte 27

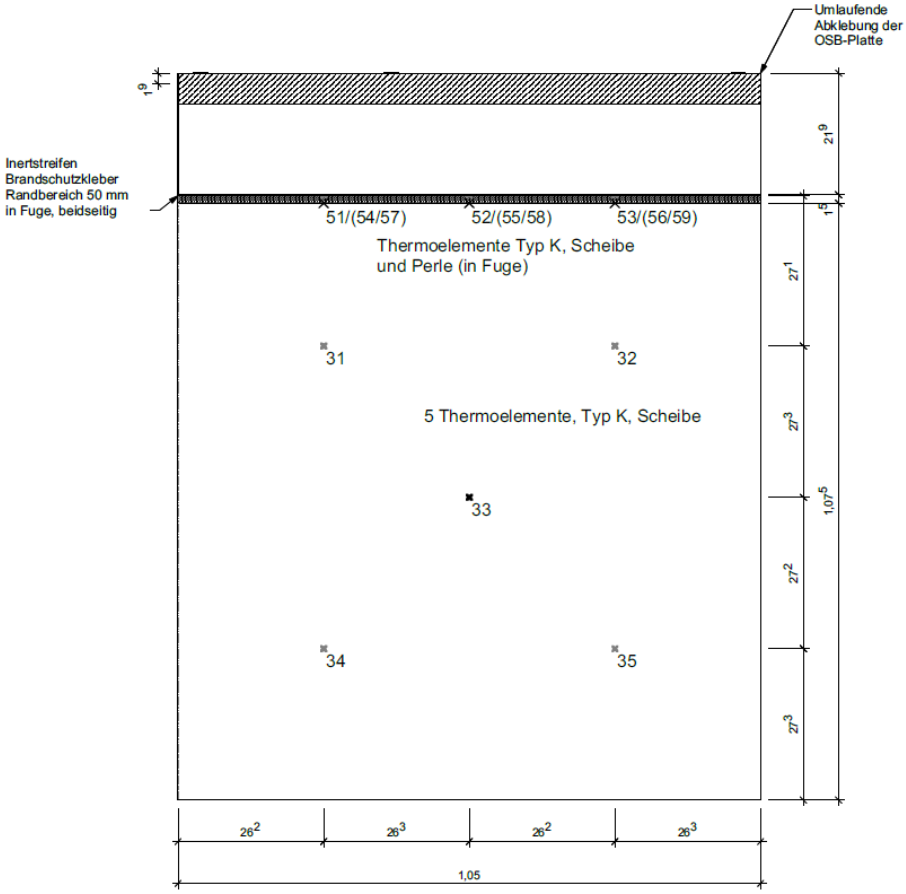
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

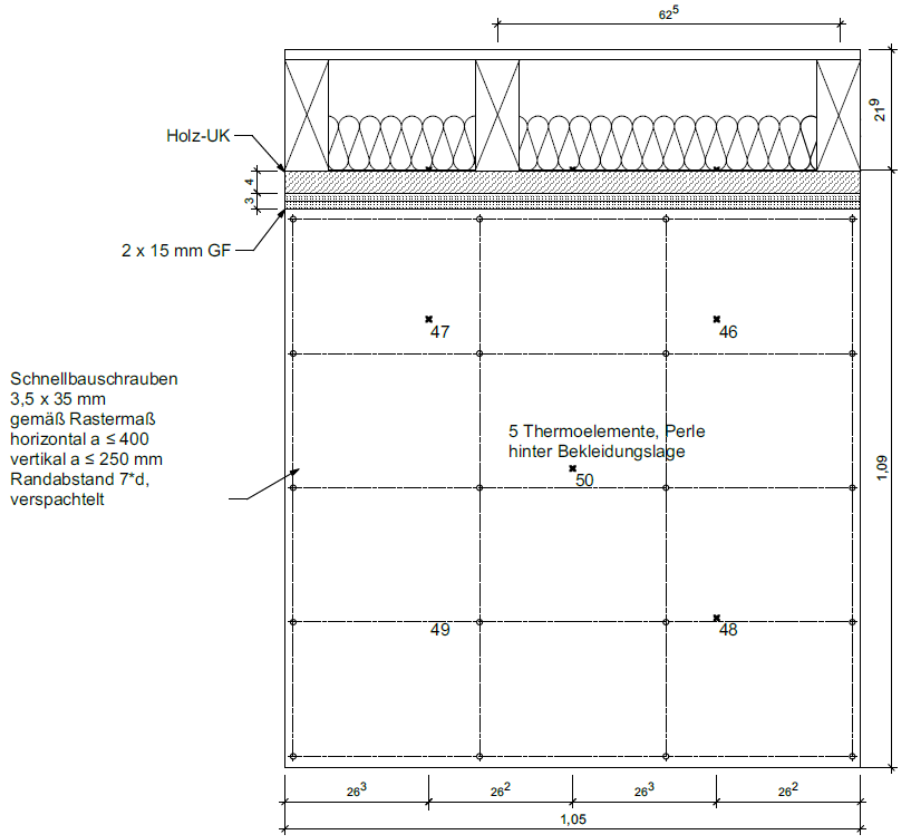
Schnitt



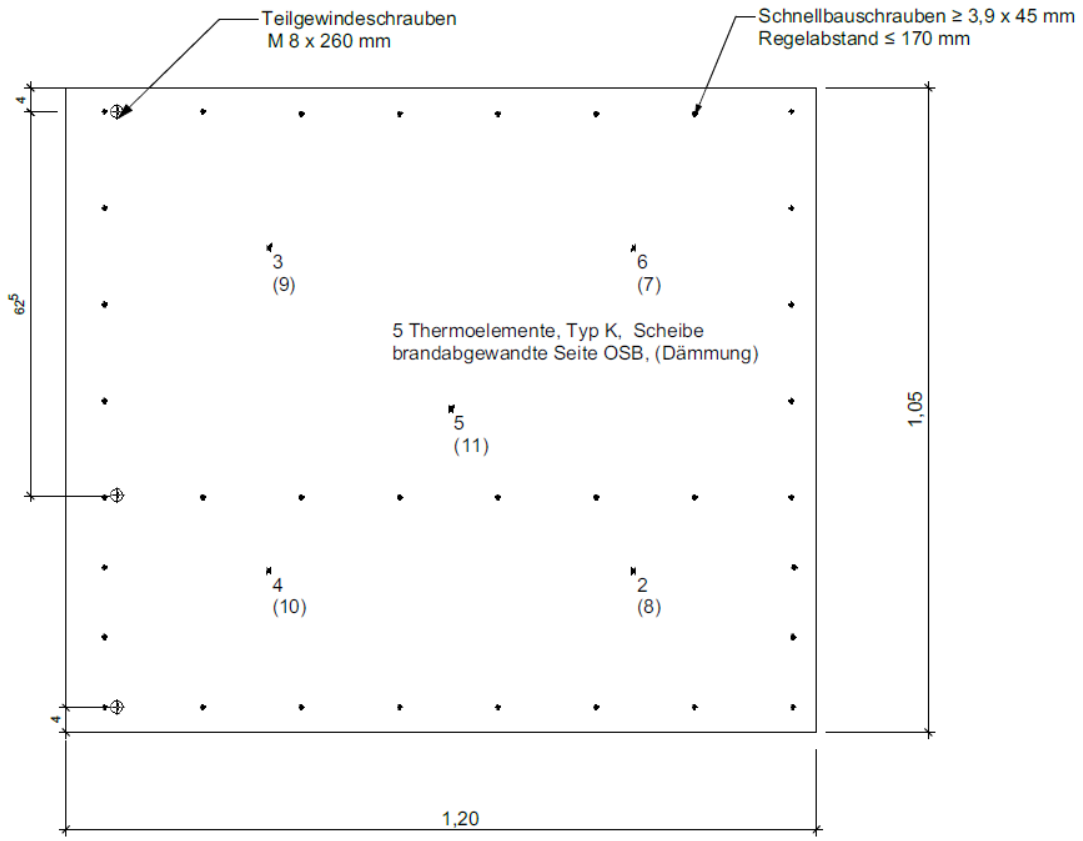
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite)



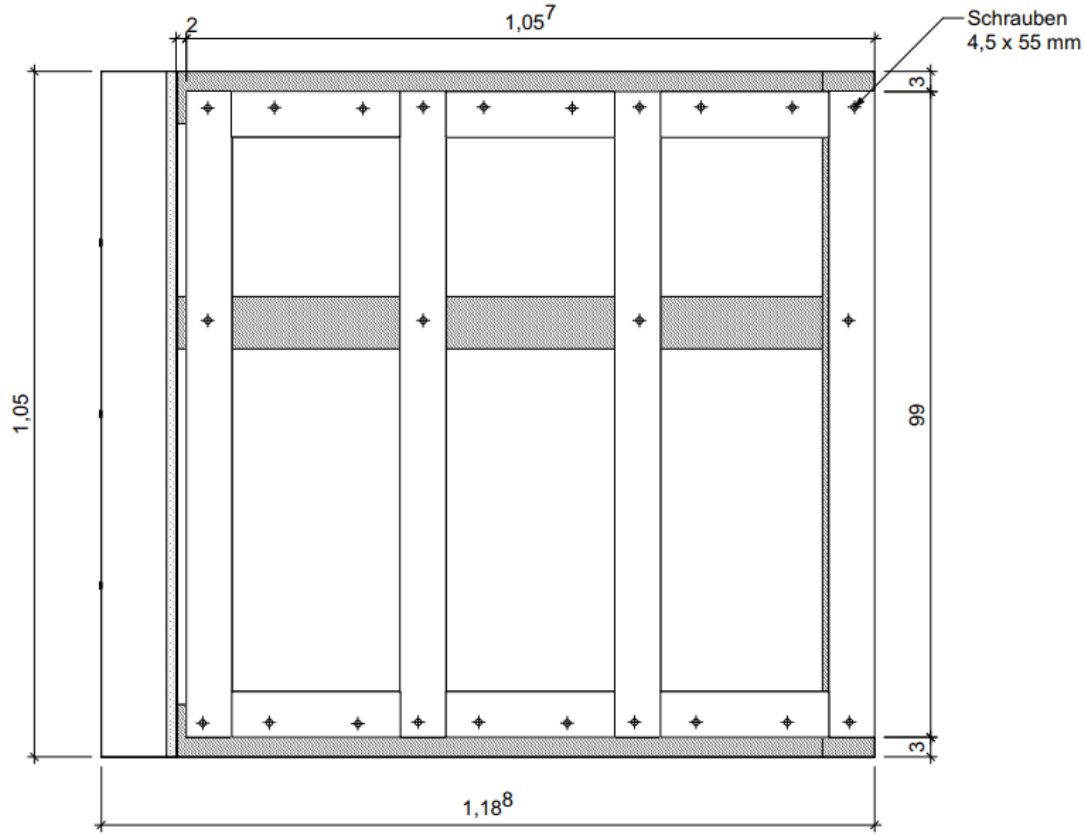
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite)



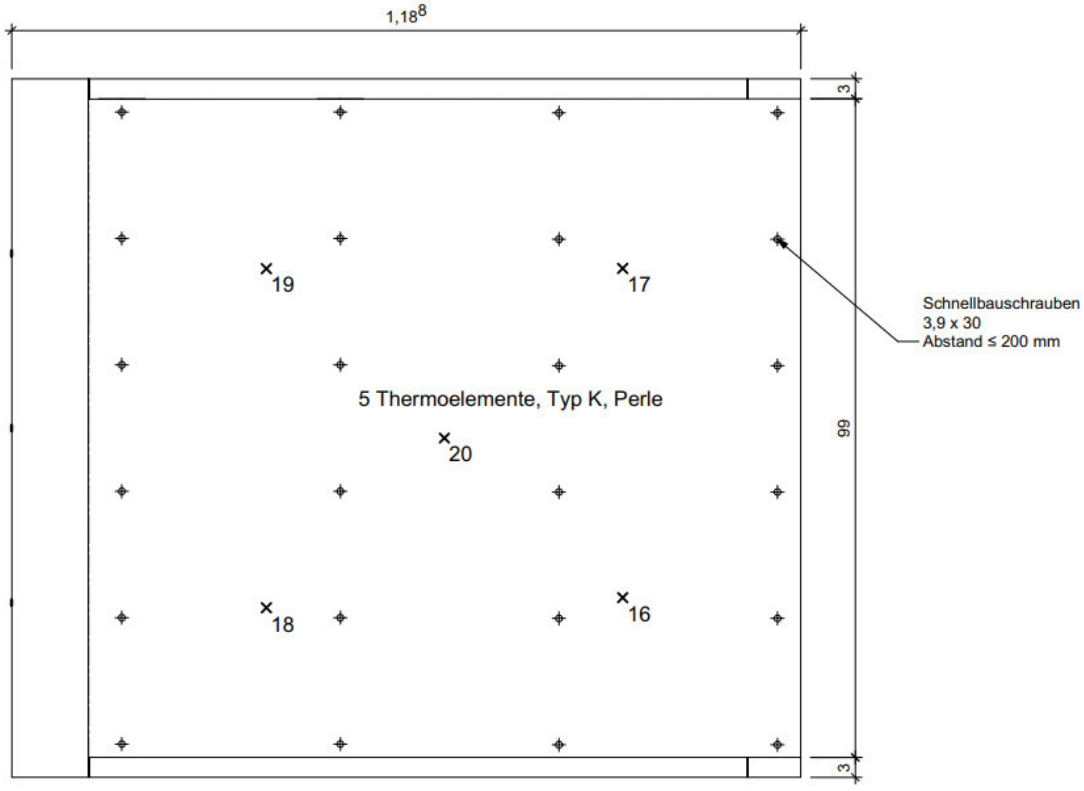
Draufsicht Decke (brandabgewandte Seite)



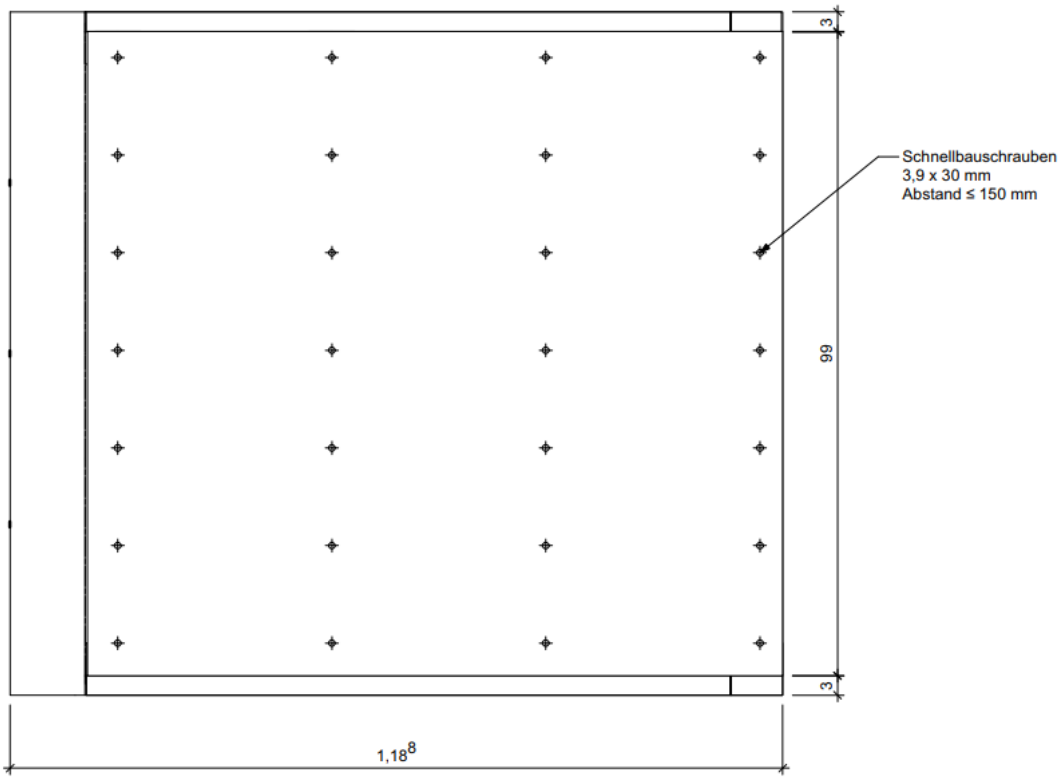
Untersicht Unterkonstruktion Decke (brandzugewandte Seite)



Ansicht Unterseite Decke 1. Lage (brandzugewandte Seite)



Ansicht Unterseite Decke 2. Lage (brandzugewandte Seite)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von Innen nach Außen

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	15 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W2	100 mm BSP-Element (35-30-35)	460	10 %	Derix

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von Innen nach Außen

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	15 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
D2	15 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
D3	Holzunterkonstruktion 50 mm x 30 mm	470	10 %	Sporkenbach
D4	100 mm Holzfaserdämmstoff Thermoflex	50	10 %	Gutex
D4	Konstruktionsebene KVH Nsi C24/S10	470	10 %	Sporkenbach
D5	22 mm OSB Platte	615	6 %	Egger

Weitere verwendete Materiallen

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben 3,9 x 35 mm	GiX	W1, D1, D2
Universalschrauben 4,5 x 55 mm	SpaX	D3
Universalschrauben 3,9 x 45 mm	SpaX	D5
Holzbau-Teilgewindeschrauben 8,0 x 200 mm	Würth	D3-W2
Schallschutzlager Phone-Strip ® 35, b=100 mm	Wolf Bavaria	Bauteilfuge
Dauerelastische Brandschutzdichtung B1	Würth	W1-D2
Klebeband Eurasol HT ®	Würth	Abklebung OSB Decke
Isifest Brandschutzkleber	HTB	Randbereich Fuge

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	18.02.2020, 10:58:45 Uhr
Versuchsende:	18.02.2020, 12:29:30 Uhr
Versuchsdauer in min:	90

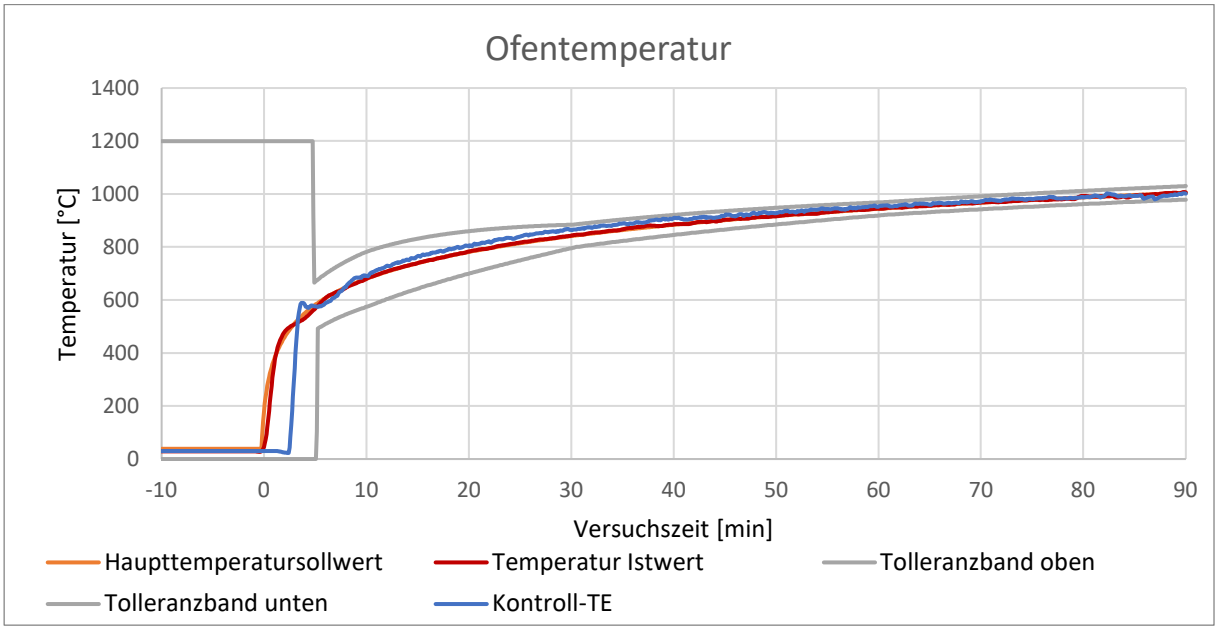
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

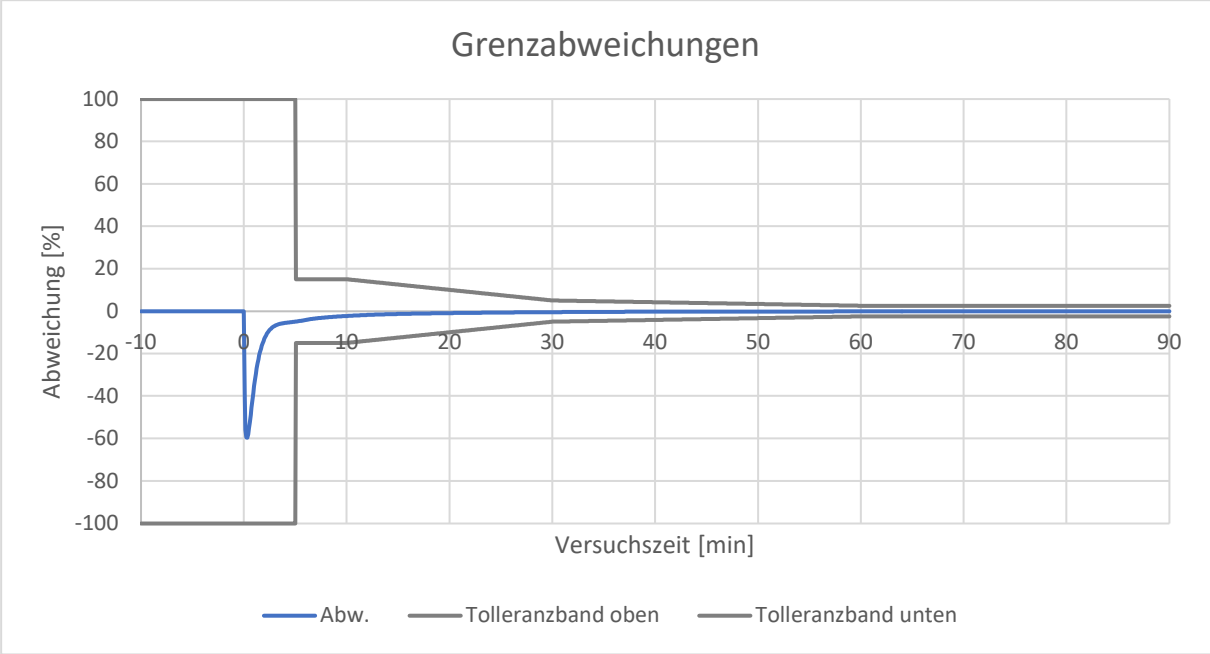
Umgebungsdruck:	1012 mbar
Umgebungstemperatur:	9,3 °C
Luftfeuchte in %:	60 % rh

2.2 Prüfbedingungen

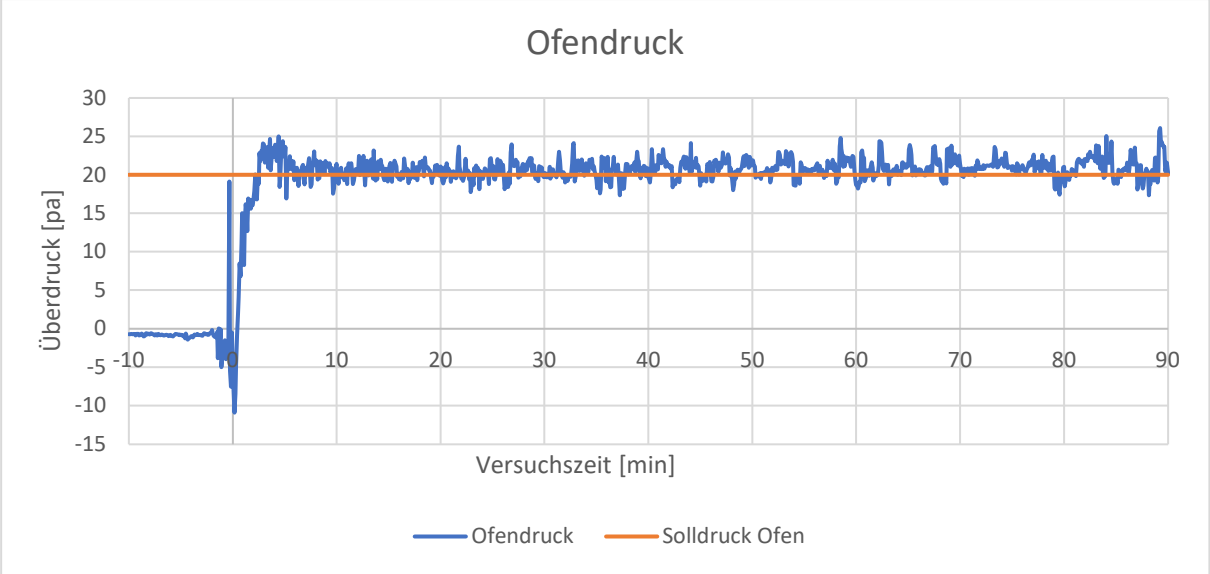
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



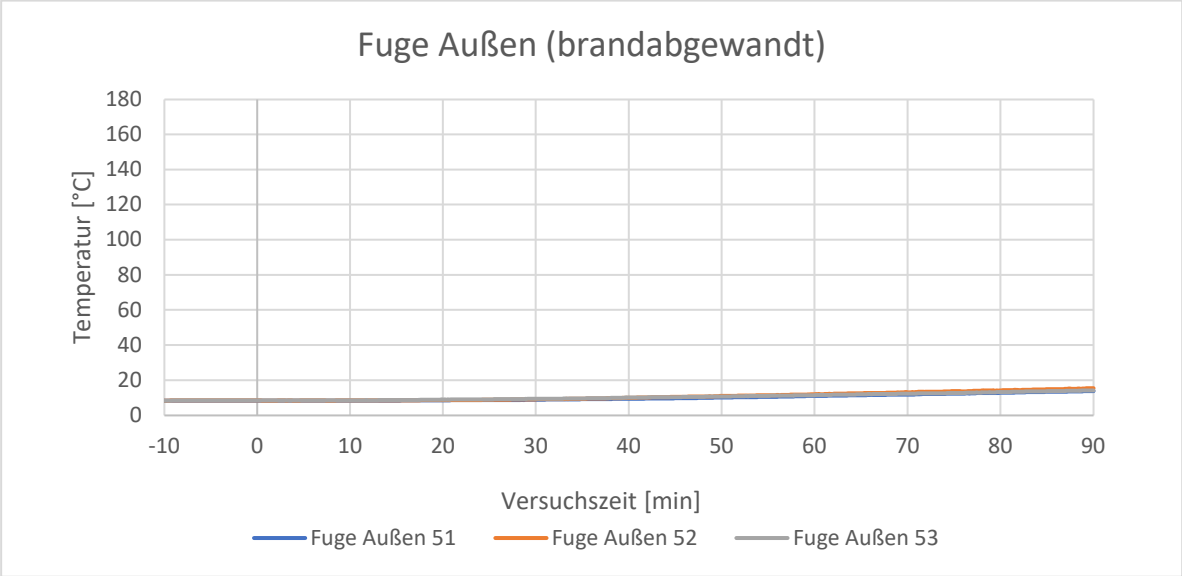
Ofenüberdruck

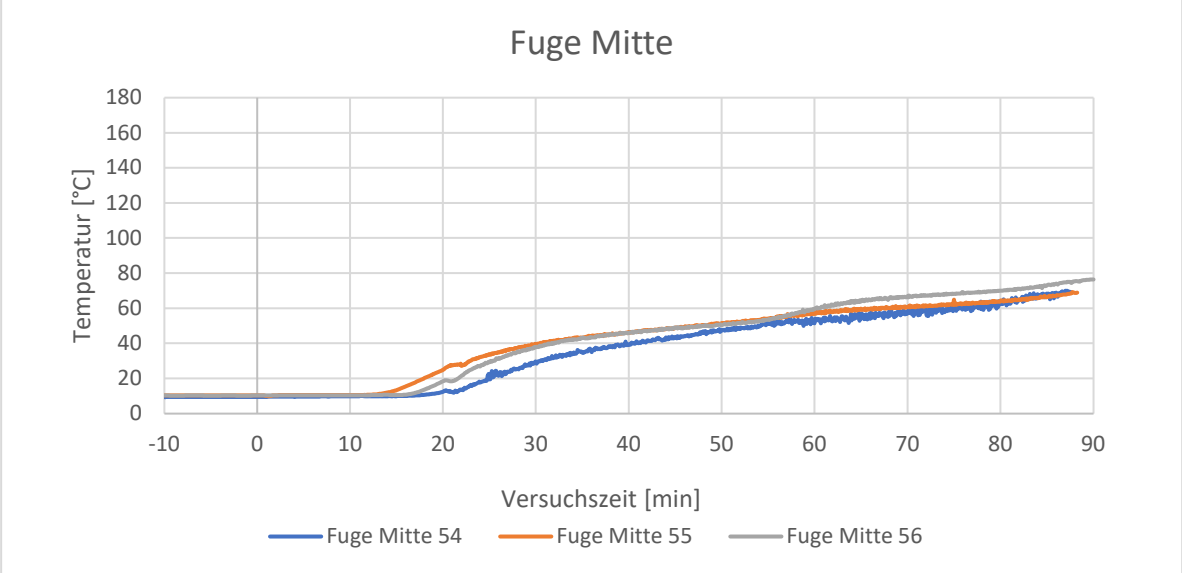


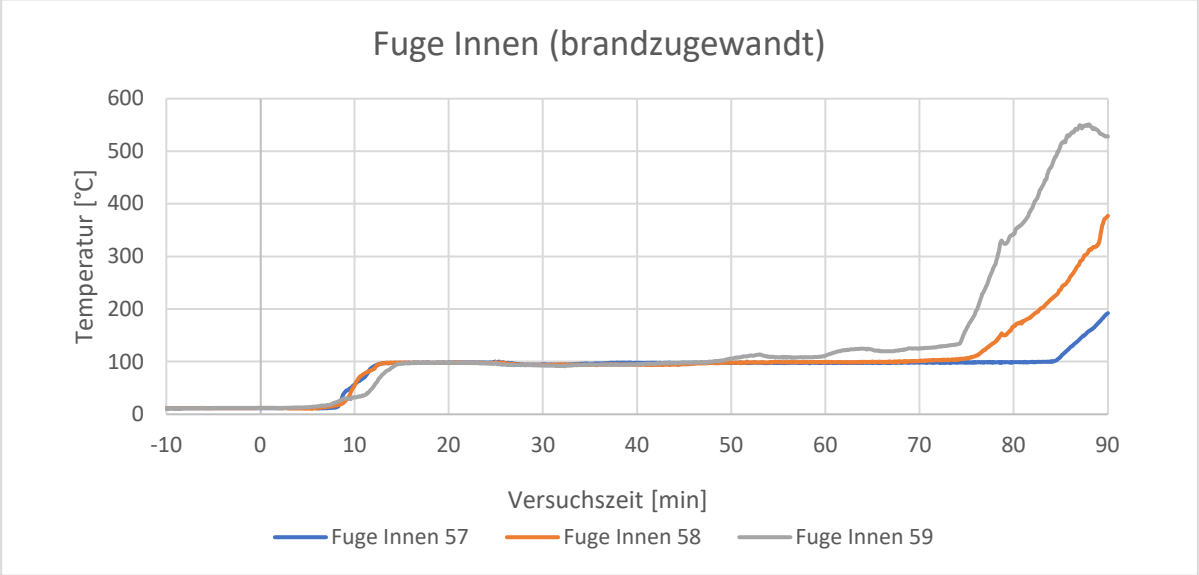
3.Auswertung

3.1. Temperaturverläufe

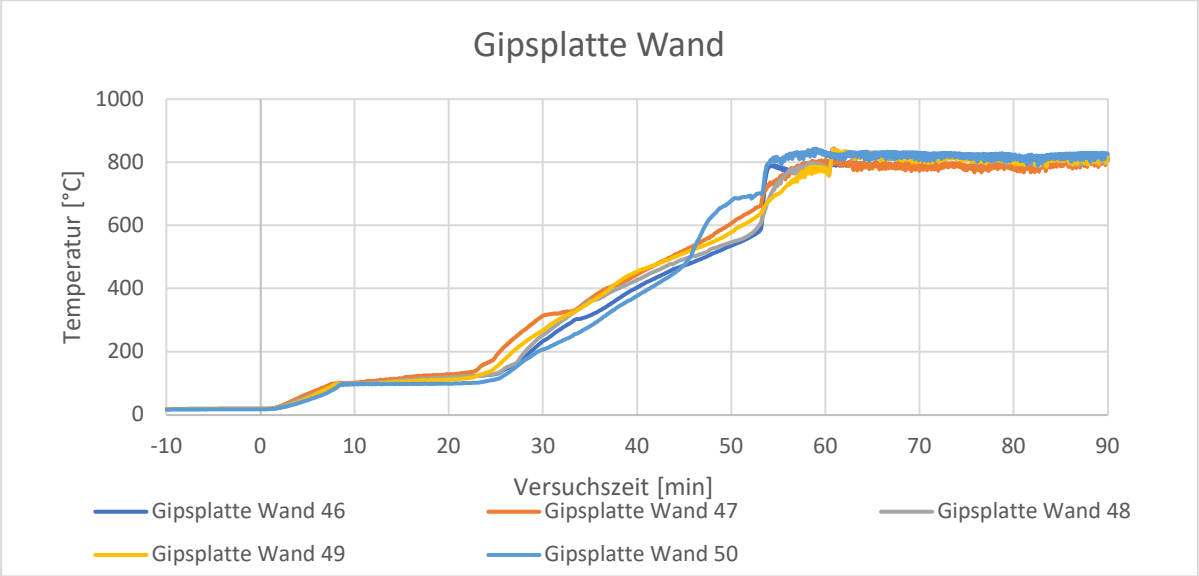
Temperaturverlauf Bauteilfuge

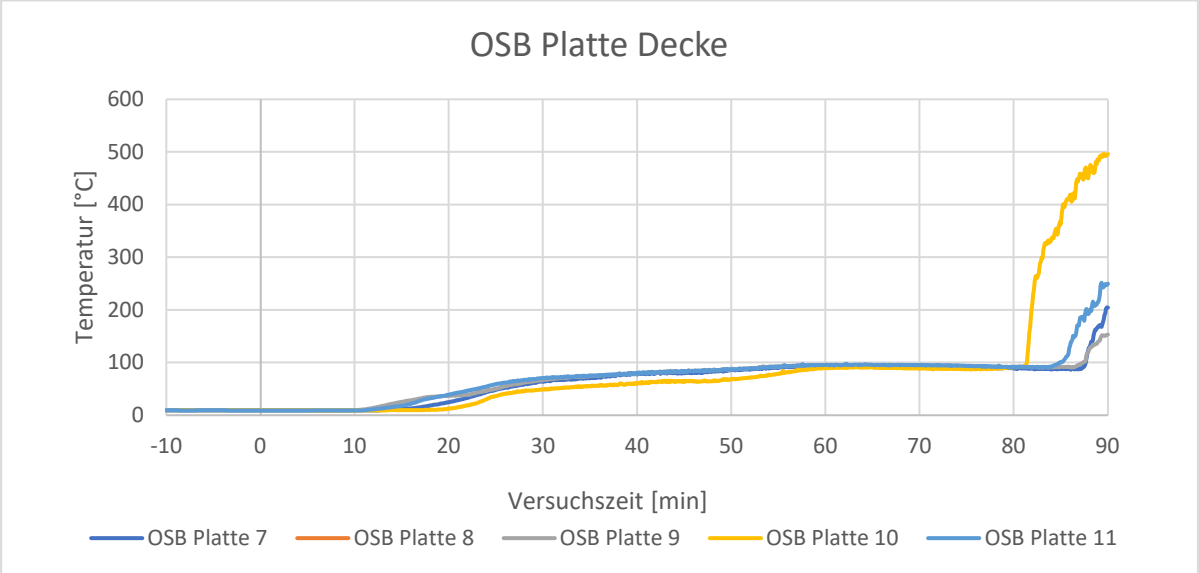


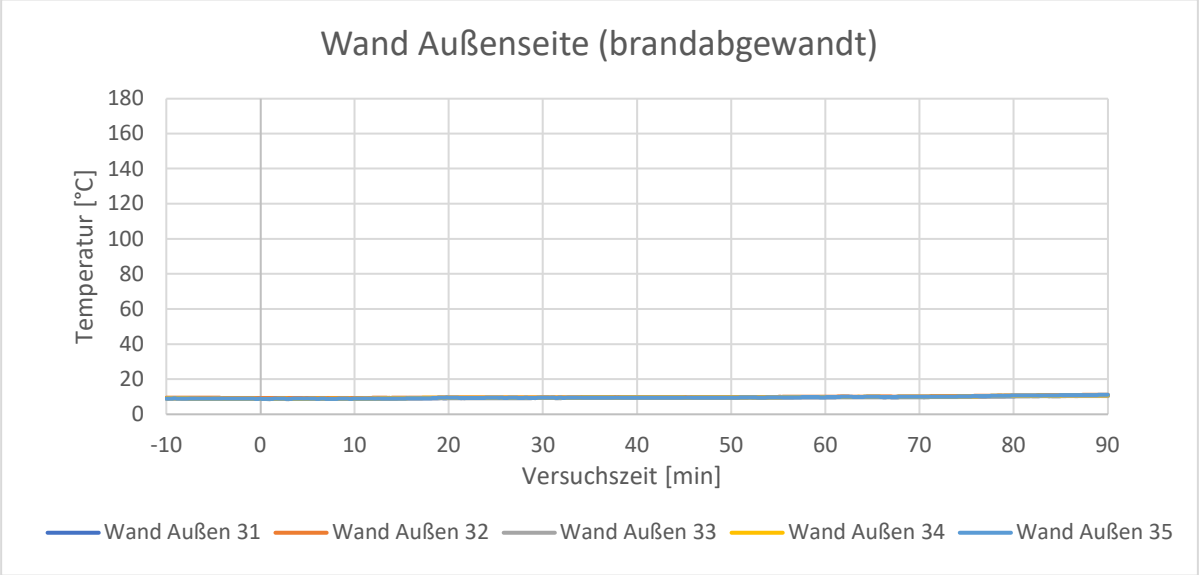




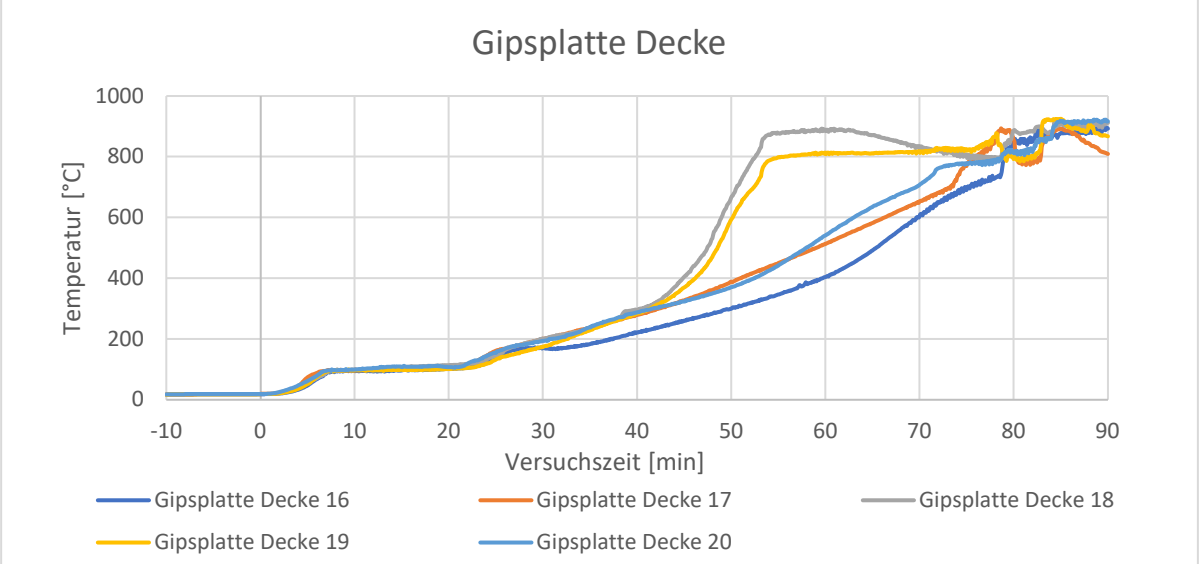
Temperaturverlauf Wand:

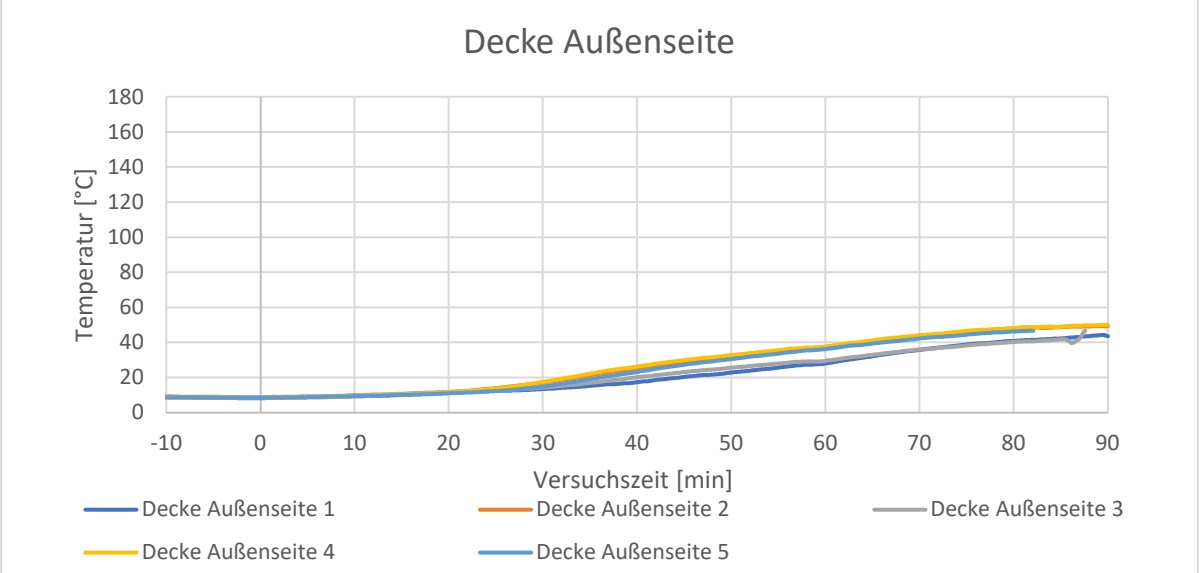






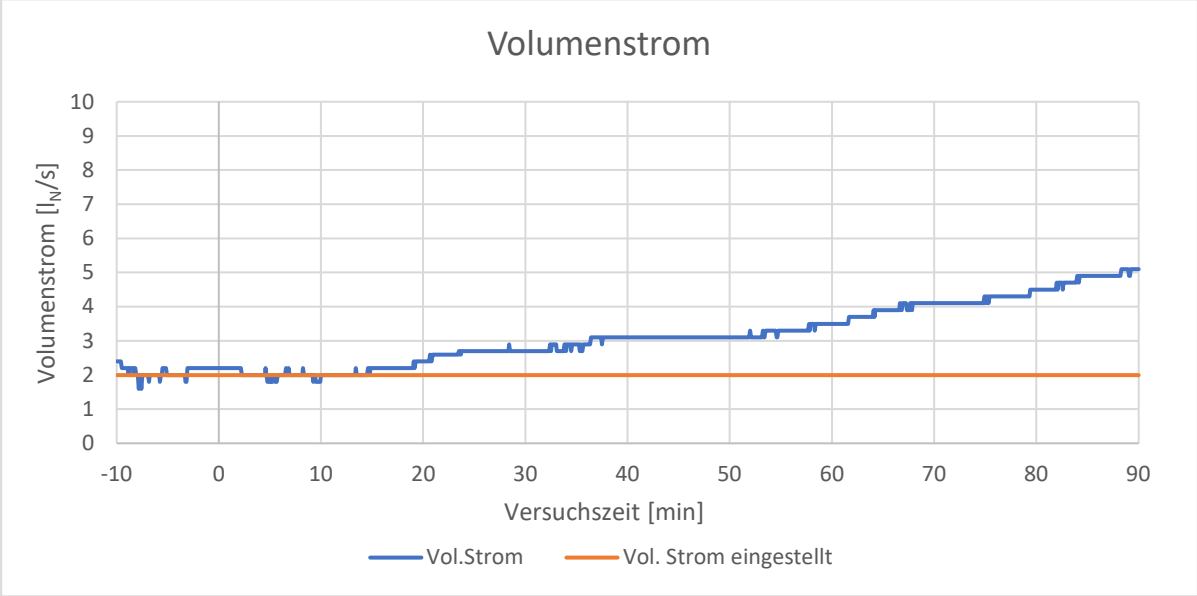
Temperaturverlauf Decke:



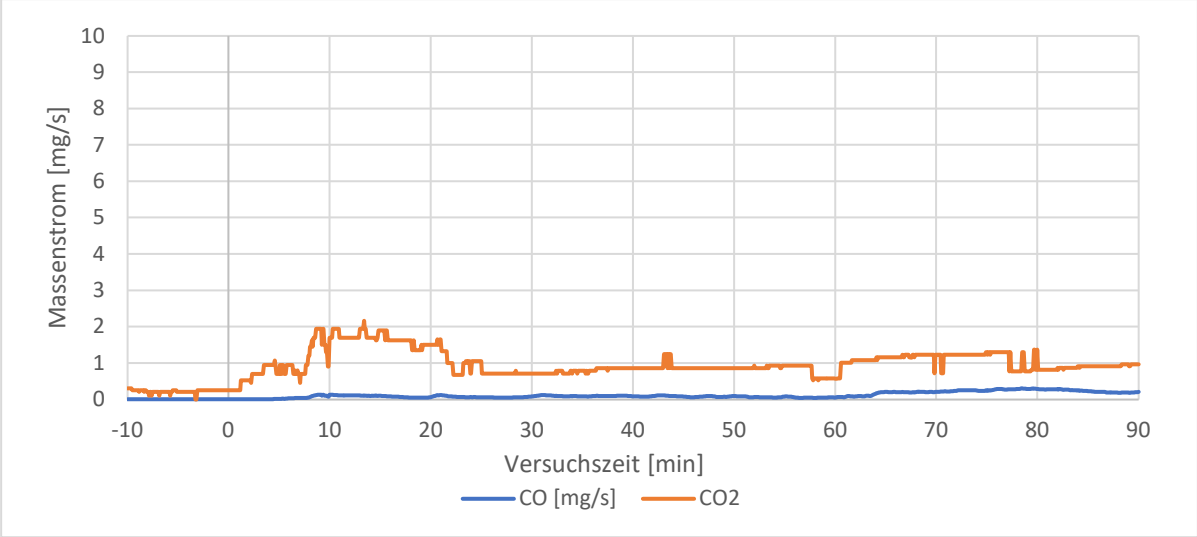


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

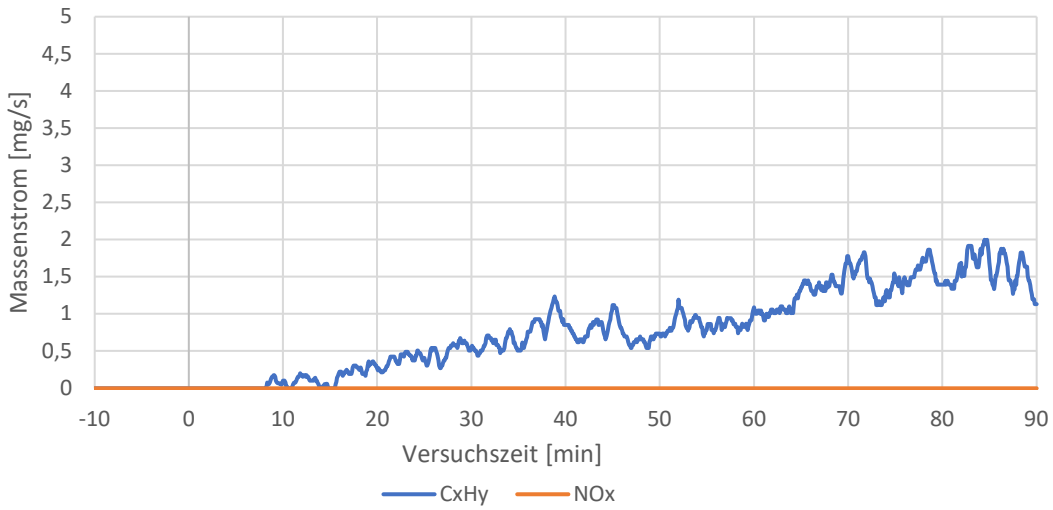
Volumenstrom



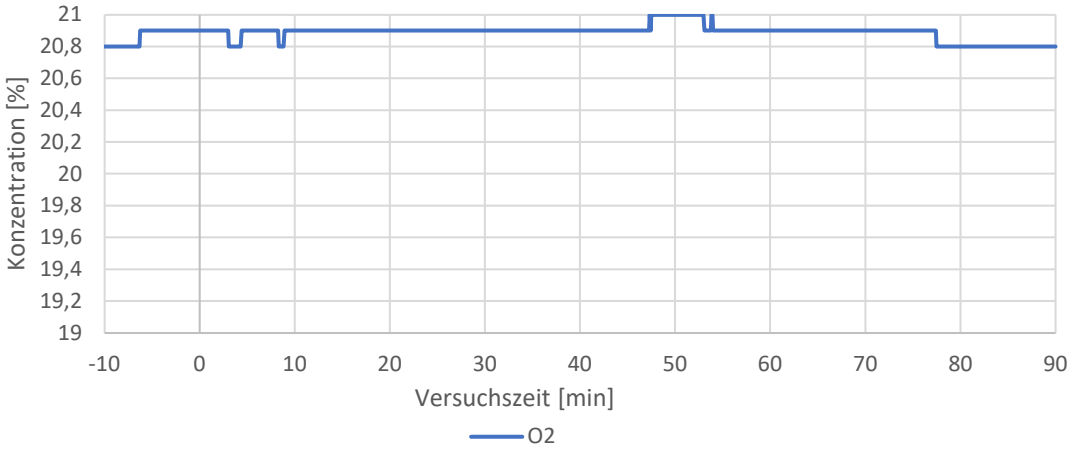
Massenströme CO, CO_2



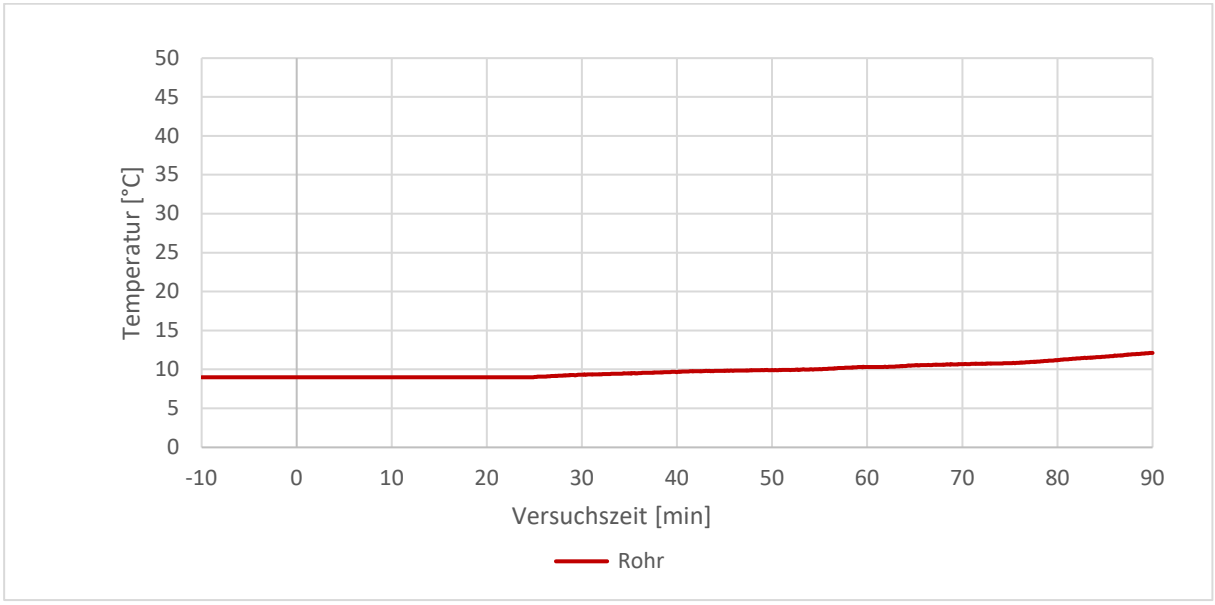
Massenströme CxHy, NOx



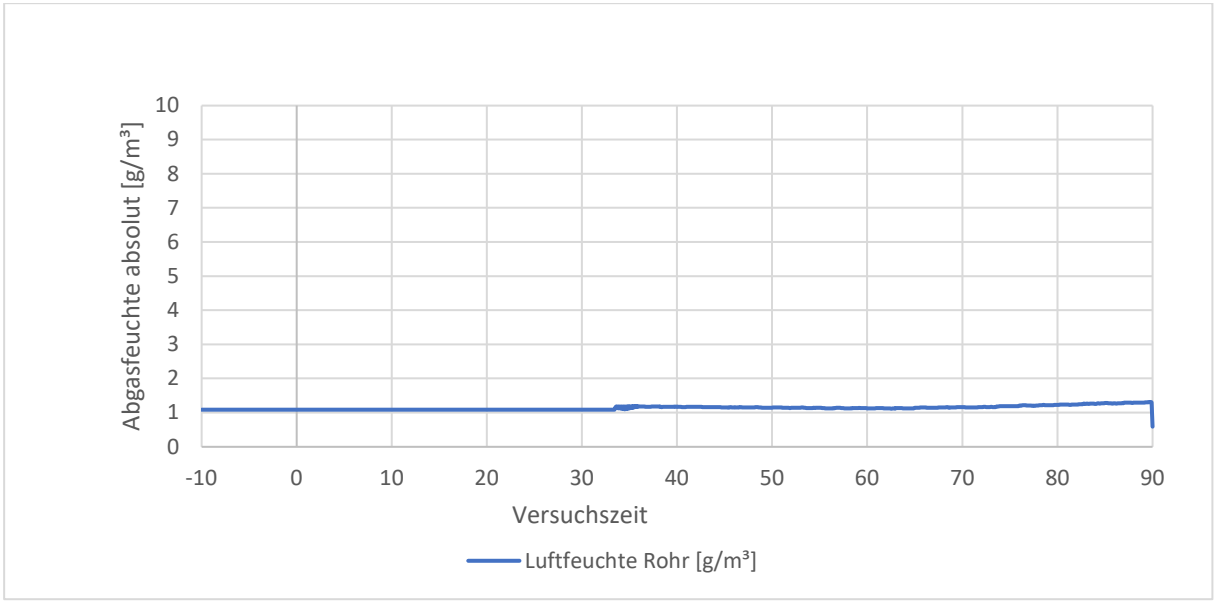
O_2-Konzentration



Abgastemperatur



Absolute Abgasfeuchte



3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert?
6.	Leichter Rauchdurchtritt im Randbereich außerhalb des RAK -> Abdichtung mit Klebeband	x
16.	Kein Rauchaustritt im RAK sichtbar	x
20.	Nachdichtung Wand, fußseitig	
25.	Wackelkontakt an Sensor FHAD 36 (Temperatur-Druck-Feuchte) im RAK-Rohr festgestellt, Messaufzeichnung erst ab 25. Versuchsminute gestartet	
40.	Weiterhin optisch keine Rauchentwicklung im RAK erkennbar	x
68.	Nachdichtung Decke, fugenabgewandte Seite	
82.	Leichte Kondenswasserbildung, Minimaler Abgasstrom aus RAK sichtbar	x
90.	Gas abgeschaltet, Demontage RAK, Versuchsende	x

4. Anhänge/Fotodokumentation



Abbildung 1: Wand, brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 2: Decke, brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 3: Wand, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

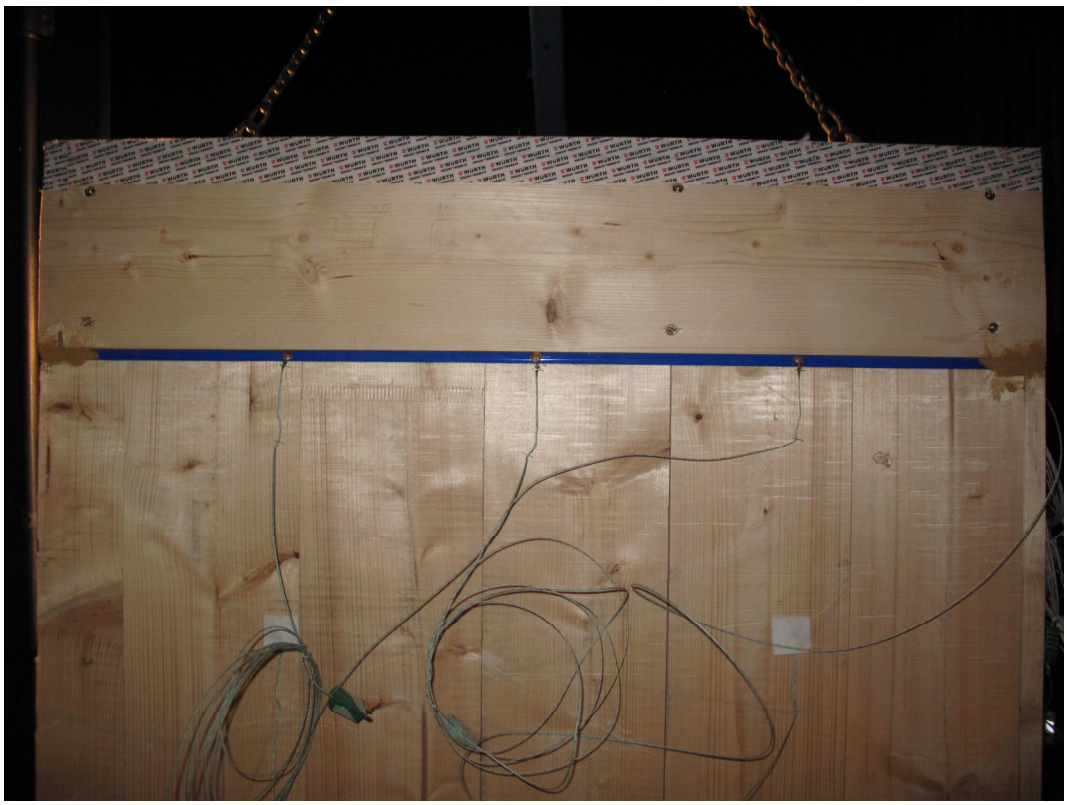


Abbildung 4: Fuge, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

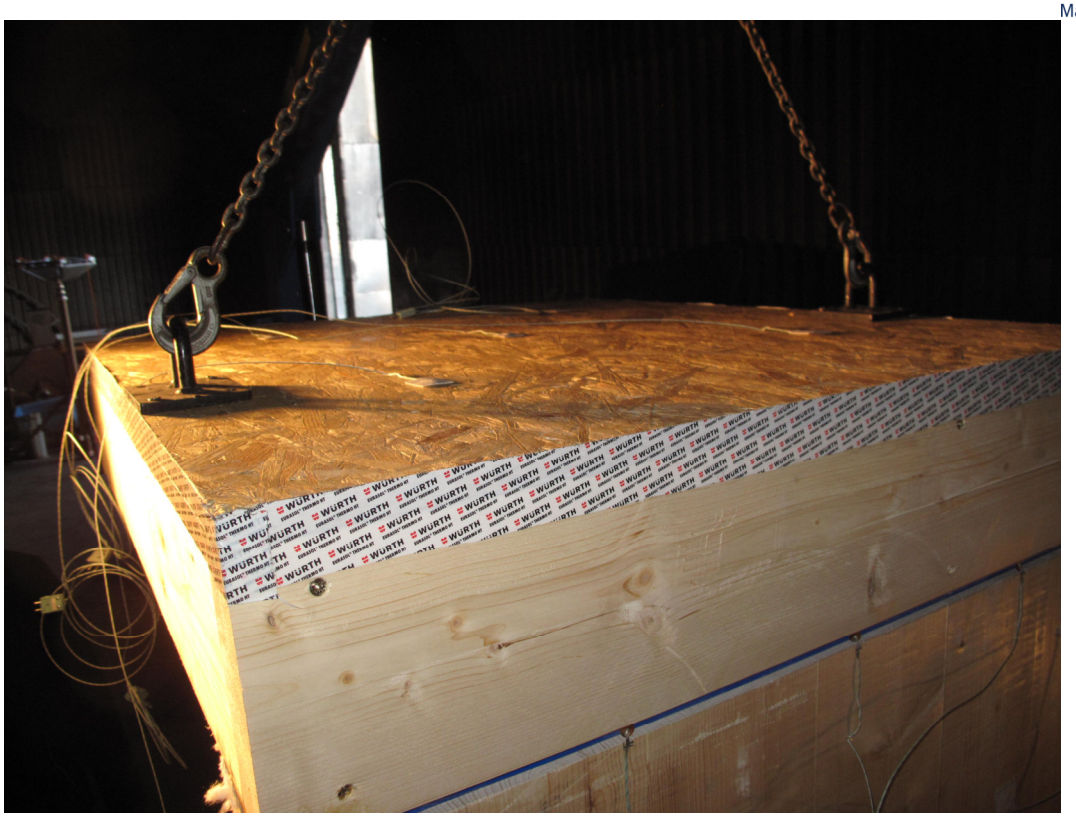


Abbildung 5: Decke, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

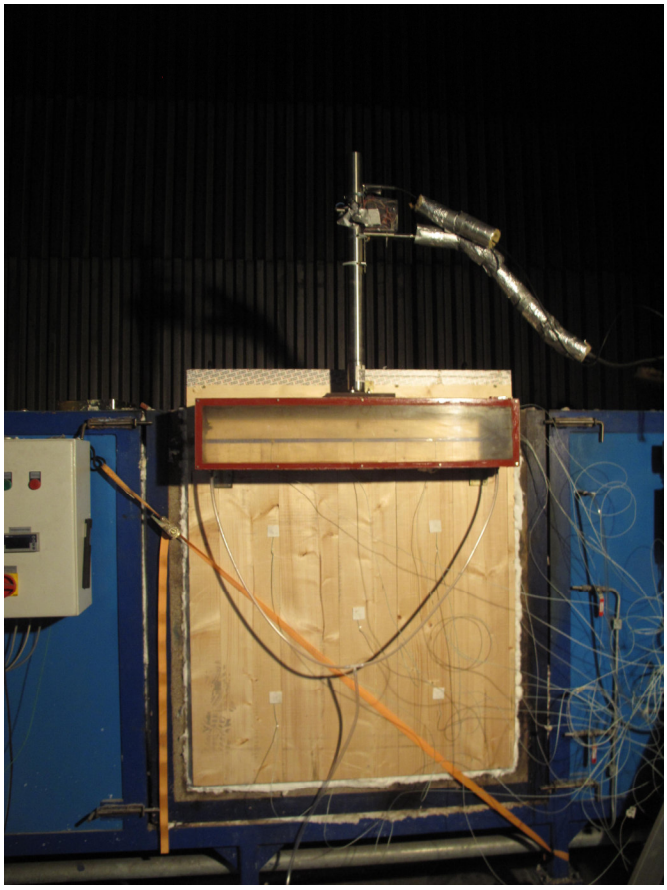


Abbildung 6: Montage des Rauchauffangkastens (RAK)



Abbildung 7: Keine Rauchentwicklung im RAK erkennbar (10. Versuchsminute)

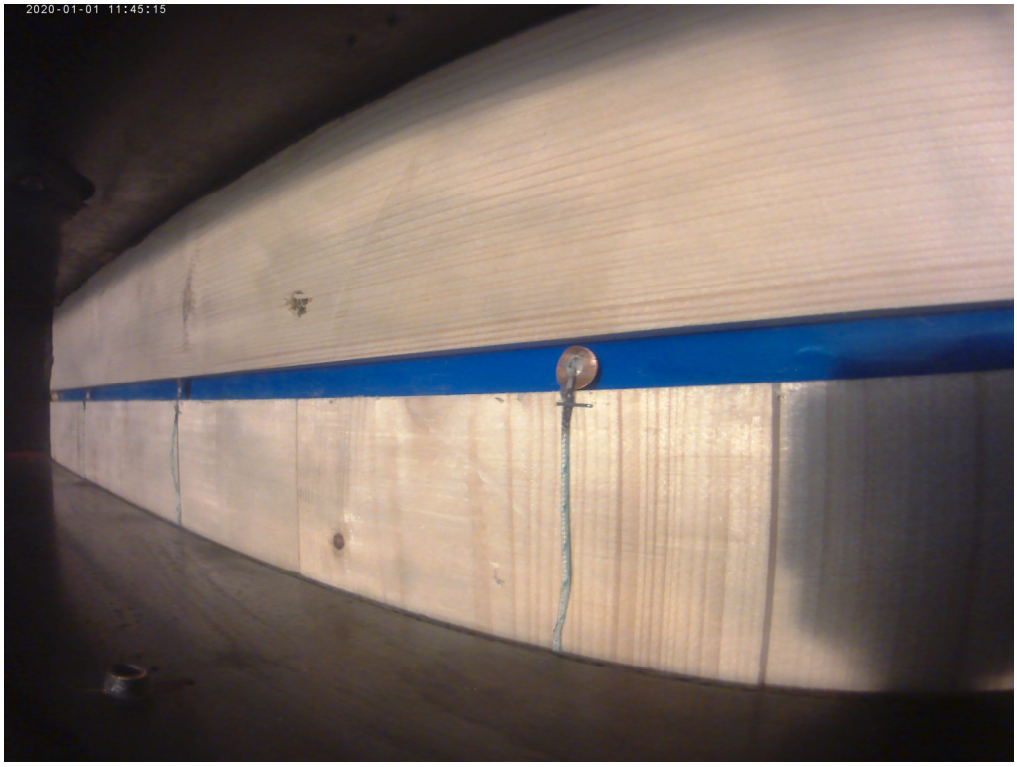


Abbildung 8: Keine Rauchentwicklung im RAK erkennbar (45. Versuchsminute)

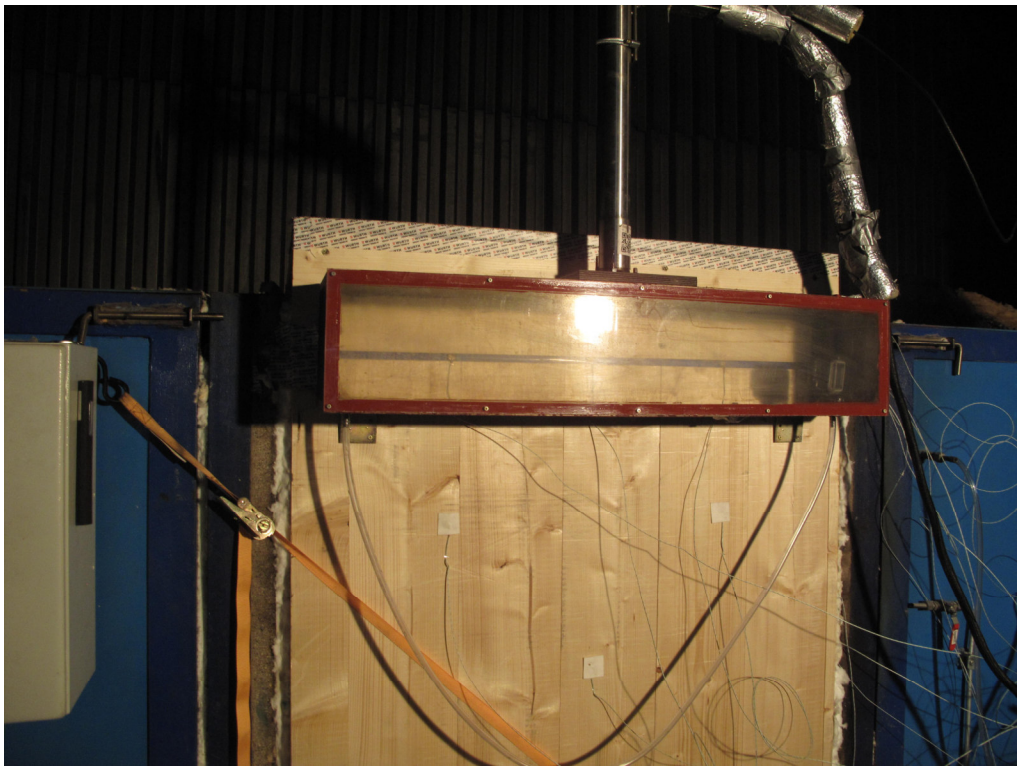


Abbildung 9: Leichte Kondenswasserbildung im RAK (82. Versuchsminute)



Abbildung 10: Blick auf die Wand, brandabgewandte Seite (90. Versuchsminute)



Abbildung 11: Blick auf die Fuge, brandabgewandte Seite (90. Versuchsminute)



Abbildung 12: Blick auf die Decke, brandabgewandte Seite (90. Versuchsminute)



Abbildung 13: Wand, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 14: Wand mit Schallschutzlager (nach Versuchsende)



Abbildung 15: Schallschutzlager, Unterseite (nach Versuchsende)



Abbildung 16: Fuge nach Abnahme des Schallschutzlagers, Blick: brandzugewandte Seite



Abbildung 17: Deckenkonstruktion (Bauteilfügung oben), brandzugewandte Seite, OSB-Platte demontiert



Abbildung 18: Deckenkonstruktion (Bauteilfügung rechts), brandabgewandte Seite, OSB-Platte demontiert



Abbildung 26: Demontierte OSB-Platte (Bauteilfügung oben), brandzugewandte Seite

4.1. Bestimmung der Restquerschnitte

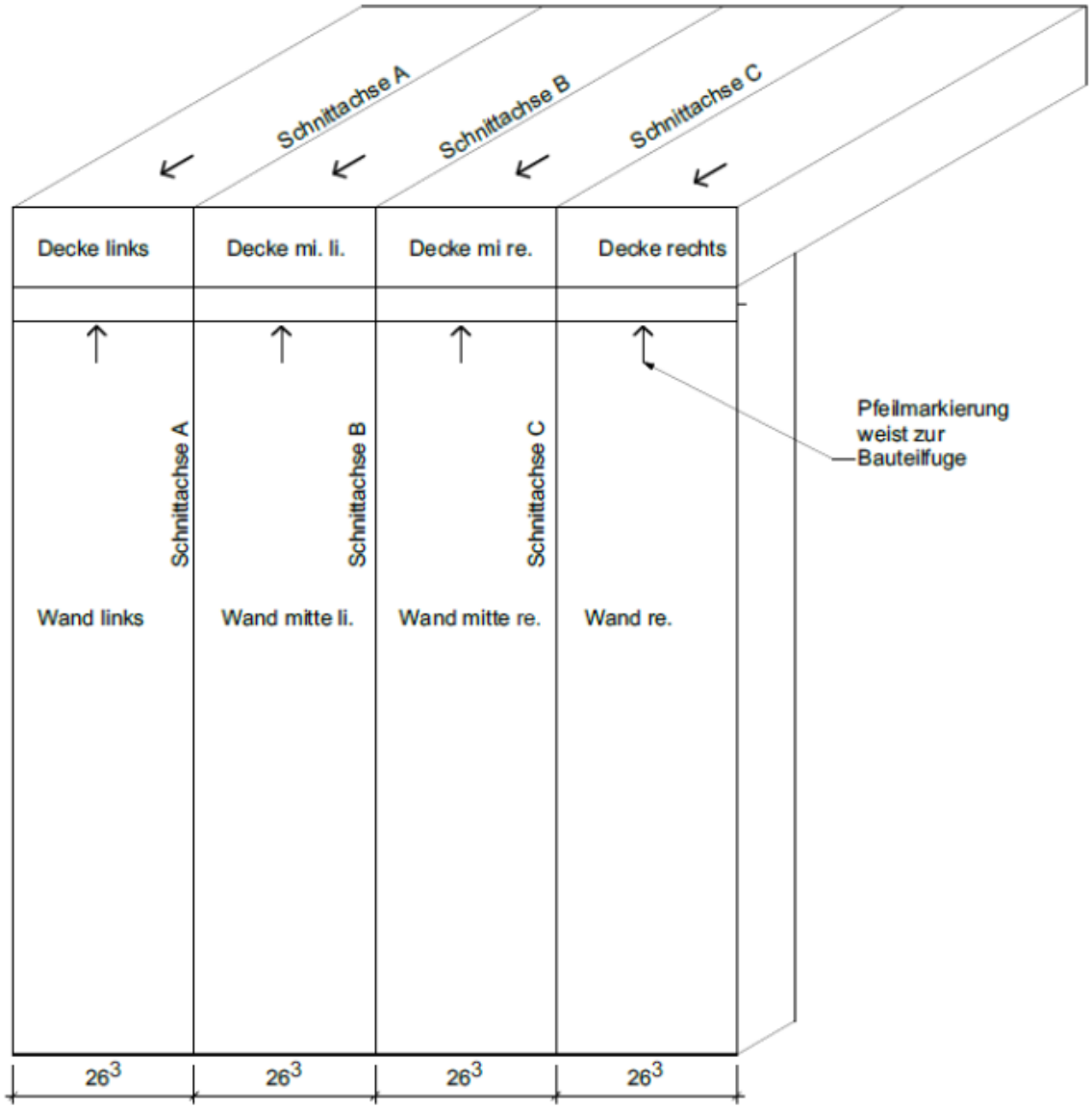




Abbildung 19: Restquerschnitte, Wand



Abbildung 20: Restquerschnitt Wand, links außen



Abbildung 21: Restquerschnitt Wand, Schnittachse A



Abbildung 22: Restquerschnitt Wand, Schnittachse B



Abbildung 23: Restquerschnitt Wand, Schnittachse C



Abbildung 24: Restquerschnitt Wand, Rechts Außen

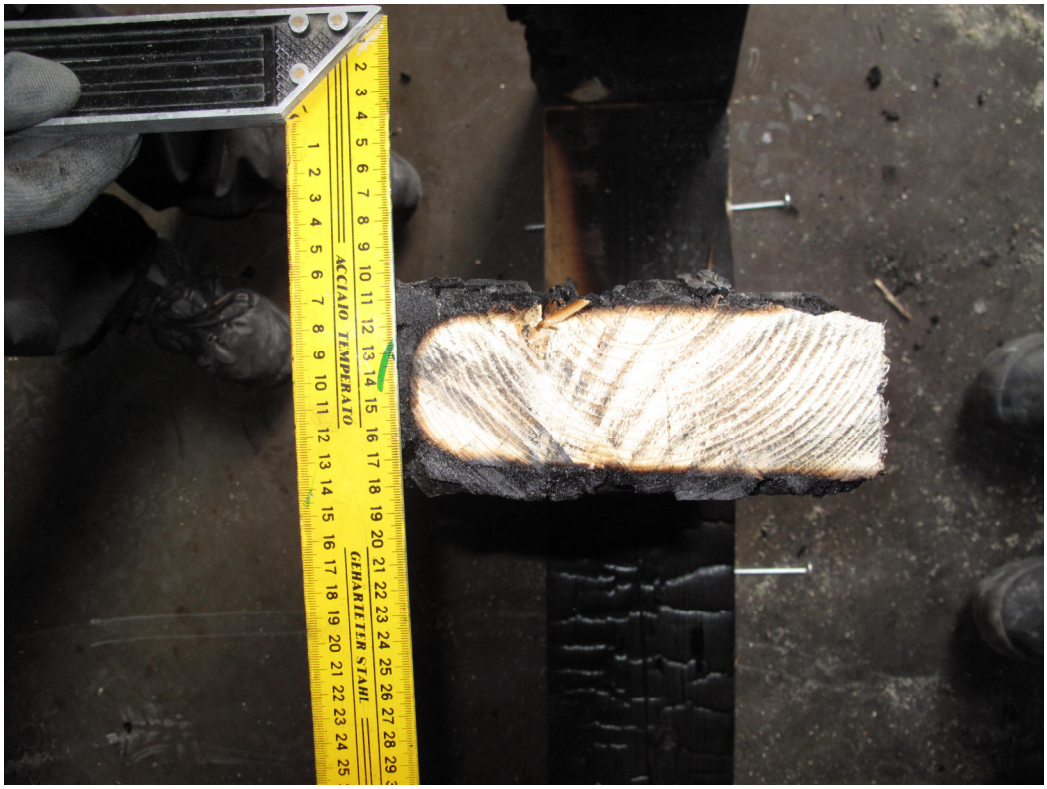


Abbildung 7: Restquerschnitt mittlerer Deckenbalken

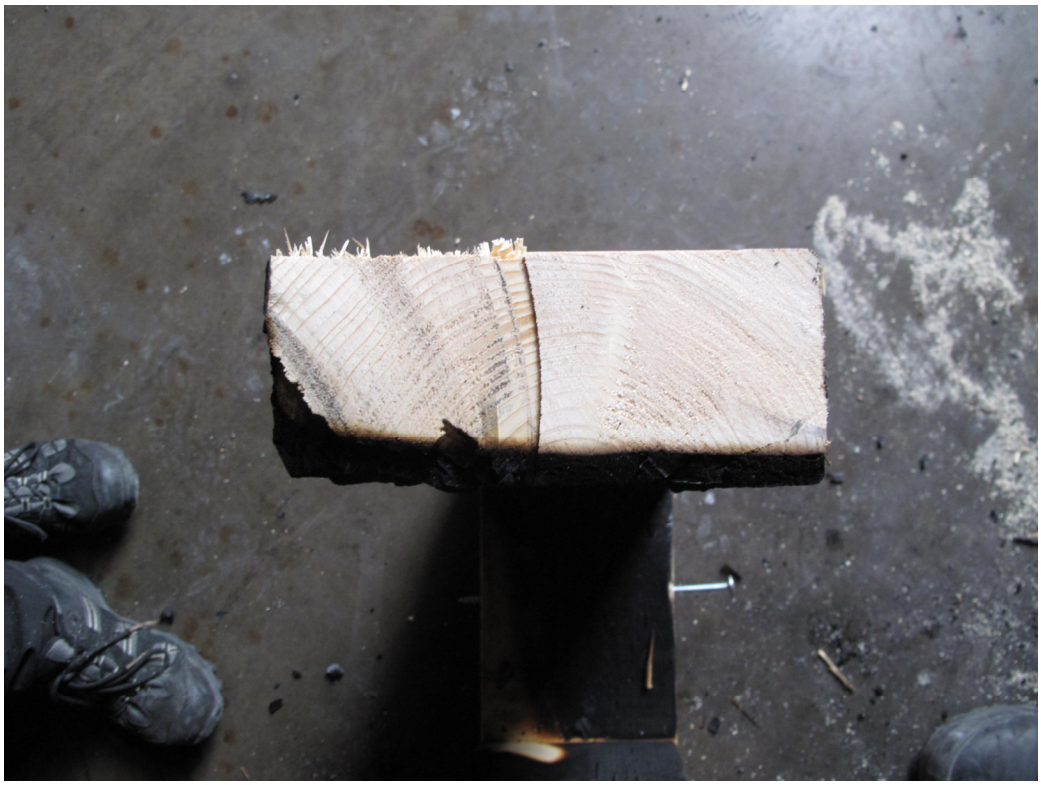


Abbildung 25: Restquerschnitt rechter Deckenbalken

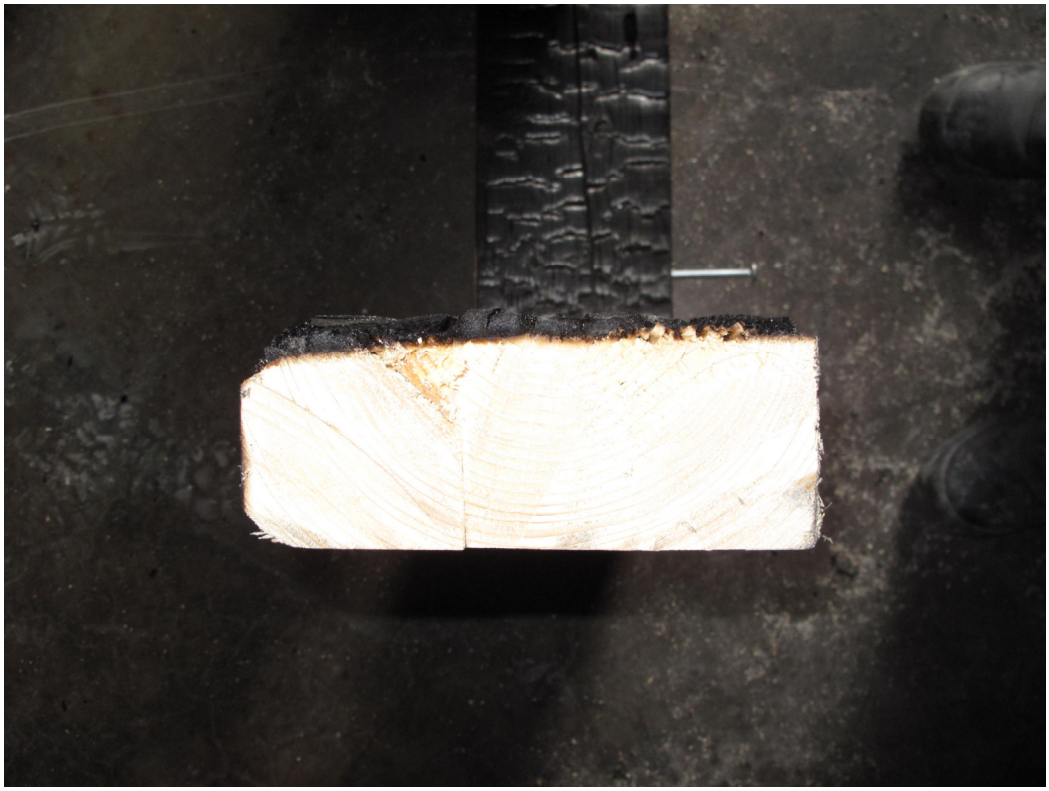


Abbildung 26: Restquerschnitt linker Deckenbalken

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: D1_BSH_EF_90

Datum: 03.03.2020

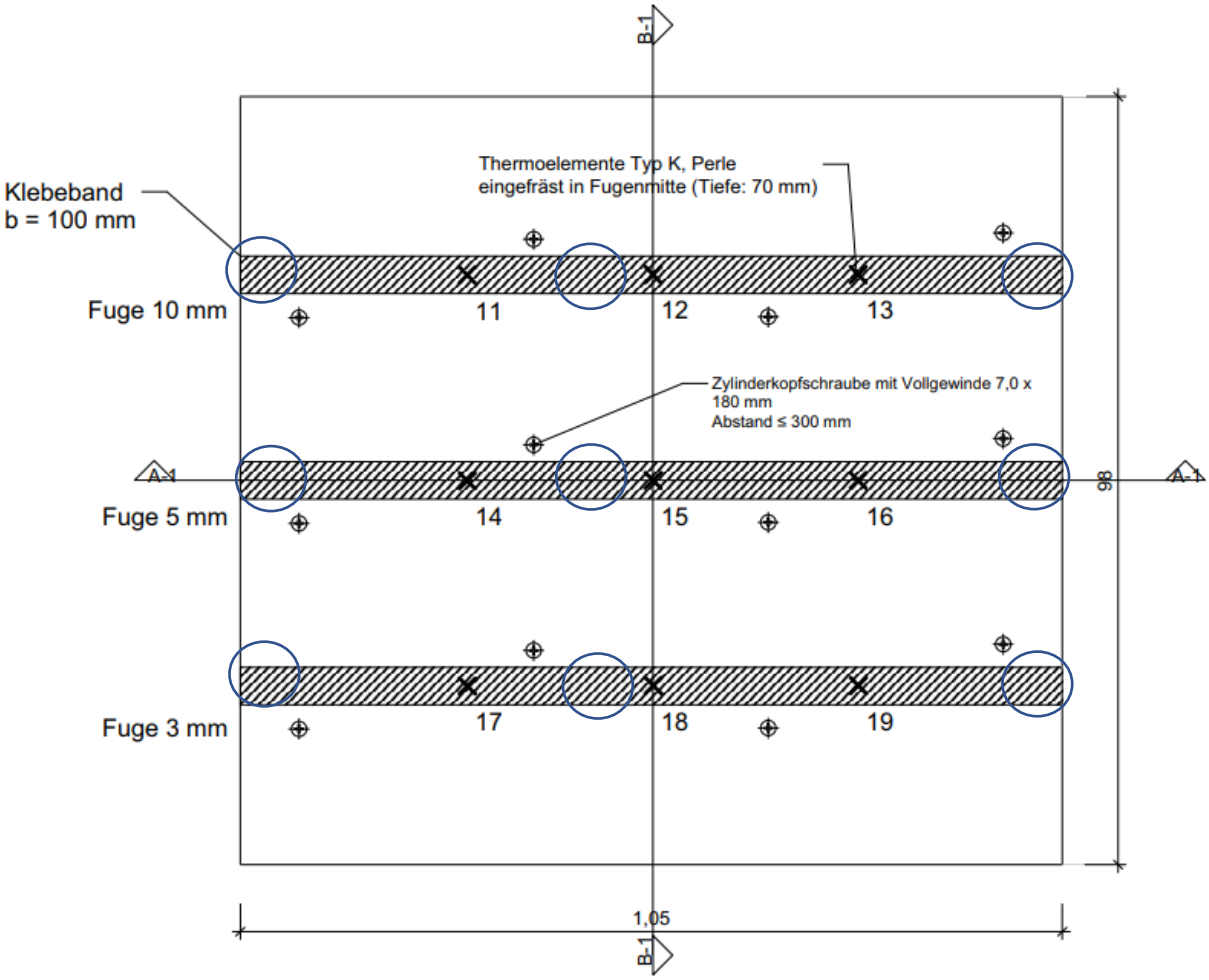
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Draufsicht 3
Schnitt A1 4
Schnitt B1 4
Benennung der Bauteilschichten 4
Weitere verwendete Materialien 4
2.Versuchsparameter 5
2.1 Umgebungsbedingungen 5
2.2 Prüfbedingungen 5
Temperaturzeitkurve 5
Grenzabweichungen 6
Ofenüberdruck 6
3.Auswertung 7
3.1. Temperaturverläufe 7
Temperaturverlauf Elementfugen 7
3.2. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 9
4. Anhänge/Fotodokumentation 10
4.1. Darstellung der Restquerschnitte 18

1. Versuchsaufbau

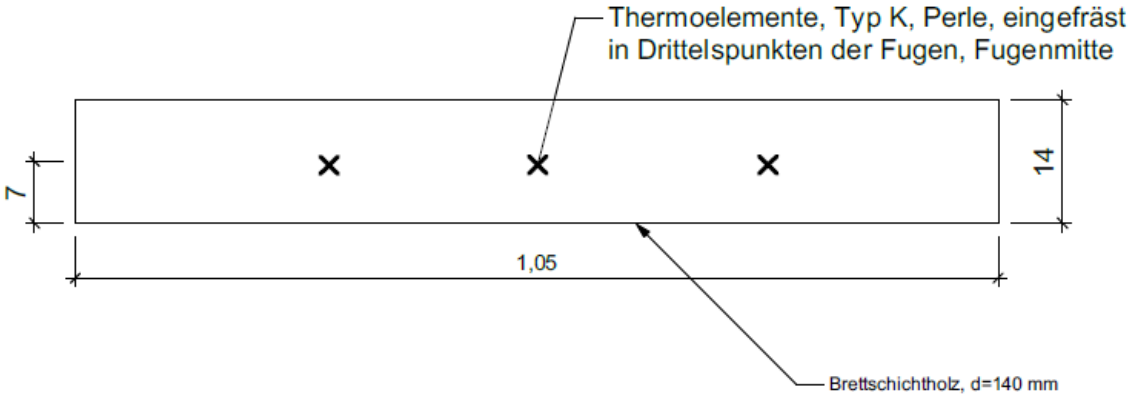
1.1 Detailzeichnungen

Draufsicht

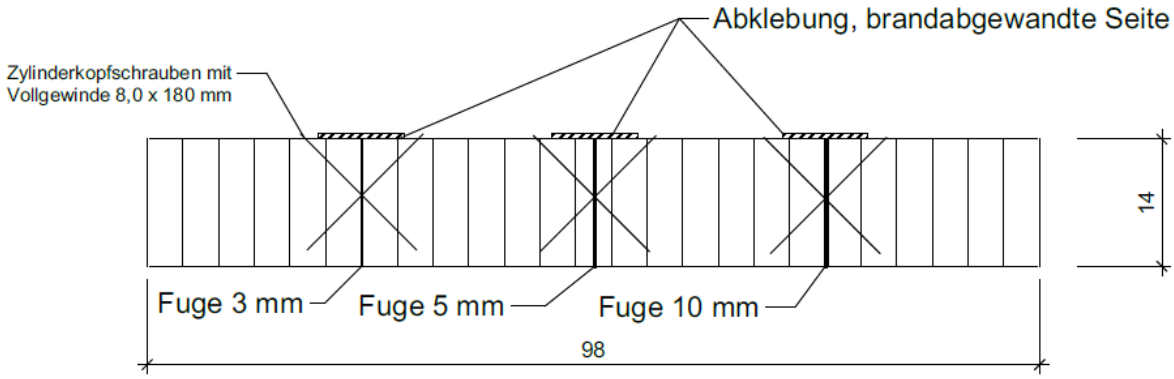


— Position der Abstandshalter aus Holz, 50 mm x 140 mm x d (mit 3, 5 und 10 mm)

Schnitt A1



Schnitt B1



Benennung der Bauteilschichten

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
1	Brettschichtholzelement, d=140 mm, Si-Q, Fichte Lamellenstärke 40 mm	490	11 %	Nordlam-Hasslacher

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Holzbauschraube 6,0 x 180 mm	Spax	1
Klebeband EURASOL HAT ®	Würth	1

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	03.03.2020, 10:50:20 Uhr
Versuchsende:	03.03.2020, 12:20:30 Uhr
Versuchsdauer in min:	90

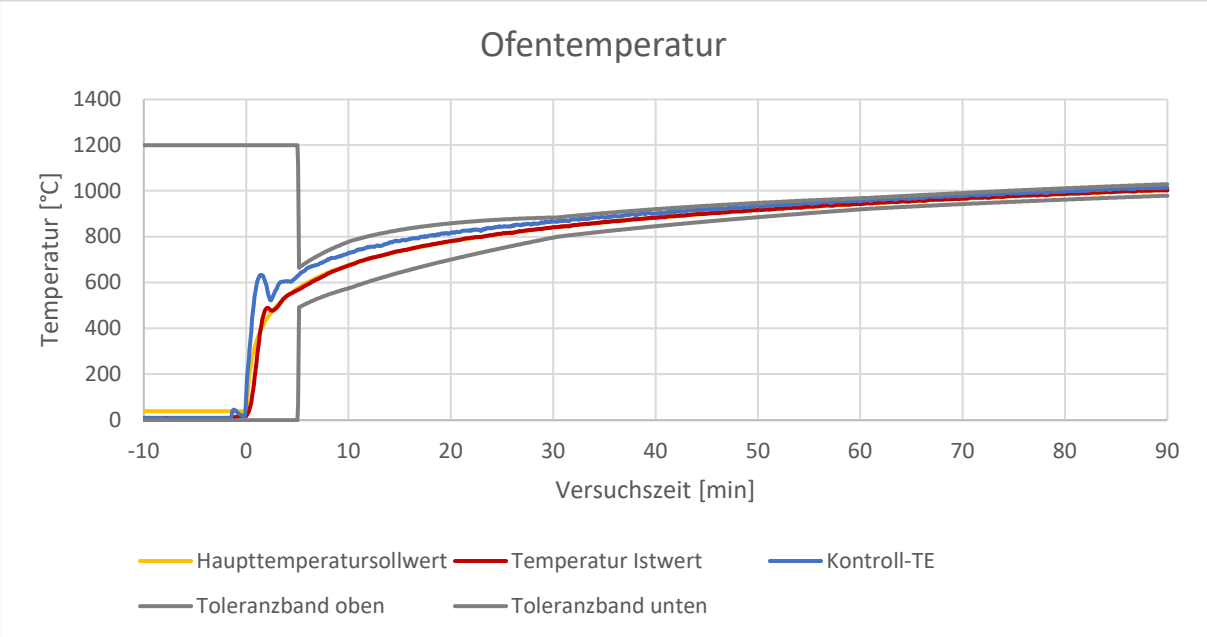
2.1 Umgebungsbedingungen:

bei Versuchsbeginn

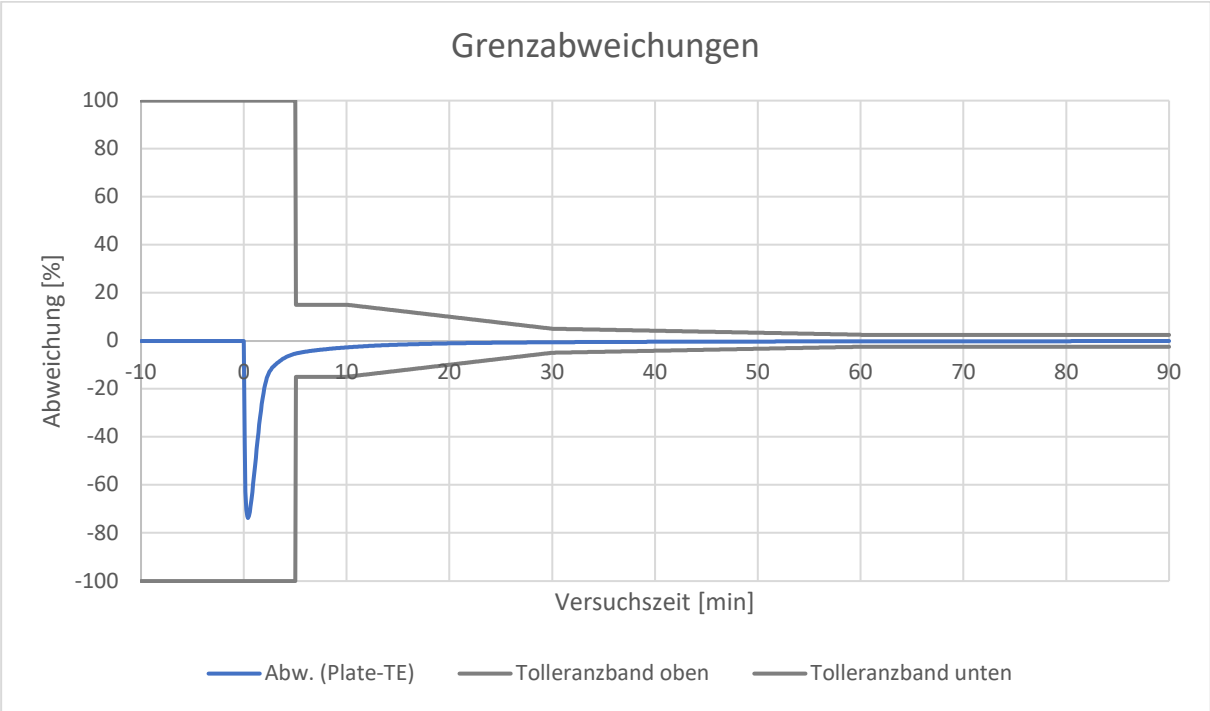
Umgebungsdruck:	1001 mbar
Umgebungstemperatur:	8 °C
Luftfeuchte in %:	25 % rh

2.2 Prüfbedingungen

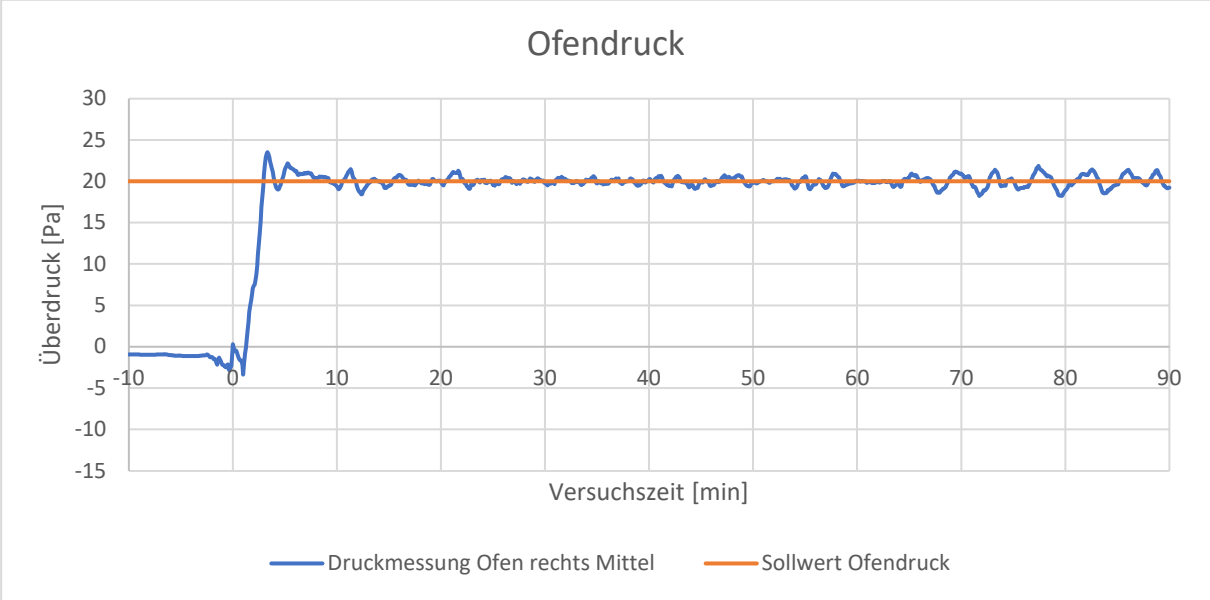
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



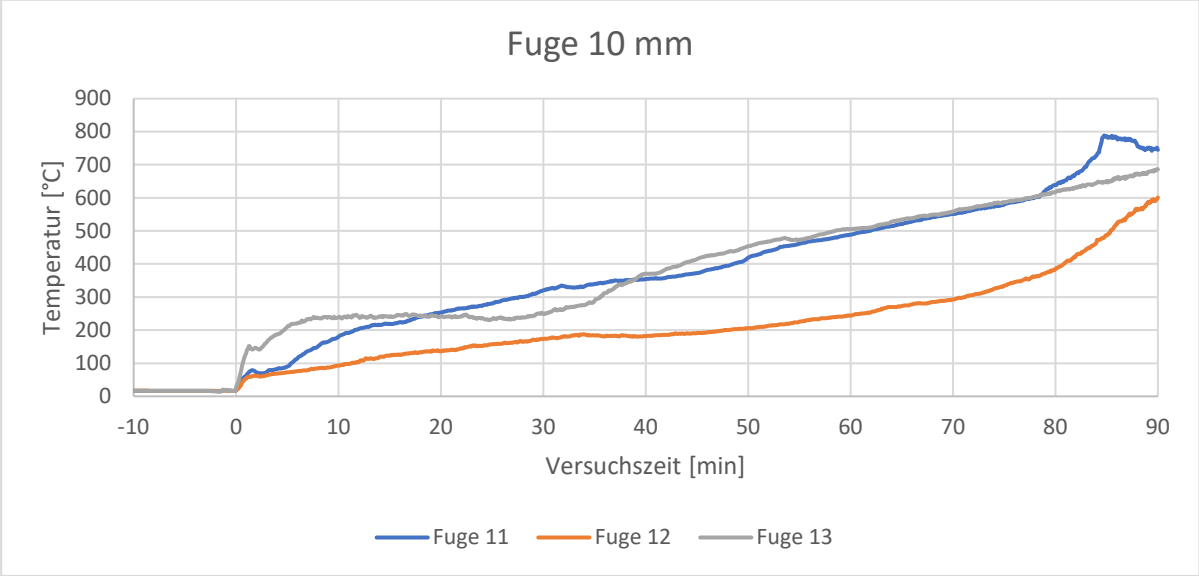
Ofenüberdruck

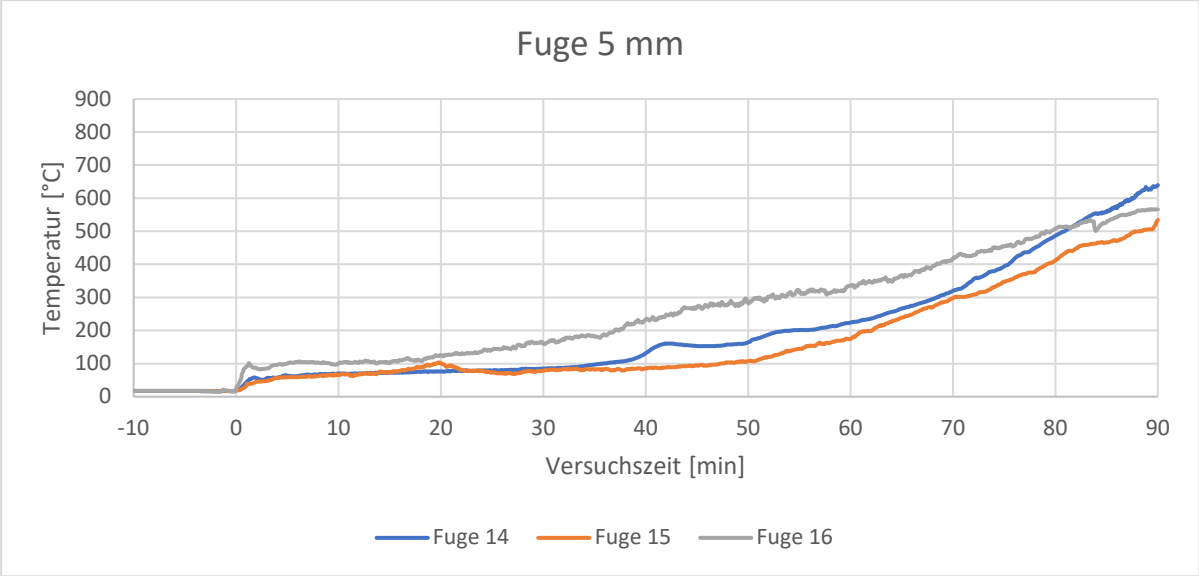


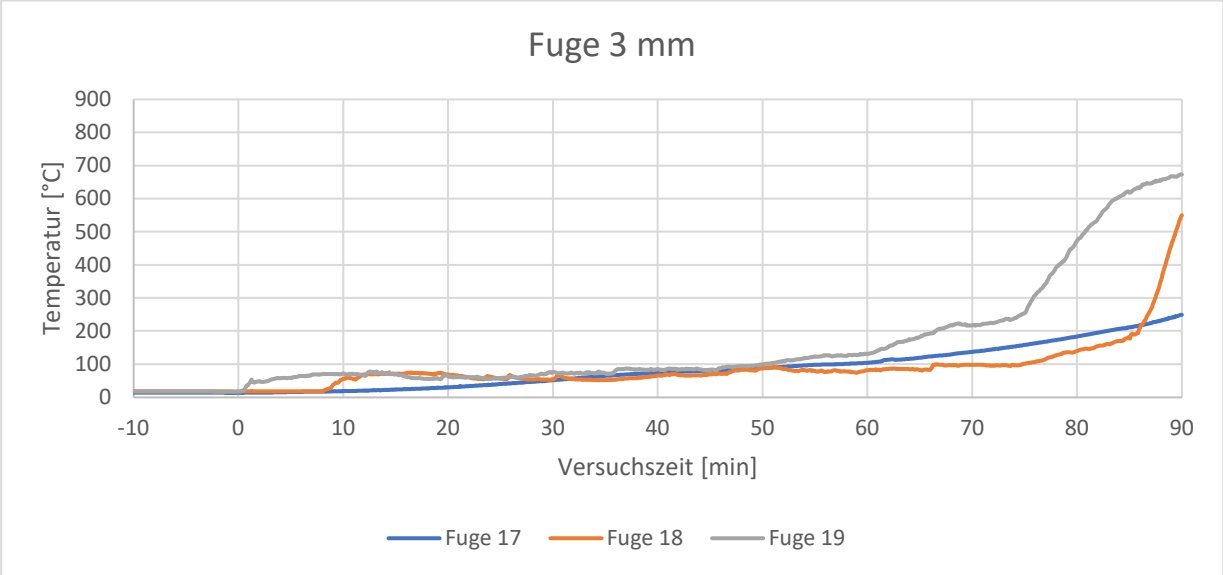
3.Auswertung

3.1. Temperaturverläufe

Temperaturverlauf Elementfugen






Fuge 3 mm
Temperatur [°C]
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
Fuge 17
Fuge 18
Fuge 19

3.2. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
7.	Abdichten im Randbereich des Probekörpers	
23.	Blasenbildung am Klebeband, 10 mm Fuge, erkennbar	x
47.	Kein Rauchdurchtritt erkennbar; Leichtes Ablösen des 10 mm Klebebands im Nahbereich der Fuge, 5 mm leichte Blasenbildung, 3 mm keine Blasenbildung	x
60.	Kein Rauchdurchtritt erkennbar; Deutliche sichtbare Verkohlung/Verfärbung des Klebebands an der 10 mm Fuge, zunehmende Blasenbildung; 5mm Fuge: leichte Blasenbildung; 3 mm keine Blasenbildung	x
68.	Lokal leichter Rauchdurchtritt an Stelle der Verkohlung des Klebebands an der 10 mm Fuge	x
75.	2. lokale Stelle mit leichtem Rauchdurchtritt an 10 mm Fuge, Wattebauschtest negativ	x
84.	Lokal zunehmender Rauchdurchtritt im Bereich der 10 mm Fuge, Wattebauschtest negativ	x
86.	Lokal starker Rauchdurchtritt im Bereich des Klebebands 10 mm Fuge, kein Rauchdurchtritt an 3 und 5 mm Fuge	x
87.	Flammendurchtritt und schmelzen des Klebebands an 10 mm Fuge -> Ablöschen/Abdeckung mit Mineralwolle zum Schutz der anderen Fugen	x
90.	Versuchsende, BSH-Element der 10 mm Fuge (Außenseite) fällt bei Herausheben des Bauteils in den Brandofen, Durchbrand des Klebebandes im Bereich der 5 mm Fuge	x

4. Anhänge/Fotodokumentation



Abbildung 1: Konstruktion des Probekörpers mit Abstandshaltern aus Holz



Abbildung 2: Abklebung der Elementfugen auf der brandabgewandten Seite

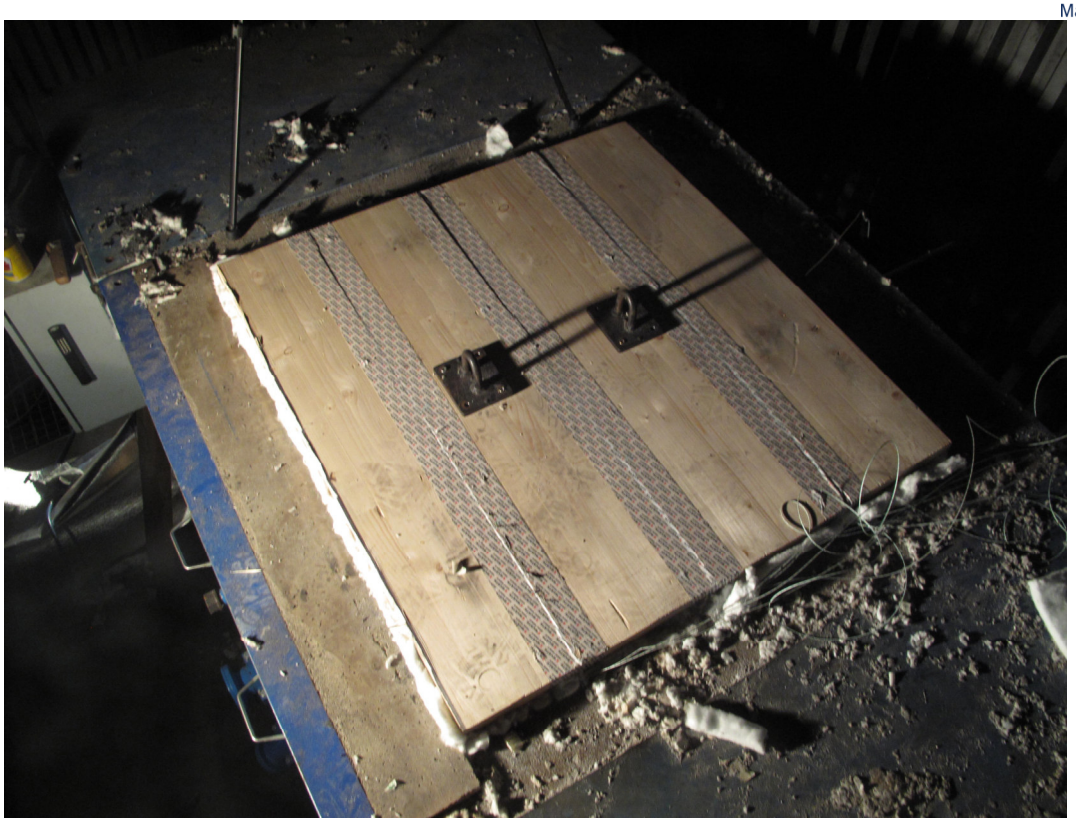


Abbildung 3: Einsetzen des Bauteils in den Bauteilofen

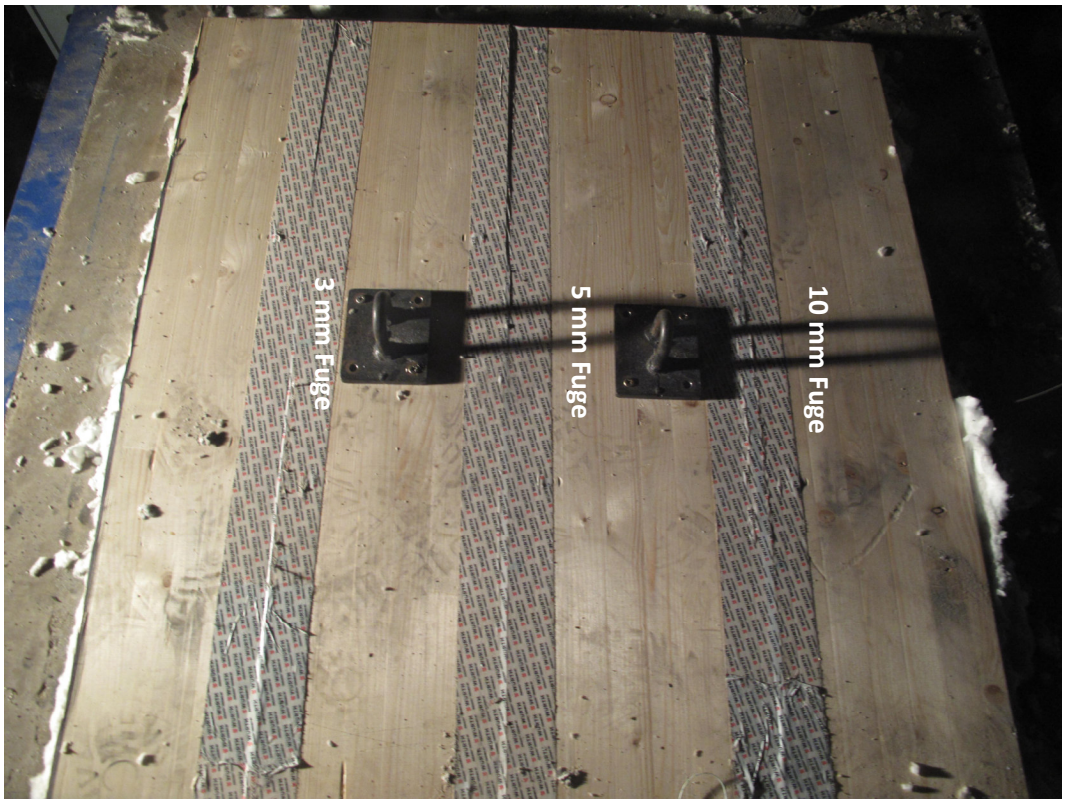


Abbildung 4: Blasenbildung im Bereich der 10 mm Fuge (23. Versuchsminute)

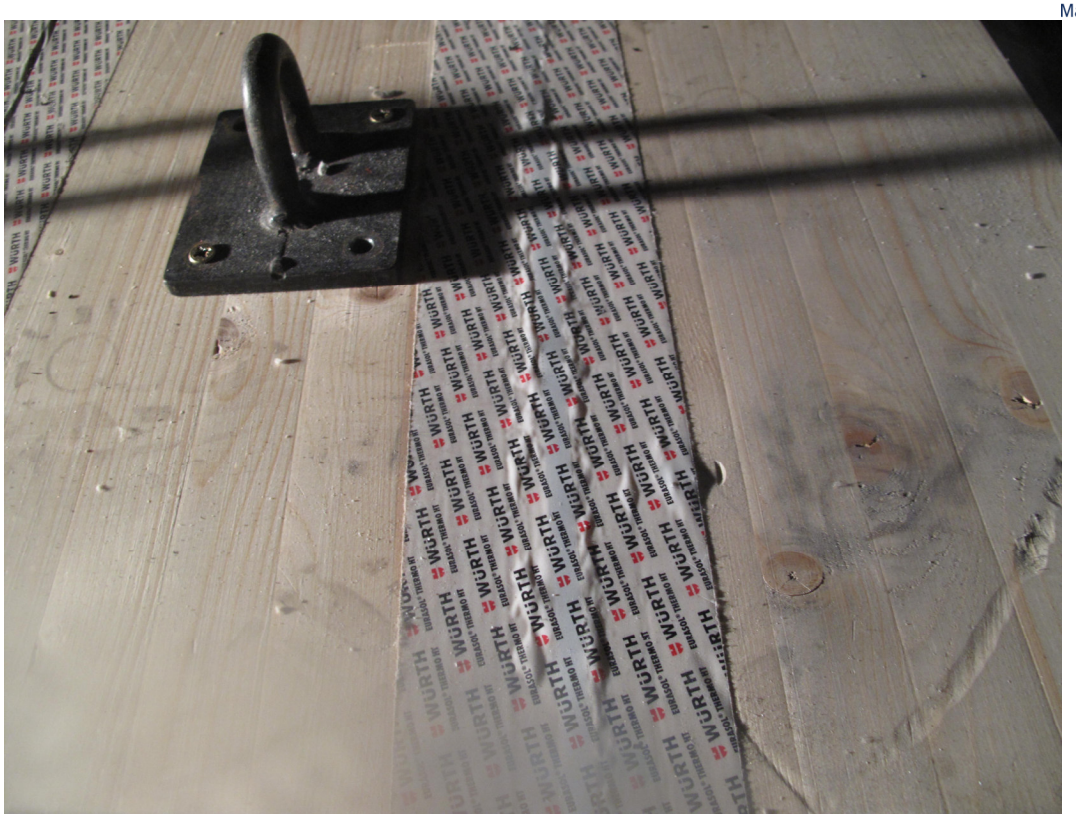


Abbildung 5: Blasenbildung im Bereich der 10 mm Fuge (23. Versuchsminute)

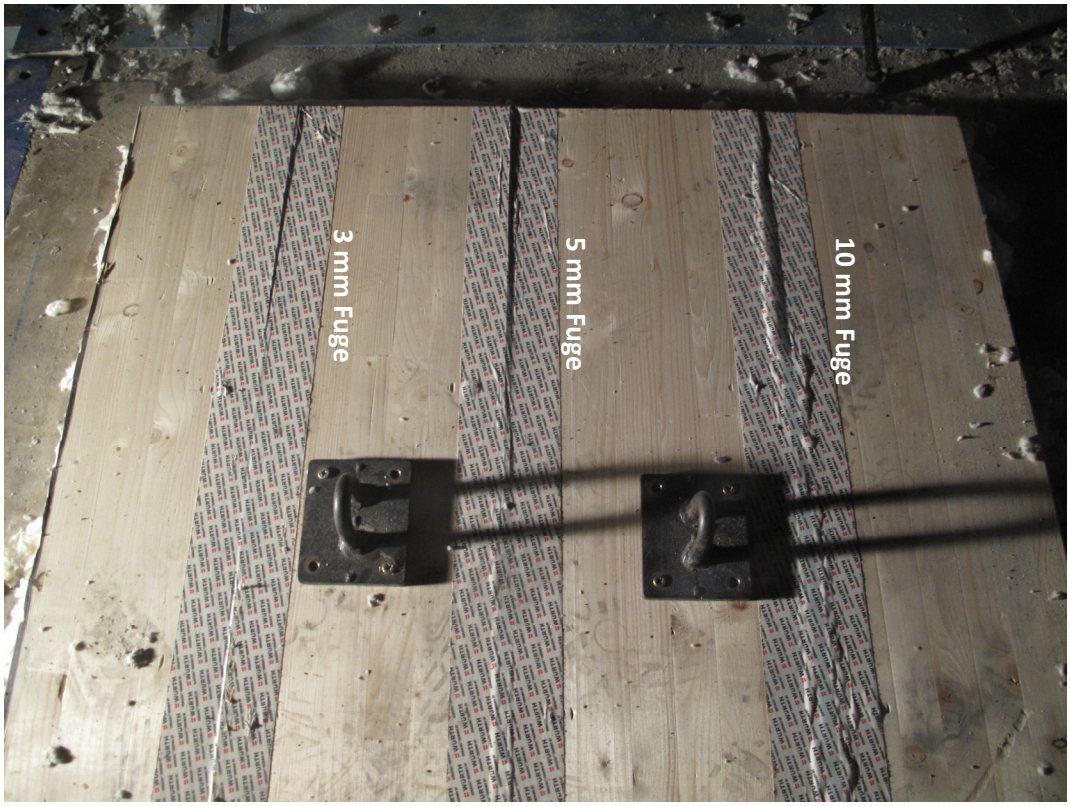


Abbildung 6: Leichtes Ablösen im Bereich der 10 mm Fuge, Blasenbildung im Bereich der 5 mm Fuge (47. Versuchsminute)

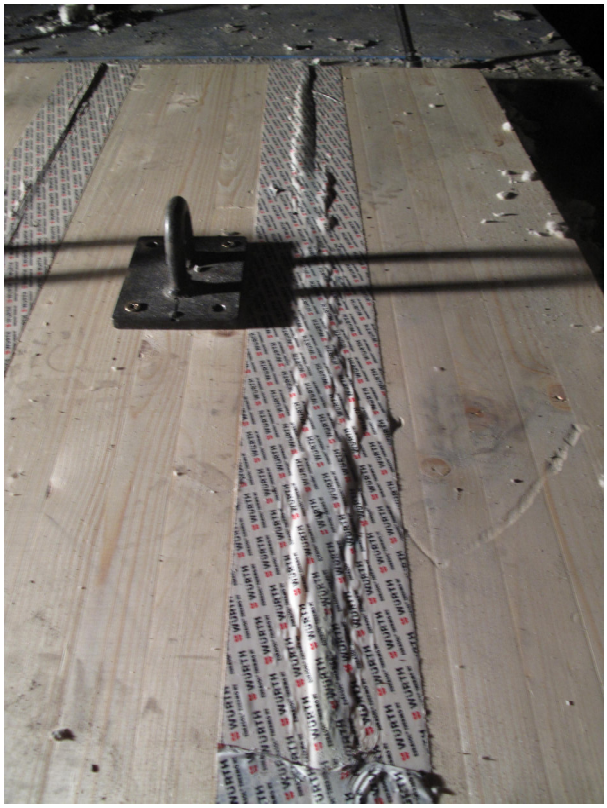


Abbildung 7: Leichtes Ablösen im Bereich der 10 mm Fuge, Blasenbildung (47. Versuchsminute)

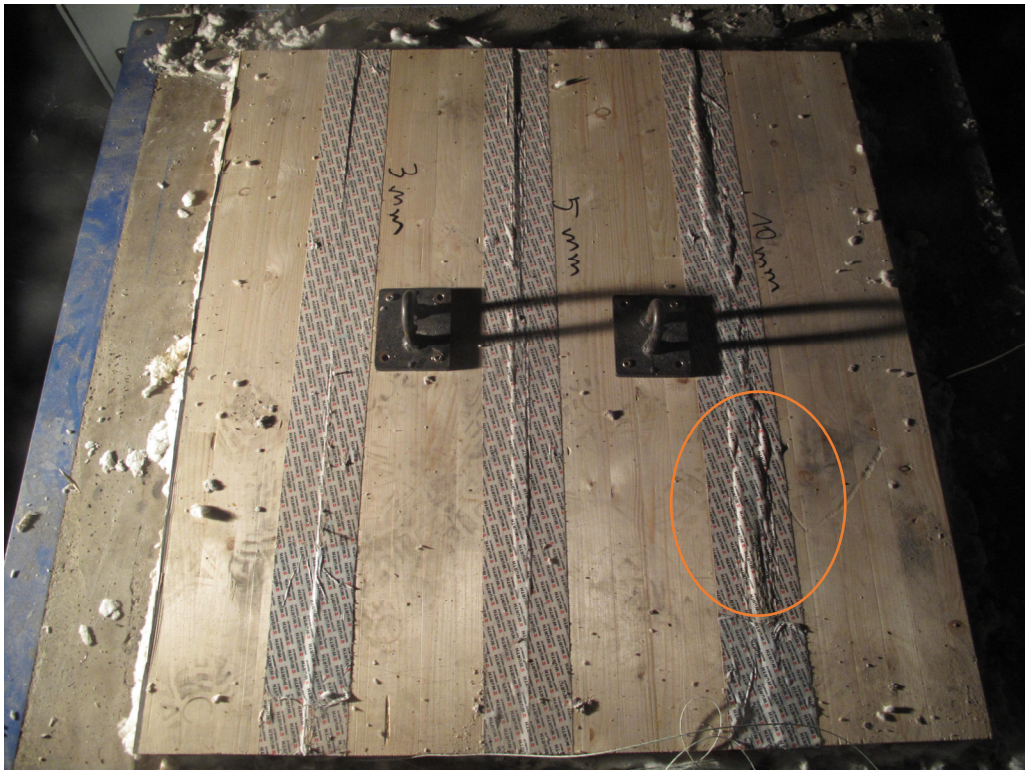


Abbildung 8: Blasenbildung an den Klebebändern der 5- und 10 mm Fugen erkennbar, Verkohlung im Bereich der Markierung, siehe nächstes Bild (60. Versuchsminute)



Abbildung 9: Verkohlung im Bereich des Klebebandes an der 10 mm Fuge (60. Versuchsminute)#



Abbildung 10: Zustand der Klebebänder (68. Versuchsminute)

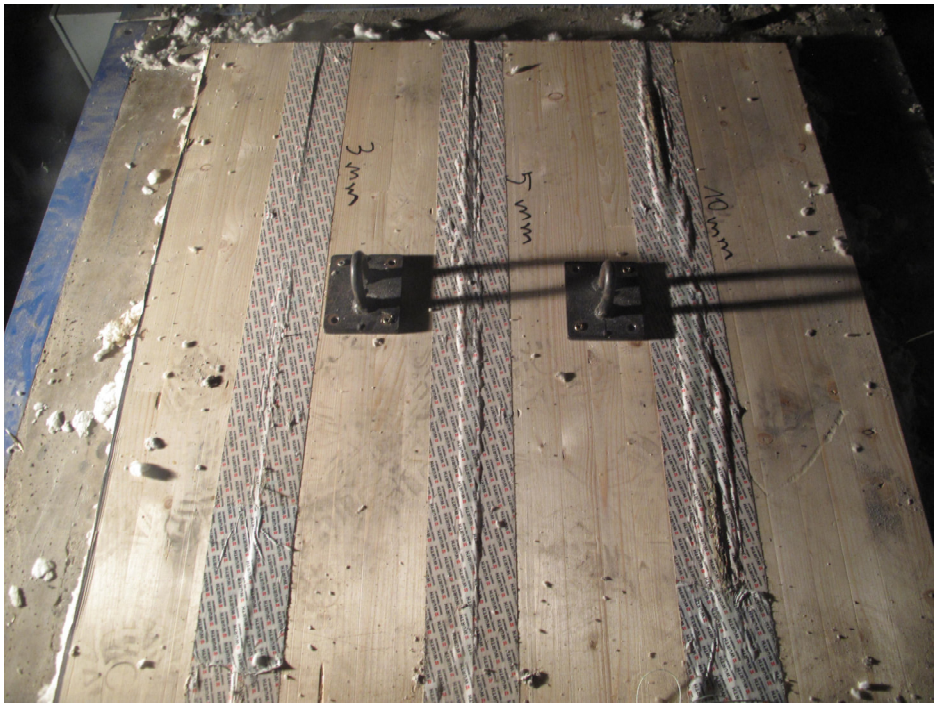


Abbildung 11: Zustand der Klebebänder, leichter Rauchdurchtritt an 10 mm Fuge (81. Versuchsminute)

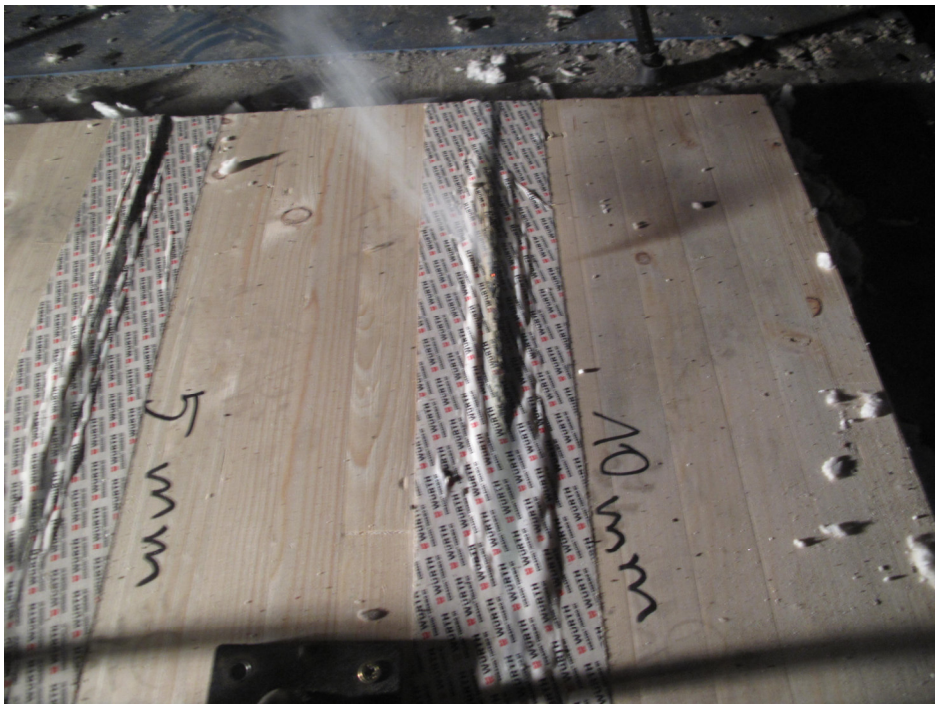


Abbildung 12: Zunehmeder Rauchdurchtritt an 10 mm Fuge (84. Versuchsminute)

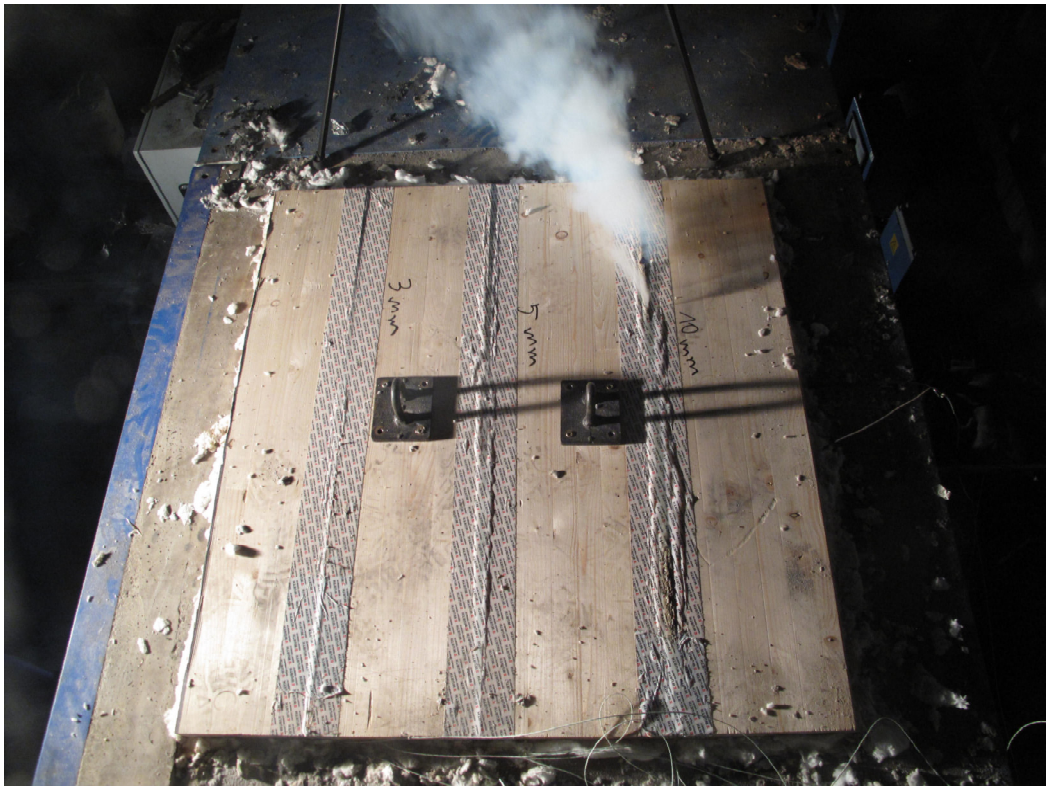


Abbildung 13: Starker Rauchdurchtritt an 10 mm Fuge (86. Versuchsminute)



Abbildung 14: Flammendurchtritt an 10 mm Fuge (87. Versuchsminute)

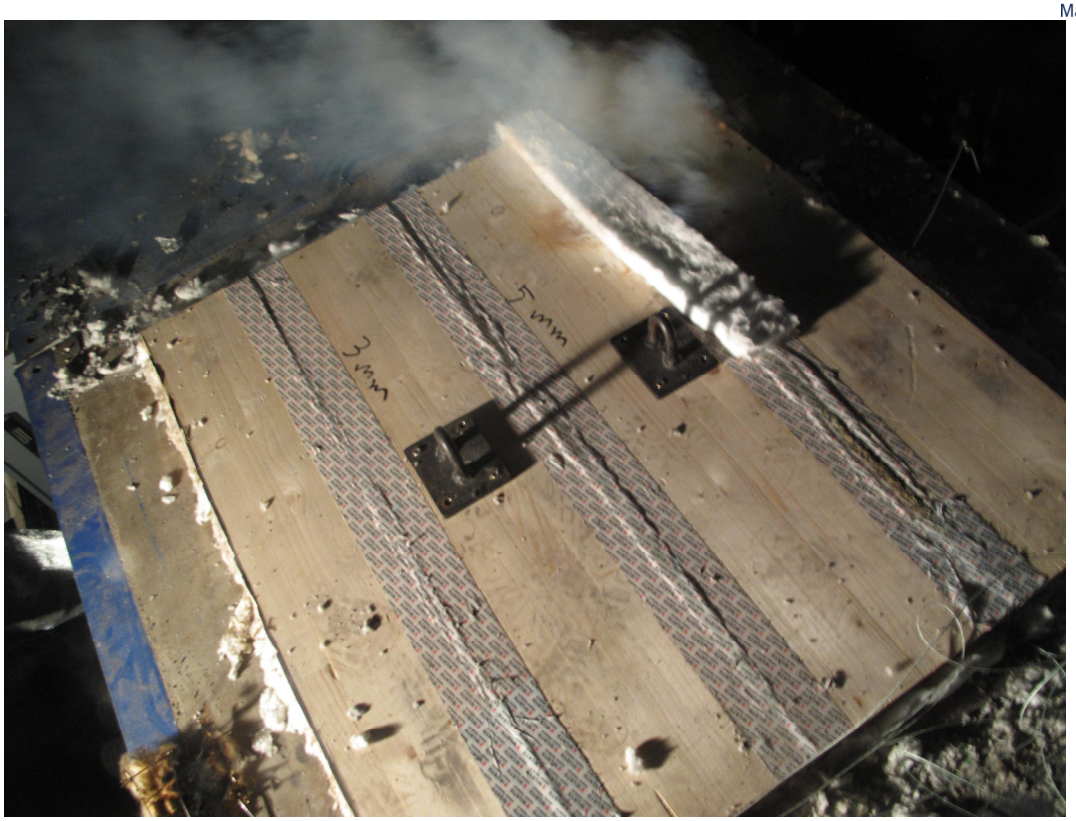


Abbildung 15: Abdecken des Flammendurchtritts zum Schutz des Probekörper bzw. der Kranösen (88. Versuchsminute)



Abbildung 16: Durchbrand des Klebebandes an der 5 mm Fuge nach Versuchsende

4.1. Darstellung der Restquerschnitte



Abbildung 17: Restquerschnitt im Bereich der 10 mm Fuge



Abbildung 18: Restquerschnitt im Bereich der 5 mm Fuge



Abbildung 19: Restquerschnitt im Bereich der 3 mm Fuge

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: D2_HTB_EF_90

Datum: 10.03.2020

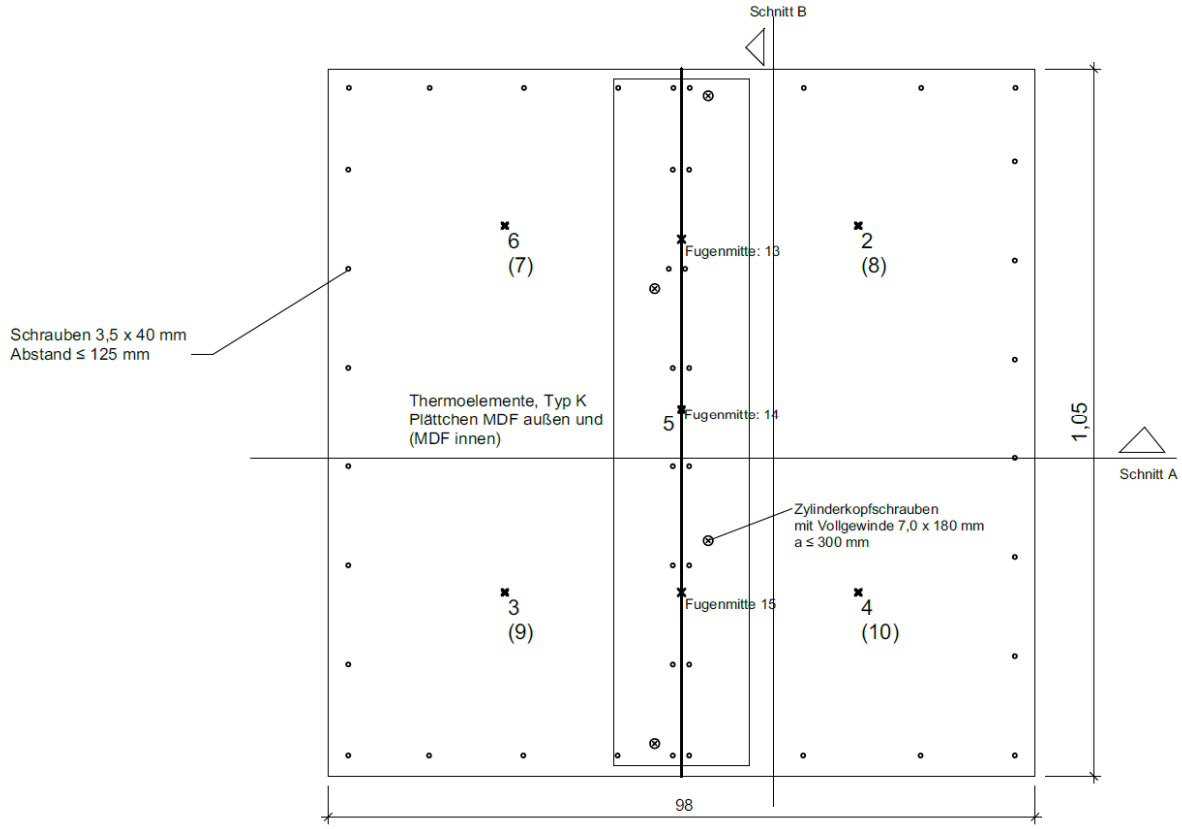
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Draufsicht (brandabgewandte Seite) 3
Schnitt A 4
Schnitt B 4
Ansicht brandzugewandte Seite (innere) 1. Lage 5
Ansicht brandzugewandte Seite (äußere) 2. Lage 5
Benennung der Bauteilschichten 6
Weitere verwendete Materialien 6
2.Versuchsparameter 7
2.1 Umgebungsbedingungen 7
2.2 Prüfbedingungen 7
Temperaturzeitkurve 7
Grenzabweichungen 8
Ofenüberdruck 8
3.Auswertung 9
3.1. Temperaturverläufe 9
Temperaturverlauf Elementfugen 9
Temperaturverlauf Decke 9
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 11
Volumenstrom 11
Massenströme CO, CO_2 11
Massenströme C_xH_y, NO_X 12
O_2-Konzentration 12
Absolute Abgasfeuchte 13
Abgastemperatur 13
3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 14
4. Anhänge/Fotodokumentation 15
4.1 Darstellung der Restquerschnitte 21

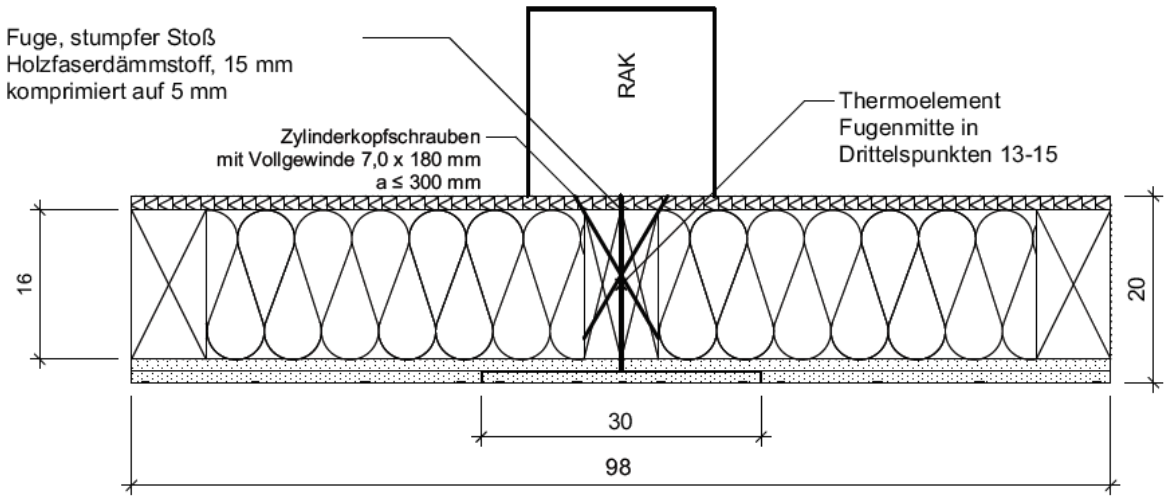
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

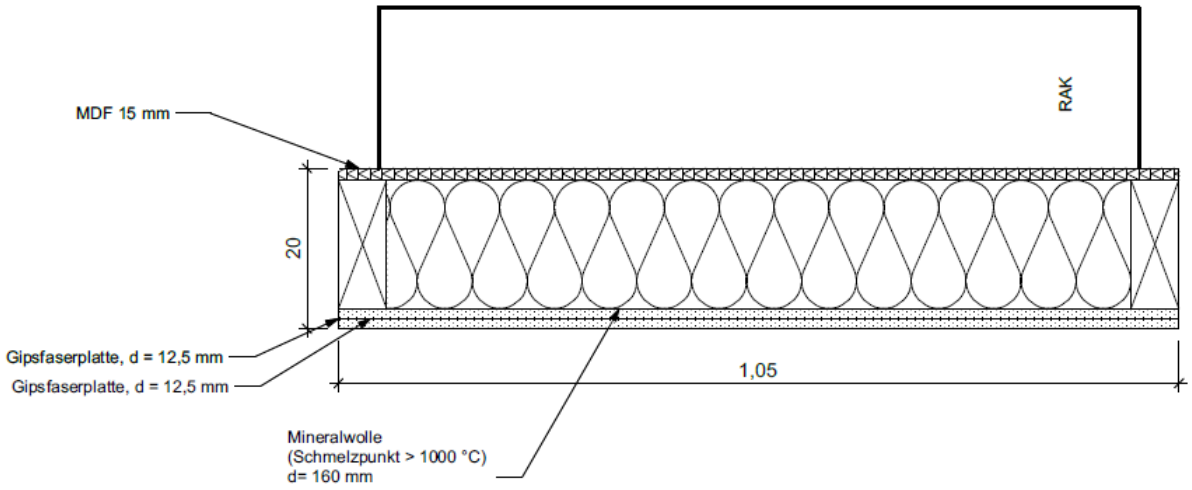
Draufsicht (brandabgewandte Seite)



Schnitt A

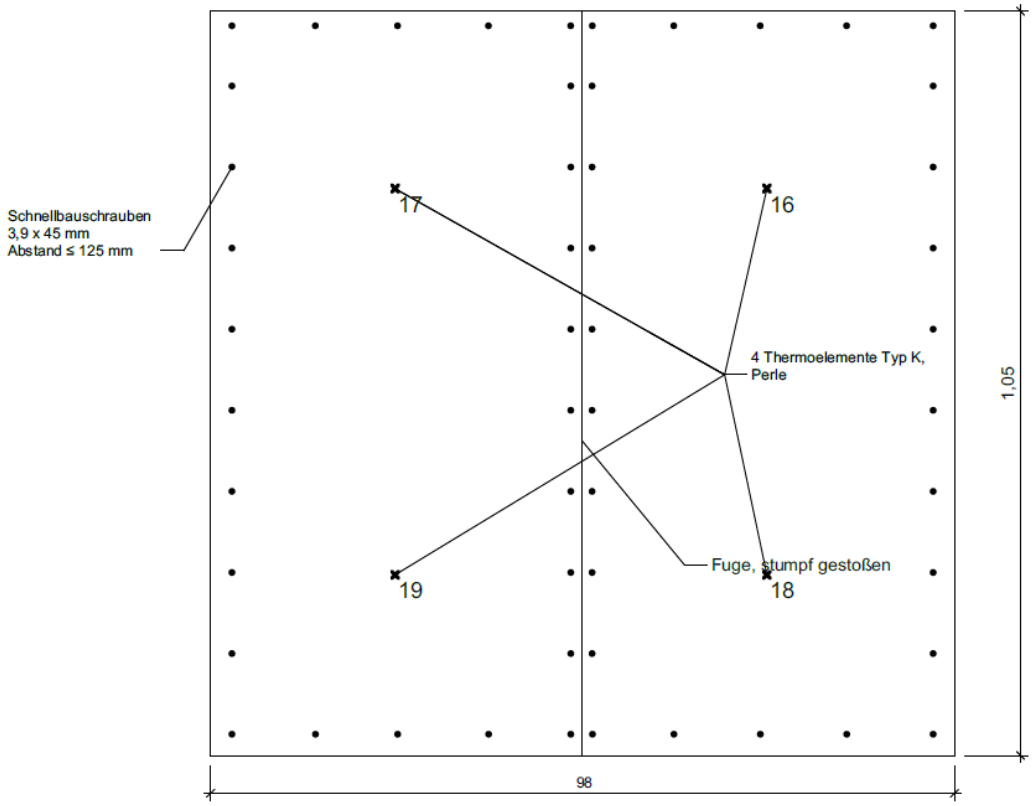


Schnitt B

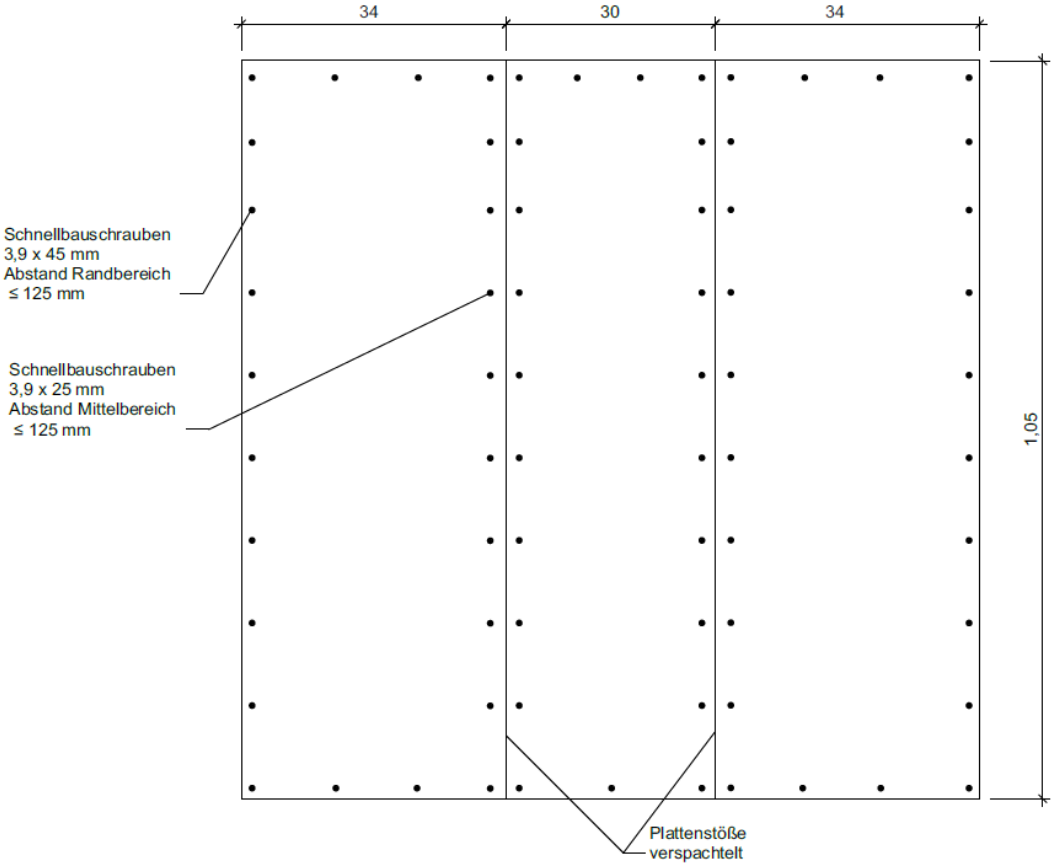


Montagereihenfolge der Gipsfaserplatte: 1. (innere) Lage -> 2. (äußere) Lage

Ansicht brandzugewandte Seite (innere) 1. Lage



Ansicht brandzugewandte Seite (äußere) 2. Lage



Benennung der Bauteilschichten

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W2	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W3	160 mm Mineralwolle Flexirock 035	30	1 %	Rockwool
	160 mm KVH 80 x 160	470	10 %	Sporkenbach
W4	15 mm MDF Platte	690	6 %	Egger

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben 3,9 x 45 mm	Toom	W1, W2
Universalschrauben 3,9 x 25 mm	Toom	W4
Fermacell ® Gipsspachtel	JamesHardie	W1
Holzfaserdämmstoff Thermoflex ®	Gutex	Elementfuge
Klebeband EURASOL HAT ®	Würth	Abklebung der MDF Platte umlaufend

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	10.03.2020, 11:32:42 Uhr
Versuchsende:	10.03.2020, 13:02:50 Uhr
Versuchsdauer in min:	90

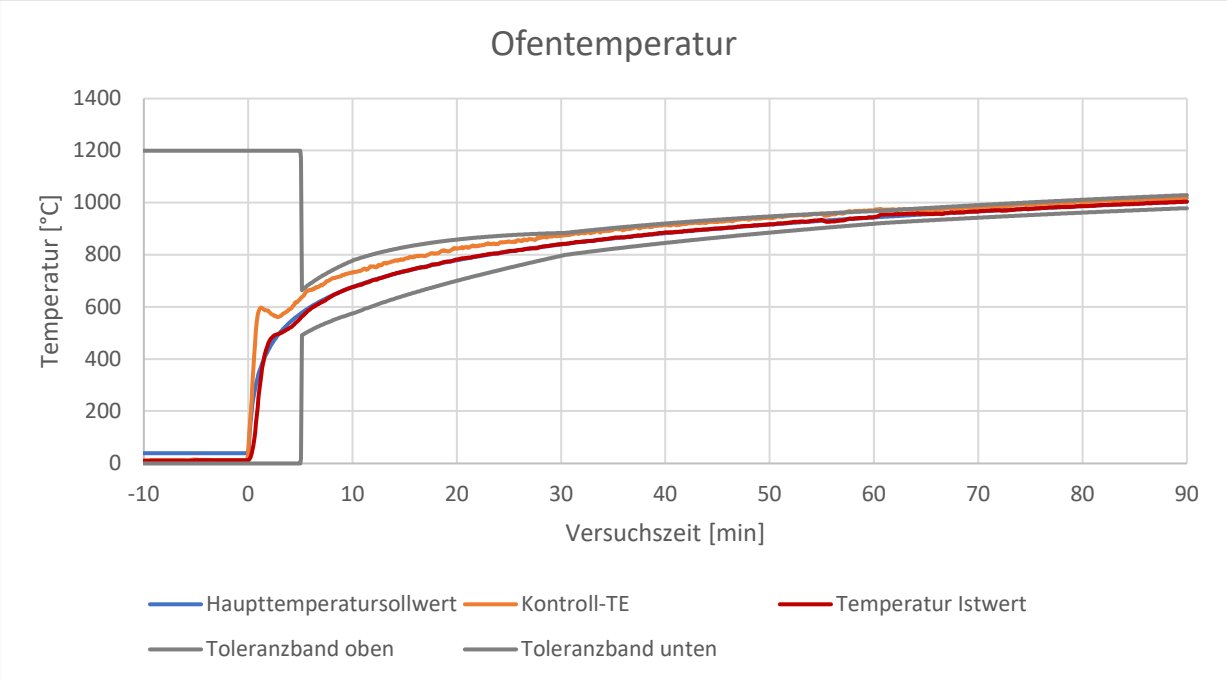
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

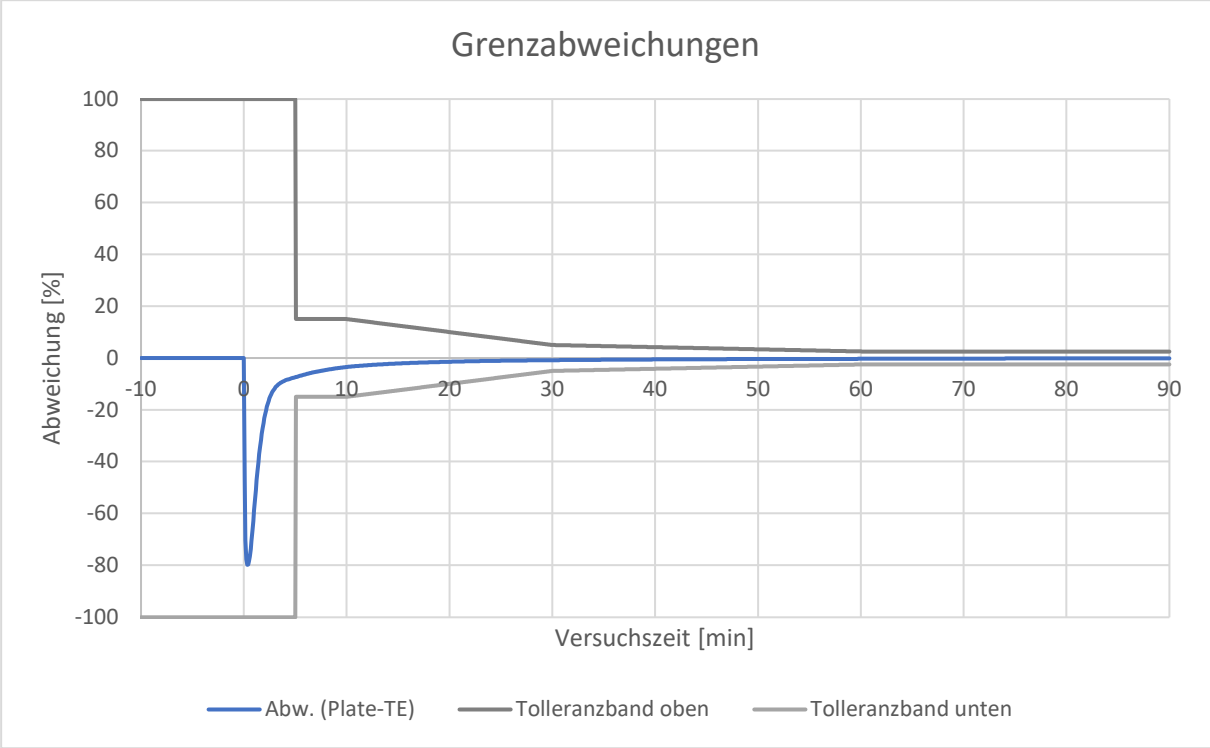
Umgebungsdruck:	998 mbar
Umgebungstemperatur:	8 °C
Luftfeuchte in %:	76 % rh

2.2 Prüfbedingungen

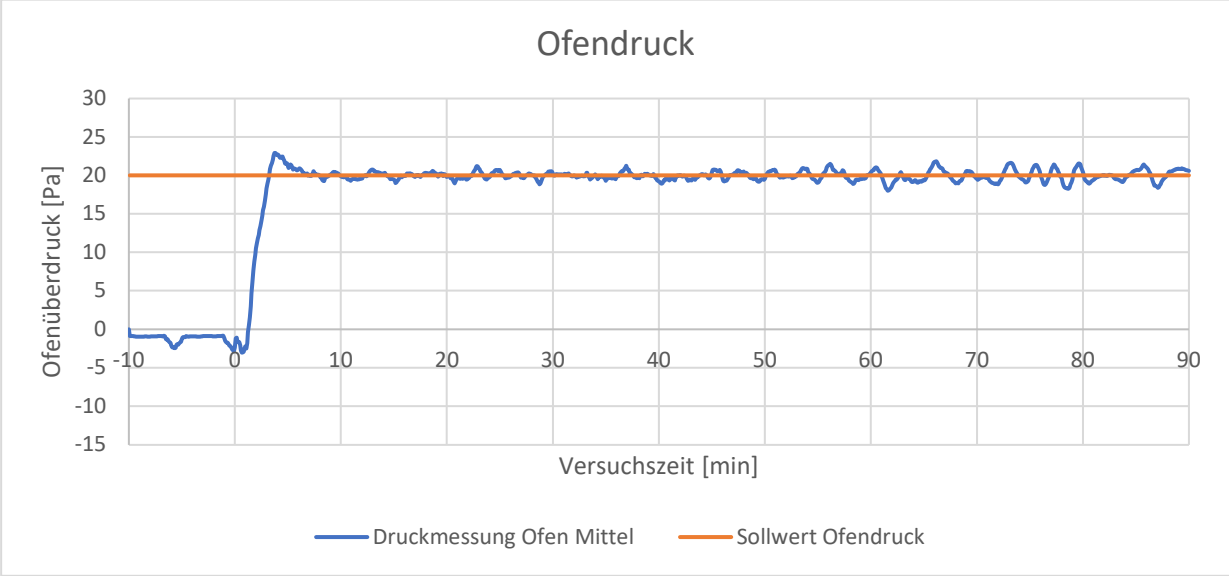
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



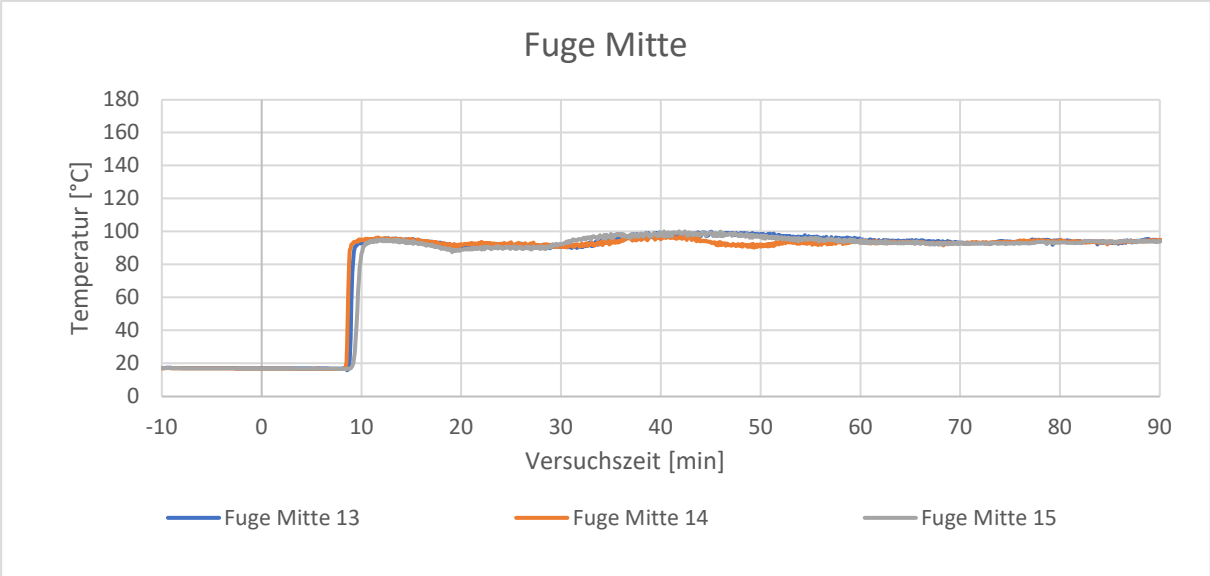
Ofenüberdruck



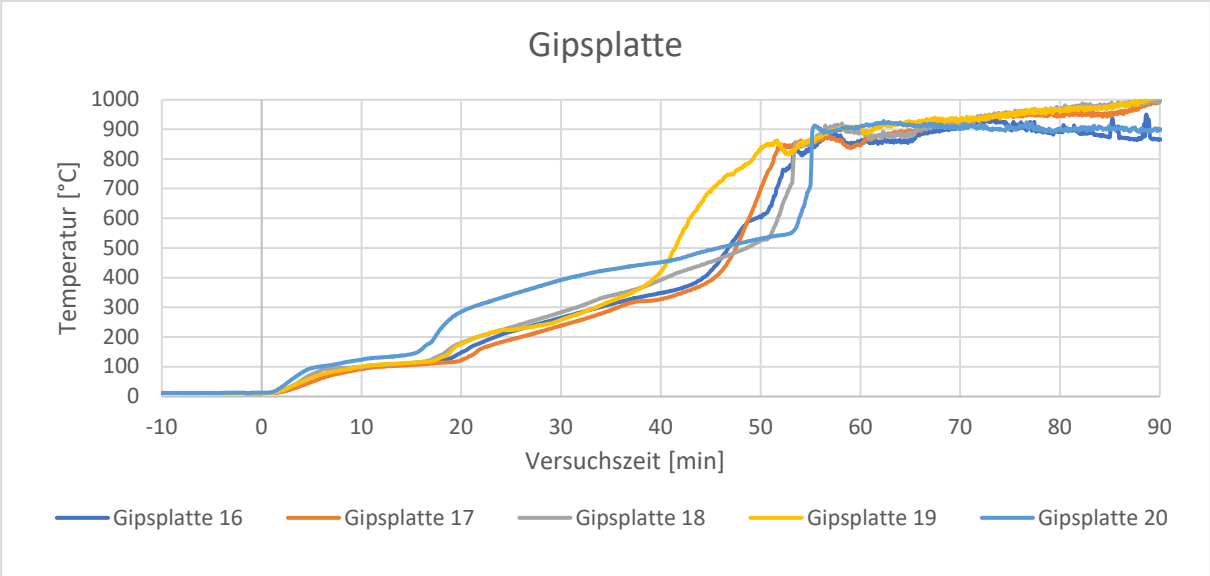
3.Auswertung

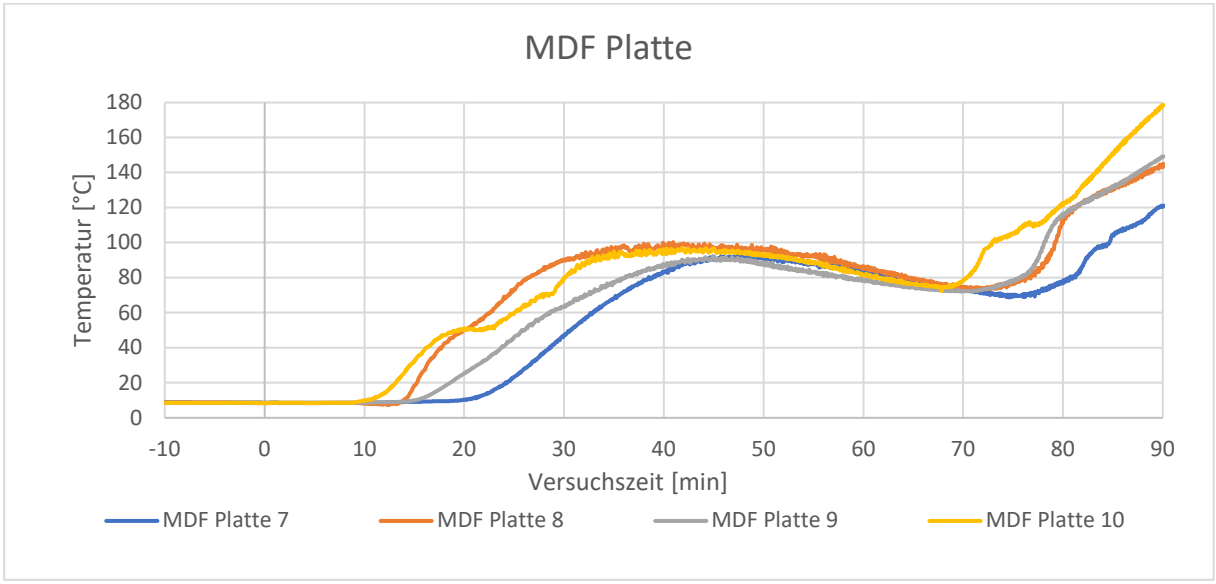
3.1. Temperaturverläufe

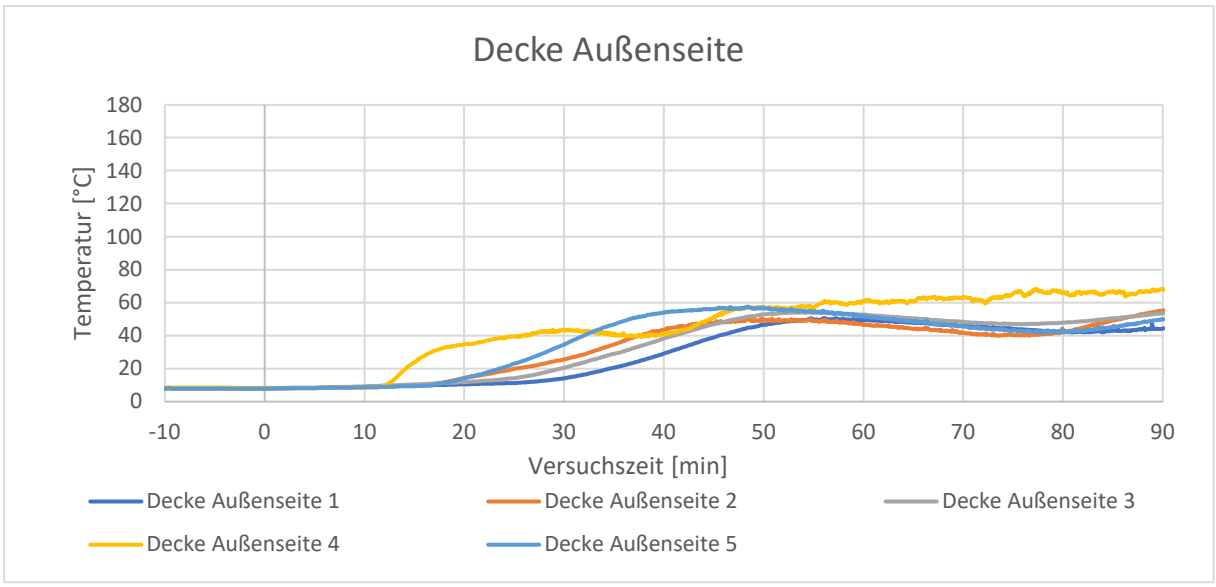
Temperaturverlauf Elementfugen



Temperaturverlauf Decke

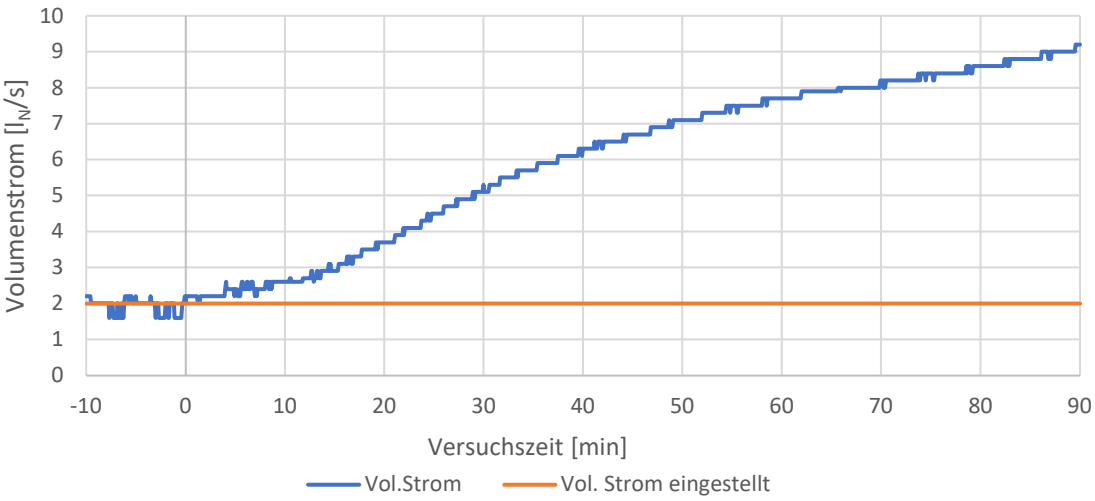



MDF Platte
Temperatur [°C]
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
MDF Platte 7
MDF Platte 8
MDF Platte 9
MDF Platte 10

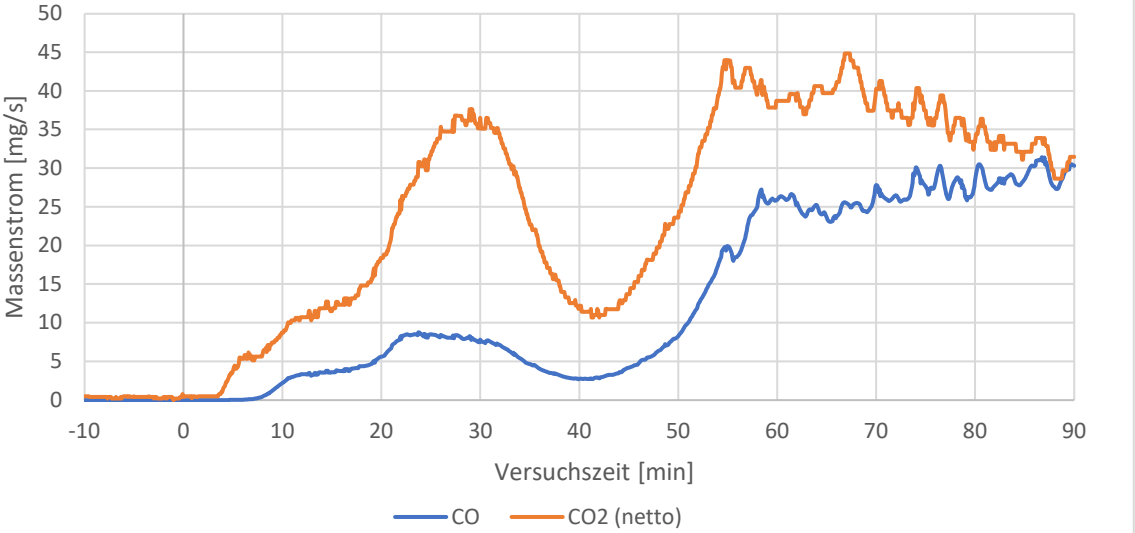

Decke Außenseite
Temperatur [°C]
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
Decke Außenseite 1
Decke Außenseite 2
Decke Außenseite 3
Decke Außenseite 4
Decke Außenseite 5

3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

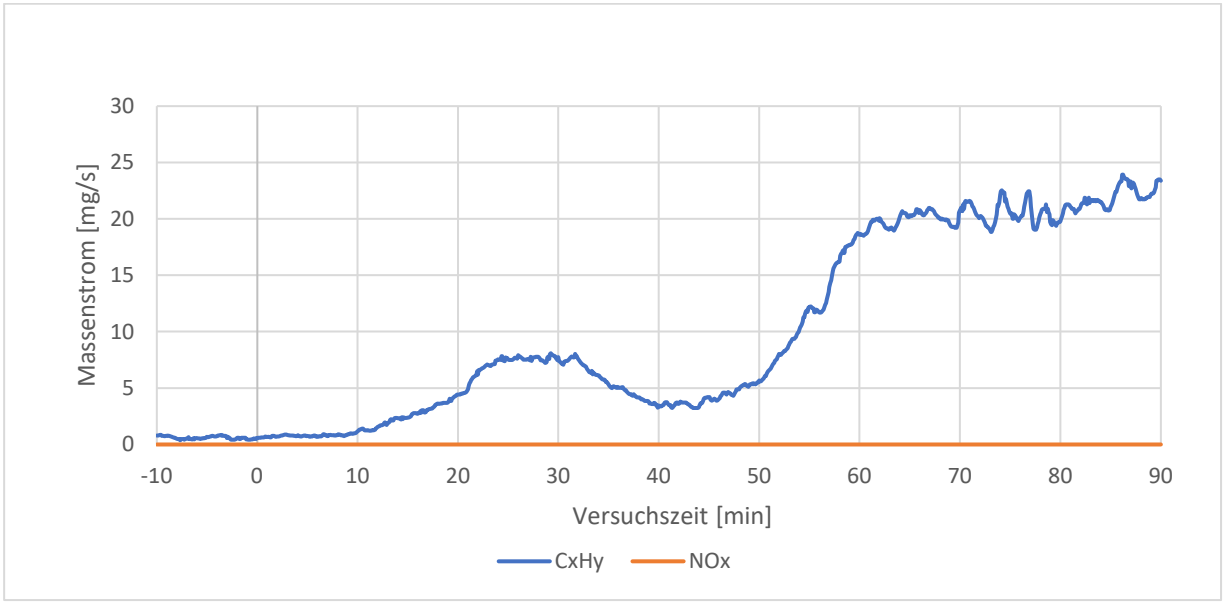
Volumenstrom



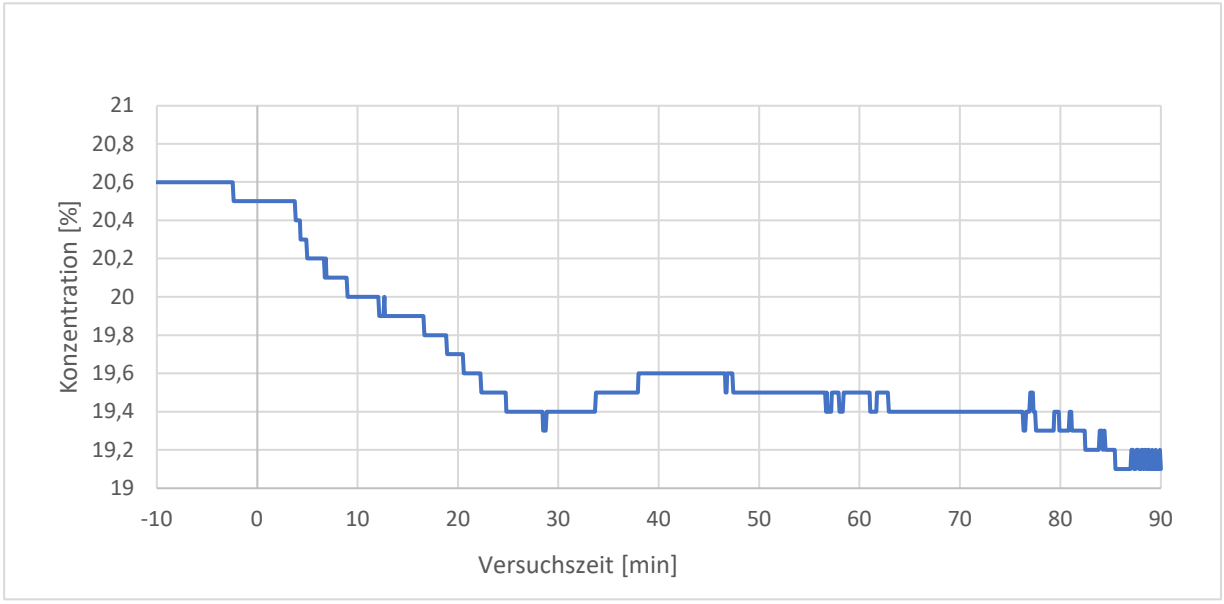
Massenströme CO, CO_2



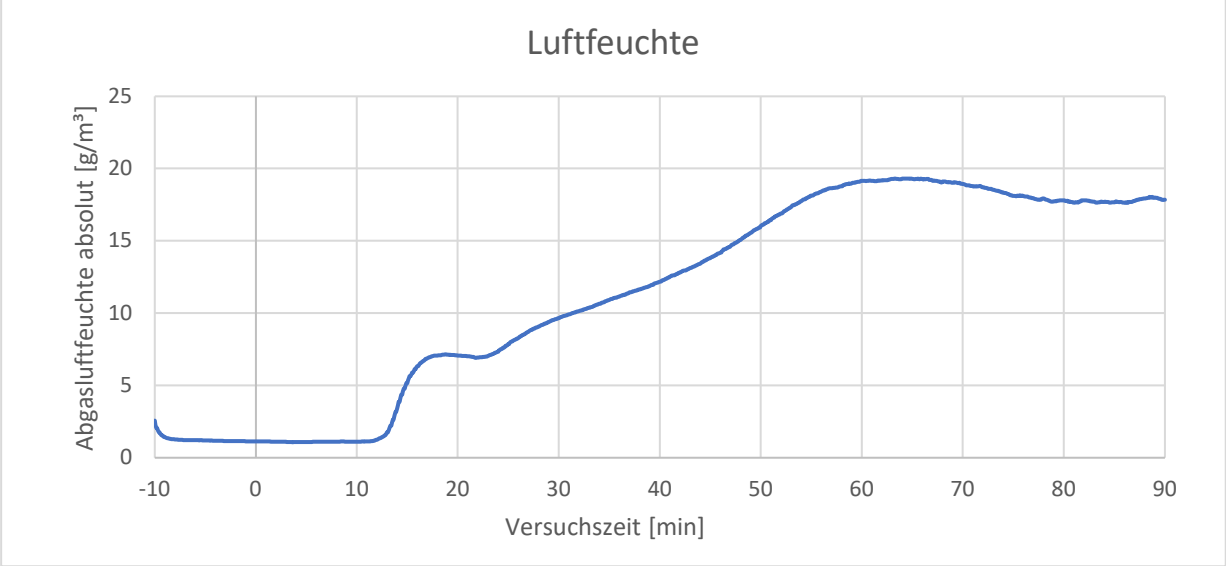
Massenströme C_xH_y, NO_X



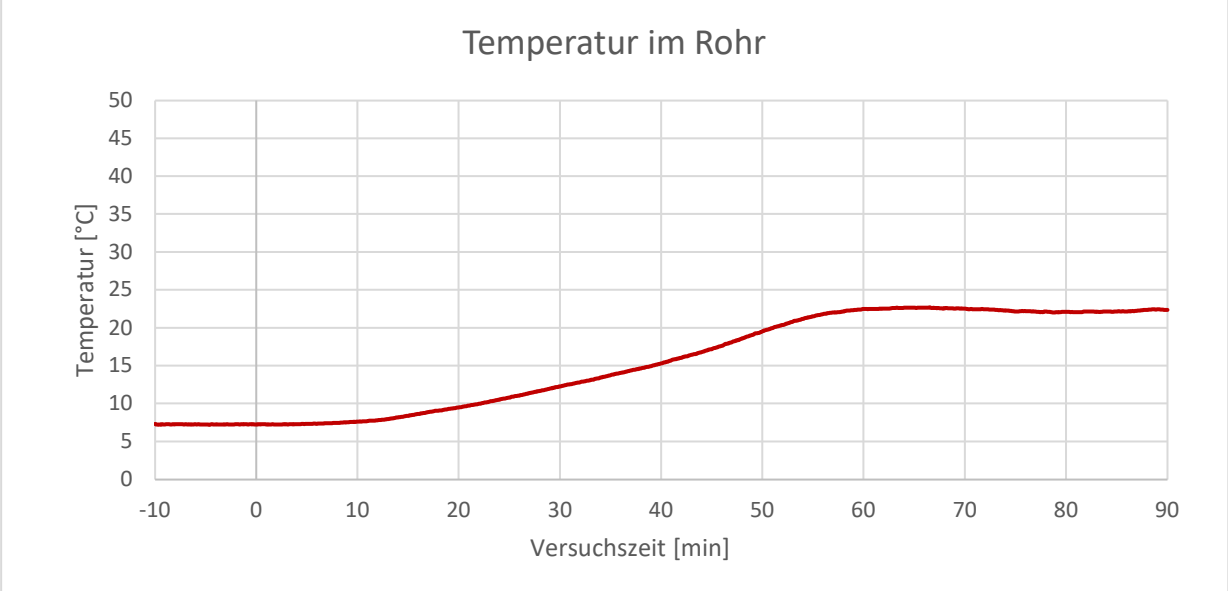
O_2-Konzentration



Absolute Abgasfeuchte



Abgastemperatur



3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
4.	Kein Rauchdurchtritt sichtbar, Gasanalytik spricht an	
16.	Leichter Rauchaustritt an Abgasrohr erkennbar	x
16.	Zunehmender Rauchaustritt an Abgasrohr erkennbar	x
25.	Sichtbare Kondenswasserbildung an der Elementfuge, brandabgewandte Seite	
49.	Trübung des Rauchauffangkastens sichtbar	x
73.	Zunehmende Rauchentwicklung im RAK erkennbar	x

4. Anhänge/Fotodokumentation



Abbildung 1: Probekörper, brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 2: Probekörer, seitlich (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 3: Eingebauter Probekörper, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

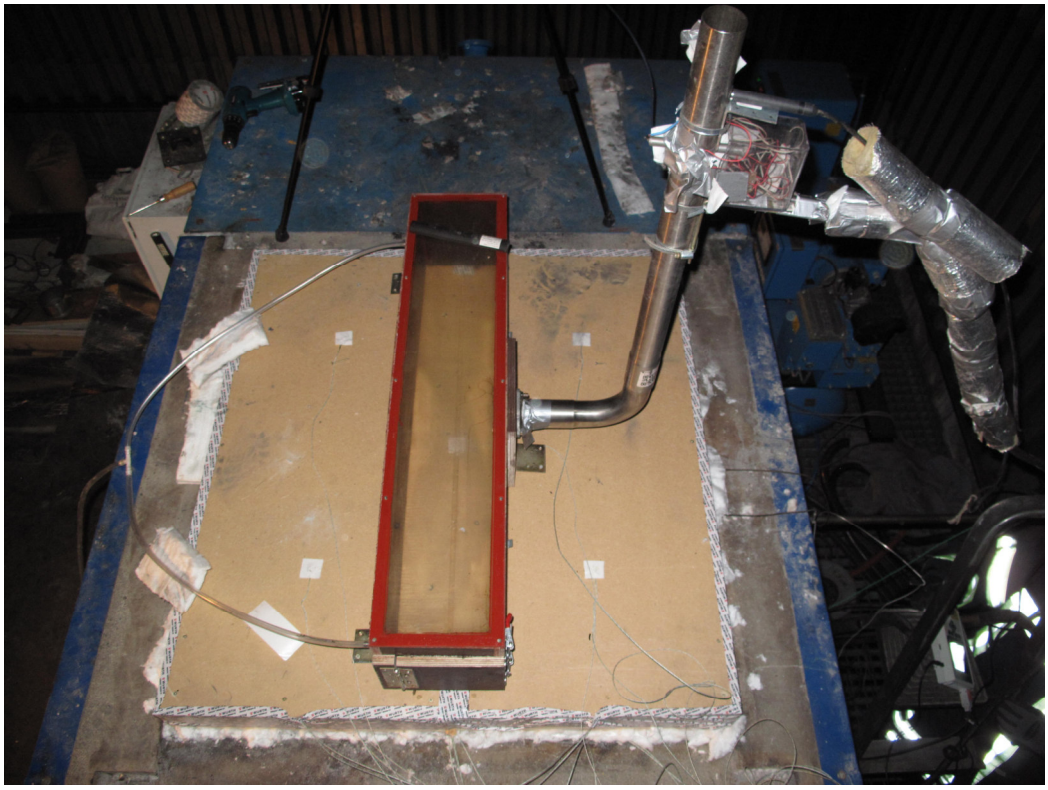


Abbildung 4: Montage des Rauchauffangkastens



Abbildung 5: Rauchentwicklung im RAK mit bloßem Auge nicht erkennbar (16. Versuchsminute)

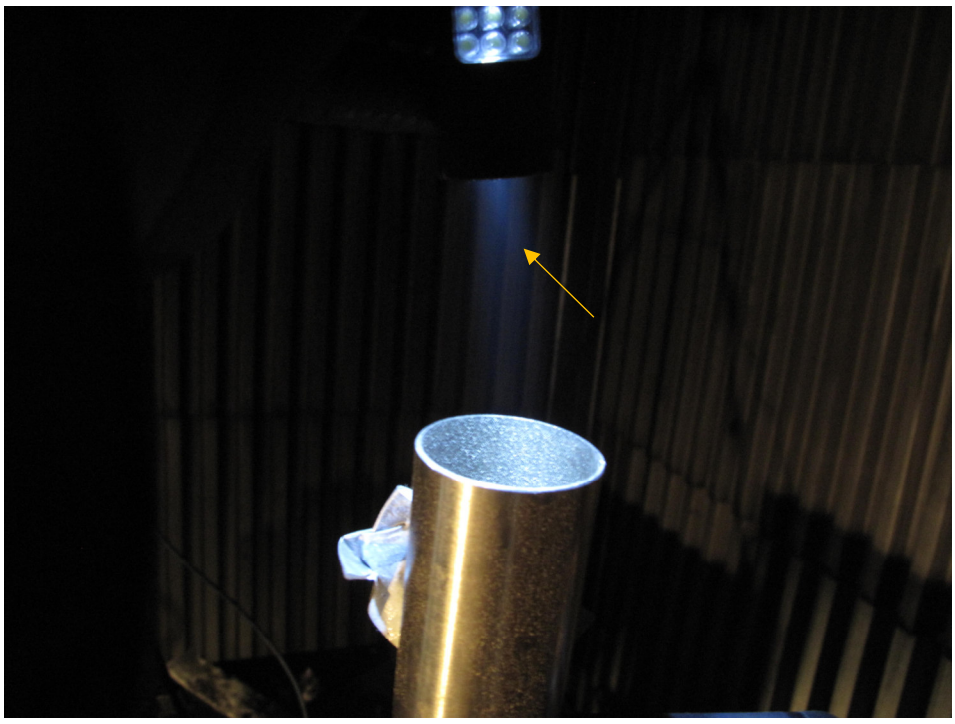


Abbildung 6: Rauchentwicklung am Abgasrohr erkennbar (16. Brandminute)

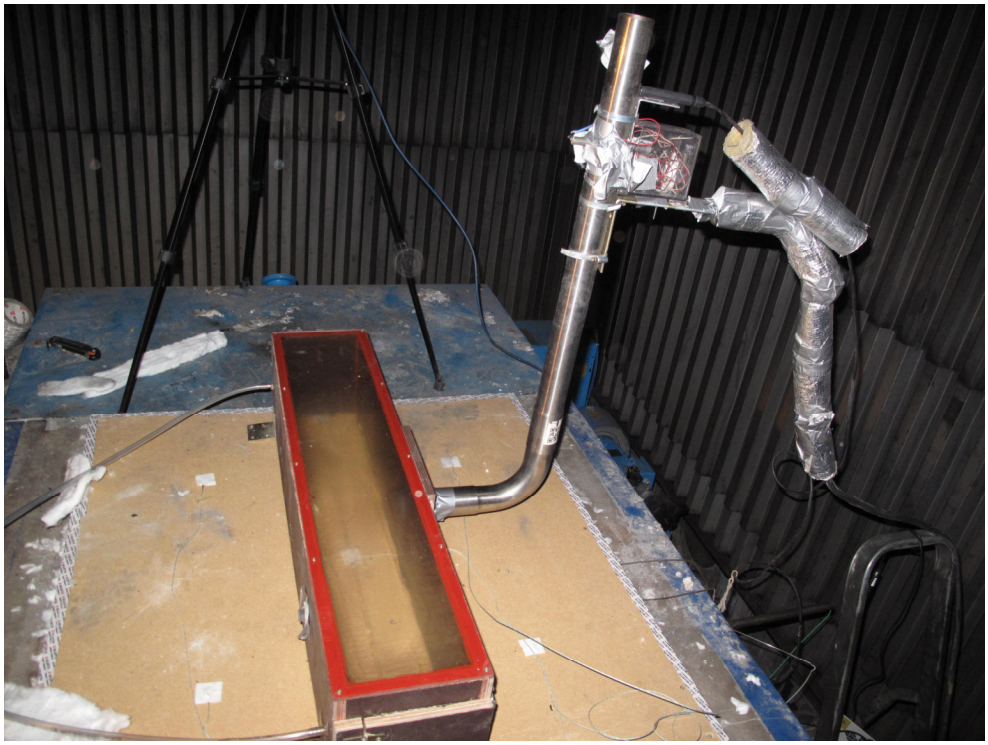


Abbildung 7: Leichte Trübung des RAK sichtbar (49. Versuchsminute)

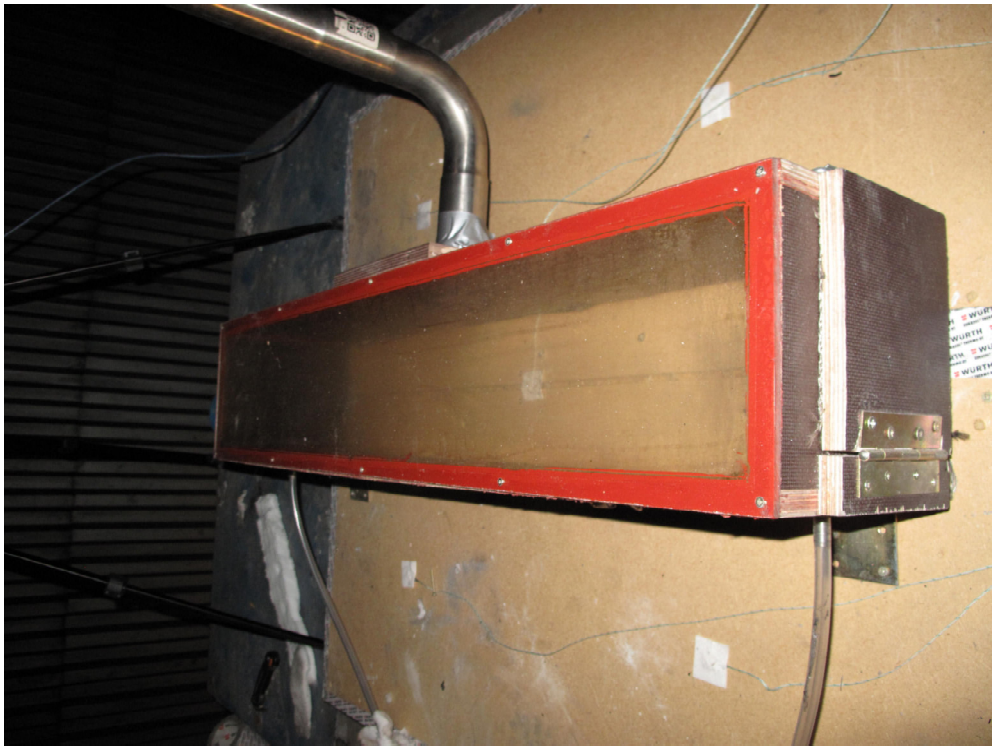


Abbildung 8: Trübung des RAK erkennbar (73. Versuchsminute)

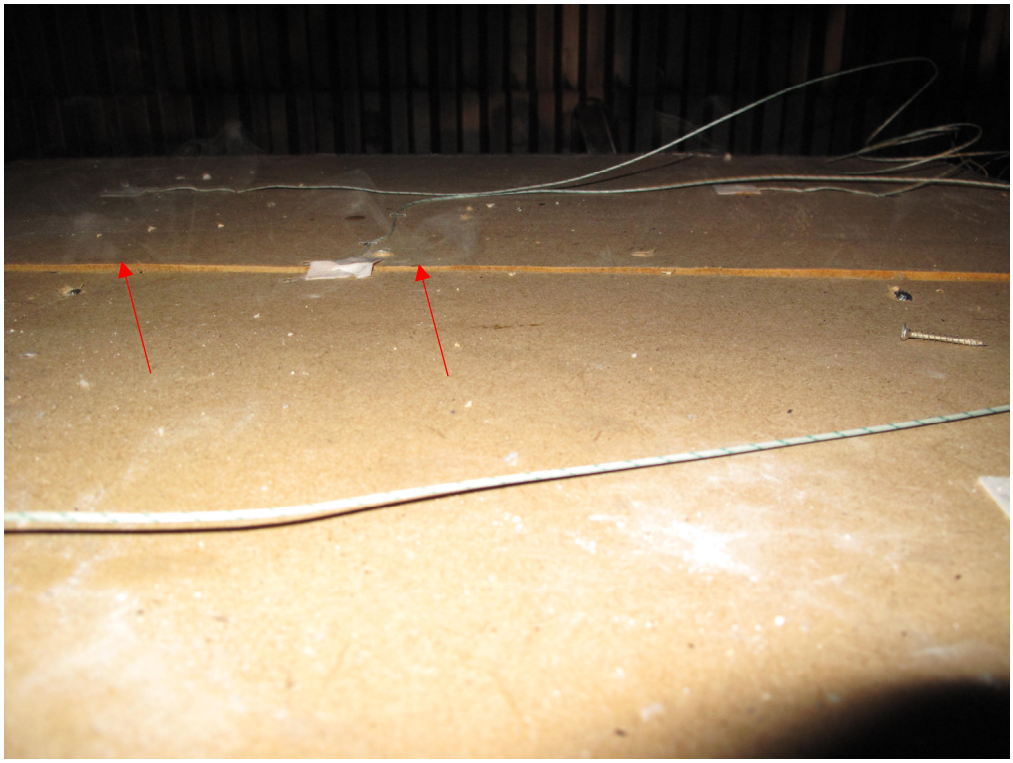


Abbildung 9: Rauchdurchtritt aus Fuge erkennbar (90. Versuchsminute)

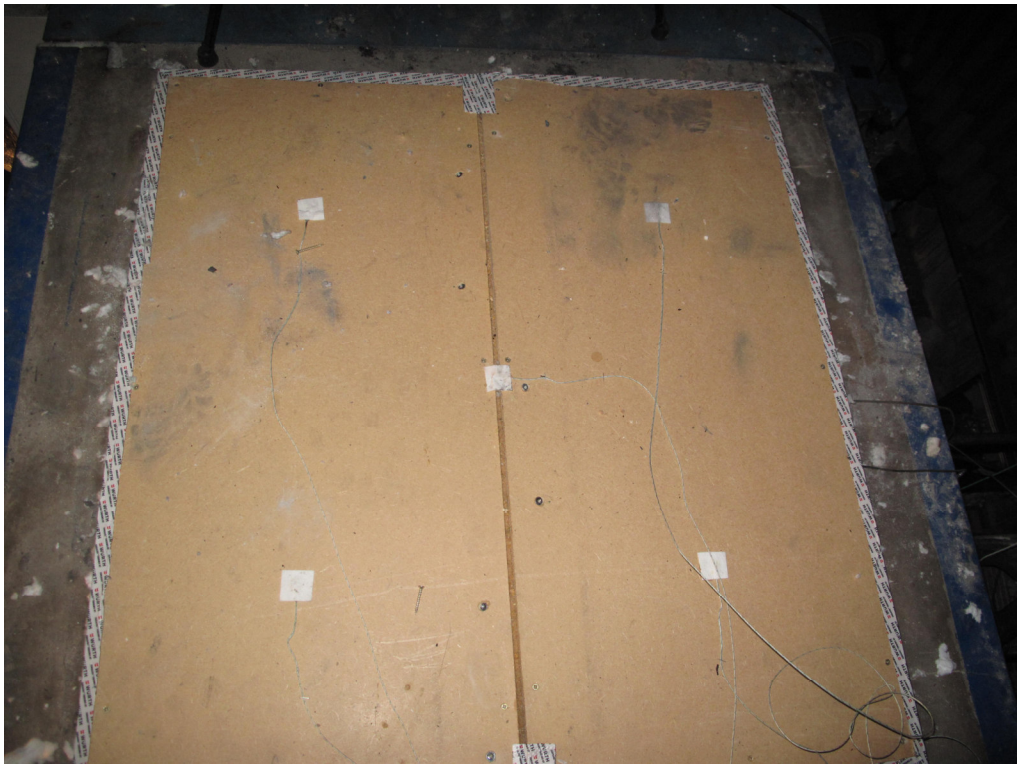


Abbildung 10: Probekörper, brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 11: Probekörper, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 12: Probekörper, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende und Entnahme der Dämmung)

4.1 Darstellung der Restquerschnitte



Abbildung 13: Schnittachse Bauteilmitte, Elementfuge



Abbildung 14: Abbrandtiefe, Dämmstoff in Elementfuge

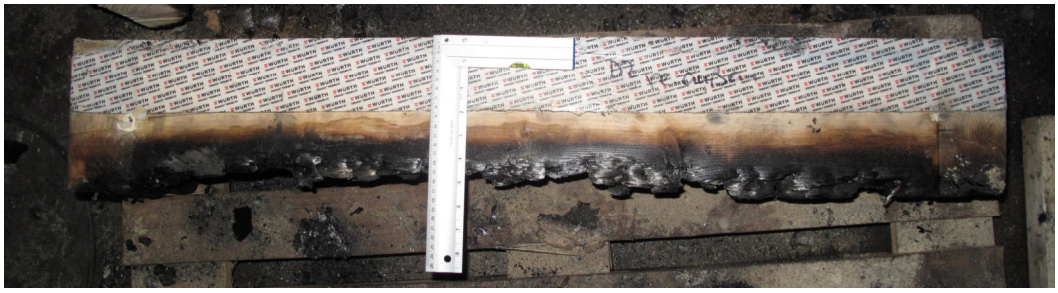


Abbildung 15: Restquerschnitt rechts außen



Abbildung 16: Restquerschnitt mitte-rechts/rechts



Abbildung 17: Restquerschnitt mi.links/links



Abbildung 18: Restquerschnitt links außen

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: E1_BSH_HTI_90

Datum: 12.03.2020

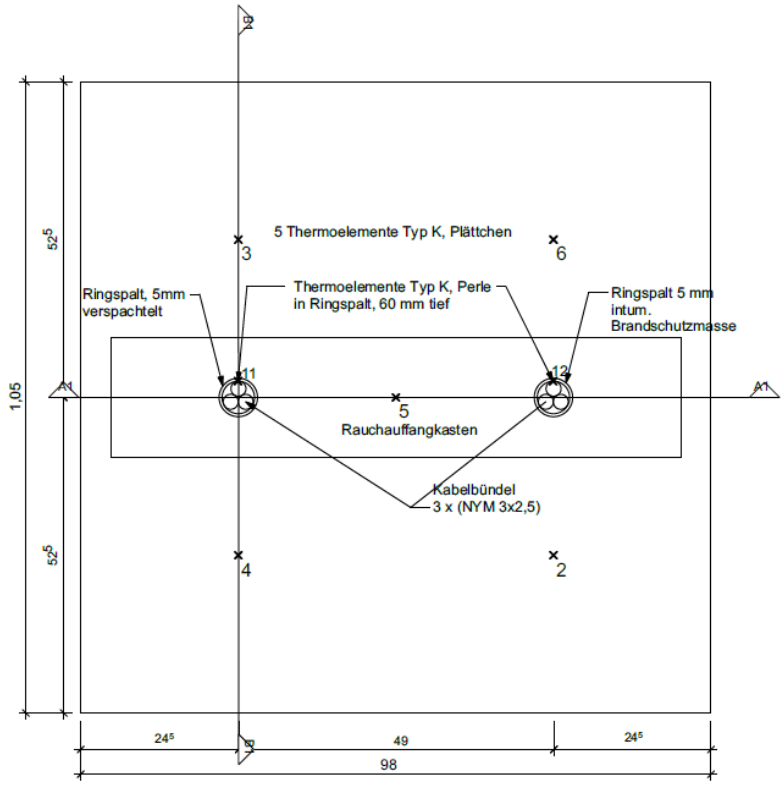
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Ansicht (brandabgewandte Seite) 3
Ansicht (brandzugewandte Seite) 4
Schnitt A 5
Schnitt B 5
Benennung der Bauteilschichten 6
Weitere verwendete Materialien 6
2.Versuchsparameter 7
2.1 Umgebungsbedingungen 7
2.2 Prüfbedingungen 7
Temperaturzeitkurve 7
Grenzabweichungen 8
Ofenüberdruck 8
3.Auswertung 9
3.1. Temperaturverläufe 9
Temperaturverlauf Haustechnische Installationen 9
Temperaturverlauf Decke 9
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 10
Volumenstrom 10
Massenströme CO, CO_2 10
Massenströme C_xH_y, NO_x 11
O_2-Konzentration 11
Absolute Abgasfeuchte 12
Abgastemperatur 12
3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 13
4. Anhänge/Fotodokumentation 14
4.1 Darstellung der Restquerschnitte 20

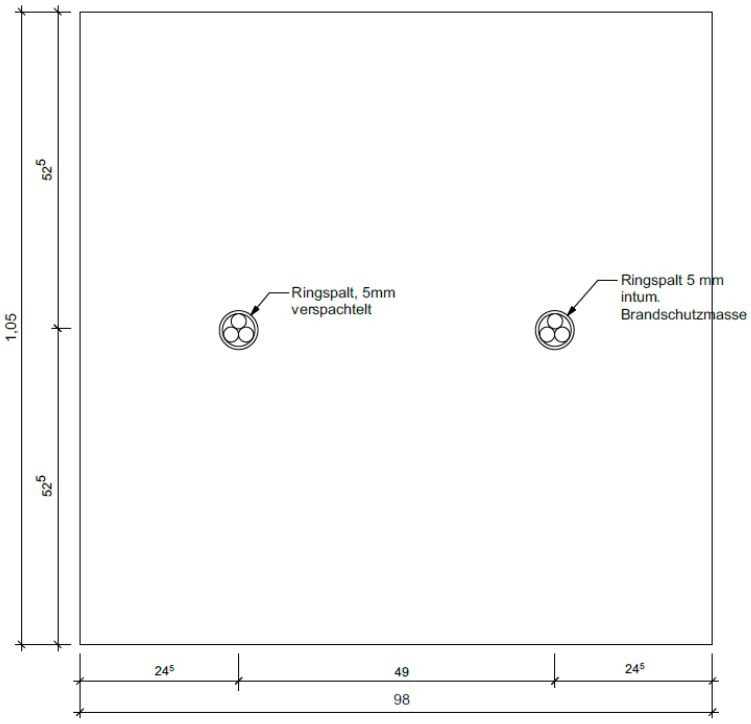
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

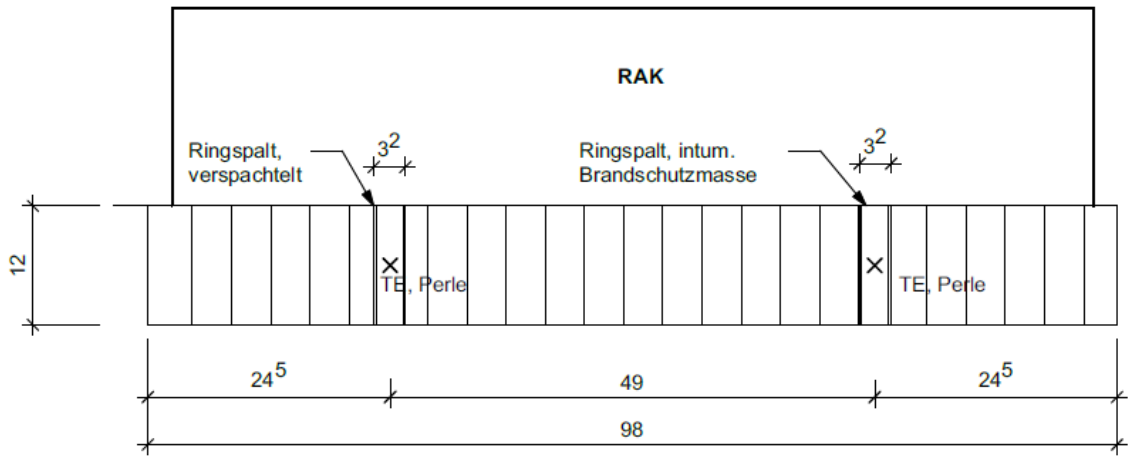
Ansicht (brandabgewandte Seite)



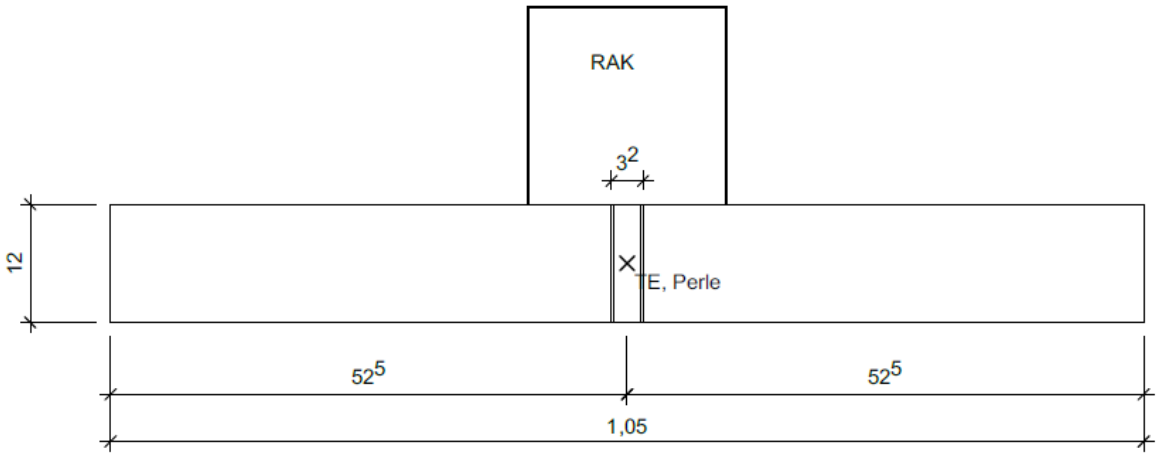
Ansicht (brandzugewandte Seite)



Schnitt A



Schnitt B



Benennung der Bauteilschichten

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Materialfeuchte	Hersteller
1	Brettschichtholzelement, d=120 mm, Si-Q, Fichte Lamellenstärke 40 mm	490	11 %	Nordlam-Hasslacher

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Fermacell ® Gipsspachtel	JamesHardie	1, (Durchdringung), beidseitig ca. 15 mm tief
Brandschutzspachtel intumeszierend	Würth	1, (Durchdringung) beidseitig ca. 15 mm tief
Feuchtraumkabel NYM- J 3 x 2,5 mm²	REV Ritter	Durchdringung mit 5 cm Überstand je Seite
Kabelbinder		Kabelbündel

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	12.03.2020, 11:07:00 Uhr
Versuchsende:	12.03.2020, 12:37:00 Uhr
Versuchsdauer in min:	90

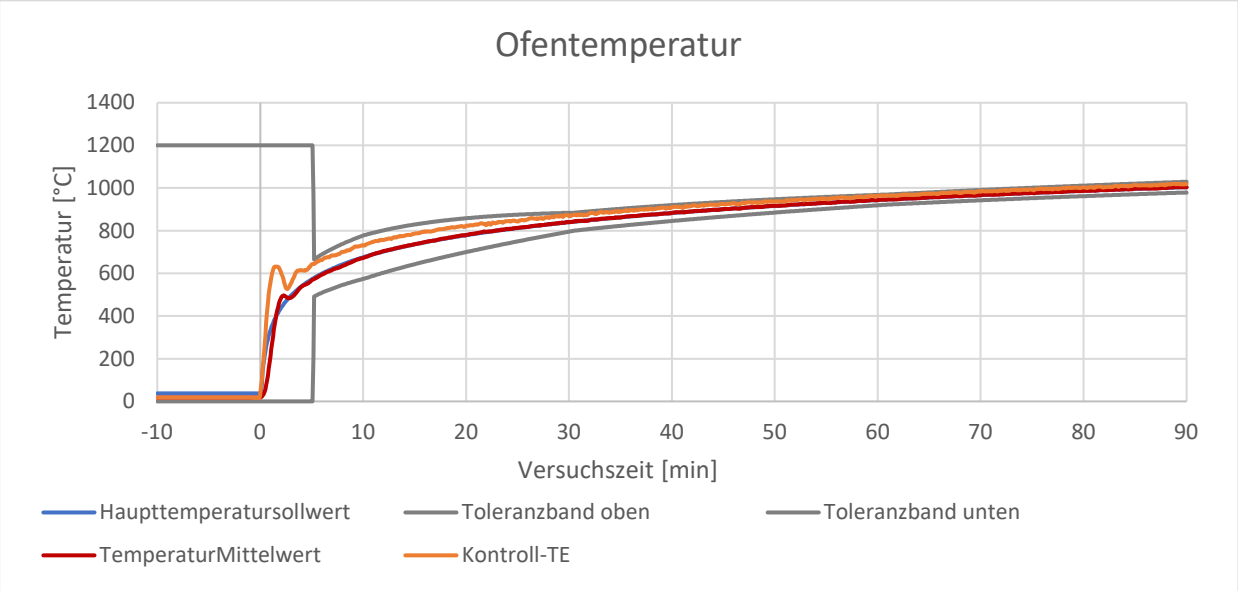
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

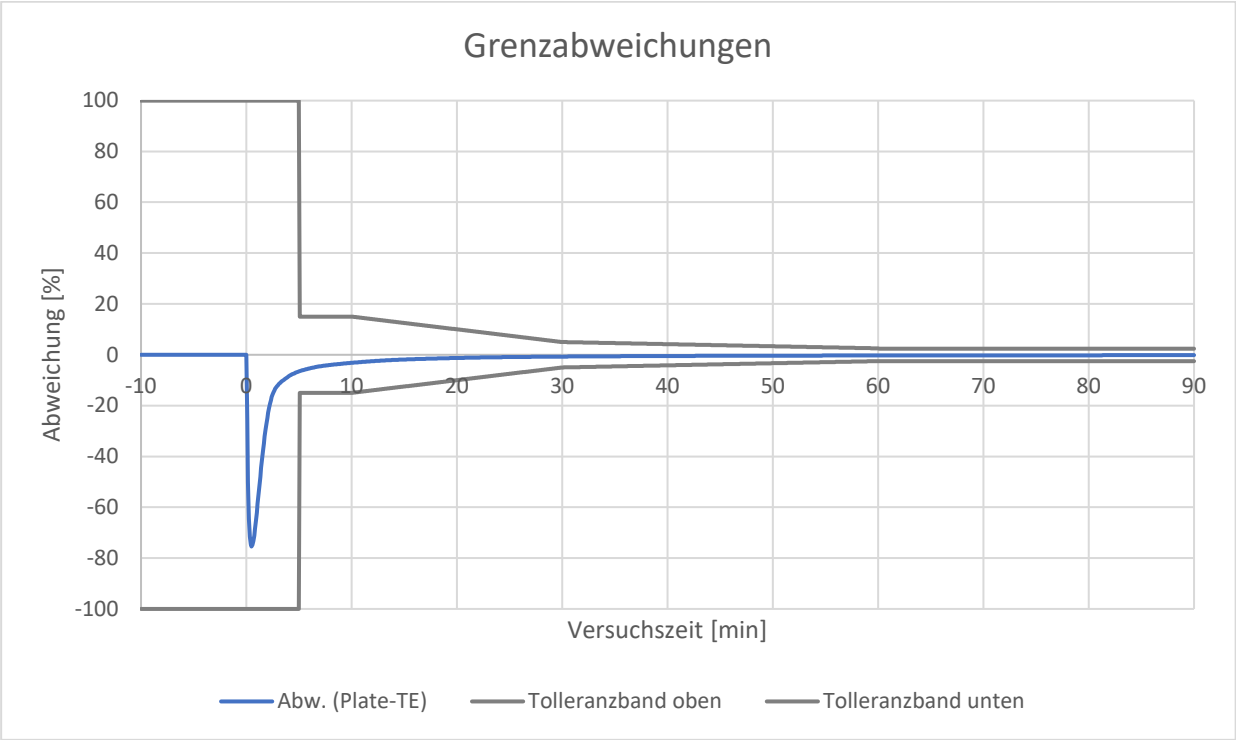
Umgebungsdruck:	998 mbar
Umgebungstemperatur:	12 °C
Luftfeuchte in %:	39 % rh

2.2 Prüfbedingungen

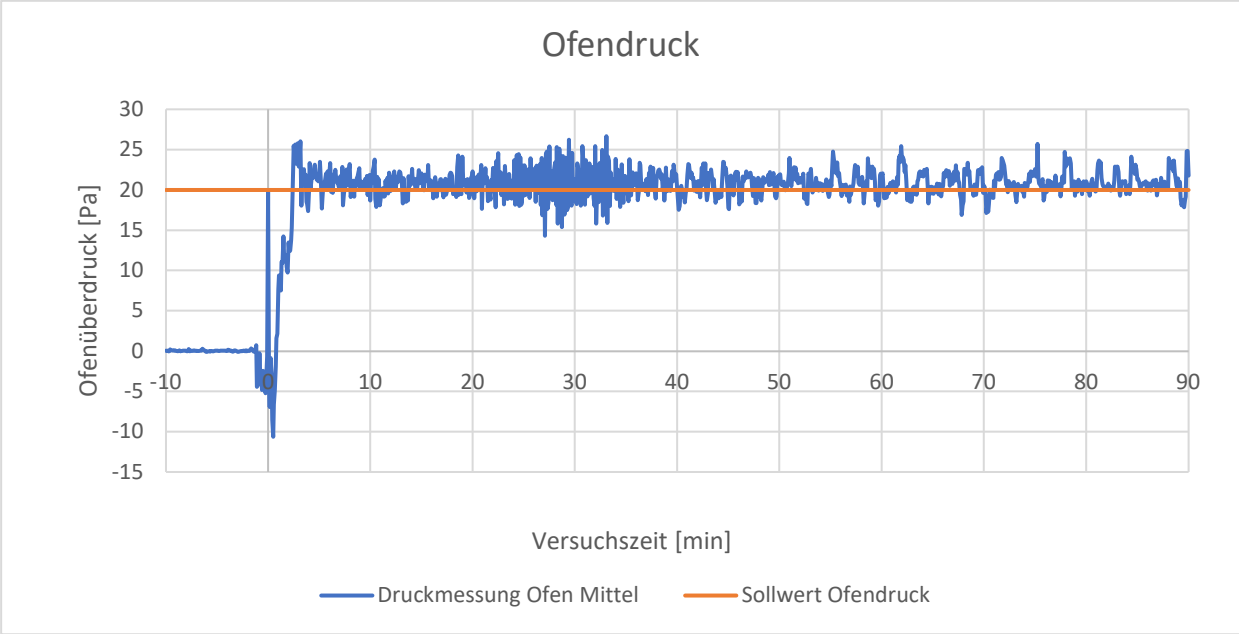
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



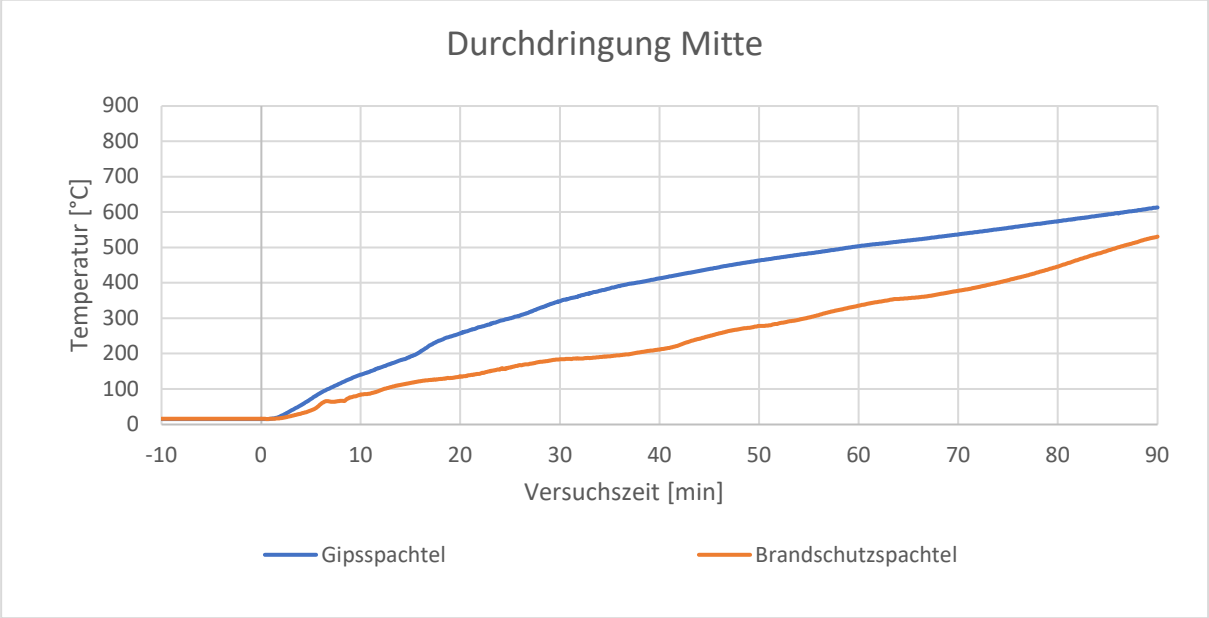
Ofenüberdruck



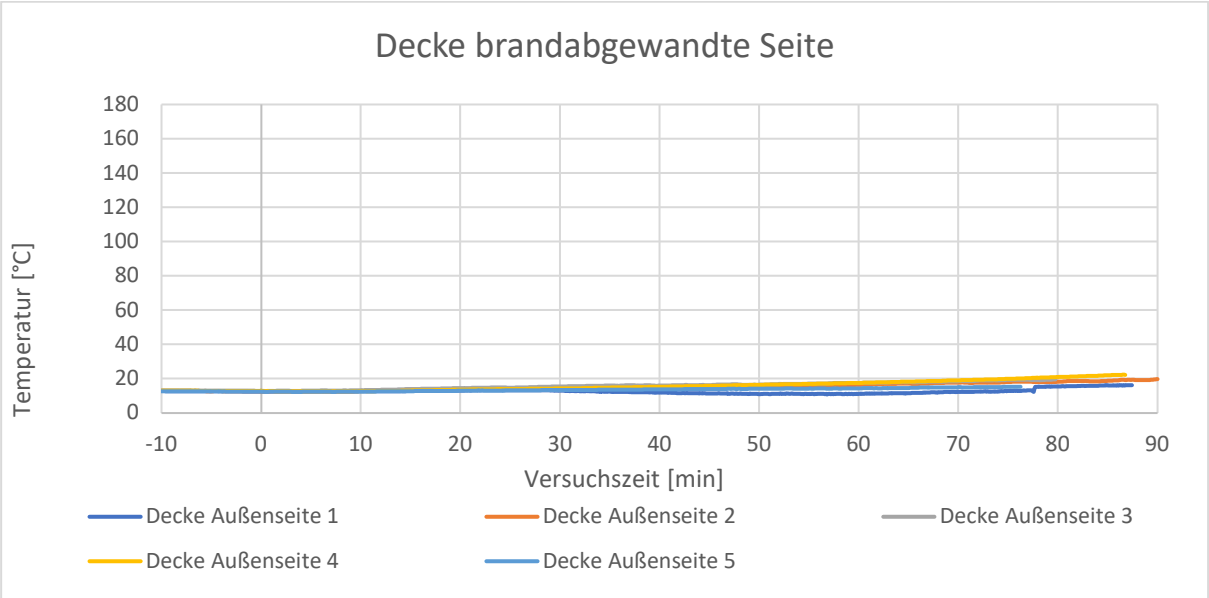
3.Auswertung

3.1. Temperaturverläufe

Temperaturverlauf Haustechnische Installationen

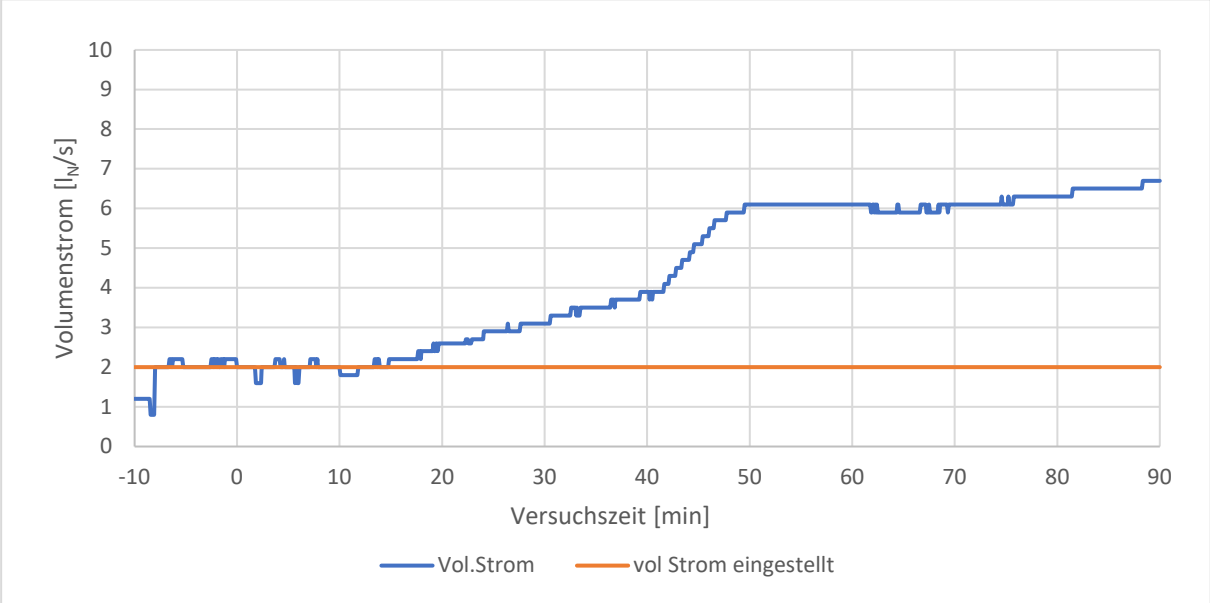


Temperaturverlauf Decke

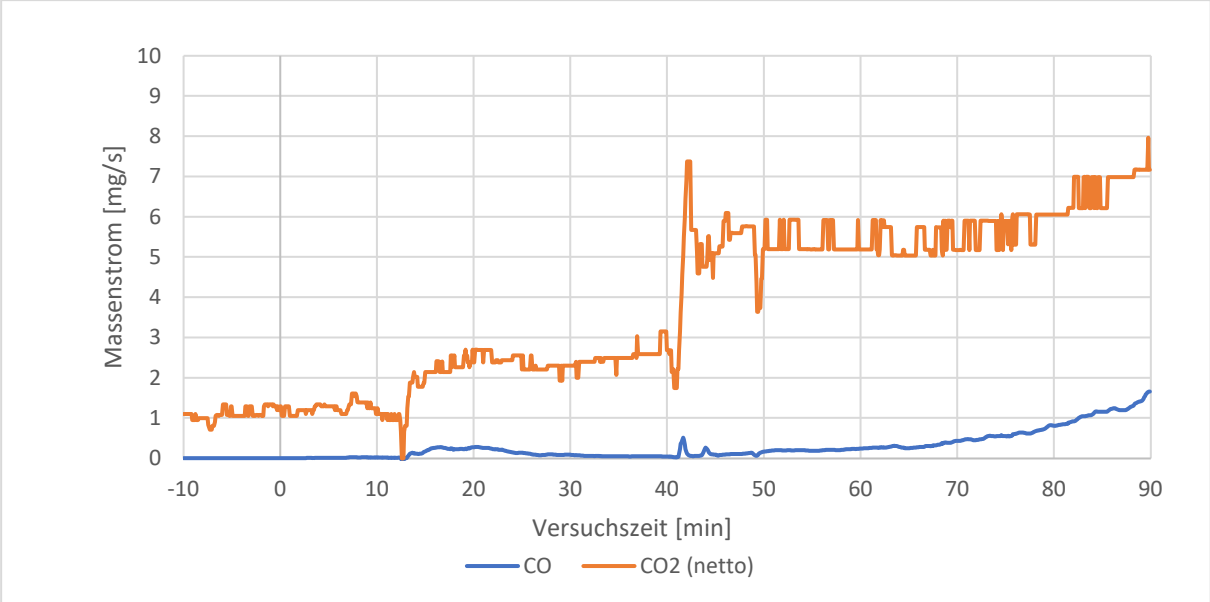


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

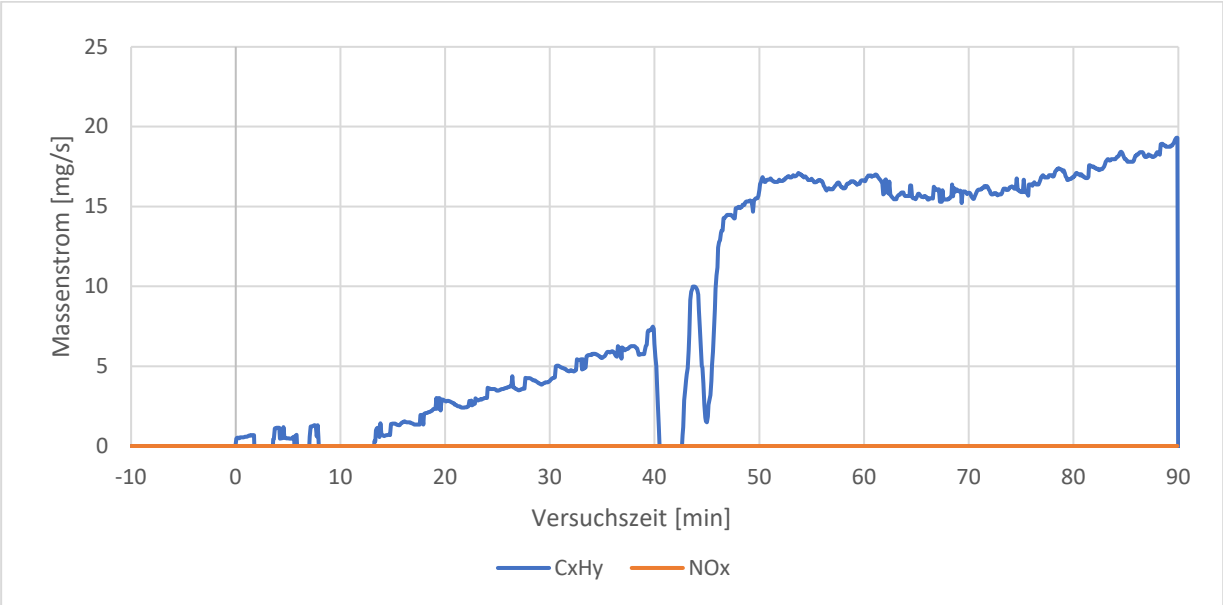
Volumenstrom



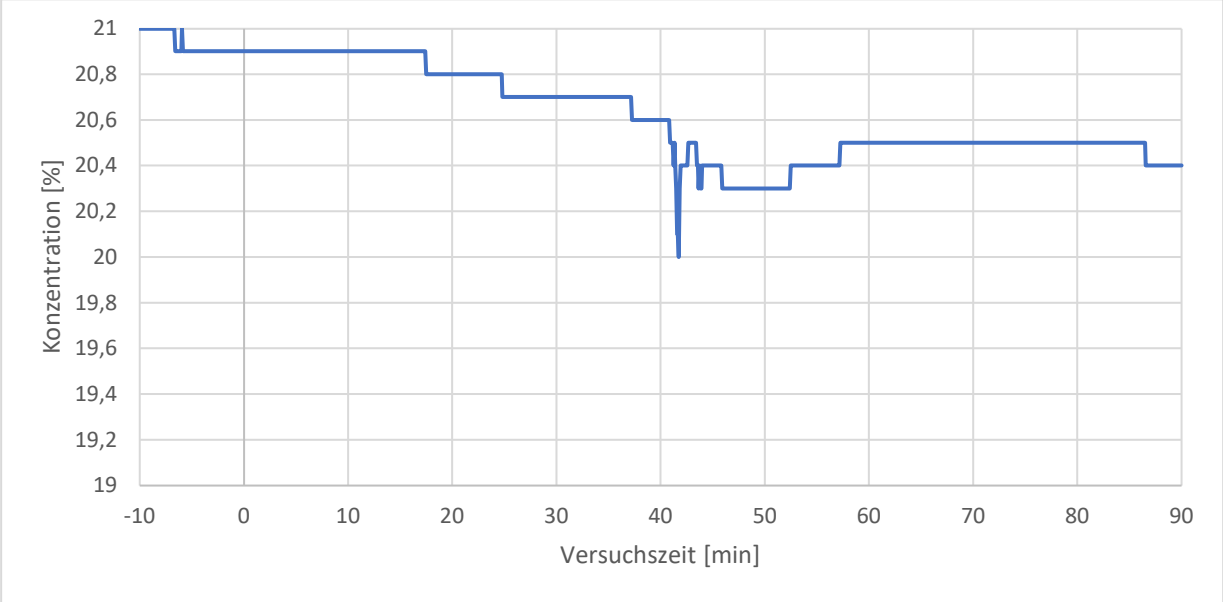
Massenströme CO, CO_2



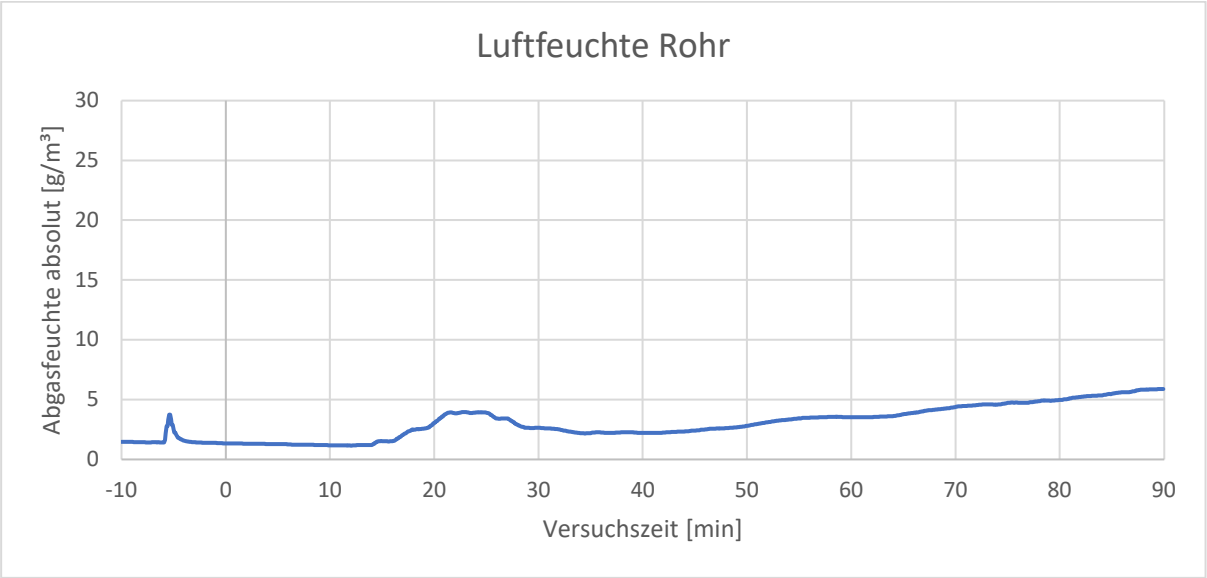
Massenströme C_xH_y, NO_x



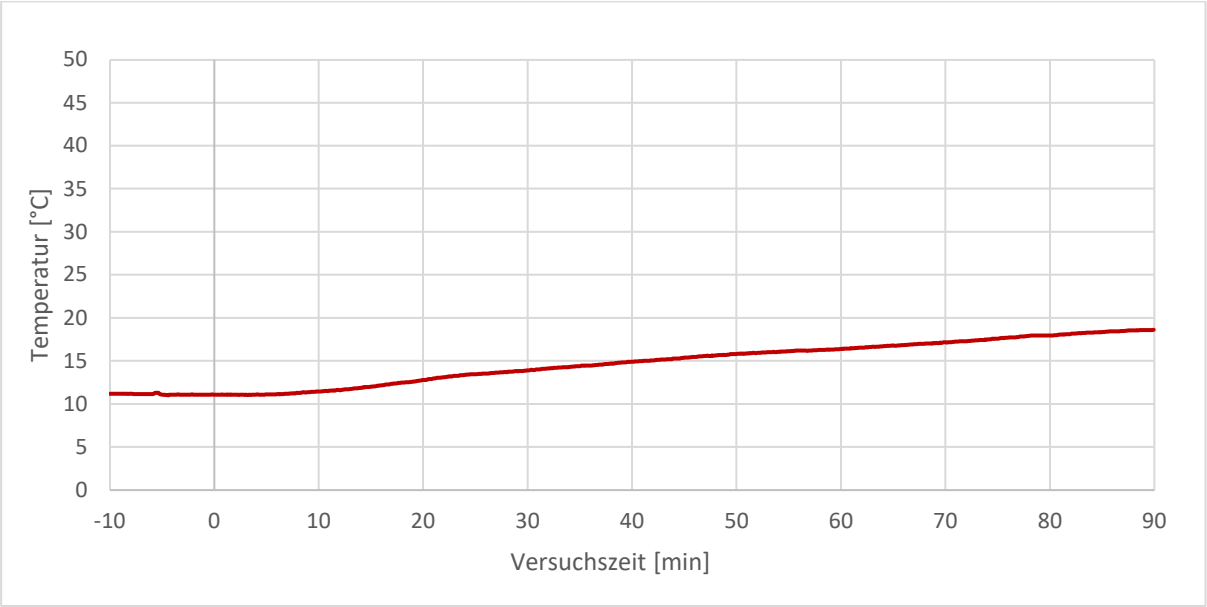
O_2-Konzentration



Absolute Abgasfeuchte



Abgastemperatur



3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
1.	Rauchdurchtritt im Zwickel an beiden Durchführungen	
3.	Kein Rauchdurchtritt über Zwickel mehr erkennbar	
13.	Rauchdurchtritt Zwickel an Durchführung mit Gipsverspachtelung	x
13.	Deutlicher Anstieg der der Abgaskonzentrationen CO/CO_2	
17.	Rauchentwicklung an Durchführung mit Gipsverspachtelung geht augenscheinlich zurück	
30.	Schmelzen der Kabelenden an Durchführung mit Gipsverspachtelung	x
33.	Rauchdurchtritt jetzt auch über Kabelhülsen an Durchführung mit Gipsverspachtelung	
45.	Schmelzen der Kabelenden an Durchführung mit int. Brandschutzmasse; deutlich sichtbarer Rauchdurchtritt an beiden Kabeldurchführungen, CO-Konzentration im Vergleich zu CO_2 sehr gering, möglicherweise Defekt der CO-Sensorik	x
67.	Zunehmende Verkohlung und vergleichbarer Rauchdurchtritt an beiden Kabeldurchführungen über den Zwickel, Ringspalt brandabgewandte Seite optisch intakt, Rauchdurchtritt über Zwickel	x
75.	RAK füllt sich zunehmend mit Rauch	

4. Anhänge/Fotodokumentation



Abbildung 1: Durchdringungen mit Gipsspachtel und intumeszierender Brandschutzmasse, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 2: Probekörper, brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 3: Montage des Rauchauffangkastens (vor Versuchsbeginn)

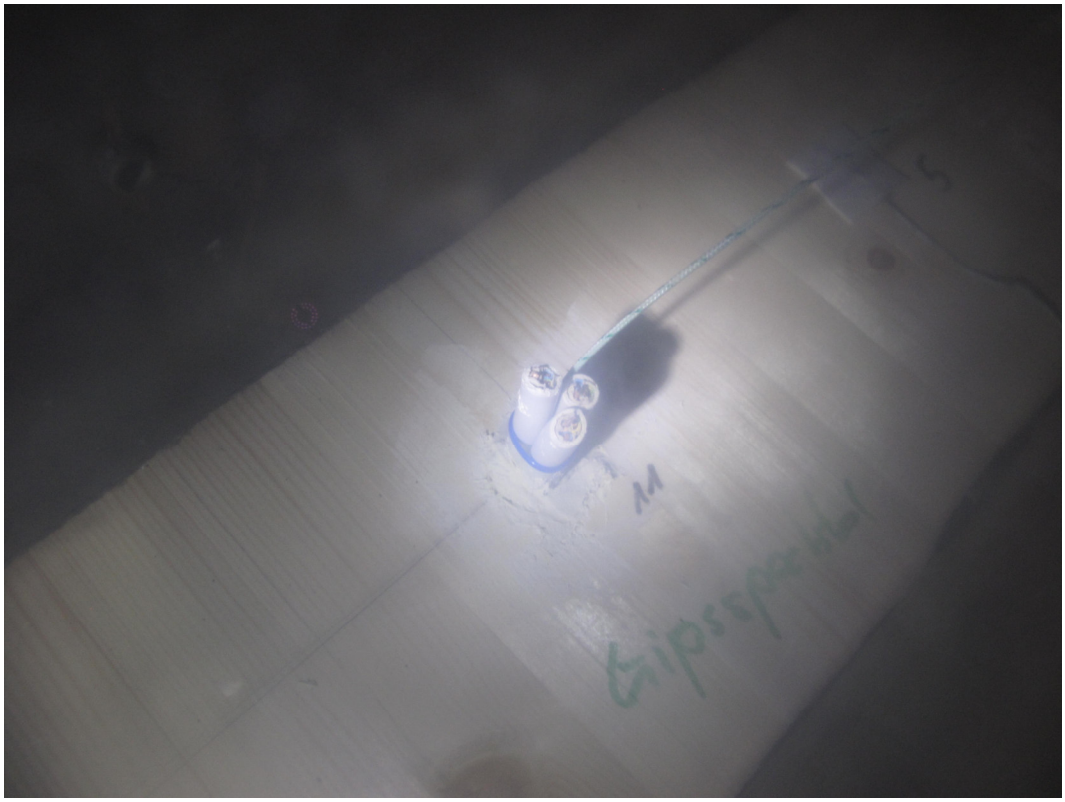


Abbildung 4: Leichter Rauchdurchtritt an Durchdringung mit Gipsspachtel (13. Versuchsminute)



Abbildung 5: Zusammenschmelzen der Kabel an Durchdringung mit Gipsspachtel (30. Versuchsminute)



Abbildung 6: Kein Zusammenschmelzen der Kabel an Durchdringung mit int. Brandschutzmasse (30. Versuchsminute)

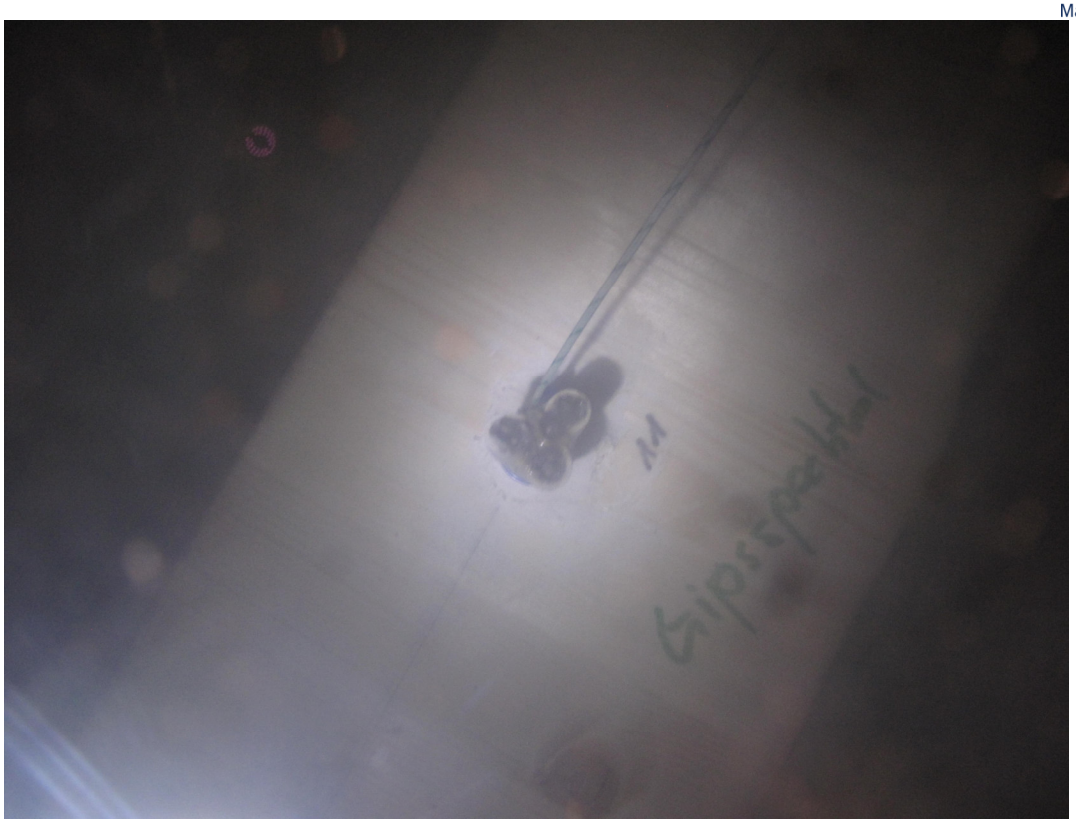


Abbildung 7: Verkohlung der Kabel (Gipsspachtel, 60. Minute)



Abbildung 8: Verkohlung der Kabel (int. Brandschutzmasse, 60. Minute)



Abbildung 9: Zunehmende Trübung des RAK (75. Minute)



Abbildung 10: Durchdringung (Gipsspachtel), nach Versuchsende



Abbildung 11: Durchdringung (Brandschutzspachtel), nach Versuchsende

4.1 Darstellung der Restquerschnitte

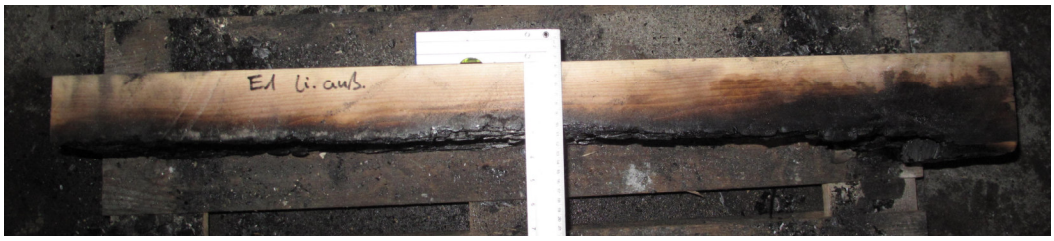


Abbildung 12: Restquerschnitt, links außen



Abbildung 13: Restquerschnitt, Schnittachse: Durchdringung (Gipsspachtel)



Abbildung 14: Restquerschnitt, Schnittachse: Durchdringung (BS-Masse)



Abbildung 15: Restquerschnitt, rechts außen

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: E2_HTB_HTI_90

Datum: 03.06.2020

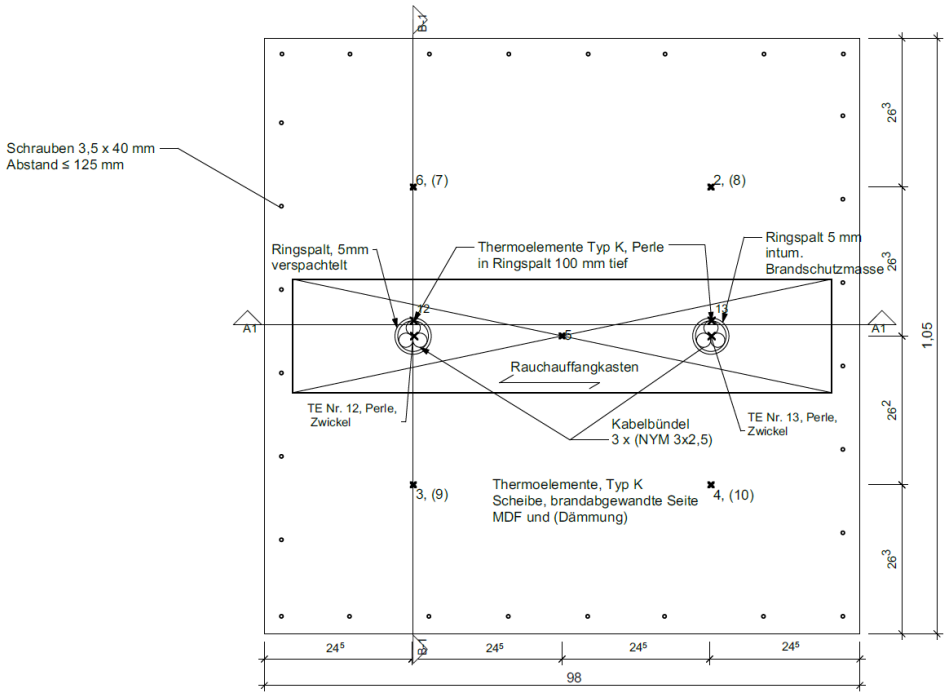
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Ansicht (brandabgewandte Seite, MDF-Platte) 3
Ansicht (brandzugewandte Seite, GF 1. Lage) 3
Ansicht (brandzugewandte Seite, GF 2. Lage) 4
Schnitt A-1 4
Schnitt B-1 4
Benennung der Bauteilschichten 5
Weitere verwendete Materialien 5
2.Versuchsparameter 6
2.1 Umgebungsbedingungen 6
2.2 Prüfbedingungen 6
Temperaturzeitkurve 6
Grenzabweichungen 7
Ofenüberdruck 7
3.Auswertung 8
3.1. Temperaturverläufe 8
Temperaturverlauf Haustechnische Installationen 8
Temperaturverlauf Bauteil 9
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 10
Volumenstrom 10
Massenströme CO, CO_2 10
Massenströme C_xH_y, NO_x 11
O_2-Konzentration 11
Absolute Abgasfeuchte 12
Abgastemperatur 12
3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 13
4. Anhänge/Fotodokumentation 14

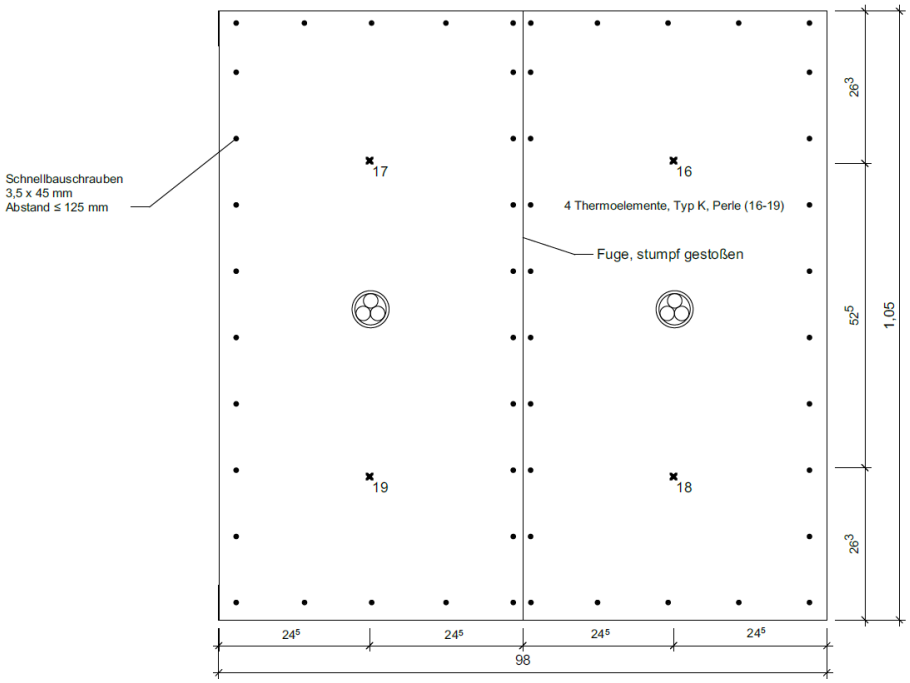
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

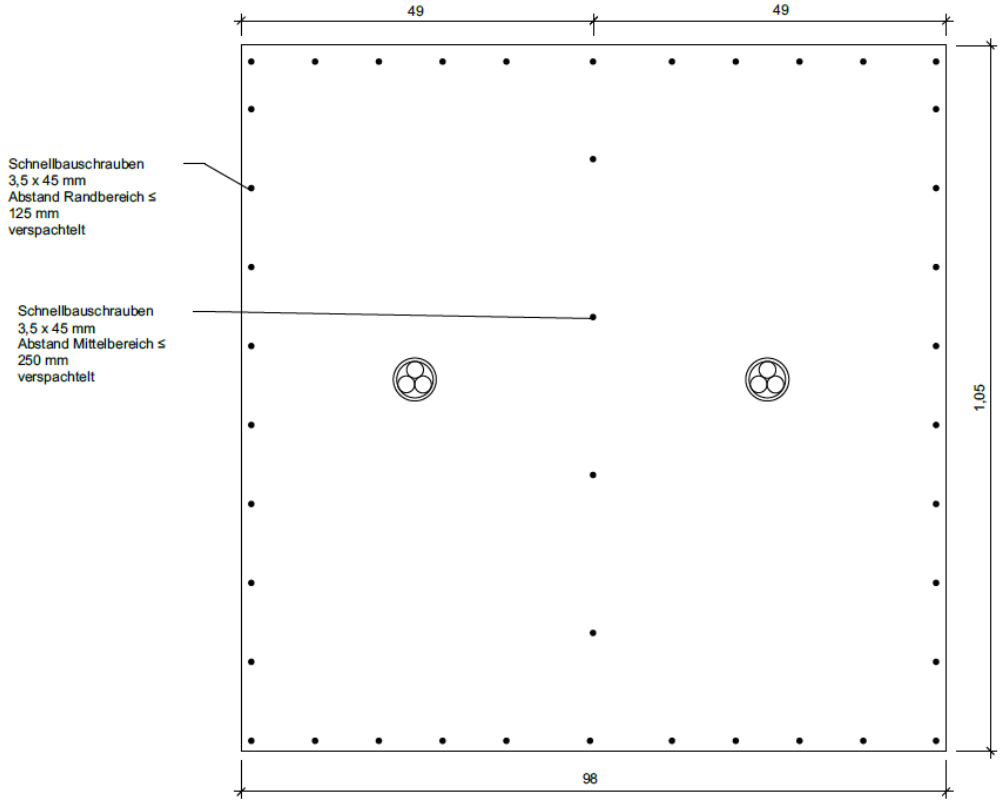
Ansicht (brandabgewandte Seite, MDF-Platte)



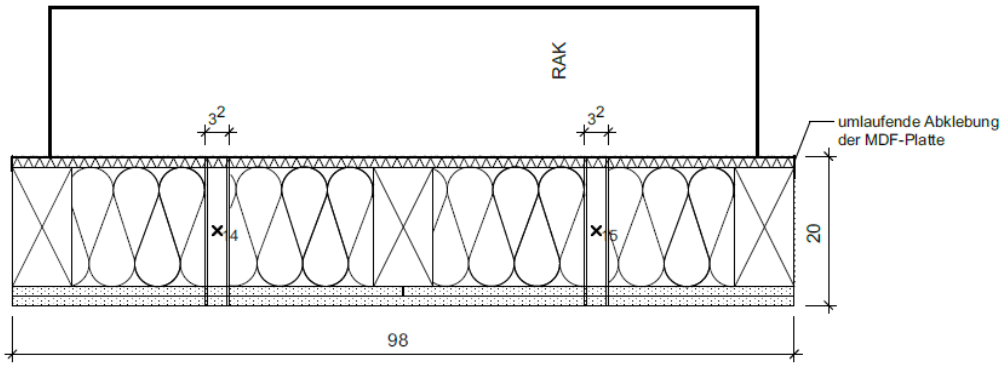
Ansicht (brandzugewandte Seite, GF 1. Lage)



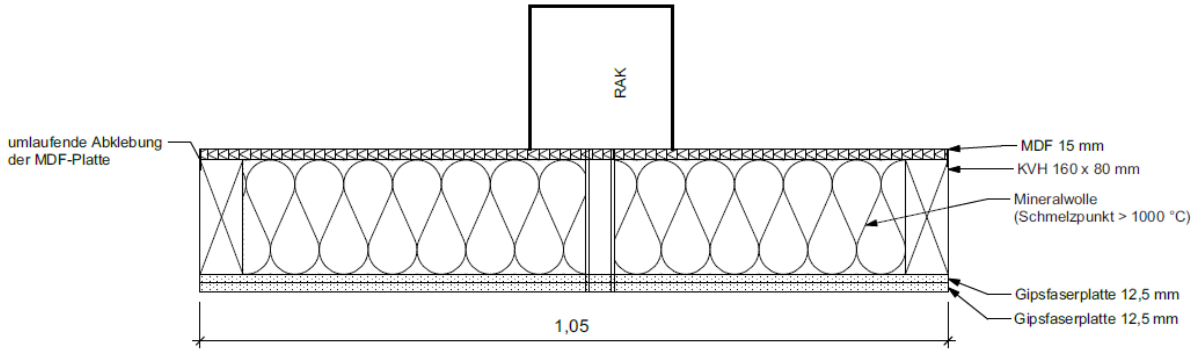
Ansicht (brandzugewandte Seite, GF 2. Lage)



Schnitt A-1



Schnitt B-1



Benennung der Bauteilschichten

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Materialfeuchte	Hersteller
1	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
2	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
3	160 mm Mineralwolle Flexirock 035	30	1 %	Rockwool
3	160 x 80 mm KVH Fi/Ta	470	10 %	Sporkenbach
4	15 mm MDF	690	6 %	Egger

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Fermacell ® Gipsspachtel	JamesHardie	Durchdringung (in Dicke der Bekleidungslagen)
Brandschutzspachtel intumeszierend	Würth	Durchdringung (in Dicke der Bekleidungslagen)
Klebeband Eurasol ® HT b=60 mm	Würth	Abklebung MDF-Platte
Feuchtraumkabel NYM- J 3 x 2,5 mm²	REV Ritter	Durchdringung mit 5 cm Überstand je Seite
Kabelbinder		Kabelbündel

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	03.06.2020, 12:19:00
Versuchsende:	03.06.2020, 13:49:00
Versuchsdauer in min:	90

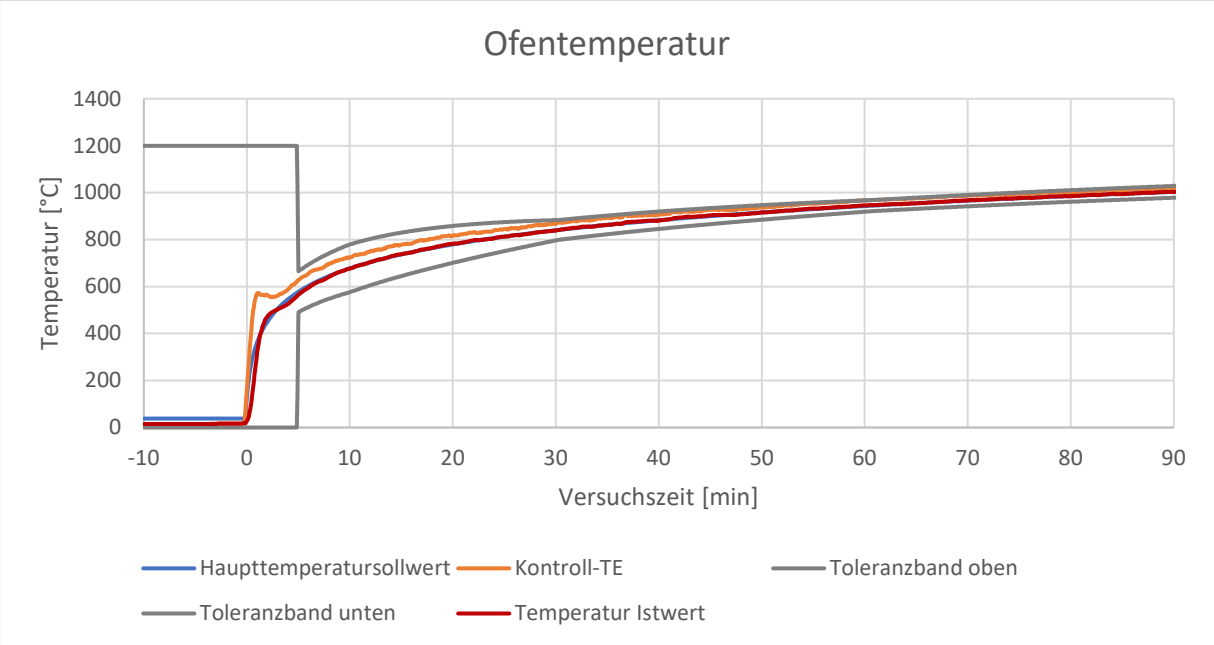
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

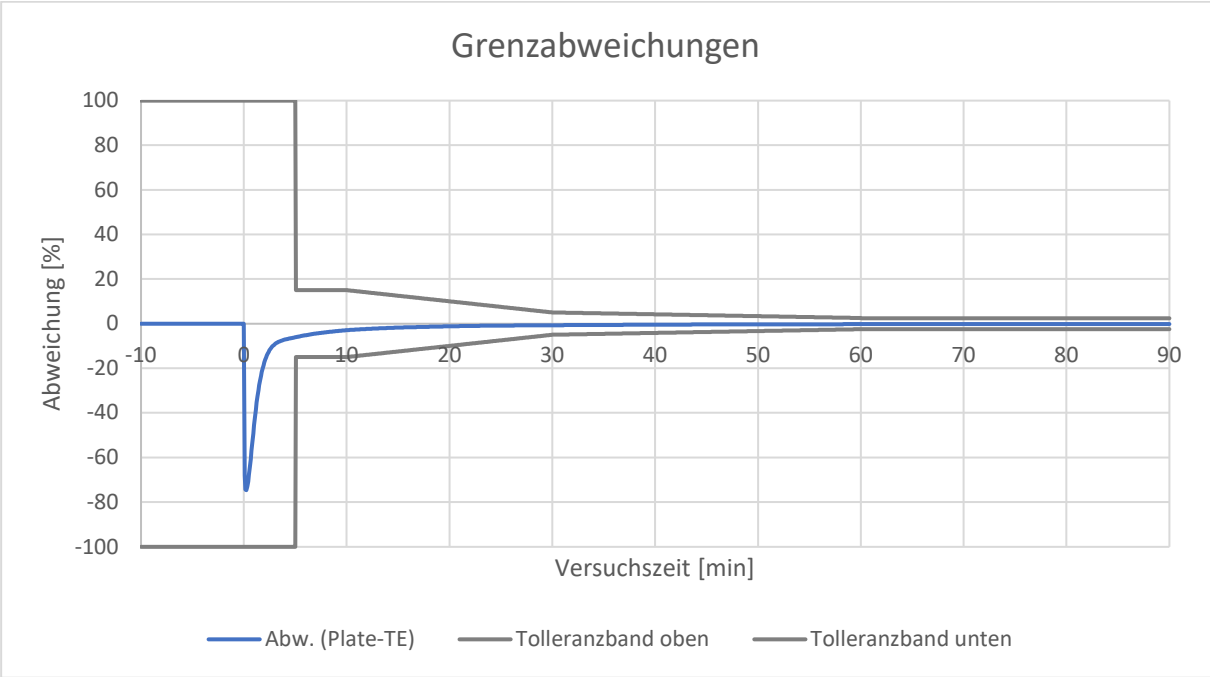
Umgebungsdruck:	998 mbar
Umgebungstemperatur:	12 °C
Luftfeuchte in %:	39,9 % rh

2.2 Prüfbedingungen

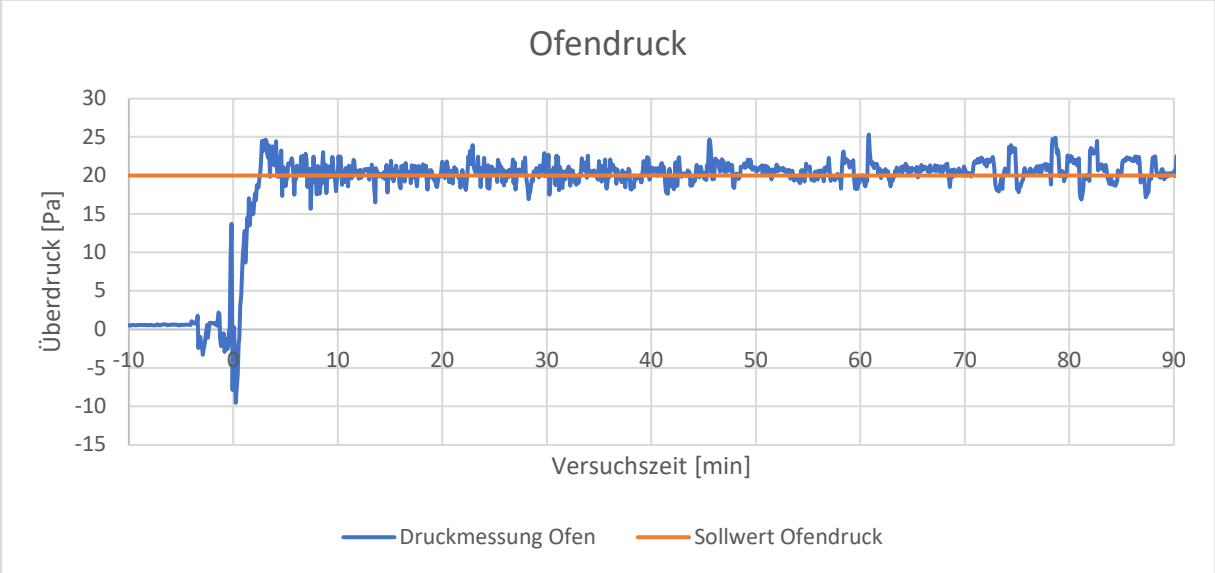
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



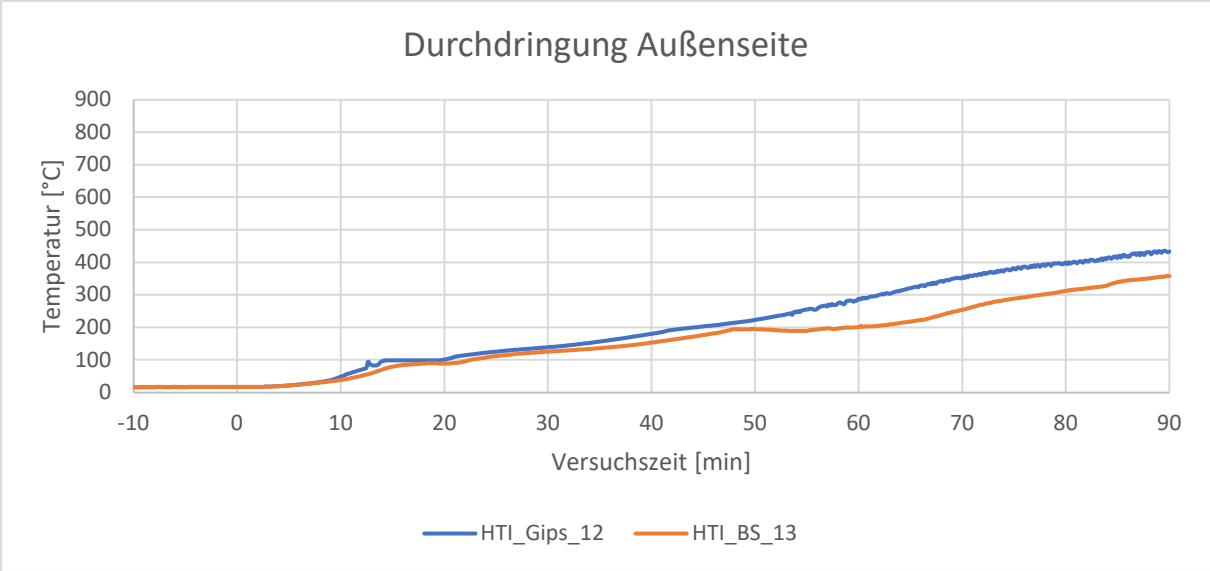
Ofenüberdruck

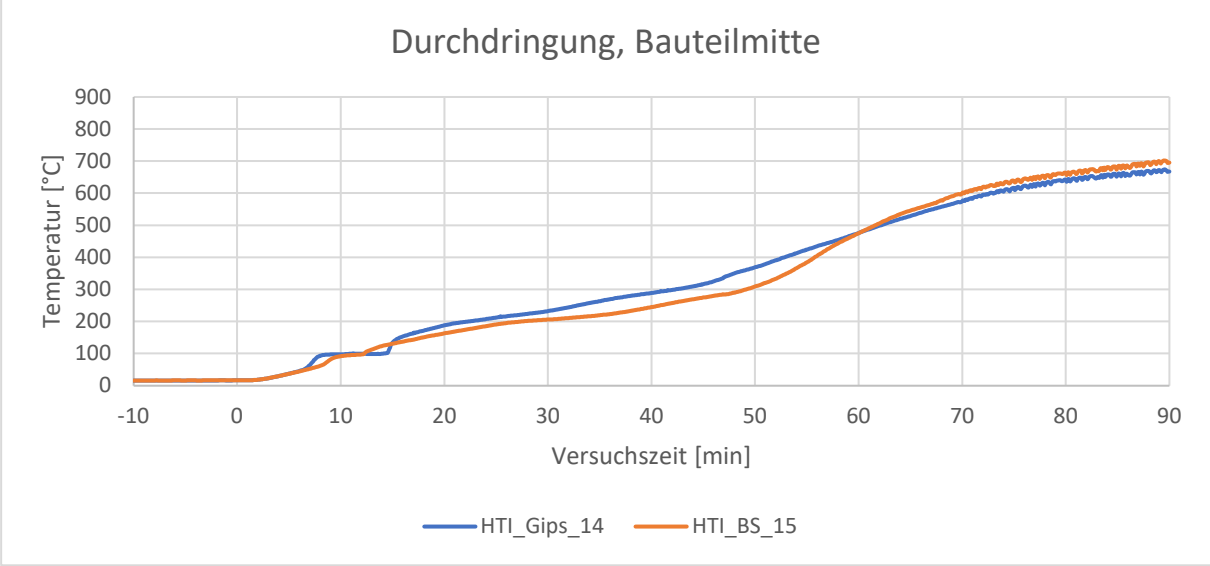


3.Auswertung

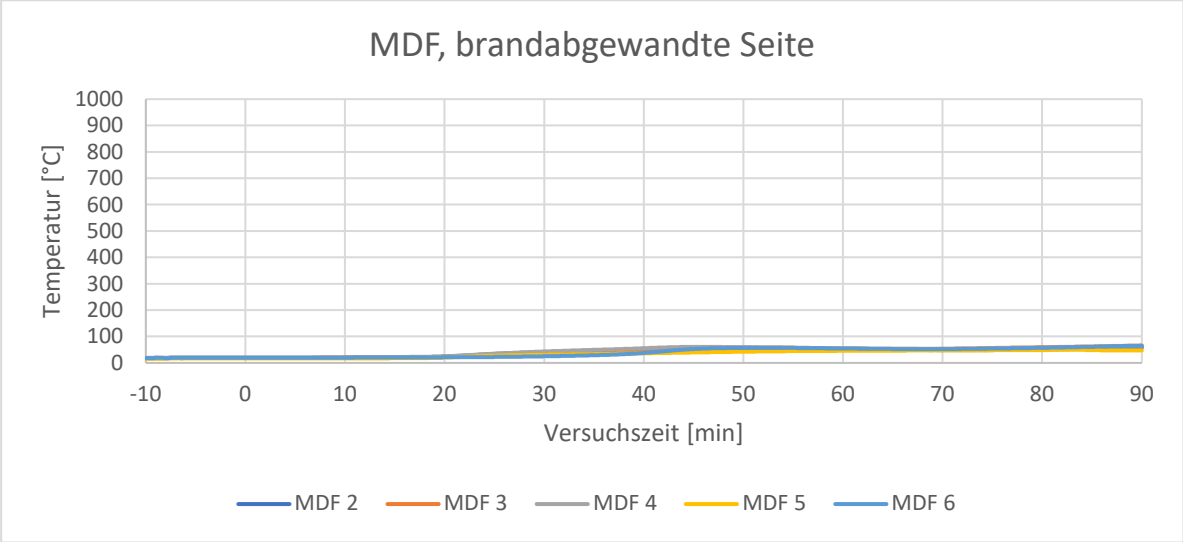
3.1. Temperaturverläufe

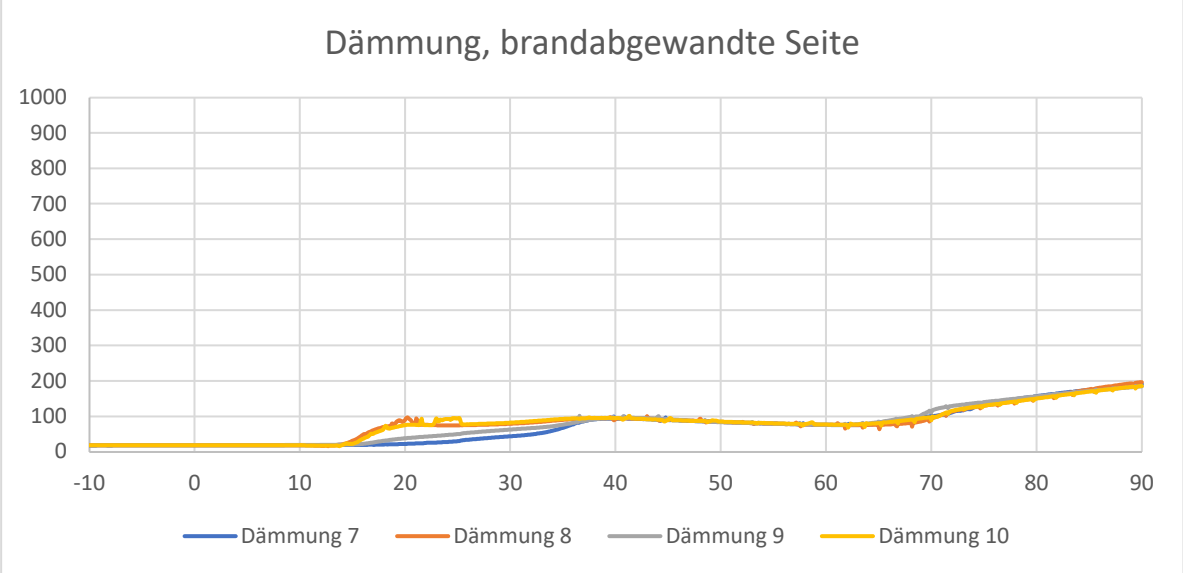
Temperaturverlauf Haustechnische Installationen

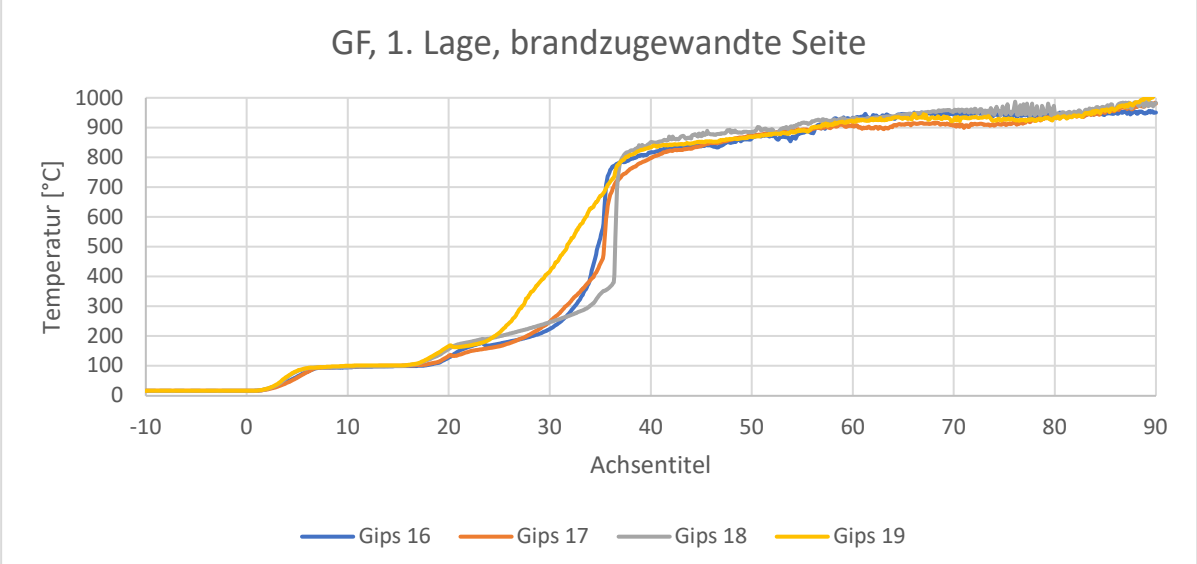




Temperaturverlauf Bauteil

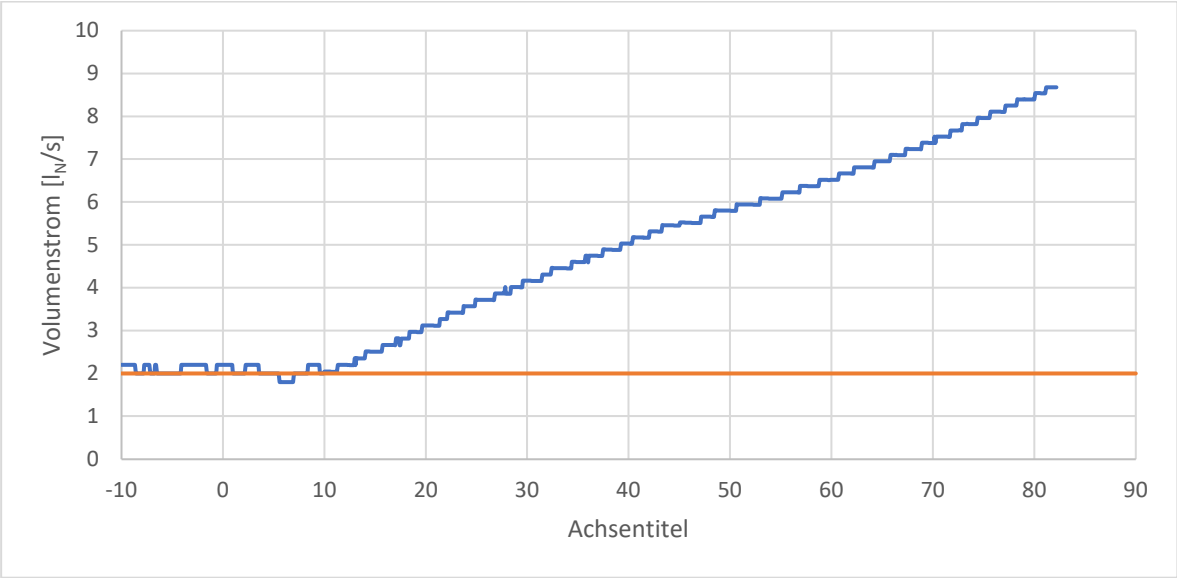




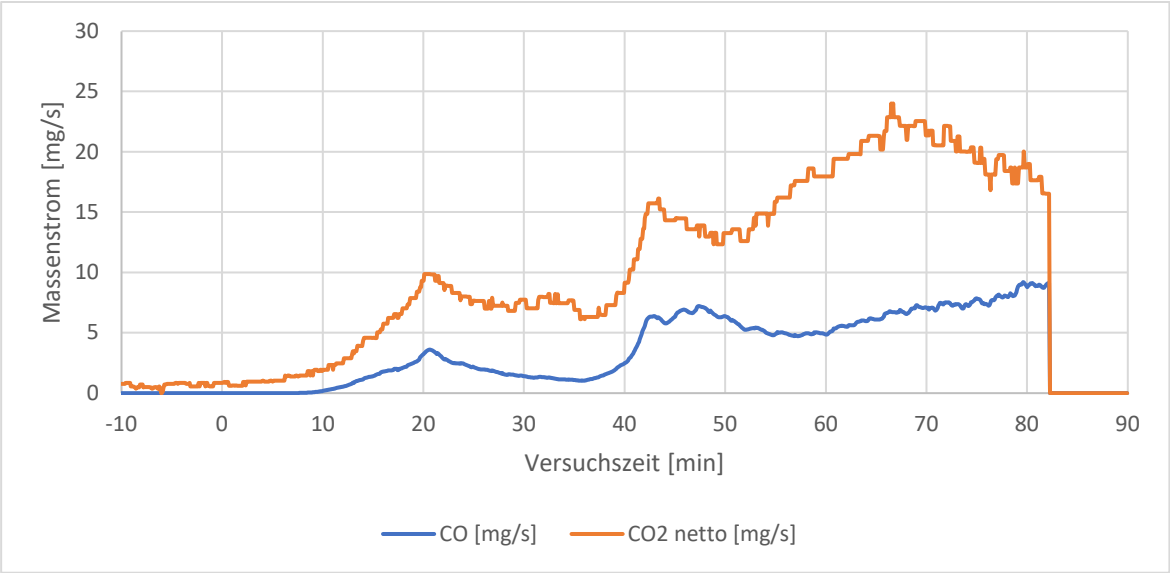


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

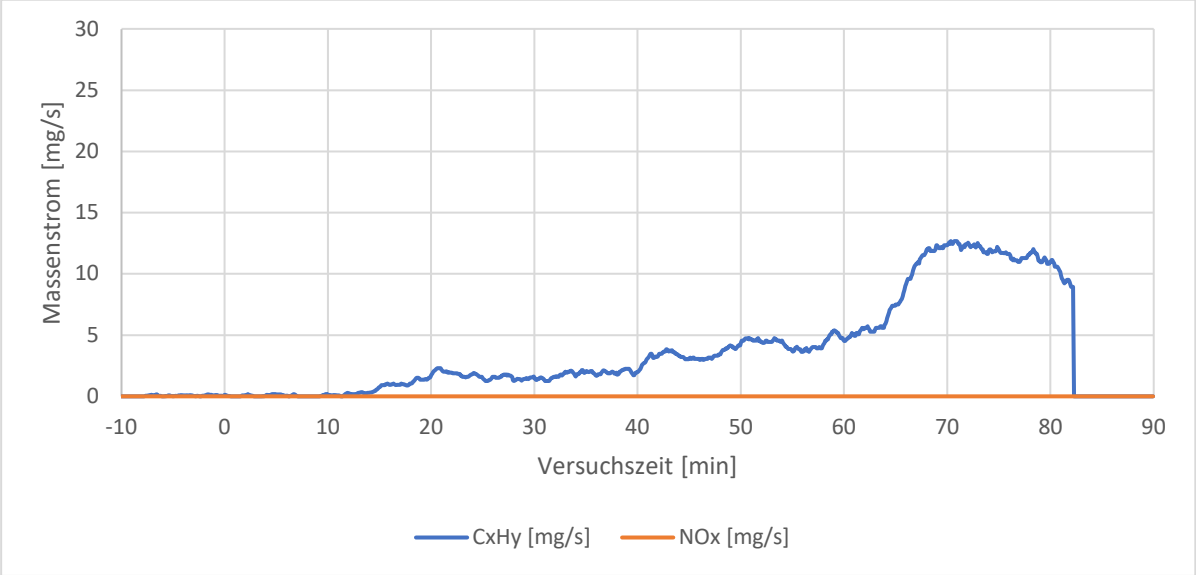
Volumenstrom



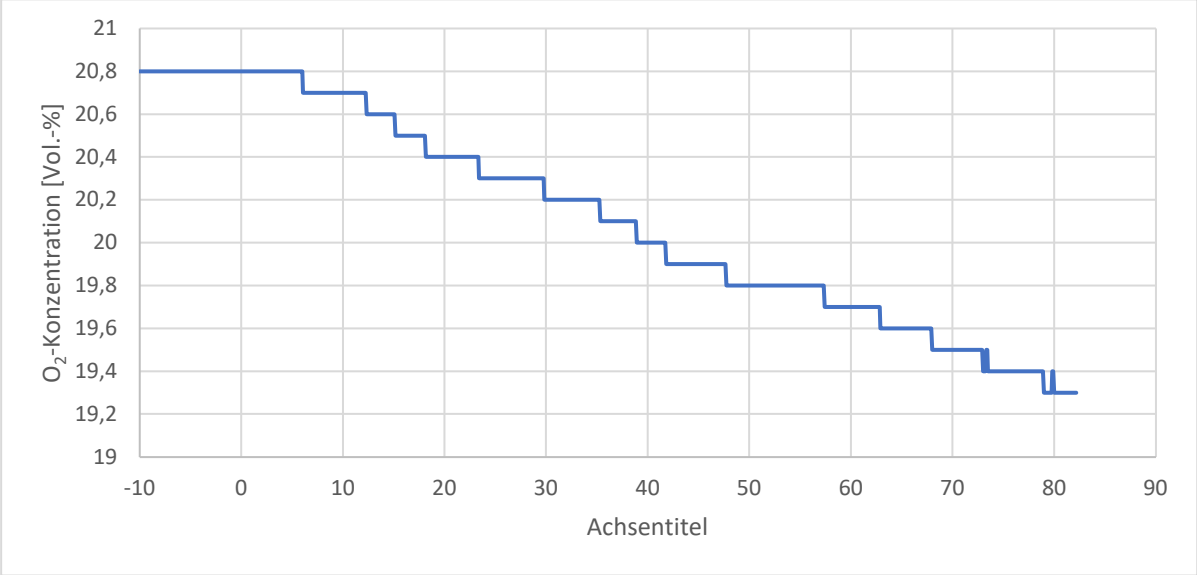
Massenströme CO, CO_2



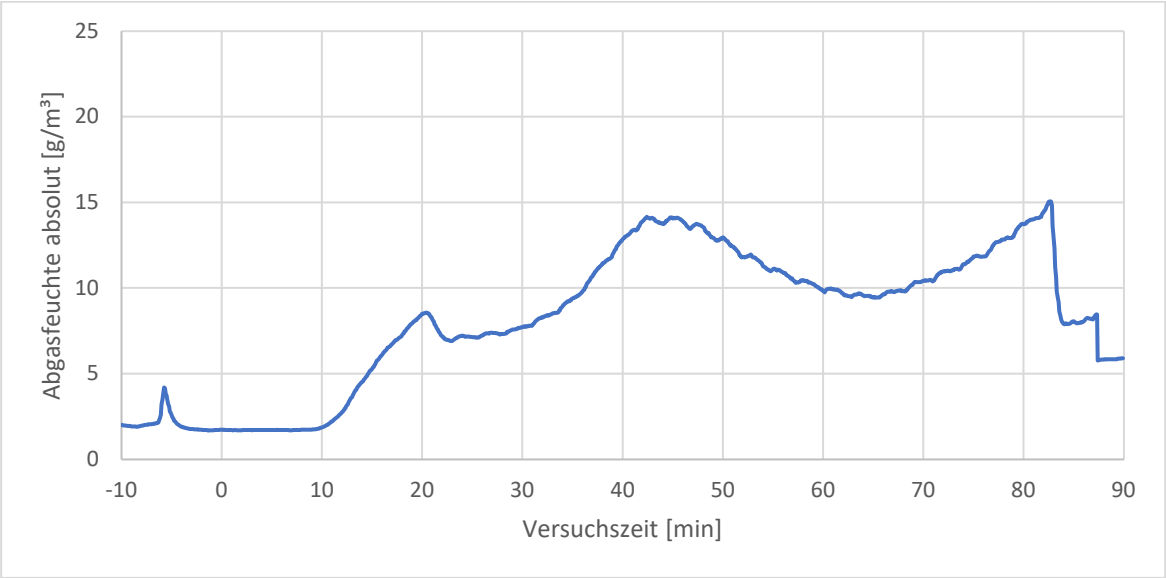
Massenströme C_xH_y, NO_x



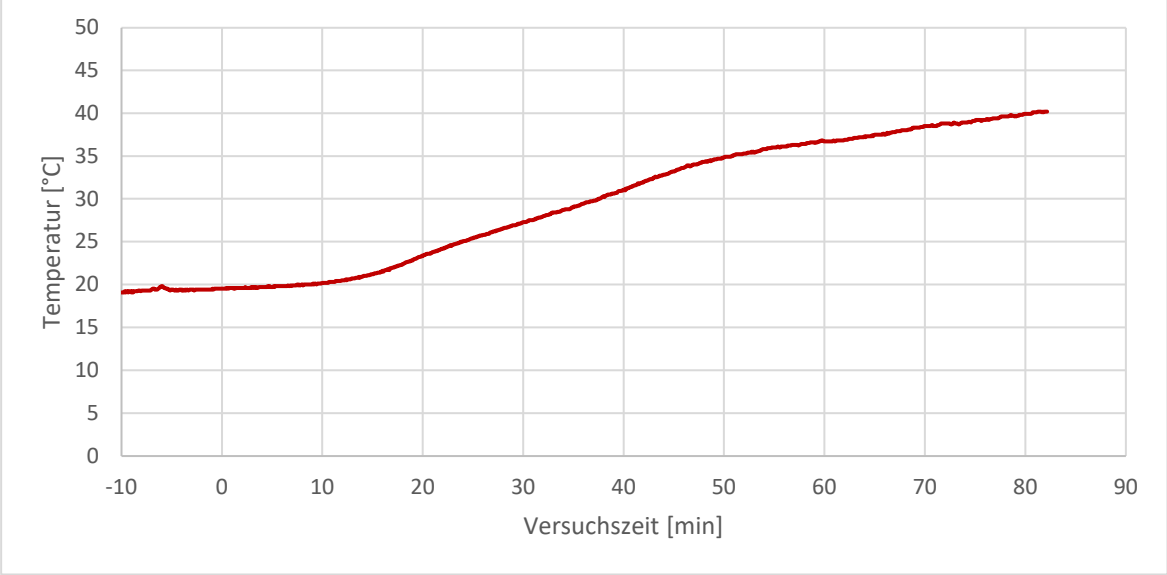
O_2-Konzentration



Absolute Abgasfeuchte



Abgastemperatur



3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
10.	Anstieg CO/CO2-Konzentration, noch kein sichtbarer Rauchaustritt	
12.	Trübung bei Lichteinfall am Abgasrohr erkennbar	
14.	Leichter Rauchdurchtritt im Bereich des Zwickels der Gipsspachtel-Installation	
18.	Zunehmender Rauchdurchtritt an der Gipsspachtel-Installation, kein Rauchdurchtritt im Bereich BS-Masse	x
22.	Temperaturbedingte Verformung der Kabel im Bereich der Gipsspachtel-Installation, brandabgewandte Seite	x
37.	Leichter Rauchdurchtritt im Bereich des Zwickels der BS-Massen-Installation	
55.	Beginnendes Zusammenschmelzen der Kabel, bei Gipsspachtel-Installation deutlich stärker ausgeprägt	x
57.	Deutliche Rauchentwicklung aus dem Abgasrohr sichtbar	x
62.	Ringspalt-Verspachtelung brandabgewandt beidseits intakt, Rauchdurchtritt am Zwickel	
66.	Starke Rauchentwicklung an beiden Kabelenden	
79.	Sehr starke Rauchentwicklung an beiden Kabelenden, Ringspalt intakt, sichtbare Verkohlung der brandabgew. Kabelenden; bei Gipsspachtel-Installation stärker ausgeprägt	x
80.	Abnahme RAK zum Schutz der Messtechnik	x
90.	Ende des Versuchs	

4. Anhänge/Fotodokumentation

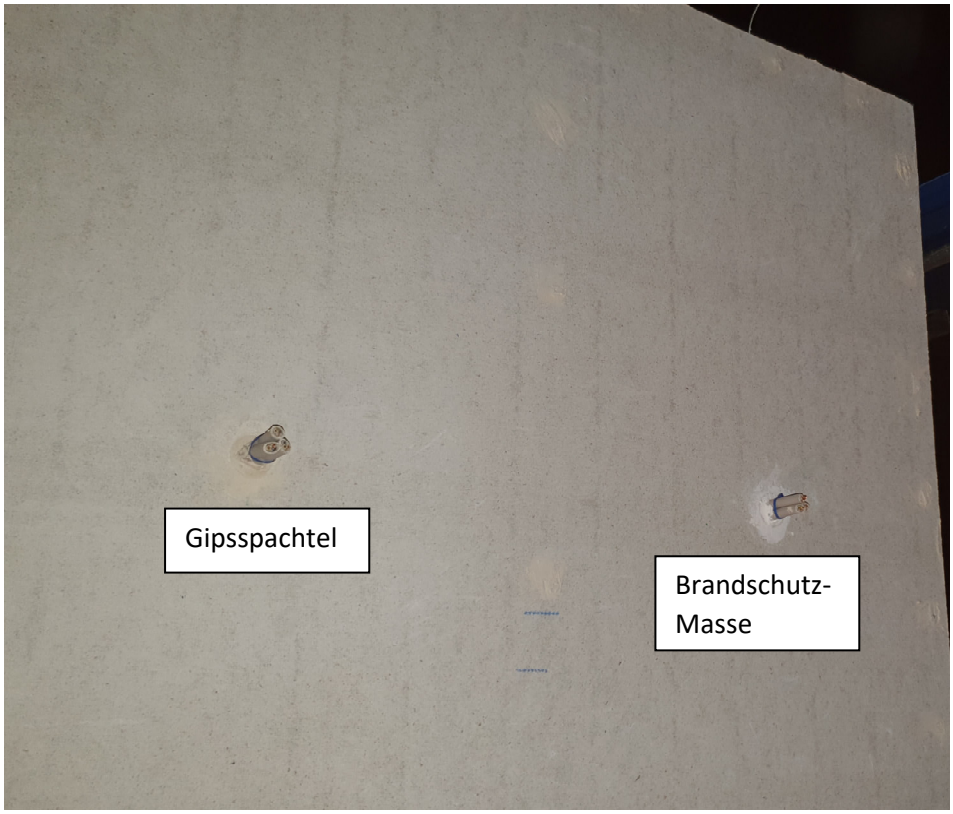


Abbildung 1: Probekörper, brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

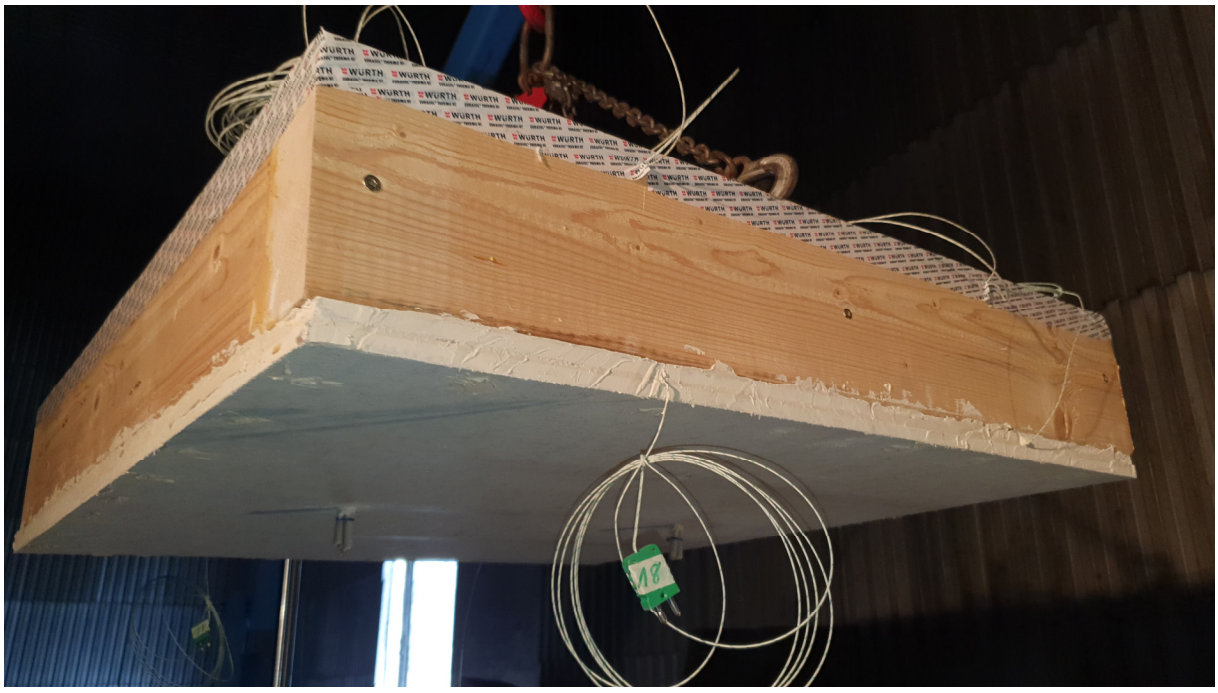


Abbildung 2: Probekörper, seitlich (vor Versuchsbeginn)

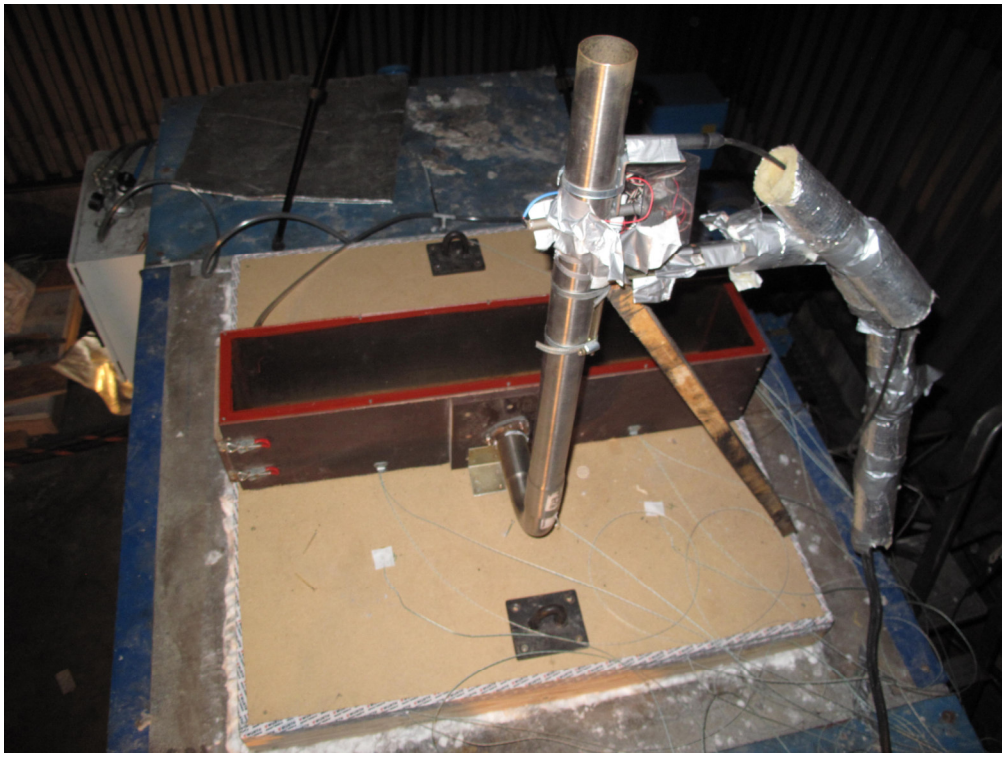


Abbildung 3: Montage des RAK (vor Versuchsbeginn)

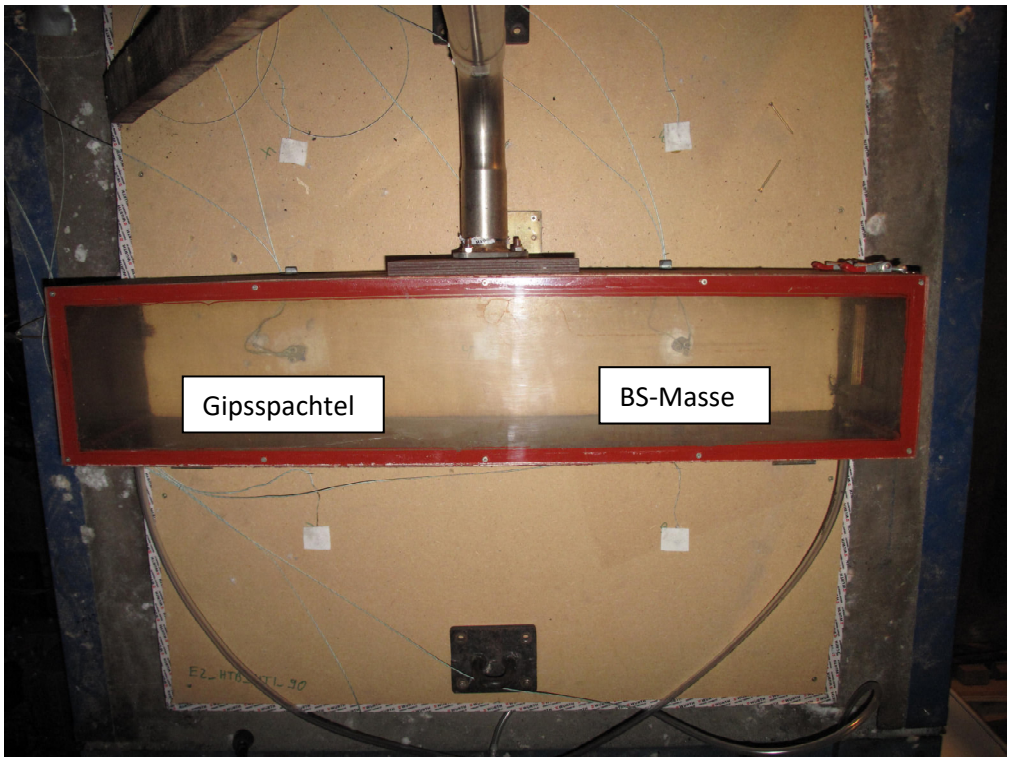


Abbildung 4: Montage des RAK (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 5: RAK (20. Versuchsminute)



Abbildung 6: Durchdringungen, brandabgewandte Seite (22. Versuchsminute)



Abbildung 7: RAK (40. Versuchsminute)



Abbildung 8: Durchdringungen, brandabgewandte Seite (55. Versuchsminute)

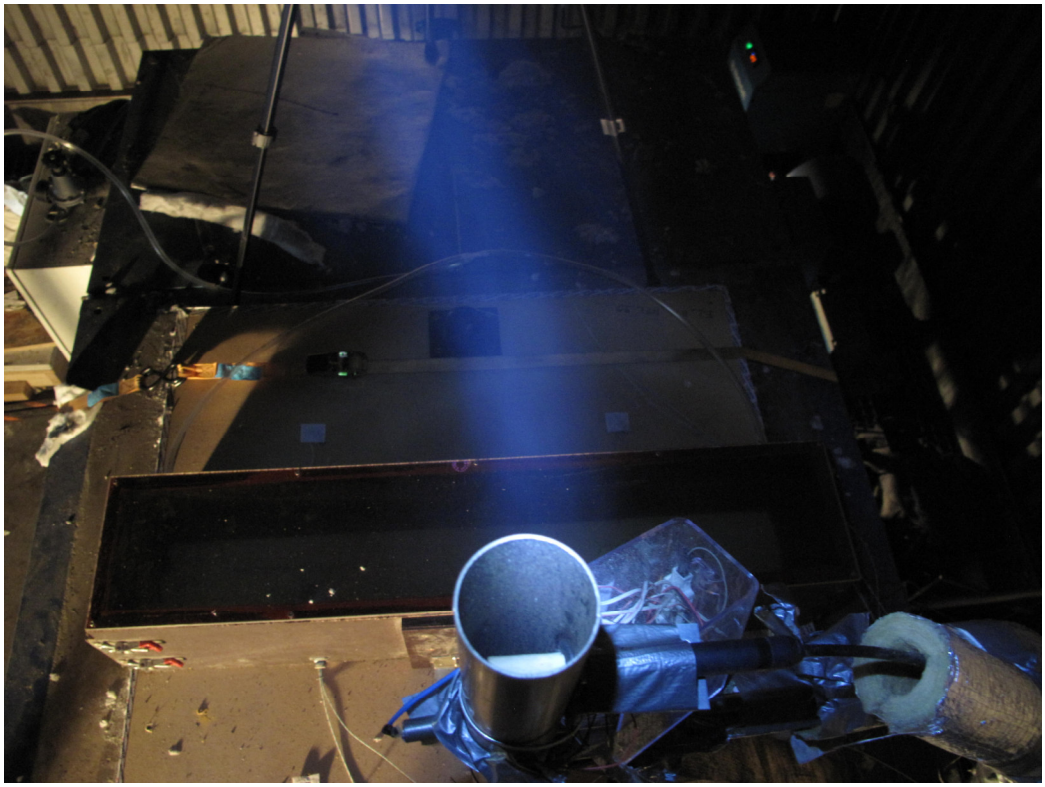


Abbildung 9:Deutliche Trübung des Abgases unter Lichteinfall (60. Versuchsminute)

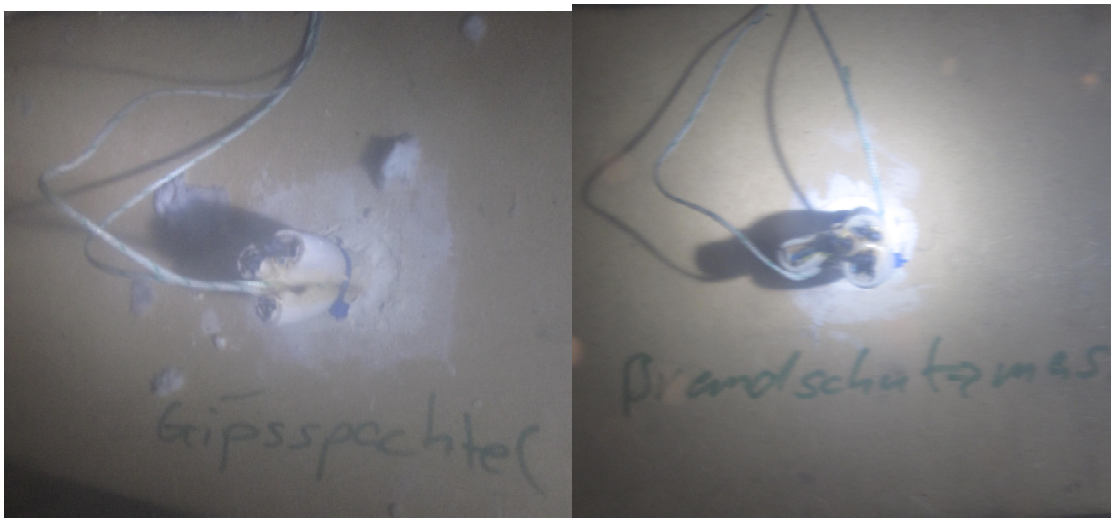


Abbildung 10: Durchdringungen, brandabgewandte Seite 79. Versuchsminute)

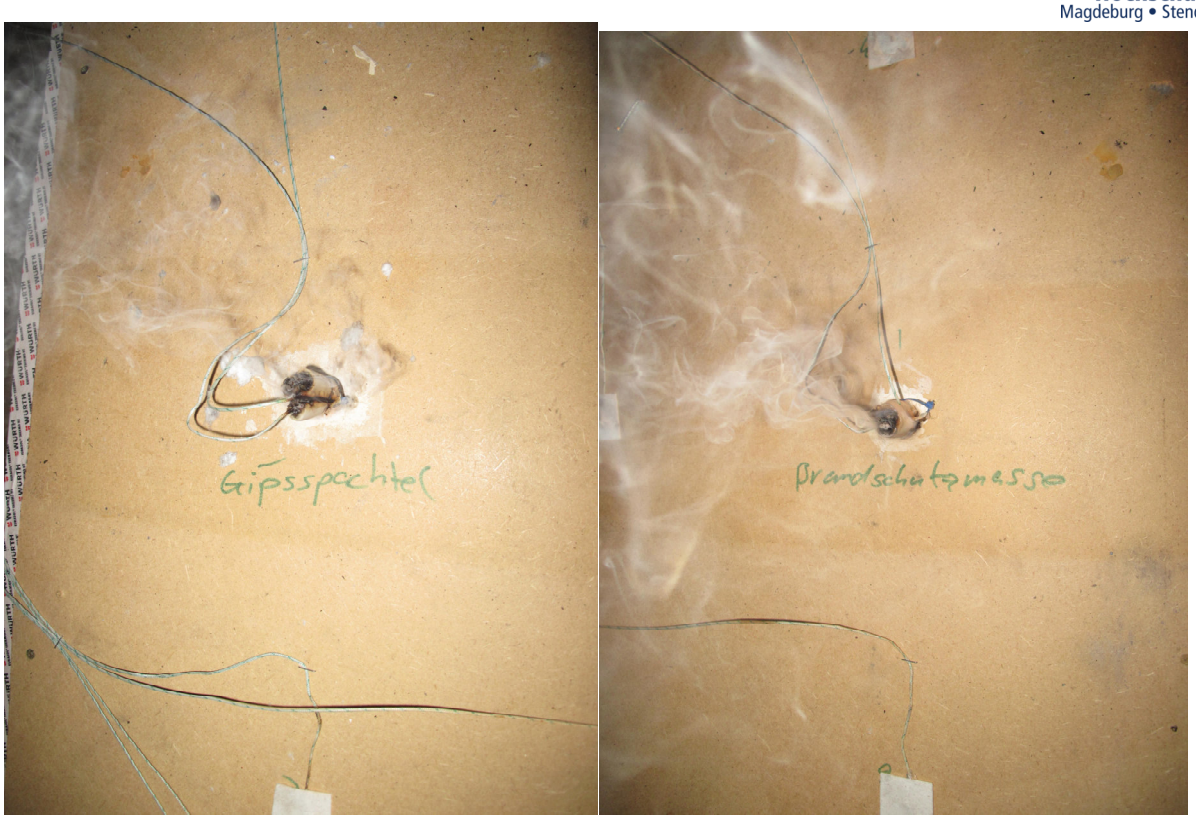


Abbildung 11: Durchdringungen, brandabgewandte Seite (90. Versuchsminute)



Abbildung 12: Probekörper, brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 13: Probekörper, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)

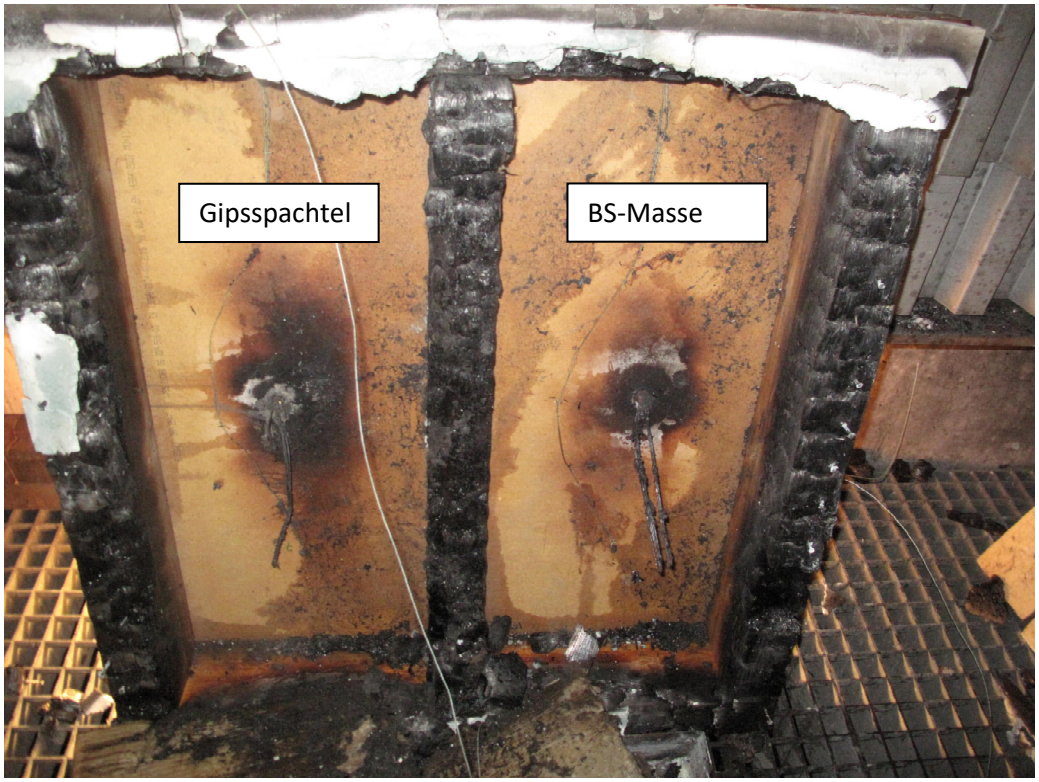


Abbildung 14: Probekörper, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende und Herausnahme der Dämmung)

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: F1_MW-STB-MiWo_90

Datum: 29.01.2020

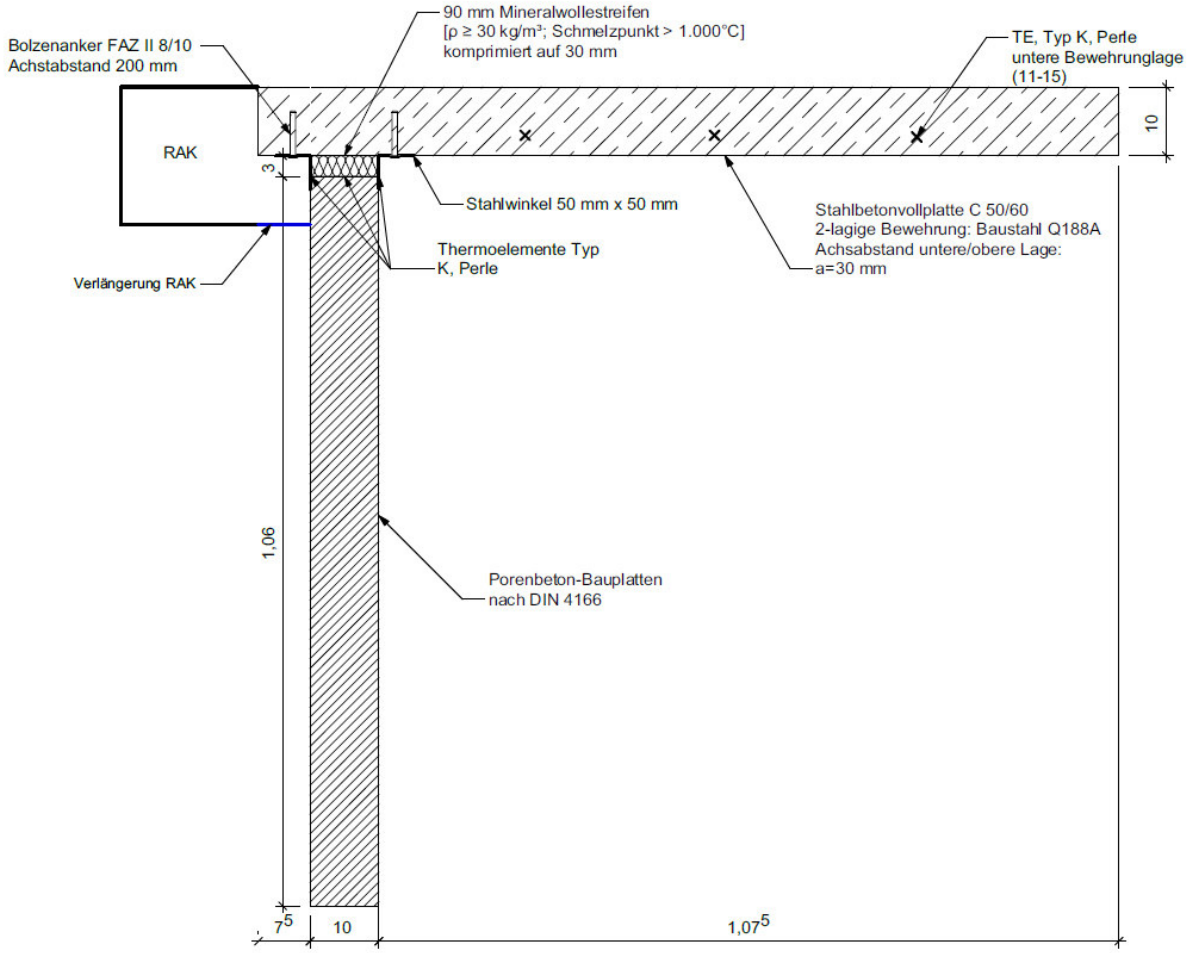
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Ansicht (brandabgewandte Seite) 4
Ansicht (brandzugewandte Seite) 4
Draufsicht 5
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 6
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 6
Verwendete Materialien 6
2.Versuchsparameter 7
2.1 Umgebungsbedingungen 7
2.2 Prüfbedingungen 7
Temperaturzeitkurve 7
Grenzabweichungen 8
Ofenüberdruck 8
3.Auswertung 9
3.1. Temperaturverläufe 9
Temperaturverlauf Bauteilfuge 9
Temperaturverlauf Wand 10
Temperaturverlauf Decke 10
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 12
Volumenstrom 12
Massenströme CO, CO_2 12
Massenströme CxHy, NOx 13
O_2-Konzentration 13
Abgastemperatur 14
Absolute Abgasfeuchte 14
3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 15
4. Anhänge/Fotodokumentation 16

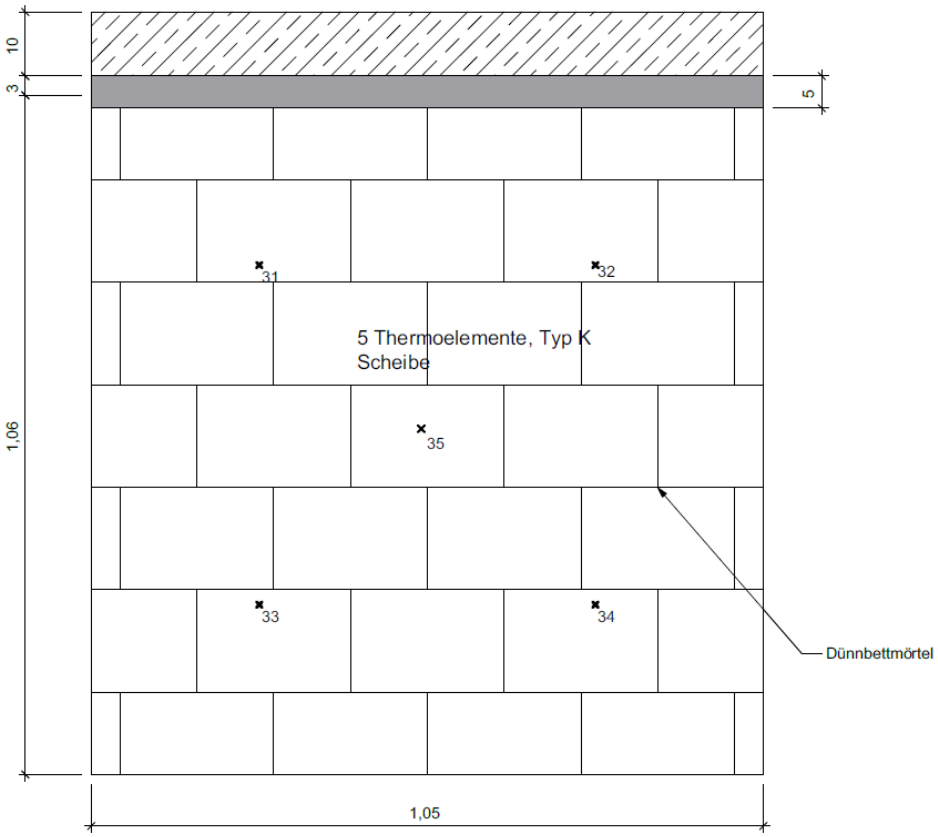
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

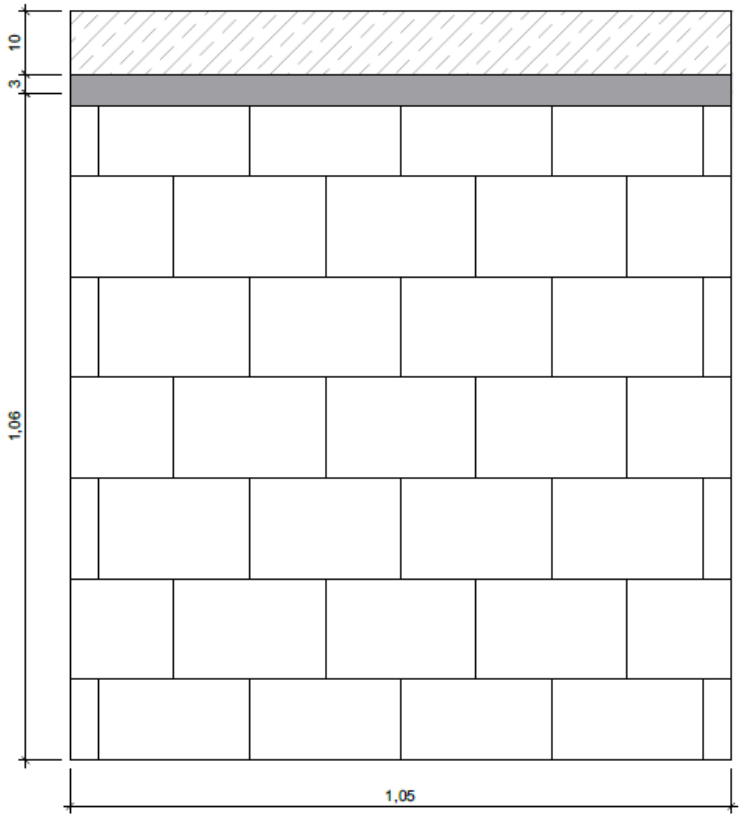
Schnitt



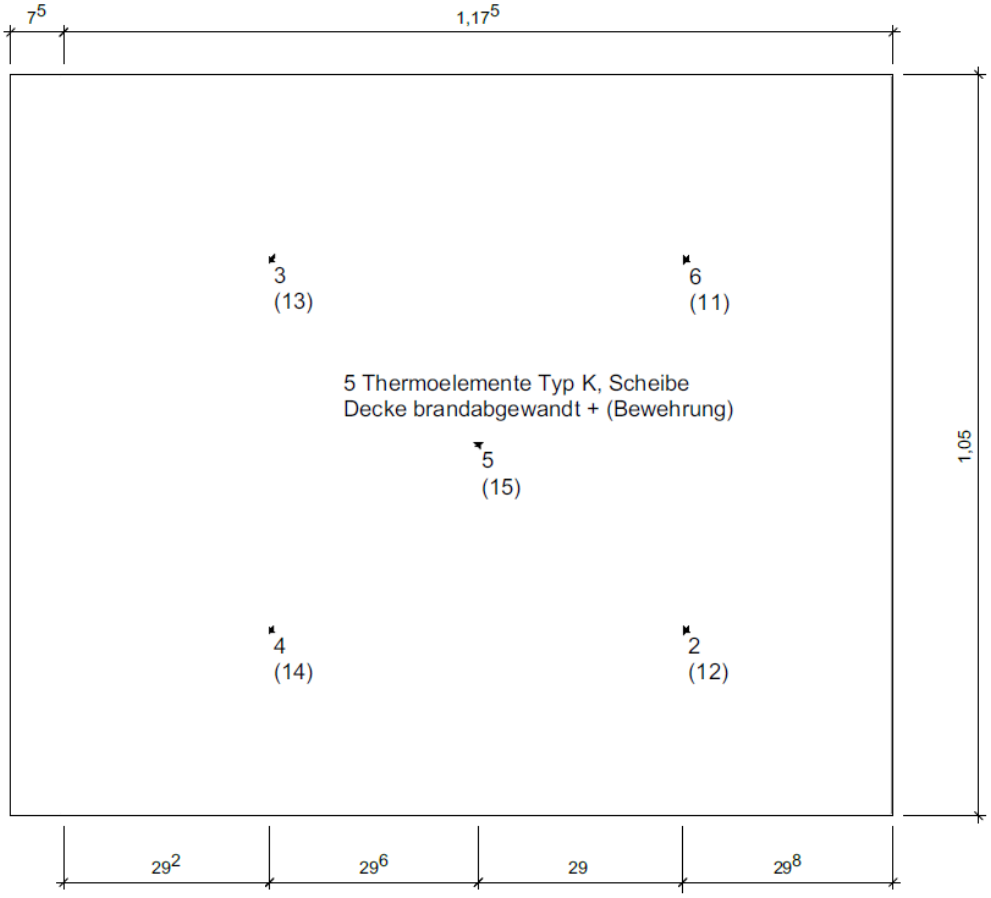
Ansicht (brandabgewandte Seite)



Ansicht (brandzugewandte Seite)



Draufsicht


7,5
1,17,5
3
(13)
6
(11)
5 Thermoelemente Typ K, Scheibe
Decke brandabgewandt + (Bewehrung)
5
(15)
1,05
4
(14)
2
(12)
29,2
29,6
29
29,8

Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	Mauerwerk d = 100 mm Planbauplatten PP pl 0,55 624x100x249 mm	550	3 %	Porit

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	Stahlbetonvollplatte C 50/60 2-lagige Bewehrung: Baustahl Q188A Achsabstand untere/obere Lage: a=30 mm	2400	5 %	HSMD

Verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Dünnbettmörtel MG III	Porit	W1
Stahlwinkel 50 mm x 50 mm x 2 mm,	HSMD	Fügung
Bolzenanker FAZ II 8/10	Fischer	Stahlwinkel-Befestigung
Formrock 035	Rockwool	Fügung

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	29.01.2020, 14:17:40 Uhr
Versuchsende:	29.01.2020, 15:46:05 Uhr
Versuchsdauer in min:	90

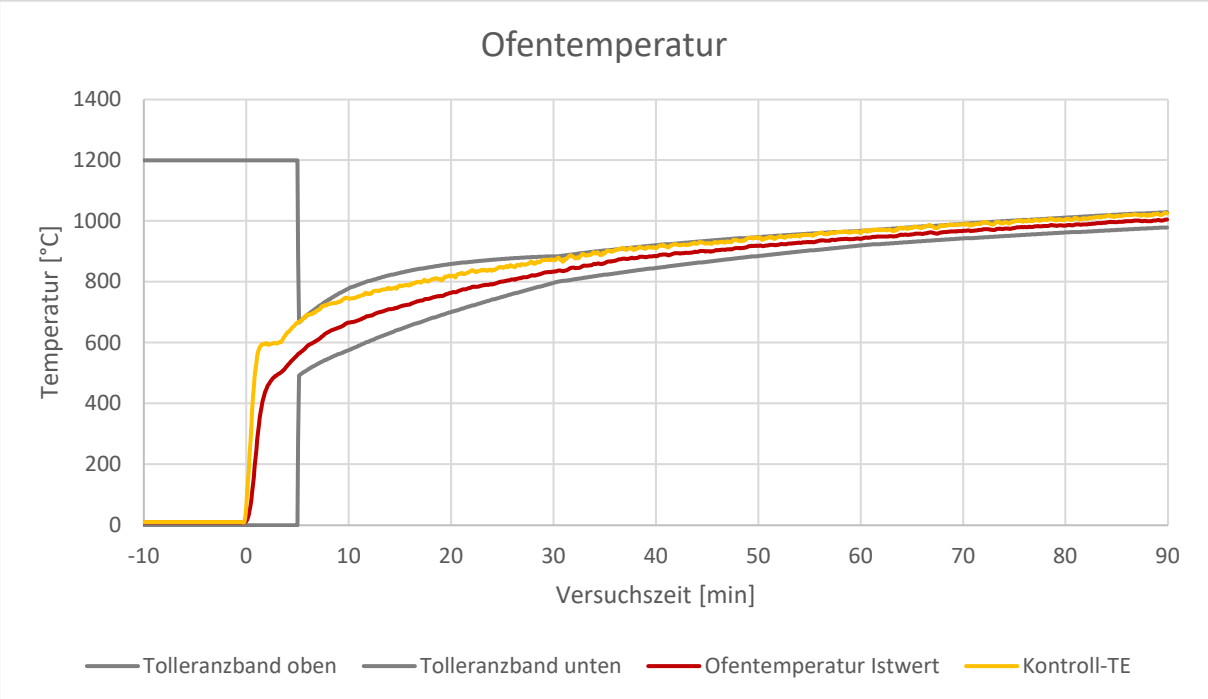
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

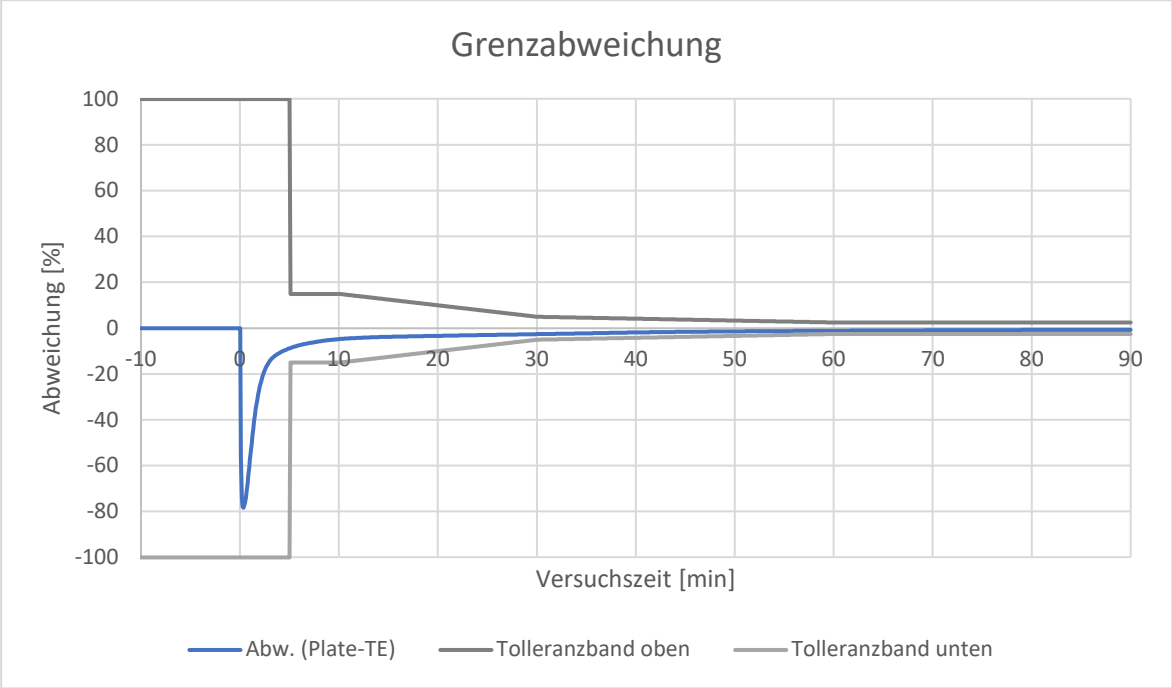
Umgebungsdruck:	996 mbar
Umgebungstemperatur:	7,2 °C
Luftfeuchte in %:	59,7 % rh

2.2 Prüfbedingungen

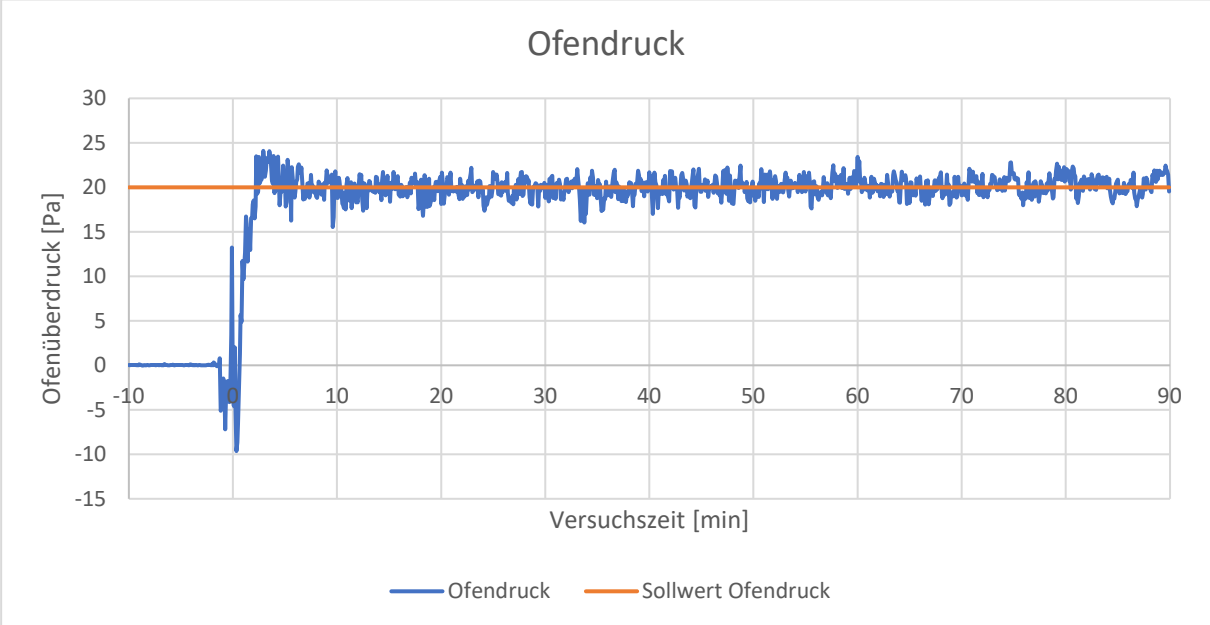
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



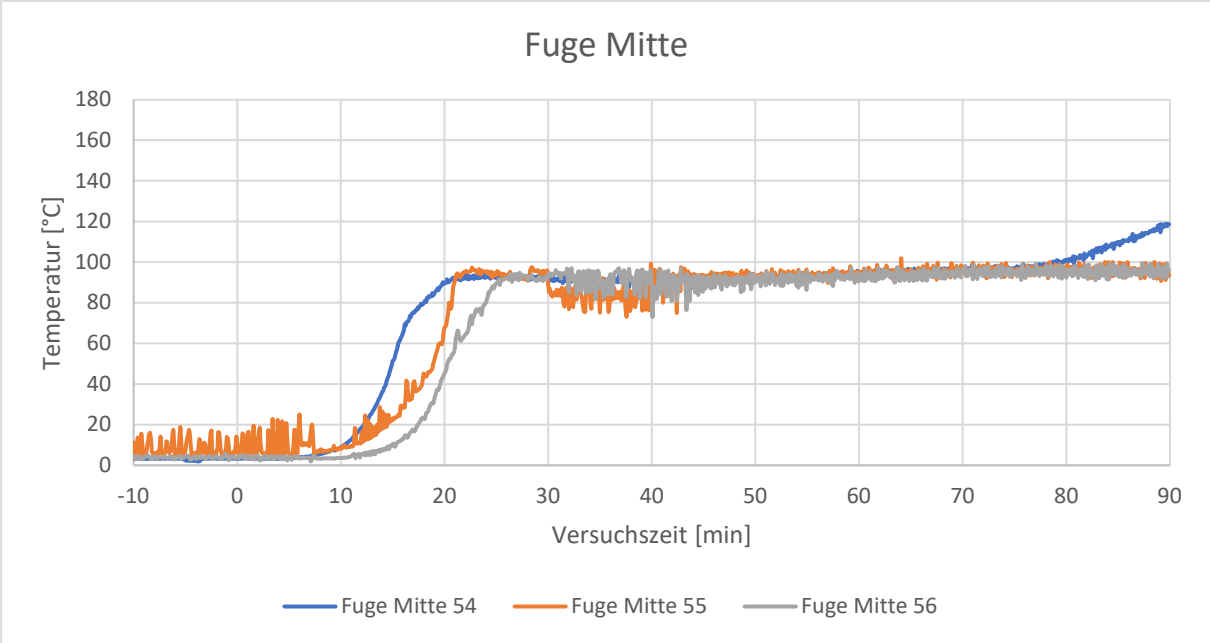
Ofenüberdruck

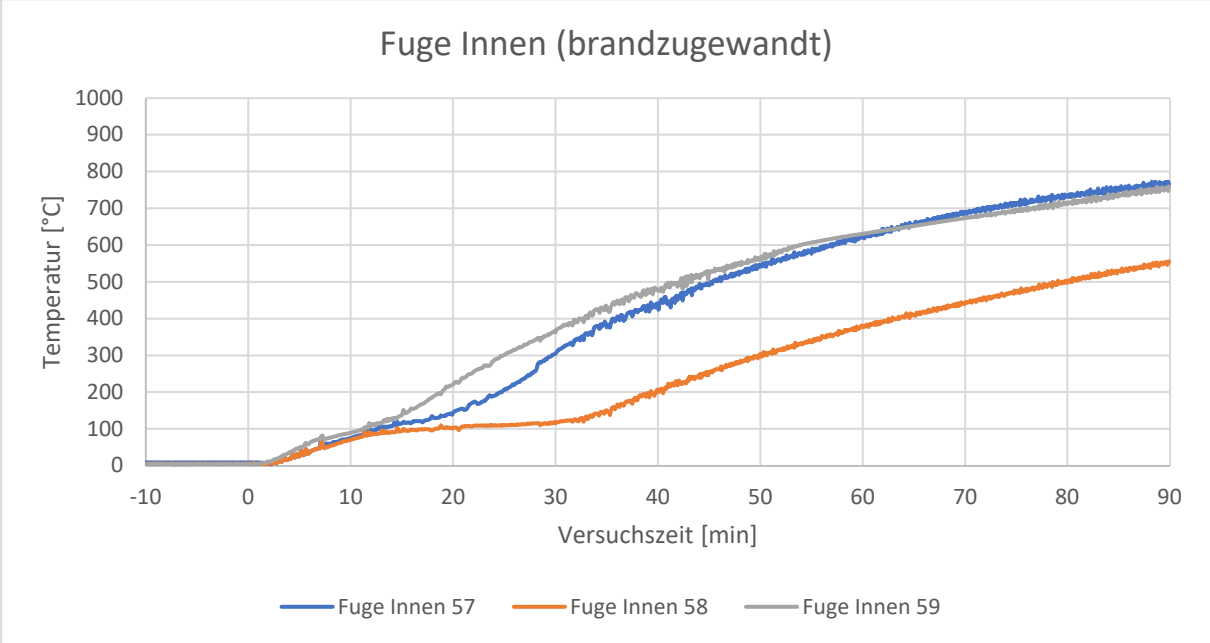


3.Auswertung

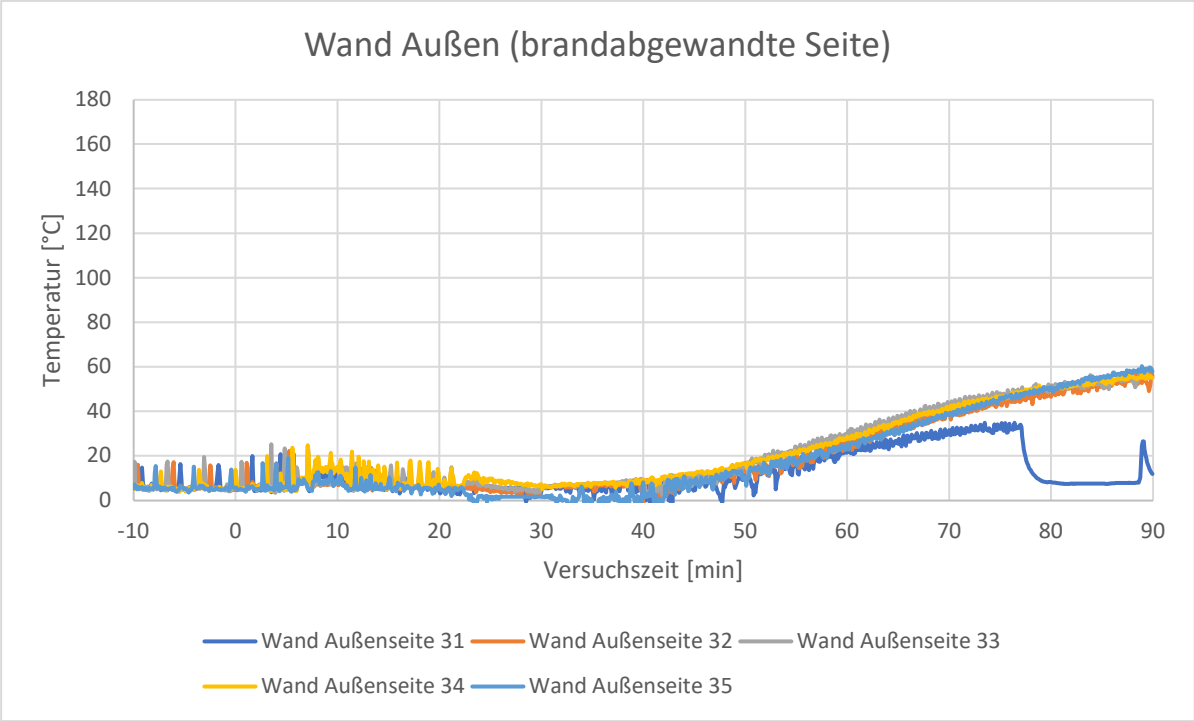
3.1. Temperaturverläufe

Temperaturverlauf Bauteilfuge

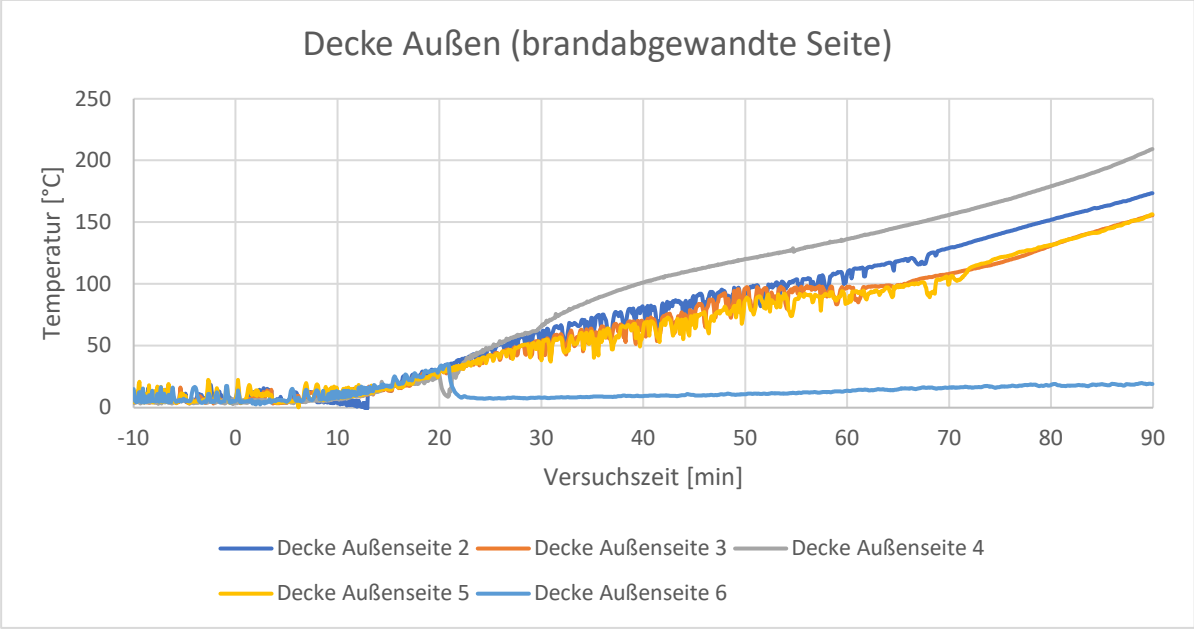


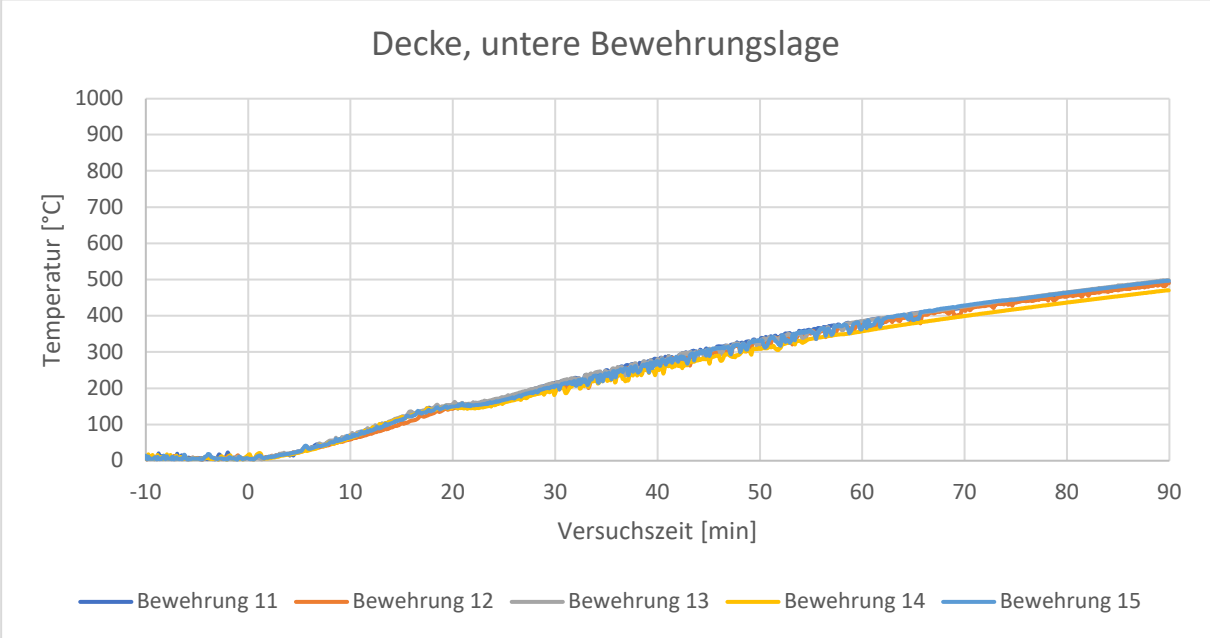


Temperaturverlauf Wand



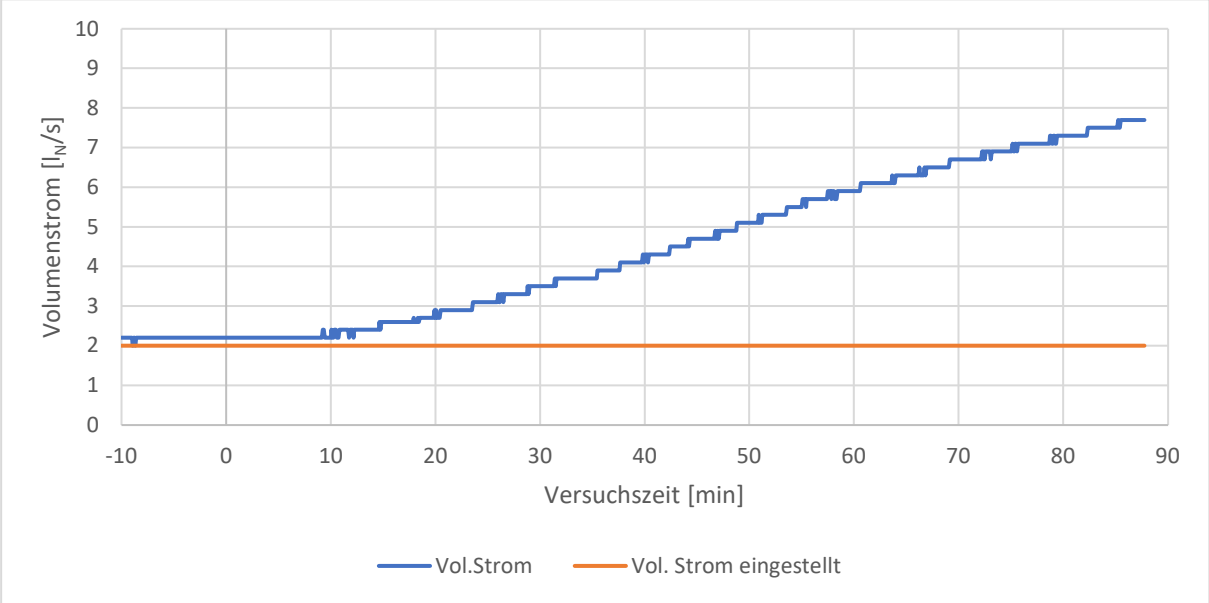
Temperaturverlauf Decke



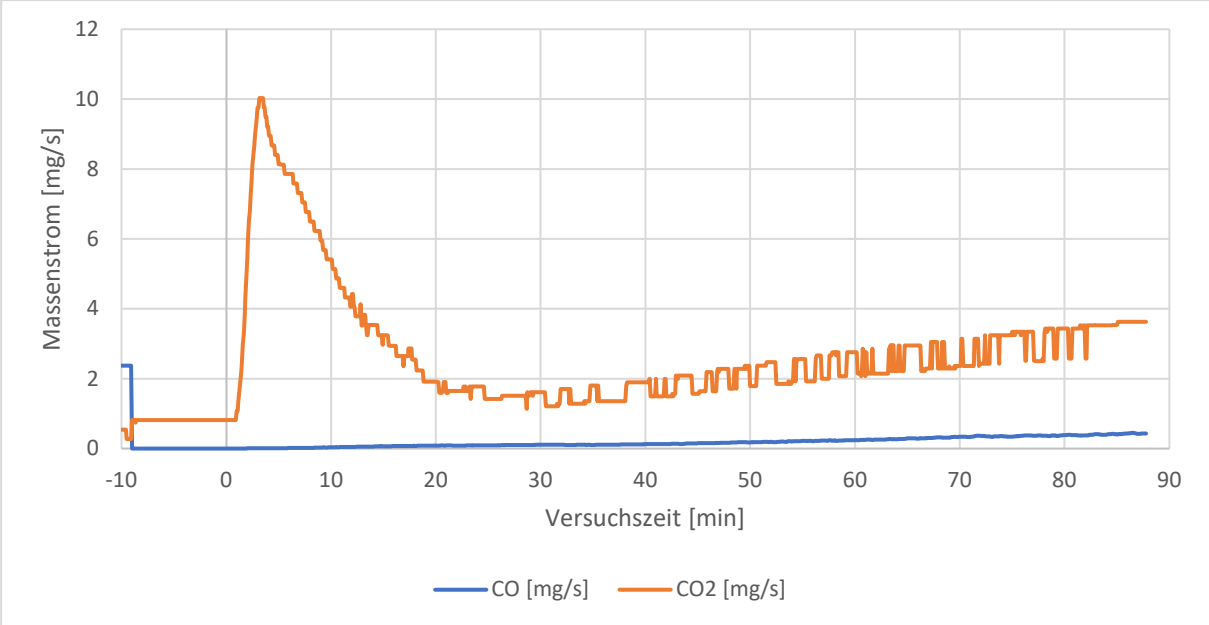

Decke, untere Bewehrungslage
Temperatur [°C]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
Bewehrung 11
Bewehrung 12
Bewehrung 13
Bewehrung 14
Bewehrung 15

3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

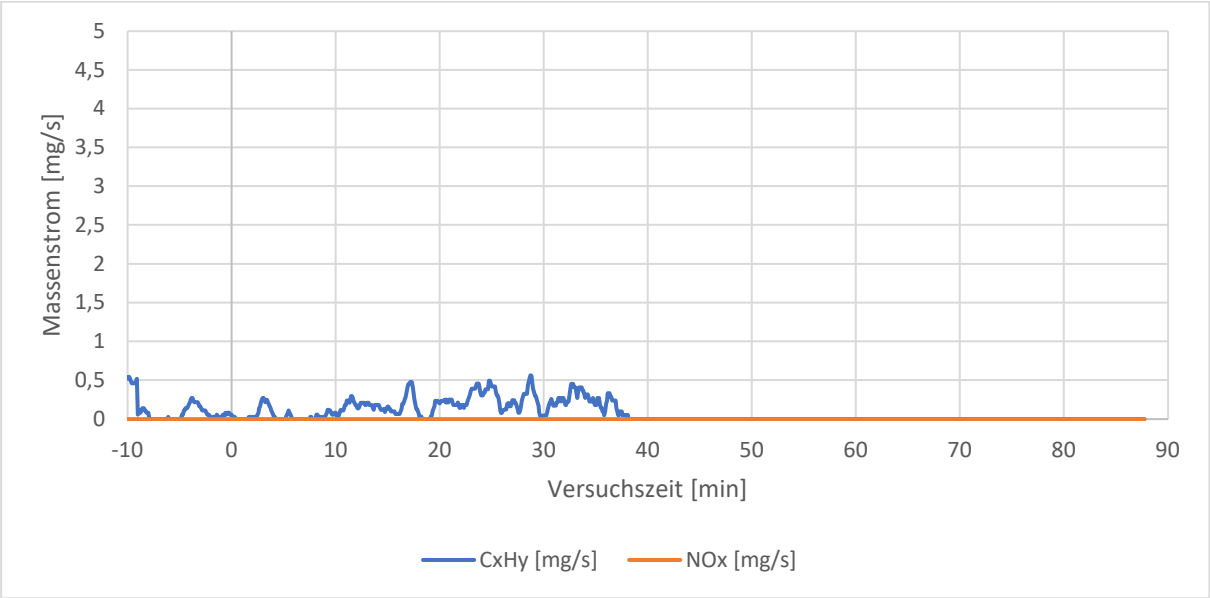
Volumenstrom



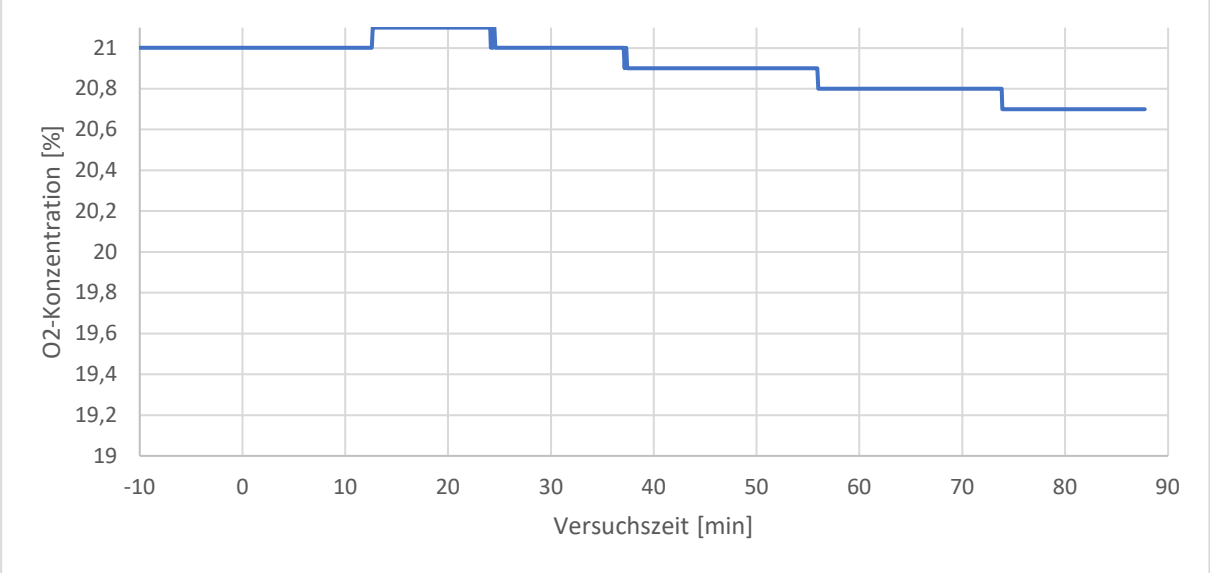
Massenströme CO, CO_2



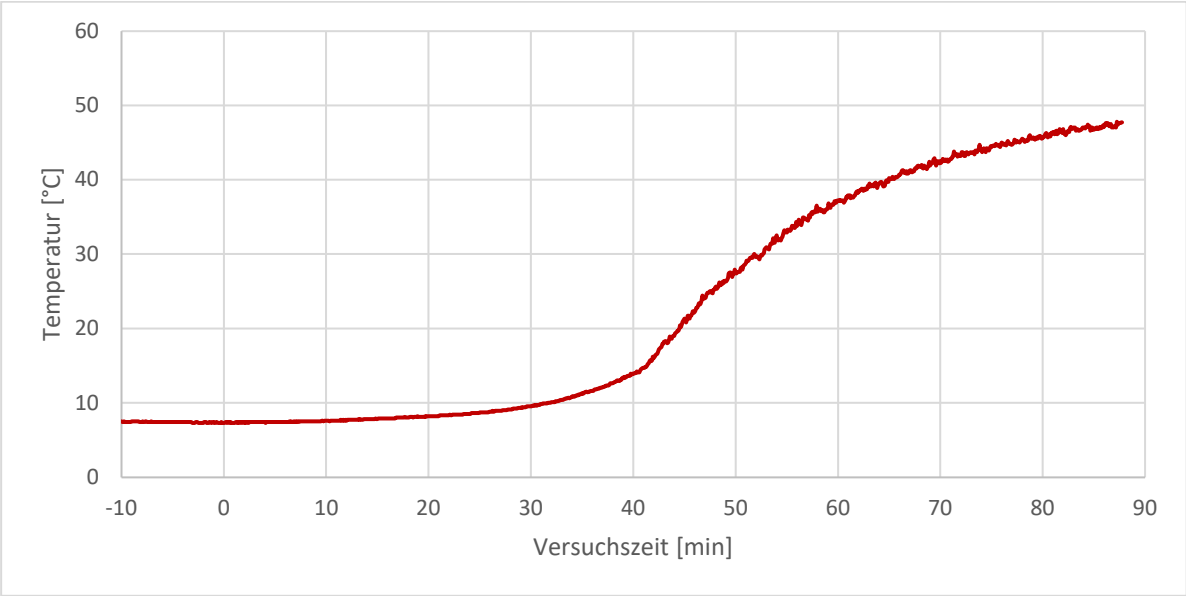
Massenströme CxHy, NOx



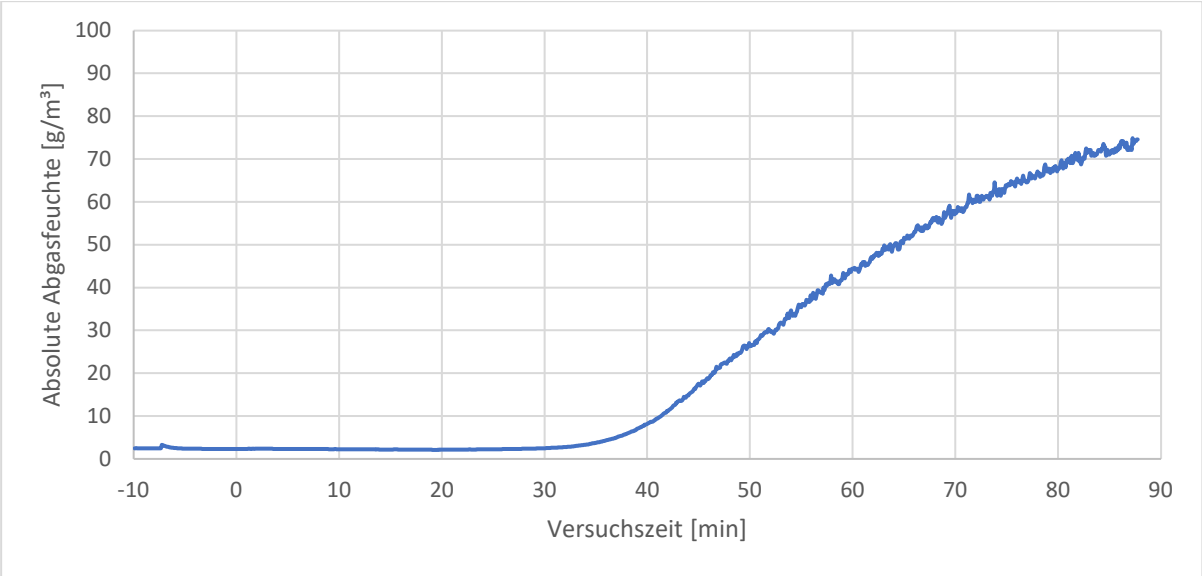
O_2-Konzentration



Abgastemperatur



Absolute Abgasfeuchte



3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
14.	Kontrolle TE 57, 2	
19.	Wasserdampfaustritt aus Fuge sichtbar	
31.	Kondenswasserbildung an Stahlprofil, brandabgewandte Seite	x
36.	Verstärkte Kondenswasserbildung im RAK	x
48.	Zunehmende Rauchentwicklung im RAK, sichtbare Deckendurchbiegung mittig ca. 3 cm	
65.	Flächiger Wasserdampfaustritt Wand brandabgewandte Seite sichtbar	
71.	Starker Abgasaustritt oberhalb des Messrohrs wahrnehmbar	
85.	Ablösen TE 41	

4. Anhänge/Fotodokumentation



Abbildung 1: Probekörper, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 2: Komprimierter Mineralwollstreifen (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 3: Montage des Stahlprofils, brandabgewandte Seite

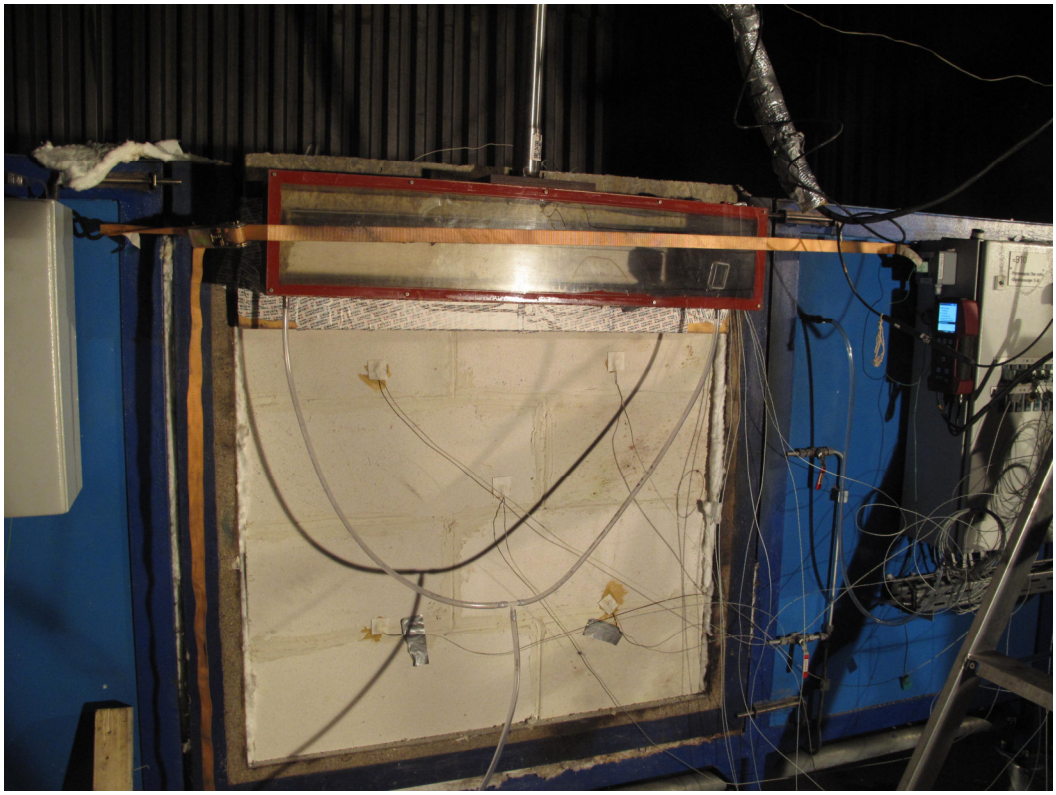


Abbildung 4: Anbringung des RAK



Abbildung 5: Decke, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 6: Kondenswasserbildung im RAK (31. Brandminute)



Abbildung 7: Verstärkte Kondenswasserbildung im RAK (36. Brandminute)



Abbildung 8: Verstärkte Kondenswasserbildung im RAK (36. Brandminute)

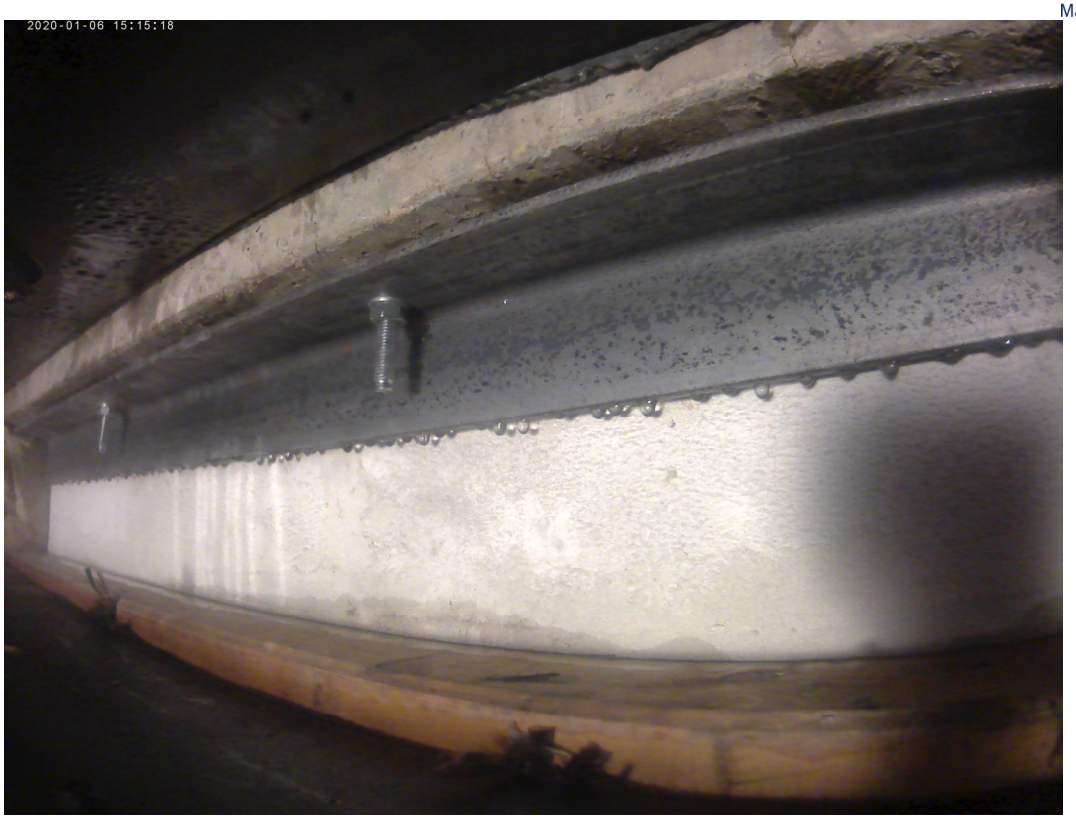


Abbildung 9: Zunehmde Rauchentwicklung/Trübung im RAK (41. Brandminute)



Abbildung 10: Sichtbarer Rauchdurchtritt nach Abnahme RAK (90. Brandminute)



Abbildung 11: Wand, brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 6: Decke (brandabgewandt. Seite, nach Versuchsende)



Abbildung 7: Bauteilfuge, Mineralwollstreifen (nach Versuchsende)

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: F3_TB-gl_STB_90

Datum: 13.02.2020

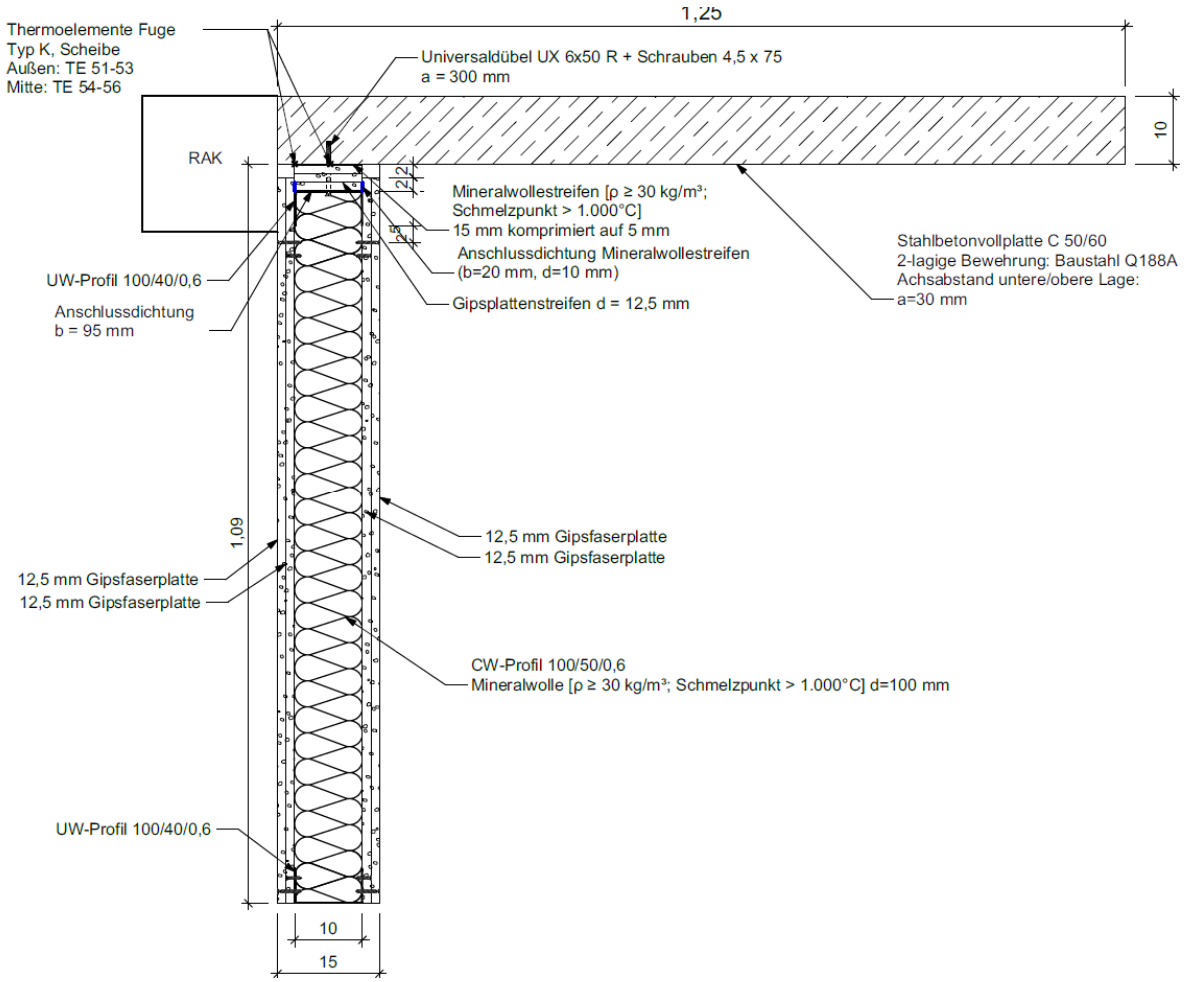
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Ansicht (Wand, brandabgewandte Seite, 1. Lage) 4
Ansicht (Wand, brandabgewandte Seite, 2. Lage) 4
Ansicht (Wand, brandzugewandte Seite, 1. Lage) 5
Ansicht (Wand, brandzugewandte Seite, 2. Lage) 5
Draufsicht (brandabgewandte Seite) 6
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 7
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 7
Weitere verwendete Materialien 7
2.Versuchsparameter 8
2.1 Umgebungsbedingungen 8
2.2 Prüfbedingungen 8
Temperaturzeitkurve 8
Grenzabweichungen 9
Ofenüberdruck 9
3.Auswertung 10
3.1. Temperaturverläufe 10
Temperaturverlauf Bauteilfuge 10
Temperaturverlauf Wand 11
Temperaturverlauf Decke 12
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 13
Volumenstrom 13
Massenströme CO, CO_2 13
O_2-Konzentration 14
Abgastemperatur 14
Absolute Abgasfeuchte 15
3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 16
4. Anhänge/Fotodokumentation 17

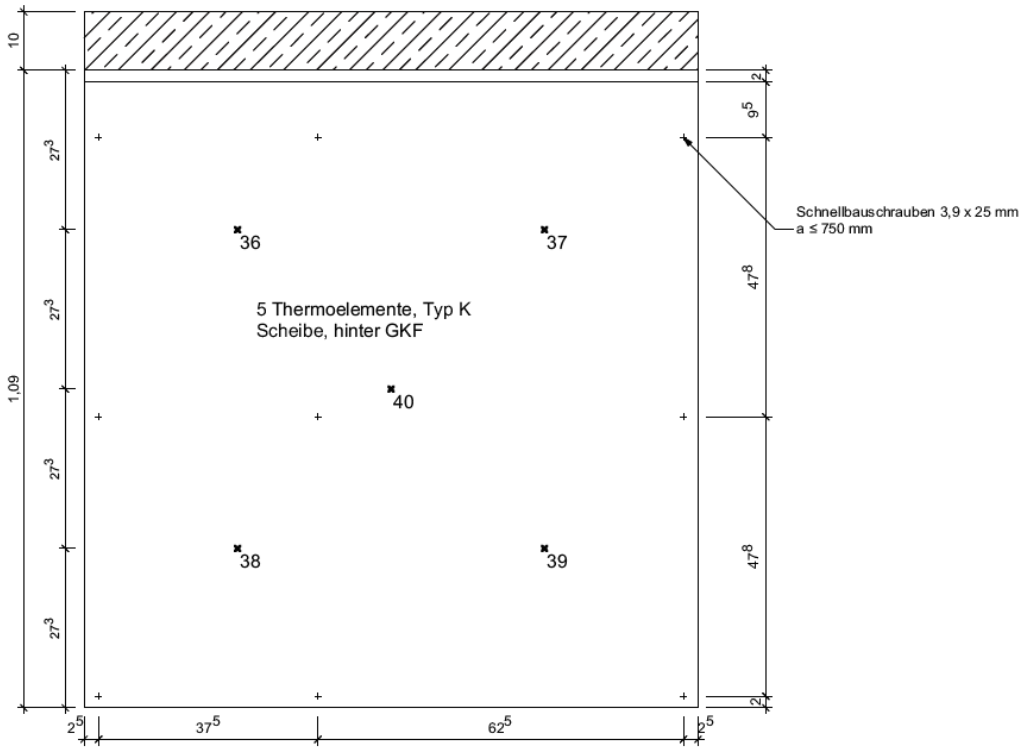
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

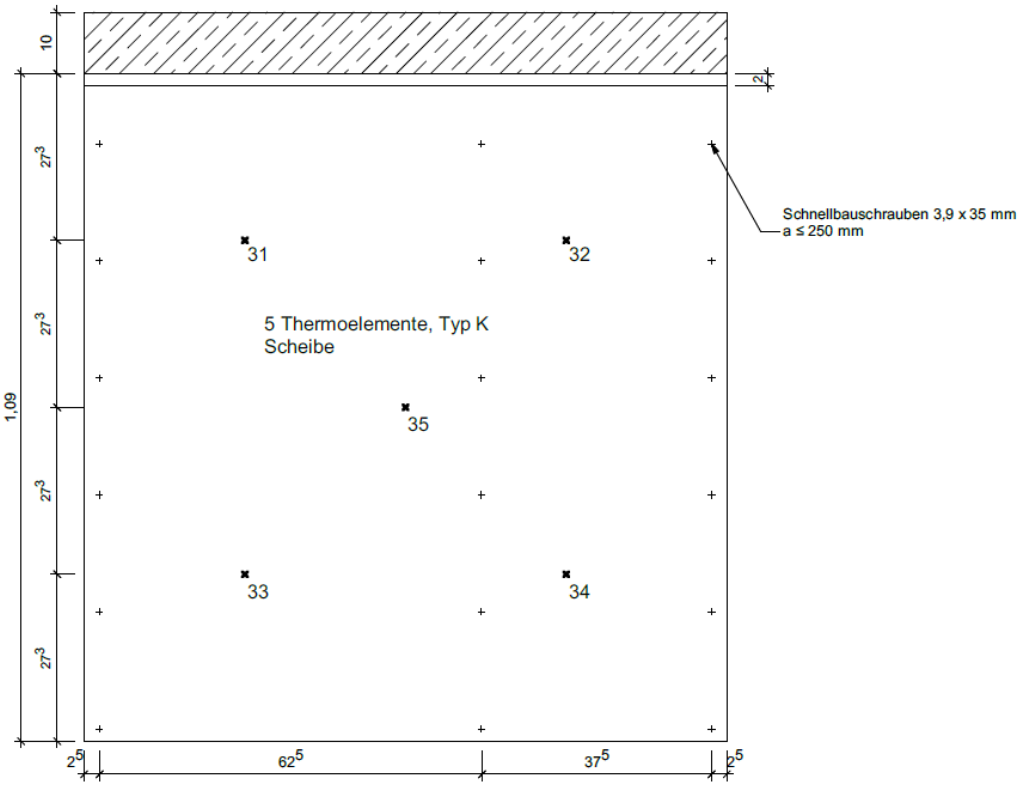
Schnitt



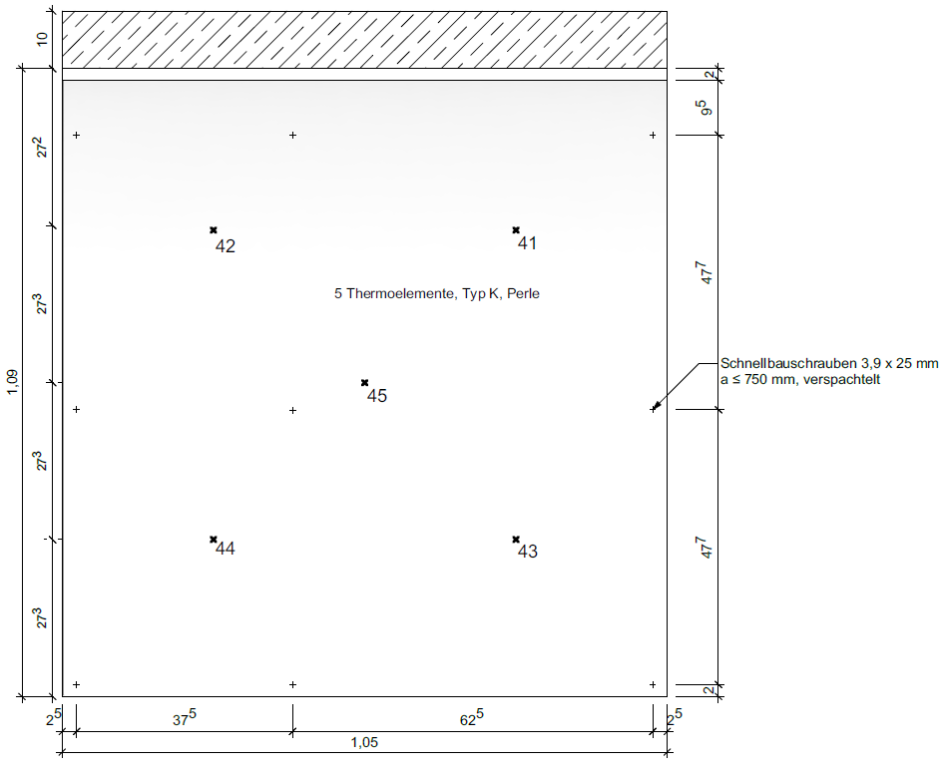
Ansicht (Wand, brandabgewandte Seite, 1. Lage)



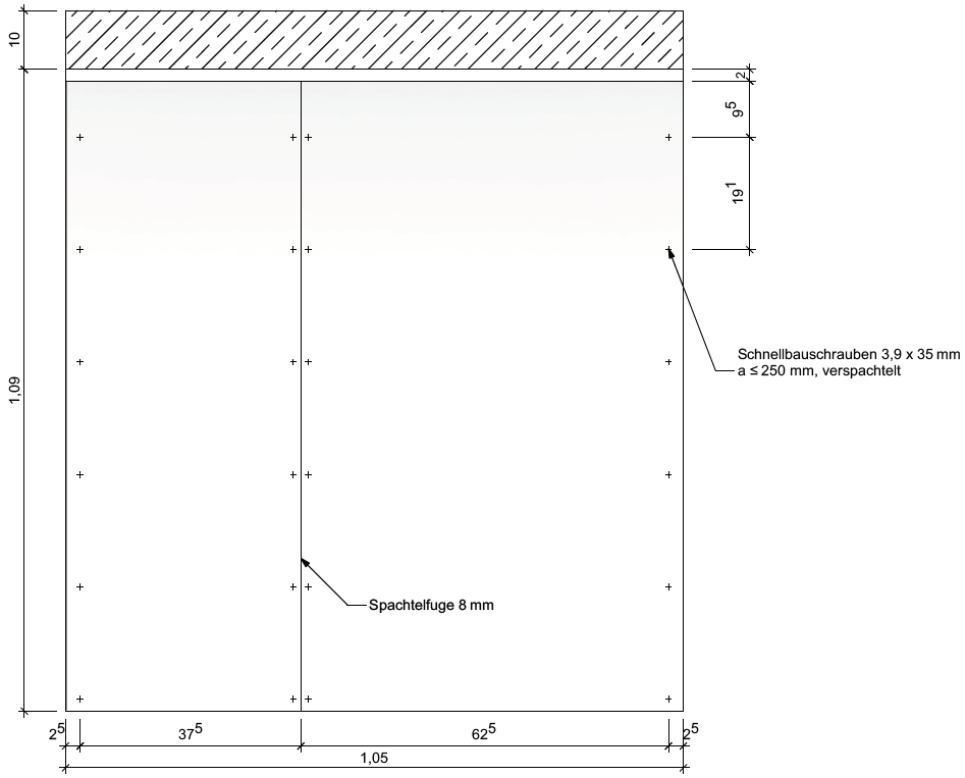
Ansicht (Wand, brandabgewandte Seite, 2. Lage)



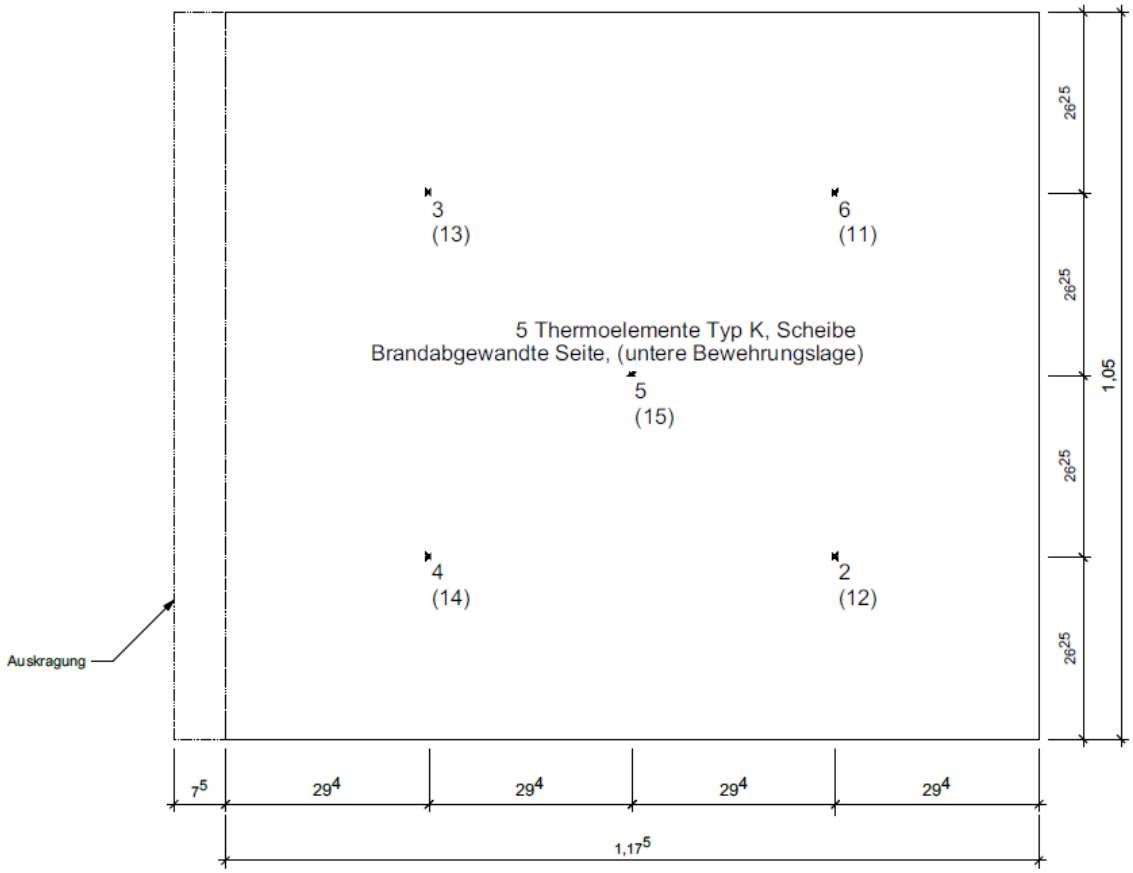
Ansicht (Wand, brandzugewandte Seite, 1. Lage)



Ansicht (Wand, brandzugewandte Seite, 2. Lage)



Draufsicht (brandabgewandte Seite)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W2	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W3	CW-Profil 100/50/0,6 mit UW-Profil 100/40/0,6	7850	0 %	Richter
	100 mm Dämmung Flexirock 035	30	1 %	Rockwool
W4	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W5	12,5 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	Stahlbetonvollplatte C 50/60, 2-lagige Bewehrung: Baustahl Q188A Achsabstand untere/obere Lage: a=30 mm	2400 kg/m³	5 %	HSMD

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben 3,9 x 25 mm	GiX	W2, W4
Schnellbauschrauben 3,9 x 35 mm	GiX	W1, W3
Universaldübel UX 6x50 R + Schrauben 4,5x75	Fischer	W3-D1
Mineralwolle Flexirock d=100 mm	Rockwool	W3 Anschlussdichtung
Mineralwolle Flexirock d=20 mm	Rockwool	Anschlussdichtung (UW-Profil/1. Lage GF)
Dichtungsband d=95 mm	Knauf	Anschlussdichtung (UW-Profil/Gipsstreifen)
Fermacell ® Gipsspachtel	JamesHardie	Spachtelfuge

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	13.02.2020, 12:56:49 Uhr
Versuchsende:	13.02.2020, 14:26:50 Uhr
Versuchsdauer in min:	90

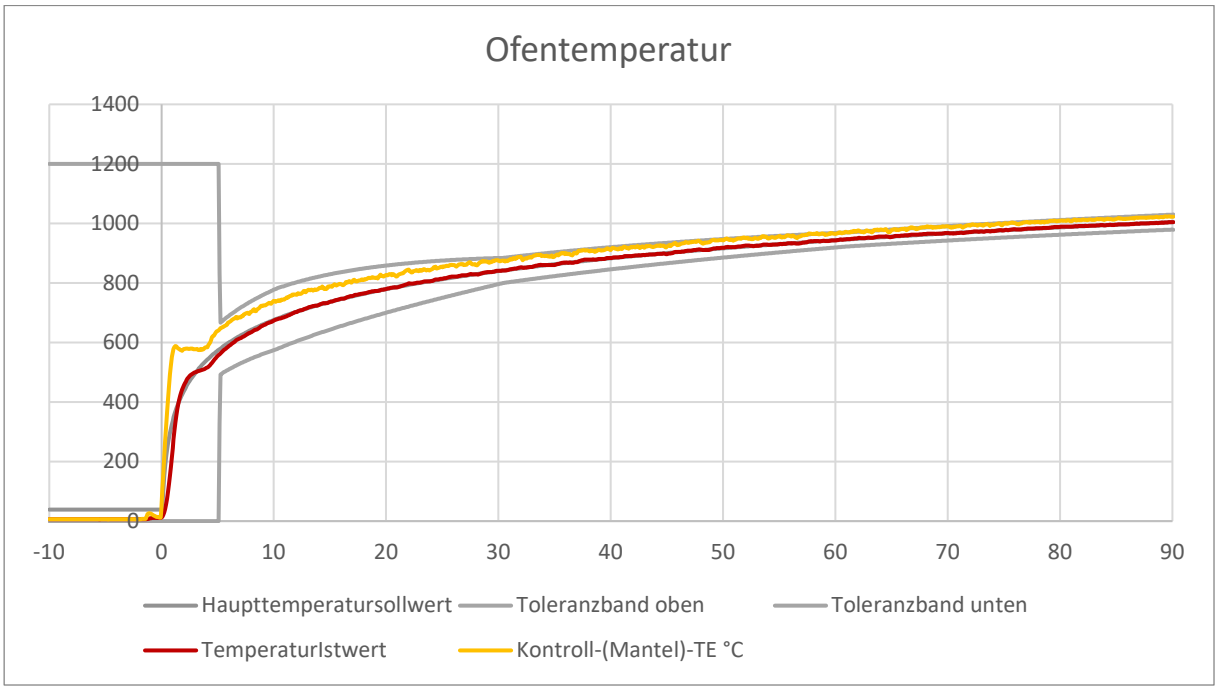
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

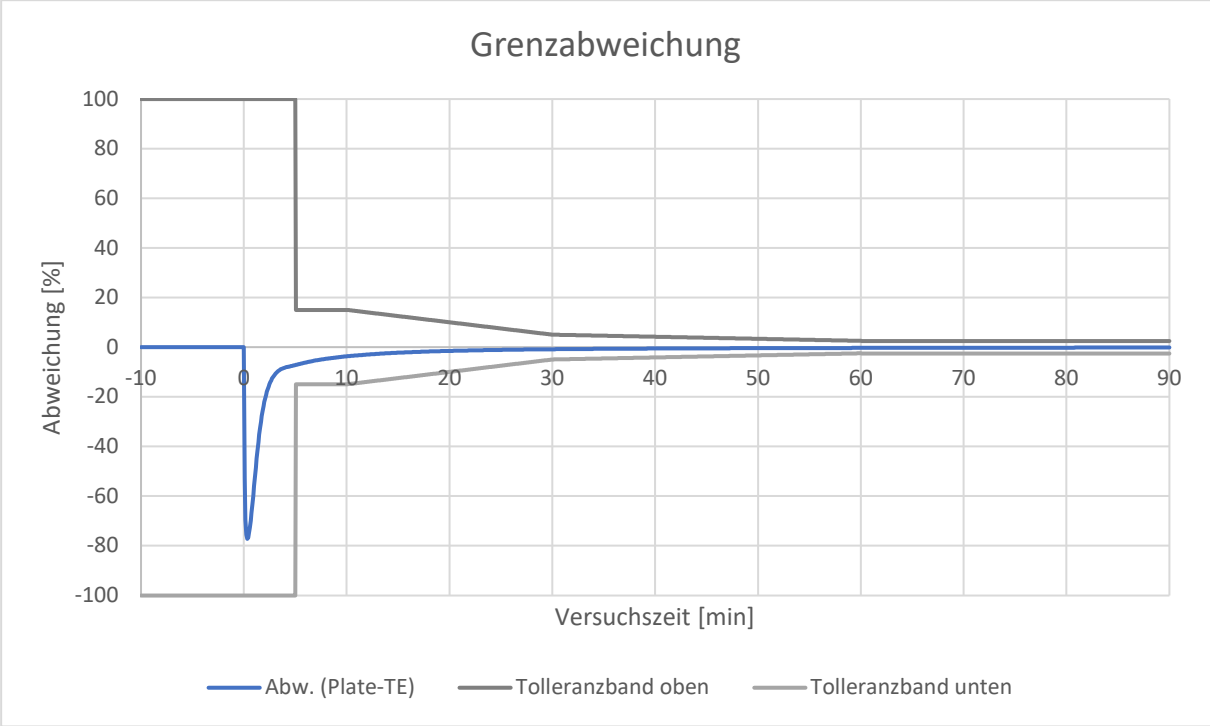
Umgebungsdruck:	1002 mbar
Umgebungstemperatur:	5,7 °C
Luftfeuchte in %:	69 % rh

2.2 Prüfbedingungen

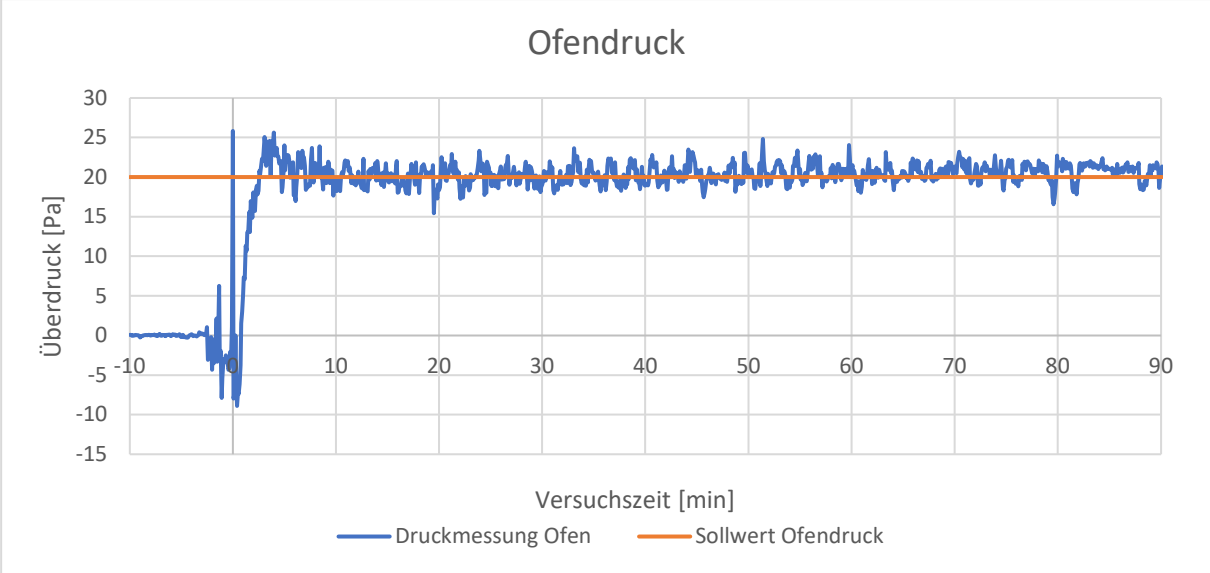
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



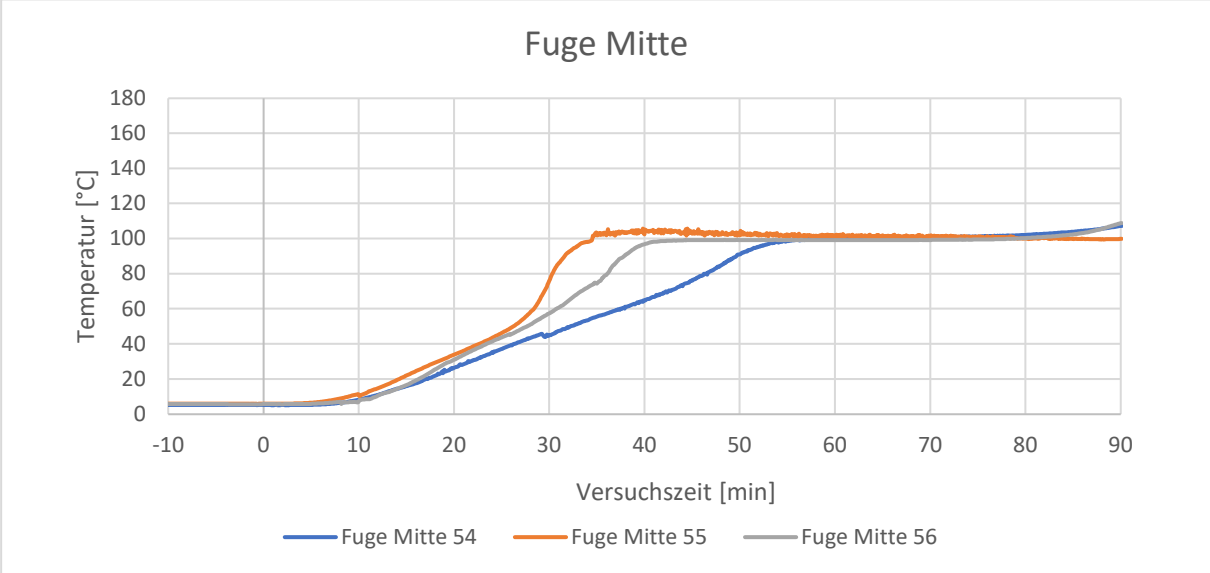
Ofenüberdruck

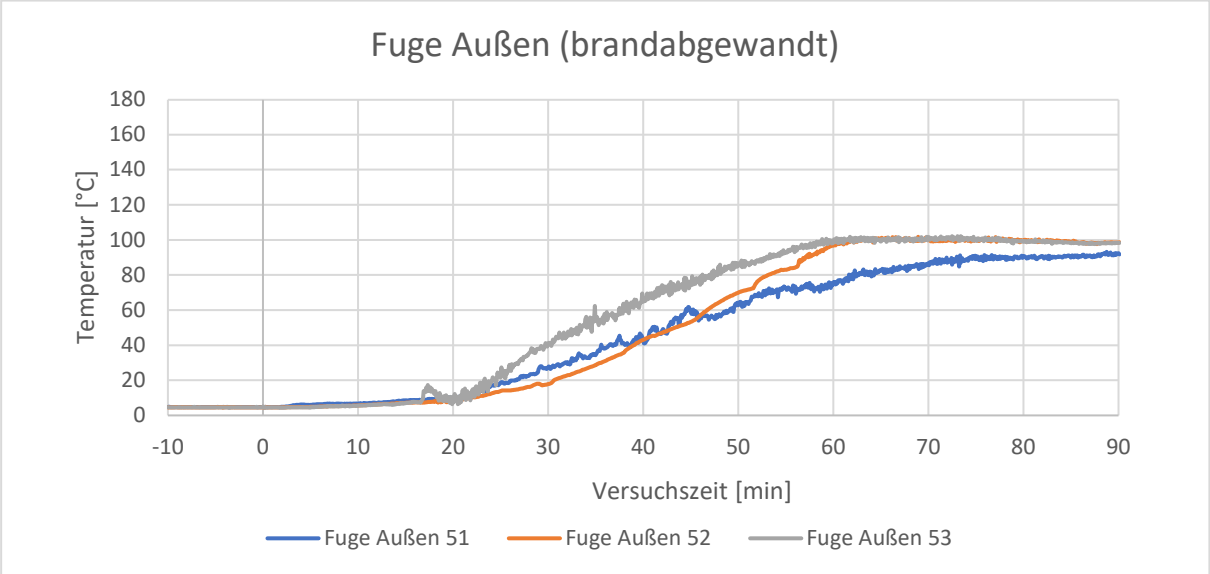


3.Auswertung

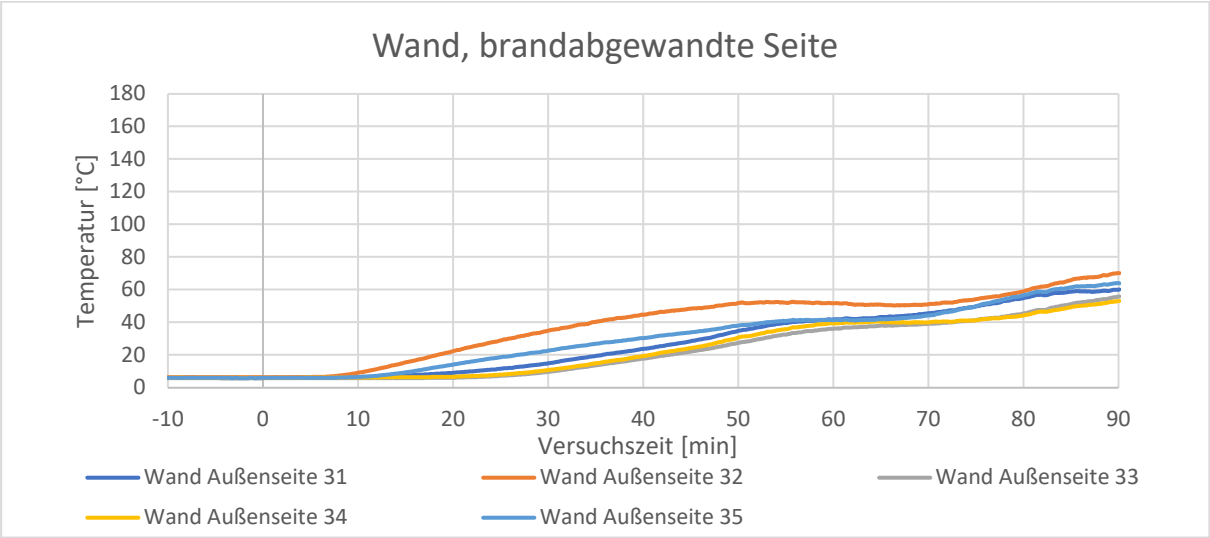
3.1. Temperaturverläufe

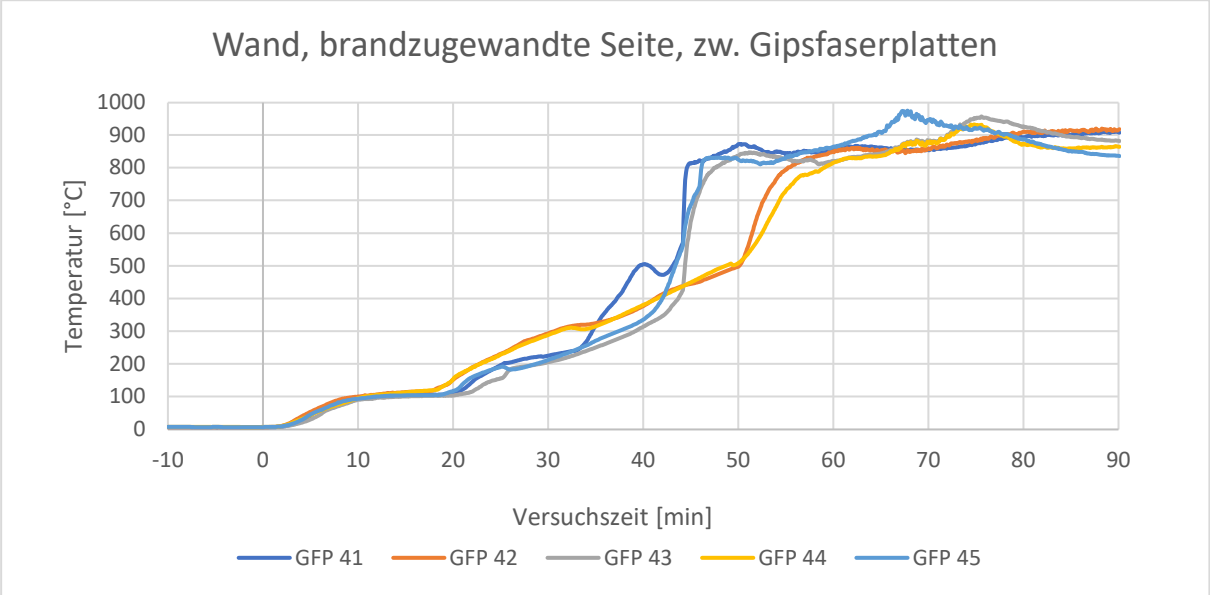
Temperaturverlauf Bauteilfuge

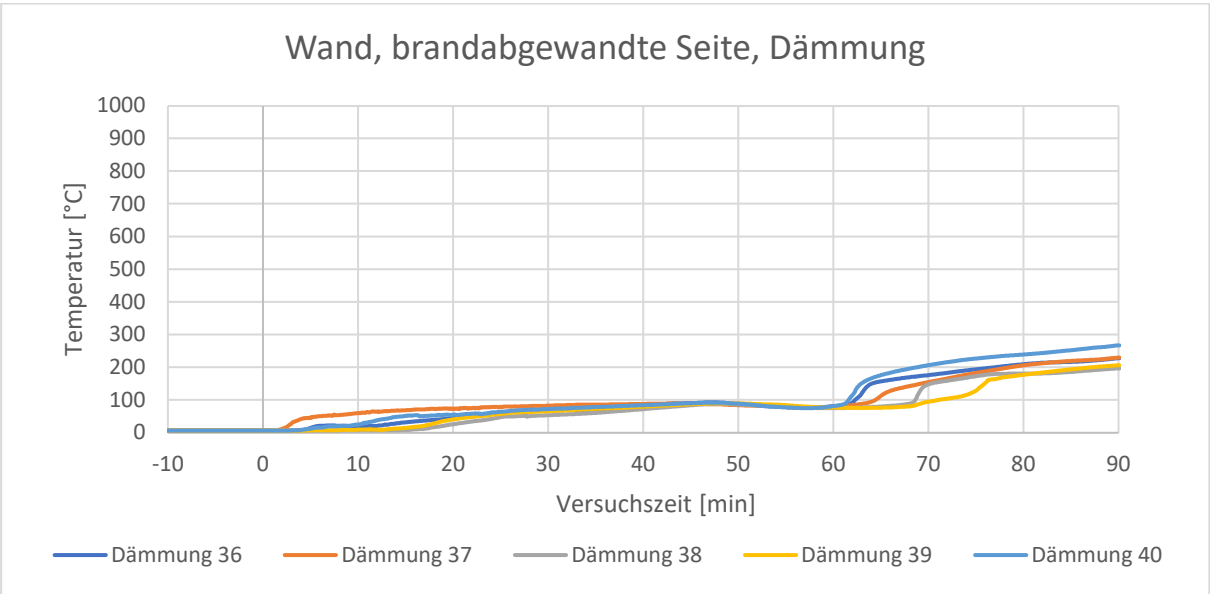




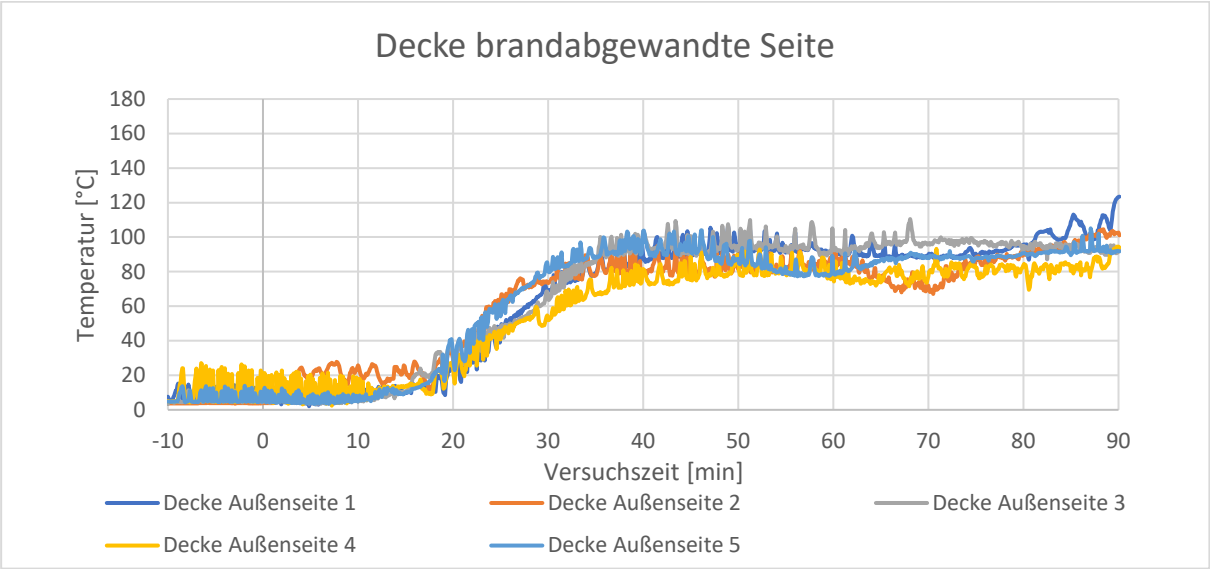
Temperaturverlauf Wand

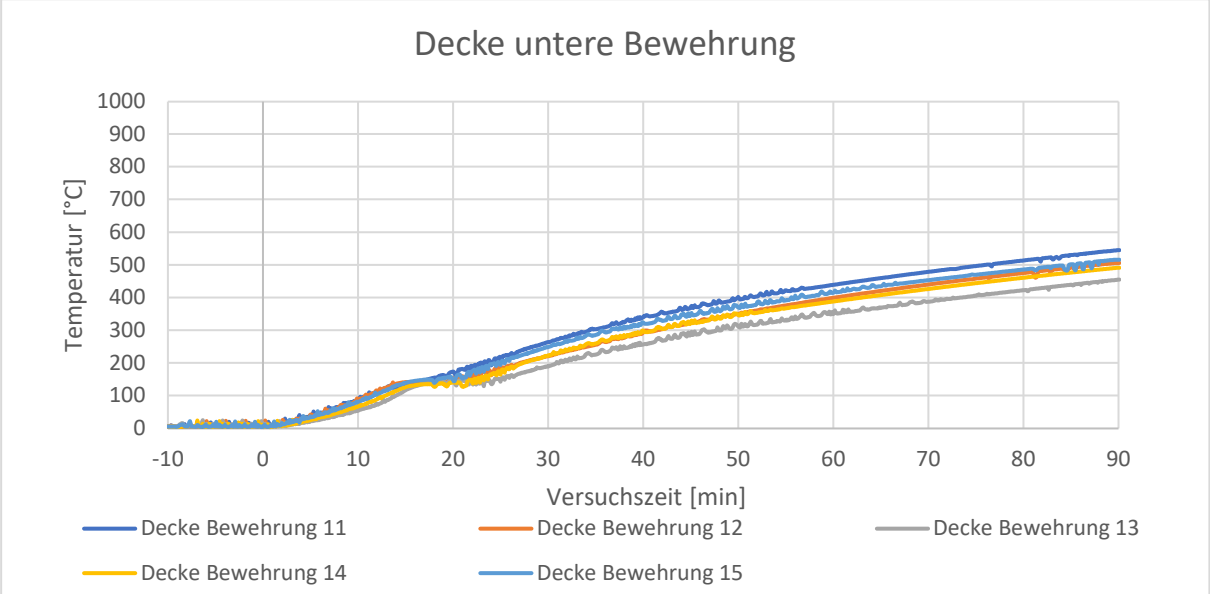






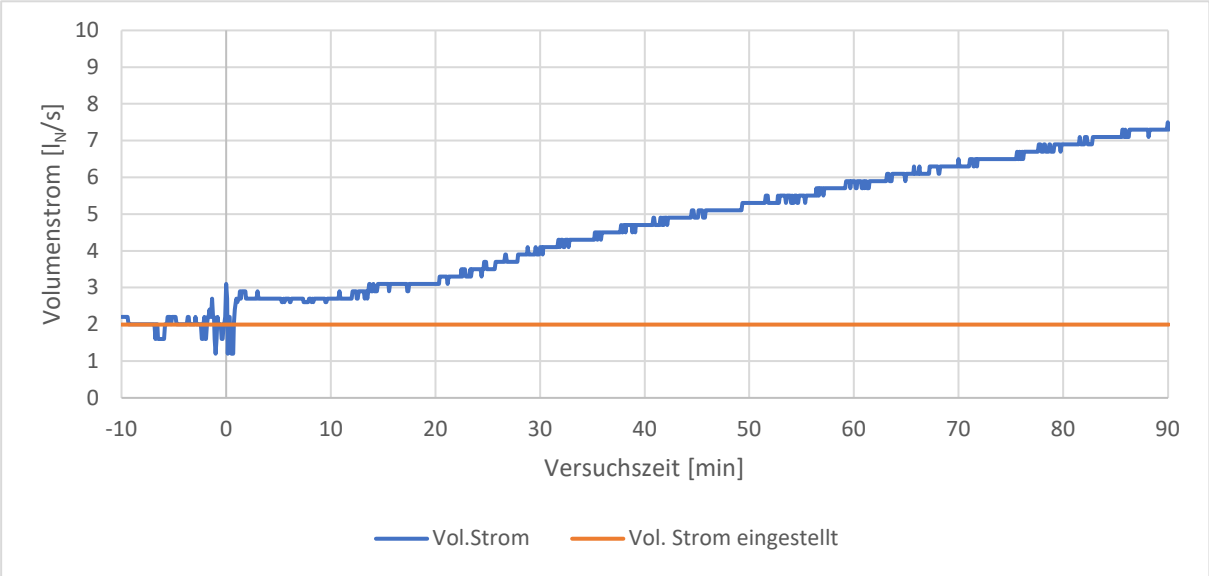
Temperaturverlauf Decke



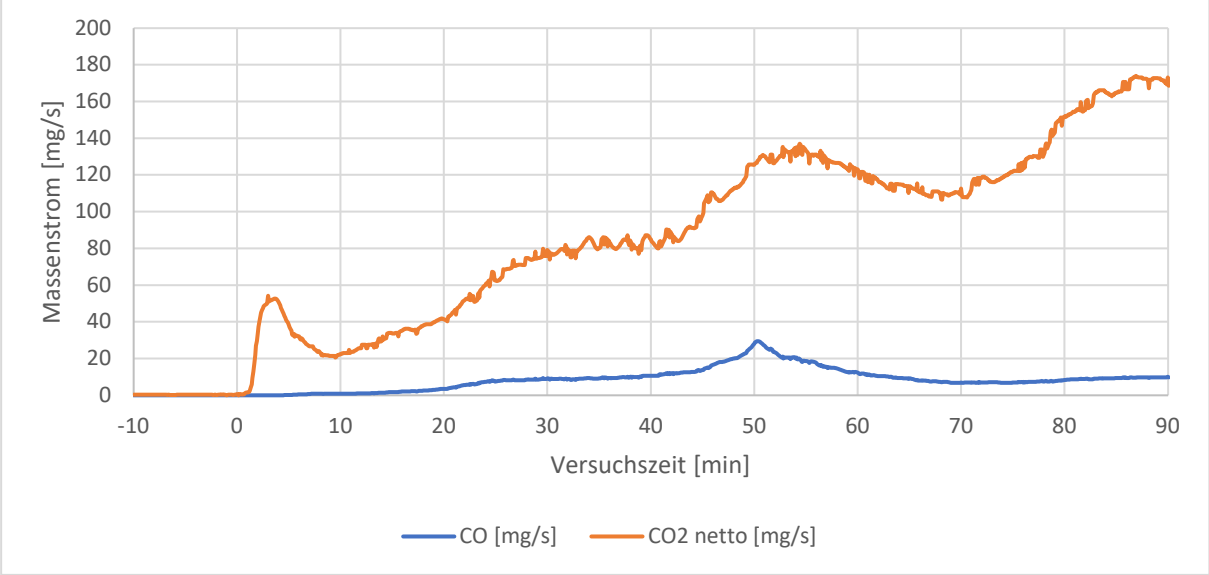


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

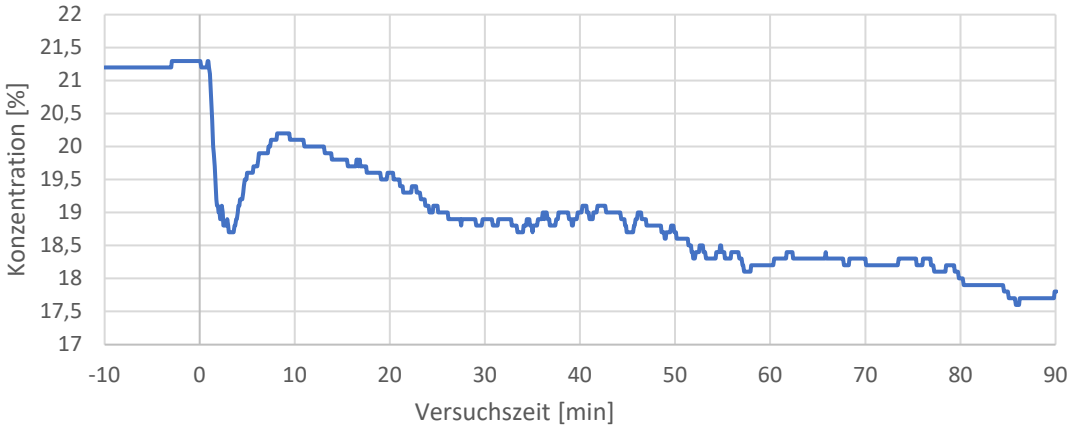
Volumenstrom



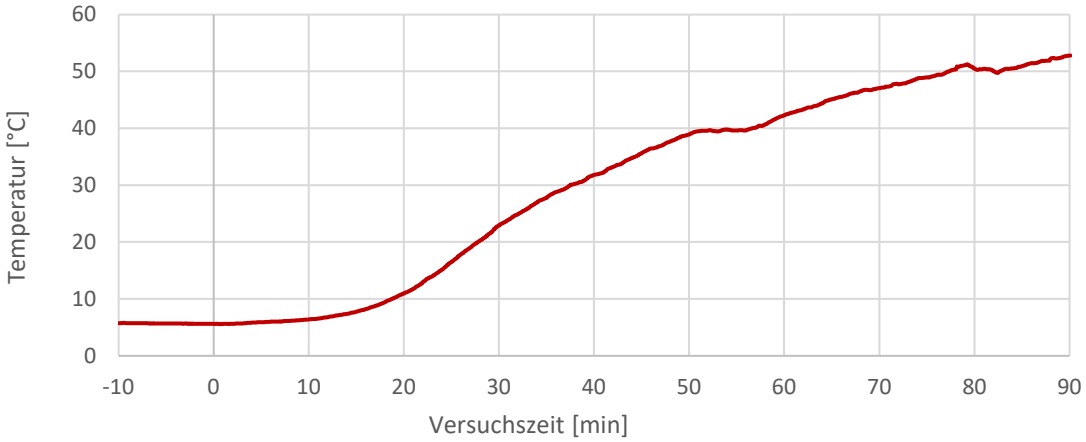
Massenströme CO, CO_2



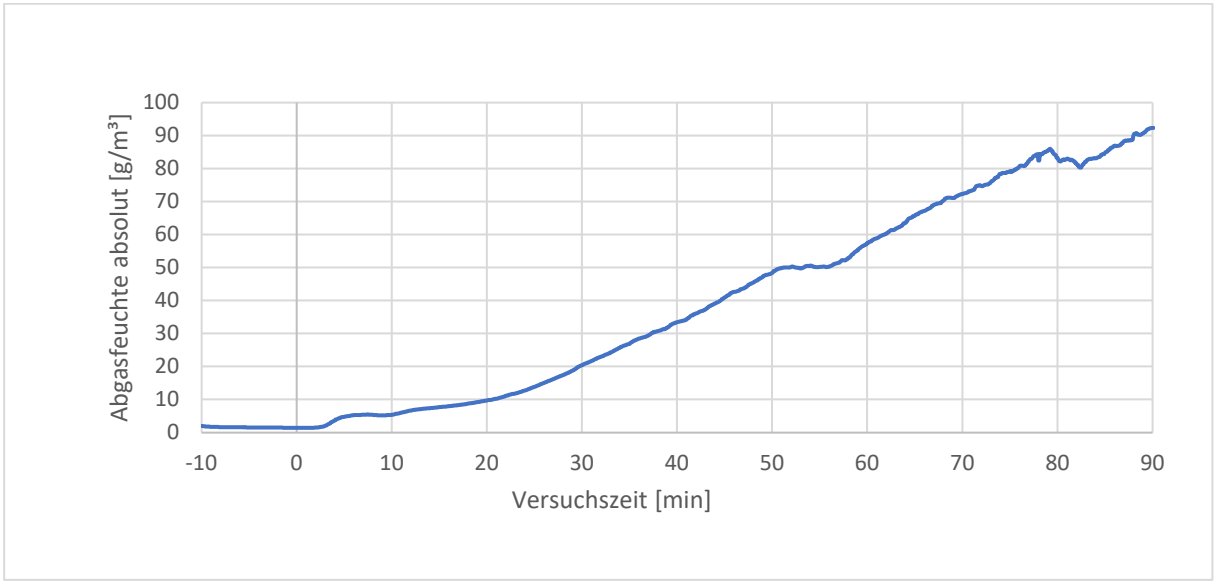
O_2-Konzentration



Abgastemperatur



Absolute Abgasfeuchte



3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
3.	Nachdichten Wandseiten	
7.	Beschlagen des RAK linksseitig	x
12.	Leichter Rauch-/Wasserdampfaustritt Fuge	x
15.	RAK mit Abgasen gefüllt	x
30.	Deckendurchbiegung ca. 10 mm	
46.	Deckendurchbiegung ca. 12 mm	
65.	RAK weiterhin mit Abgas gefüllt, deutlicher Kondenswasserausfall	x
83.	Deckendurchbiegung ca. 14 mm	x

4. Anhänge/Fotodokumentation

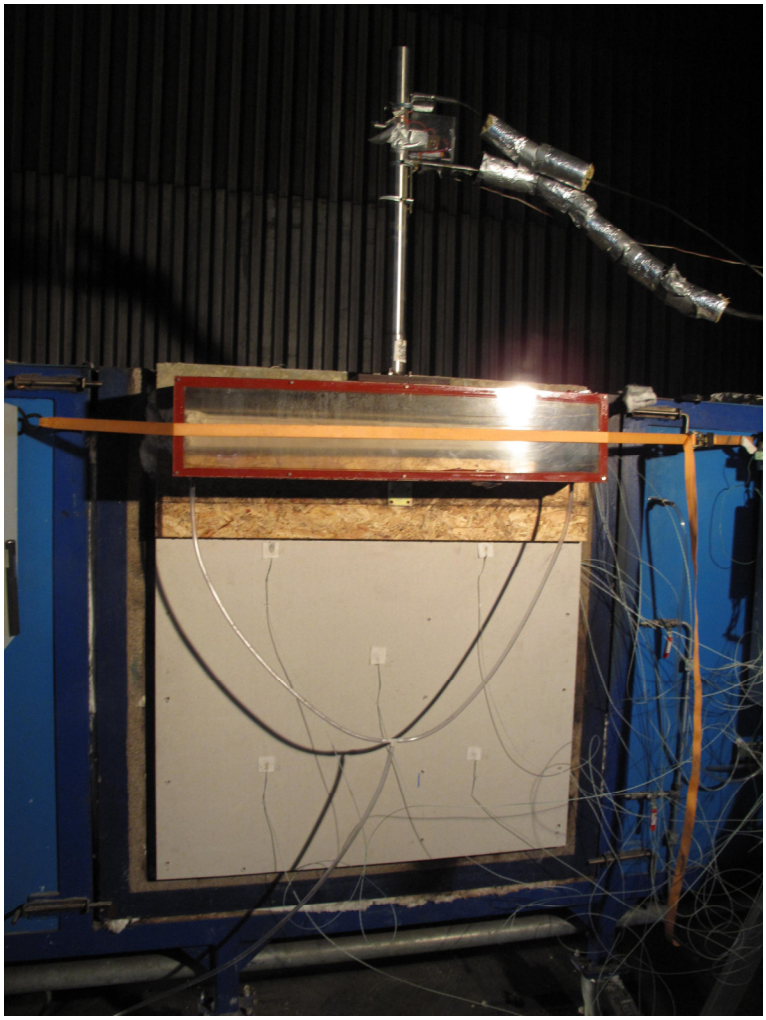


Abbildung 1: Probekörper (vor Versuchsbeginn)

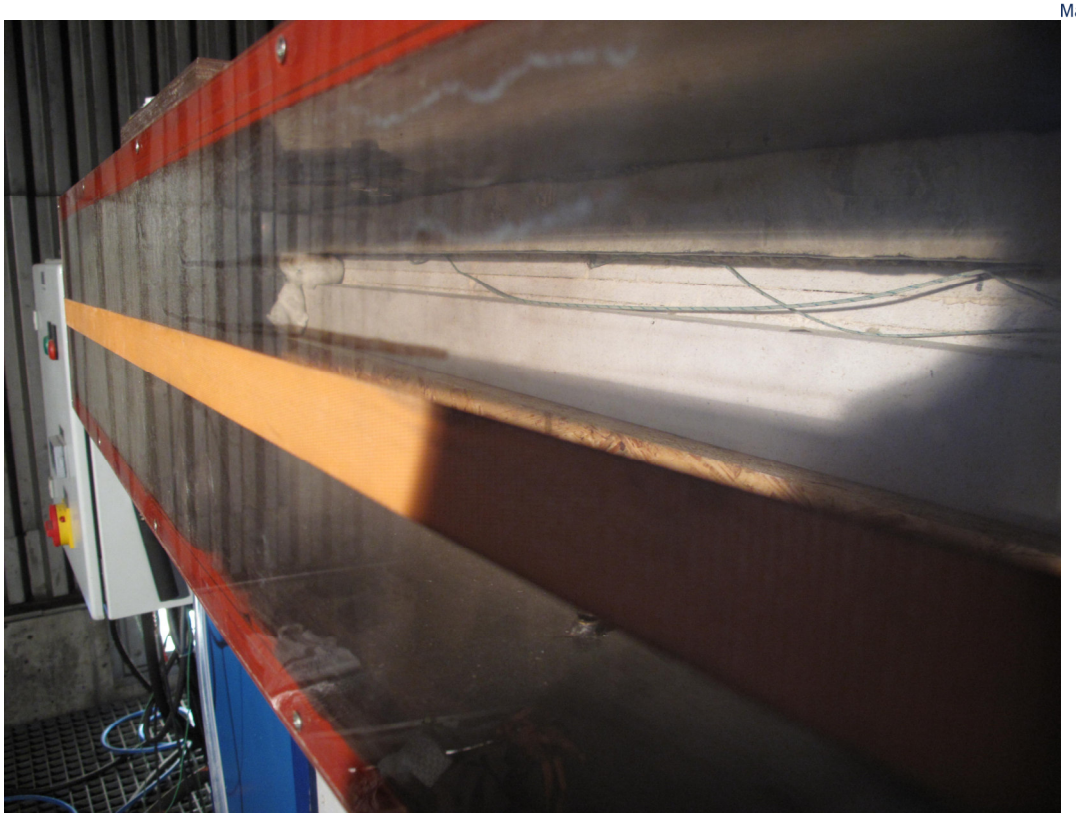


Abbildung 2: Bauteilfuge (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 3: Beschlagen des RAK (7. Versuchsminute)



Abbildung 4: RAK füllt sich mit Rauchgasen (14. Versuchsminute)

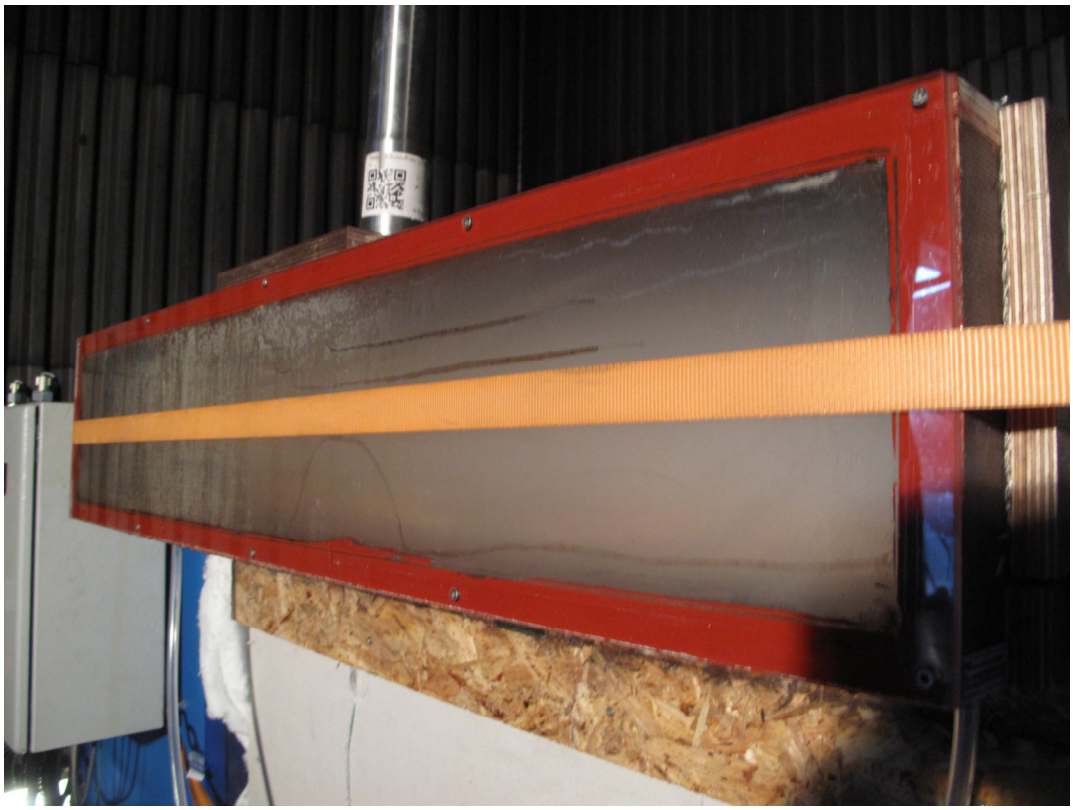


Abbildung 5:RAK füllt sich mit Rauchgasen (14. Versuchsminute)



Abbildung 6: Zunehmender Rauchgasdurchtritt (25. Versuchsminute)



Abbildung 7: Deutlicher Kondenswasserausfall im RAK (65. Versuchsminute)



Abbildung 8: Rauchaustritt RAK (90. Versuchsminute)



Abbildung 9: Bauteilfuge (nach Versuchsende), Brett: RAK-Halterung



Abbildung 10: Bauteilfuge (nach Versuchsende)



Abbildung 11: Bauteilfuge (nach Versuchsende)



Abbildung 12: Bauteilfuge, mittig (nach Versuchsende)



Abbildung 13: Bauteilfuge, Rand (nach Versuchsende)



Abbildung 14: Bauteilfuge, Anschluss (nach Versuchsende, Demontage)



Abbildung 15: Bauteilfuge, Anschluss (nach Versuchsende, Demontage)



Abbildung 16: Bauteilfuge, brandraumseitig (nach Versuchsende)



Abbildung 17: Wand, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 18: Wand, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 19: Decke, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 20: Plattenstreifen, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende, Demontage)

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: G1_BSH-HTB_MW-Schott_90

Datum: 25.02.2020

Inhalt

1. Versuchsaufbau 3

1.1 Detailzeichnungen 3

Schnitt 3

Ansicht Wand (brandabgewandte Seite) 4

Ansicht Wand (brandzugewandte Seite) 4

Draufsicht 5

Ansicht Decke Unterseite (brandzugewandte Seite, 1. Bekleidungslage) 5

Ansicht Decke (brandzugewandte Seite, 2. Bekleidungslage) 6

Benennung der Bauteilschichten (Wand) 7

Benennung der Bauteilschichten (Decke) 7

Weitere verwendete Materialien 7

2.Versuchsparameter 8

2.1 Umgebungsbedingungen 8

2.2 Prüfbedingungen 8

Temperaturzeitkurve 8

Grenzabweichungen 9

Ofenüberdruck 9

3.Auswertung 10

3.1. Temperaturverläufe 10

Temperaturverlauf Schott/Bauteilfuge 10

Temperaturverlauf Wand 11

Temperaturverlauf Decke 11

3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 13

Volumenstrom 13

Massenströme CO, CO_2 13

Massenströme C_xH_y, NO_x 14

O_2-Konzentration 14

Abgastemperatur 15

Absolute Abgasfeuchte 15

3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 16

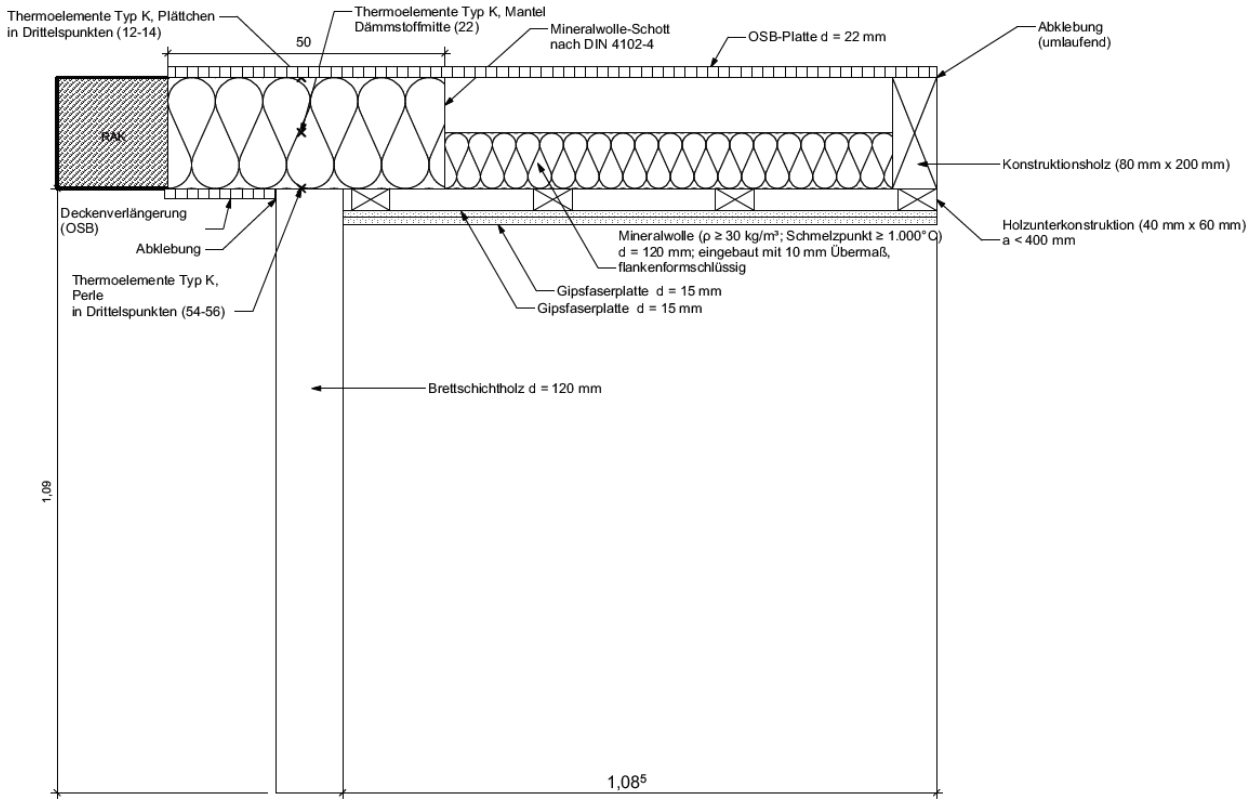
4. Anhänge/Fotodokumentation 17

4.1 Darstellung der Restquerschnitte 27

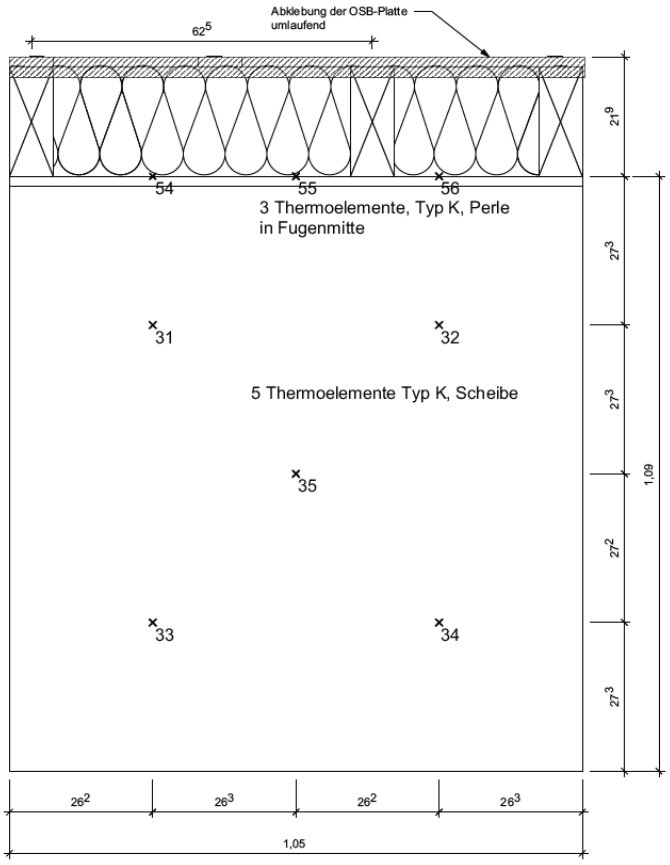
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

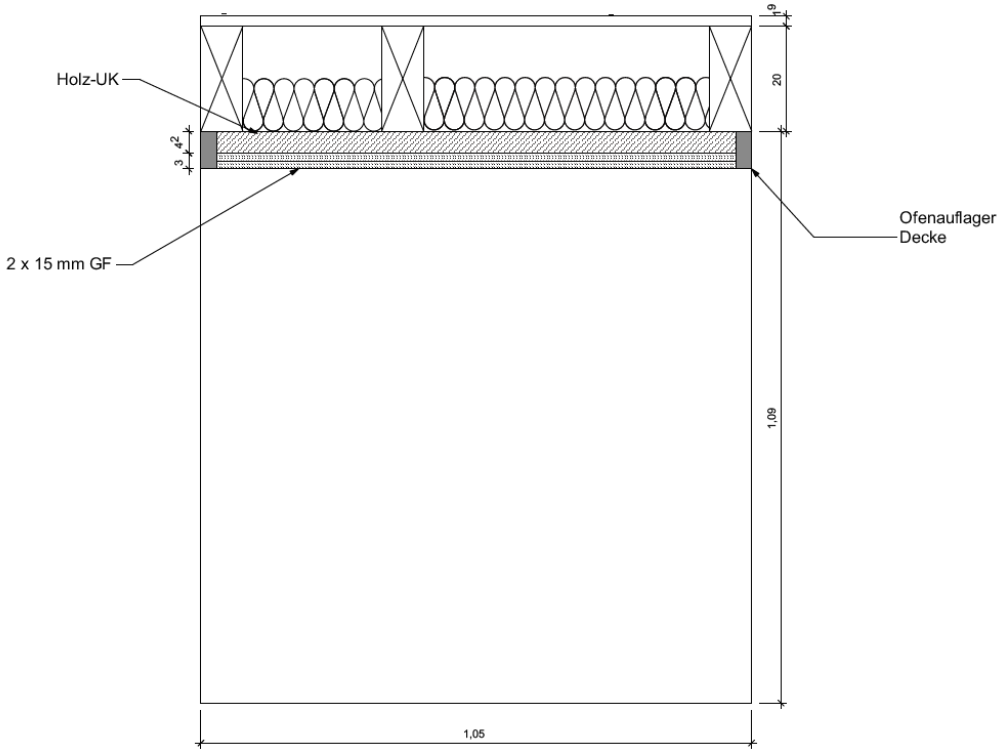
Schnitt



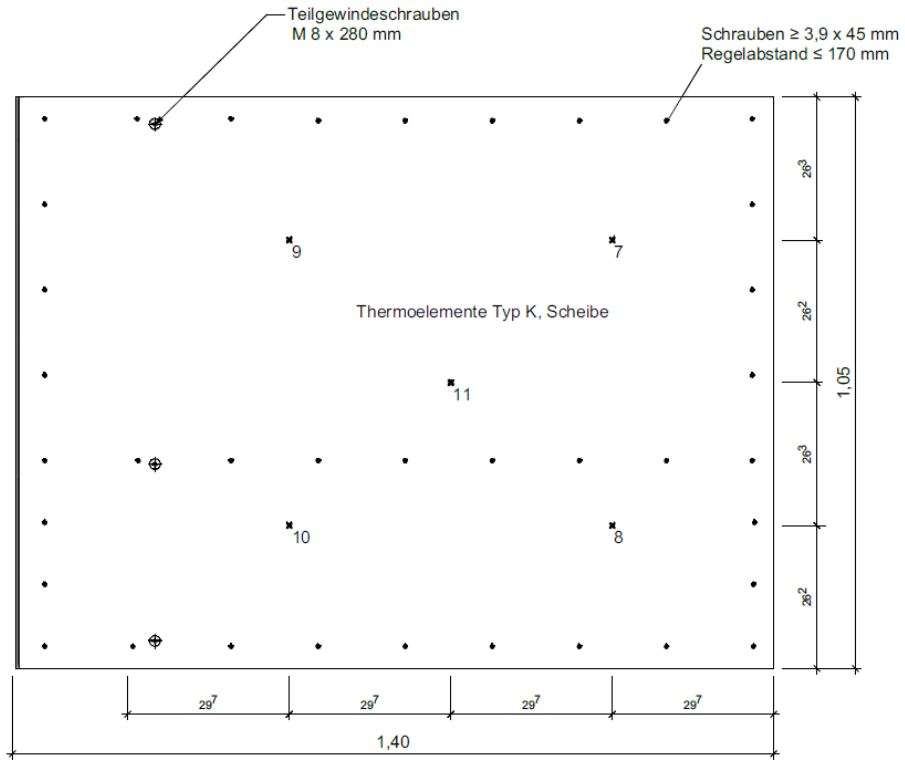
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite)



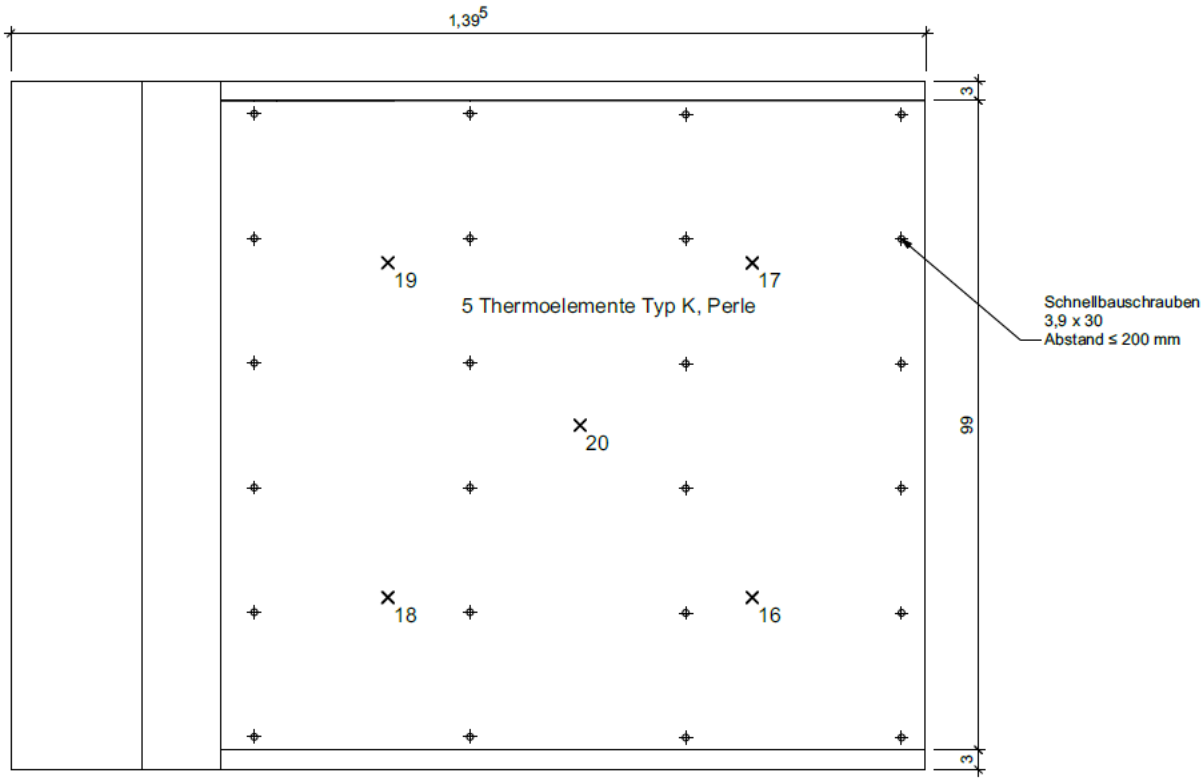
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite)



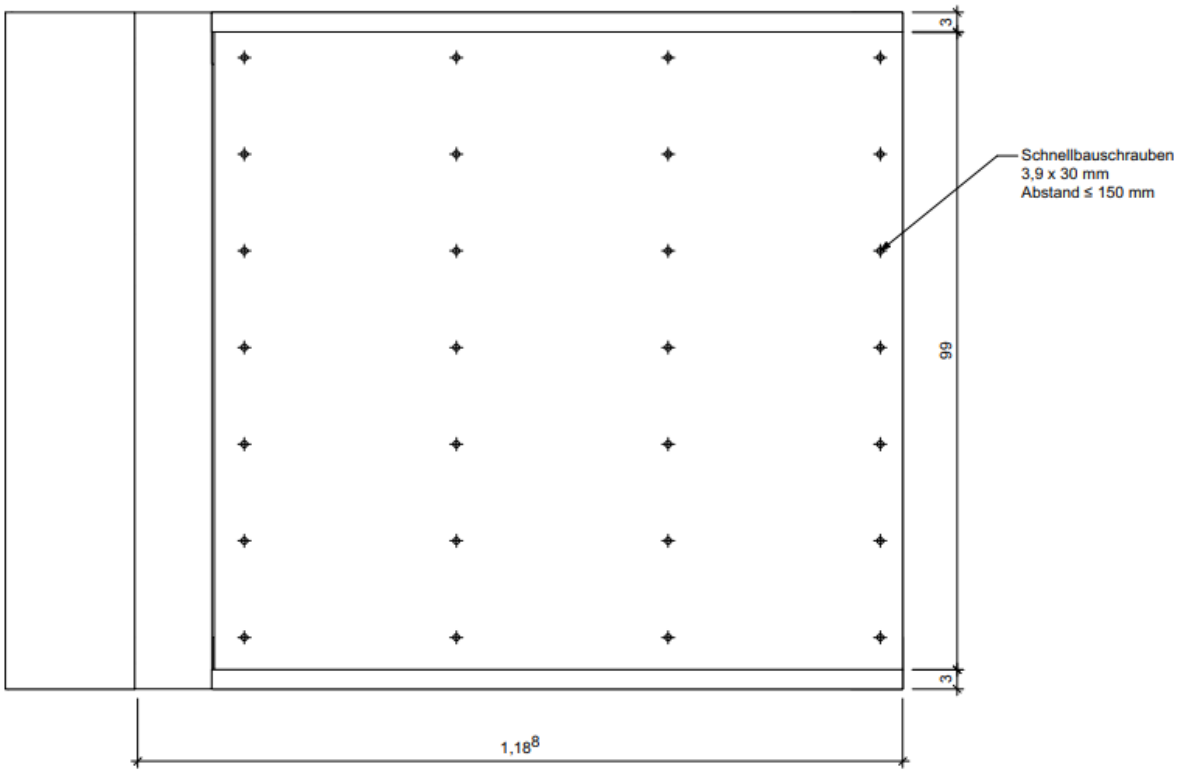
Draufsicht



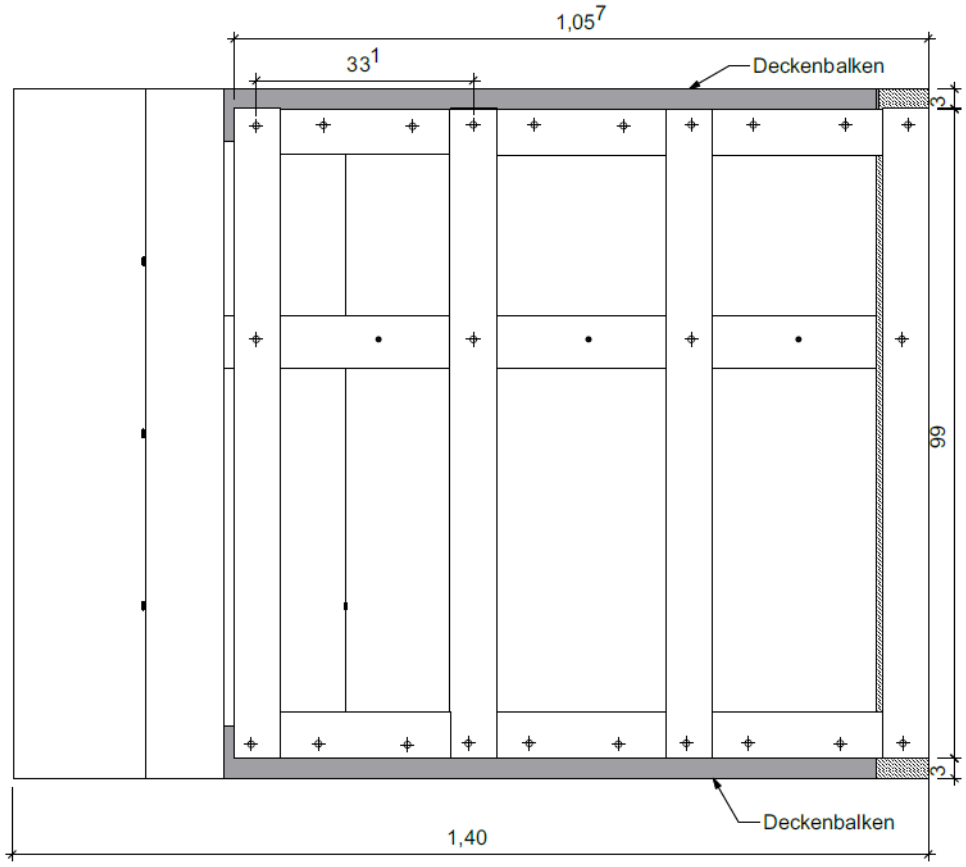
Ansicht Decke Unterseite (brandzugewandte Seite, 1. Bekleidungslage)



Ansicht Decke (brandzugewandte Seite, 2. Bekleidungslage)



Ansicht Decke (brandzugewandte Seite, Unterkonstruktion)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	120 mm BSH-Element Lamellenbreite d = 40 mm	490	10 %	Nordlam-Hasslacher

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	15 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
D2	15 mm Gipsfaserplatte	1140	1 %	
D3	Holzunterkonstruktion 40 mm x 60 mm	470	10 %	Sporkenbach
D4	100 mm Mineralwolle Flexirock 035	30	1 %	Rockwool
D4	Konstruktionsebene KVH 200 x 80, Fi/Ta C24/S10	470	10 %	Sporkenbach
D5	22 mm OSB Platte	610	6 %	Egger

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben 3,9 x 35 mm	GiX	W1, D1, D2
Universalschrauben 4,5 x 55 mm	SpaX	D3
Universalschrauben 3,9 x 45 mm	SpaX	D5
Holzbau-Teilgewindeschrauben 8,0 x 280 mm	Würth	D3-W2
Dauerelastische Brandschutzdichtung B1	Würth	Bauteilfuge, brandabgewandte Seite
Klebeband EURASOL HT ®	Würth	Abklebung OSB-Platte der Decke
Mineralwolle d=200 mm Flexirock ® 035	Rockwool	Schott

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	25.02.2020, 10:24:20 Uhr
Versuchsende:	25.02.2020, 11:55:06
Versuchsdauer in min:	90

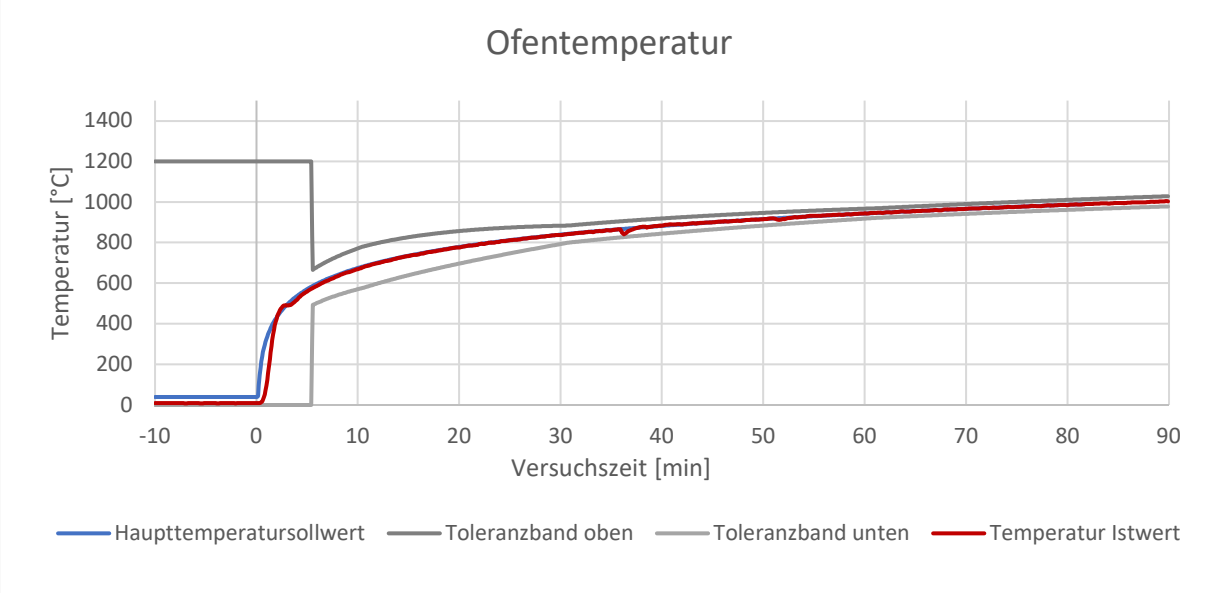
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

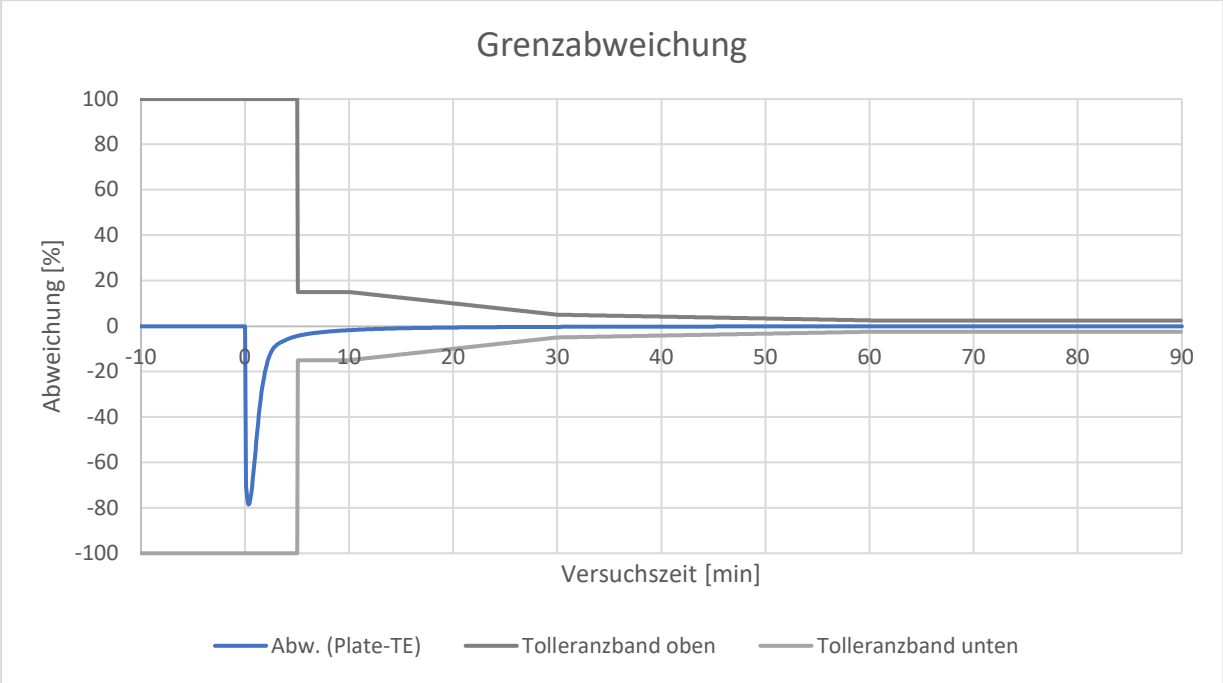
Umgebungsdruck:	991 mbar
Umgebungstemperatur:	9 °C
Luftfeuchte in %:	13 % rh

2.2 Prüfbedingungen

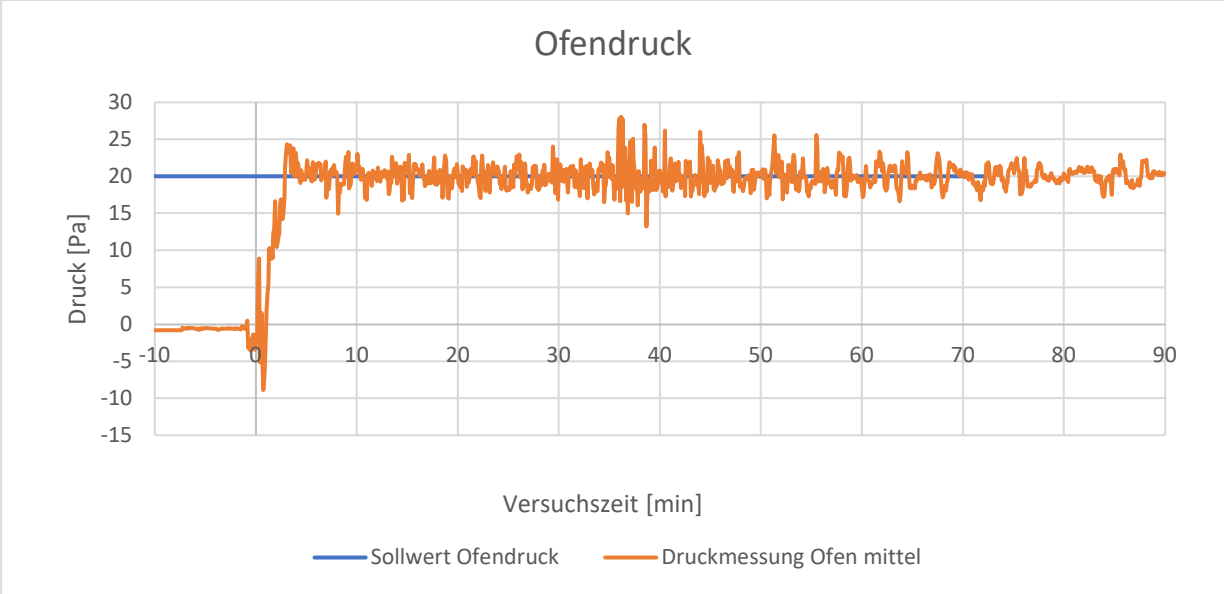
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



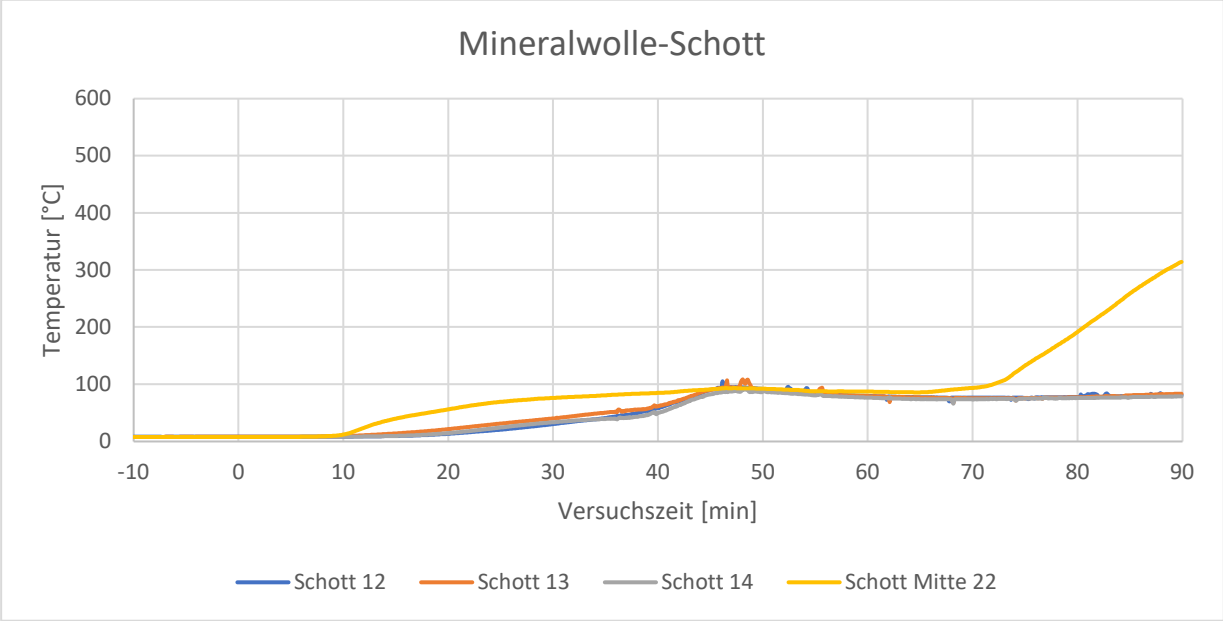
Ofenüberdruck

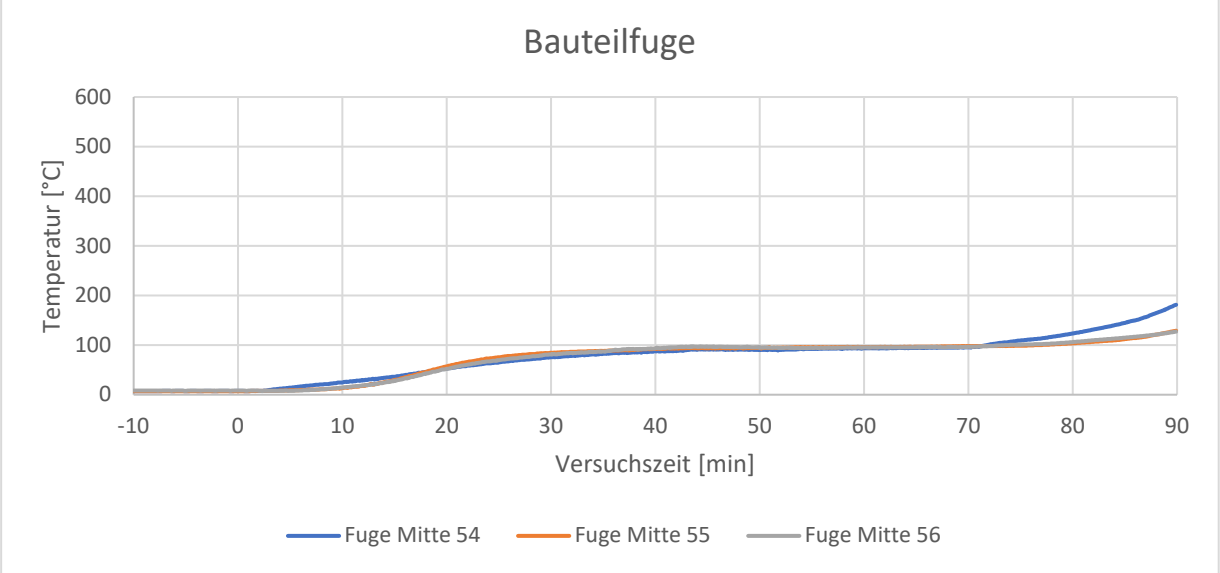


3.Auswertung

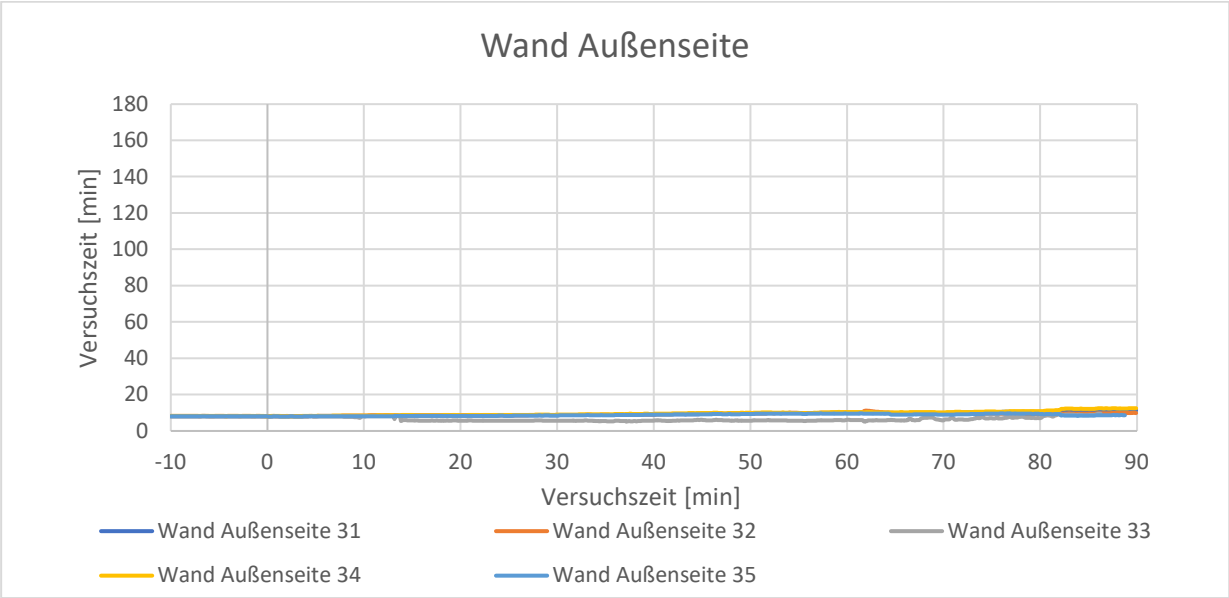
3.1. Temperaturverläufe

Temperaturverlauf Schott/Bauteilfuge

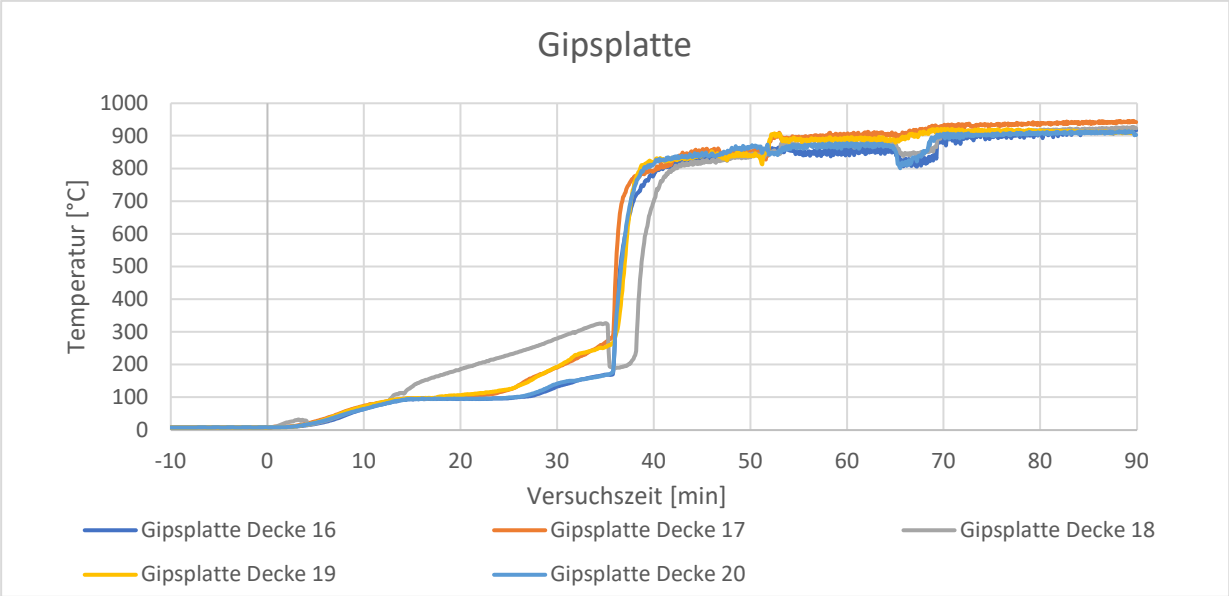


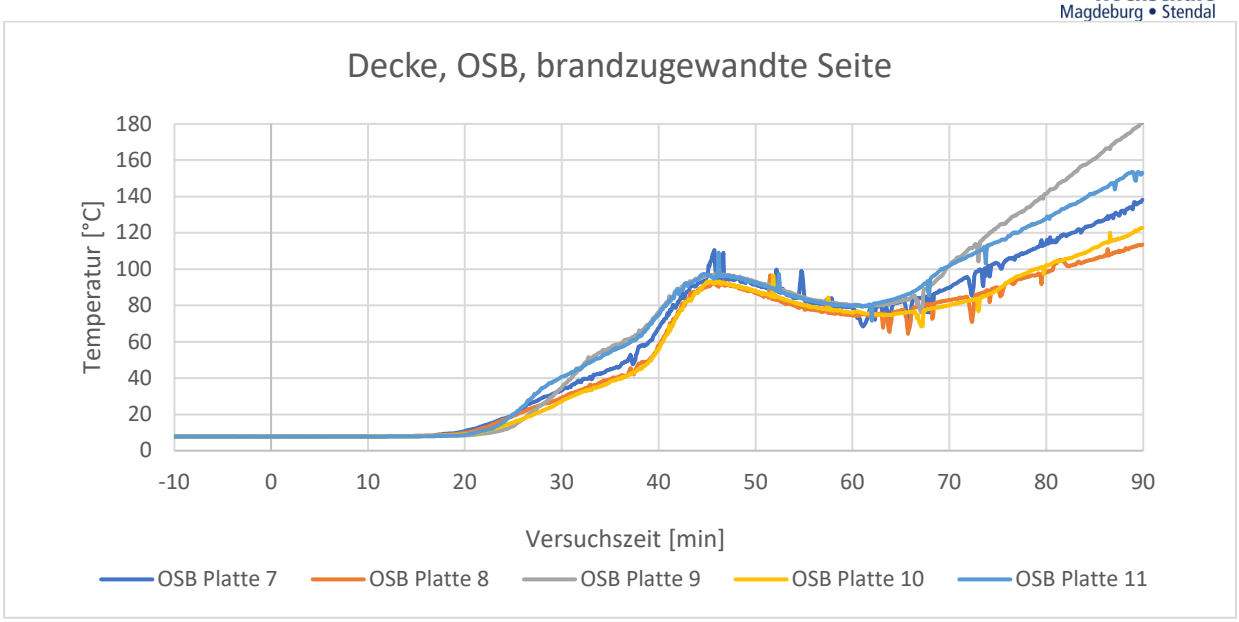


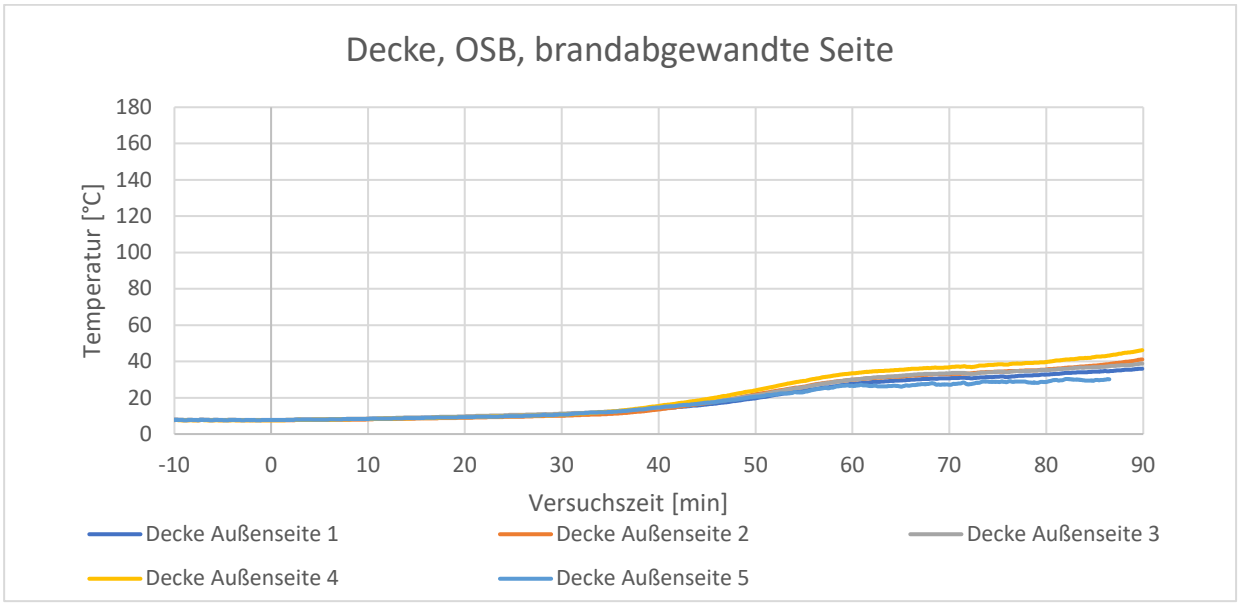
Temperaturverlauf Wand



Temperaturverlauf Decke



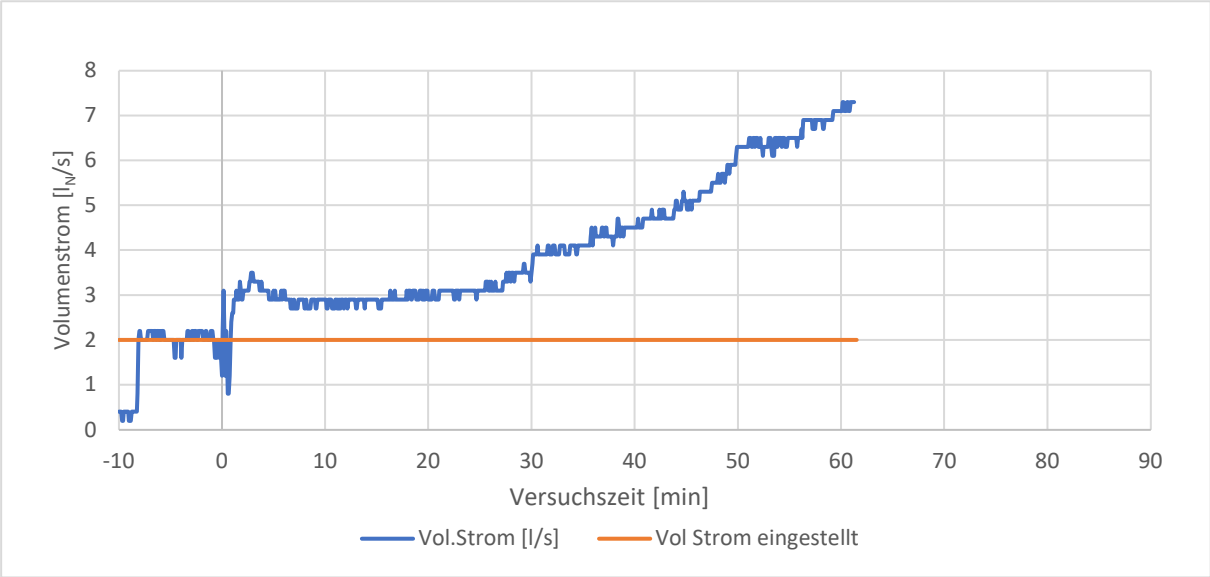

Decke, OSB, brandzugewandte Seite
Temperatur [°C]
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
OSB Platte 7
OSB Platte 8
OSB Platte 9
OSB Platte 10
OSB Platte 11


Decke, OSB, brandabgewandte Seite
Temperatur [°C]
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Versuchszeit [min]
Decke Außenseite 1
Decke Außenseite 2
Decke Außenseite 3
Decke Außenseite 4
Decke Außenseite 5

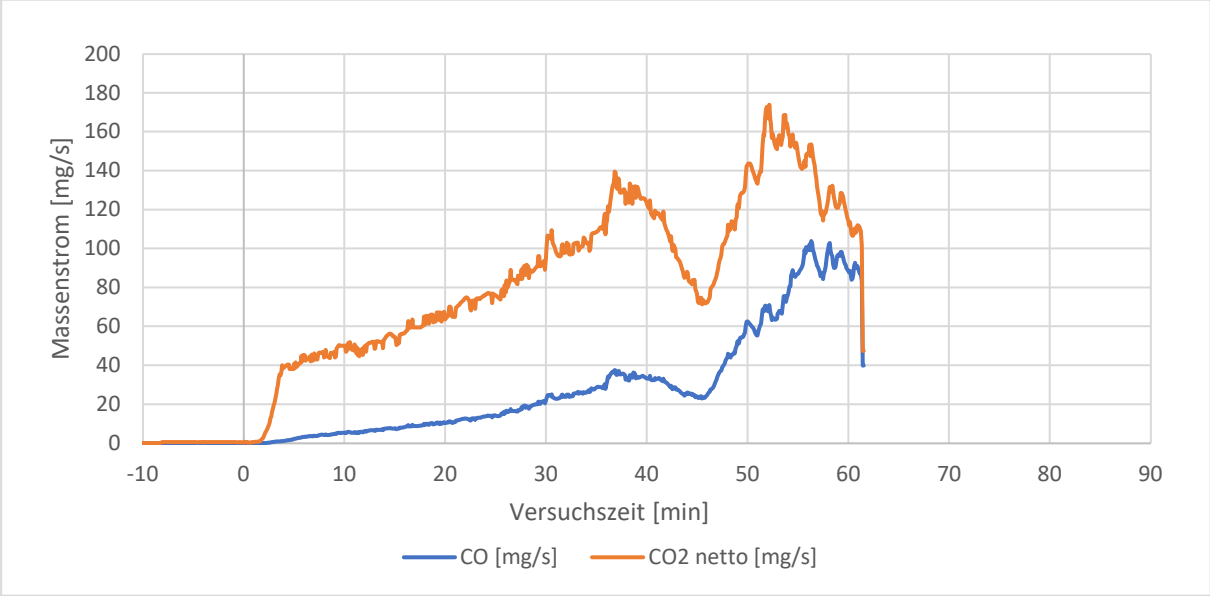
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

Aufgrund von hohen Rauchgaskonzentrationen musste die Messtechnik zur Verhinderung einer Sensorvergiftung in der 60. Minute abgenommen werden.

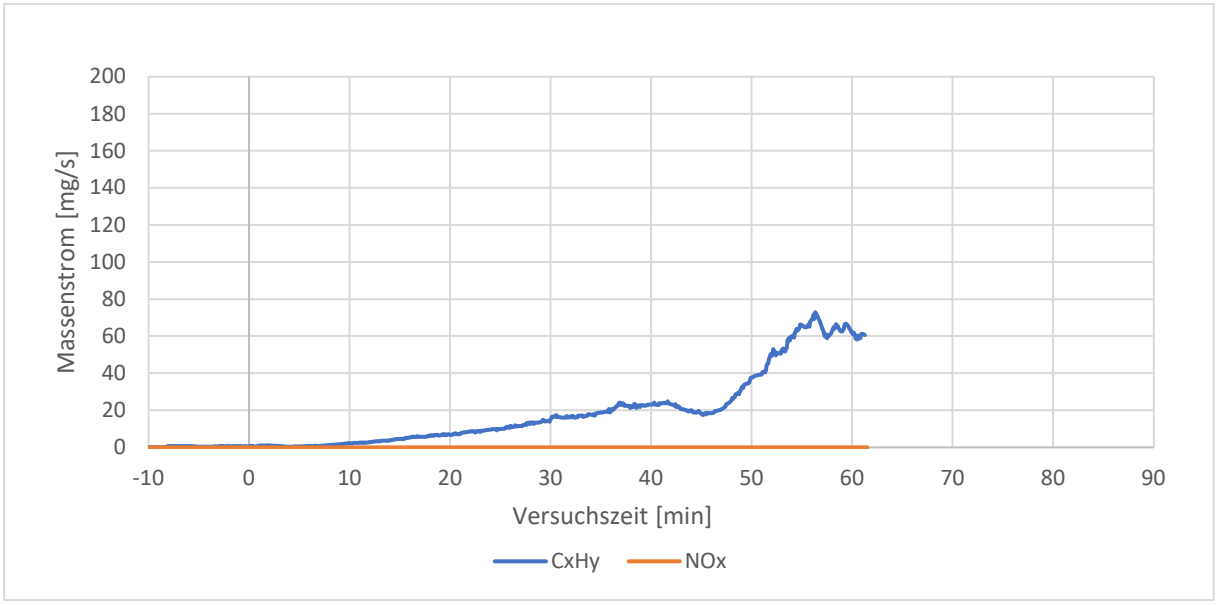
Volumenstrom



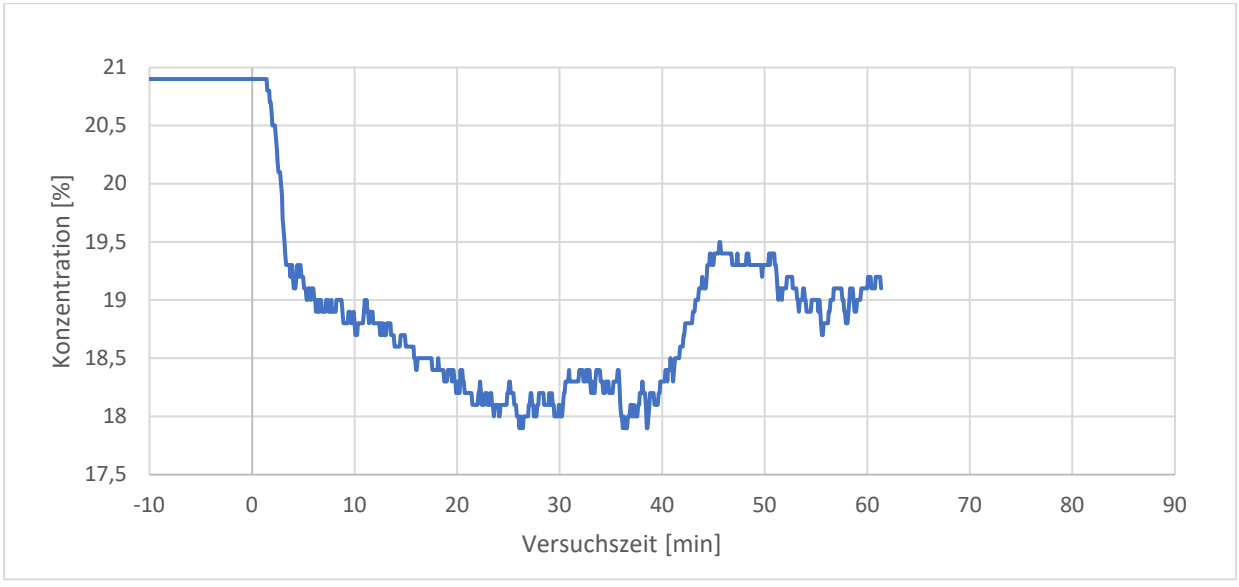
Massenströme CO, CO_2



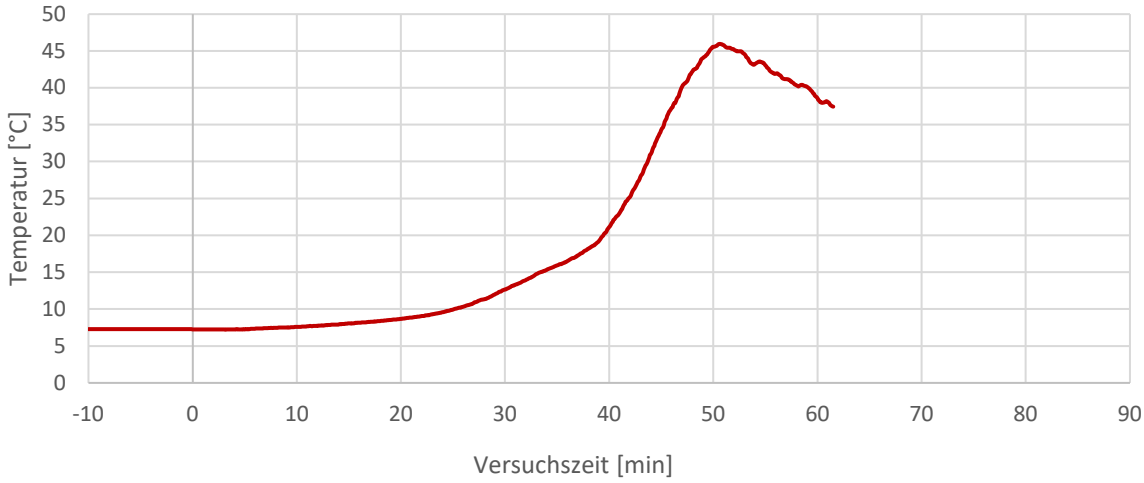
Massenströme C_xH_y, NO_x



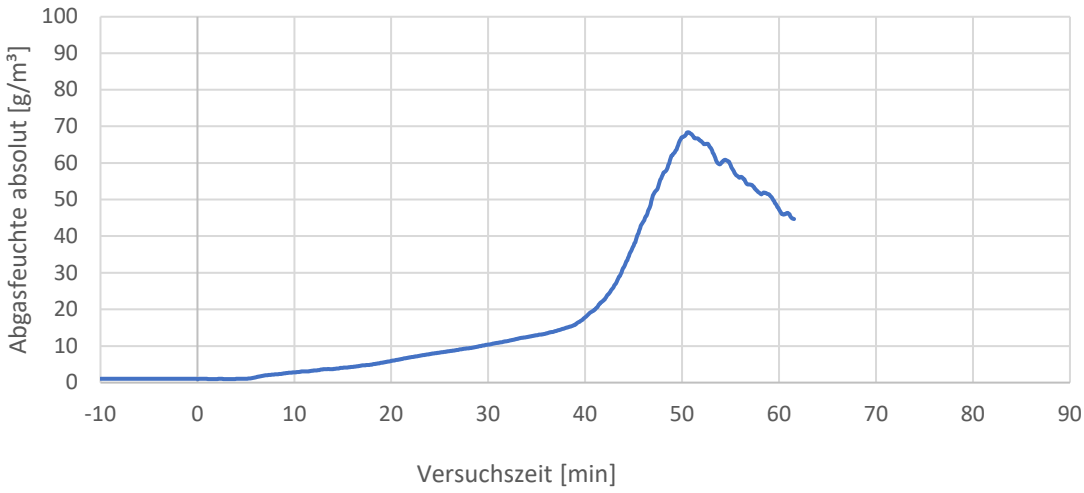
O_2-Konzentration



Abgastemperatur



Absolute Abgasfeuchte



3.4. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
3.	Erhöhung der CO/CO2-Werte, leichter Rauchgasaustritt	
4.	Deutlich sichtbarer Rauchaustritt im RAK	
7.	Rauchdurchtritt lässt sich auf die Unterseite des Schotts in Höhe des mittleren Balkens lokalisieren	
15.	Scheibe des RAK leicht beschlagen, Rauchaustritt am Abzug des RAK erkennbar	x
27.	Starker Kondenswasserausfall im RAK, zunehmende Rauchdichte	x
45.	Abgastemperatur bereits bei 50 °C	
51.	Leichter Rauchdruchtritt an der Unterseite der Deckenverlängerung zw. OSB und Wand -> abgedichtet	
62.	CO-Konzentrationen >> 10.000 ppm; Demontage der Messtechnik zum Schutz vor Sensorvergiftung	x
83.	Abnahme des RAK	x
90.	Versuchsende	

4. Anhänge/Fotodokumentation

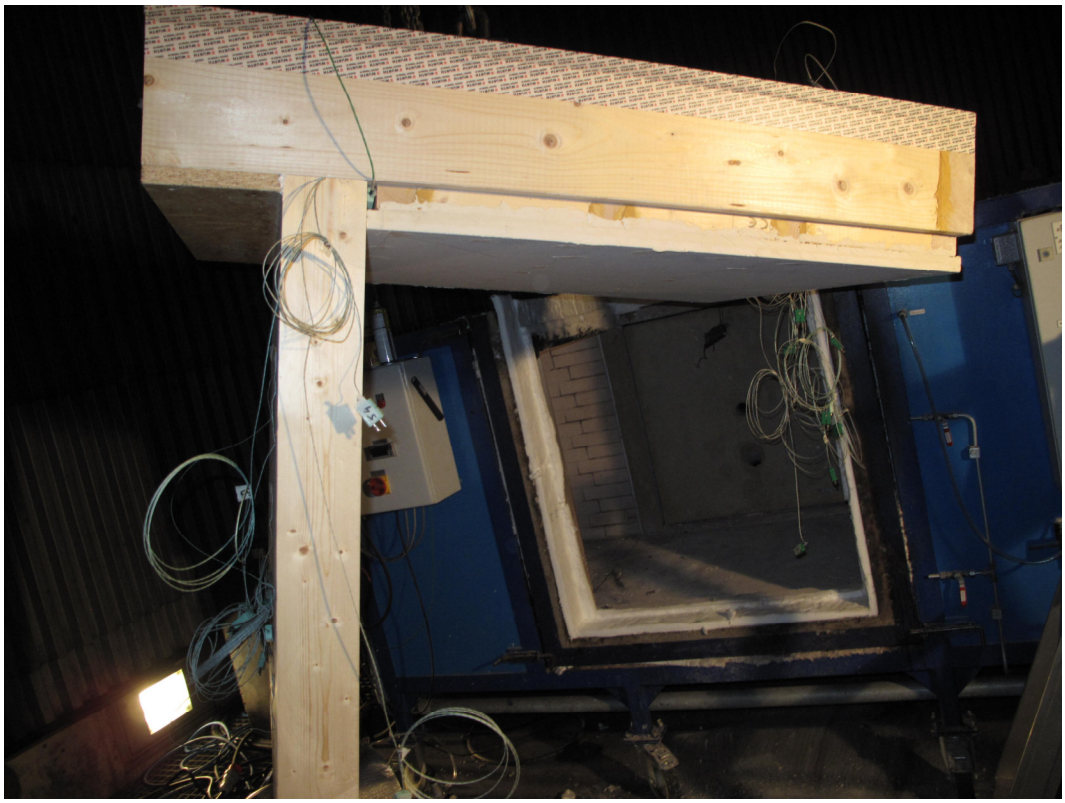


Abbildung 1: Probekörper (vor Einbau)



Abbildung 2: Wand, brandzugewandte Seite (vor Einbau)

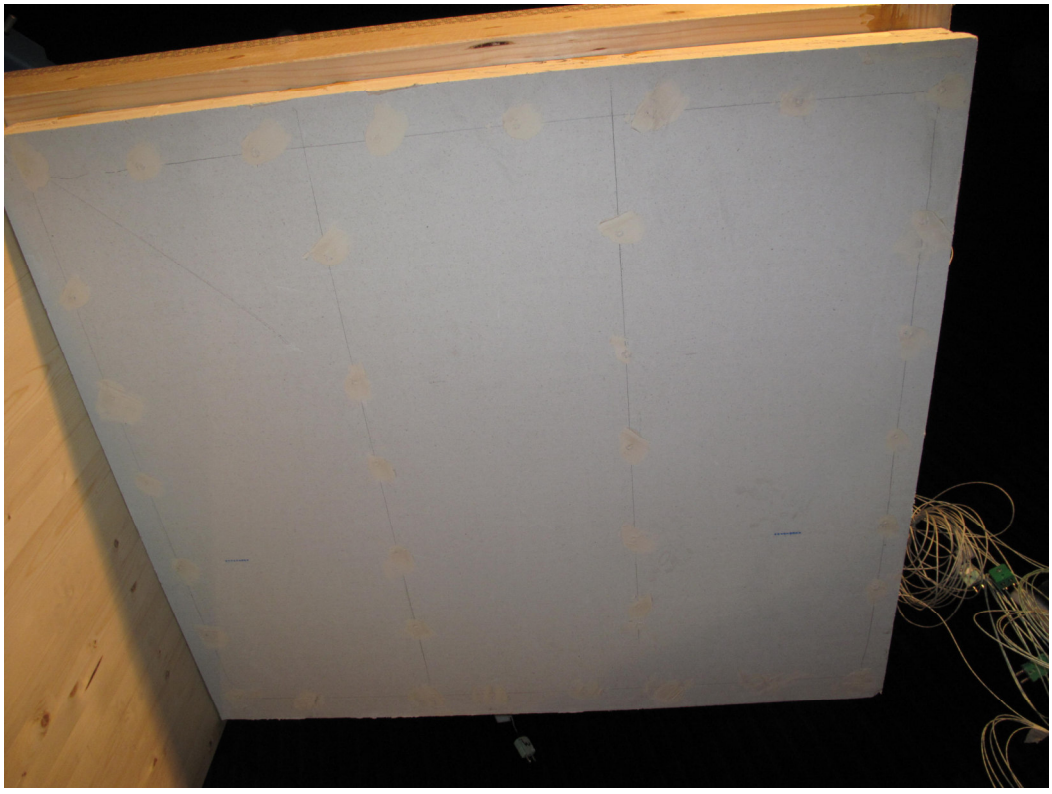


Abbildung 3: Decke, brandzugewandte Seite (vor Einbau)



Abbildung 4: Probekörper, brandabgewandte Seite (nach Einbau)

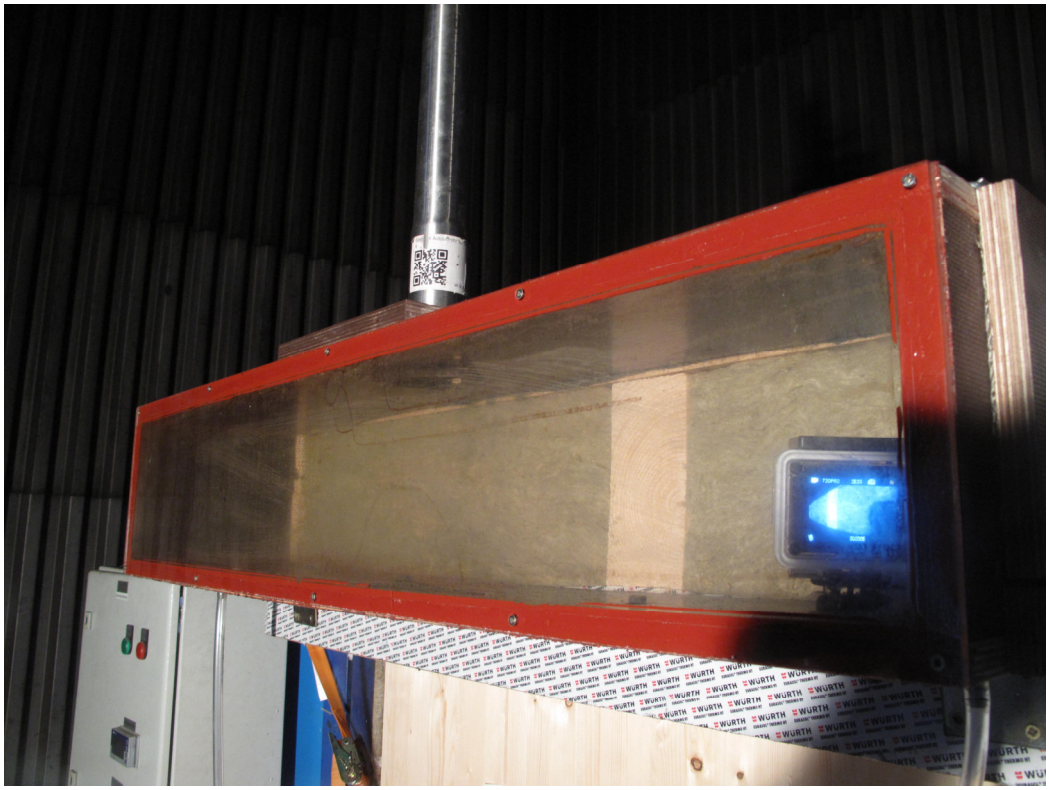


Abbildung 5: Montage des RAK (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 6: Rauchaustritt am Abzugsrohr sichtbar (15. Versuchsminute)

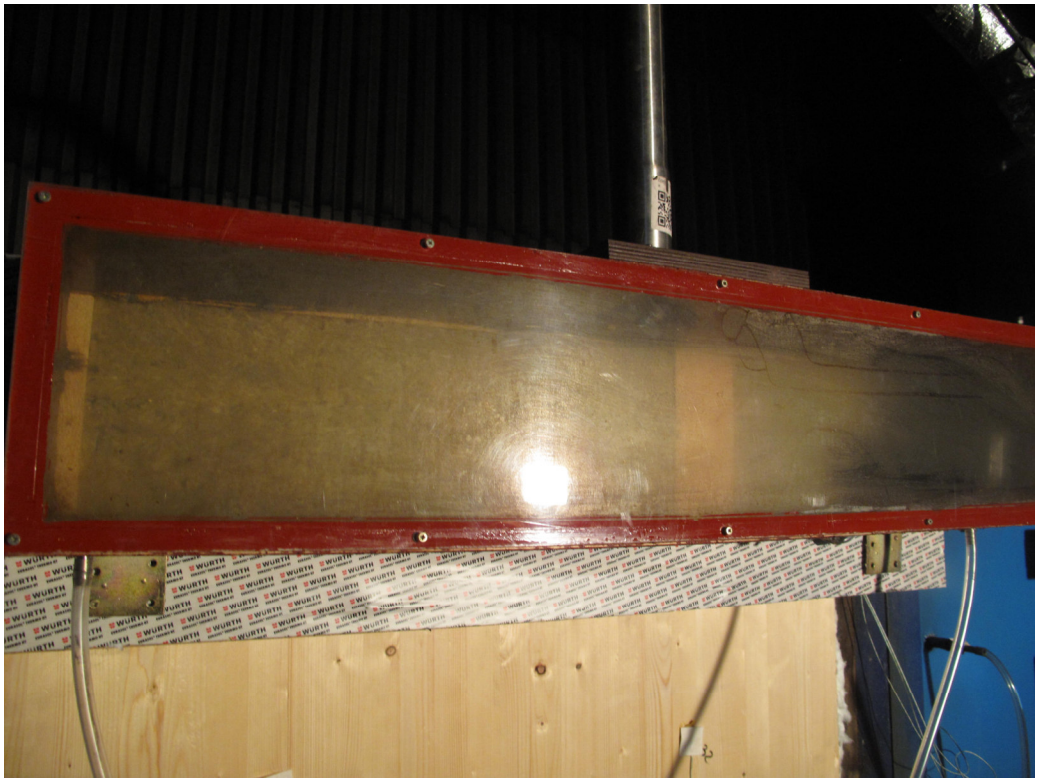


Abbildung 7: Kondenswasserbildung im RAK (27. Versuchsminute)



Abbildung 8: Zunehmende Rauchentwicklung im RAK (35. Minute)

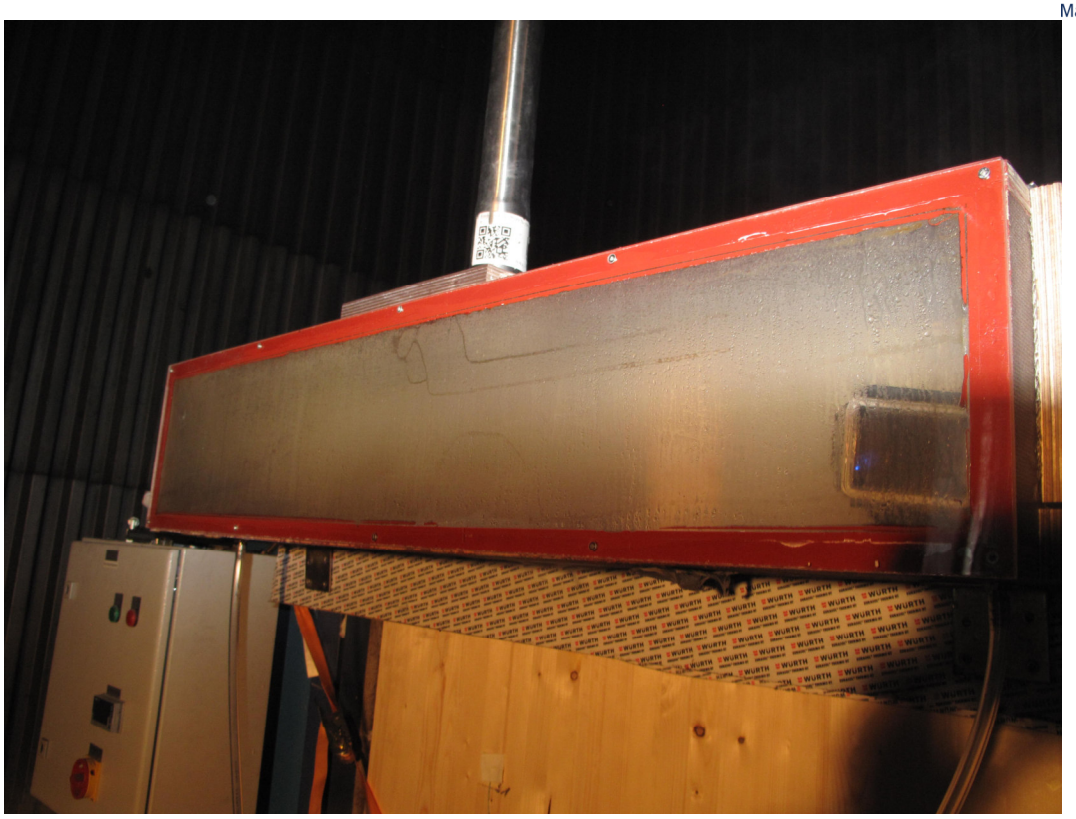


Abbildung 9: Zunehmende Rauchentwicklung im RAK (55. Minute)

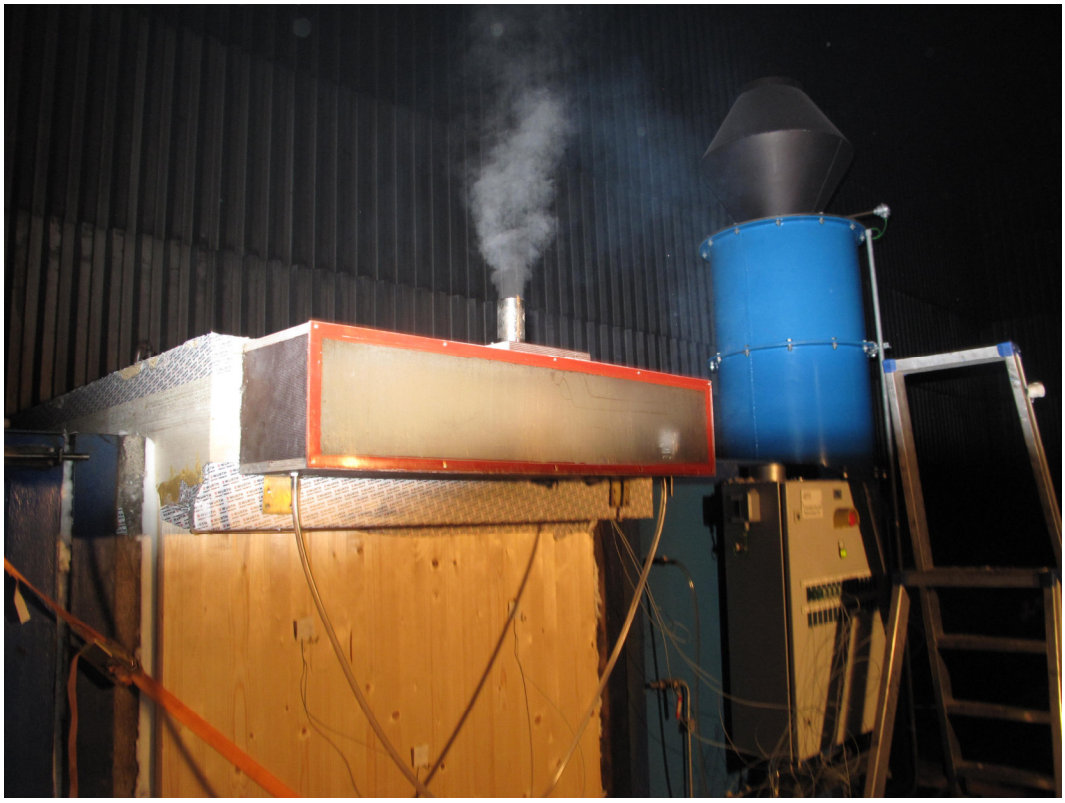


Abbildung 10: Abnahme der Messtechnik (62. Minute)



Abbildung 11: Blick auf das Mineralwolleschott (86. Versuchsminute)



Abbildung 12: Mineralwolleschott (86. Versuchsminute)



Abbildung 13: Mineralwolleschott (90. Versuchsminute)



Abbildung 14: Wand, brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 15: Decke, brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 16: Decke, brandabgewandte Seite (nach Versuchsende, Demontage OSB-Platte)



Abbildung 17: OSB-Platte, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende, Demontage OSB-Platte)



Abbildung 18: Decke mit Schott, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 19: Decke mit Schott, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 20: Wand, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 21: Wand mit Fuge, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)

4.1 Darstellung der Restquerschnitte



Abbildung 22: Restquerschnitt Wand links außen

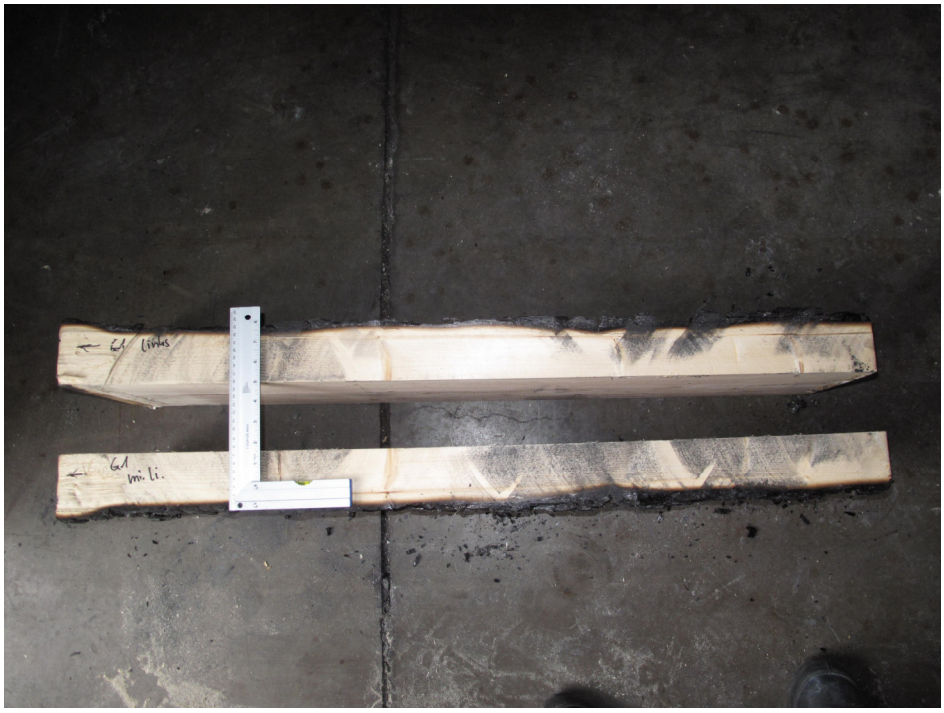


Abbildung 23: Restquerschnitt Wand Schnittebene A



Abbildung 24: Restquerschnitt Wand Schnittebene B



Abbildung 25: Restquerschnitt Wand Schnittebene C



Abbildung 26: Restquerschnitt Wand re. Außen



Abbildung 27: Restquerschnitt Decke



Abbildung 28: Restquerschnitt mittlerer Deckenbalken

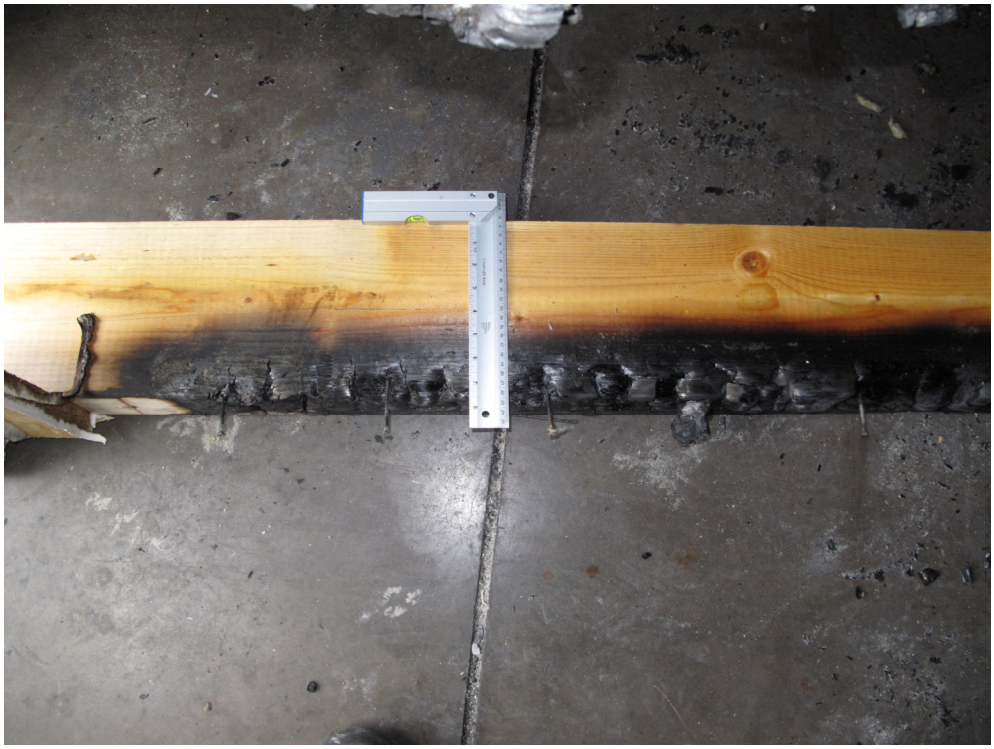


Abbildung 29: Restquerschnitt Deckenbalken, innenseitig



Abbildung 30: Restquerschnitt Deckenbalken, außenseitig



Abbildung 31: Restquerschnitt Decke, brandabgewandte Seite

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: Z02_BSP-BSP_MW_60

Datum: 30.10.2019

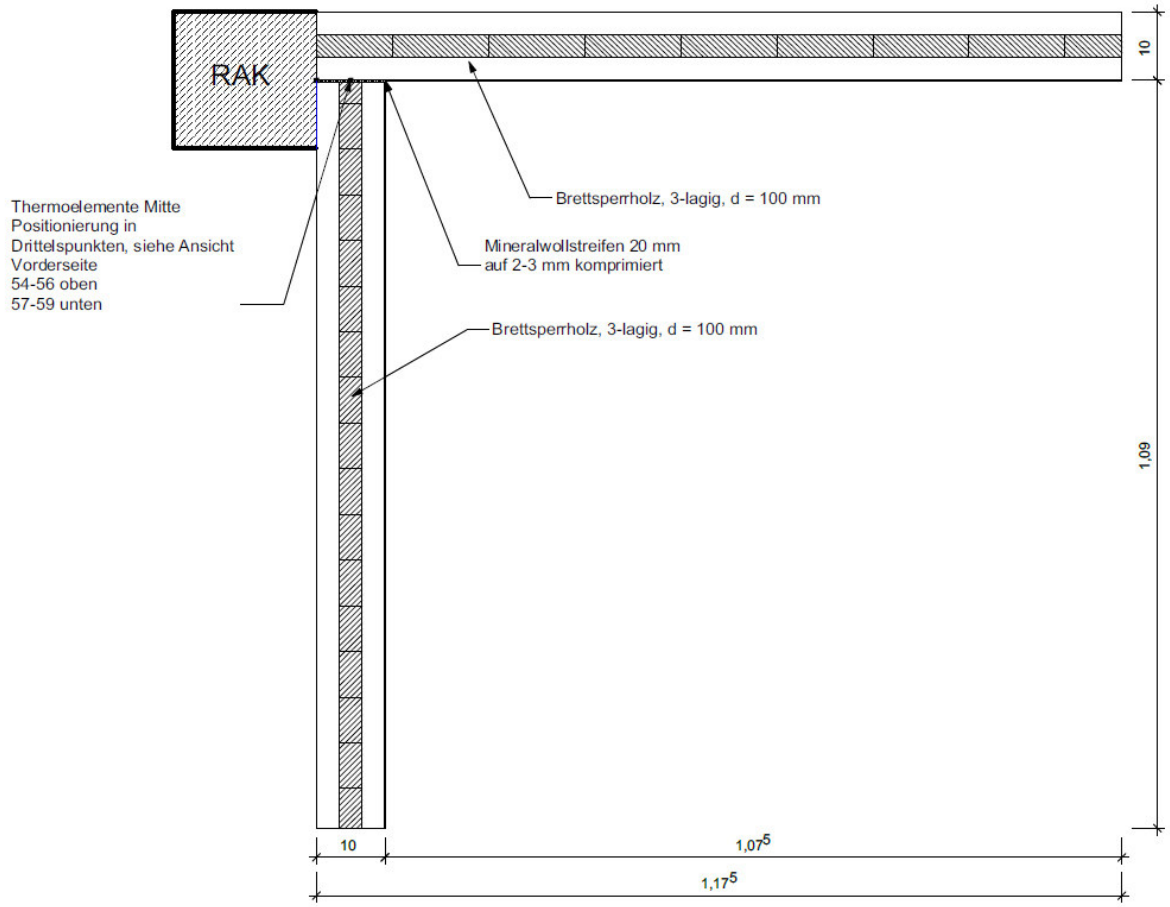
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Draufsicht (brandabgewandte Seite) 4
Ansicht (brandabgewandte Seite) 4
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 5
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 5
Verwendete Materialien 5
2.Versuchsparameter 6
2.1 Umgebungsbedingungen 6
2.2 Prüfbedingungen 6
Temperaturzeitkurve 6
Grenzabweichungen 7
Ofenüberdruck 7
3.Auswertung 8
3.1. Temperaturverläufe 8
Temperaturverlauf Bauteilfuge 8
Temperaturverlauf Wand 9
Temperaturverlauf Decke 10
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 11
Volumenstrom 11
Massenströme CO, CO_2 (netto) 11
Massenströme CxHy, NOx 12
O_2-Konzentration 12
Abgastemperatur 13
Absolute Abgasfeuchte 13
3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 14
4. Anhänge/Fotodokumentation 15

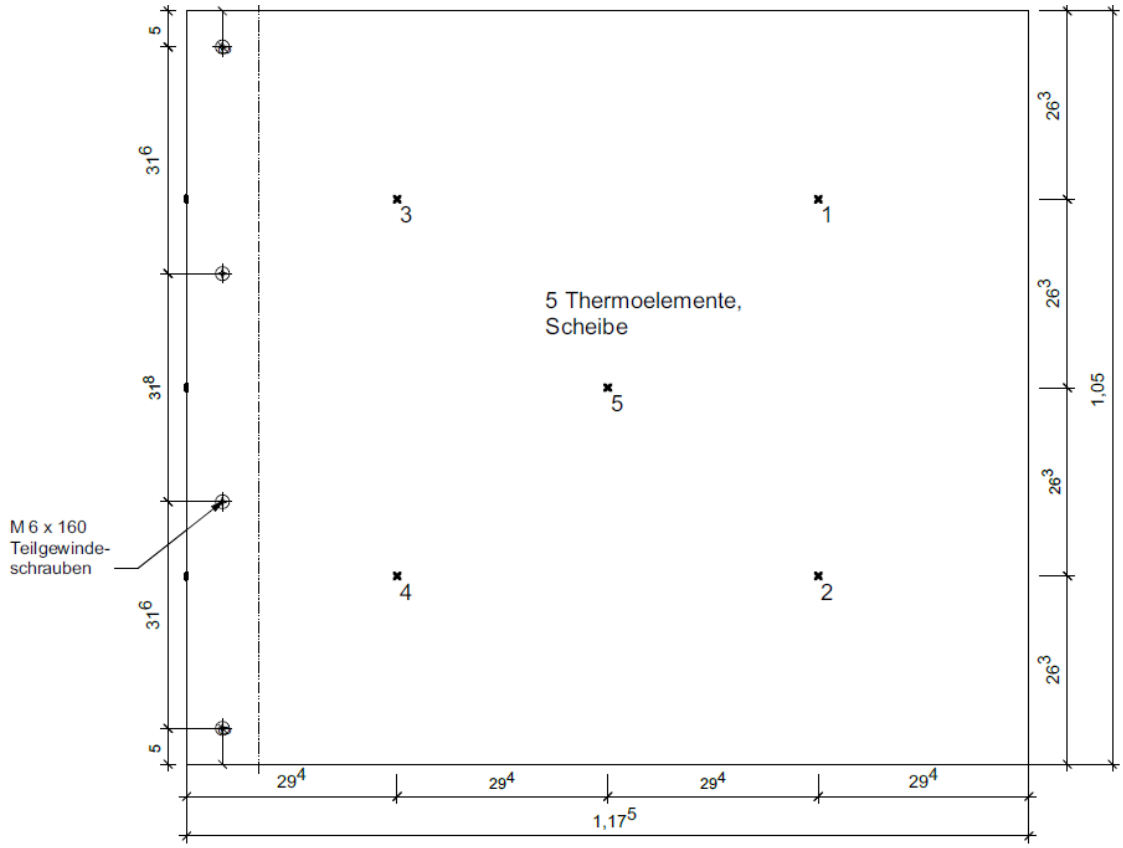
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

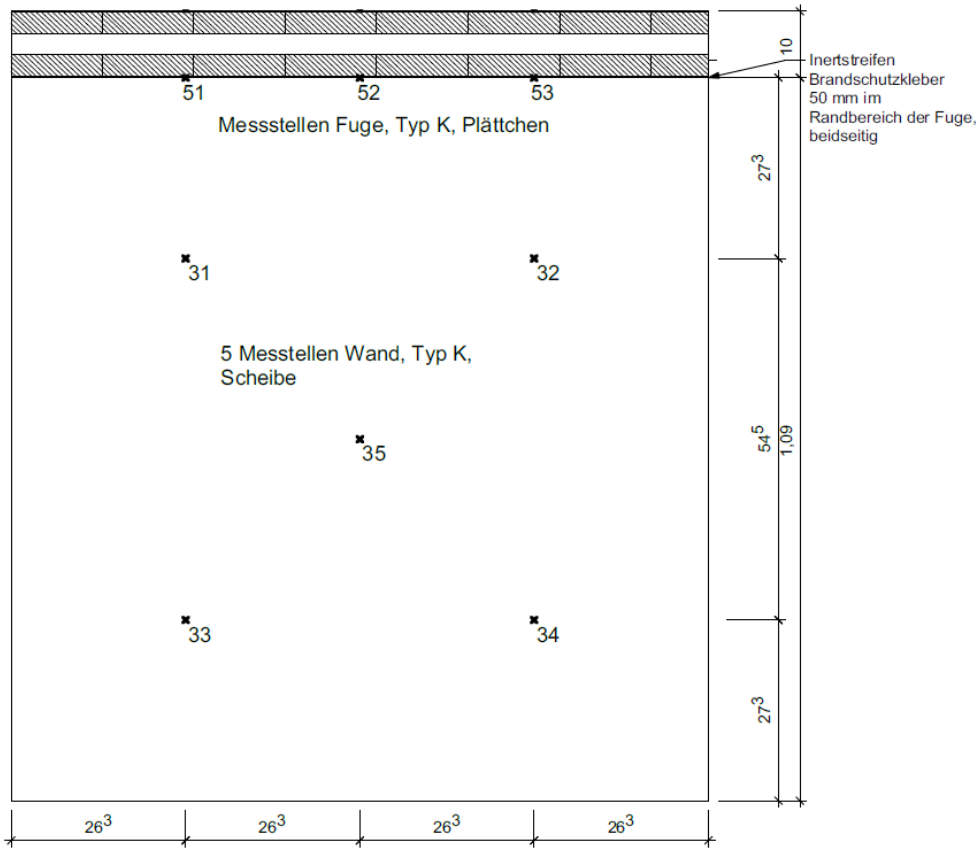
Schnitt



Draufsicht (brandabgewandte Seite)



Ansicht (brandabgewandte Seite)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	100 mm BSP-Element (30-40-30) flankenverklebt	460	10 %	Derix

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	100 mm BSP-Element (30-40-30), flankenverklebt	460	10 %	Derix

Verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Holzbauschrauben 6 x 160 mm	Würth	W1-D1
Mineralwolle Flexirock ® 035	Rockwool	Bauteilfuge
Isifest Brandschutzkleber	HTB	Randbereich Bauteilfuge

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	30.10.2019, 11:37:30
Versuchsende:	30.10.2019, 12:38:45
Versuchsdauer in min:	61

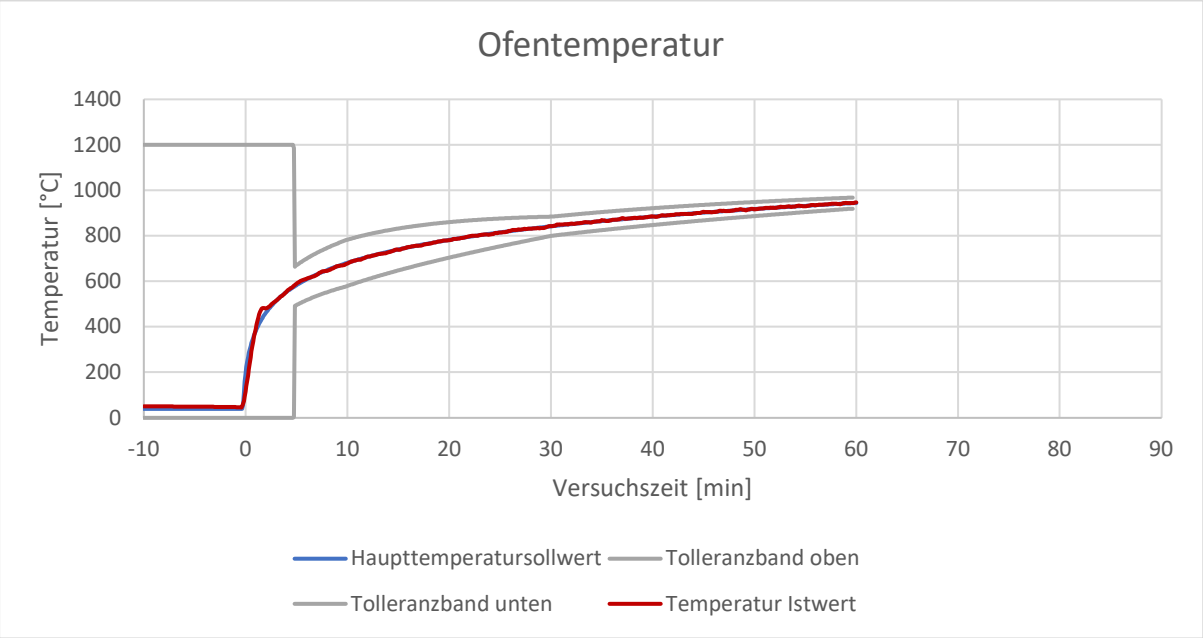
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

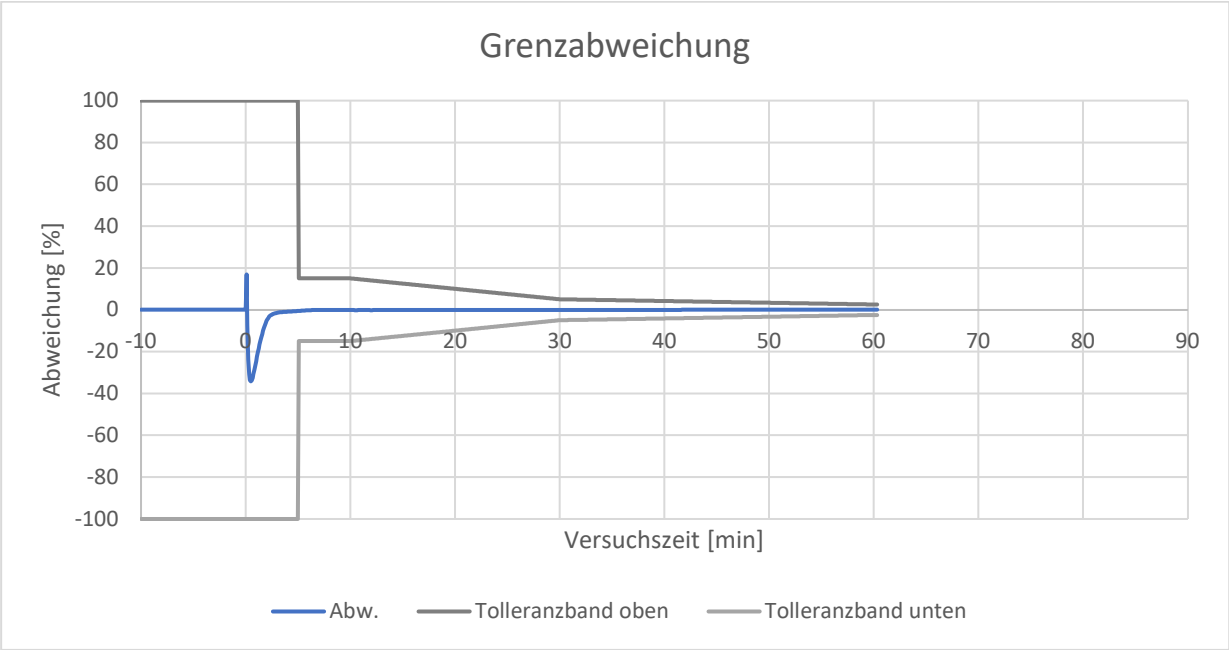
Umgebungsdruck:	1024 hpa
Umgebungstemperatur:	9 °C
Luftfeuchte in %:	66 % rh

2.2 Prüfbedingungen

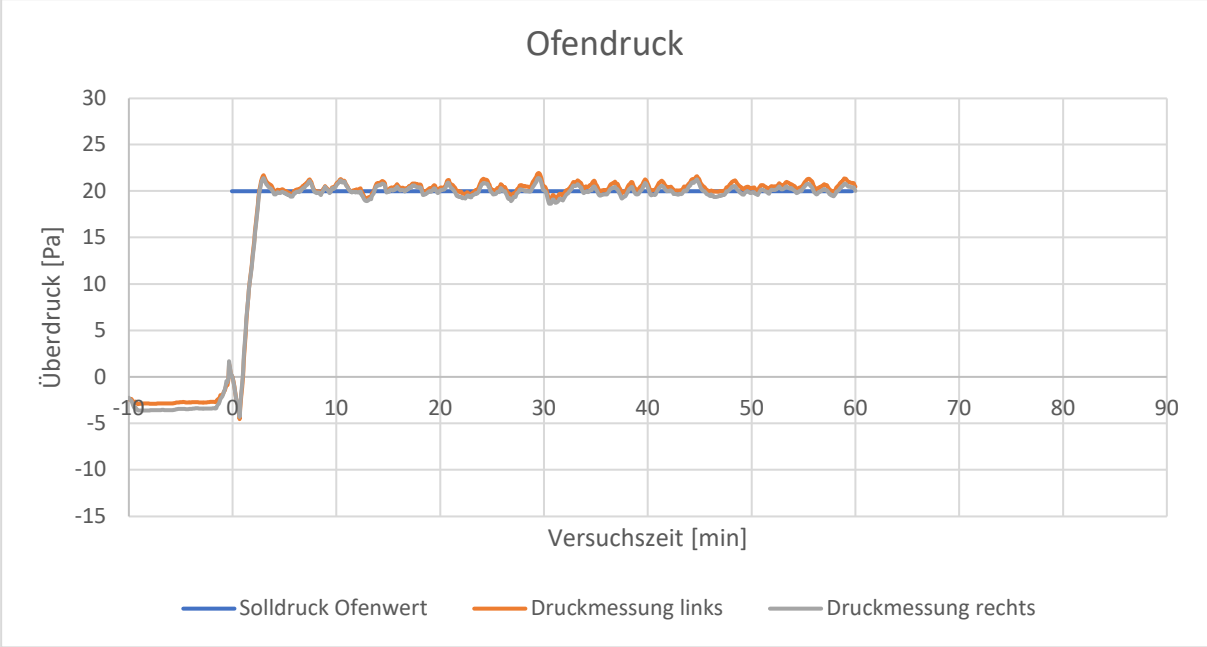
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



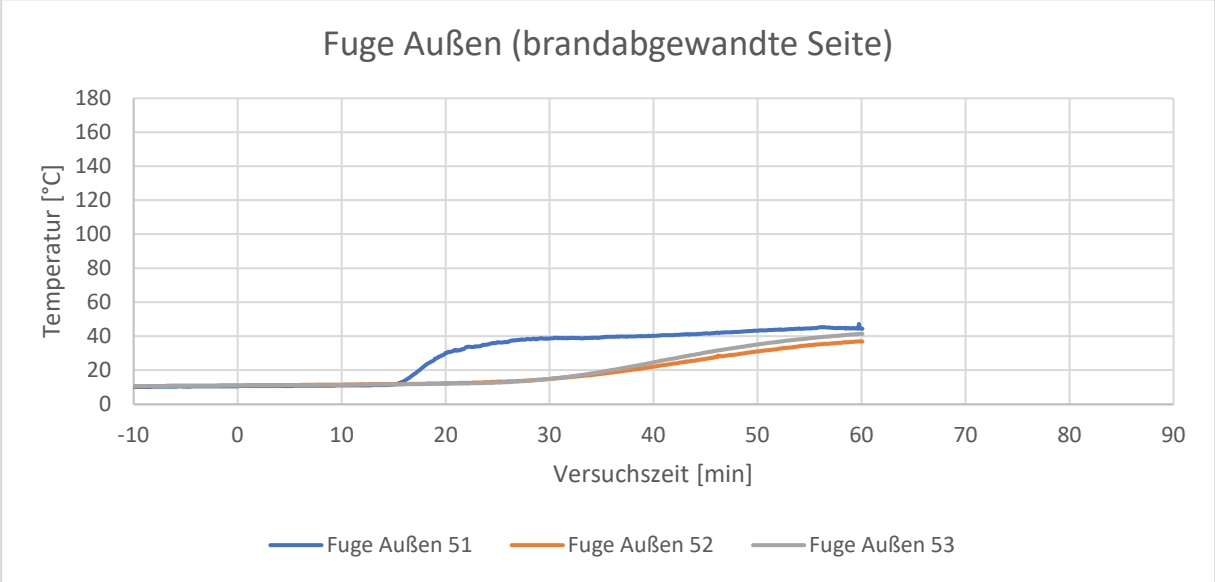
Ofenüberdruck

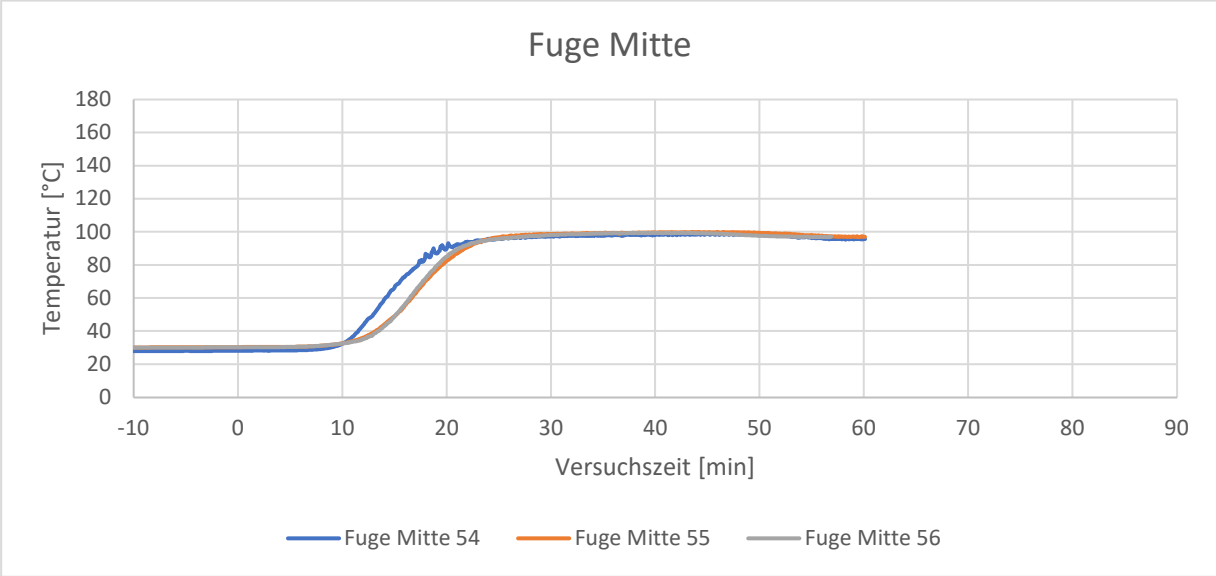


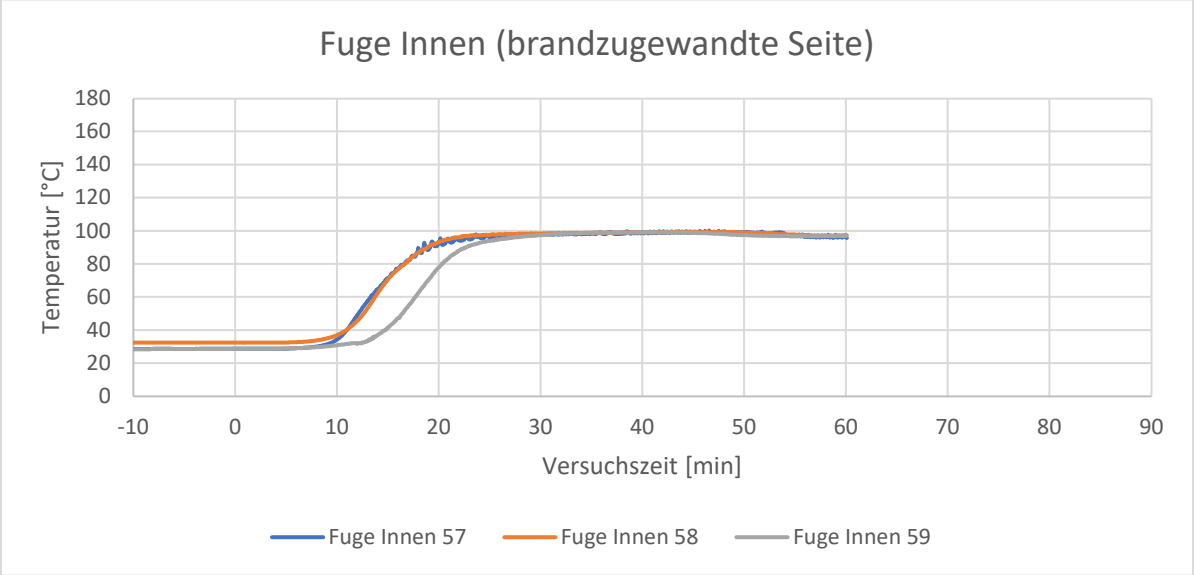
3.Auswertung

3.1. Temperaturverläufe

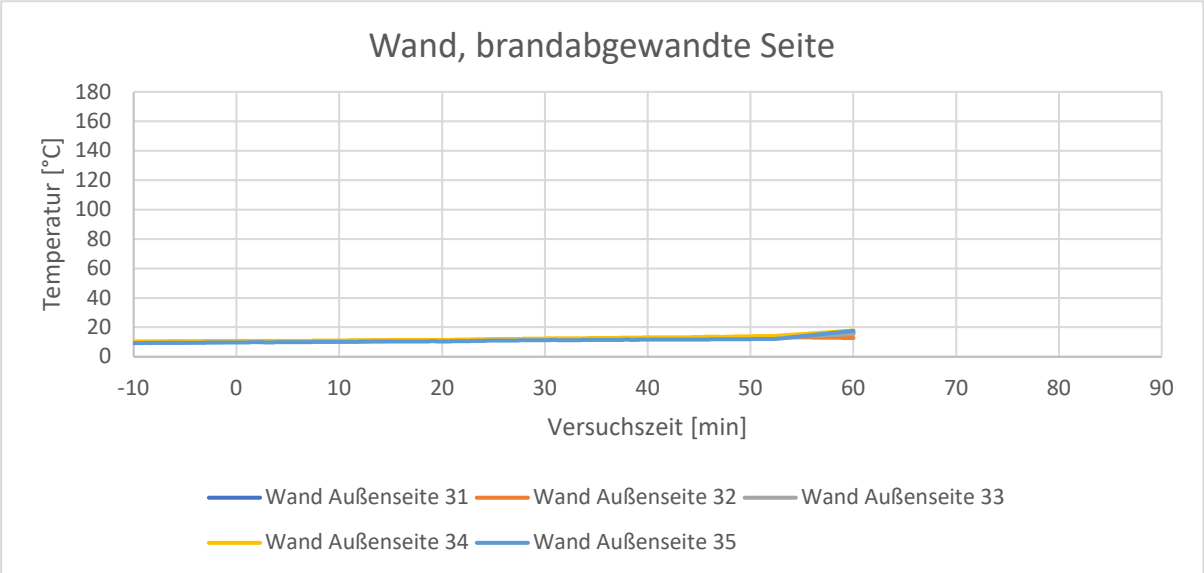
Temperaturverlauf Bauteilfuge



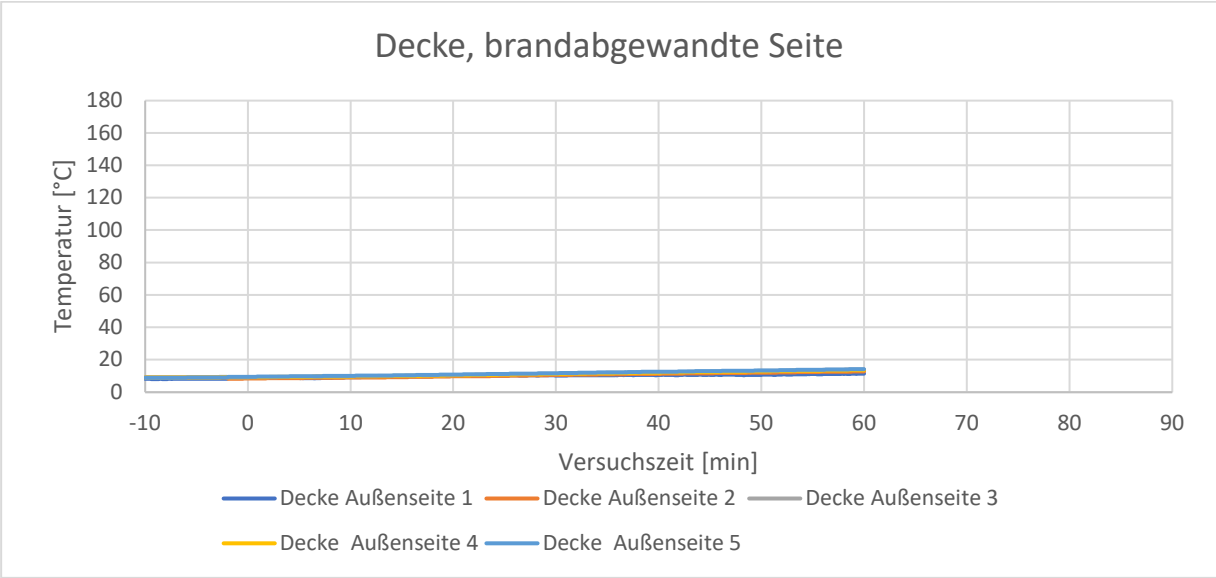




Temperaturverlauf Wand

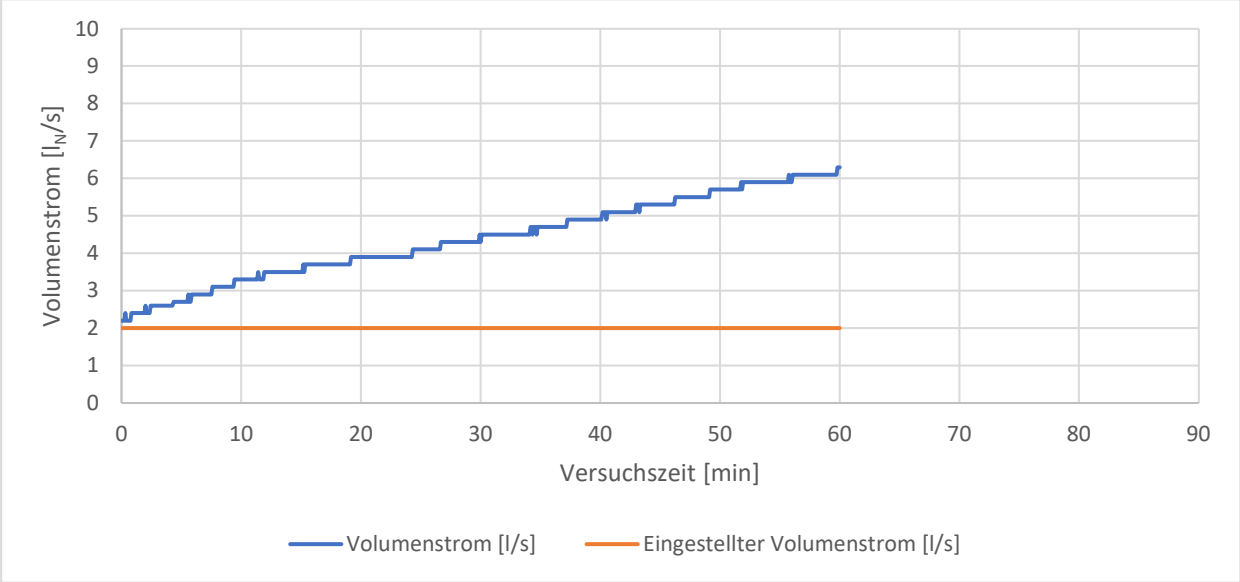


Temperaturverlauf Decke

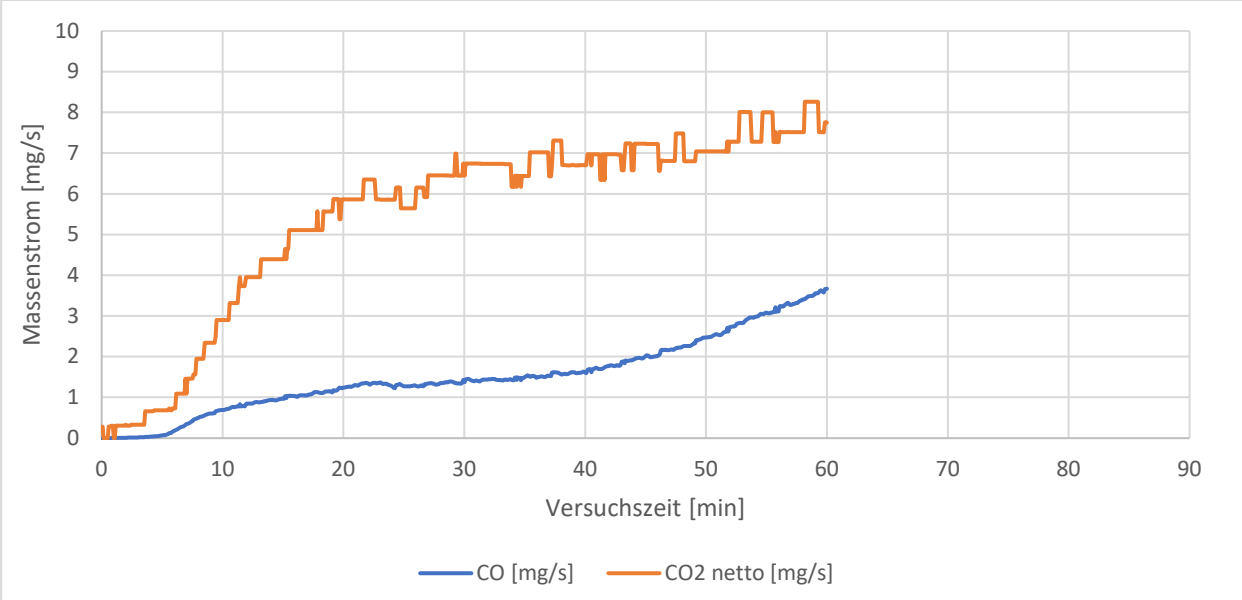


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

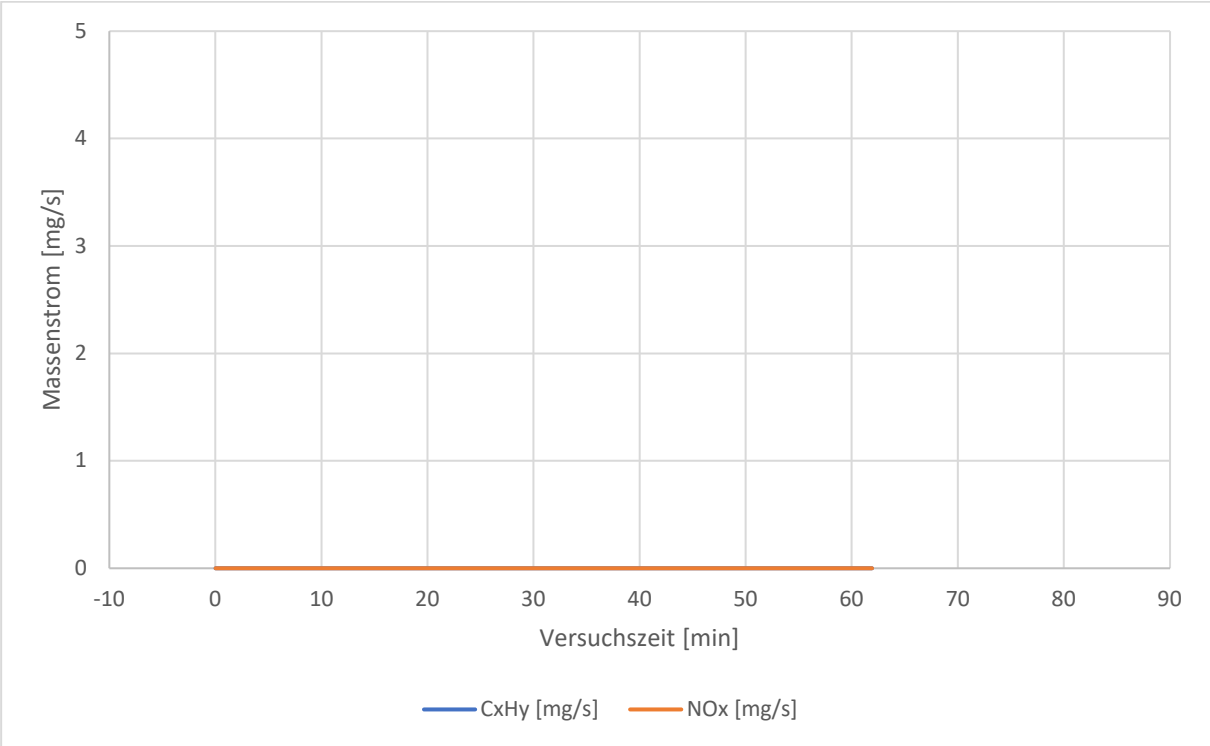
Volumenstrom



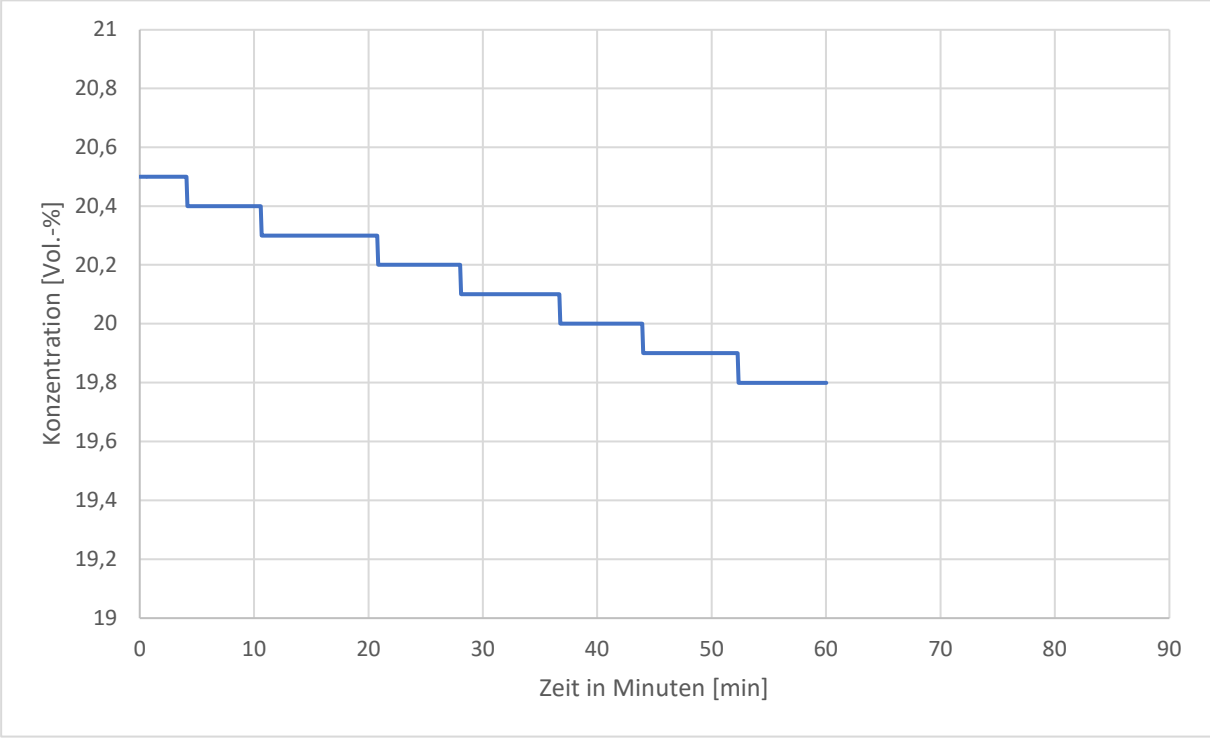
Massenströme CO, CO_2 (netto)



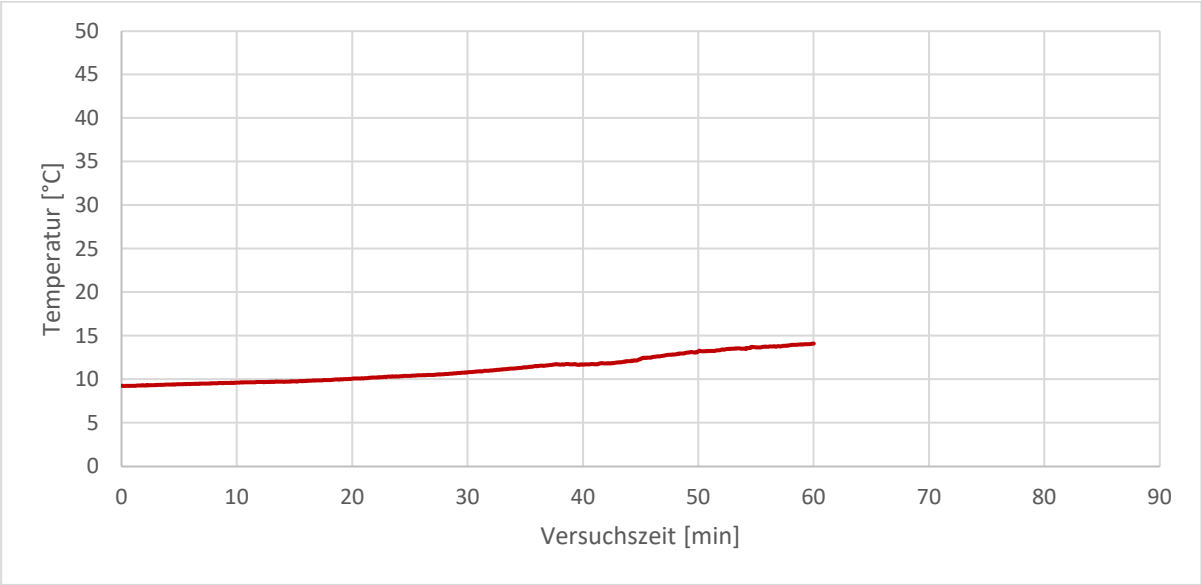
Massenströme CxHy, NOx



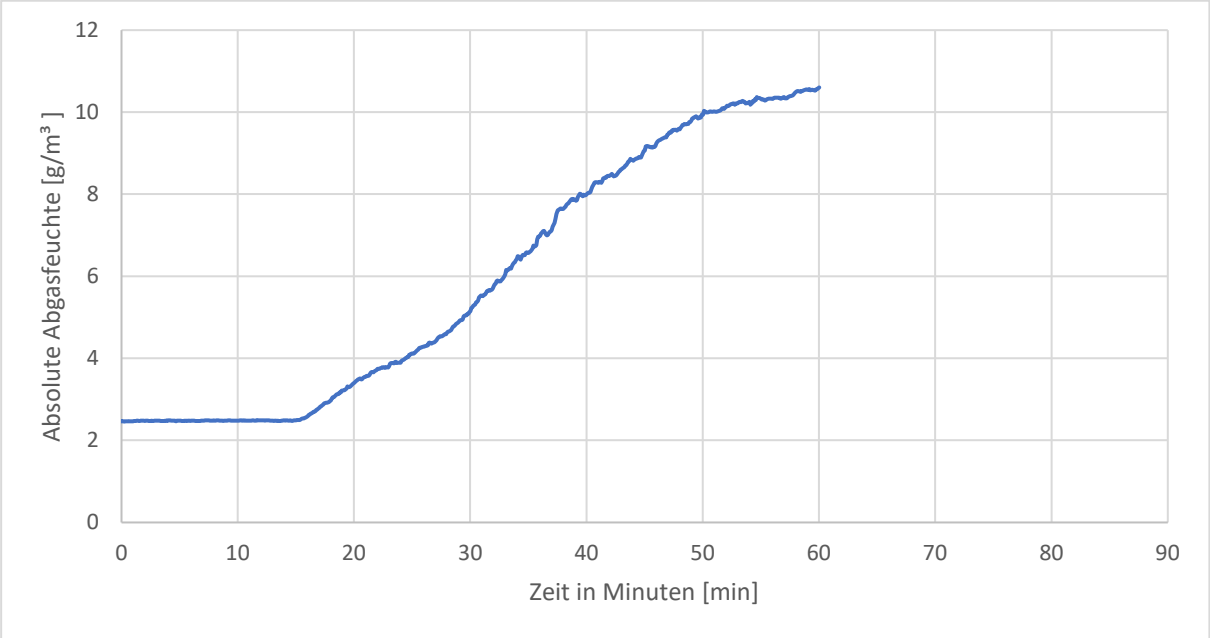
O_2-Konzentration



Abgastemperatur



Absolute Abgasfeuchte



3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
0.	Ofen stopp, Gaszufuhr nach ca. 1 Minute Beflammung abgeschaltet, Versuchsneustart	
12.	Optisch keine Rauchentwicklung erkennbar	
18.	Erstmals minimaler Rauchdurchtritt an TE 51 erkennbar	x
36.	Rauch im Randbereich durch RAK, Rauchdurchtritt zwischen unterer Decklage und mittlerer Brettlage auf der rechten Seite der vorderen Flanke	x
46.	Zunehmendes Abfallen der unteren Decklage an der Decke	
61.	Versuchsende	

4. Anhänge/Fotodokumentation

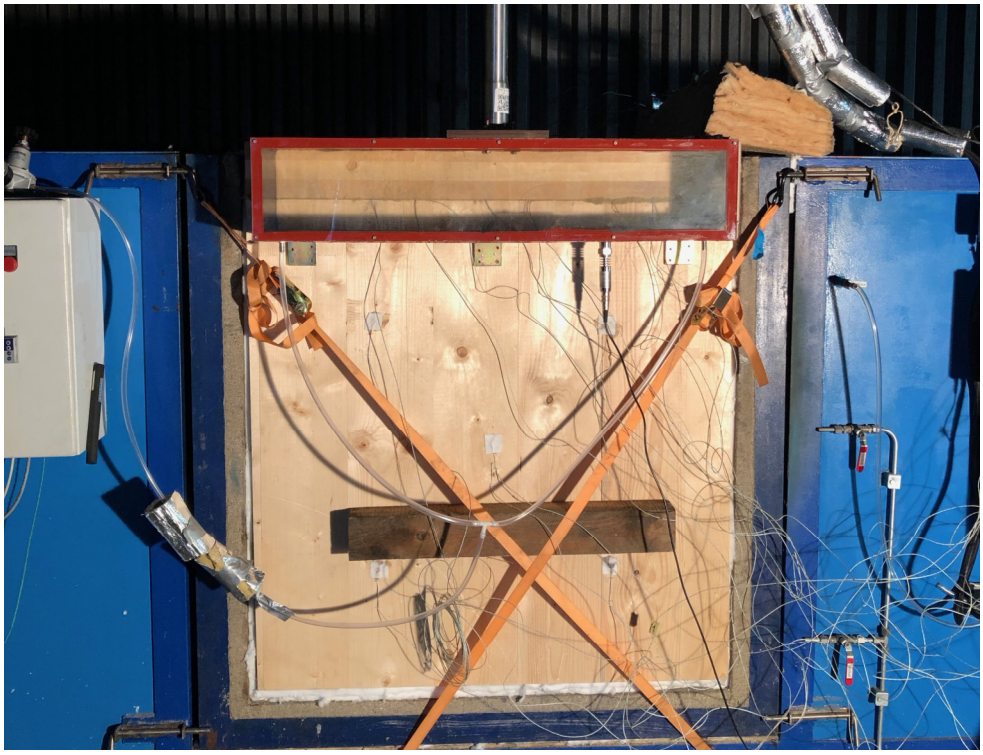


Abbildung 1: Probekörper vor Versuchsbeginn (Wand)



Abbildung 2: Probekörper vor Versuchbeginn (Decke, brandabgewandte Seite)

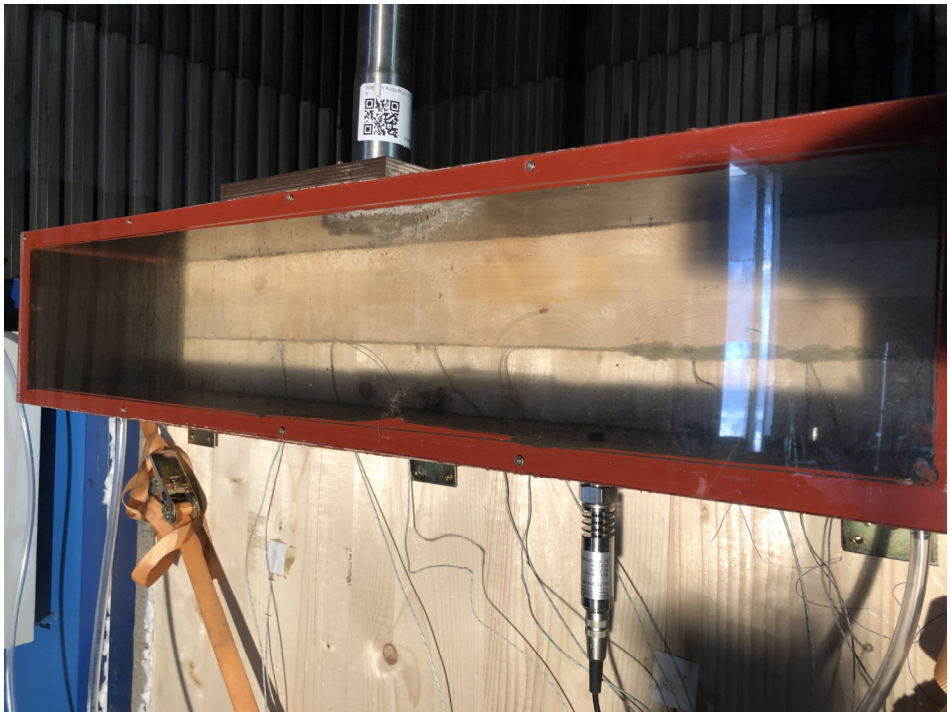


Abbildung 3: Wasserdampfbildung im RAK (15. Brandminute)



Abbildung 4: Rauchdurchtritt am TE 51 kaum erkennbar (18. Brandminute)



Abbildung 3: Rauchauffangkasten (46. Versuchsminute)

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: Z03_BSP-BSP_HFD

Datum: 19.11.2019

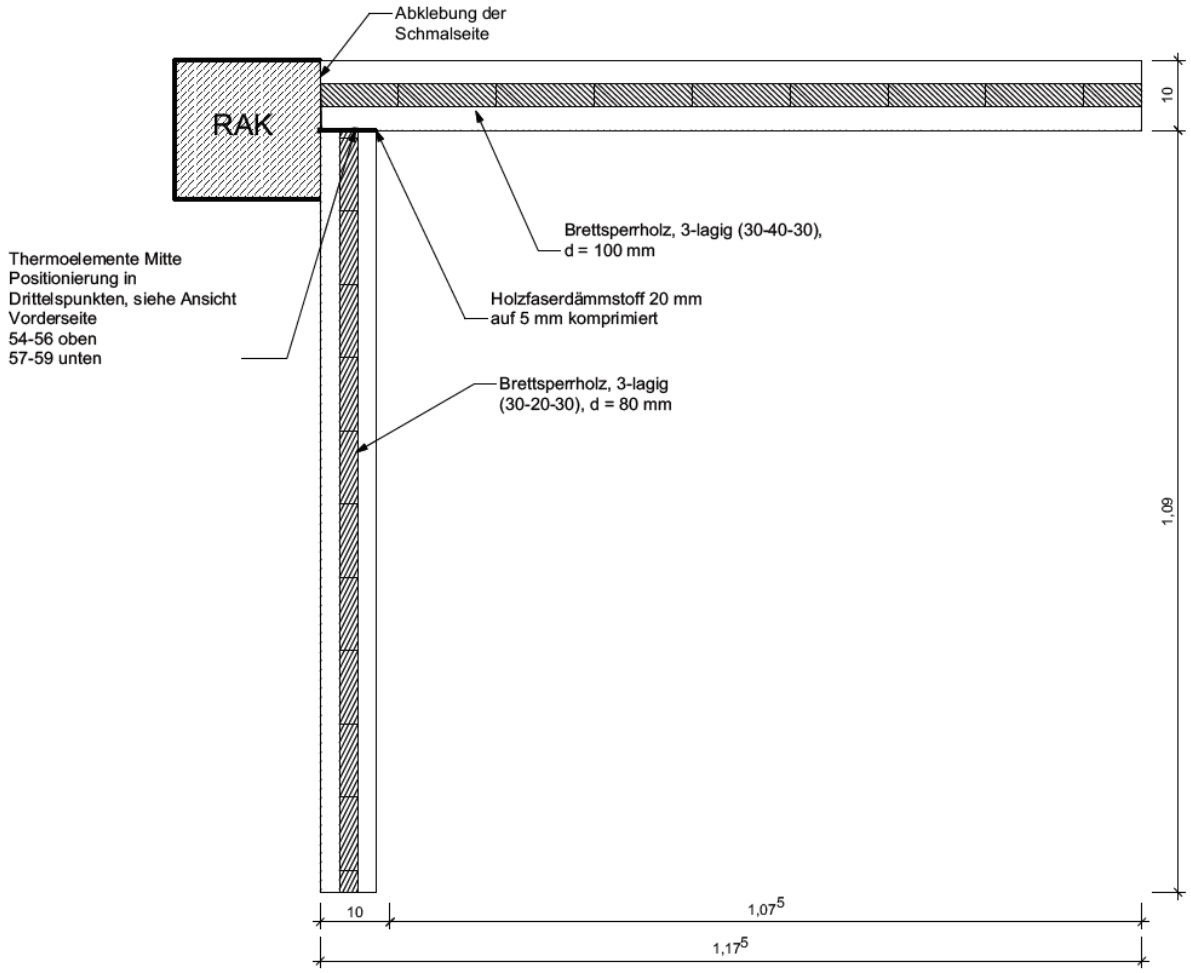
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Draufsicht 4
Ansicht (brandabgewandte Seite) 4
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 5
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 5
Verwendete Materialien 5
2.Versuchsparameter 6
2.1 Umgebungsbedingungen 6
2.2 Prüfbedingungen 6
Temperaturzeitkurve 6
Grenzabweichungen 7
Ofenüberdruck 7
3.Auswertung 8
3.1. Temperaturverläufe 8
Temperaturverlauf Bauteilfuge 8
Temperaturverlauf Wand: 9
Temperaturverlauf Decke: 9
3.2 Ergebnisse der Rauchgasanalytik 9
3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 10
4. Anhänge/Fotodokumentation 11

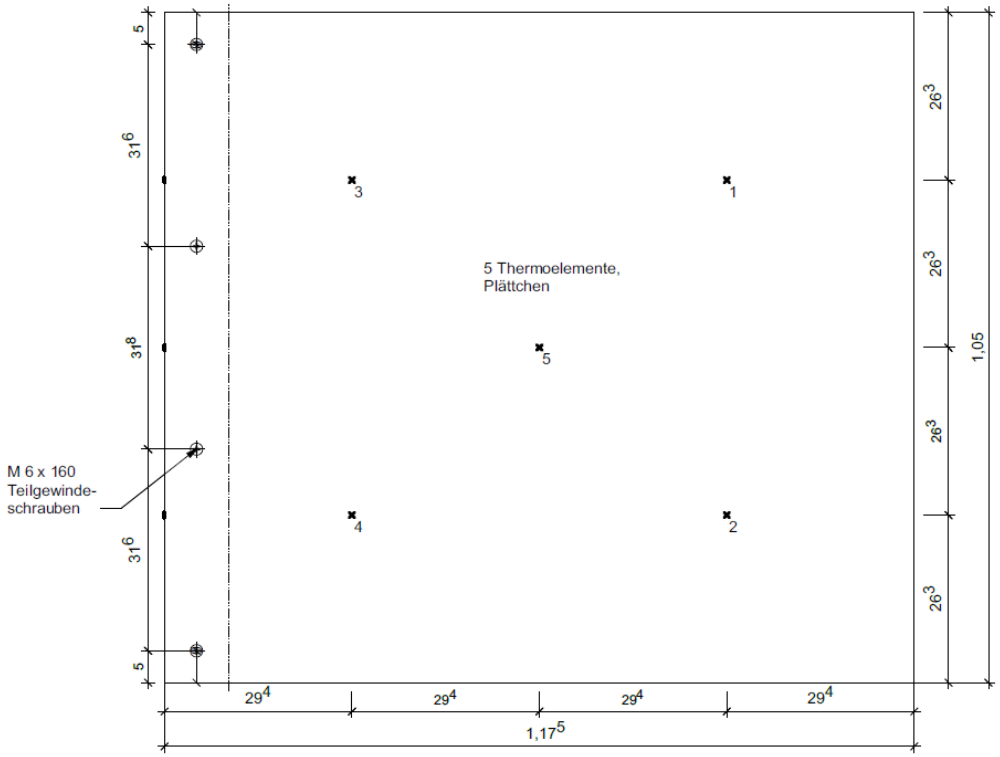
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

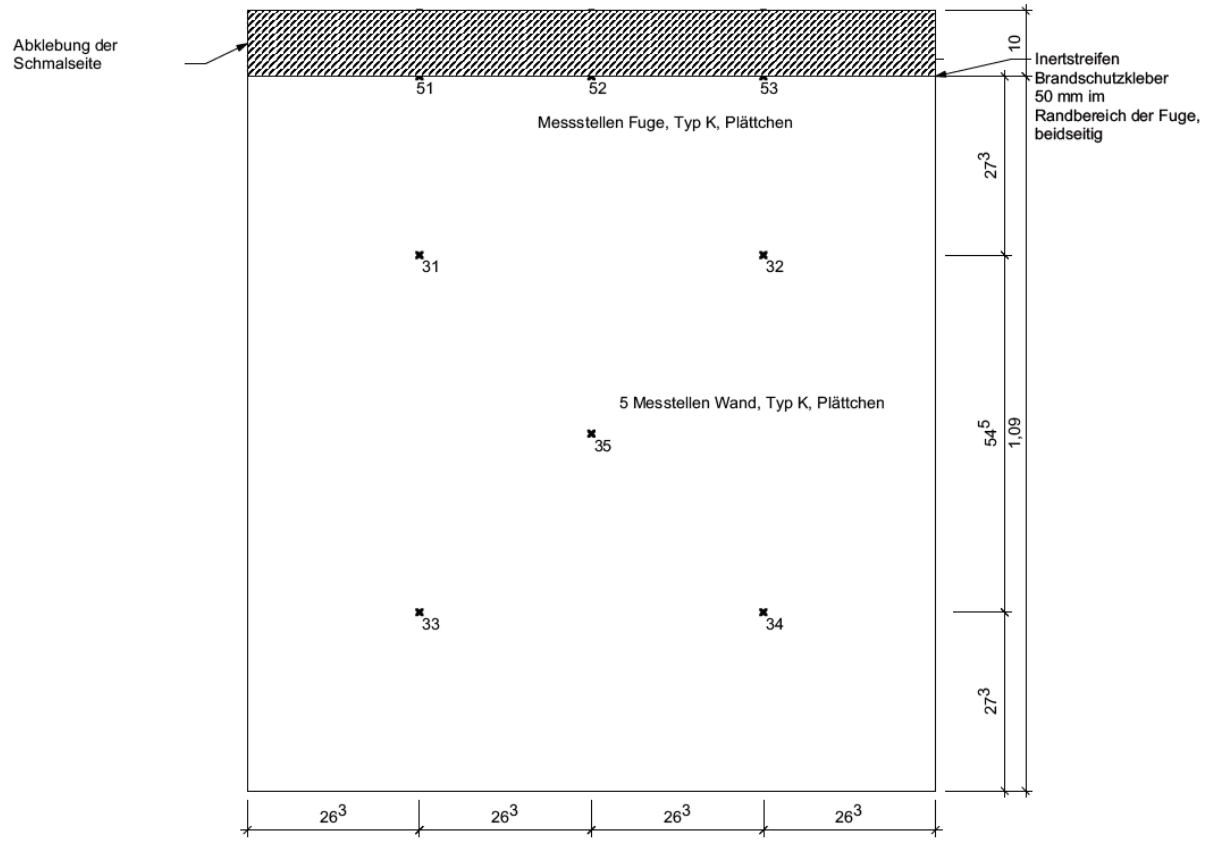
Schnitt



Draufsicht



Ansicht (brandabgewandte Seite)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	80 mm BSP-Element (30-20-30), flankenverklebt	460 kg/m³	10 %	Derix

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	100 mm BSP-Element (30-40-30), flankenverklebt	460 kg/m³	10 %	Derix

Verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Holzbauschrauben 6 x 160 mm	Würth	W1-D1
Holzfaserdämmmatte Thermoflex	Gutex	Bauteilfuge
Klebeband Eurasol ® HT b = 100 mm	Würth	Abklebung der Schmalseite
Isifest Brandschutzkleber	HTB	Randbereich Bauteilfuge

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	19.11.2019, 13:22:00 Uhr
Versuchsende:	19.11.2019, 14:08:00
Versuchsdauer in min:	46 Minuten

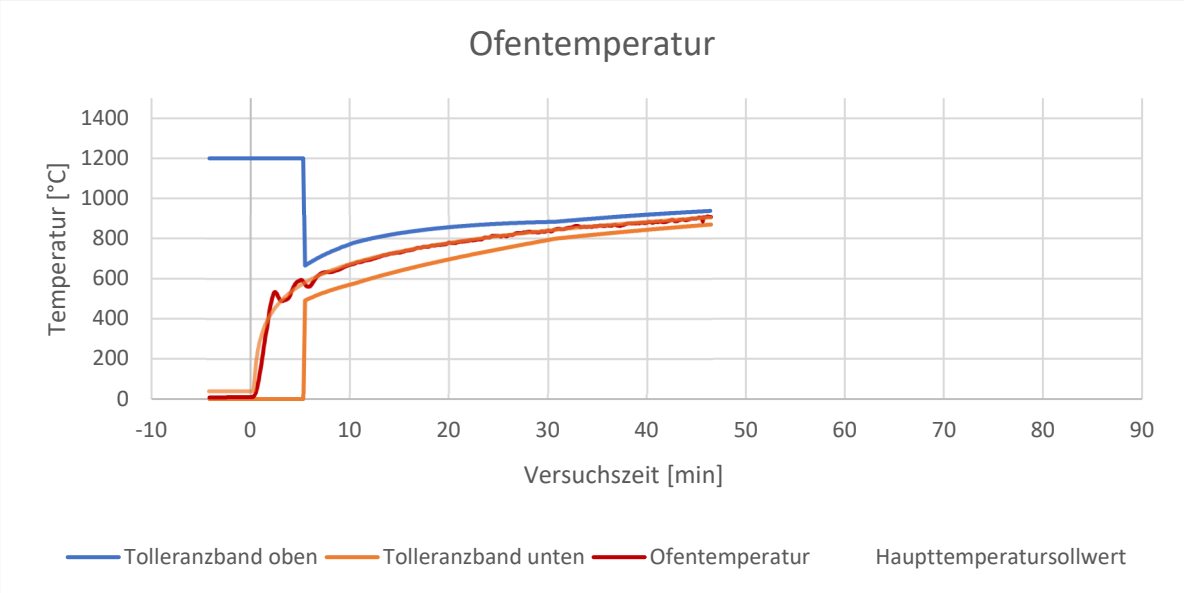
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

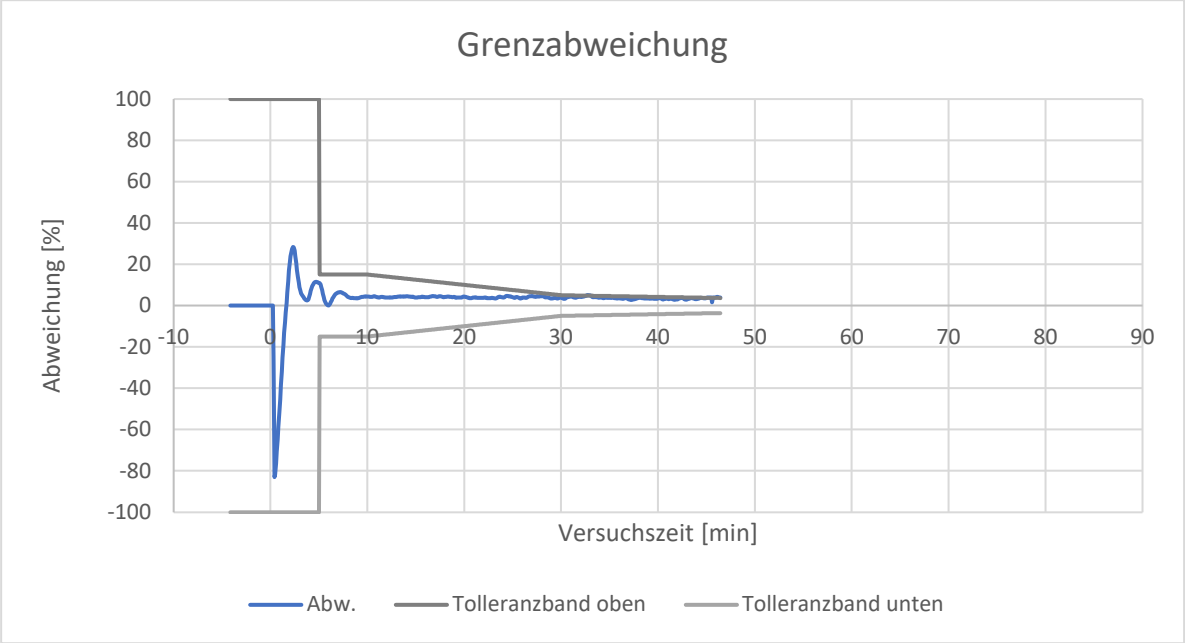
Umgebungsdruck:	1010 mbar
Umgebungstemperatur:	9,5 °C
Luftfeuchte in %:	28,1 %

2.2 Prüfbedingungen

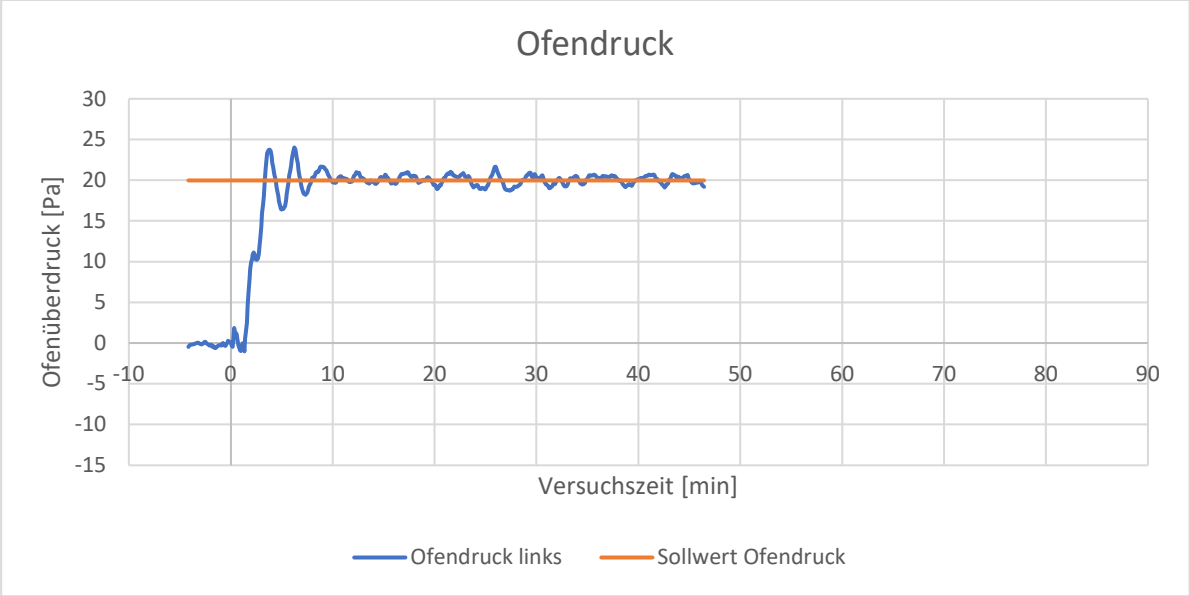
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



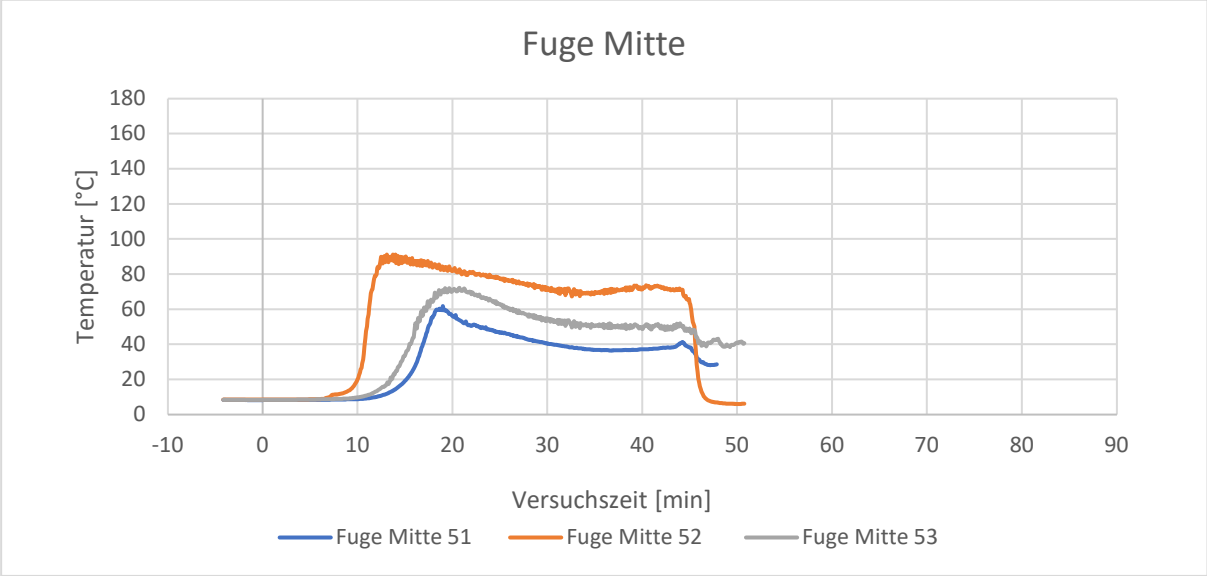
Ofenüberdruck

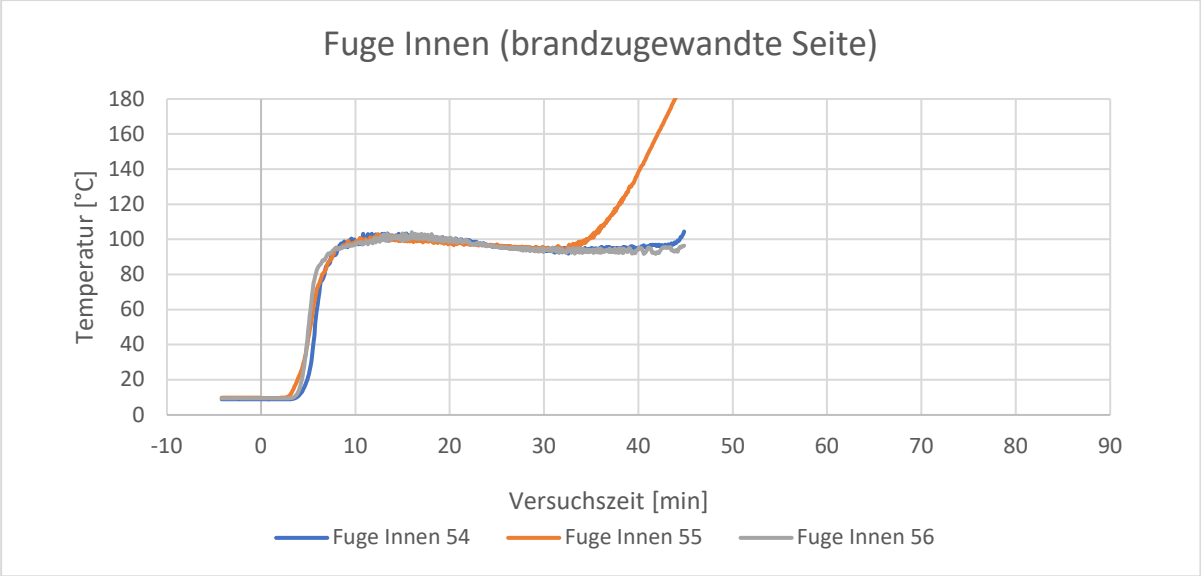


3.Auswertung

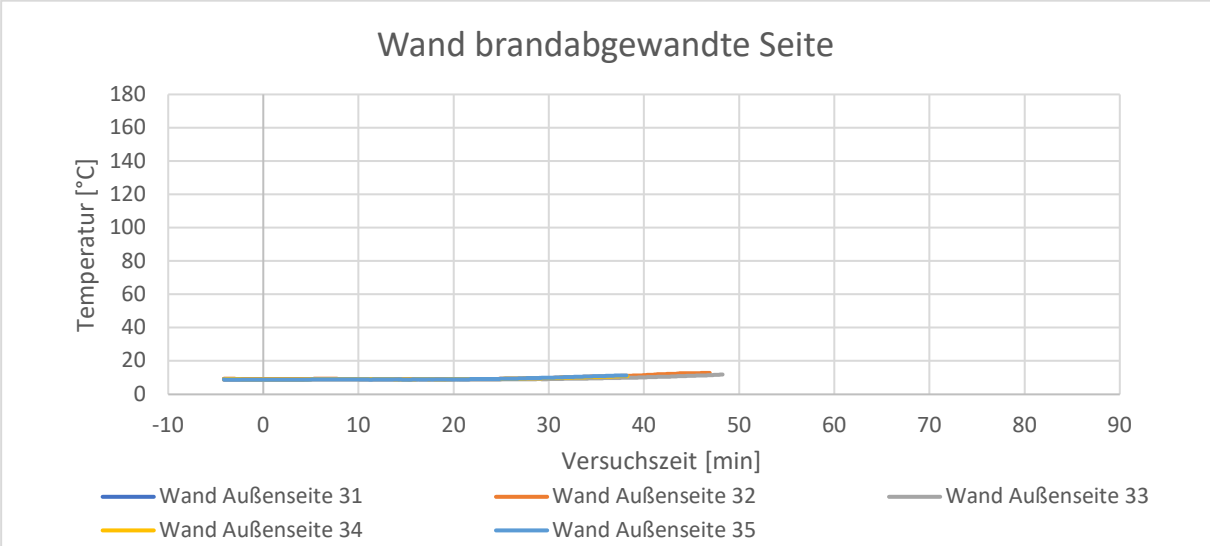
3.1. Temperaturverläufe

Temperaturverlauf Bauteilfuge

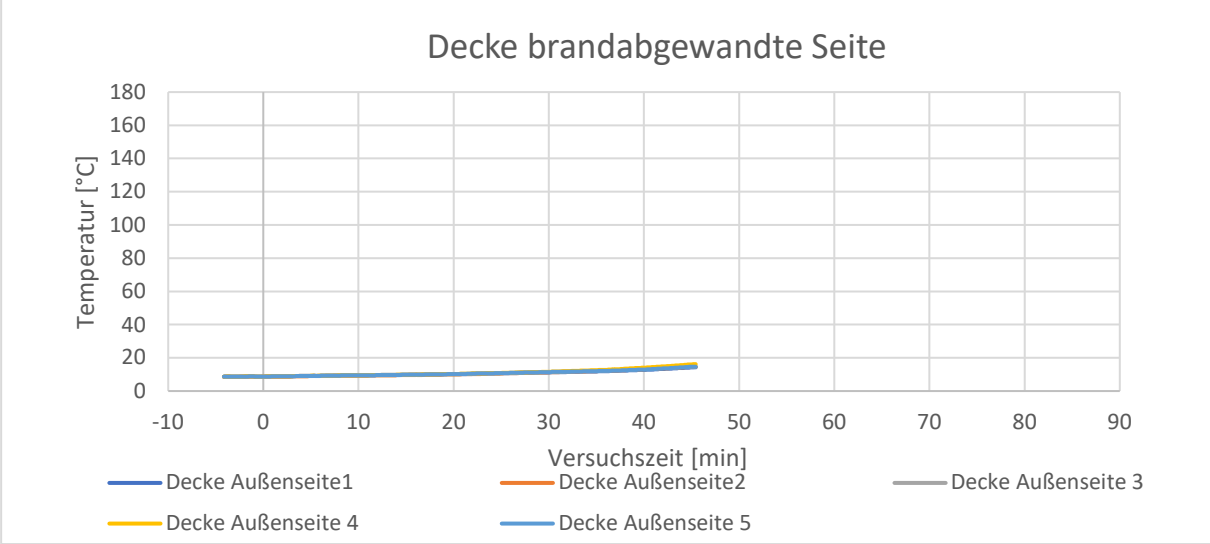




Temperaturverlauf Wand



Temperaturverlauf Decke



3.2 Ergebnisse der Rauchgasanalytik

Ohne Rauchgasanalyse

3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
1.	Leichte Rauchentwicklung zwischen den Brettlamellen, Decke, mittig	
17.	Starke Wasserdampfbildung im RAK, Scheibe beschlägt	x
25.	Weiterhin leichte Rauchentwicklung in Nähe des mittleres TEs im RAK	x
33.	Starke Rauchentwicklung im Brandraum, Bauteil mit Ofenkamera nicht mehr erkenntlich	
35.	Verstärktes „Knacken“ der Bauteile wahrnehmbar	
46.	Versuchsende	x

4. Anhänge/Fotodokumentation

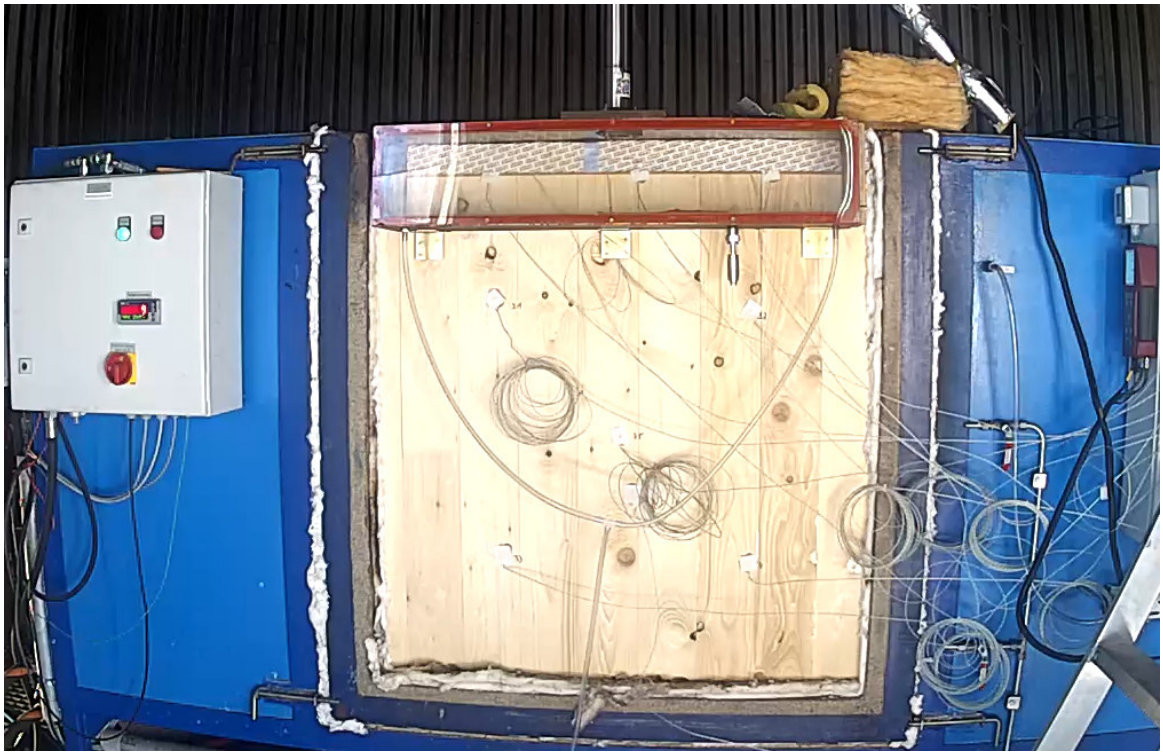


Abbildung 1: Probekörper, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

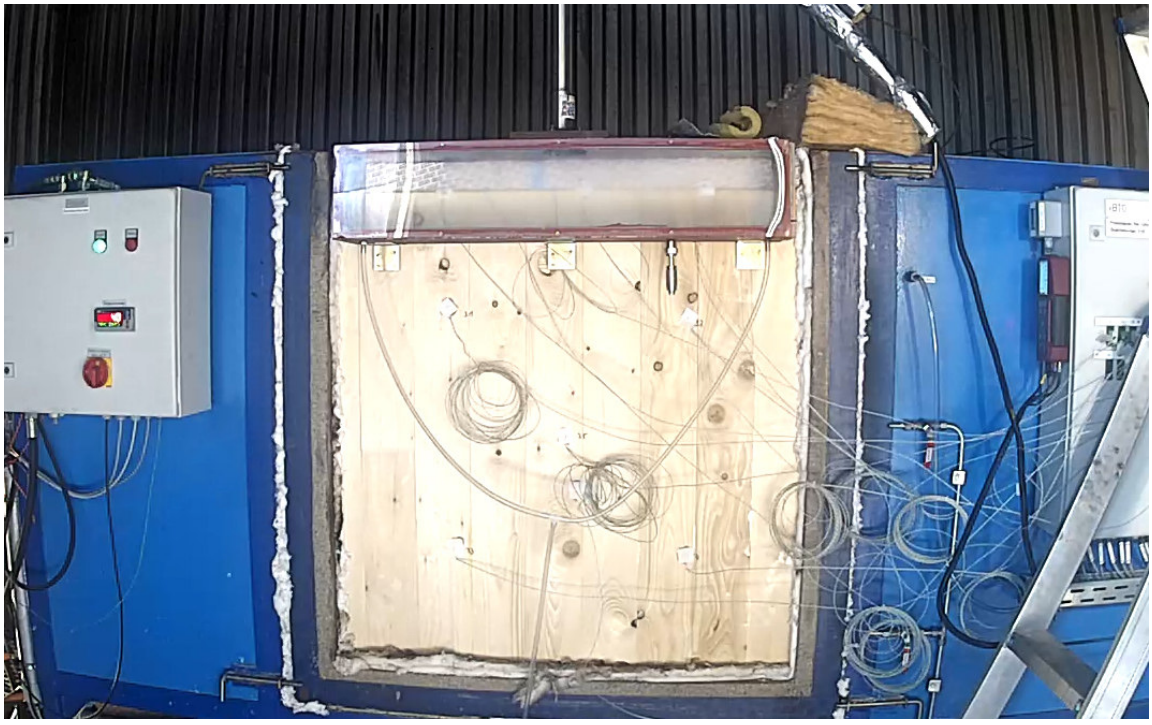


Abbildung 2: Wasserdampfbildung im RAK (17. Versuchsminute)

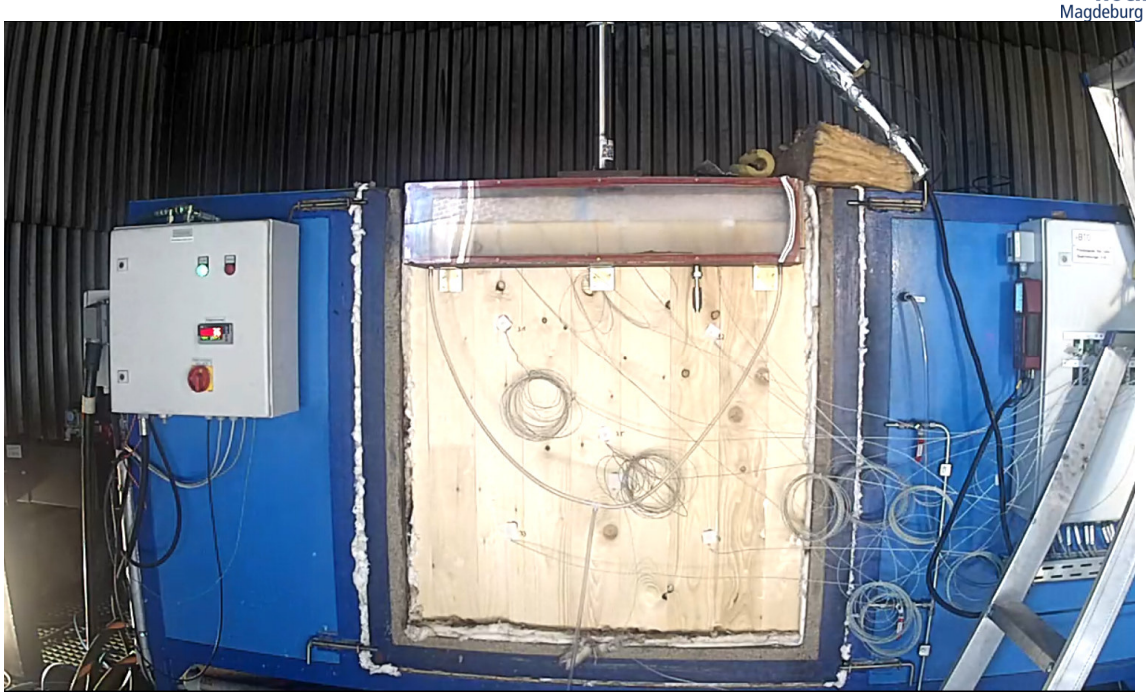


Abbildung 3: leichte Rauchentwicklung im RAK (25. Versuchsminute)

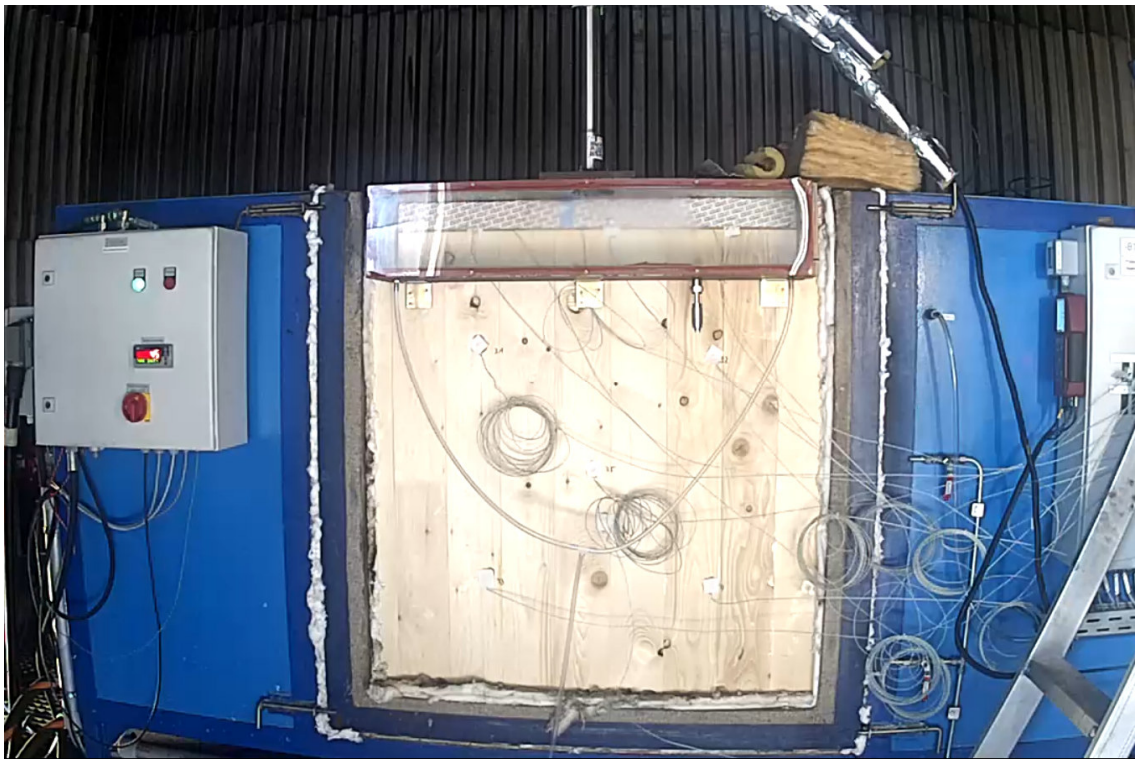


Abbildung 4: Leichte Rauchentwicklung im RAK (45. Versuchsminute)

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: Z04_BSP_BSP_EL_nV_90

Datum: 21.11.2019

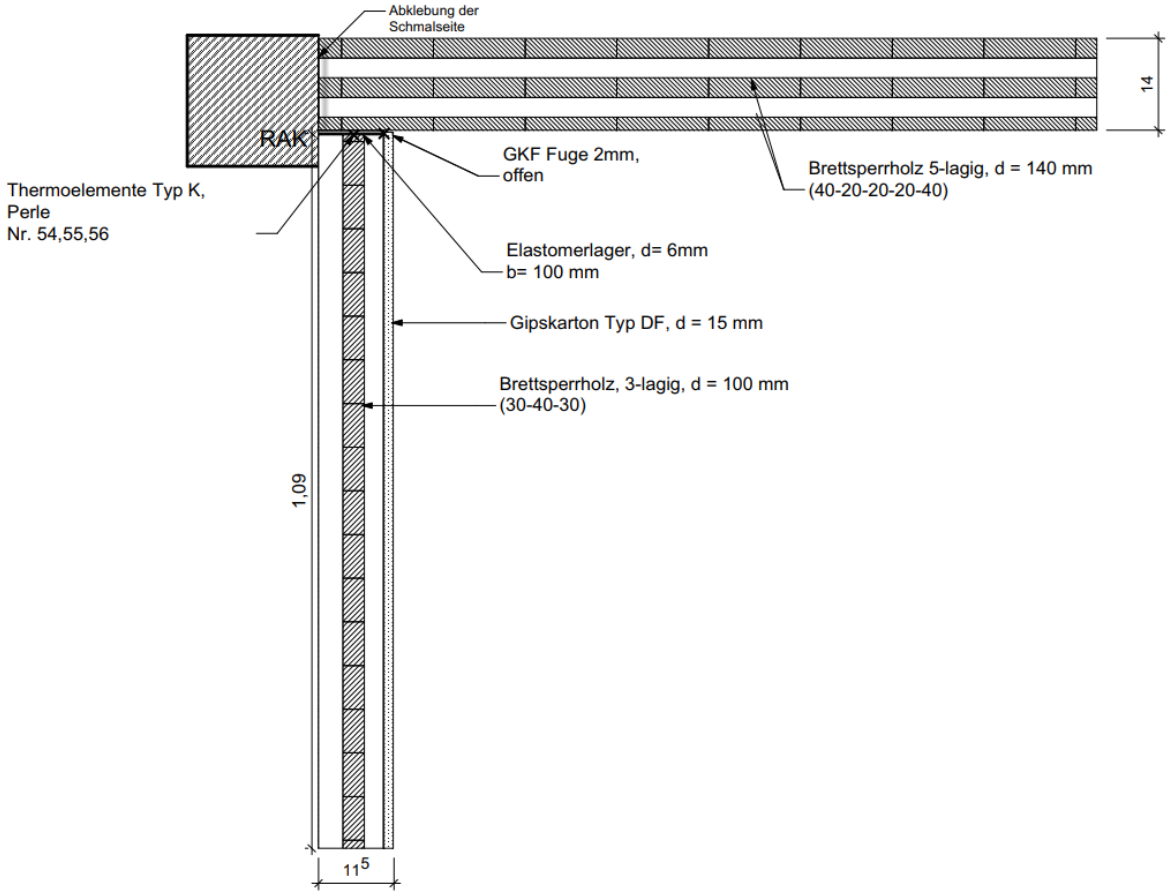
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite) 4
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite) 4
Draufsicht (brandabgewandt) 5
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 6
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 6
Verwendete Materialien 6
2.Versuchsparameter 7
2.1 Umgebungsbedingungen 7
2.2 Prüfbedingungen 7
Temperaturzeitkurve 7
Grenzabweichungen 8
Ofenüberdruck 8
3.Auswertung 9
3.1. Temperaturverläufe 9
Temperaturverlauf Bauteilfuge 9
Temperaturverlauf Wand 10
Temperaturverlauf Decke: 11
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 12
Volumenstrom 12
Massenstrom CO und CO_2 (netto) 12
Massenstrom C_xH_y und NO_x (netto) 13
O_2-Konzentration 13
Abgastemperatur 14
Absolute Abgasfeuchte 14
3.3. Zusätzliche Ereignisse 15
4. Anhänge/Fotodokumentation 16

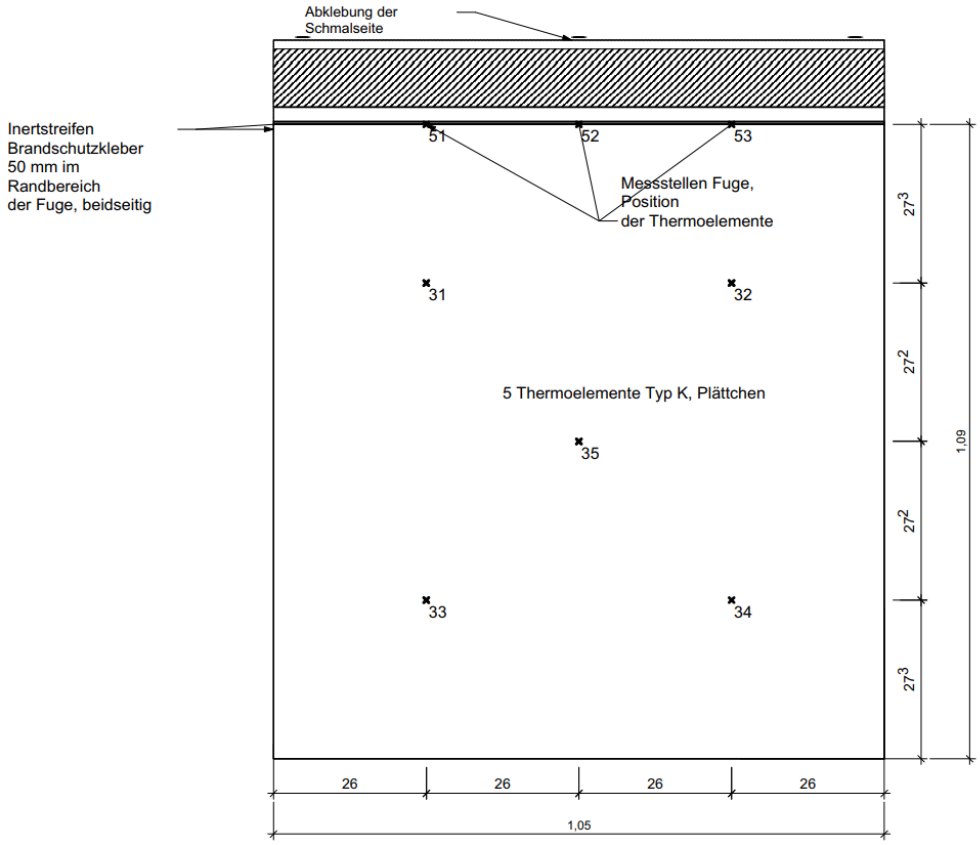
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

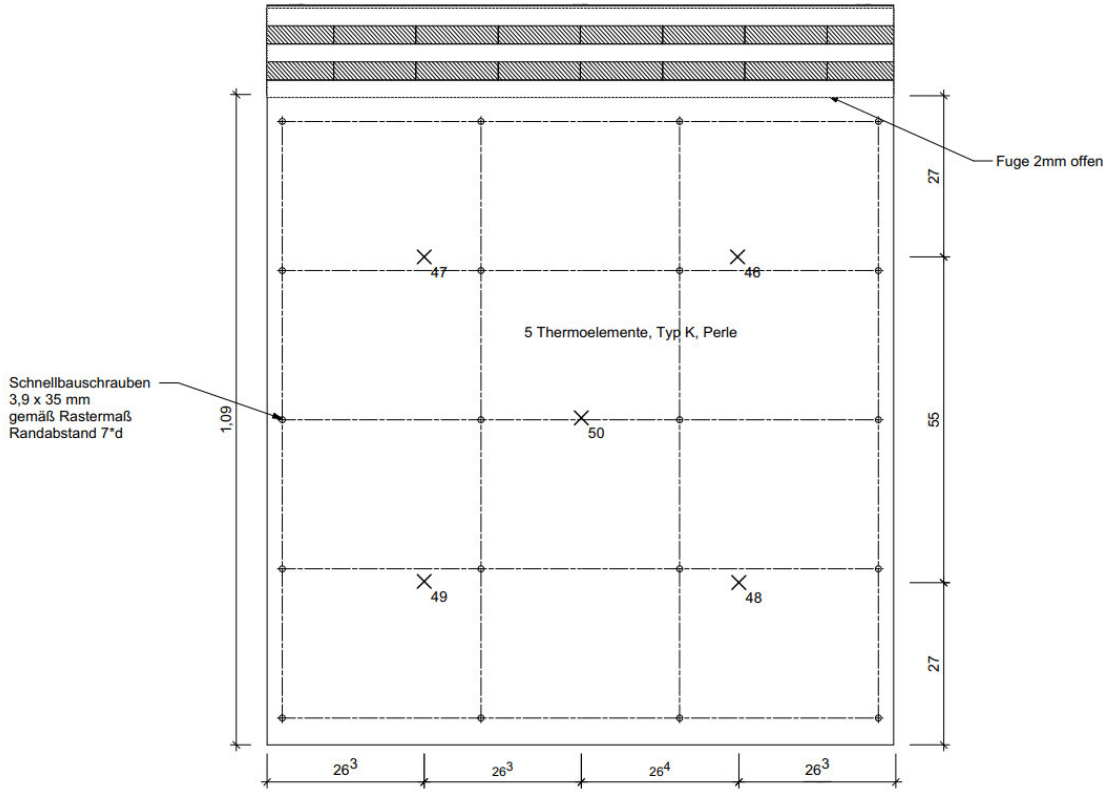
Schnitt



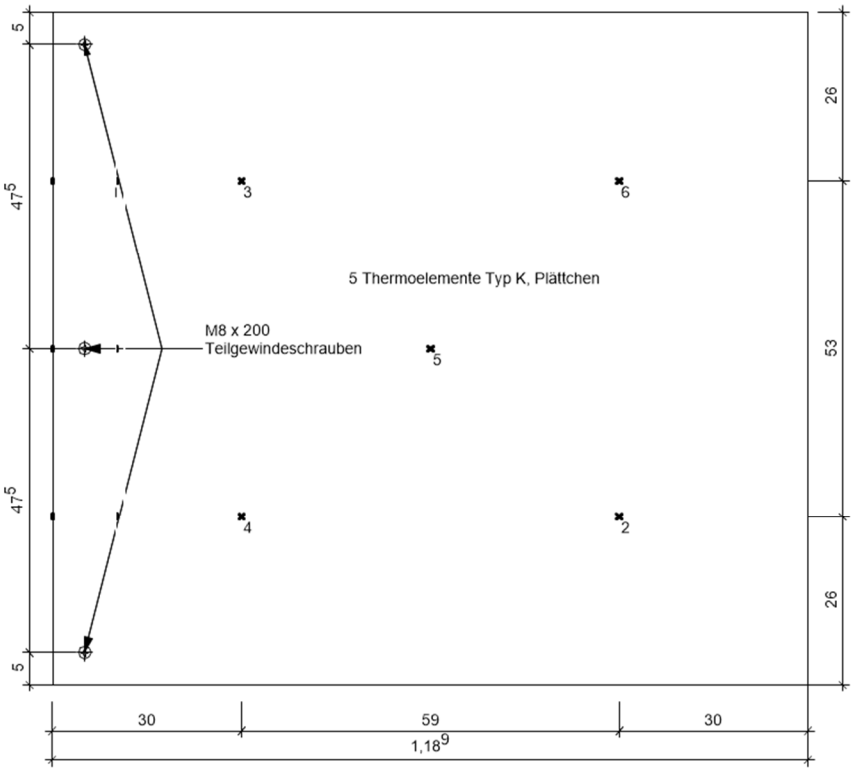
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite)



Ansicht Wand (brandzugewandte Seite)



Draufsicht (brandabgewandt)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte[1] [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	15 mm Gipskarton Platte Typ DF	>800	1 %	Rigips
W2	100 mm BSP-Element (30-40-30), ohne Flankenverleimung	460	10 %	Derix

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	140 mm BSP-Element (40-20-20-20-40), ohne Flankenverleimung	460	10 %	Derix

Verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Holzbauschrauben 6 x 160 mm	Würth	D1-W2
Xylophon Shore 35	RothoBlaas	Bauteilfuge
Schnellbauschrauben 3,9 x 35 mm	GiX	W1
Klebeband Eurasol ® HT b=100 mm	Würth	Abklebung der Schmalseite
Isifest Brandschutzkleber	HTB	Randbereich Bauteilfuge

[1] Gemäß Herstellerangaben

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	21.11.2019, 10:52:33
Versuchsende:	21.11.2019, 12:22:33
Versuchsdauer in min:	90 min

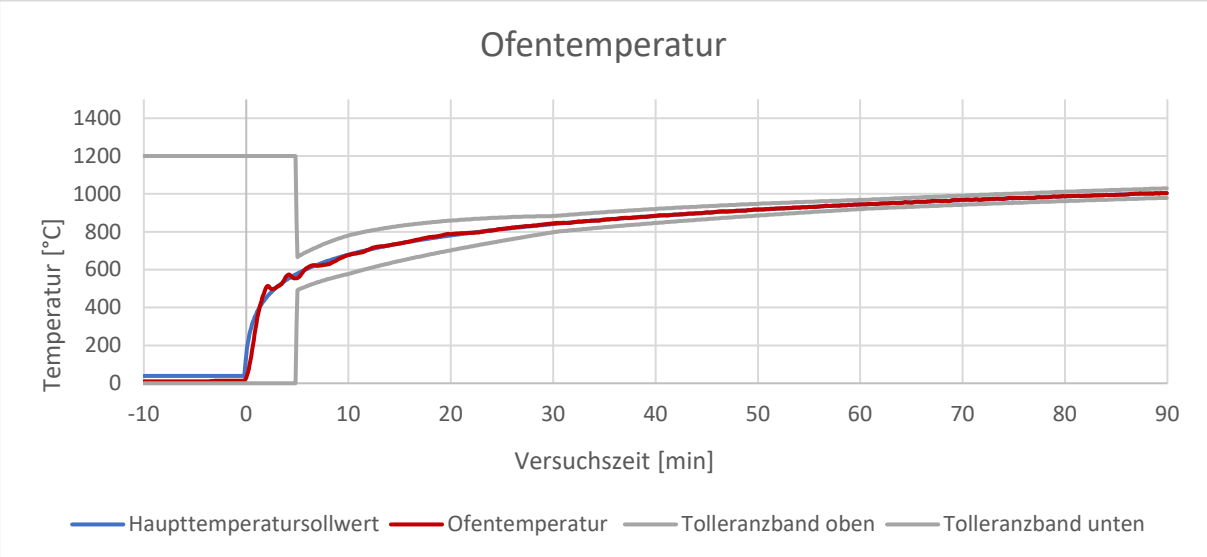
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

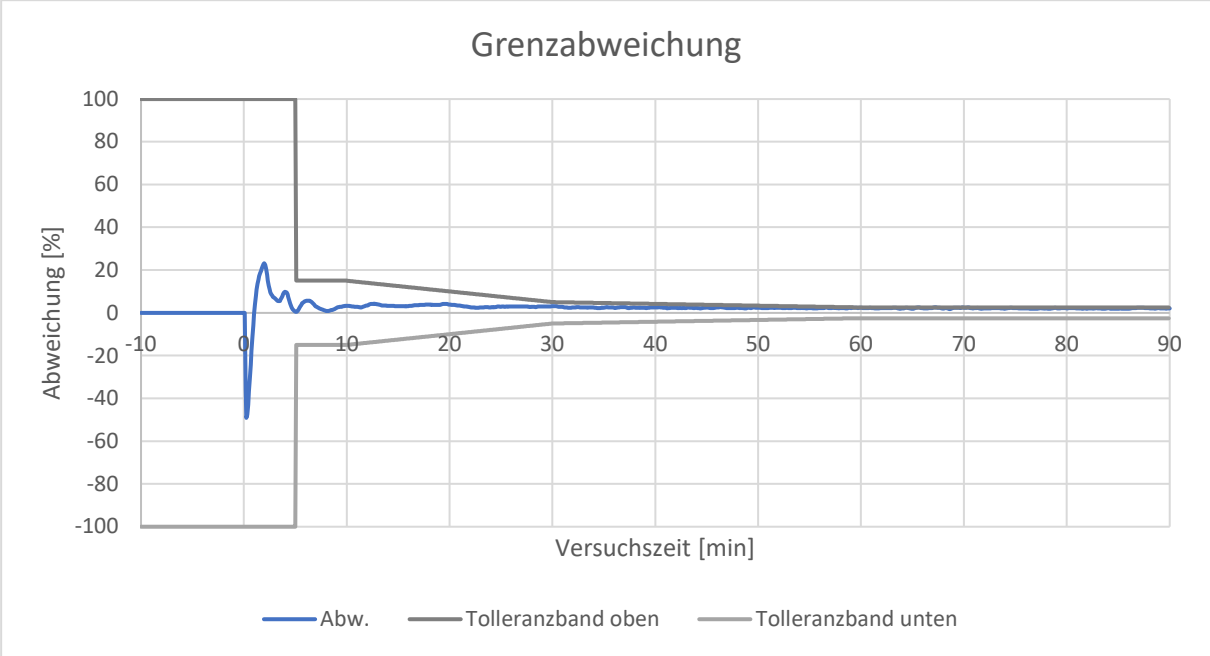
Umgebungsdruck:	1005 hpa
Umgebungstemperatur:	9,4 °C
Luftfeuchte in %:	30,9 % rh

2.2 Prüfbedingungen

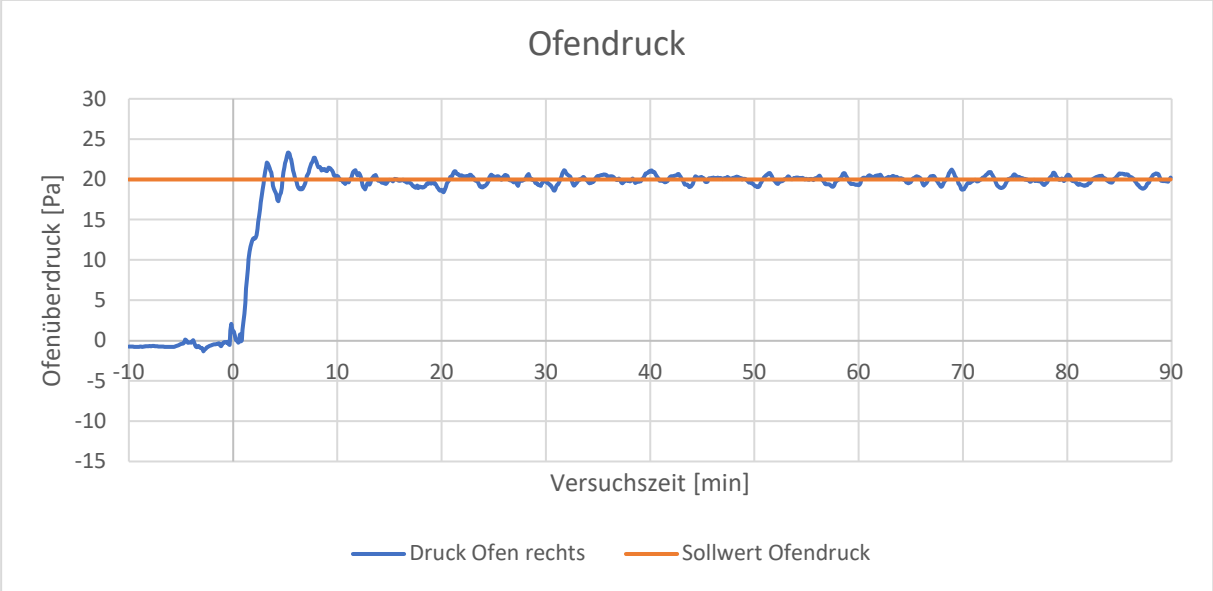
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



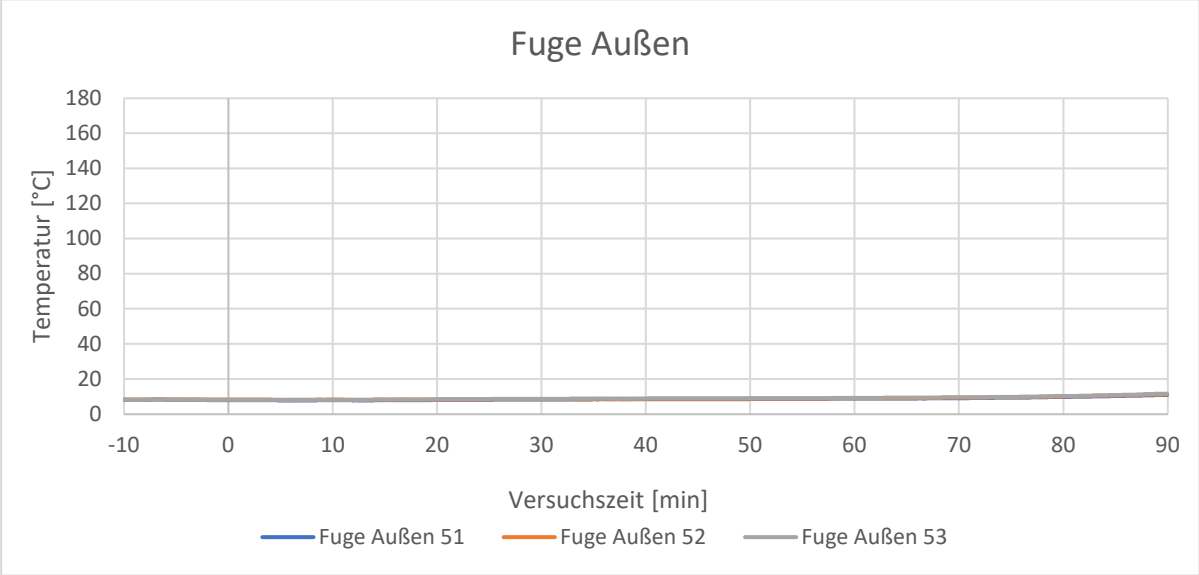
Ofenüberdruck

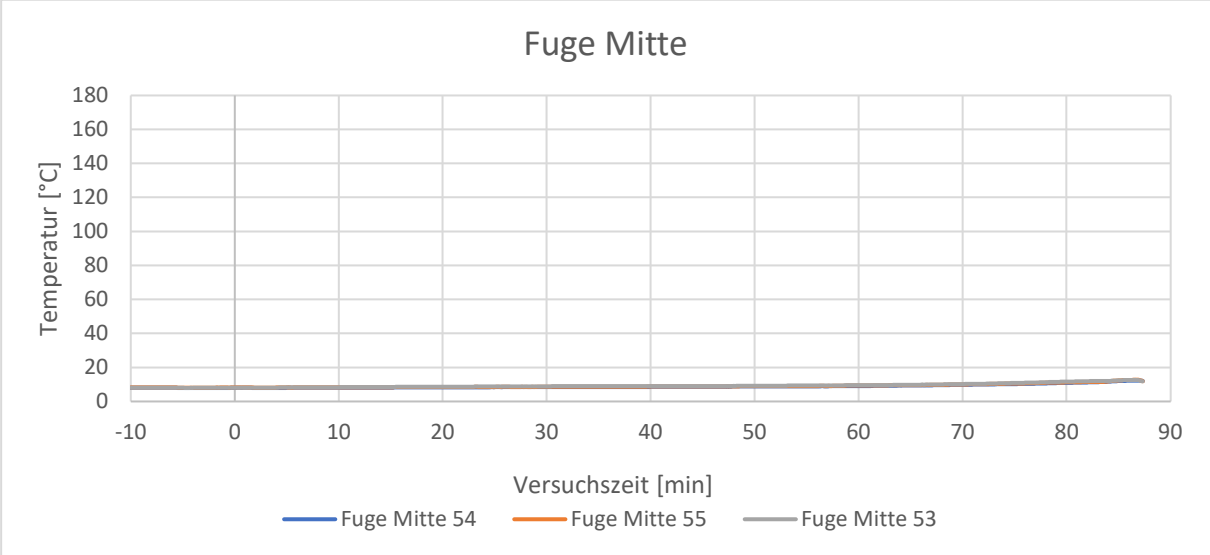


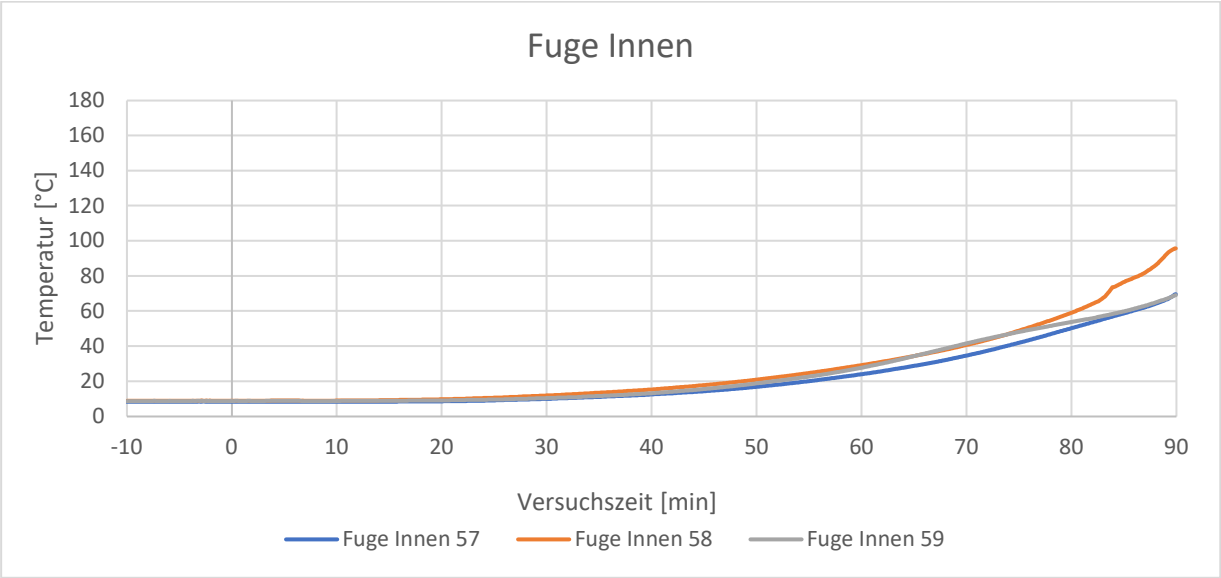
3.Auswertung

3.1. Temperaturverläufe

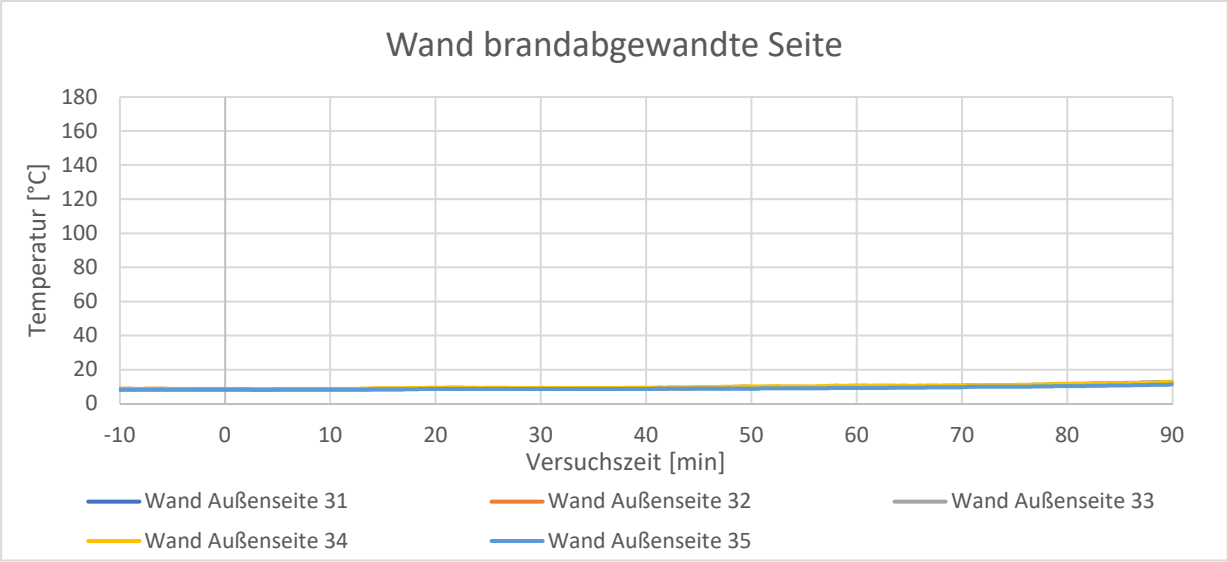
Temperaturverlauf Bauteilfuge

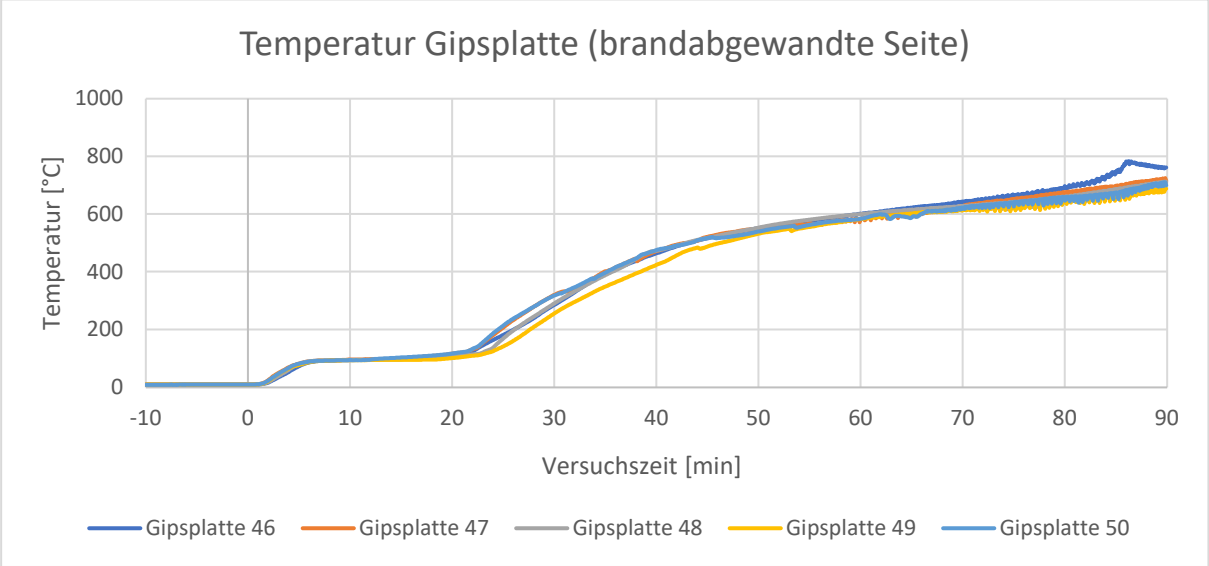




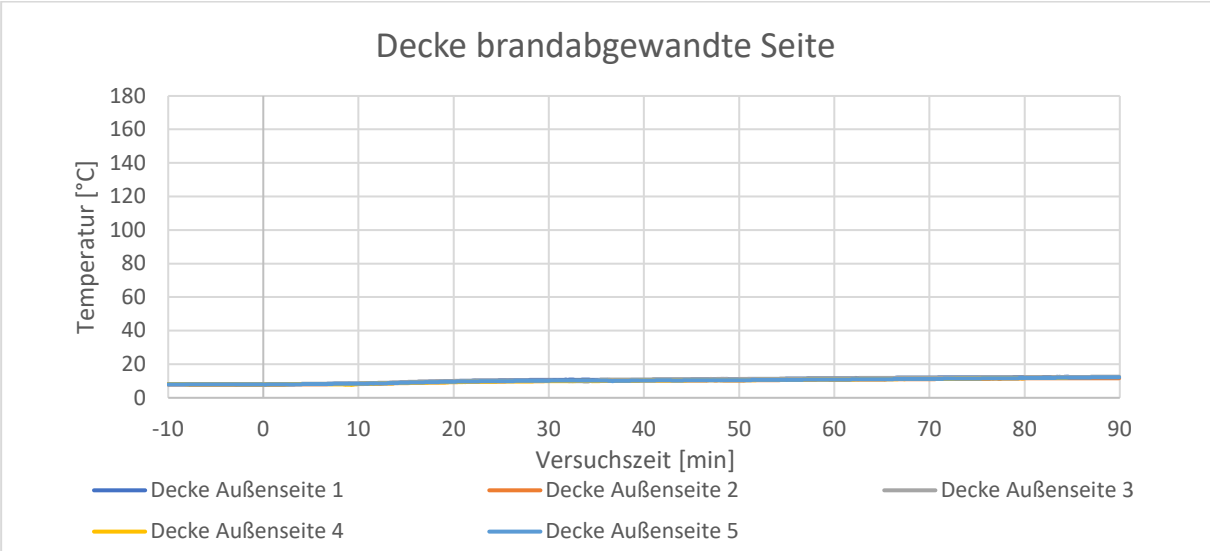


Temperaturverlauf Wand



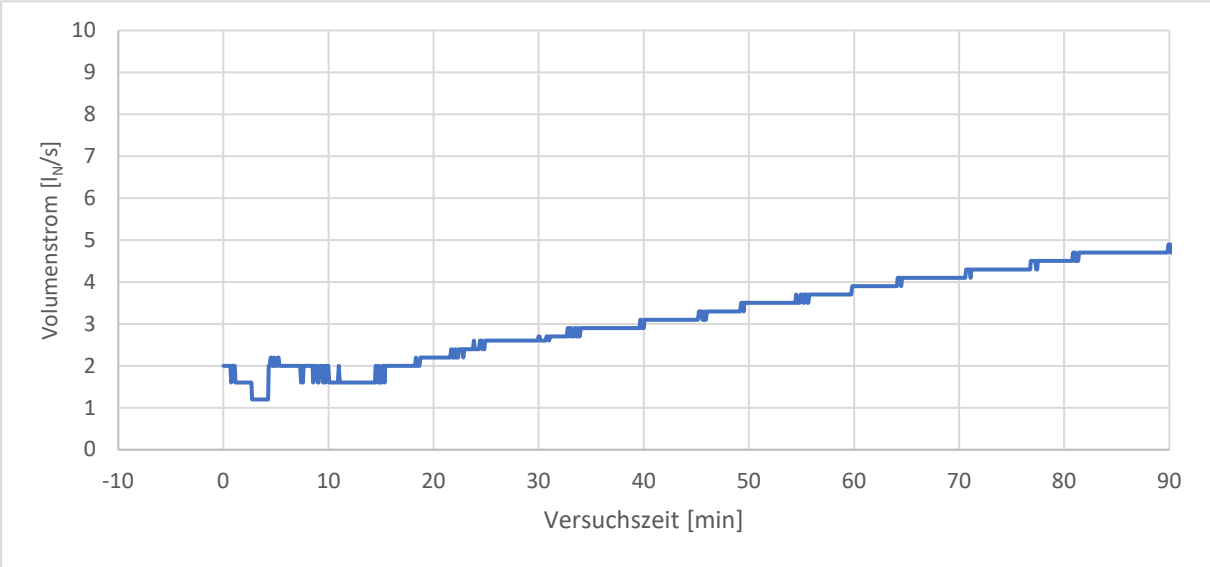


Temperaturverlauf Decke:

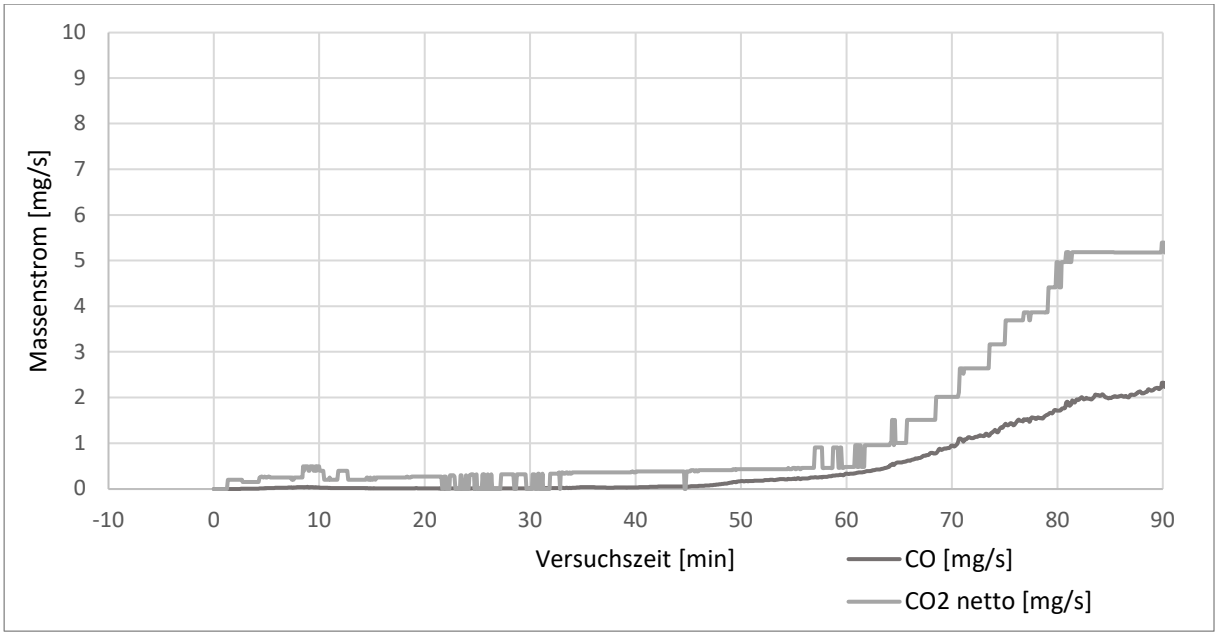


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

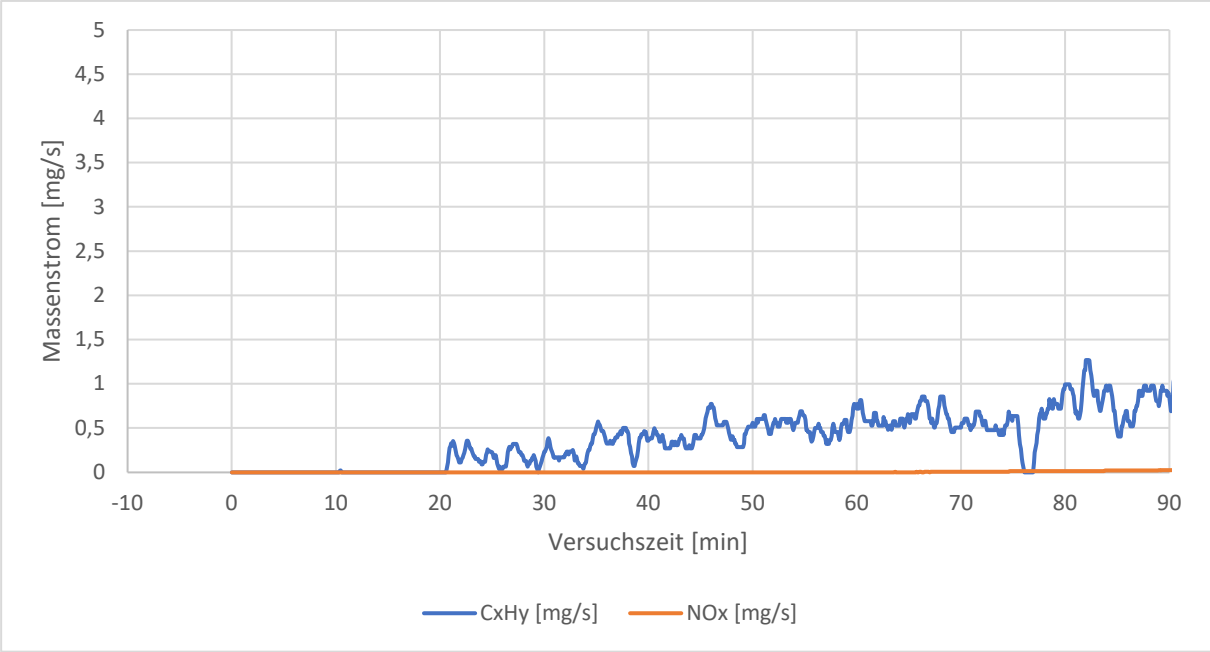
Volumenstrom



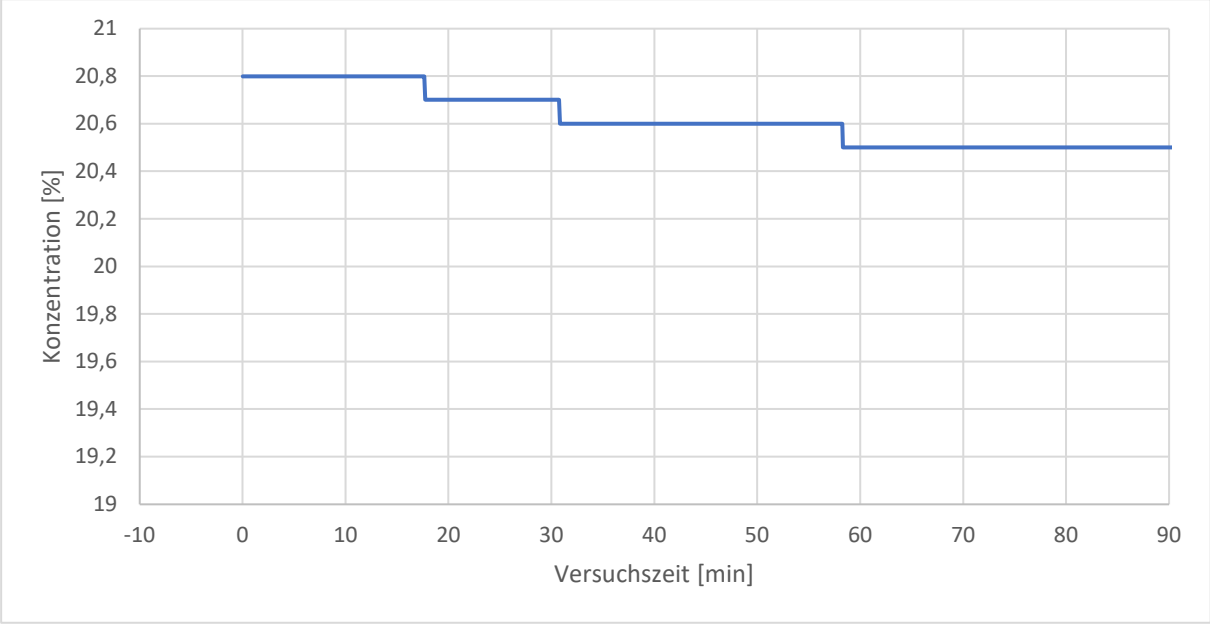
Massenstrom CO und CO_2 (netto)



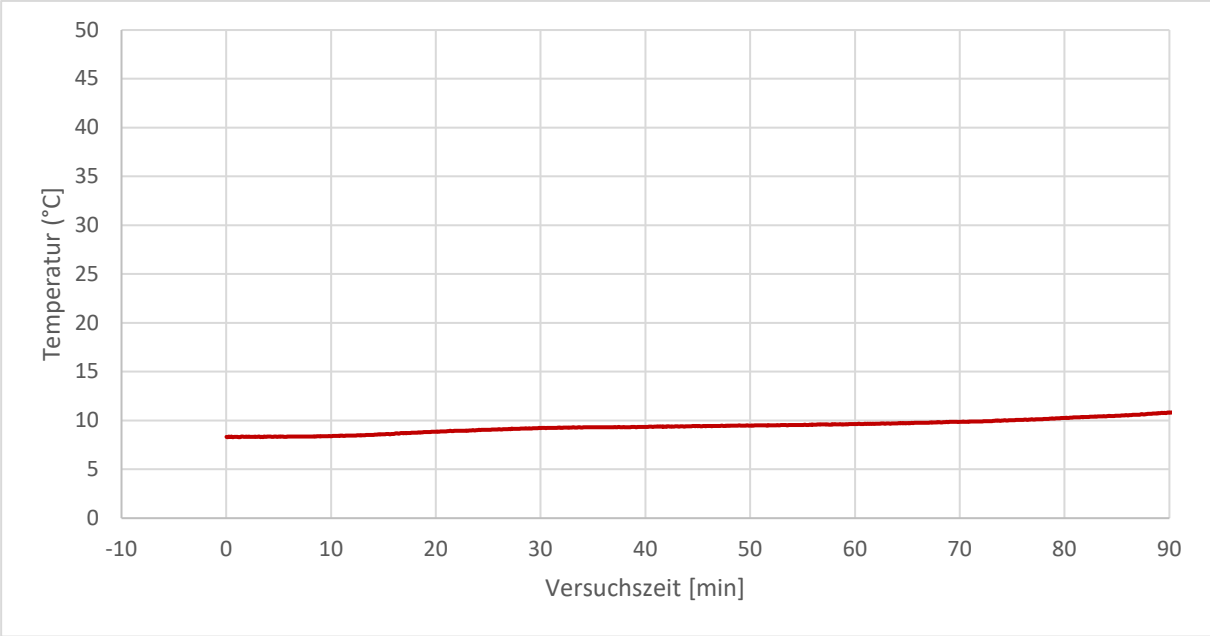
Massenstrom C_xH_y und NO_x (netto)



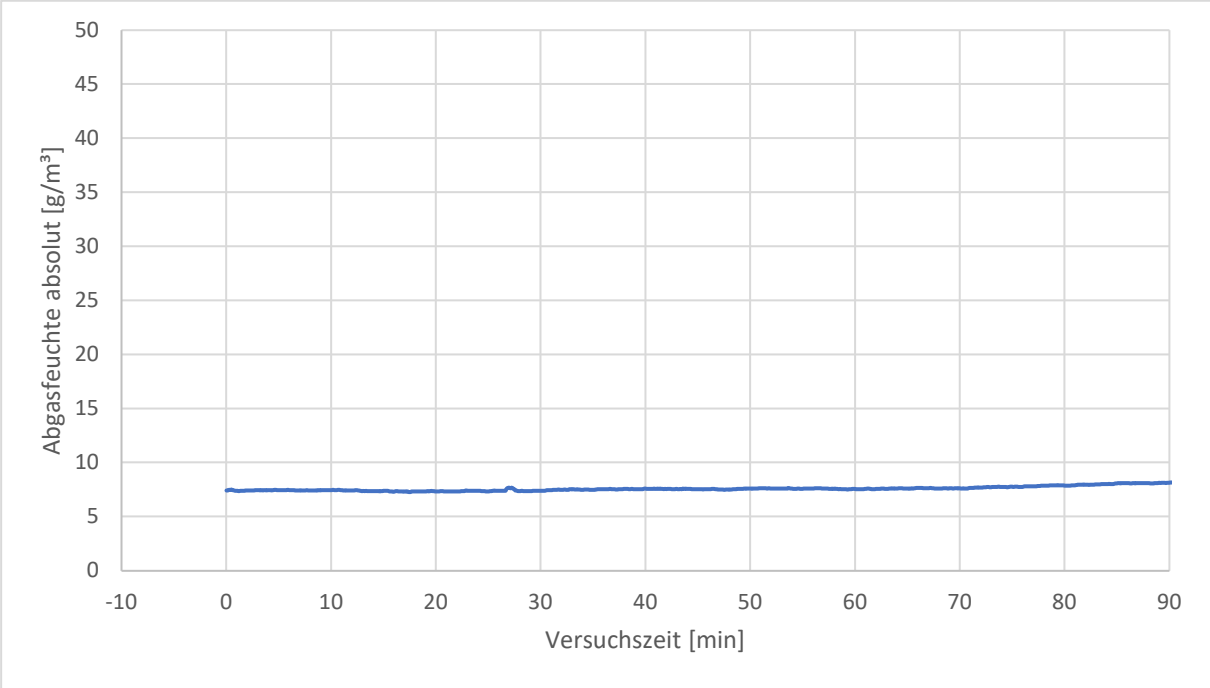
O_2-Konzentration



Abgastemperatur



Absolute Abgasfeuchte



3.3. Zusätzliche Ereignisse

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
5.	Volumenstrom Gasanalytik nachjustiert auf 2 l/s	
12.	Decke nachgedichtet	
18.	Brandschutzmasse am Bauteilrand links undicht, nachgedichtet	
19.	Erstes Abfallen kleiner Stücke von der Decke	x
21.	Optisch kein Rauch im RAK erkennbar	x
60.	Risse in Gipsplatte vertikal erkennbar	x
65.	Weiterhin optisch kein Rauch im RAK erkennbar	x
74.	Abfallen größerer Stücke von der Decke	x
83.	Leichtes Ablösen der Schmalseitenabklebung mittig	
85.	Abfallen größerer Segmente der Gipsplatte	
90.	Versuchsende, Wattebauschtest an Fuge negativ	

4. Anhänge/Fotodokumentation

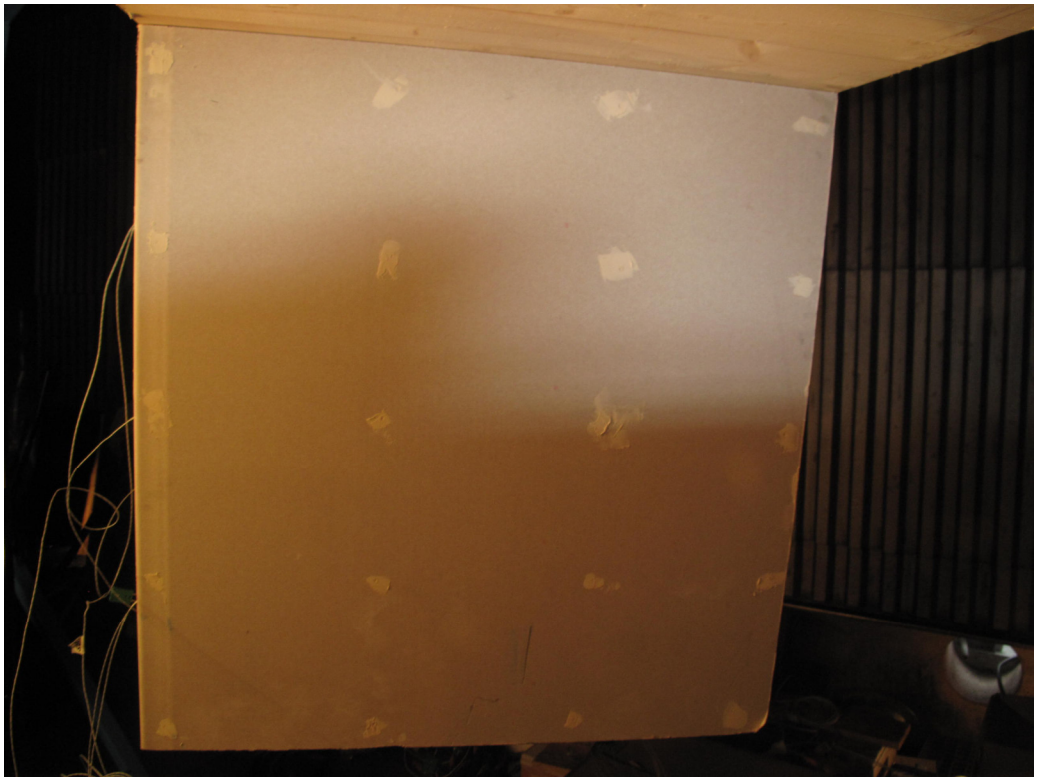


Abbildung 1: Wand brandzugewandte Seite vor Versuchsbeginn



Abbildung 2: Decke brandzugewandte Seite vor Versuchsbeginn



Abbildung 3: Fuge brandzugewandte Seite vor Versuchsbeginn

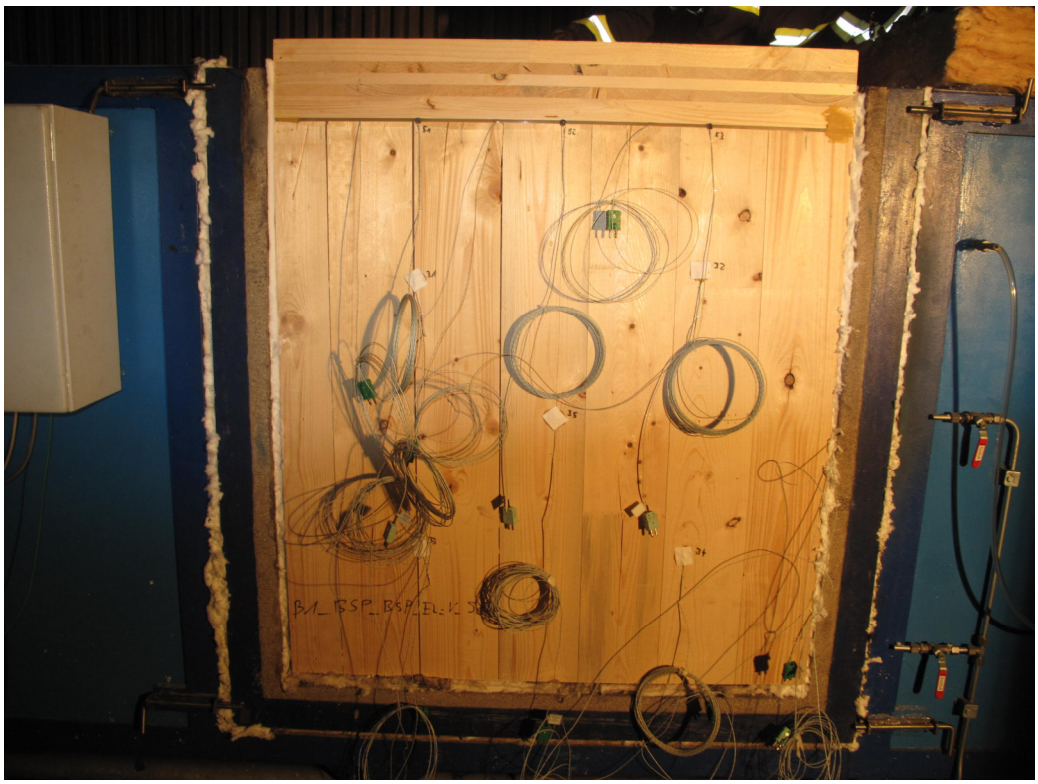


Abbildung 4: Wand brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn

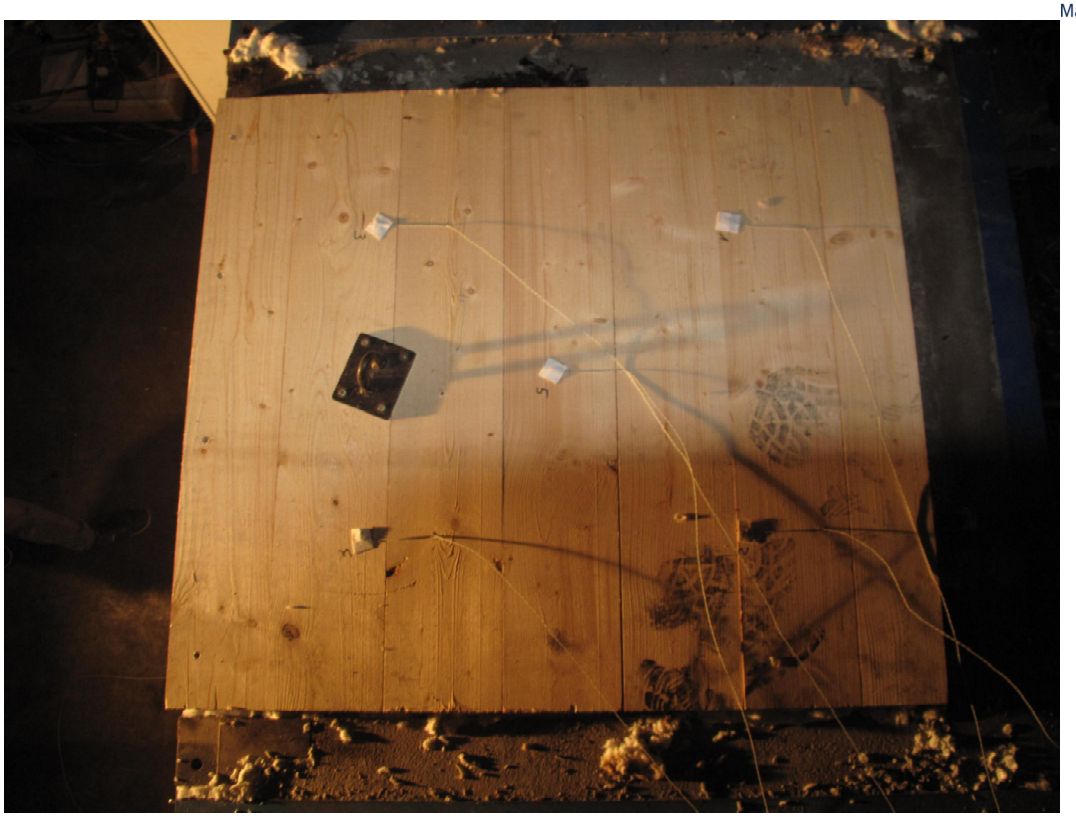


Abbildung 5: Decke brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn



Abbildung 6: Fuge brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn

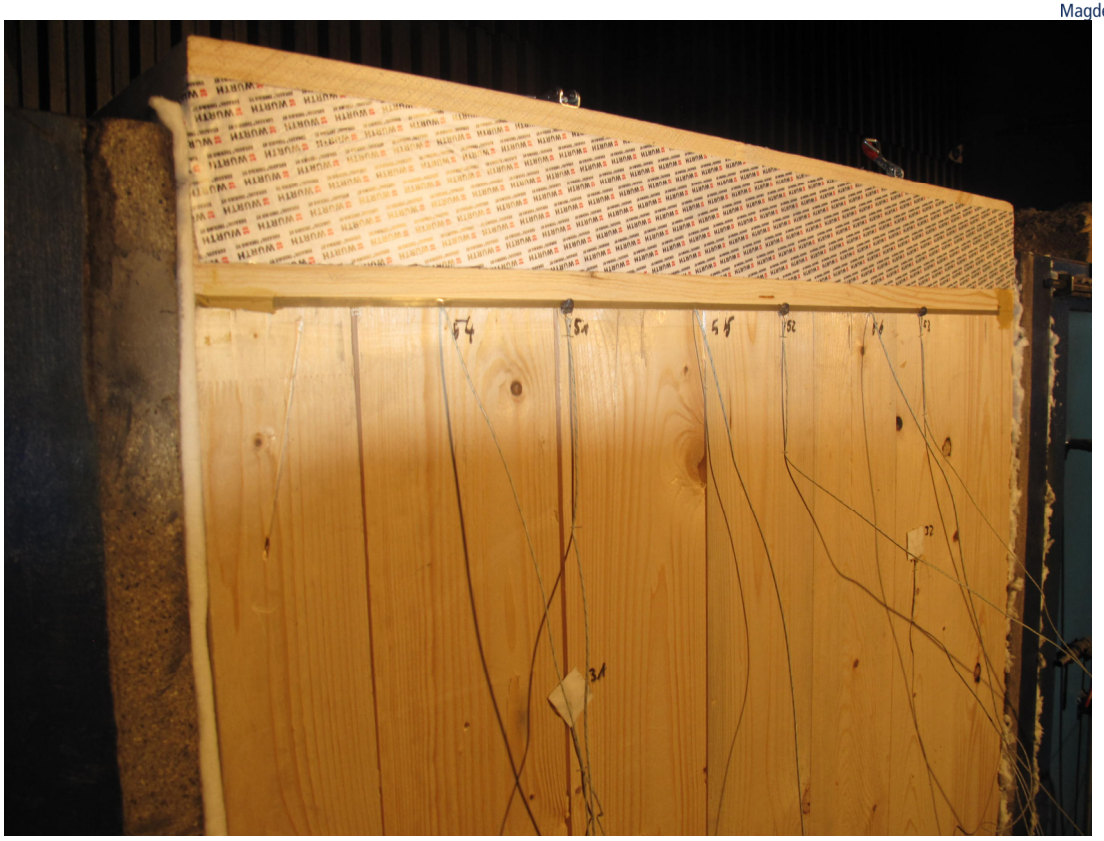


Abbildung 7: Abklebung der Schmalseite Decke



Abbildung 8: Anbringung des Rauchauffangkastens



Abbildung 9: Leichter Rauchdurchtritt an Brandschutzverklebung außerhalb RAK



Abbildung 10: Brandraumkamera (5. Brandminute)



Abbildung 11:Brandraumkamera (10. Brandminute)

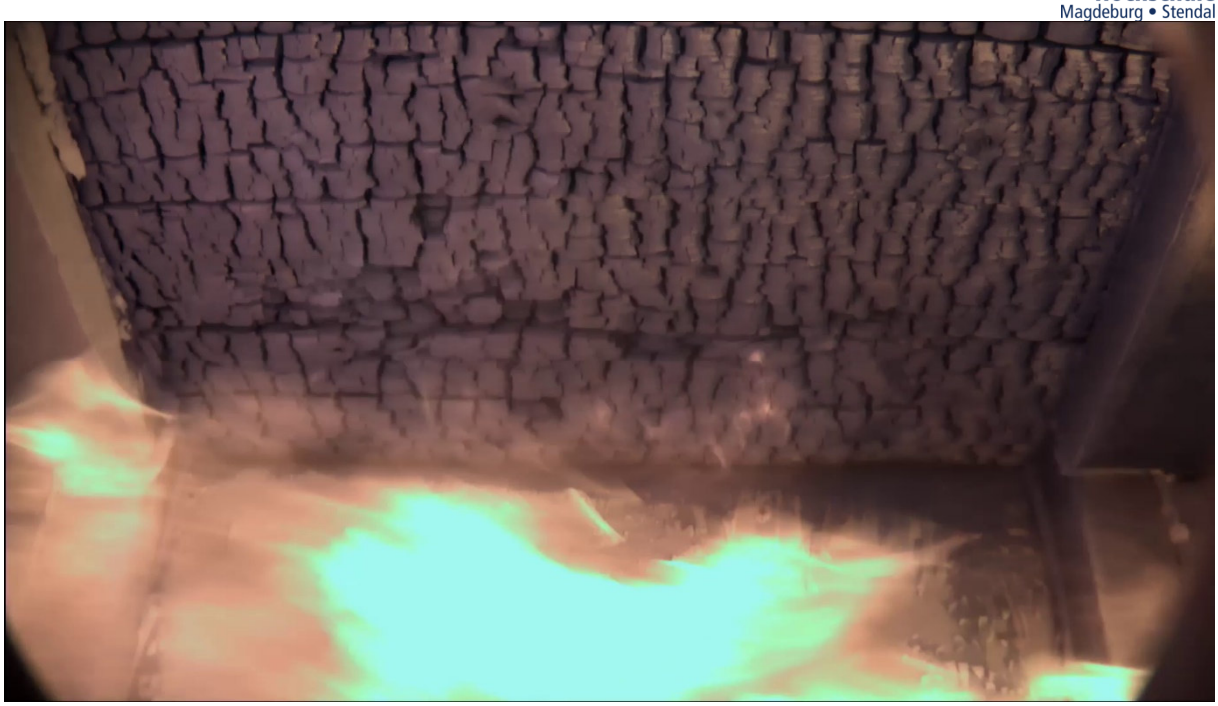


Abbildung 12: Brandraumkamera (30. Brandminute)



Abbildung 13: Brandraumkamera (60. Brandminute)

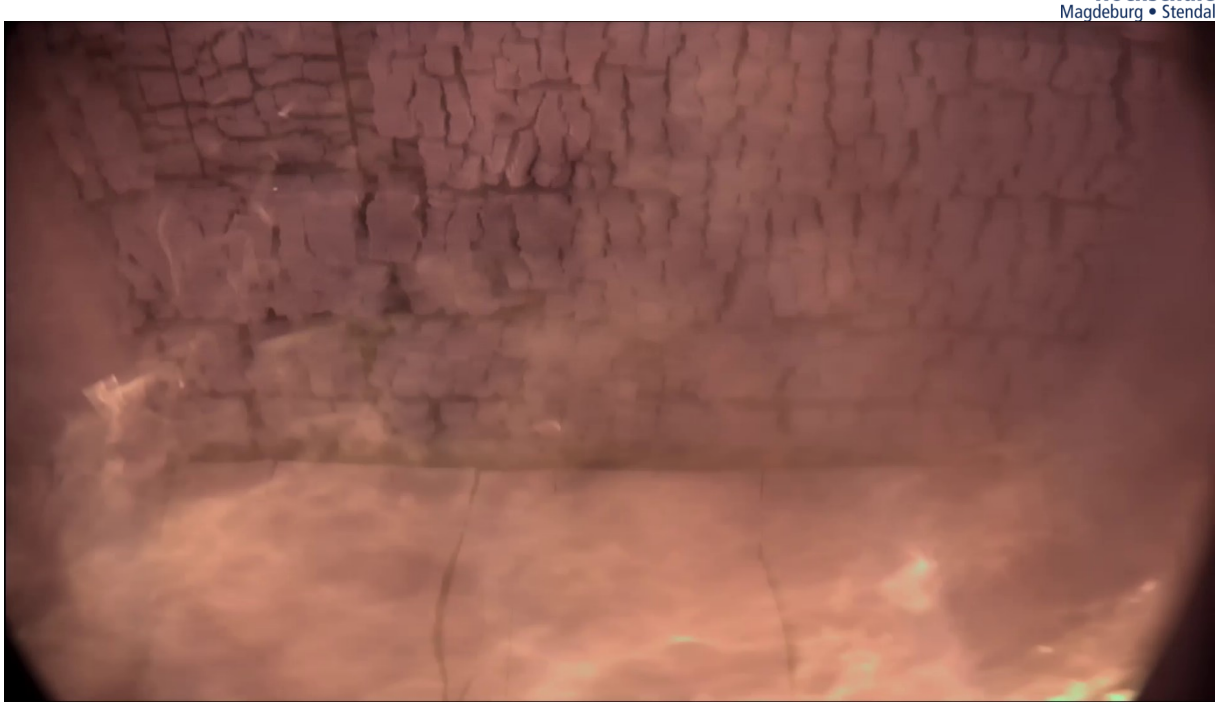


Abbildung 14: Brandraumkamera (75. Brandminute)

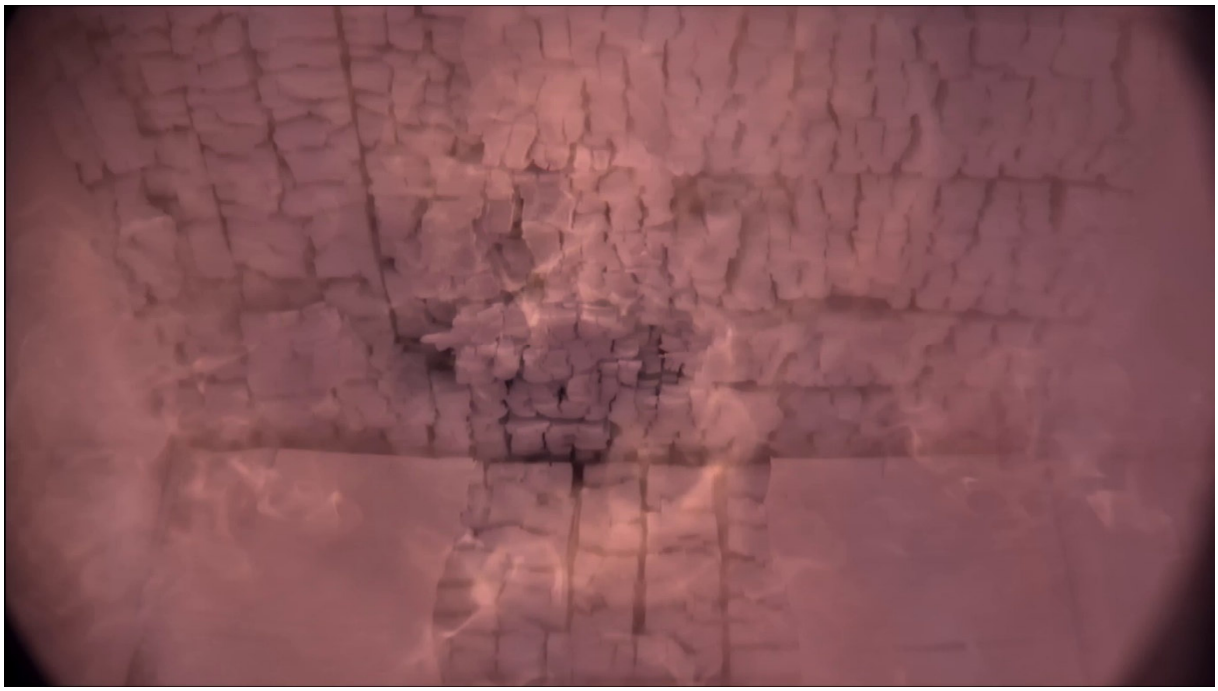


Abbildung 15: Brandraumkamera (90. Brandminute)



Abbildung 16: Keine Rauchentwicklung im RAK erkennbar (65. Brandminute)

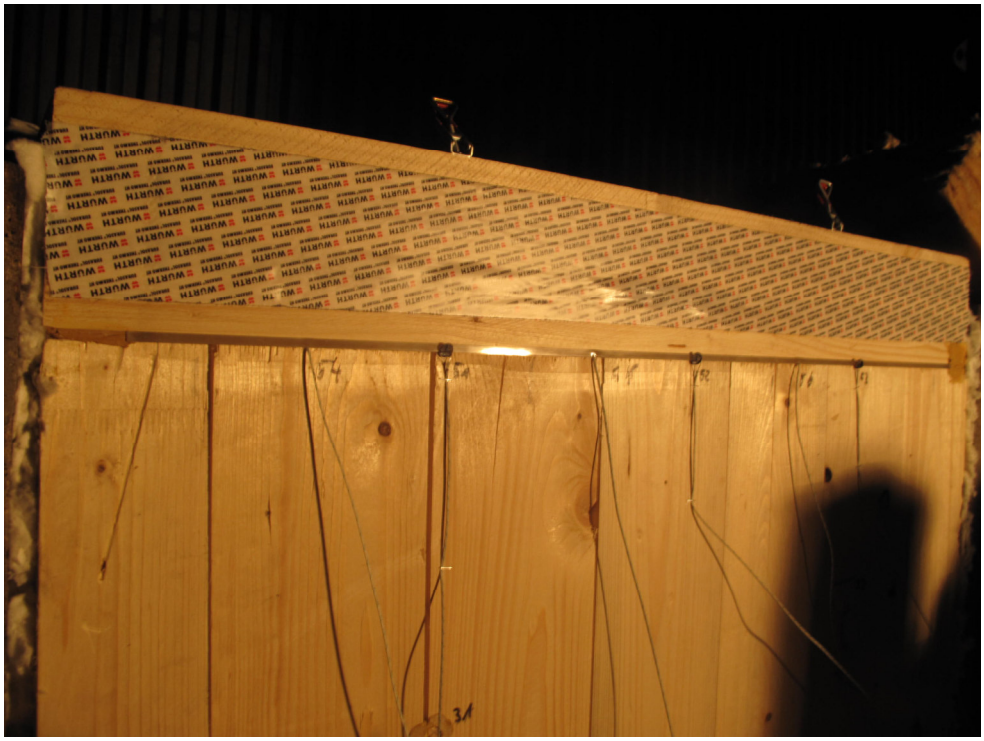


Abbildung 17: Leichtes Ablösen des Klebebands im mittleren Bereich (90. Brandminute)



Abbildung 18: Elastomerlager nach Versuchsende



Abbildung 19: Fuge nach Versuchsende

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: Z05_HT-BSP-EL-V

Datum: 28.11.2019

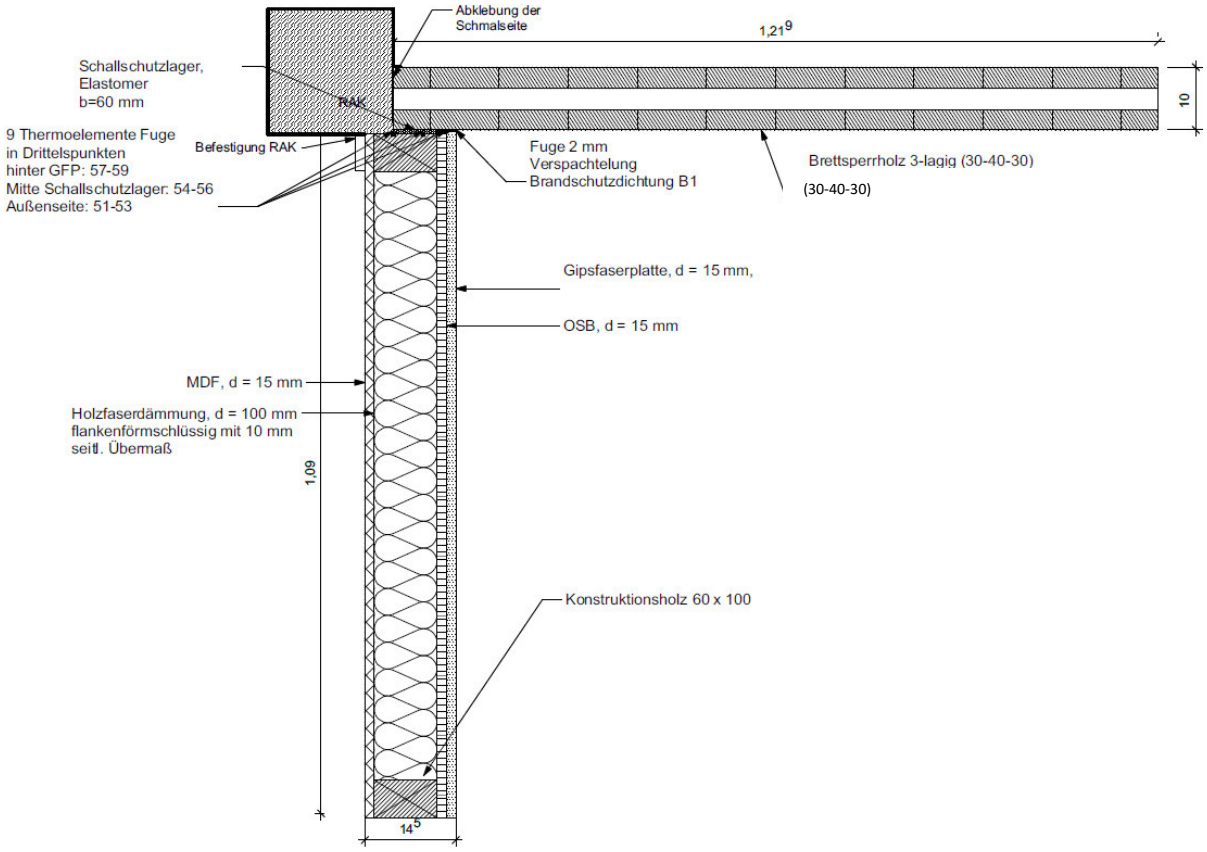
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite) 4
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, OSB-Platte) 4
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, Gipsplatte) 5
Draufsicht (brandabgewandte Seite) 5
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 6
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 6
Weitere verwendete Materialien 6
2.Versuchsparameter 7
2.1 Umgebungsbedingungen 7
2.2 Prüfbedingungen 7
Temperaturzeitkurve 7
Grenzabweichungen 8
Ofenüberdruck 8
3.Auswertung 9
3.1. Temperaturverläufe 9
Temperaturverlauf Bauteilfuge 9
Temperaturverlauf Wand 10
Temperaturverlauf Decke 11
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 12
Volumenstrom 12
Massenströme CO, CO_2 12
Massenströme C_xH_y, NO_x 13
O_2-Konzentration 13
Abgastemperatur 14
Absolute Abgasfeuchte 14
3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 15
4. Anhänge/Fotodokumentation 16

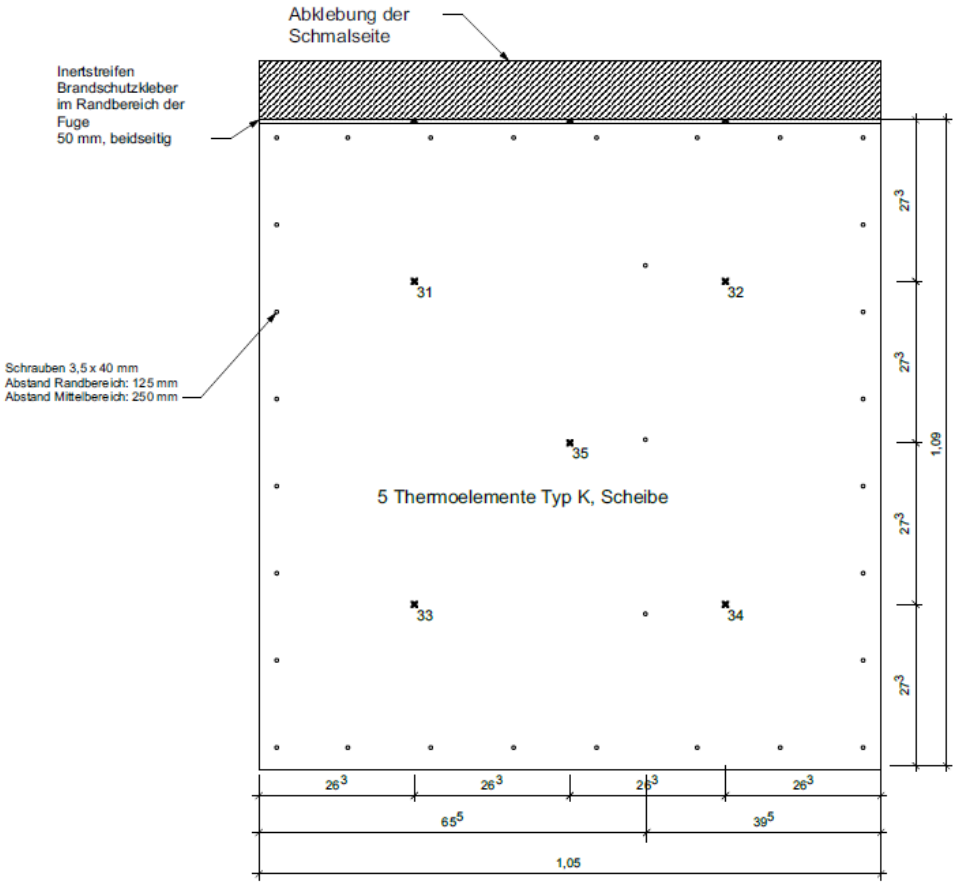
1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

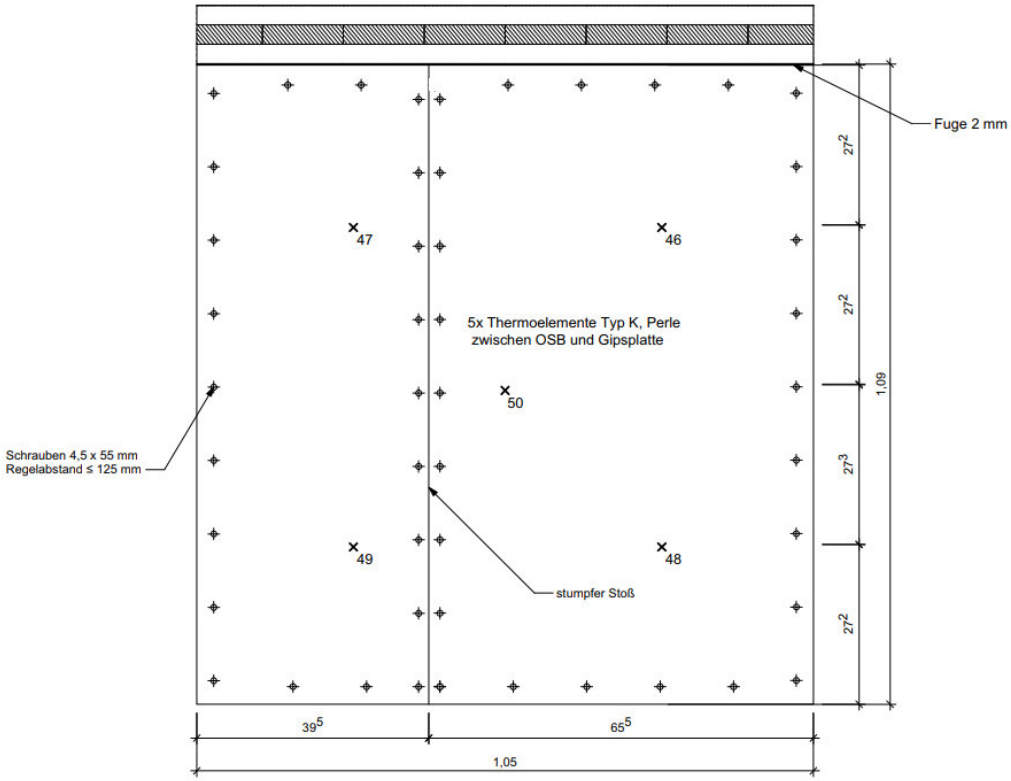
Schnitt



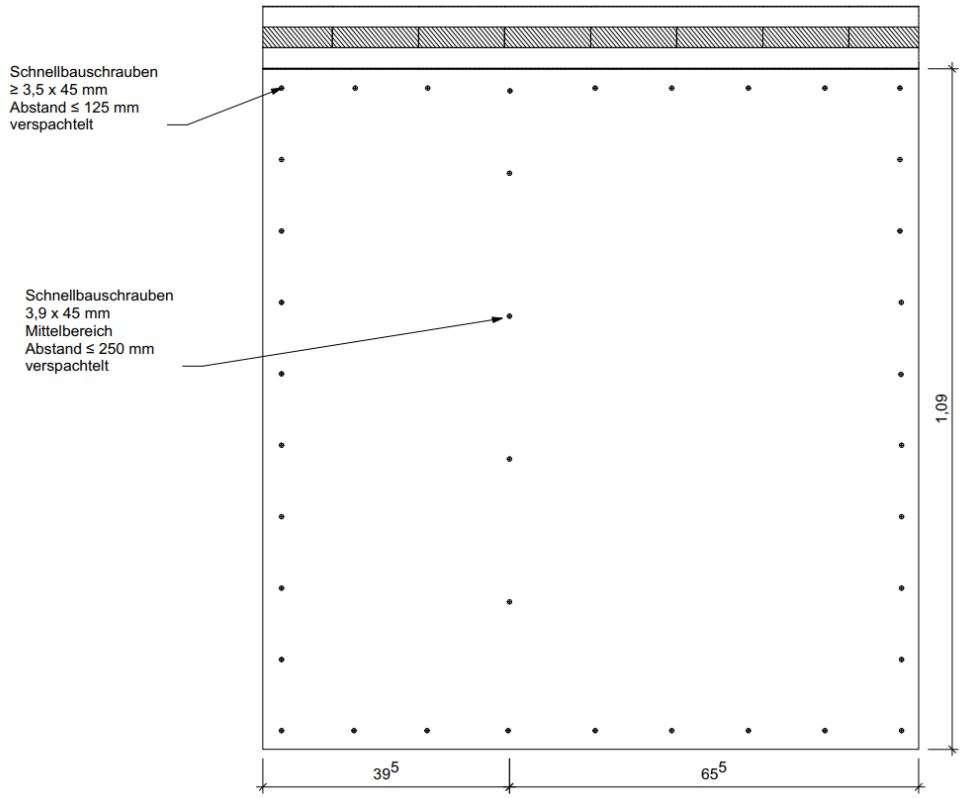
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite)



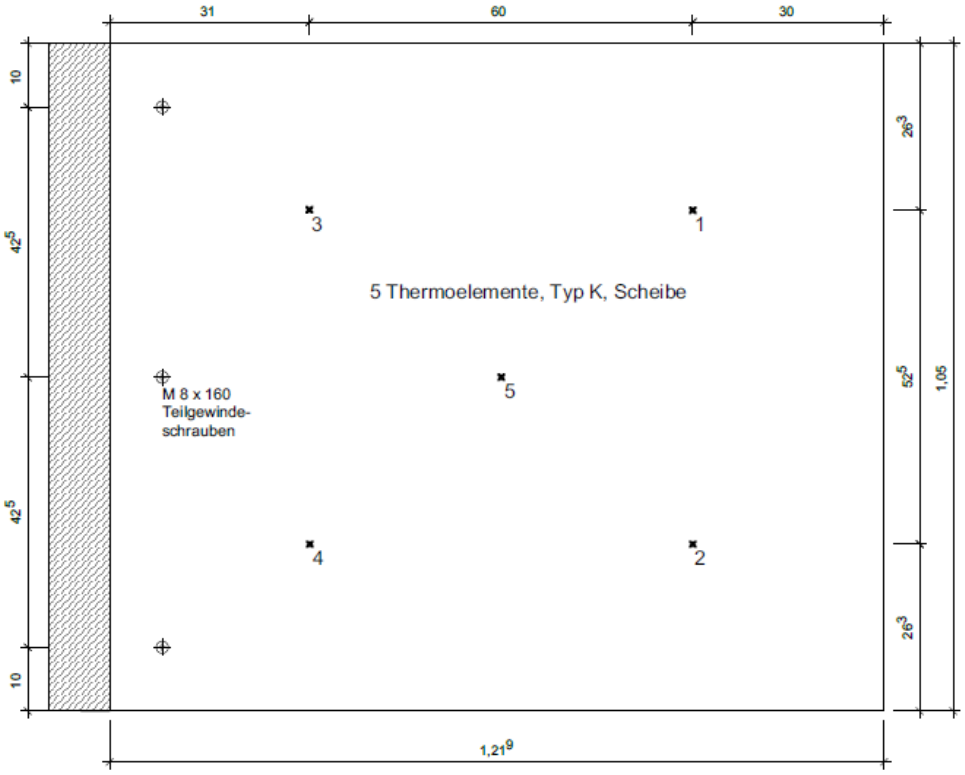
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, OSB-Platte)



Ansicht Wand (brandzugewandte Seite, Gipsplatte)



Draufsicht (brandabgewandte Seite)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
W1	Gipsfaserplatte 15 mm	1140	1 %	JamesHardie (Fermacell ®)
W2	OSB/3 15 mm	610	6 %	Egger
W3	Holzfaserdämmung Thermoflex ® 100 mm	50	10 %	Gutex
W3	Konstruktionsvollholz Fi/Ta	470	10 %	Sporkenbach
W4	MDF 15 mm	690	6 %	Egger

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte [kg/m³]	Material-feuchte	Hersteller
D1	100 mm BSP-Element (30-40-30) ohne Flankenverklebung	460	10 %	Derix

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben 3,9 x 45 mm Regelabstand 125 mm	GiX	W1
Teilgewindeschrauben 6,0 x 160 mm	Würth	D1-W3
Bauschrauben 4,5 x 55 mm, Regelabstand 125 mm	SpaX	W2
Holzfaserdämm-Matte Thermoflex ® d=100 mm	GUTEX	W3
Bauschrauben 3,5 x 40 mm, Regelabstand 125 mm	SpaX	W4
Xylophon Shore ® 50, b = 60 mm	Rothoblaas	Bauteilfuge
Brandschutzdichtung B1	Würth	Bauteilfuge
Brandschutzkleber Isifest	HTB	Randbereich Bauteilfuge
Klebeband Eurasol ® HT b = 100 mm	Würth	Abklebung Schmalseite

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	28.11.2019, 12:26:50 Uhr
Versuchsende:	28.11.2019, 13:37:00 Uhr
Versuchsdauer in min:	70

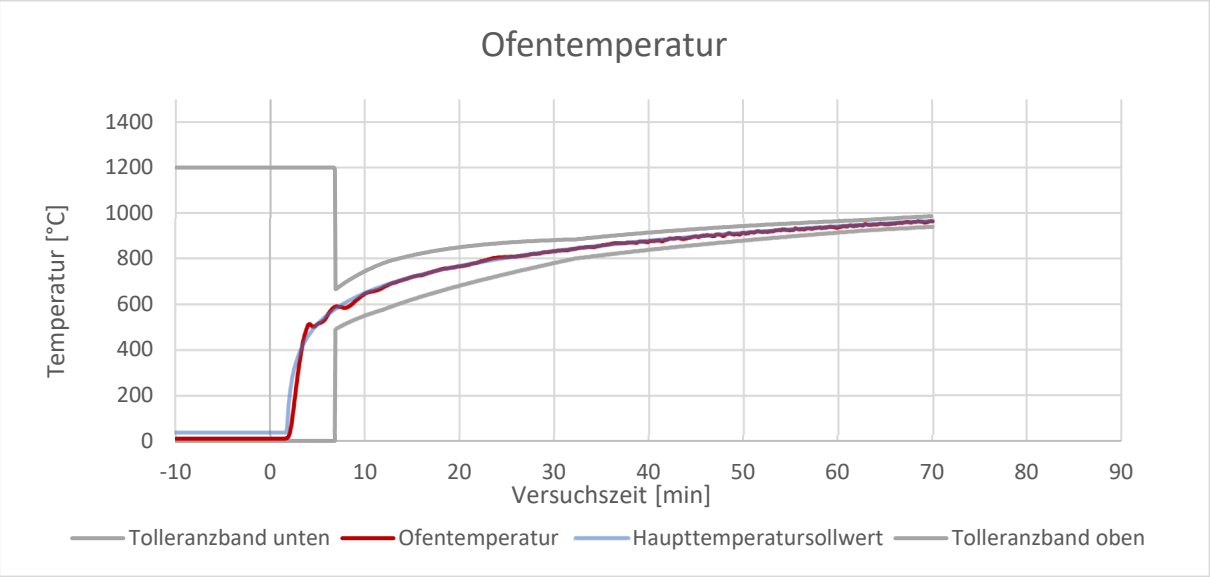
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

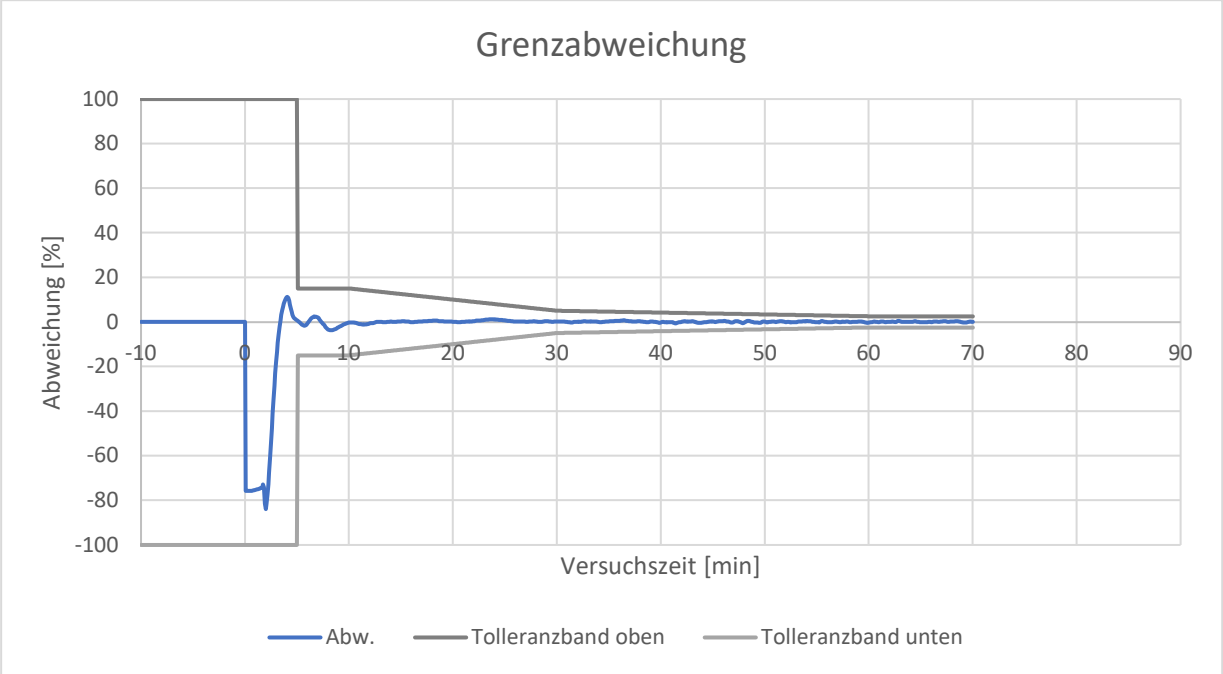
Umgebungsdruck:	984,5 mbar
Umgebungstemperatur:	11,5 °C
Luftfeuchte in %:	68,7 % rh

2.2 Prüfbedingungen

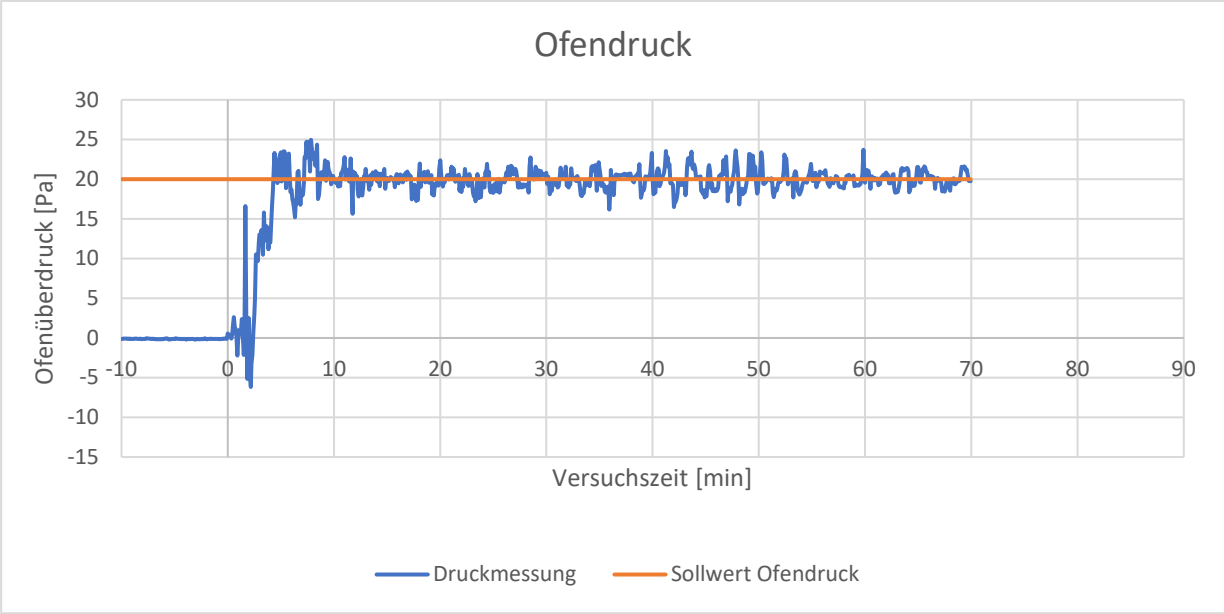
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



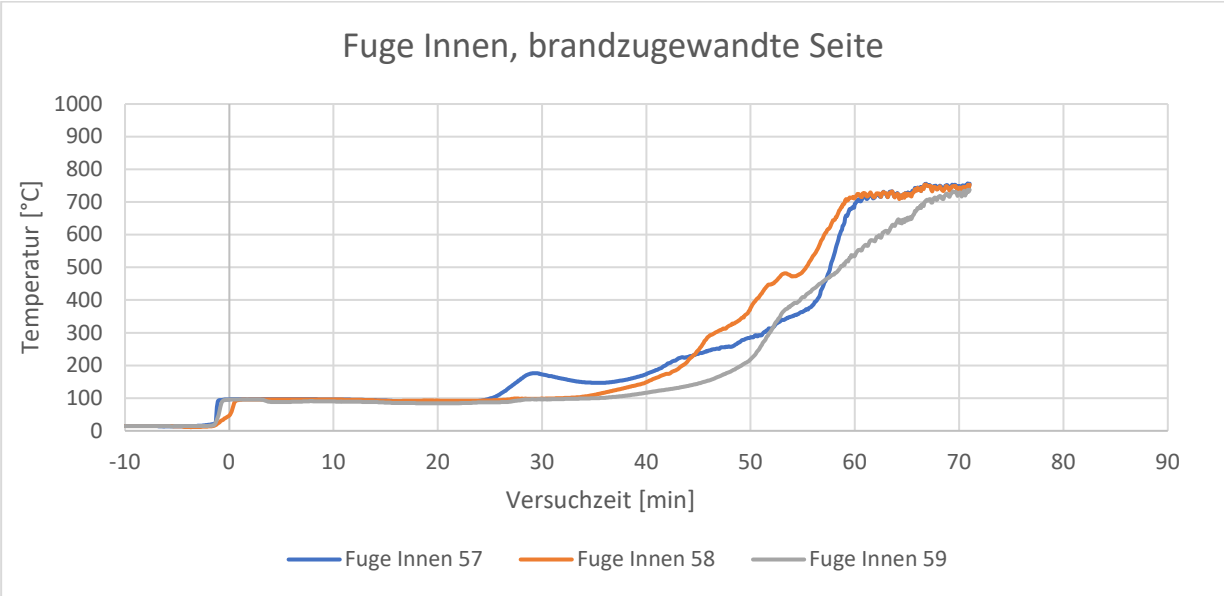
Ofenüberdruck

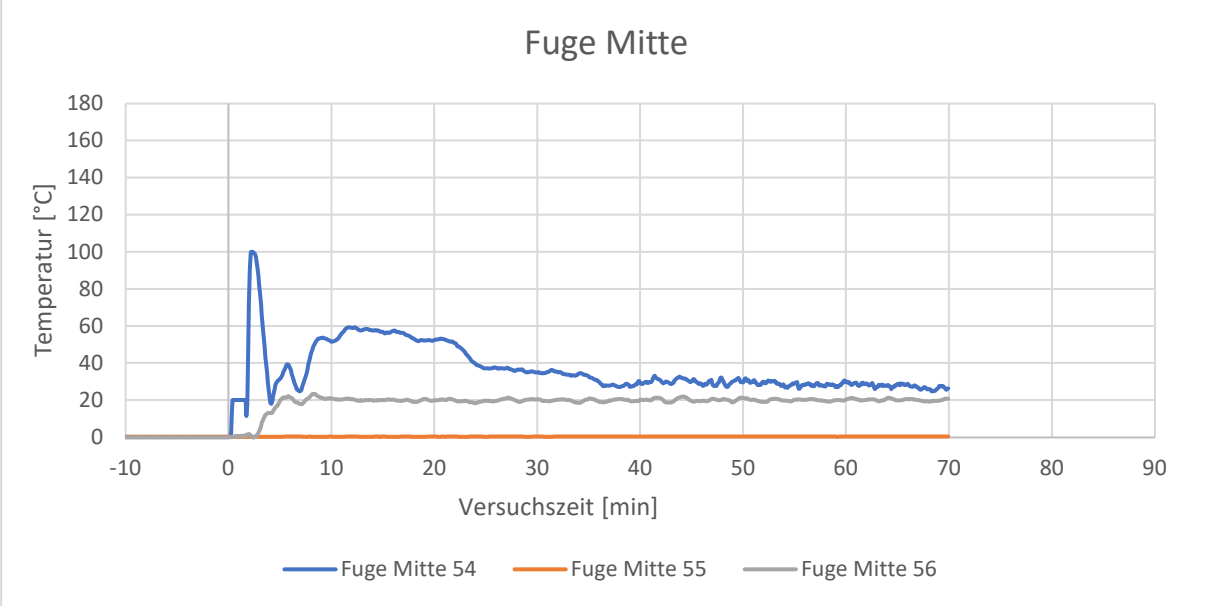


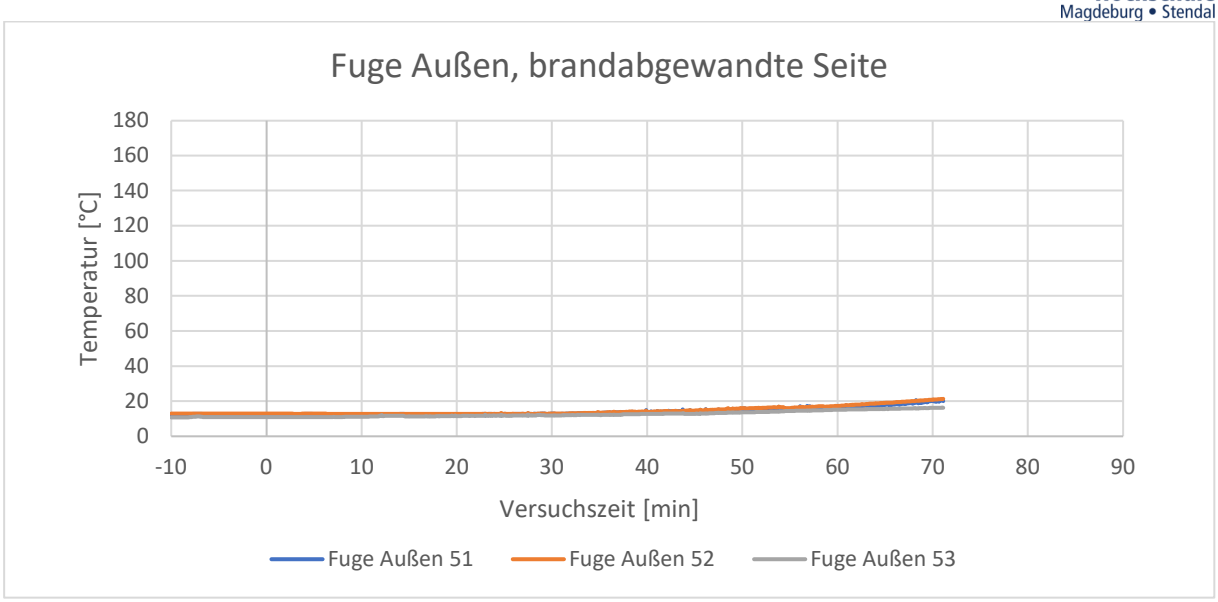
3.Auswertung

3.1. Temperaturverläufe

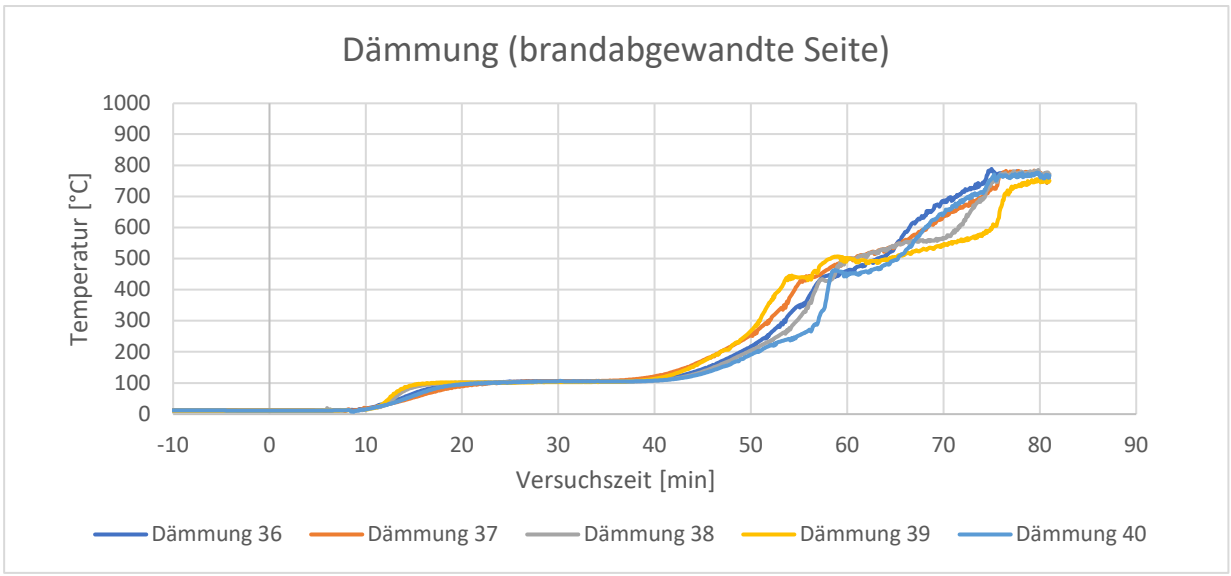
Temperaturverlauf Bauteilfuge

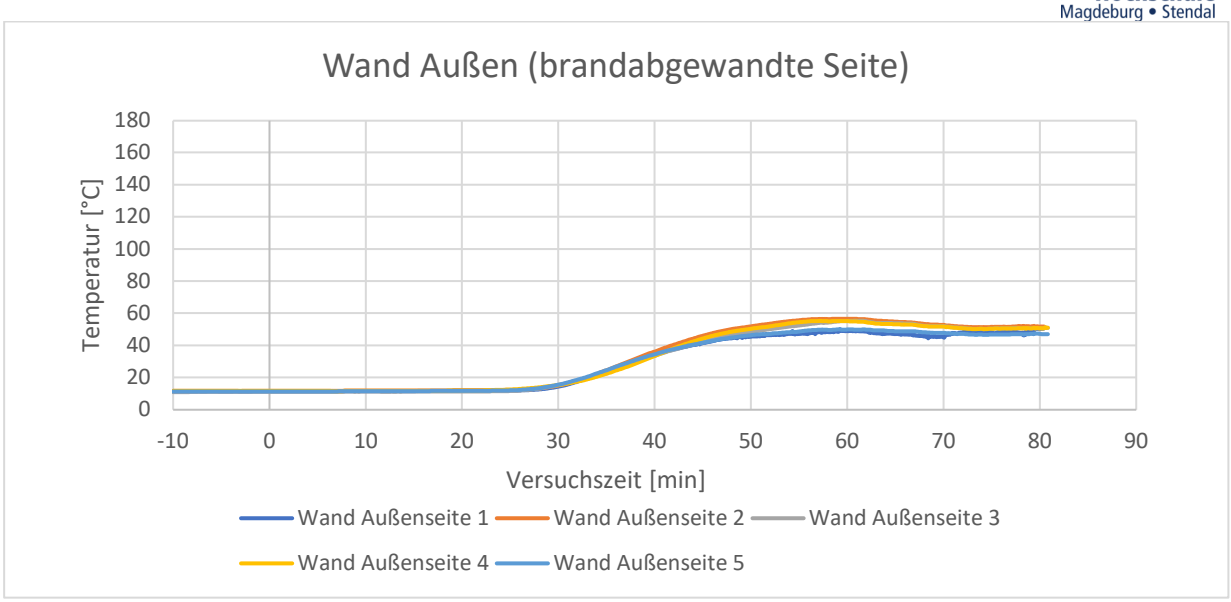




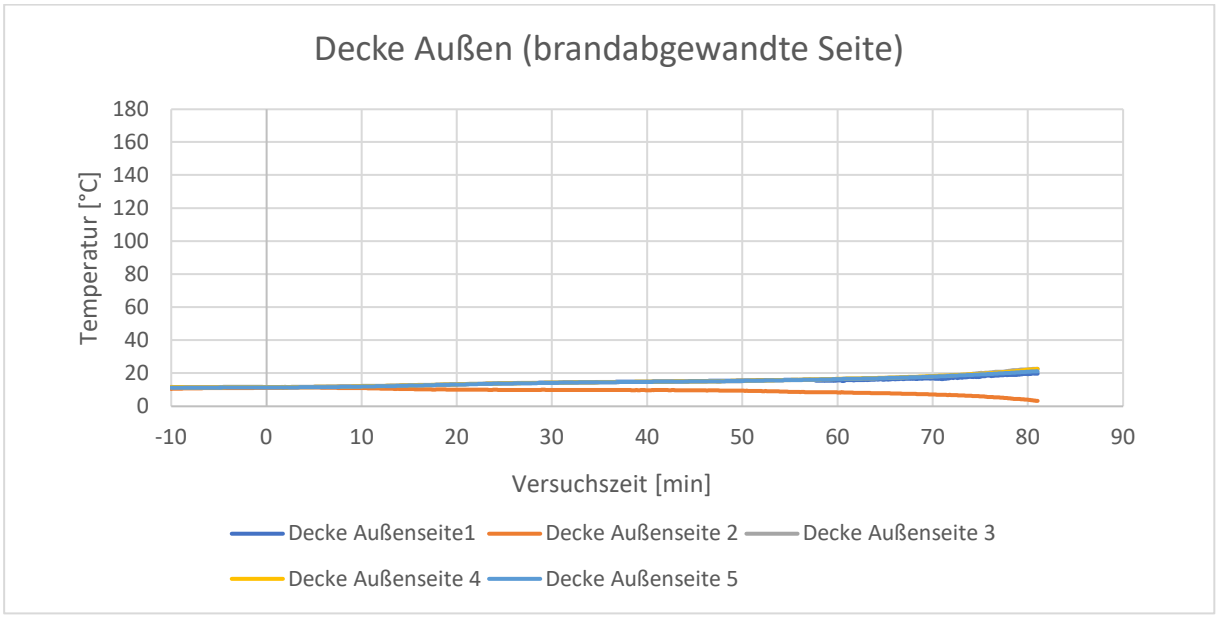


Temperaturverlauf Wand



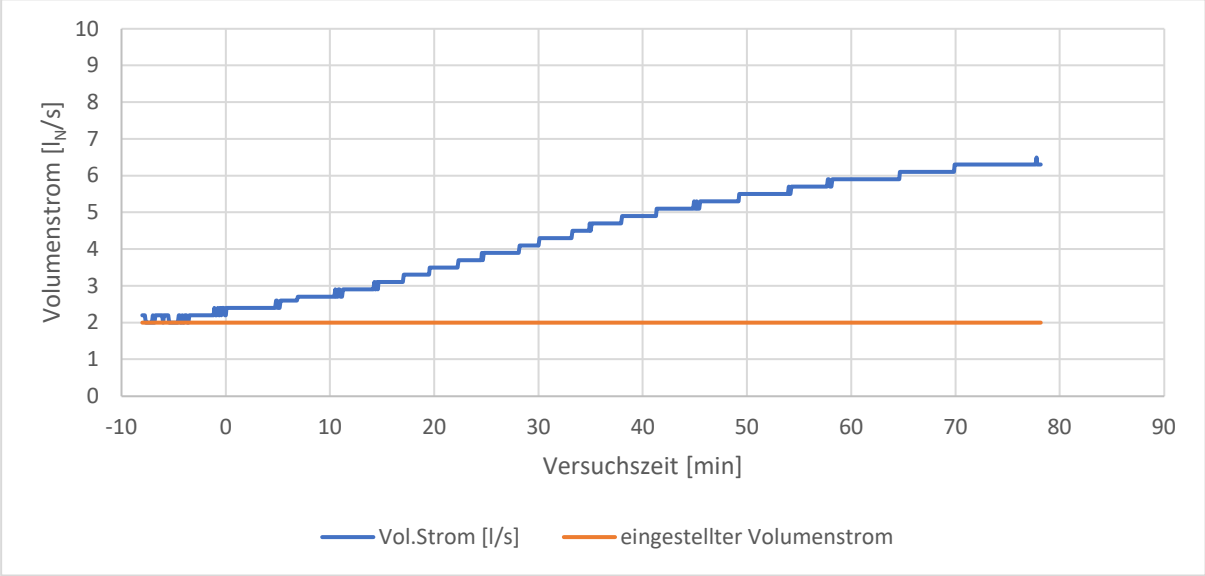


Temperaturverlauf Decke

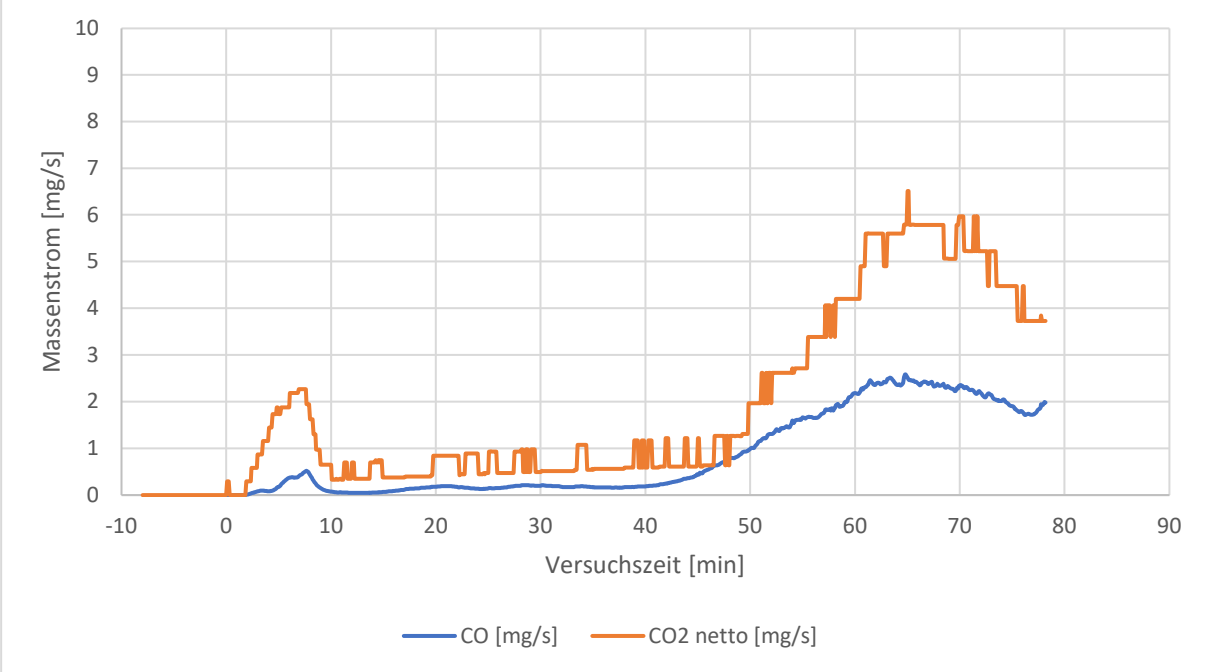


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

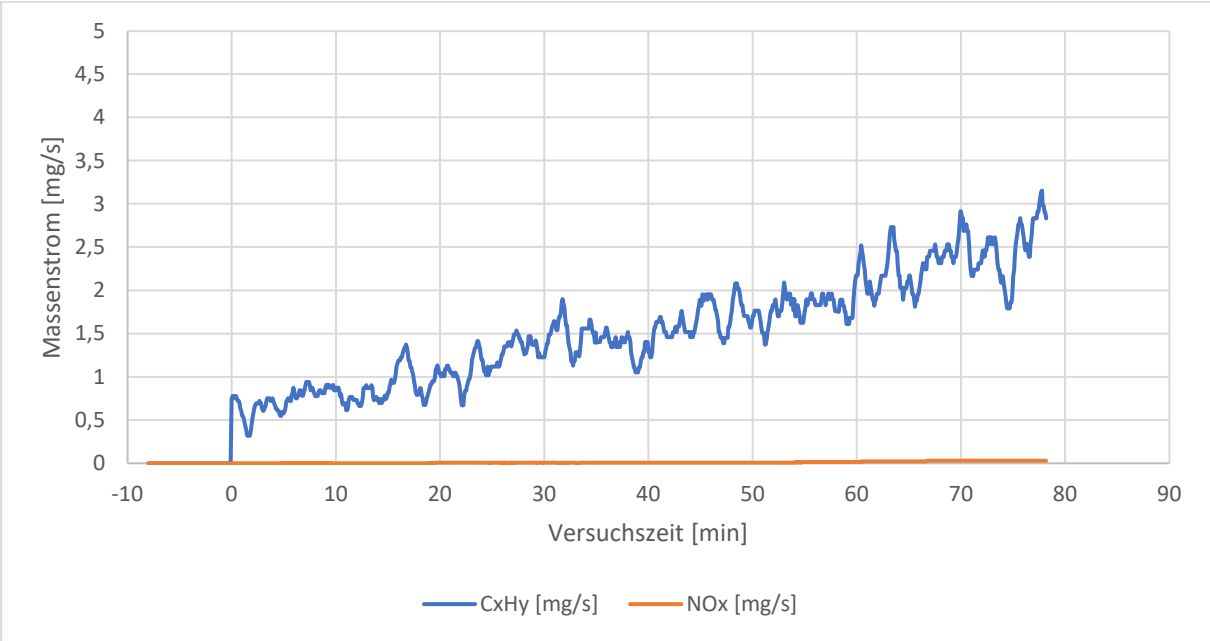
Volumenstrom



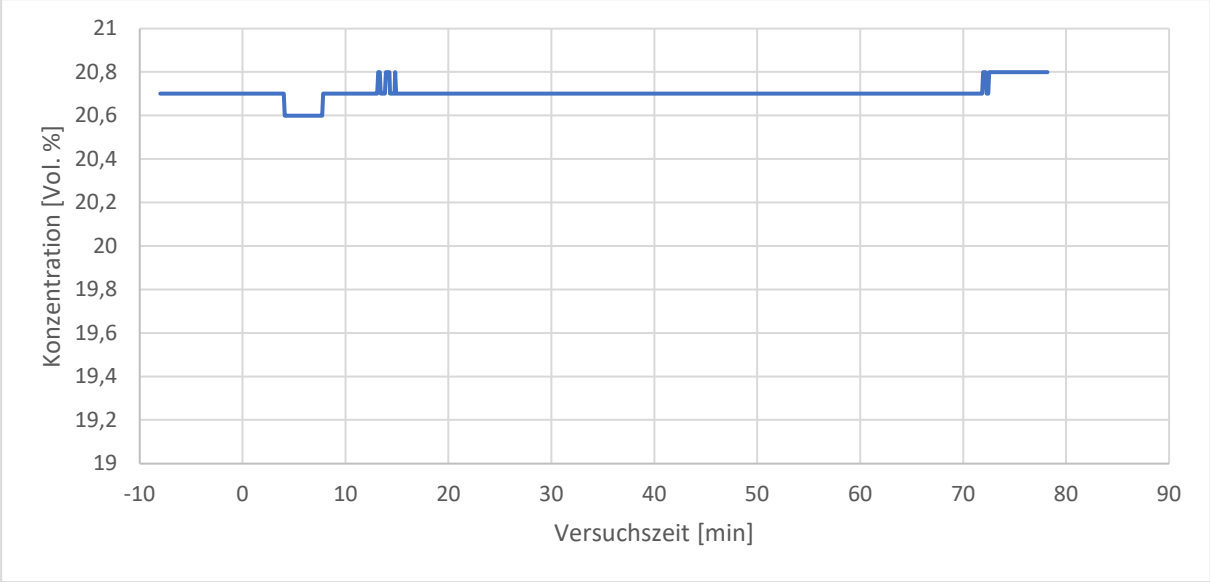
Massenströme CO, CO_2



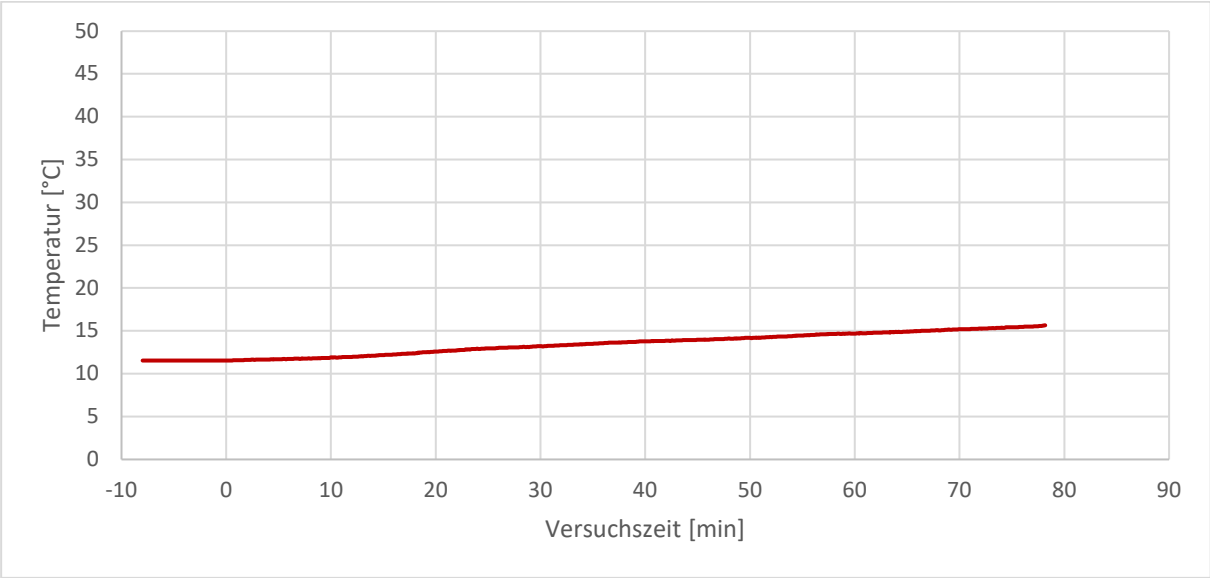
Massenströme C_xH_y, NO_x



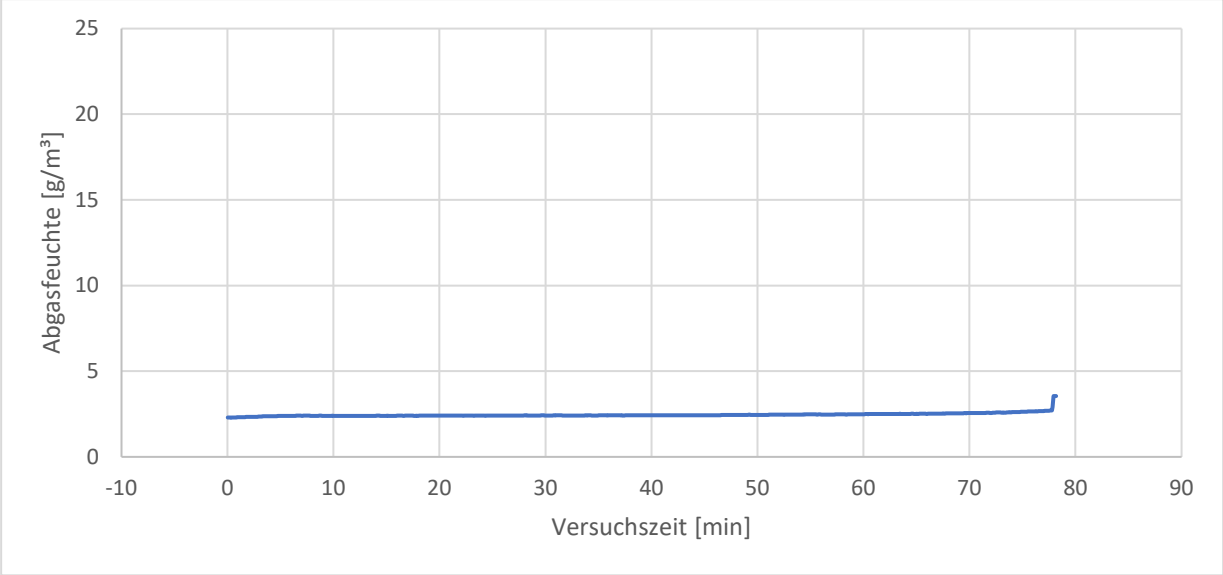
O_2-Konzentration



Abgastemperatur



Absolute Abgasfeuchte



3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
6.	Fehlerbehebung TE 43,44,47	
15.	Rechte Flanke des Ofenrahmens nachgedichtet	
18.	Abfallen kleinerer Deckenfragmente	
31.	Wasserdampfaustritt zw. Rähm und OSB li/.re. außenseitig	x
38.	Schneller Temperaturanstieg TE 57 (Fuge Innen re.), noch keine Rauchentwicklung im RAK	x
60.	Gipsplatte weist auf Ofenkamera starke Rissbildung auf, leichte Rauchentwicklung RAK	
70.	Versuchsende, Gas abgeschaltet	

4. Anhänge/Fotodokumentation

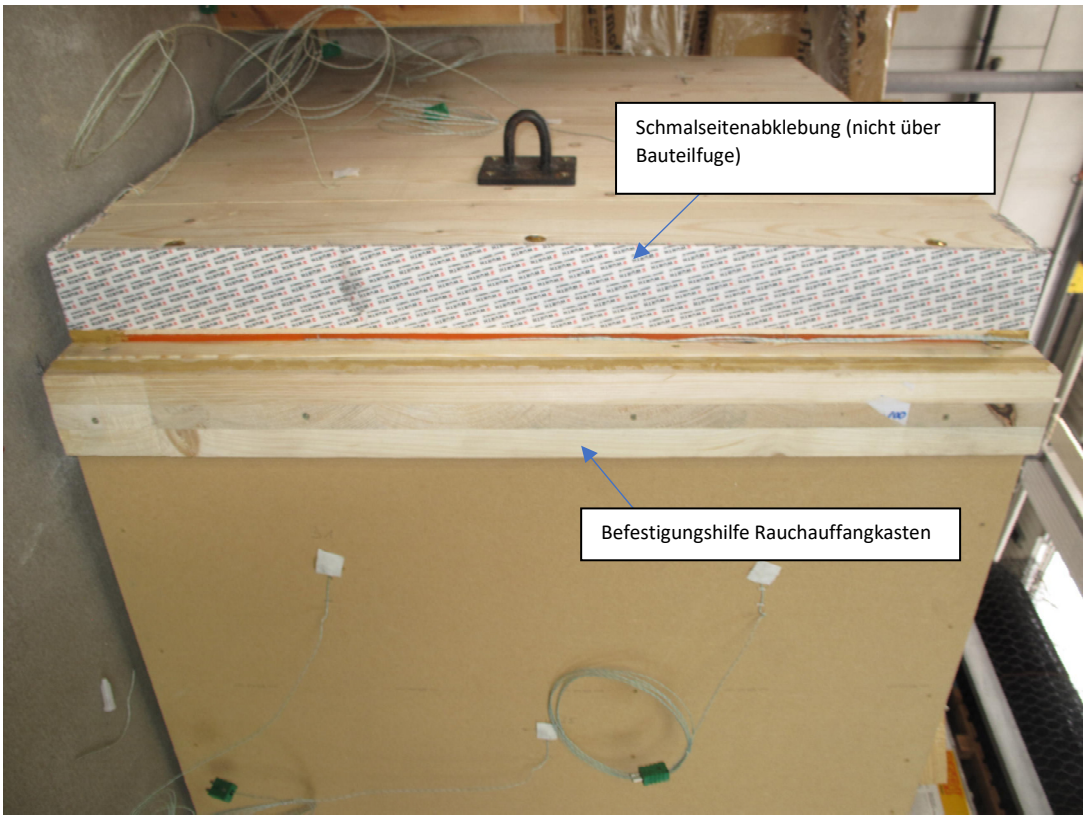


Abbildung 1: Bauteilfügung, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

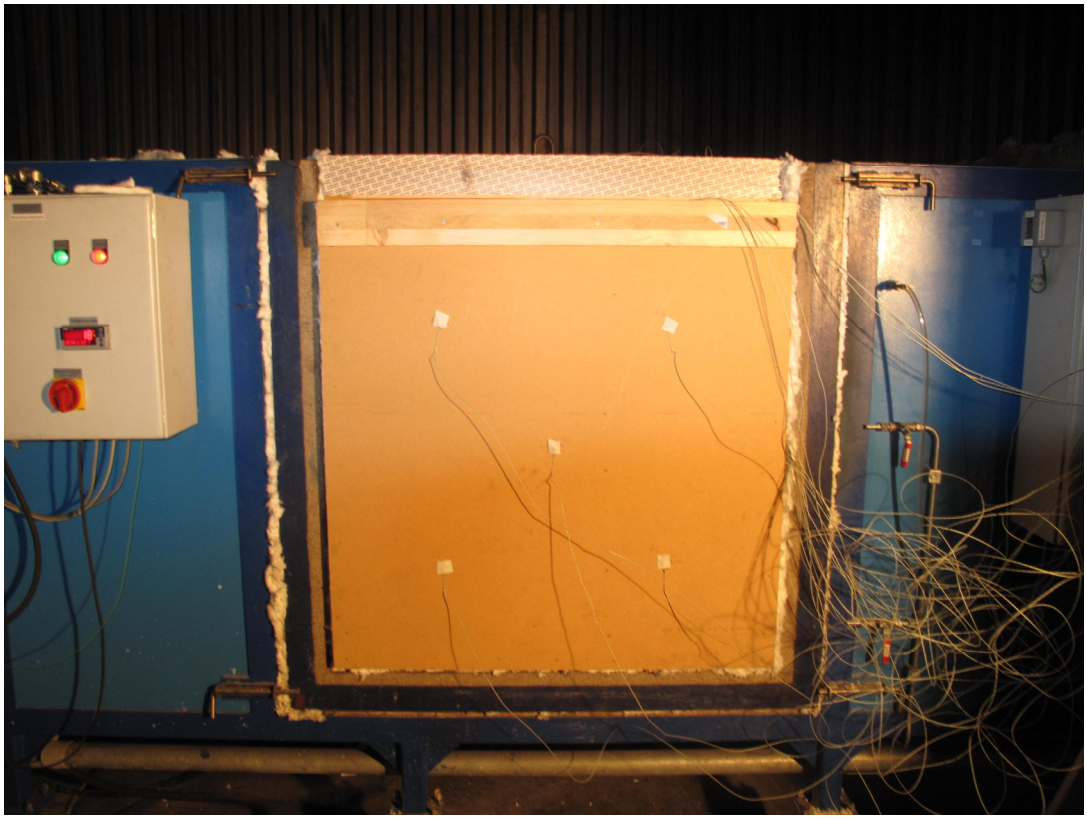


Abbildung 2: Wand, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 3: Decke, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

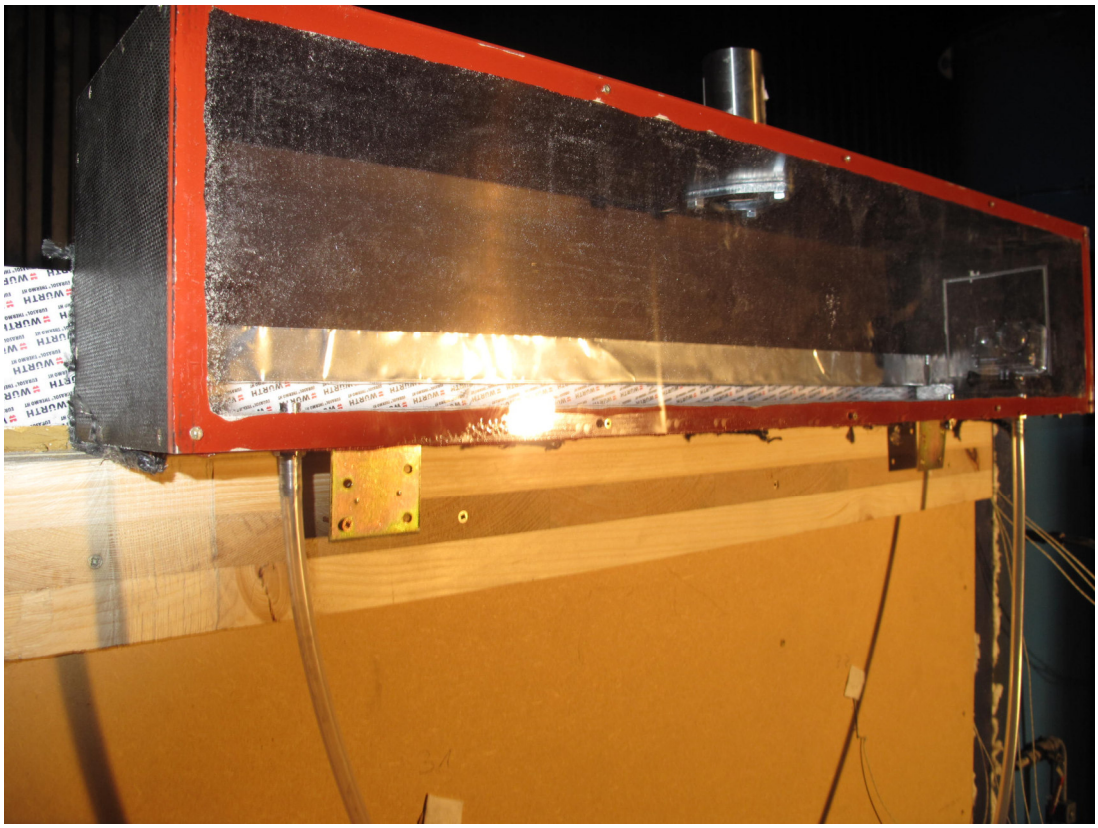


Abbildung 4: Montage Rauchauffangkasten vor Versuchsbeginn



Abbildung 5: Bauteilfuge, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

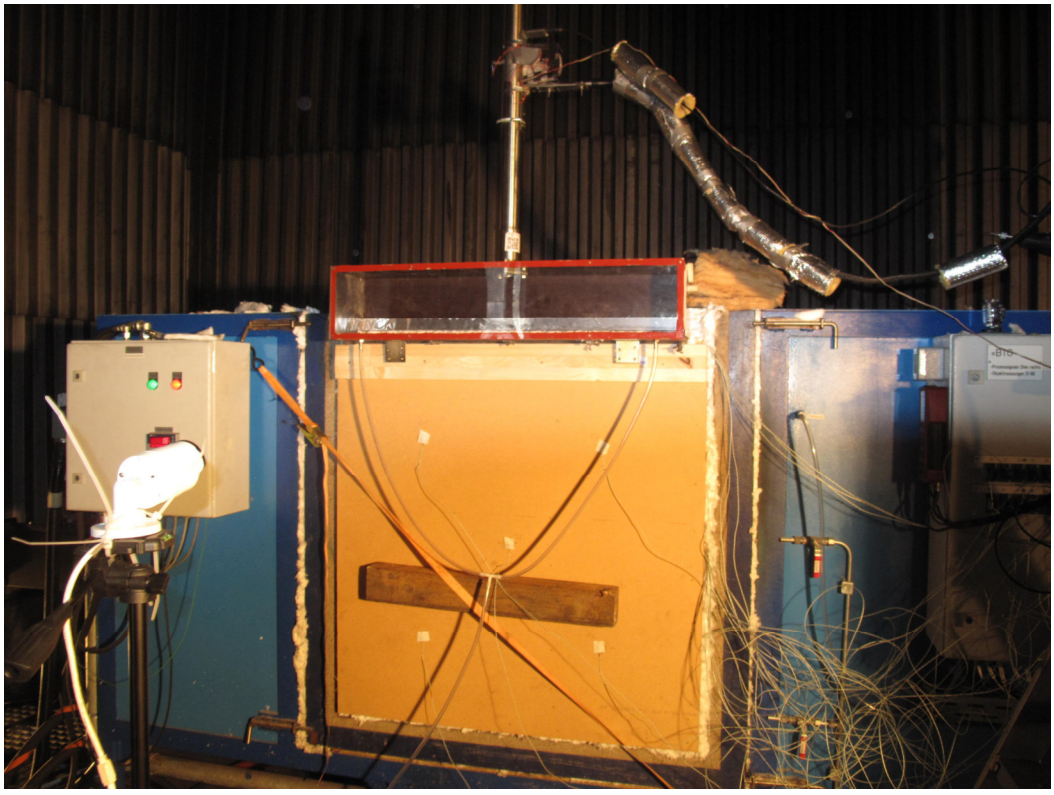


Abbildung 6: Montage des RAK (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 7: Blick auf die Bauteilfuge, brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abbildung 8: Wasserdampfaustritt an der Wand zw. Rähm und OSB, brandabgewandte Seite (31. Brandminute)

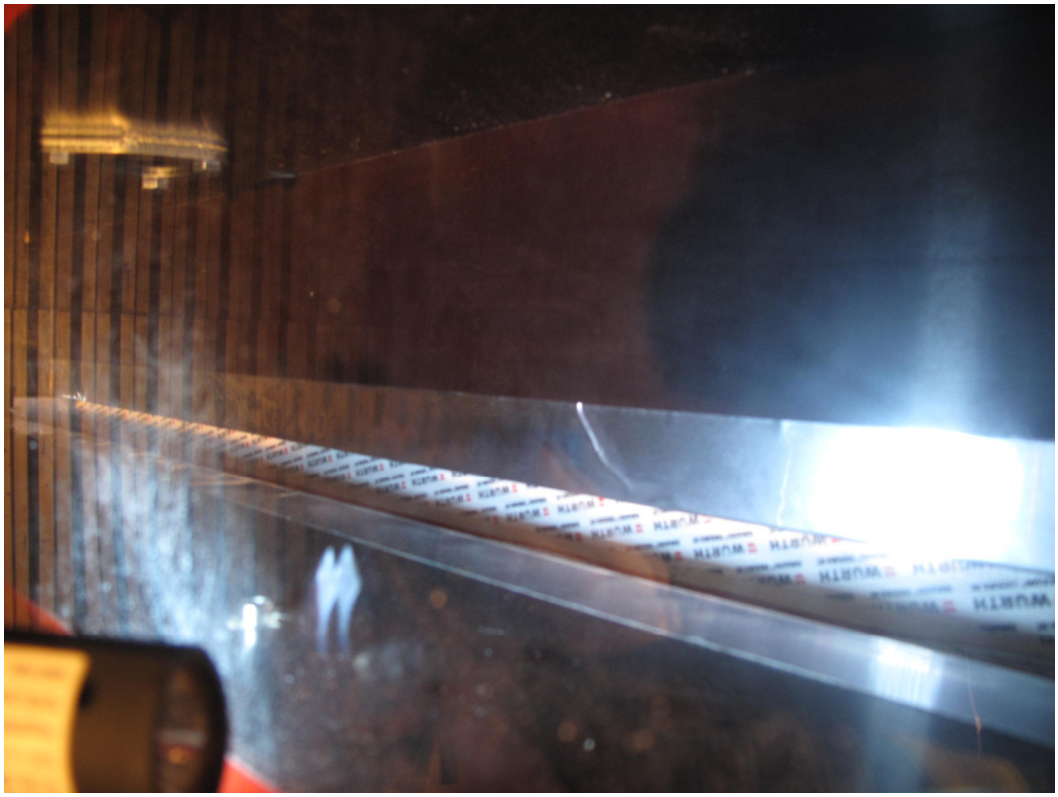


Abbildung 9: Leichte Rauchentwicklung im RAK (50. Brandminute)



Abbildung 10: Rauchentwicklung an der brandabgewandte Seite der Wand (60. Brandminute)



Abbildung 11: Abnahme des RAK, brandabgewandte Seite (70. Brandminute)



Abbildung 12: Blick auf die Bauteilfuge, brandabgewandte Seite (70. Brandminute)

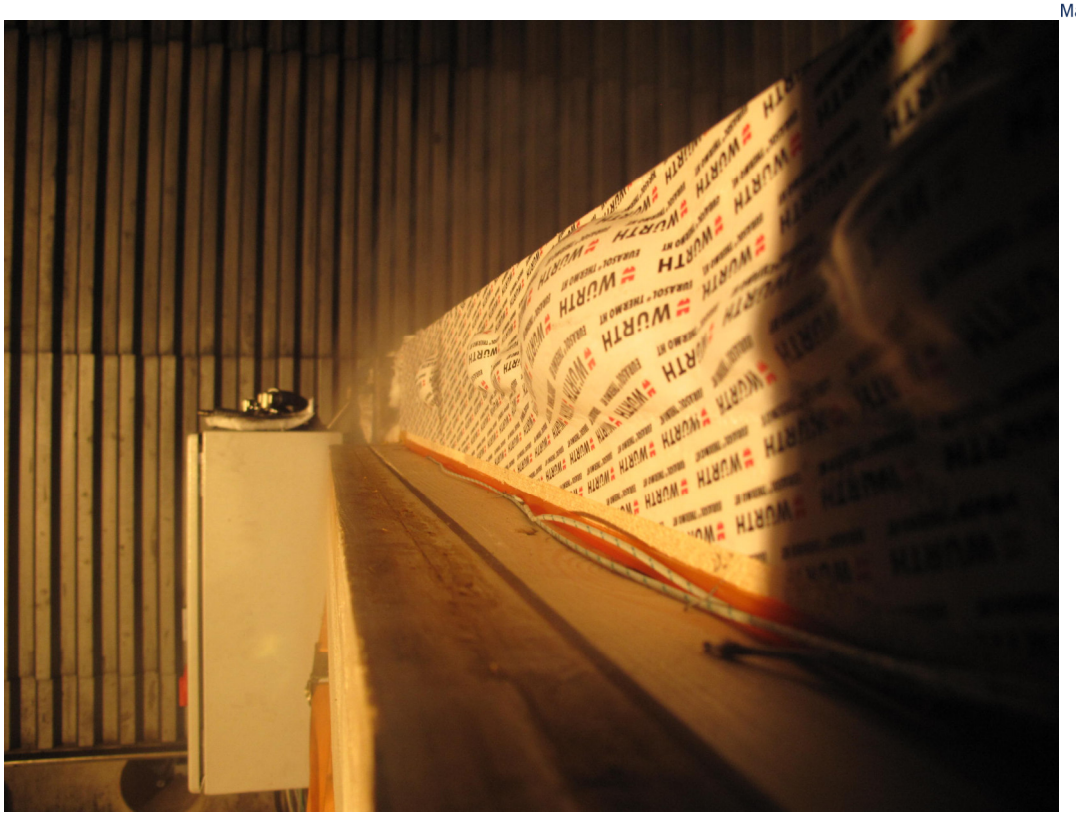


Abbildung 13: Blick auf die Bauteilfuge (70. Brandminute)



Abbildung 14: Wand, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 15: Decke, brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



Abbildung 16: Schallschutzlager (nach Versuchsende)



Abbildung 17: Abbrandtiefe Wandmitte



Abbildung 18: Abbrandtiefe Deckenmitte

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: Z08_HTB_HTB_VB_60

Datum: 04.08.2020

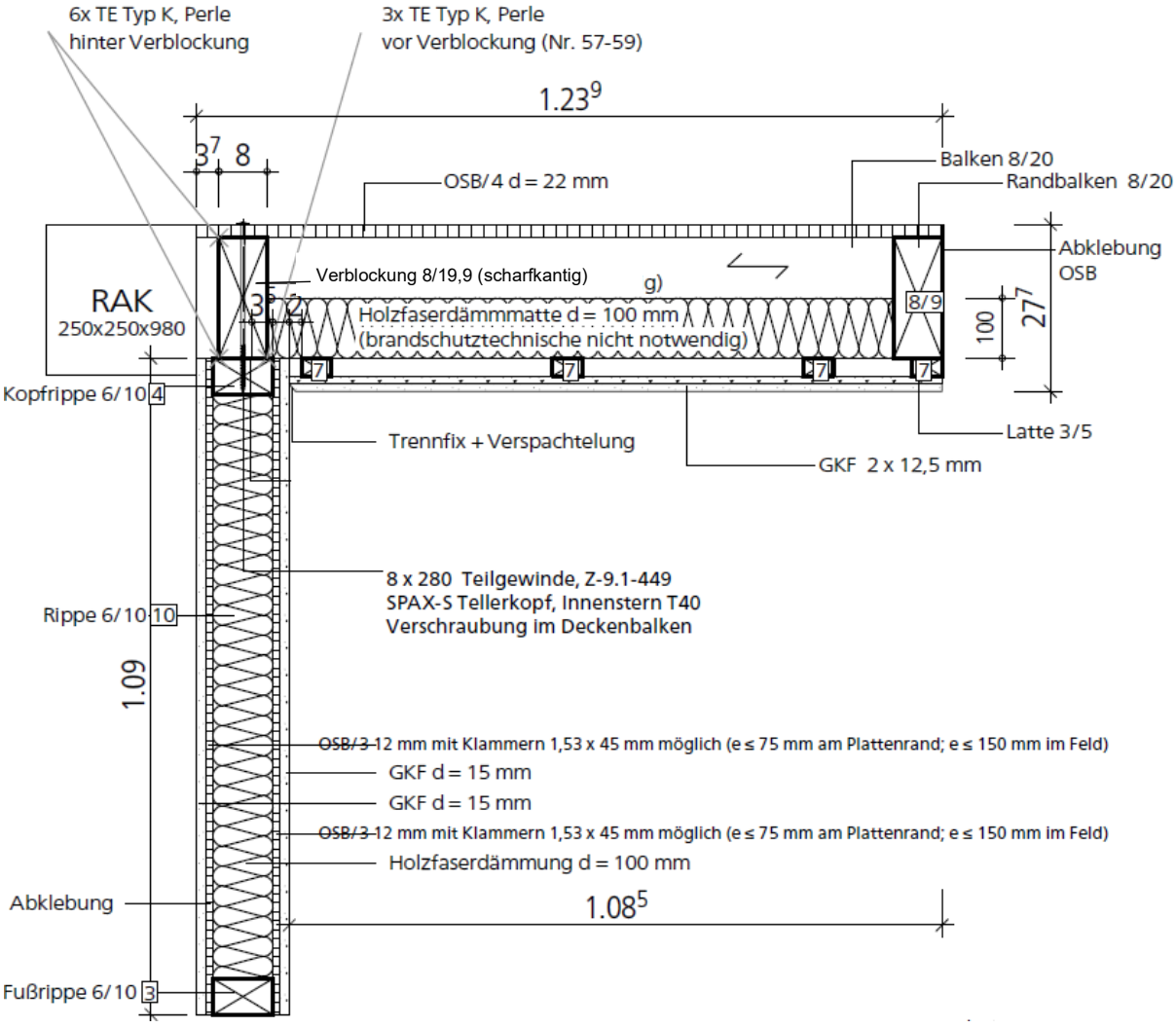
Inhalt

1. Versuchsaufbau 3
1.1 Detailzeichnungen 3
Schnitt 3
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite) 4
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite) 4
Draufsicht (brandabgewandte Seite) 5
Unterkonstruktion Decke (Untersicht) 5
1. Lage GKF Decke (Untersicht) 6
2. Lage GKF Decke (Untersicht) 6
Benennung der Bauteilschichten (Wand) 7
Benennung der Bauteilschichten (Decke) 7
Weitere verwendete Materialien 7
2.Versuchsparameter 8
2.1 Umgebungsbedingungen 8
2.2 Prüfbedingungen 8
Temperaturzeitkurve 8
Grenzabweichungen 9
Ofenüberdruck 9
3.Auswertung 10
3.1. Temperaturverläufe 10
Temperaturverlauf Fuge 10
Temperaturverlauf Wand: 11
Temperaturverlauf Decke: 12
3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 13
Volumenstrom 13
Massenströme CO, CO_2 13
Massenströme C_xH_y, NO_x 14
O_2-Konzentration 14
Absolute Abgasfeuchte 15
Abgastemperatur 15
3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 16
4. Anhänge/Fotodokumentation 17
4.1. Darstellung der Restquerschnitte 30

1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

Schnitt

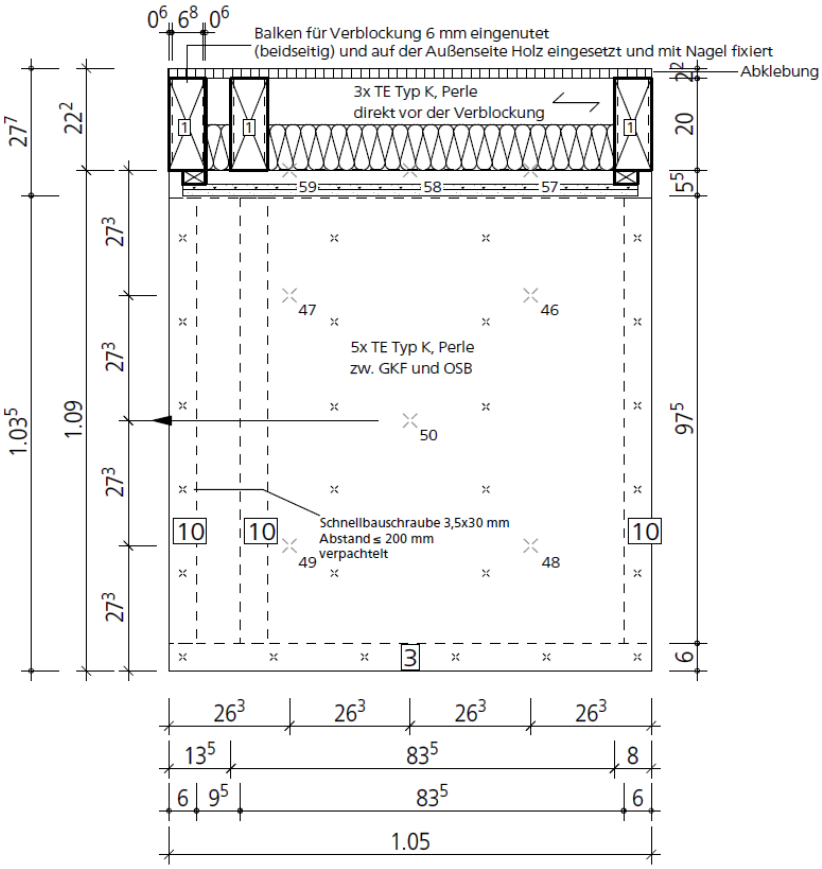


Element ohne Dichtsteifen

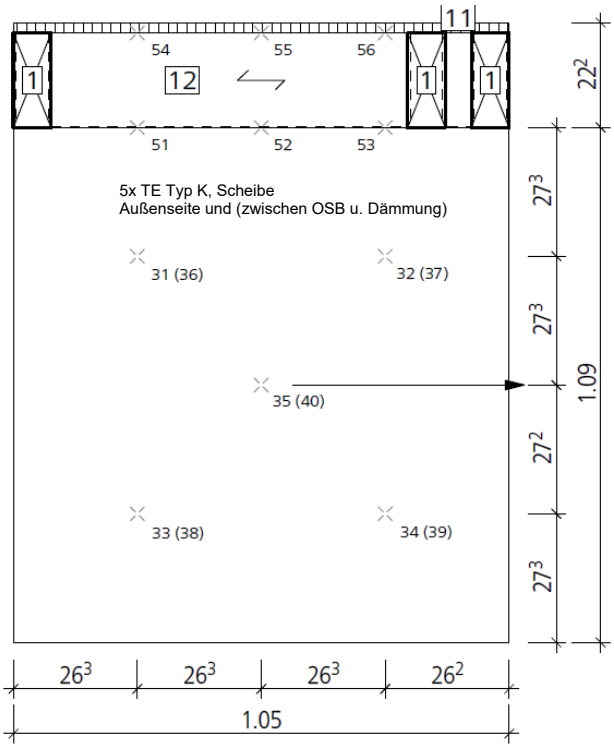
Balken und Verblockung verschraubt

Verblockung 1 mm dünner als Deckenbalken

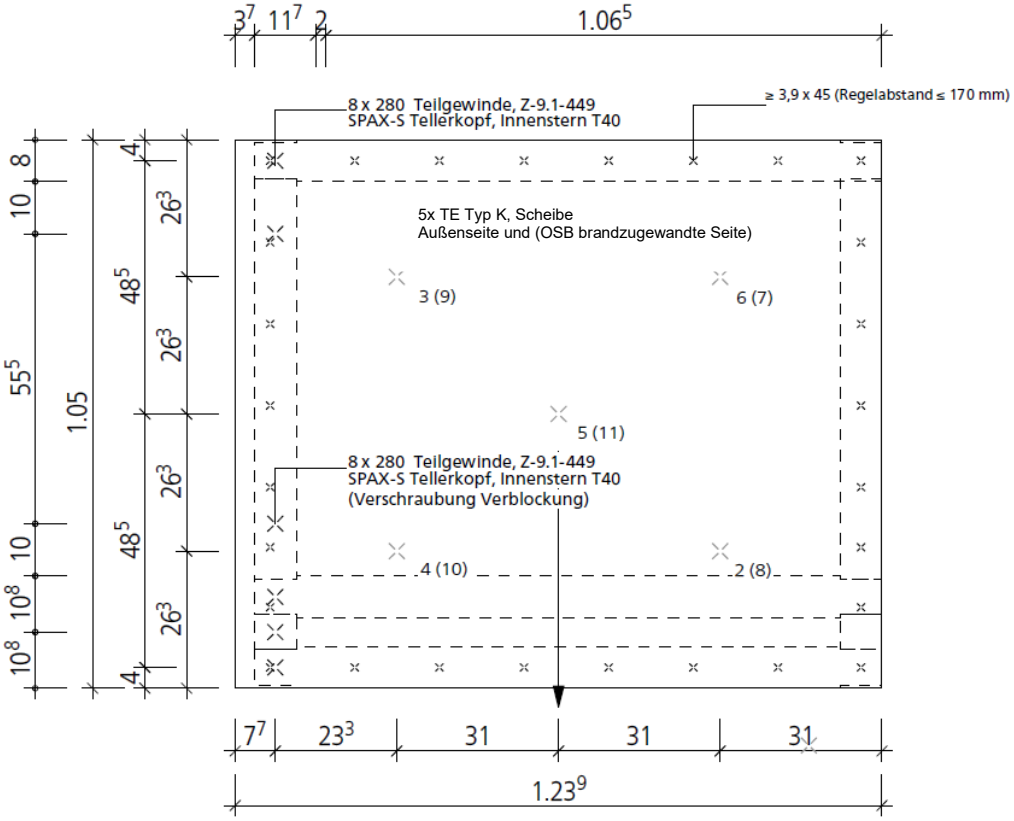
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite)



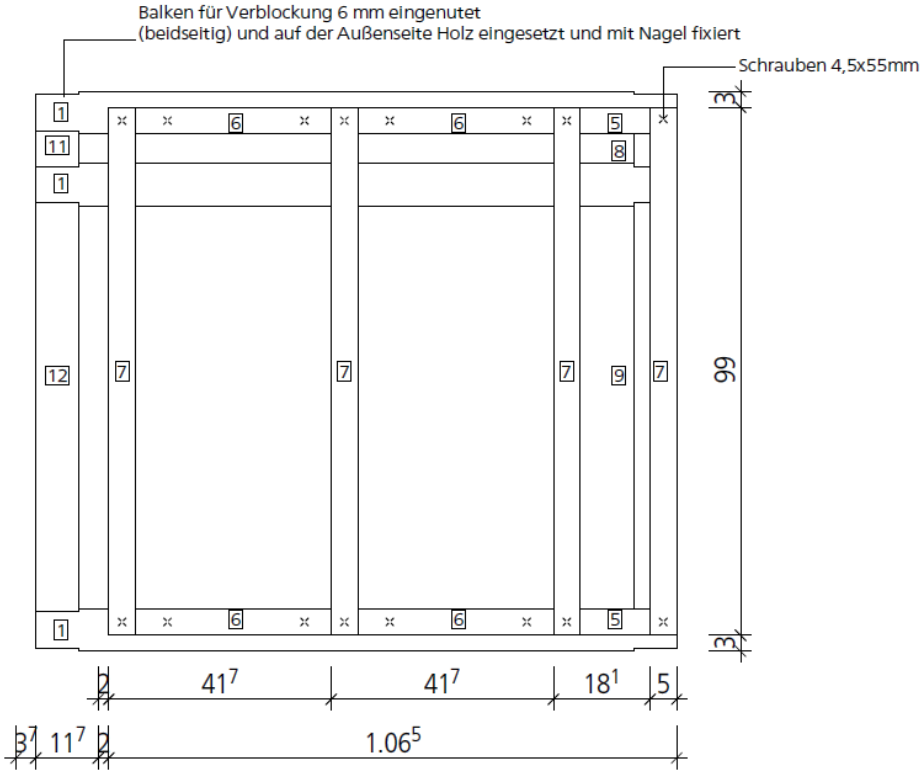
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite)



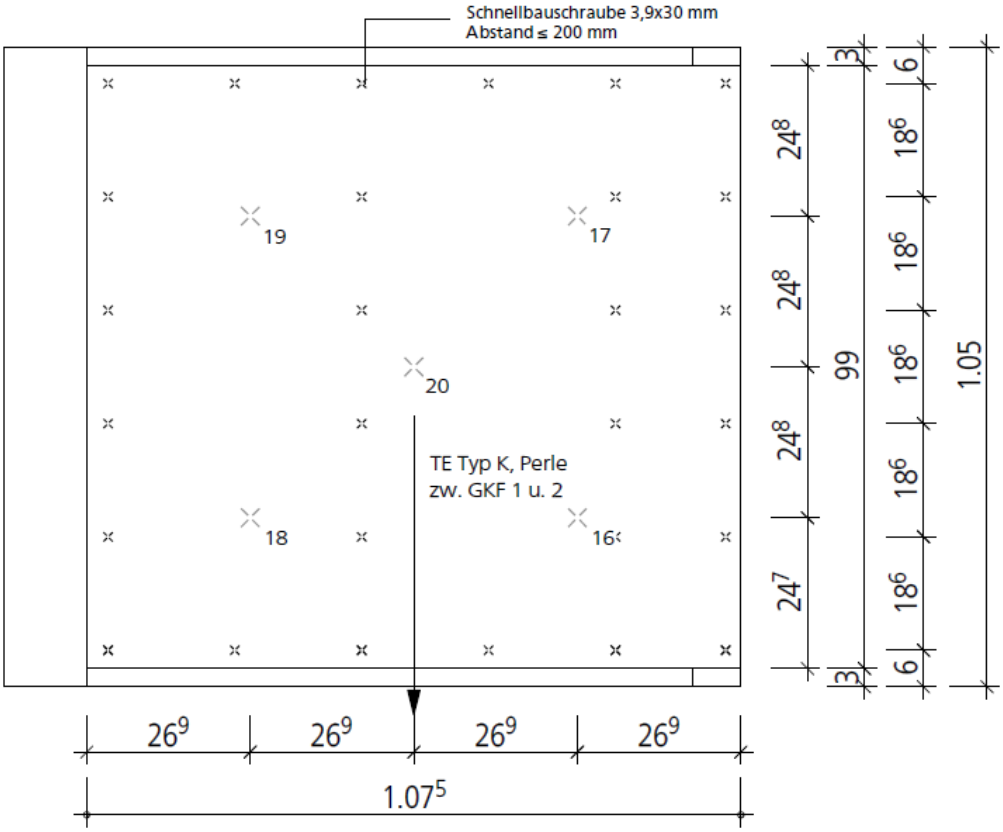
Draufsicht (brandabgewandte Seite)



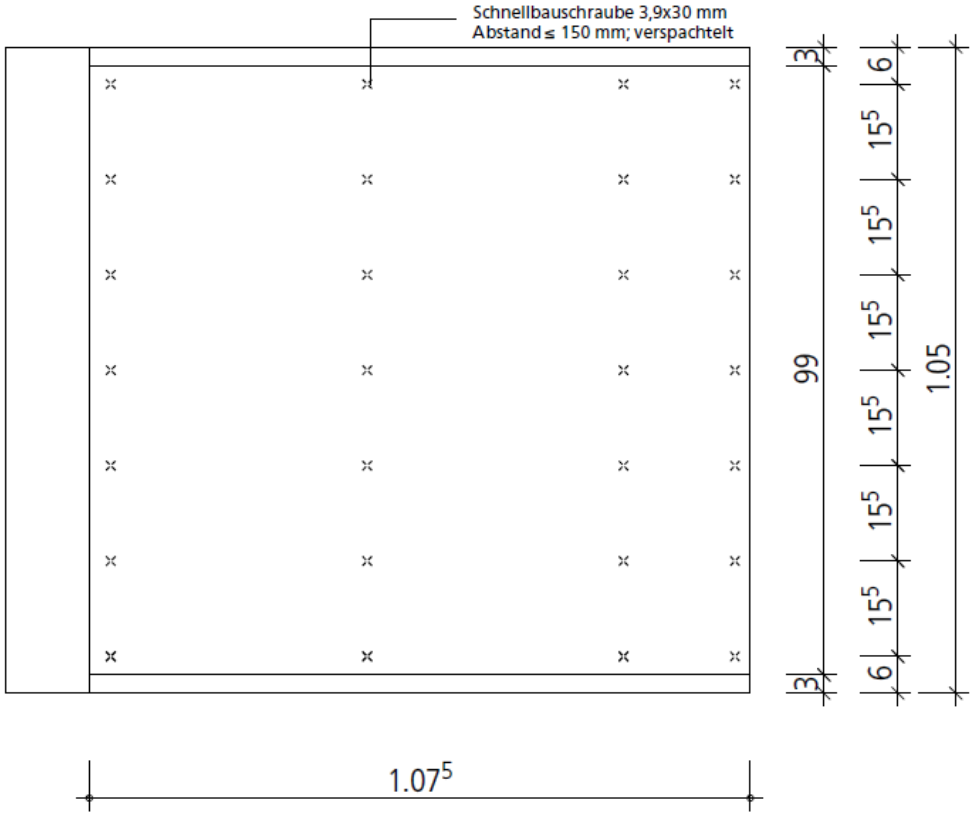
Unterkonstruktion Decke (Untersicht)



1. Lage GKF Decke (Untersicht)



2. Lage GKF Decke (Untersicht)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von Innen nach Außen

Schicht Nummer	Name	Rohdichte[1] [kg/m³]	Hersteller
W1	15 mm GKF	≥ 800	Knauf
W2	12 mm OSB/3	≥ 600	SWISS KRONO
W3	100 mm Holzfaserdämmstoff St. Flex	60	STEICO
W3	Konstruktionsebene KVH 60 x 100 mm	470	
W4	12 mm OSB/3	≥ 600	SWISS KRONO
W5	15 mm GKF	≥ 800	Knauf

KVH Holzfeuchte zwischen 12,2 und 13,5%

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von Innen nach Außen

Schicht Nummer	Name	Rohdichte[1] [kg/m³]	Hersteller
D1	12,5 mm GKF	≥ 800	Knauf
D2	12,5 mm GKF	≥ 800	Knauf
D3	Holzkonstruktion 30 x 50 mm		-
D4	100 mm Holzfaserdämmstoff St. Flex	60	STEICO
D4	Konstruktionsebene KVH 80 x 200 mm	470	
D5	22 mm OSB/3	≥ 600	SWISS KRONO

KVH Holzfeuchte zwischen 12,2 und 13,5%

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben 3,9 x 30 mm		W1-W2, W4-W5, D1-D2
Universalschrauben		D5
Gipsspachtel + Trennfix	Knauf	Plattenstoß (W1-D1)
Klebeband UNI TAPE	ProClima	Abklebung OSB-Flanken Decke/Wand außen
Klebeband Eurasol HT	Würth	Abklebung RAK

[1] Gemäß Auftraggeber

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	04.08.2020, 13:31:10 Uhr
Versuchsende:	04.08.2020, 14:31:10 Uhr
Versuchsdauer in min:	60

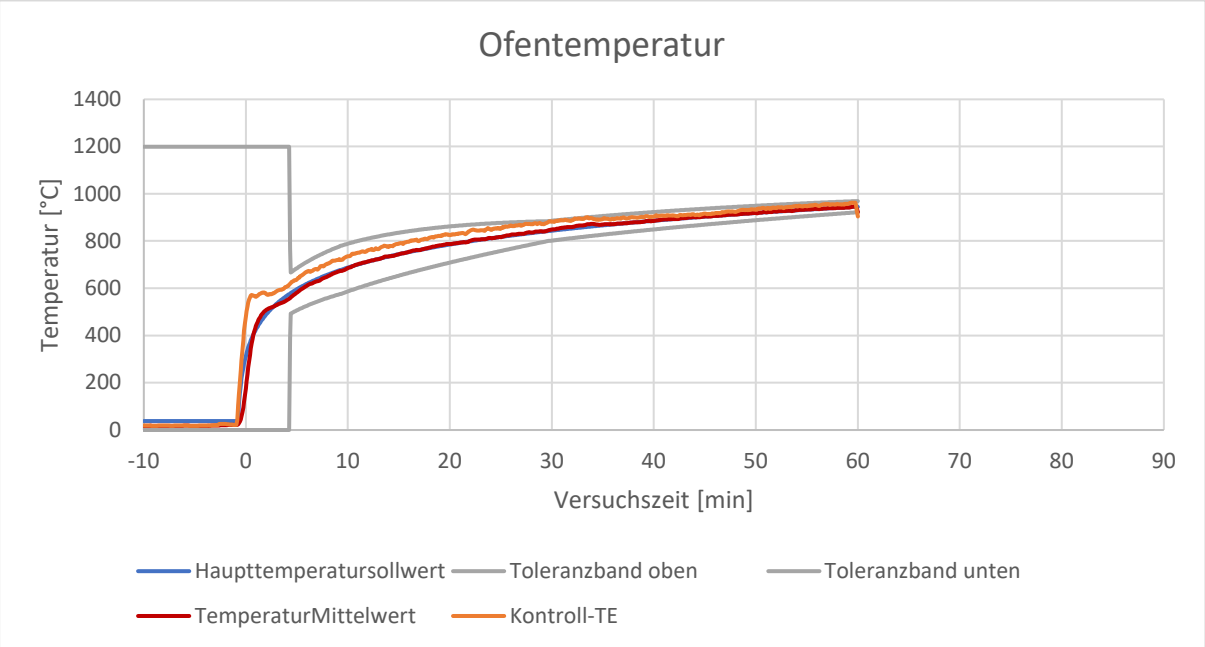
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

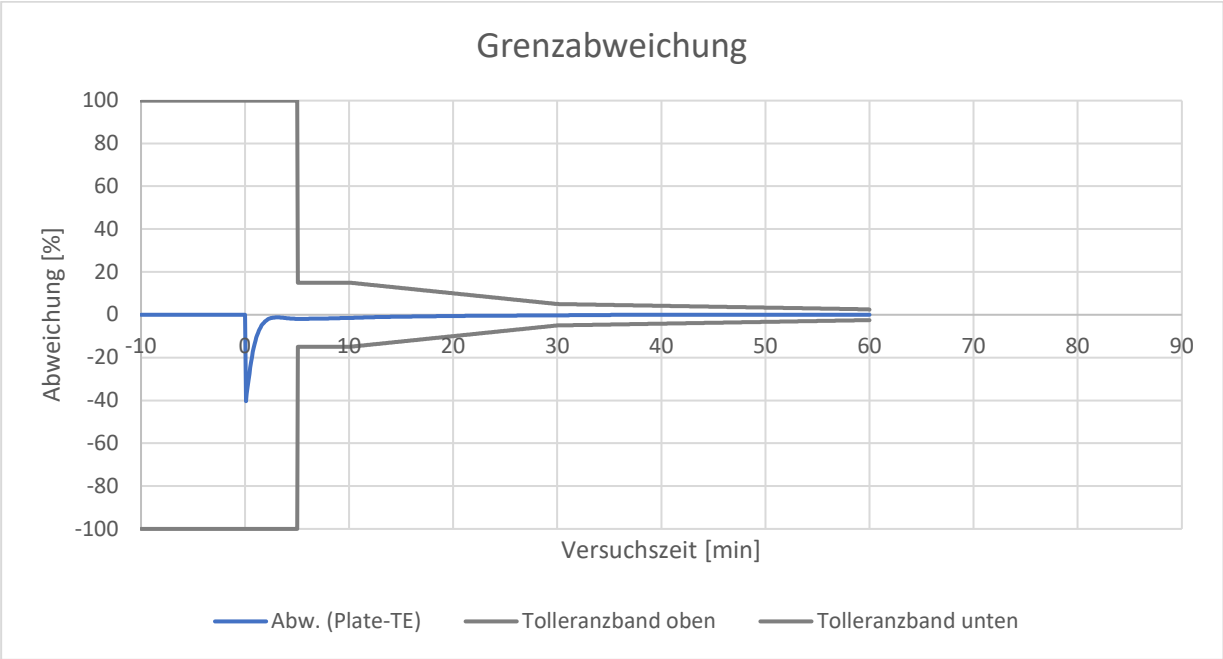
Umgebungsdruck:	1008 mbar
Umgebungstemperatur:	19,9 °C
Luftfeuchte in %:	50 % rh

2.2 Prüfbedingungen

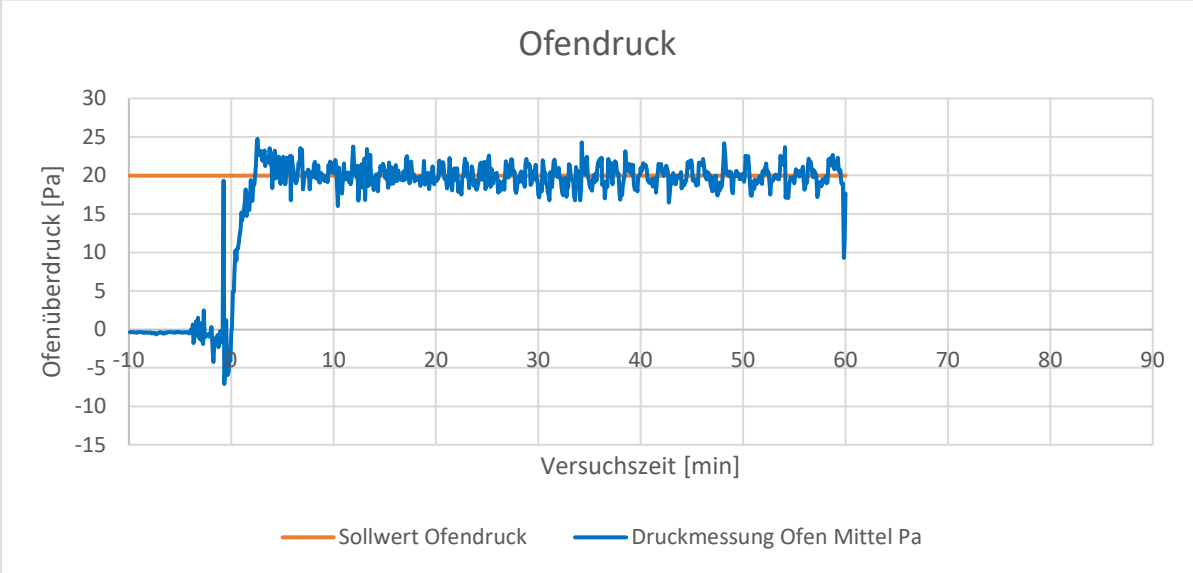
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



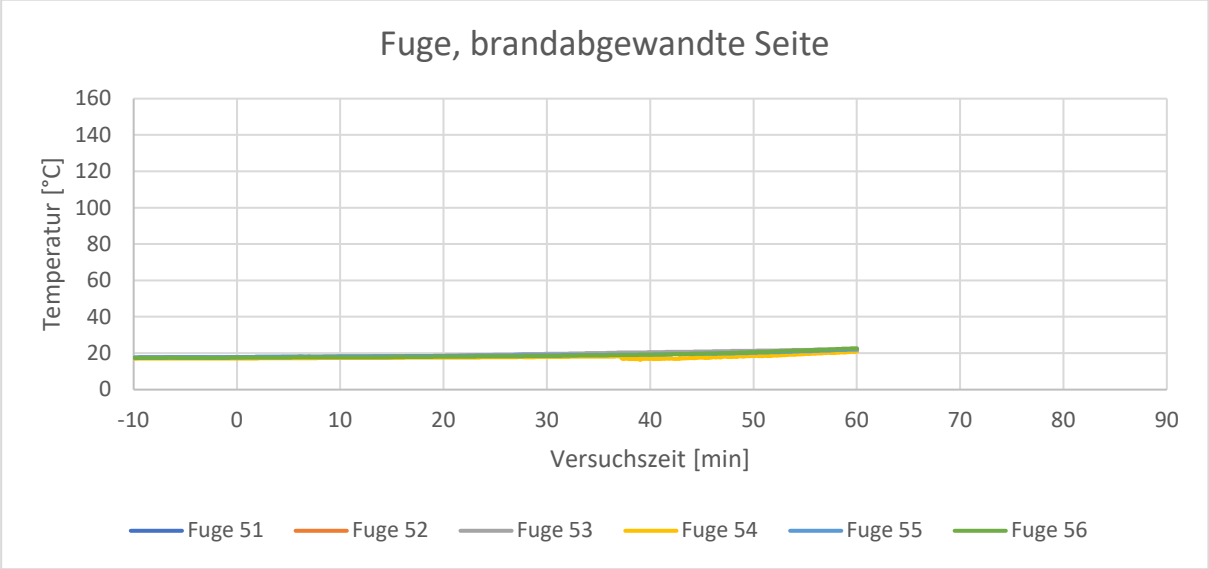
Ofenüberdruck

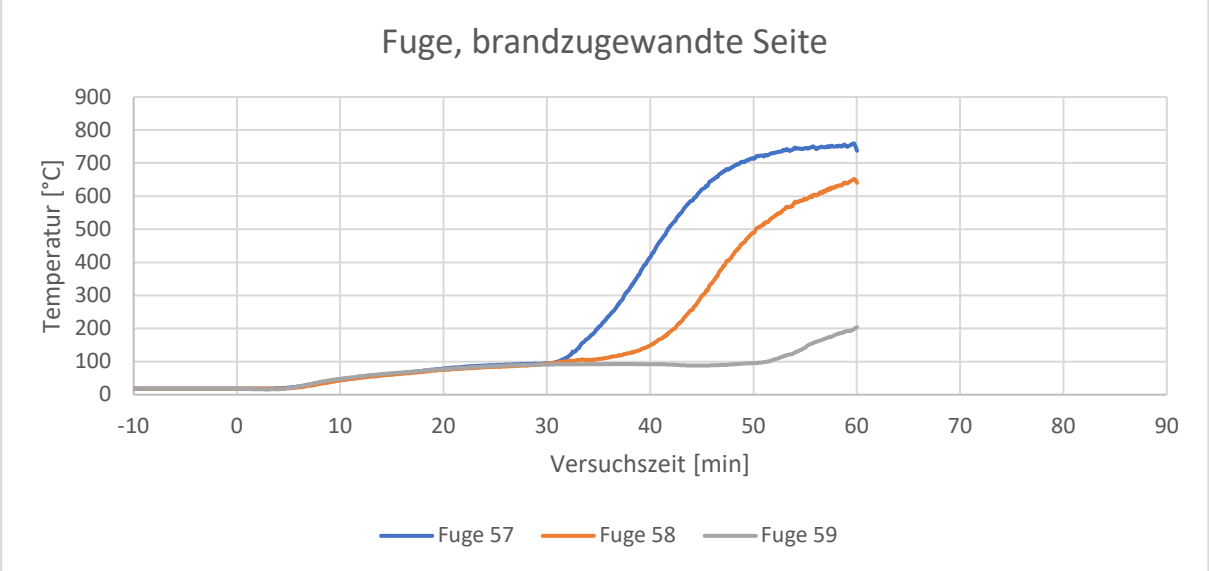


3.Auswertung

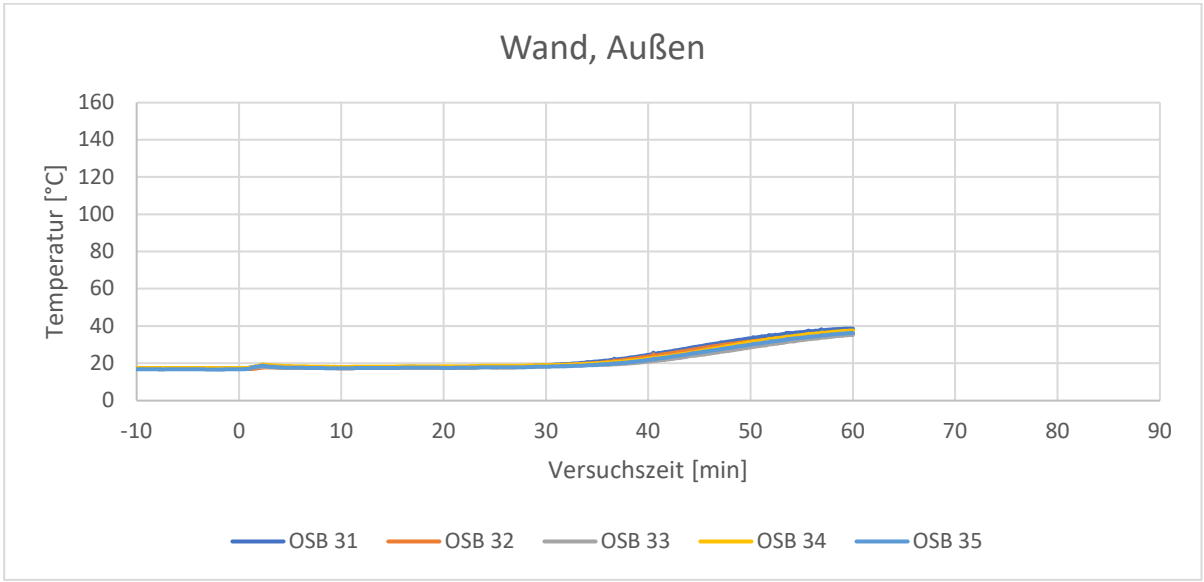
3.1. Temperaturverläufe

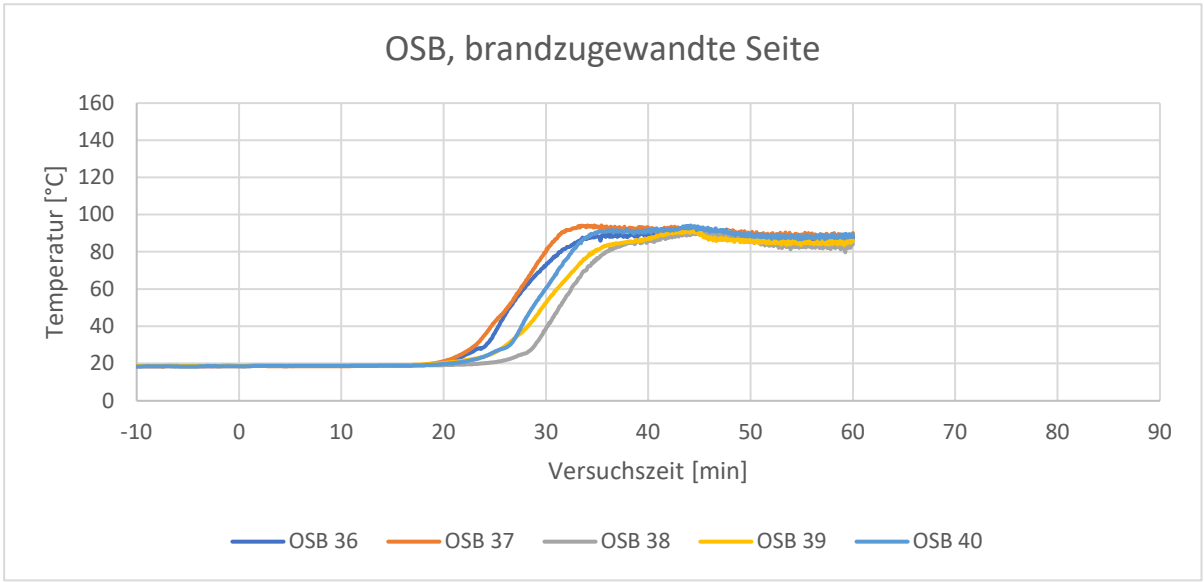
Temperaturverlauf Fuge

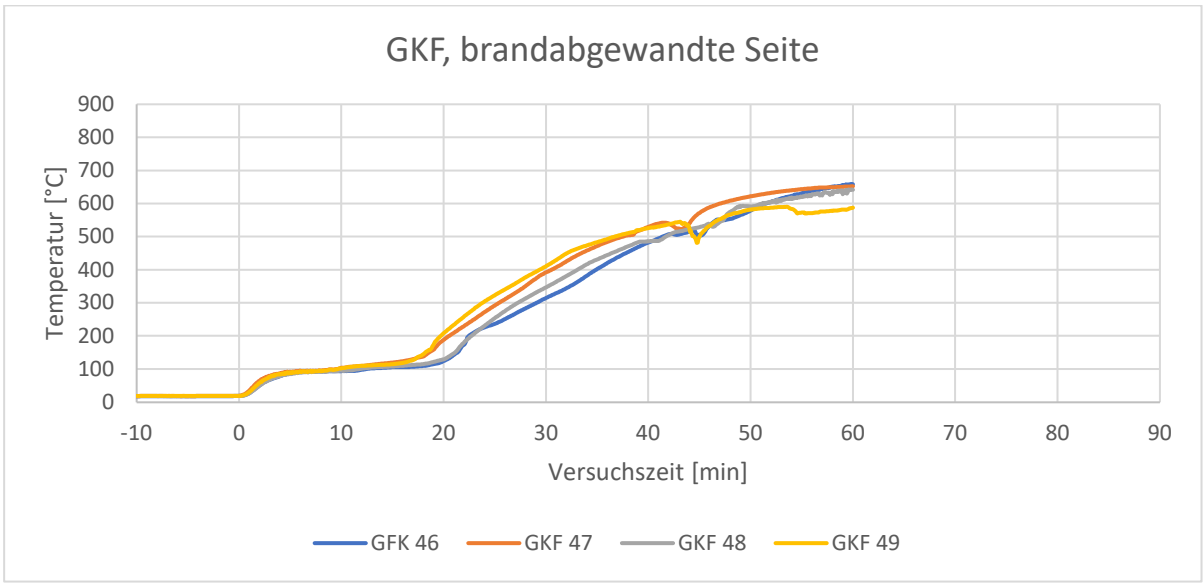




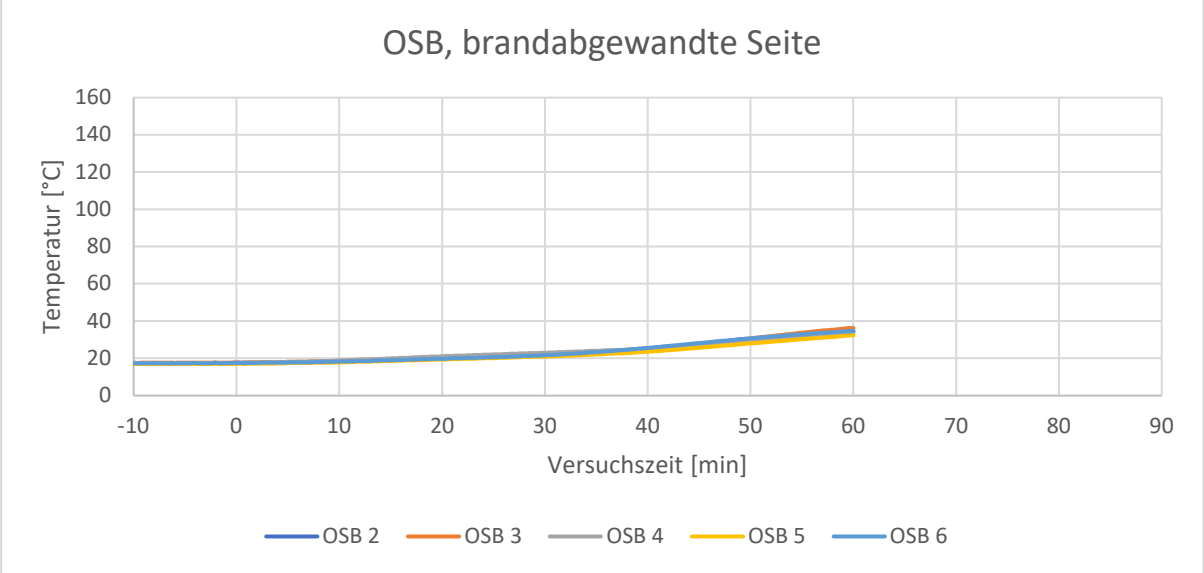
Temperaturverlauf Wand:

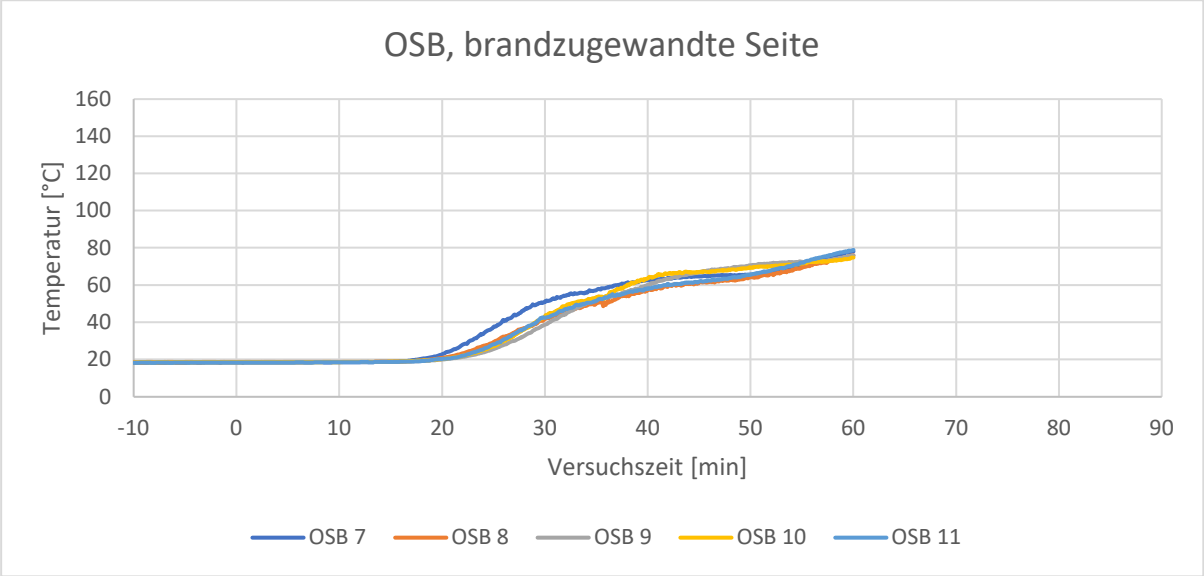


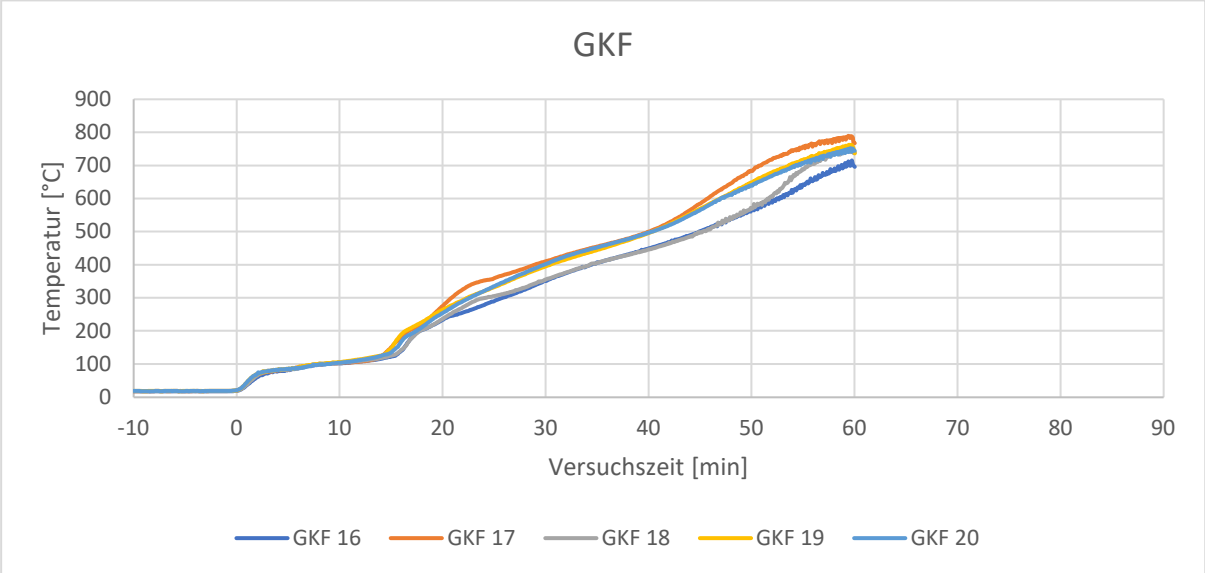




Temperaturverlauf Decke:

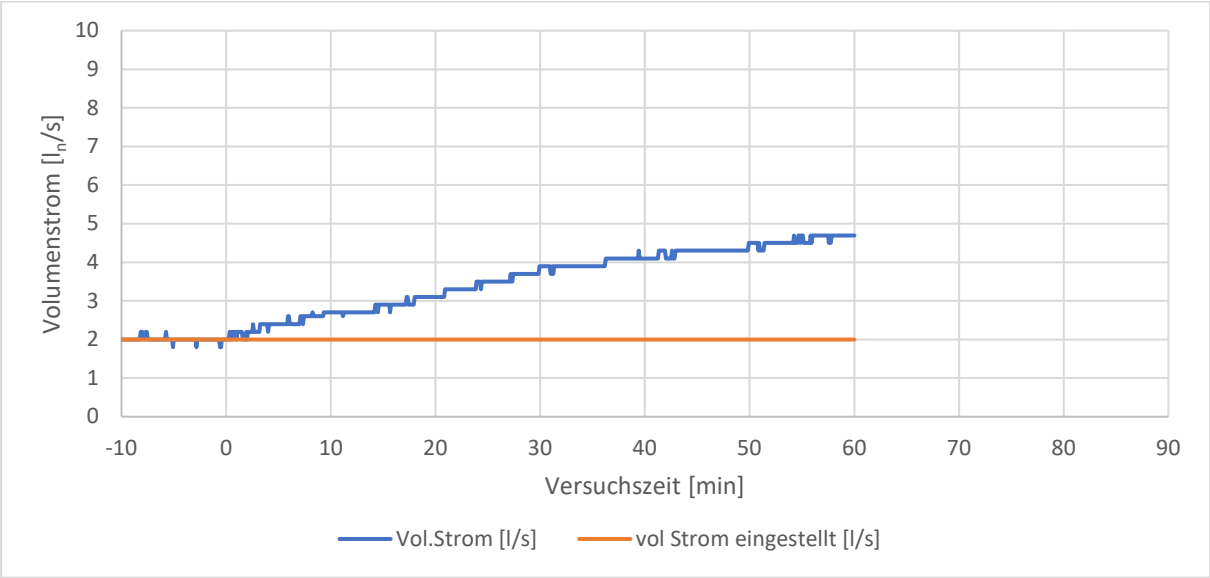




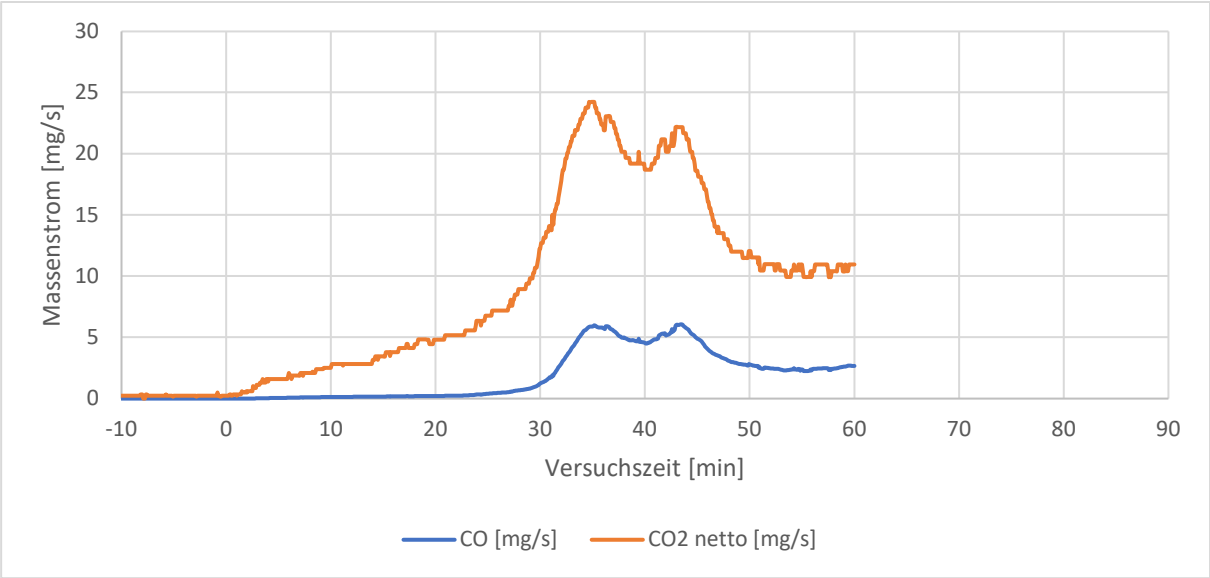


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

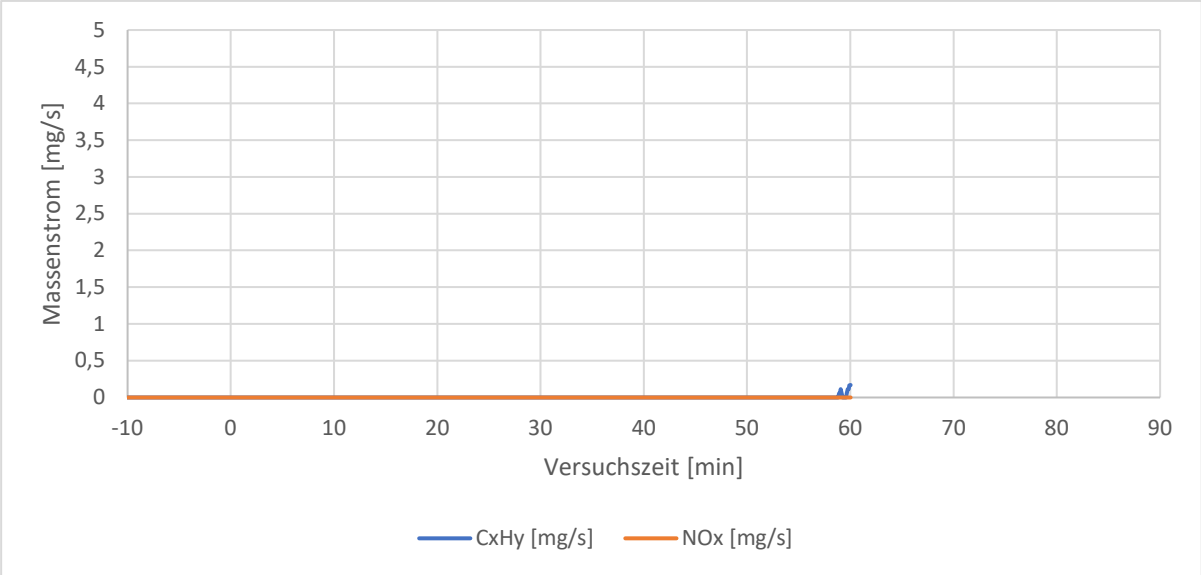
Volumenstrom



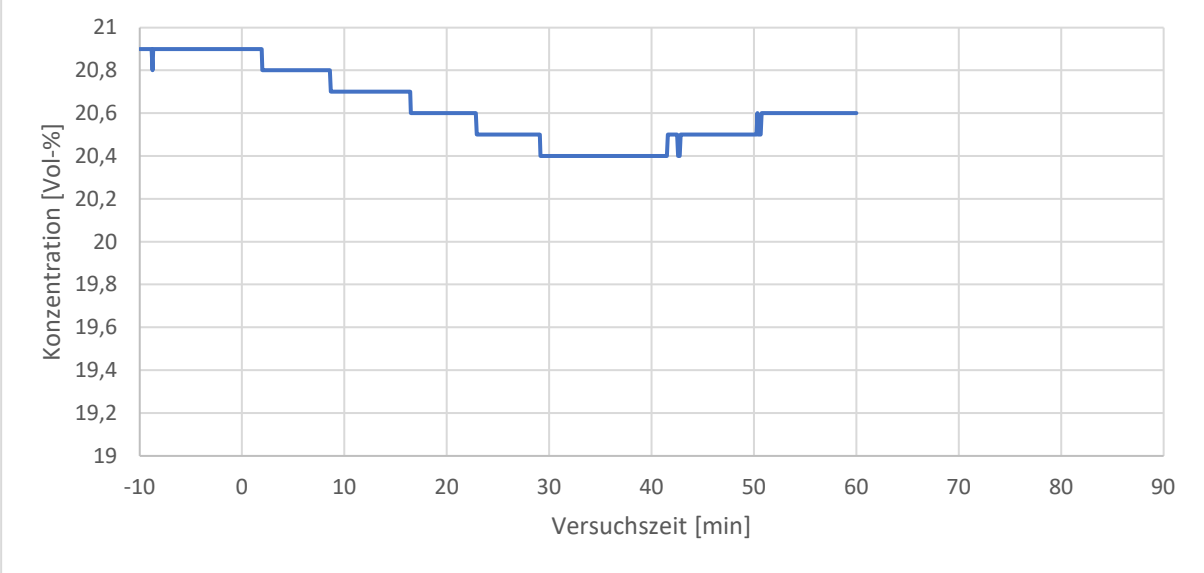
Massenströme CO, CO_2



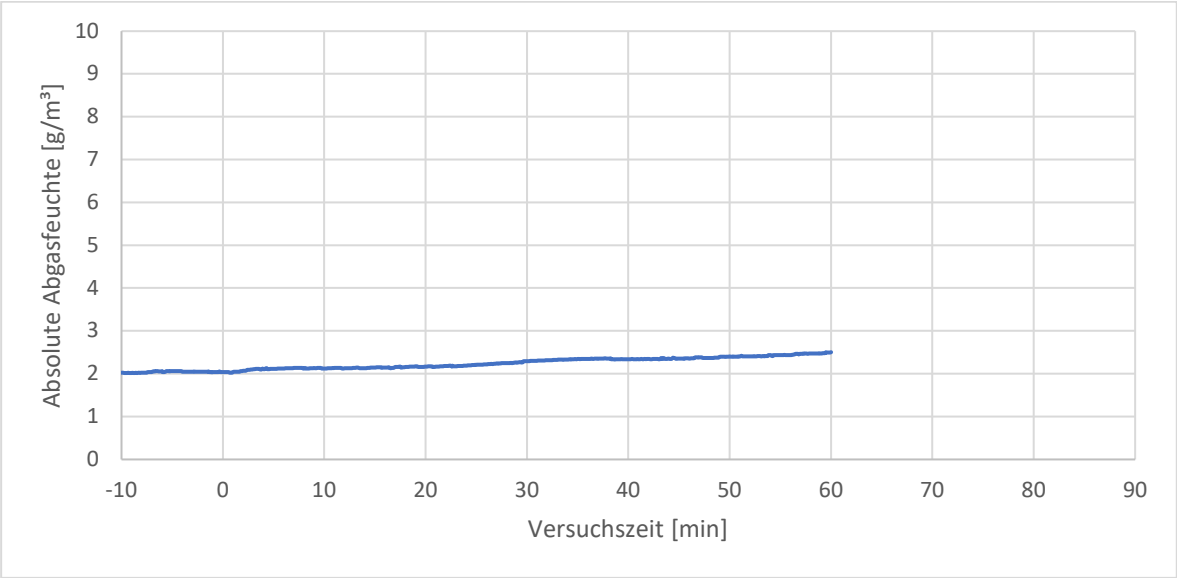
Massenströme C_xH_y, NO_x



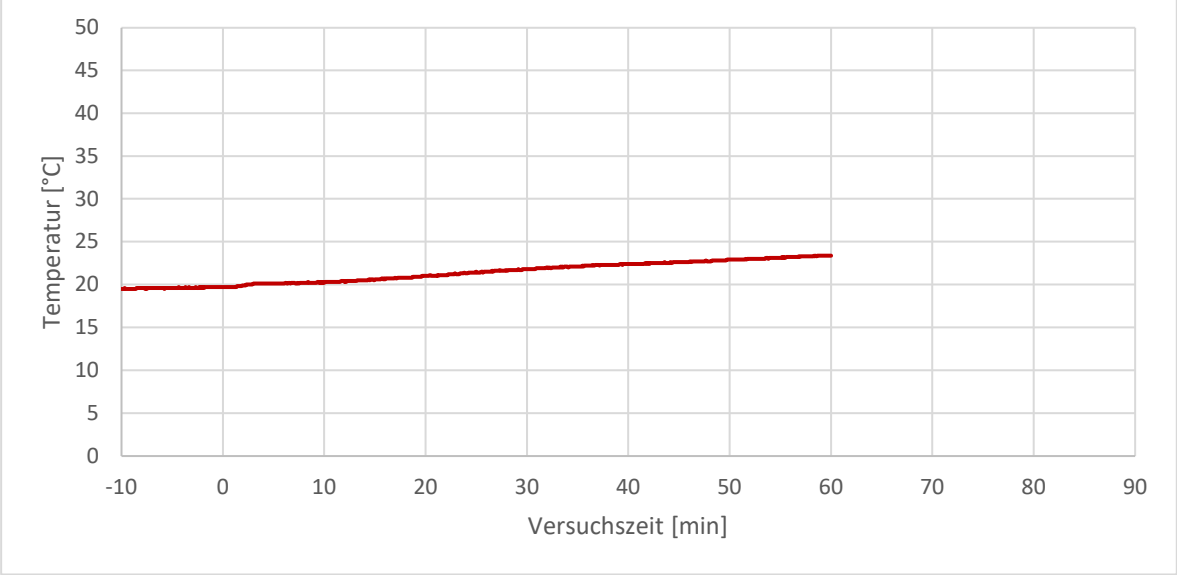
O_2-Konzentration



Absolute Abgasfeuchte



Abgastemperatur



3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
8.	Anstieg CO < 100 ppm, kein Gasaustritt sichtbar	x
10.	Abdichtung Ofenrahmen unterhalb Wand (Schwelle) nachgedichtet	
11.	Fehler TE 50 (zeigt weiterhin Umgebungstemperatur an)	
50.	Leichter Rauchdurchtritt Verblockung links unten sichtbar	x
51.	Leichter Rauchdurchtritt Verblockung rechts unten sichtbar	x
60.	Abnahme RAK; Wattebauschtest an Verblockung negativ: keine Verfärbung, Versuchsende	

4. Anhänge/Fotodokumentation



Abbildung 1: Probekörper, brandzugewandte Seite [vor Versuchsbeginn]



Abbildung 2: Wand, brandabgewandte Seite [vor Versuchsbeginn]



Abbildung 3: Verblockung, brandabgewandte Seite [vor Versuchsbeginn]



Abbildung 4: Decke, brandabgewandte Seite [vor Versuchsbeginn]



Abbildung 5: Montage des RAK [vor Versuchsbeginn]

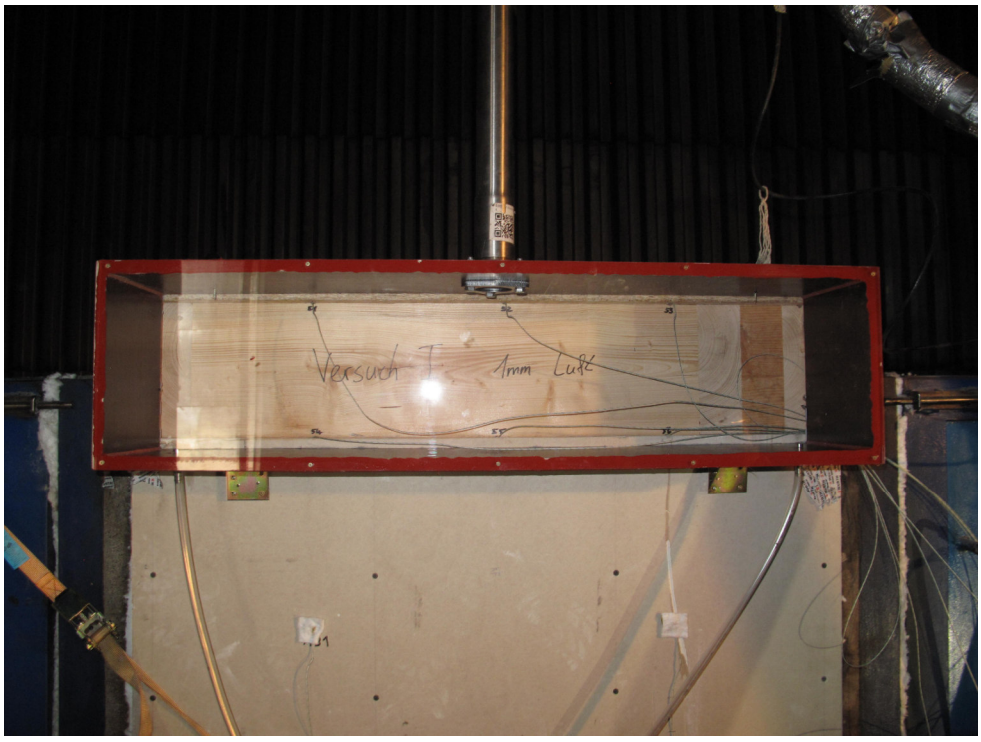


Abbildung 6: RAK, brandabgewandte Seite [15. Versuchsminute]



Abbildung 7: Decke, brandabgewandte Seite [15. Versuchsminute]



Abbildung 8: Wand, brandabgewandte Seite [15. Versuchsminute]

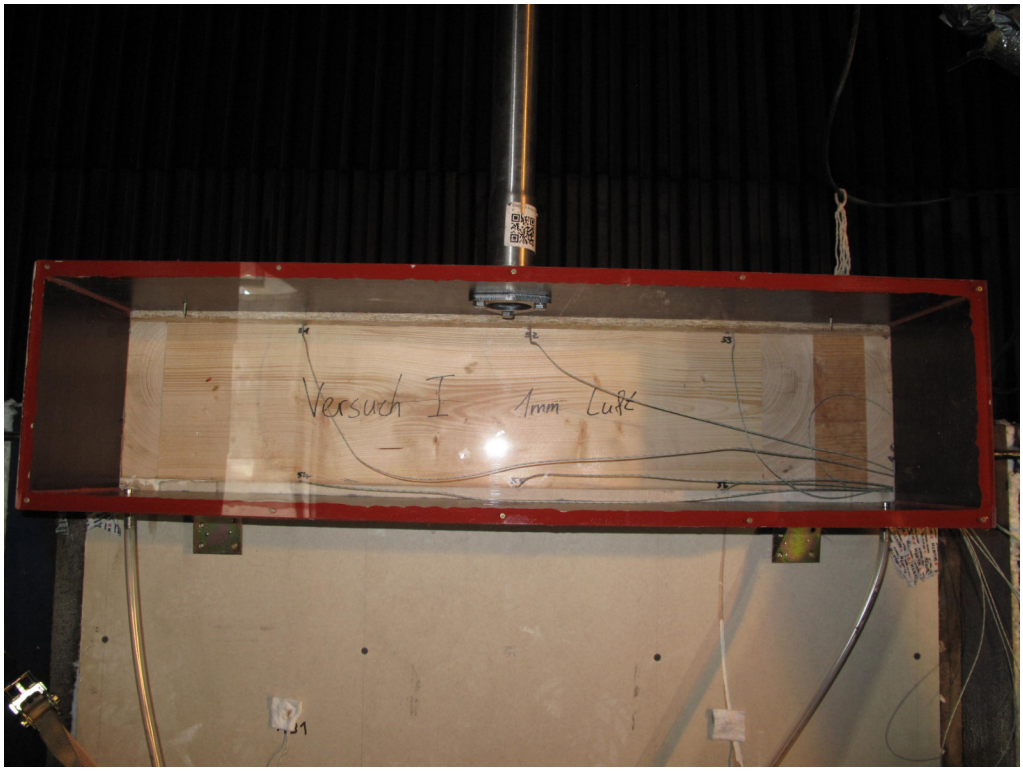


Abbildung 9: RAK, brandabgewandte Seite [30. Versuchsminute]



Abbildung 10: Wand, brandabgewandte Seite [30. Versuchsminute]

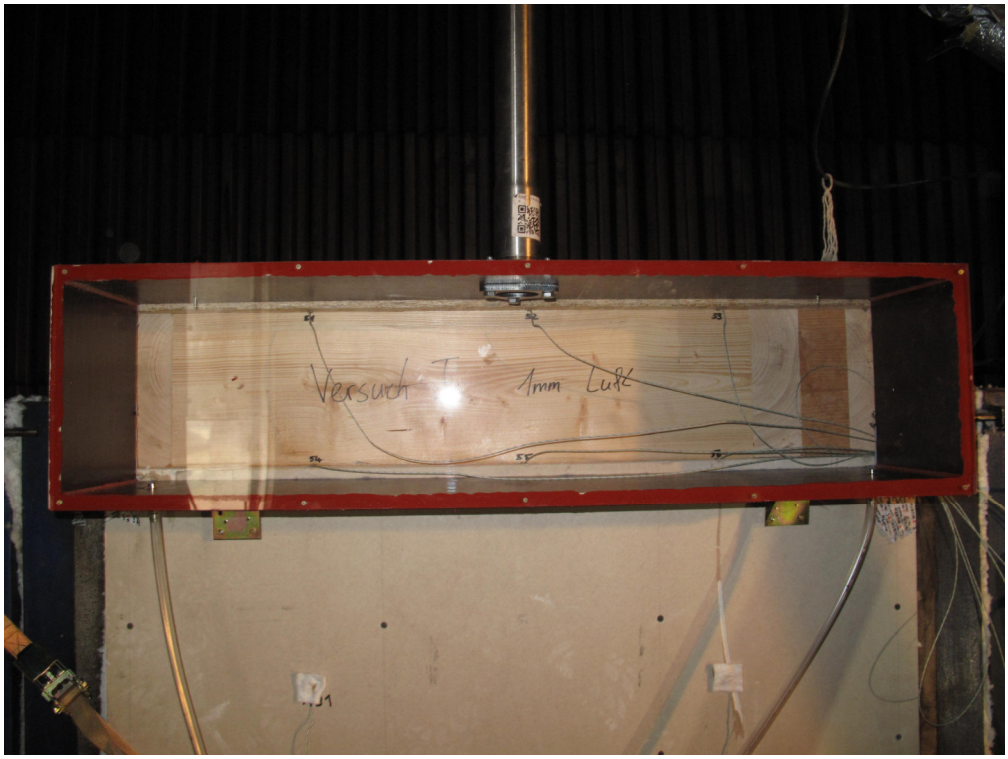


Abbildung 11: RAK, brandabgewandte Seite [45. Versuchsminute]

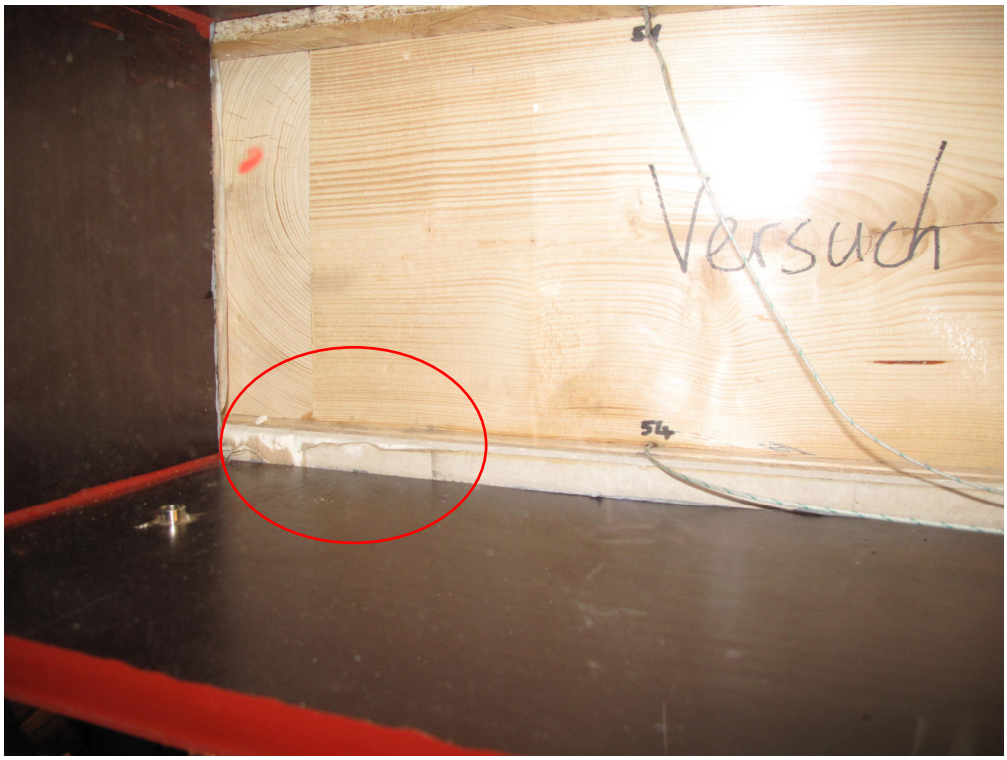


Abbildung 12: Leichter Rauchdurchtritt an der Verblockung sichtbar [45. Versuchsminute]



Abbildung 13: Leichter Rauchdurchtritt an der Verblockung sichtbar [45. Versuchsminute]



Abbildung 14: Wand, brandabgewandte Seite [60. Versuchsminute]



Abbildung 15: Verblockung, linke brandabgewandte Seite [60. Versuchsminute]

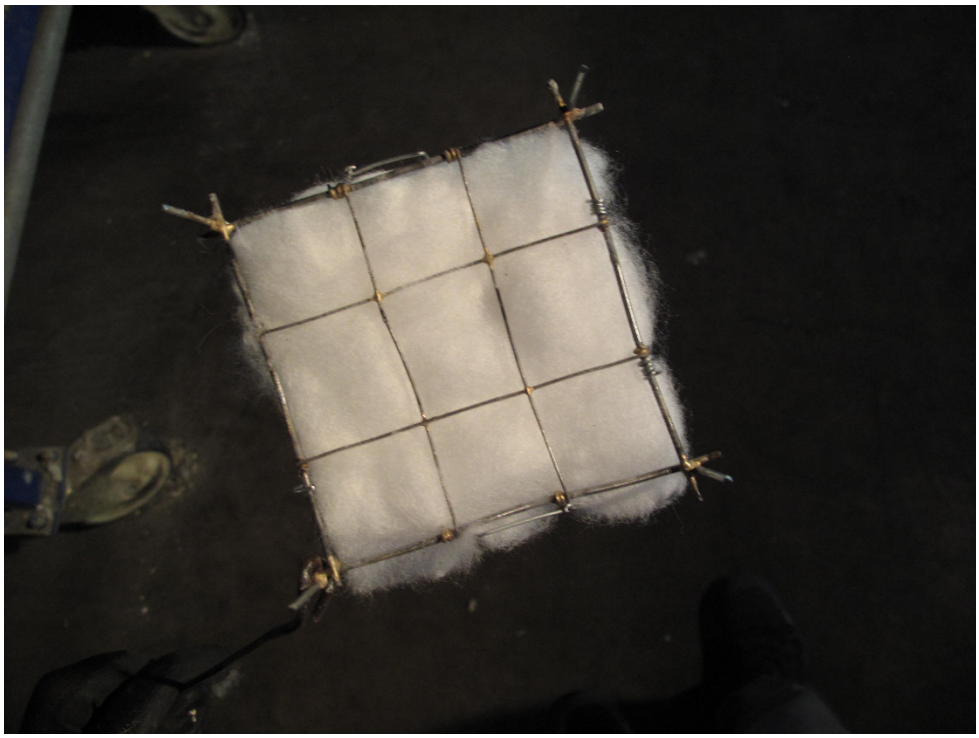


Abbildung 16: Ergebnis des Wattebauschtests an der Verblockung, linksseitig



Abbildung 17: Verblockung, rechte brandabgewandte Seite [60. Versuchsminute]



Abbildung 18: Decke, brandabgewandte Seite [60. Versuchsminute]



Abbildung 19: Herausheben des Probekörpers [nach Versuchsende]



Abbildung 20: Öffnen und Ablöschen des Probekörpers



Abbildung 21: Öffnen und Ablöschen des Probekörpers



Abbildung 22: Decke, brandzugewandte Seite [nach Versuchsende, Bauteilfuge oben]



Abbildung 23: Decke, brandzugewandte Seite [nach Versuchsende, Bauteilfuge oben]



Abbildung 24: Wand, brandzugewandte Seite [nach Versuchsende, Bauteilfuge oben]



Abbildung 25: Rähm, brandzugewandte Seite [nach Versuchsende]



Abbildung 26: Wand, brandzugewandte Seite [nach Versuchsende, Bauteilfuge oben]

4.1. Darstellung der Restquerschnitte

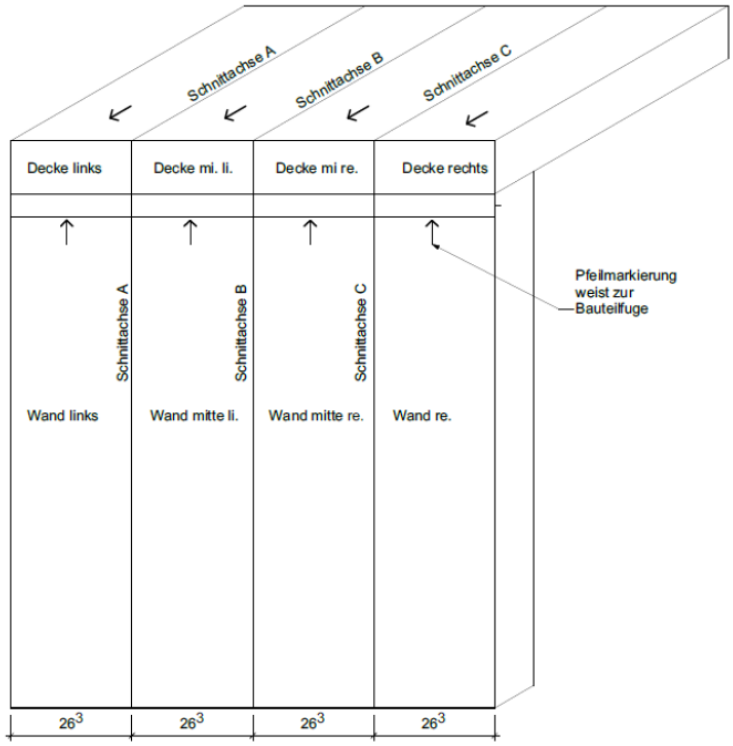




Abbildung 27: Restquerschnitte Decke

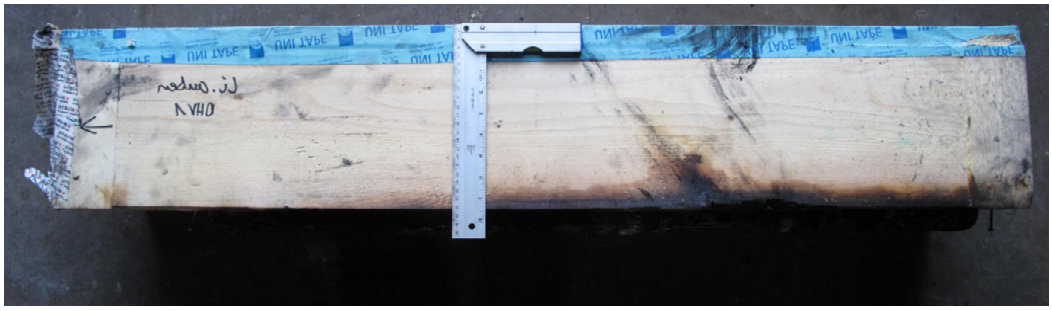


Abbildung 28: Restquerschnitt Decke, links außen

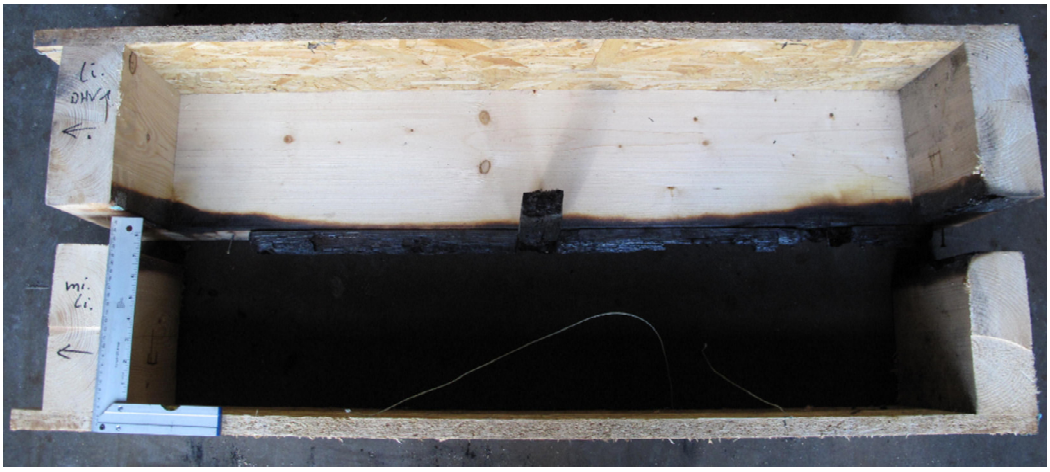


Abbildung 29: Restquerschnitt Decke, Schnittachse A

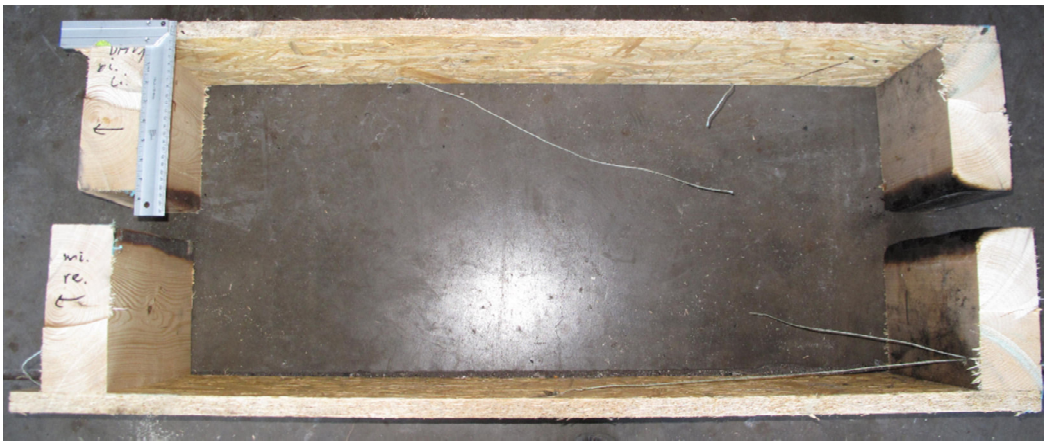


Abbildung 30: Restquerschnitt Decke, Schnittachse B

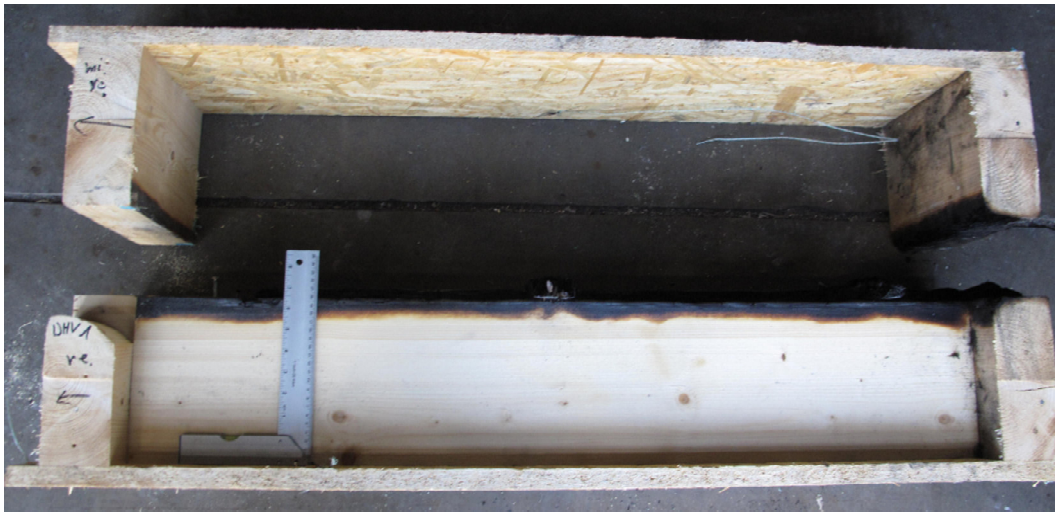


Abbildung 31: Restquerschnitt Decke, Schnittachse C



Abbildung 32: Restquerschnitt Decke, rechts außen



Abbildung 33: Restquerschnitt Wand, links außen

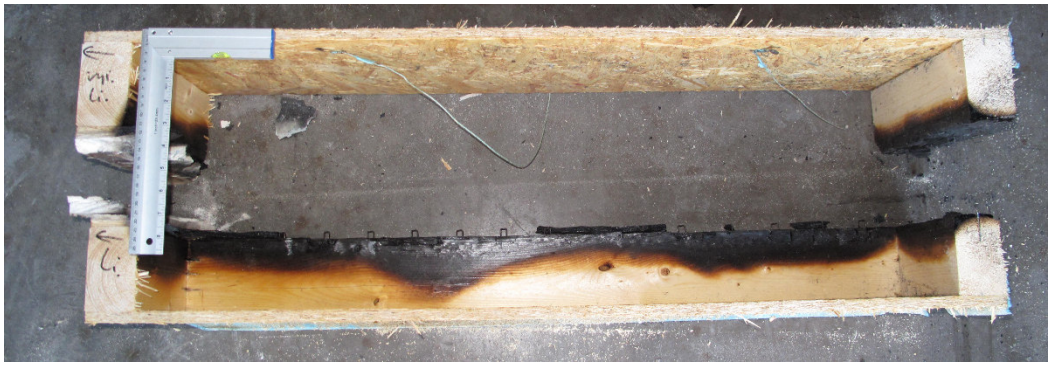


Abbildung 34: Restquerschnitt Wand, Schnittachse A

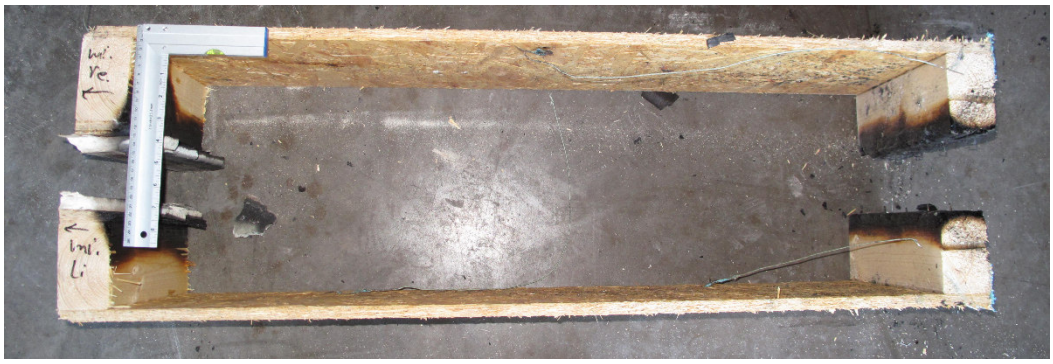


Abbildung 35: Restquerschnitt Wand, Schnittachse B

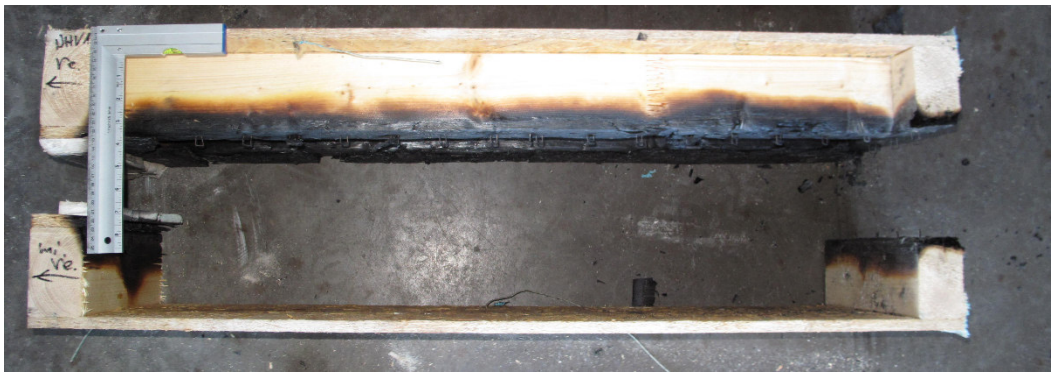


Abbildung 36: Restquerschnitt Wand, Schnittachse C



Abbildung 37: Restquerschnitt Wand, rechts außen

HolzbauRLBW

Hochschule Magdeburg • Stendal

Versuchsprotokoll

Versuch Nr.: Z09_HTB_HTB_VB-int_60

Datum: 11.08.2020

Inhalt

1. Versuchsaufbau 3

1.1 Detailzeichnungen 3

Schnitt 3

Ansicht Wand (brandzugewandte Seite) 4

Ansicht Wand (brandabgewandte Seite) 4

Draufsicht (brandabgewandte Seite) 5

Unterkonstruktion Decke (Untersicht) 5

1. Lage GKF Decke (Untersicht) 6

2. Lage GKF Decke (Untersicht) 6

Benennung der Bauteilschichten (Wand) 7

Benennung der Bauteilschichten (Decke) 7

Weitere verwendete Materialien 7

2.Versuchsparameter 8

2.1 Umgebungsbedingungen 8

2.2 Prüfbedingungen: 8

Temperaturzeitkurve 8

Grenzabweichungen 9

Ofenüberdruck 9

3.Auswertung 10

3.1. Temperaturverläufe 10

Temperaturverlauf Fuge 10

Temperaturverlauf Wand: 11

Temperaturverlauf Decke: 12

3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik 13

Volumenstrom 13

Massenströme CO, CO_2 13

Massenströme C_xH_y, NO_x 14

O_2-Konzentration 14

Absolute Abgasfeuchte 15

Abgastemperatur 15

3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen 16

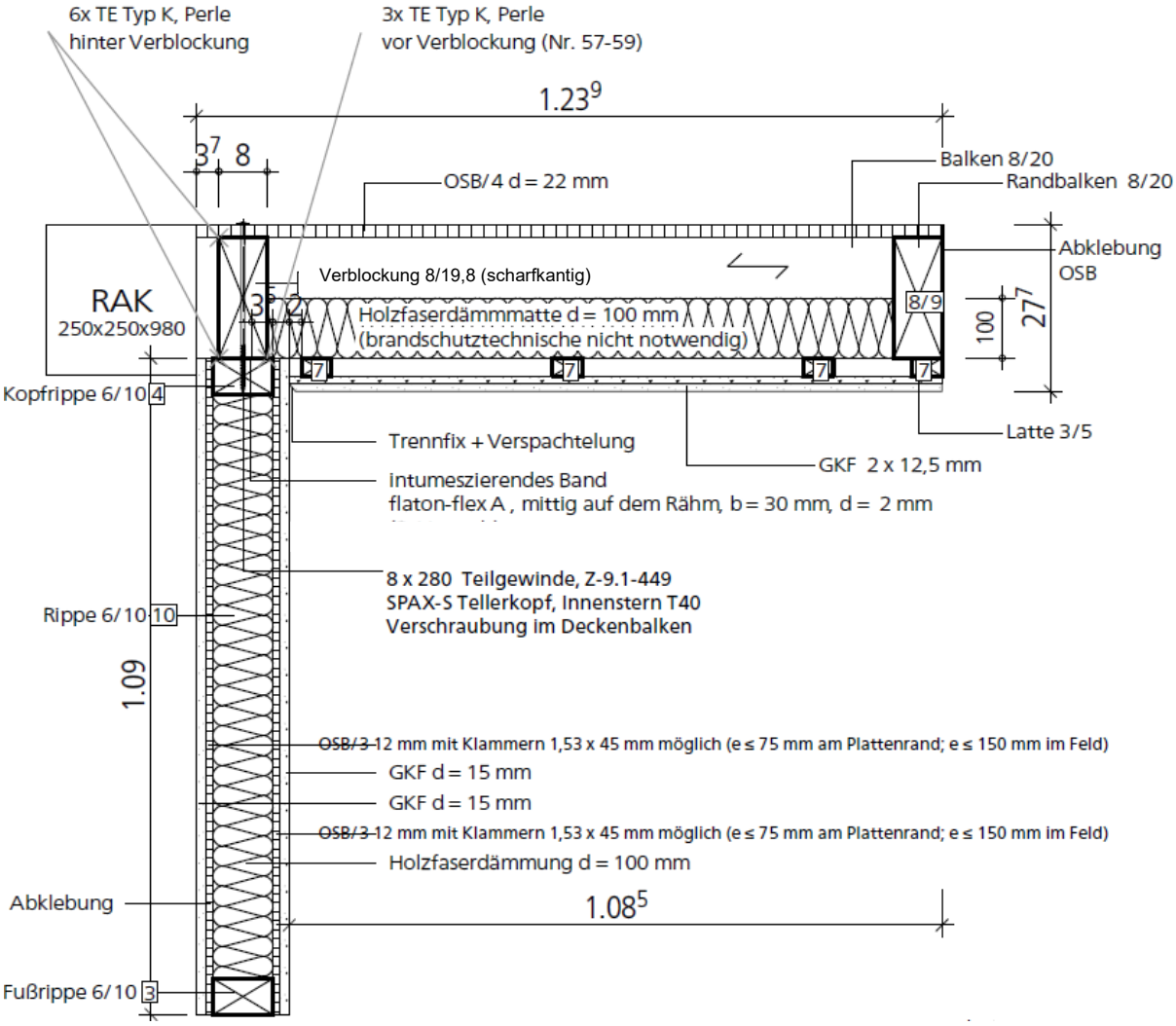
4. Anhänge/Fotodokumentation 17

4.1. Darstellung des Restquerschnittes 31

1. Versuchsaufbau

1.1 Detailzeichnungen

Schnitt

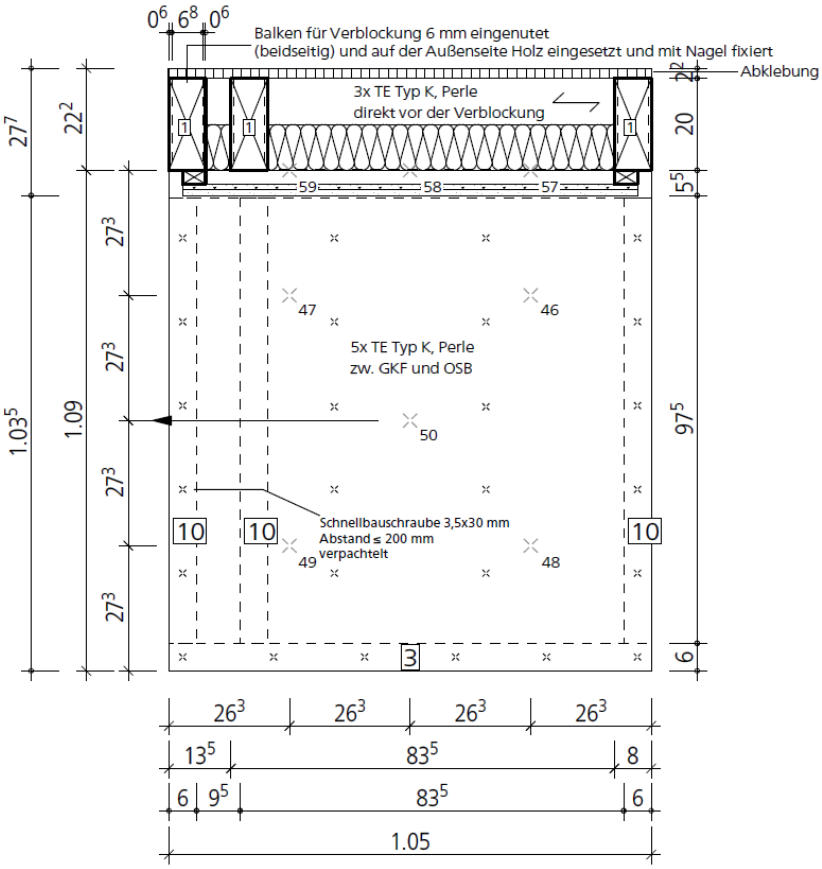


Element mit intumeszierendem Dichtband

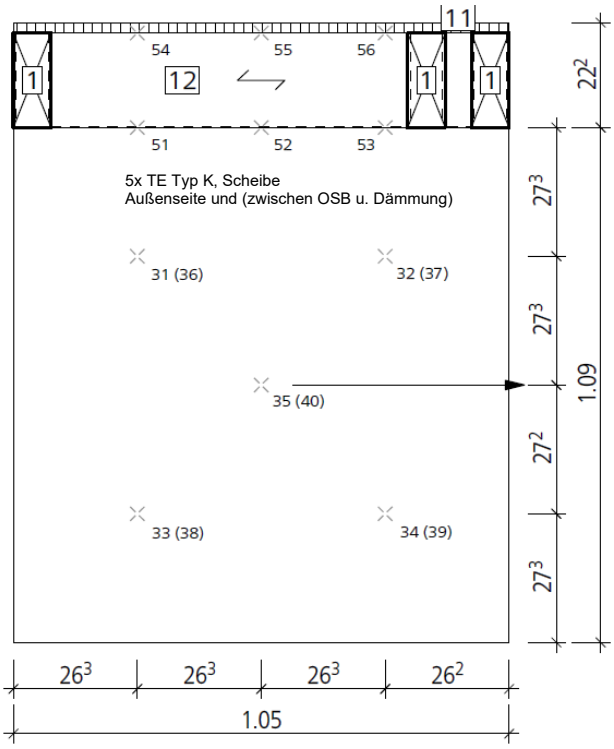
Balken und Verblockung verschraubt

Verblockung 2 mm dünner als Deckenbalken

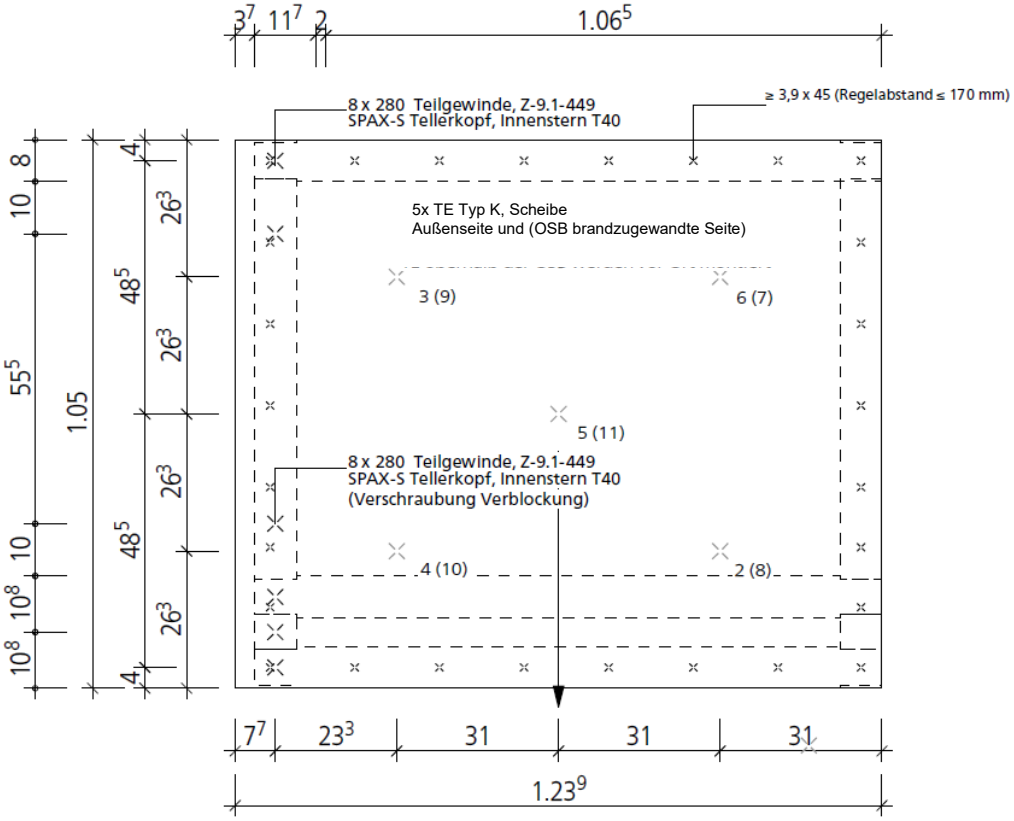
Ansicht Wand (brandzugewandte Seite)



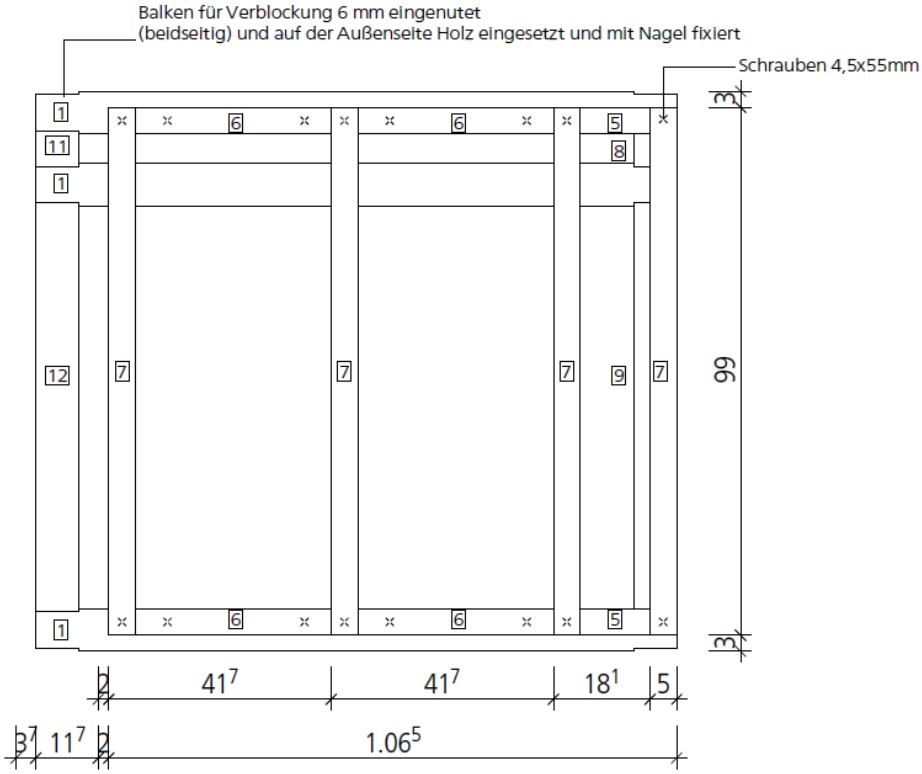
Ansicht Wand (brandabgewandte Seite)



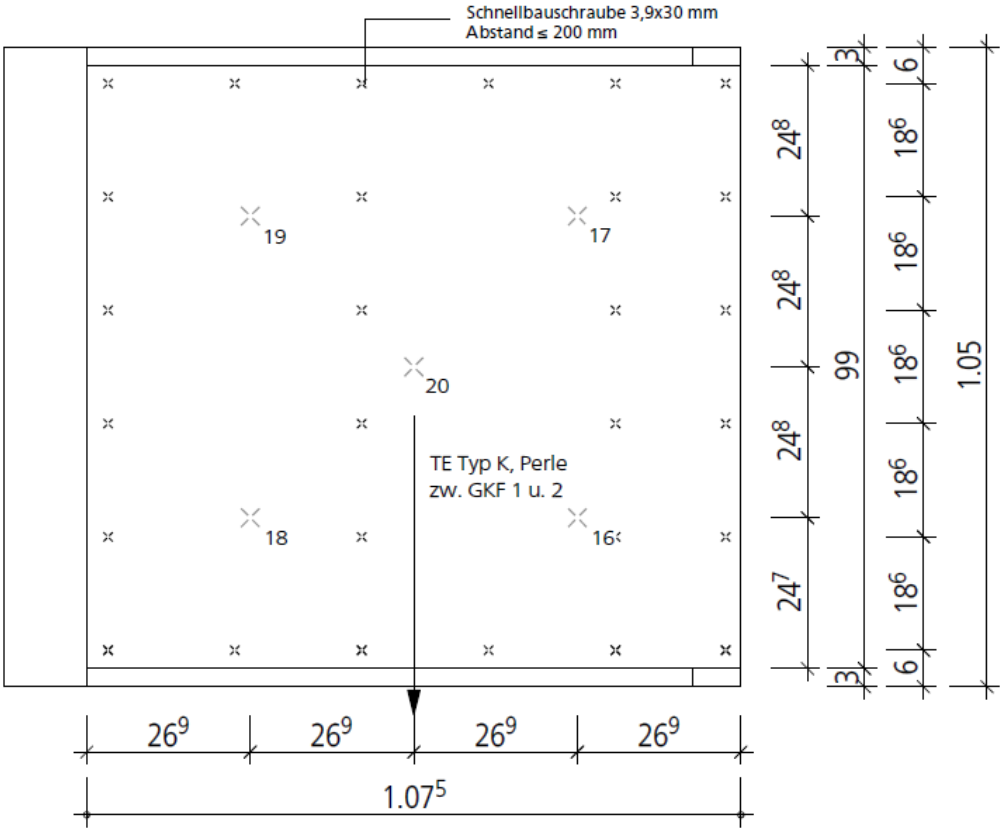
Draufsicht (brandabgewandte Seite)



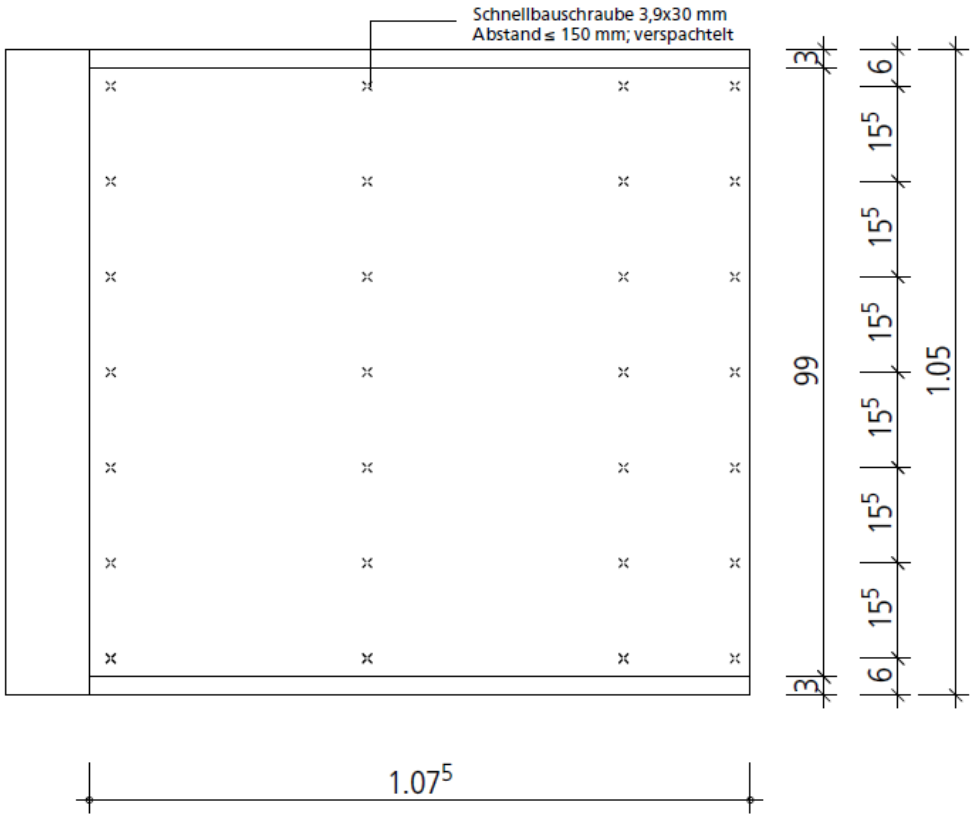
Unterkonstruktion Decke (Untersicht)



1. Lage GKF Decke (Untersicht)



2. Lage GKF Decke (Untersicht)



Benennung der Bauteilschichten (Wand)

Von Innen nach Außen

Schicht Nummer	Name	Rohdichte[1] [kg/m³]	Hersteller
W1	15 mm GKF	≥ 800	Knauf
W2	12 mm OSB/3	≥ 600	SWISS KRONO
W3	100 mm Holzfaserdämmstoff St. Flex	60	STEICO
W3	Konstruktionsebene KVH 60 x 100 mm	470	
W4	12 mm OSB/3	≥ 600	SWISS KRONO
W5	15 mm GKF	≥ 800	Knauf

KVH Holzfeuchte zwischen 12,2 und 13,5%

Benennung der Bauteilschichten (Decke)

Von Innen nach Außen

Schicht Nummer	Name	Rohdichte[1] [kg/m³]	Hersteller
D1	12,5 mm GKF	≥ 800	Knauf
D2	12,5 mm GKF	≥ 800	Knauf
D3	Holzkonstruktion 30 x 50 mm		-
D4	100 mm Holzfaserdämmstoff St. Flex	60	STEICO
D4	Konstruktionsebene KVH 80 x 200 mm	470	
D5	22 mm OSB/3	≥ 600	SWISS KRONO

KVH Holzfeuchte zwischen 12,2 und 13,5%

Weitere verwendete Materialien

Material	Herstellerfirma	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben 3,9 x 30 mm		W1-W2, W4-W5, D1-D2
Universalschrauben		D5
Gipsspachtel + Trennfix	Knauf	Plattenstoß (W1-D1)
Klebeband UNI TAPE	ProClima	Abklebung OSB-Flanken Decke/Wand außen
Klebeband Eurasol HT	Würth	Abklebung RAK
Dichtband d=2 mm, b=30 mm	Rex	Bauteilfuge

[1] Gemäß Auftraggeber

2.Versuchsparameter

Versuchsbeginn:	12:27:53 Uhr
Versuchsende:	13:27:55 Uhr
Versuchsdauer in min:	60

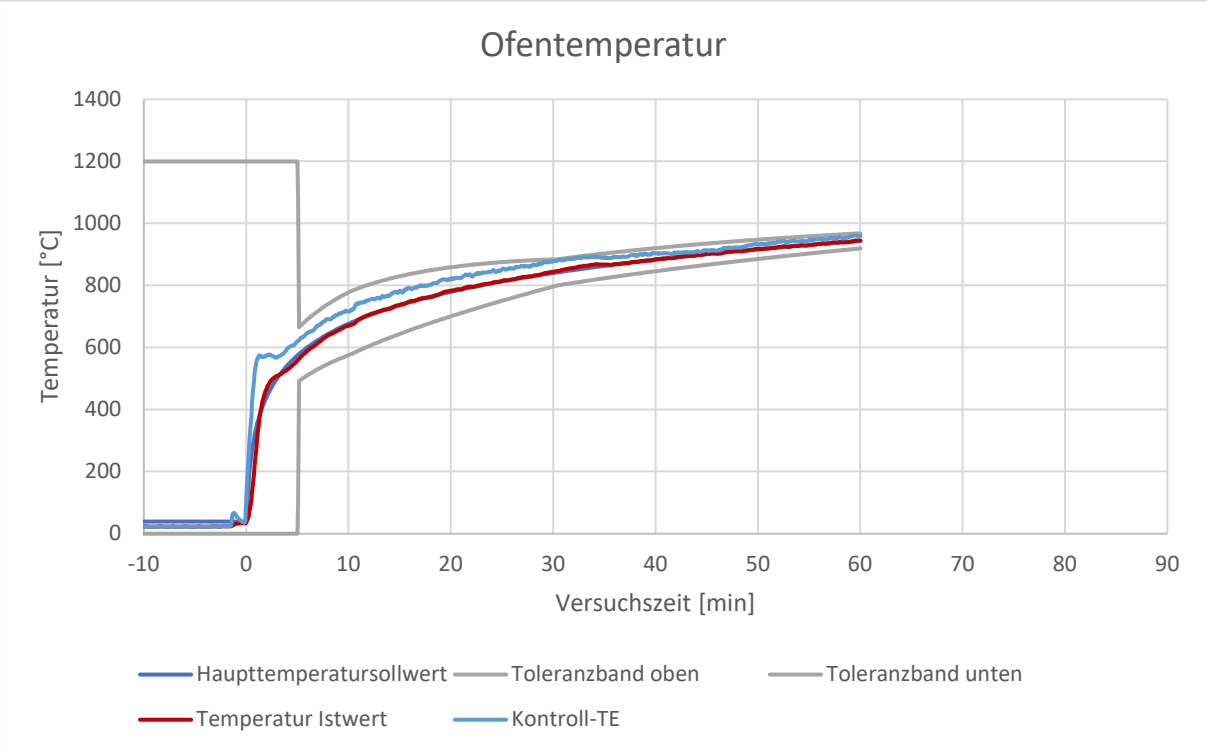
2.1 Umgebungsbedingungen

bei Versuchsbeginn

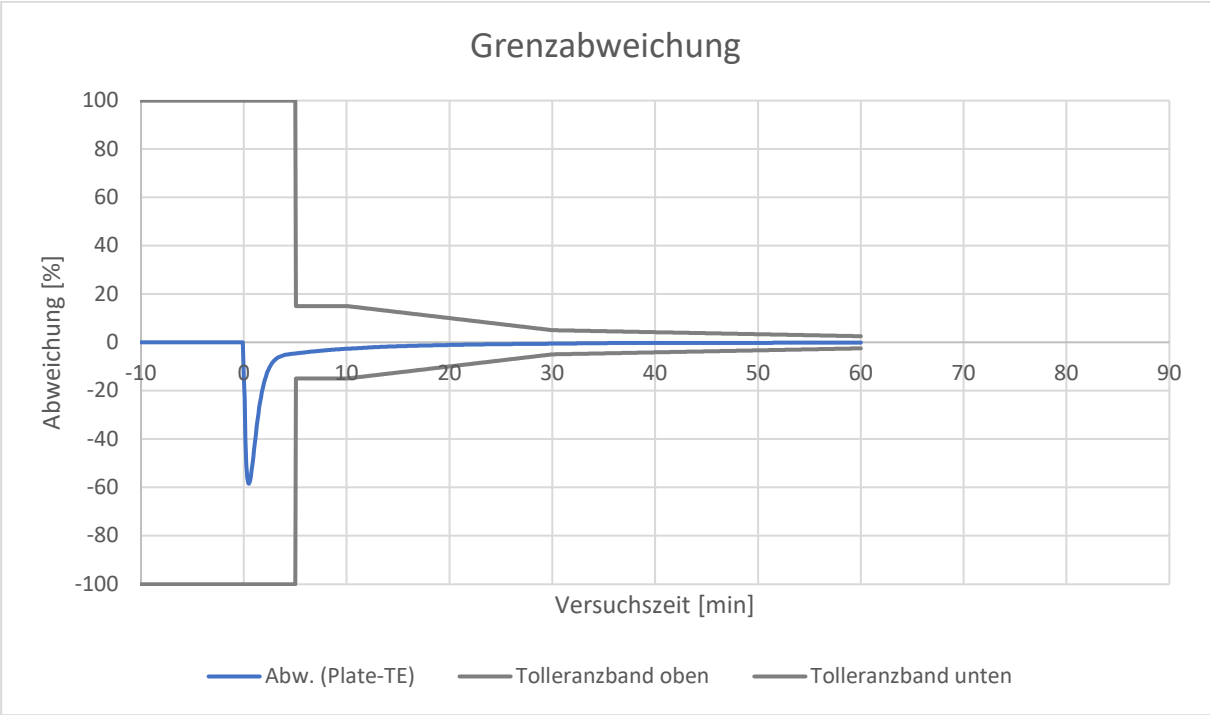
Umgebungsdruck:	1013 mbar
Umgebungstemperatur:	24,7 °C
Luftfeuchte in %:	59 % rh

2.2 Prüfbedingungen:

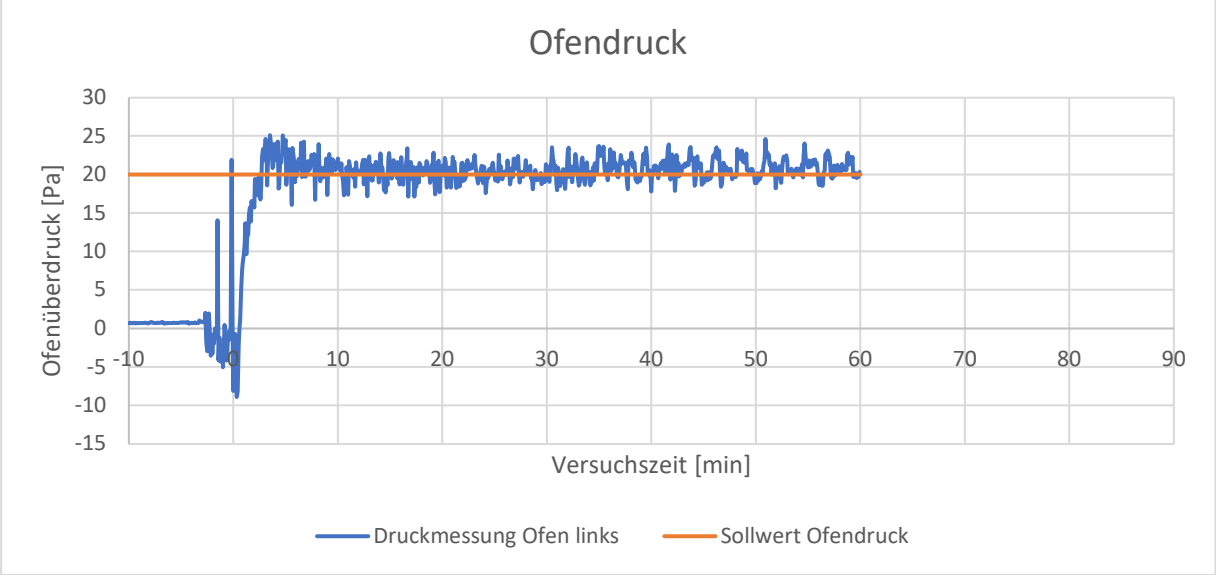
Temperaturzeitkurve



Grenzabweichungen



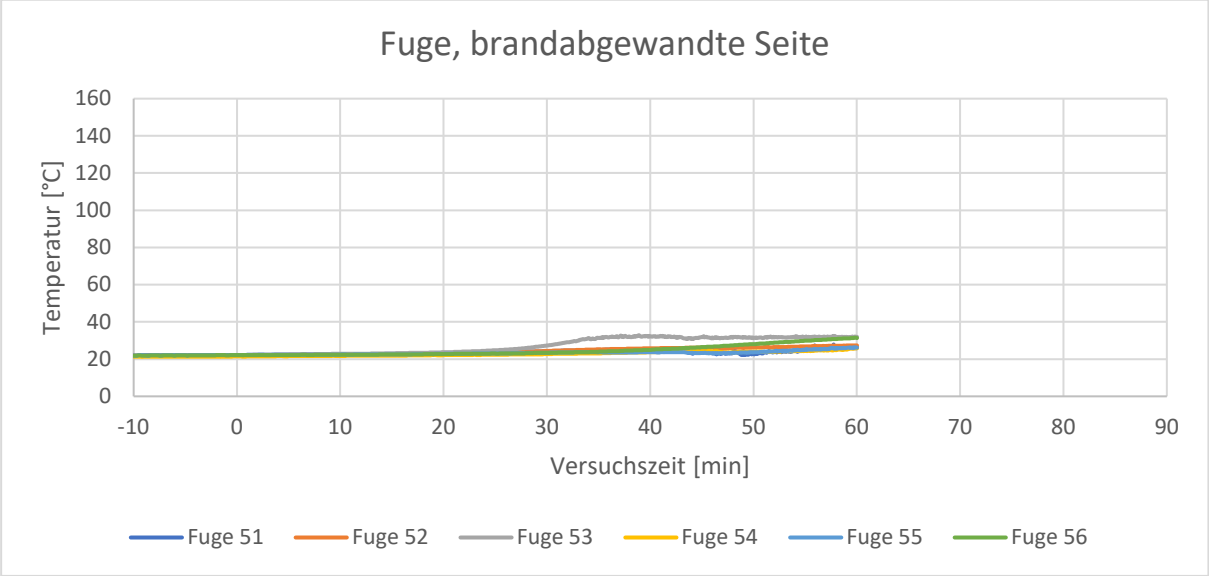
Ofenüberdruck

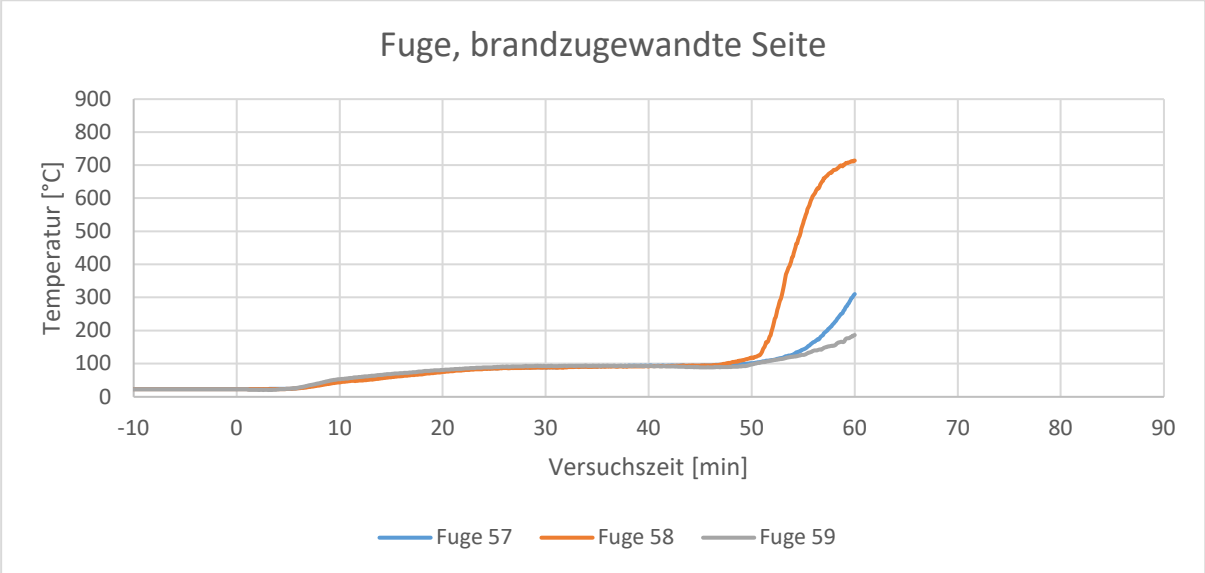


3.Auswertung

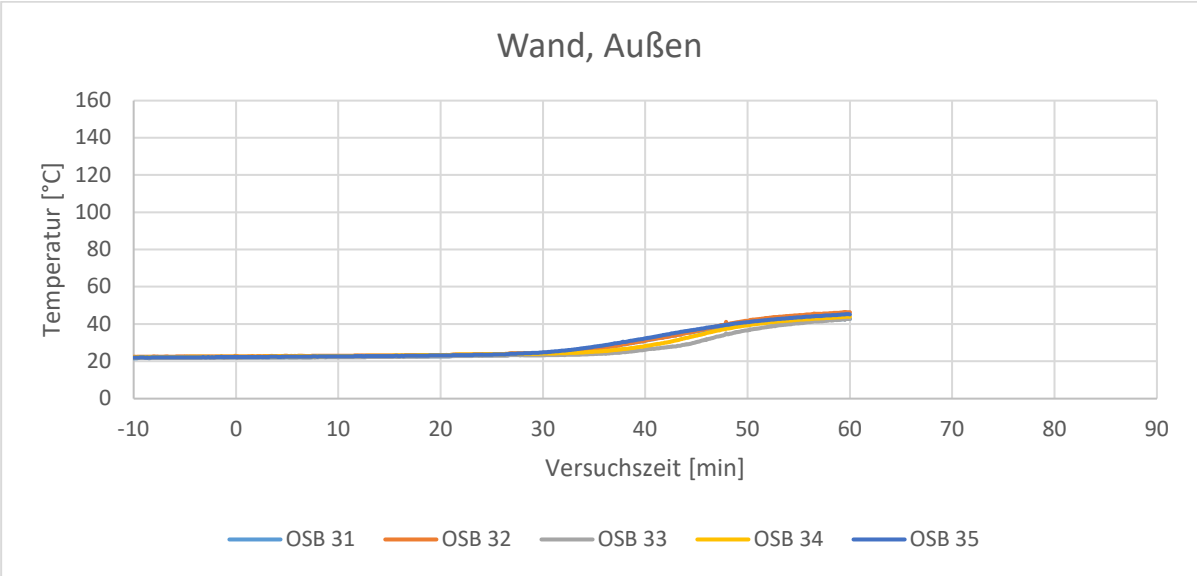
3.1. Temperaturverläufe

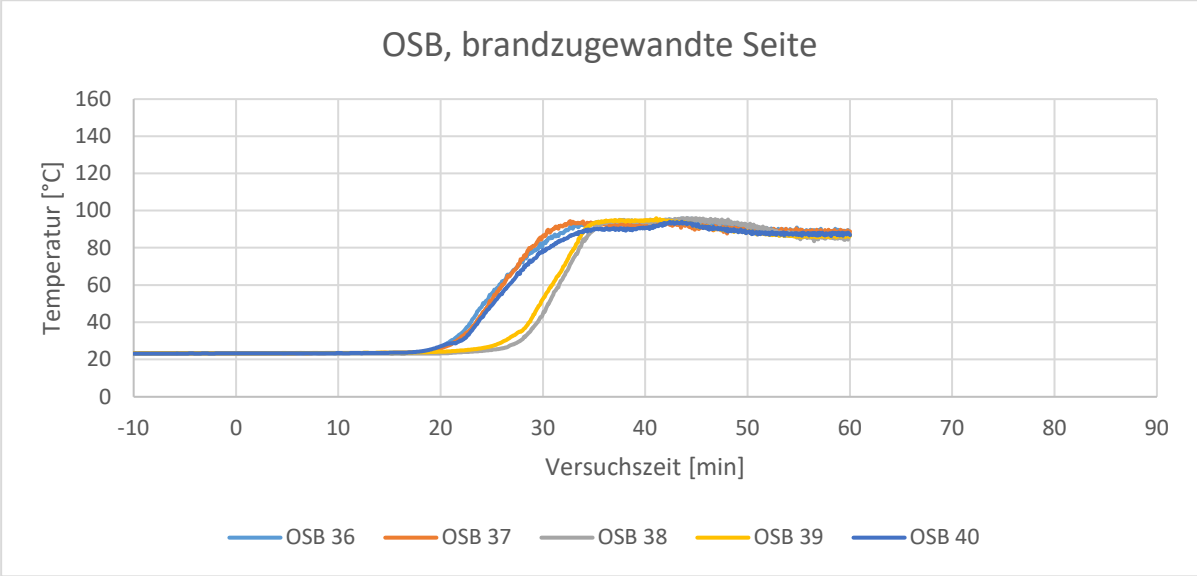
Temperaturverlauf Fuge

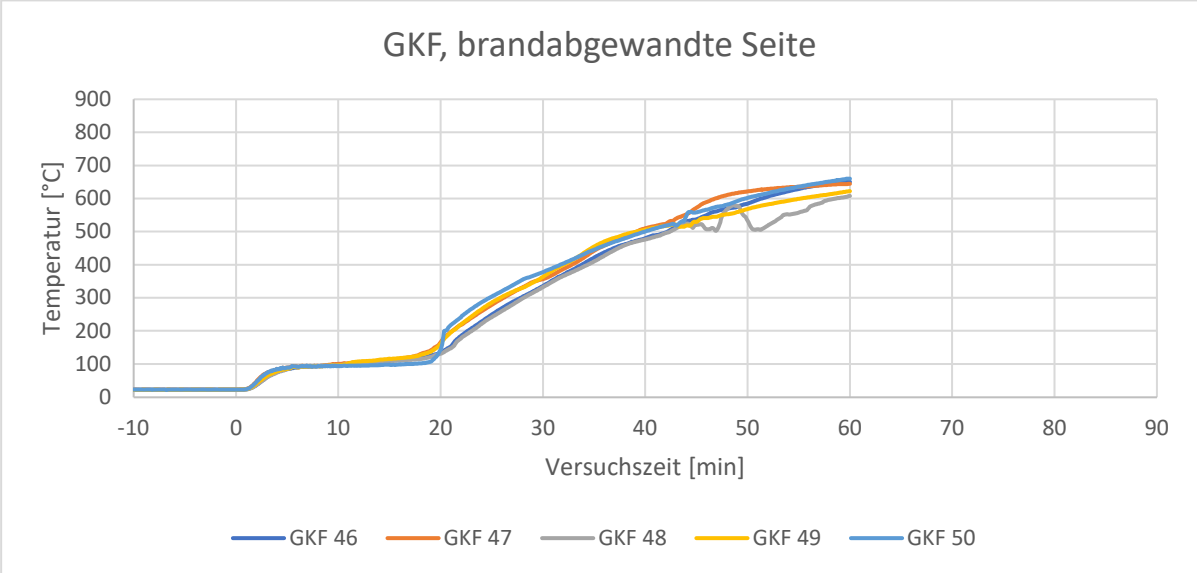




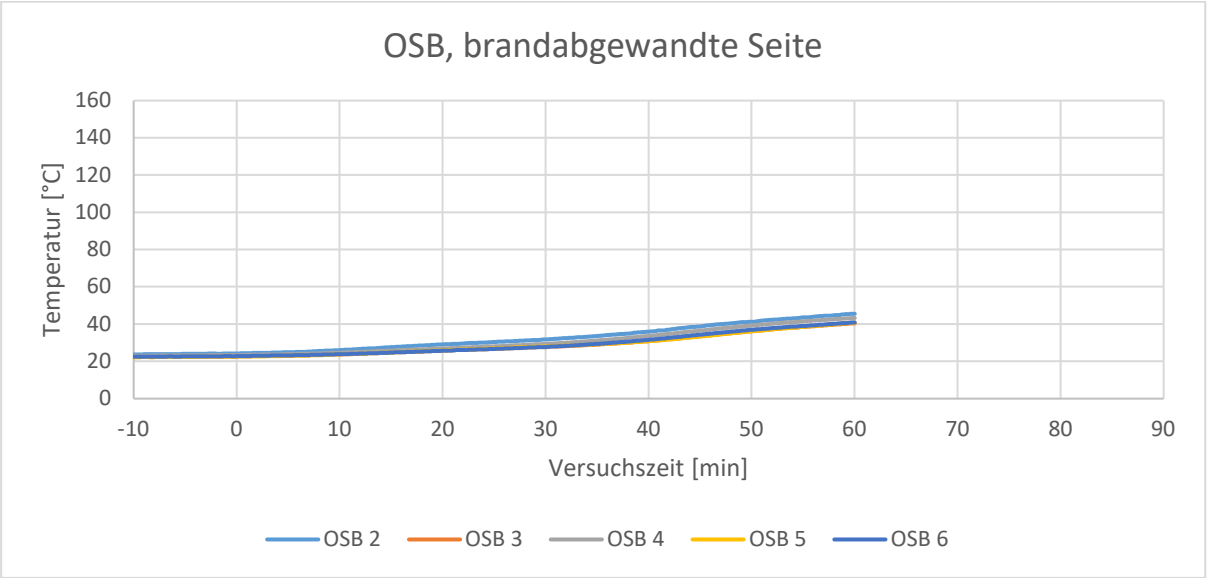
Temperaturverlauf Wand:

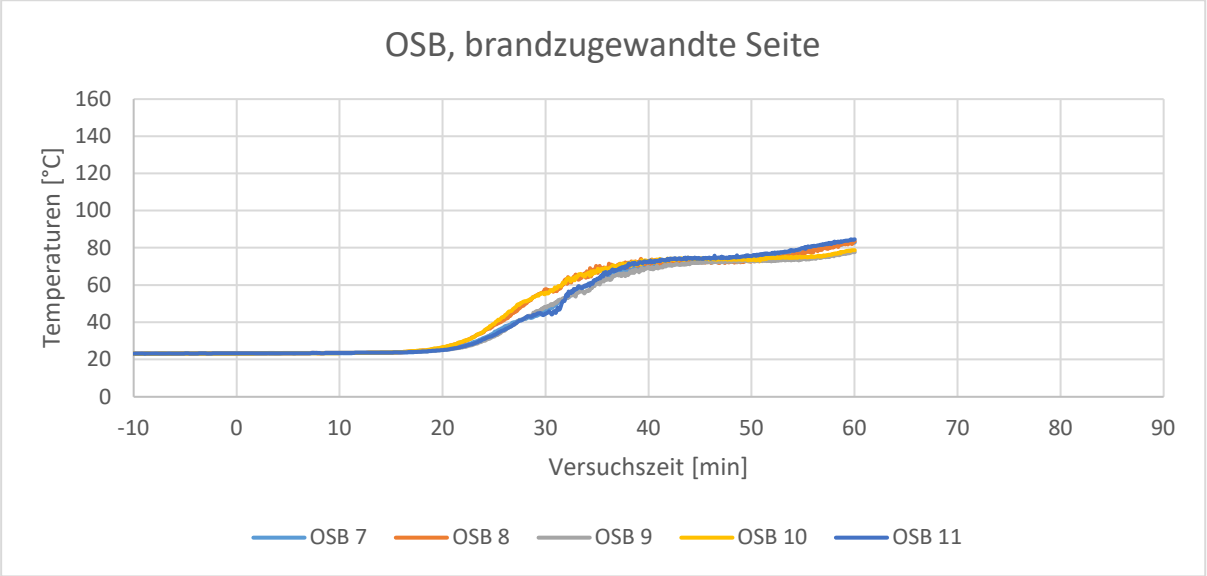


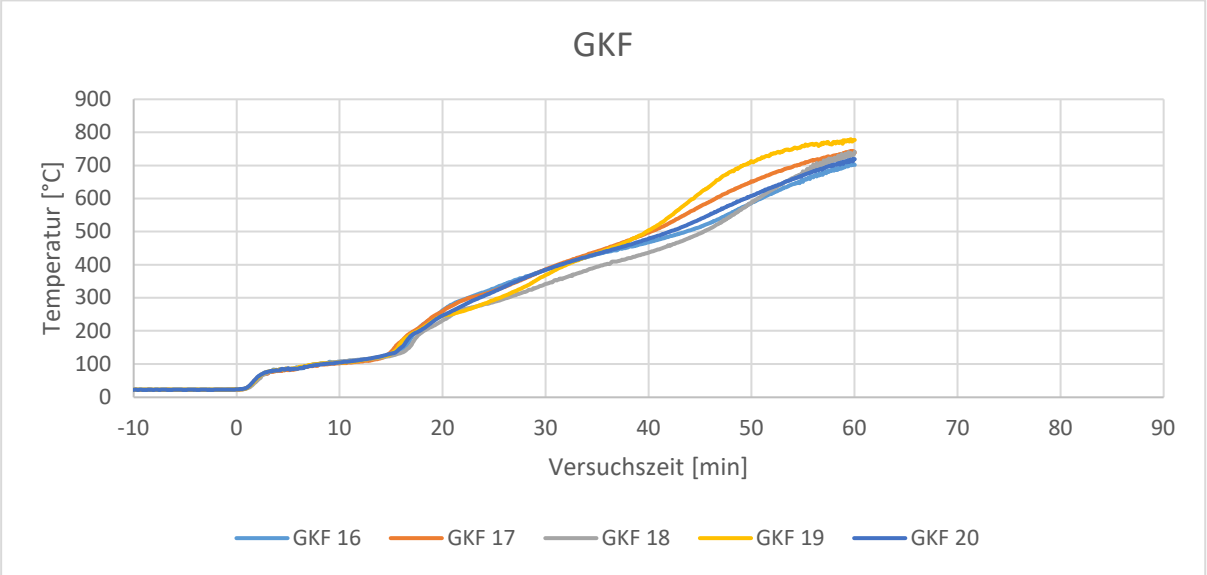




Temperaturverlauf Decke:

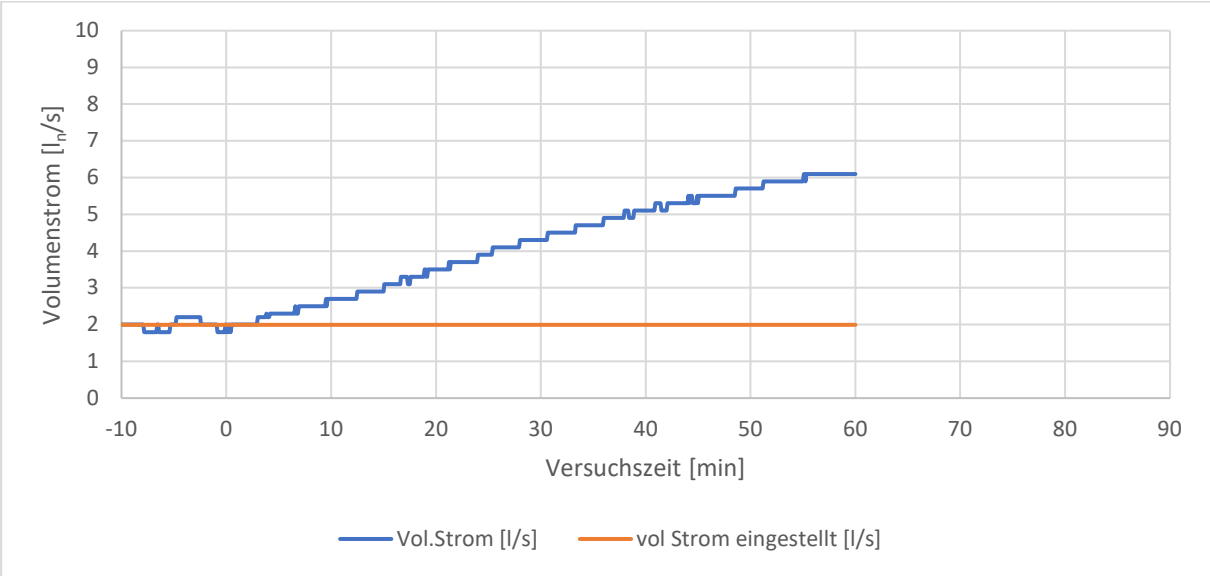




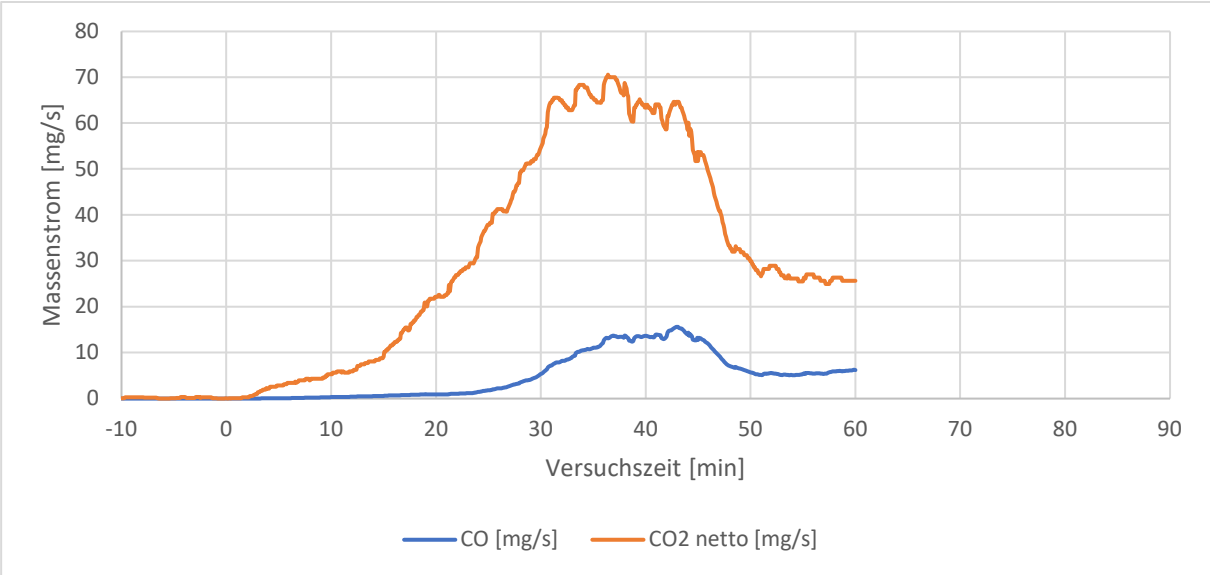


3.2. Ergebnisse der Rauchgasanalytik

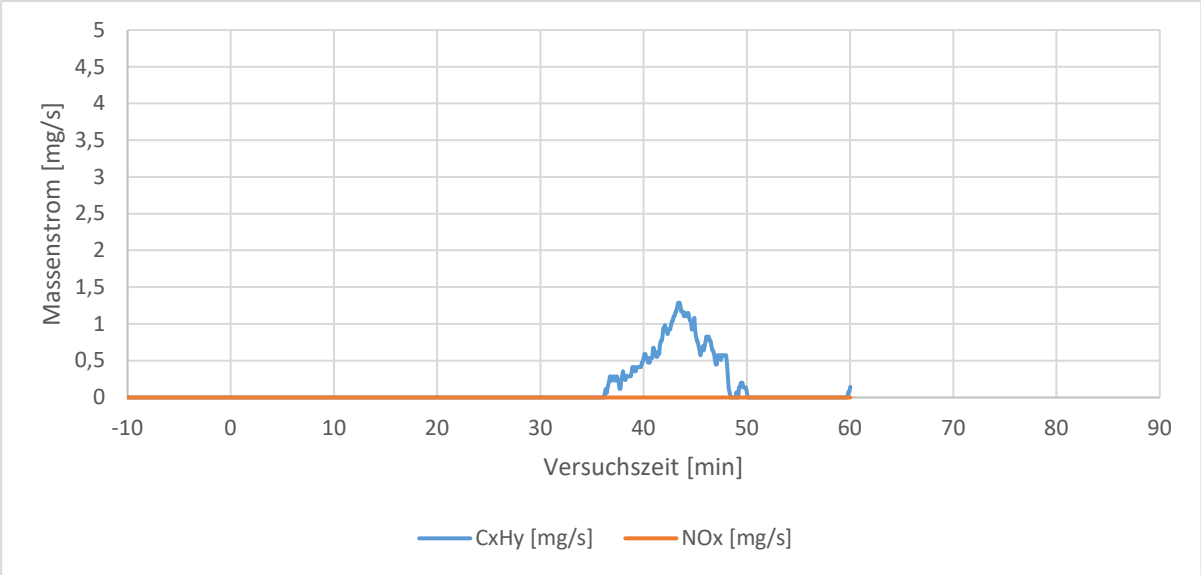
Volumenstrom



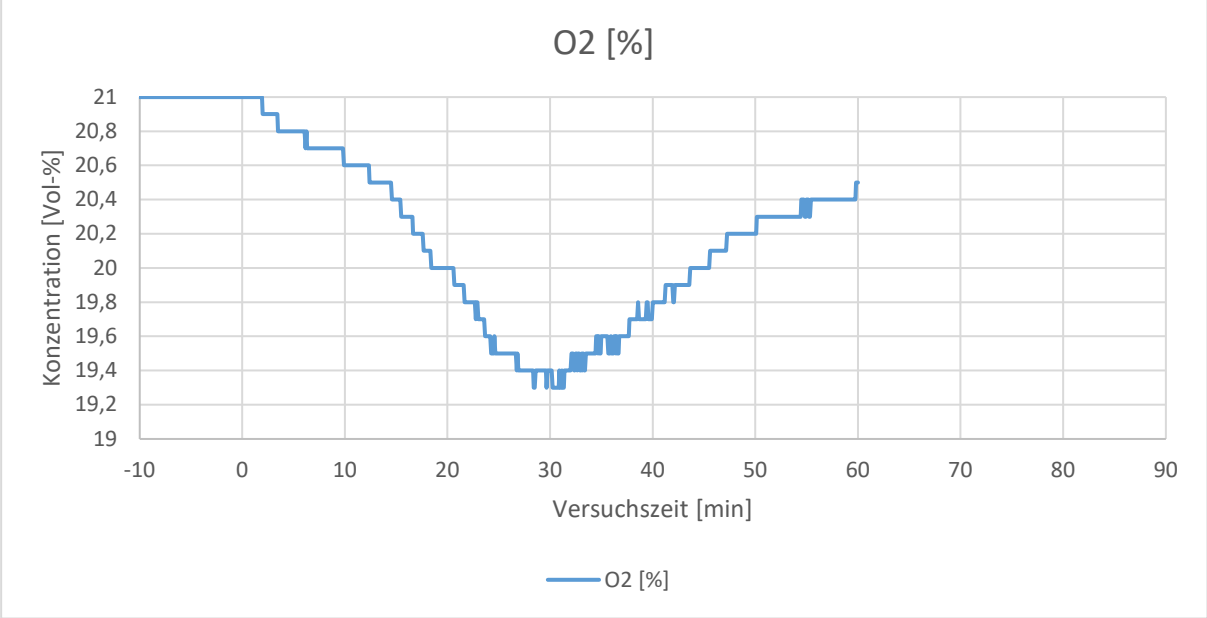
Massenströme CO, CO_2



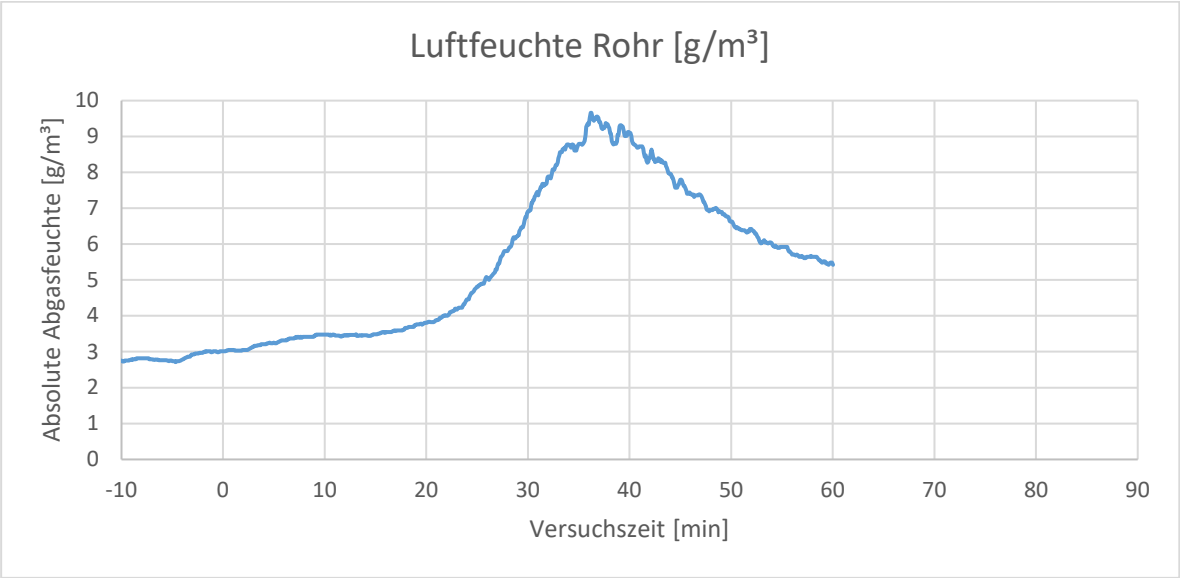
Massenströme C_xH_y, NO_x



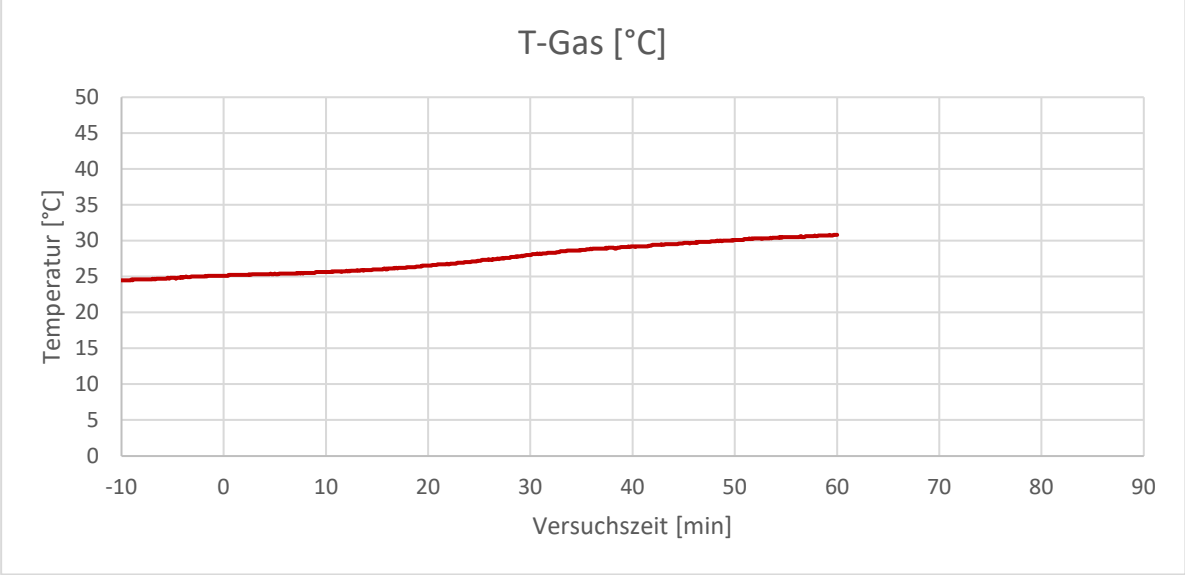
O_2-Konzentration



Absolute Abgasfeuchte



Abgastemperatur



3.3. Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
8.	Anstieg CO > 100 ppm, kein Gasaustritt sichtbar	
28.	Leichter Rauchdurchtritt unterhalb kleiner Verblockung (brandabgewandt rechts)	x
34.	Nachdichtung Wand unterhalb Schwelle	
43.	Leichter Rauchdurchtritt/Kondenswasserbildung an oberer rechter Ecke der großen Verblockung (neben TE 53)	x
60.	Abnahme RAK; Wattebauschtest an Verblockung negativ: keine Verfärbung, Versuchsende	x

4. Anhänge/Fotodokumentation

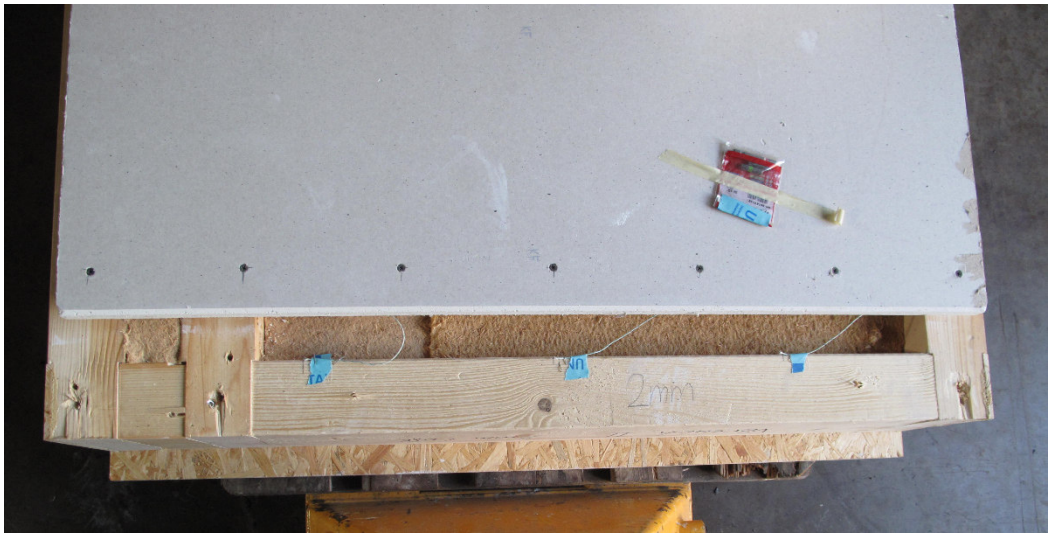


Abbildung 1: Probekörper, Verblockung zwischen den Deckenbalken, brandzugewandte Seite [vor Versuchsbeginn]



Abbildung 2: Probekörper, Verblockung zwischen den Deckenbalken, brandzugewandte Seite [vor Versuchsbeginn]



Abbildung 3: Probekörper, Anordnung des Dichtbandes auf dem Rähm [vor Versuchsbeginn]



Abbildung 4: Probekörper, brandzugewandte Seite [vor Versuchsbeginn]

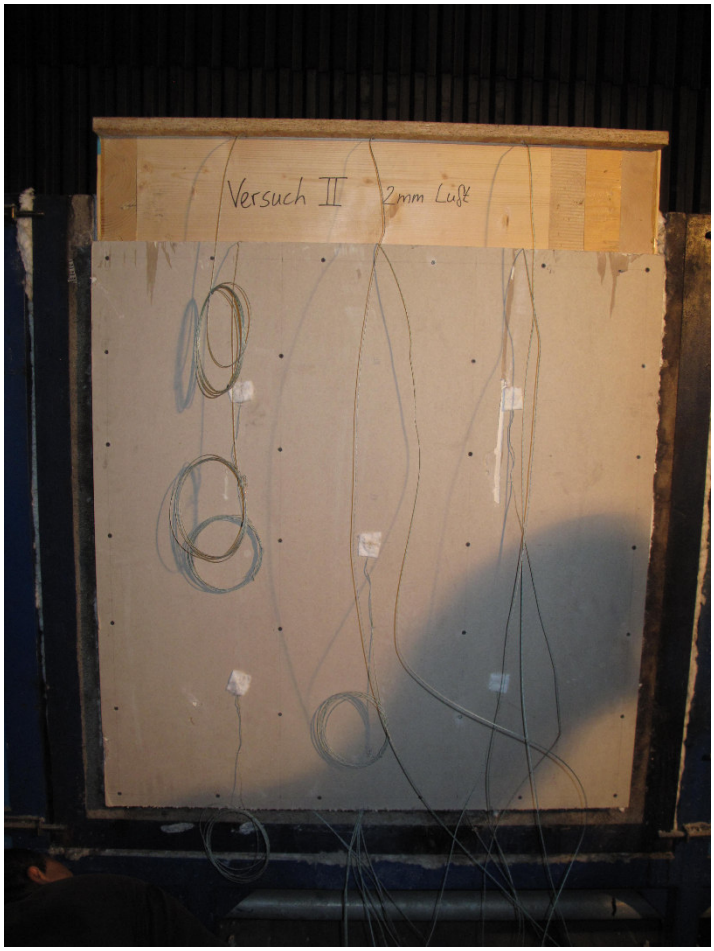


Abbildung 5: Wand, brandabgewandte Seite [vor Versuchsbeginn]



Abbildung 6: Verblockung, brandabgewandte Seite [vor Versuchsbeginn]



Abbildung 7: Decke, brandabgewandte Seite [vor Versuchsbeginn]

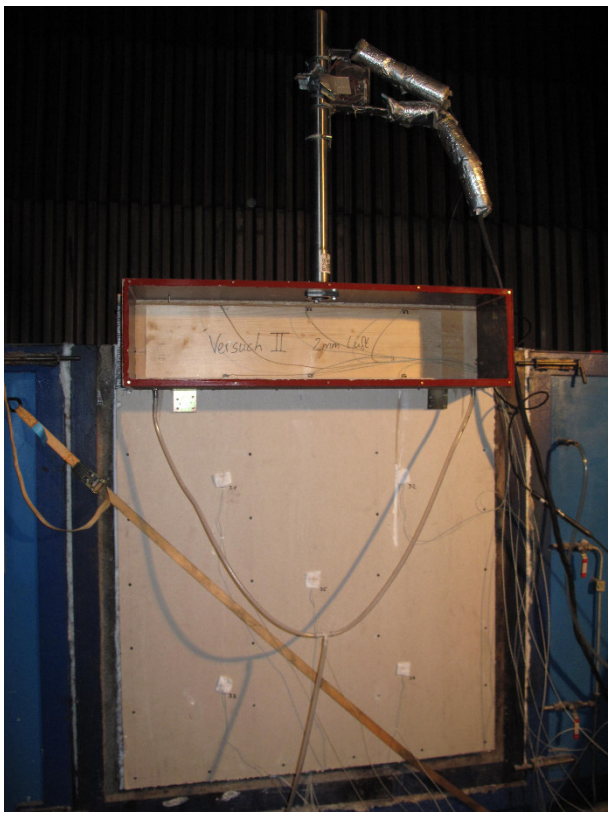


Abbildung 8: Montage des RAK [vor Versuchsbeginn]

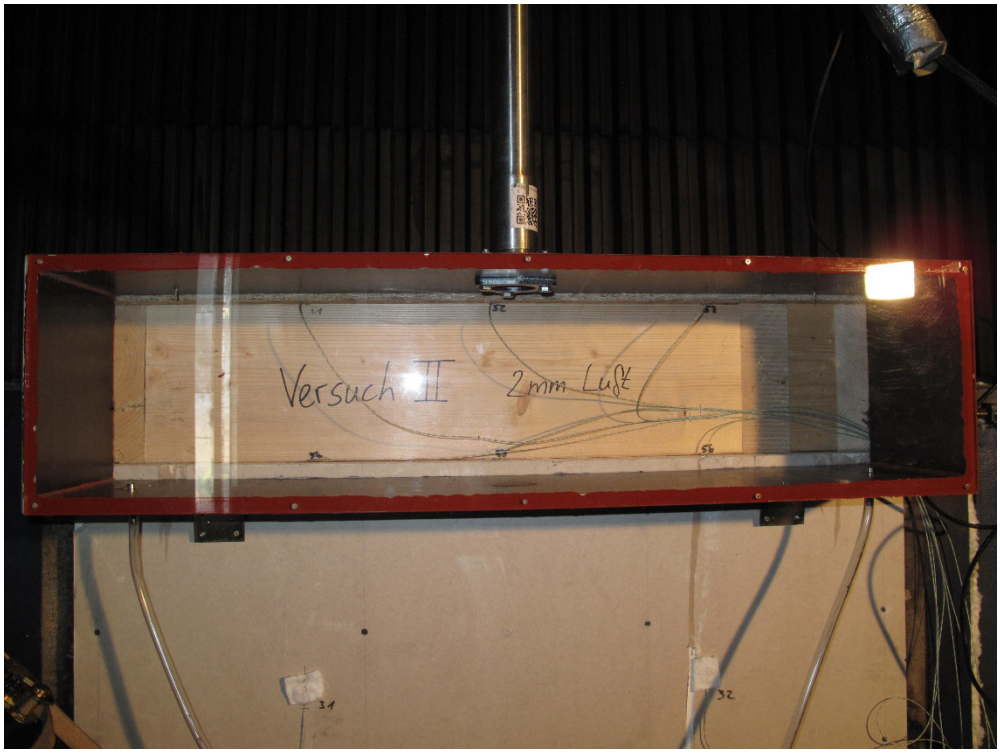


Abbildung 9: RAK, brandabgewandte Seite [15. Versuchsminute]



Abbildung 10: Decke, brandabgewandte Seite [15. Versuchsminute]

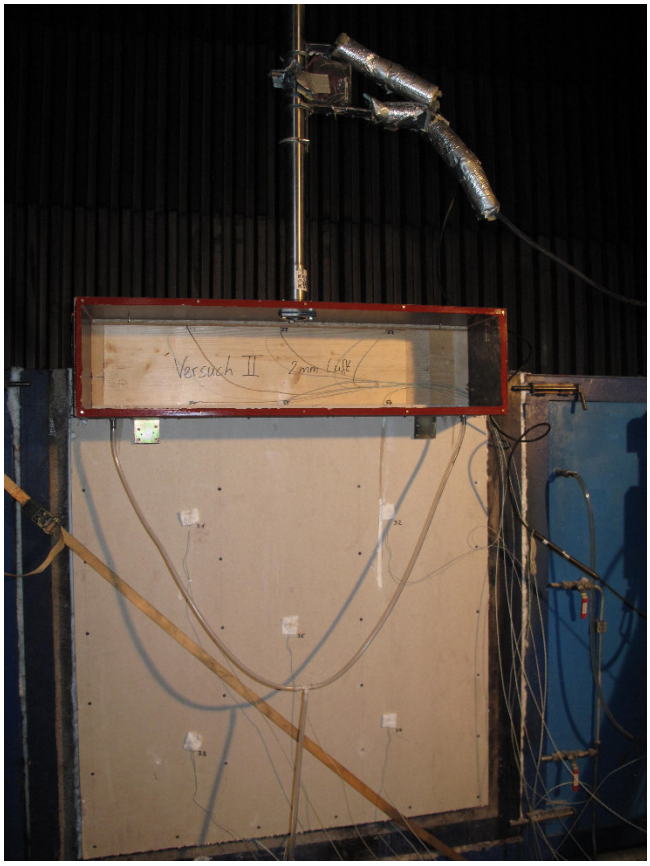


Abbildung 11: Wand, brandabgewandte Seite [15. Versuchsminute]



Abbildung 12: RAK, brandabgewandte Seite [30. Versuchsminute]

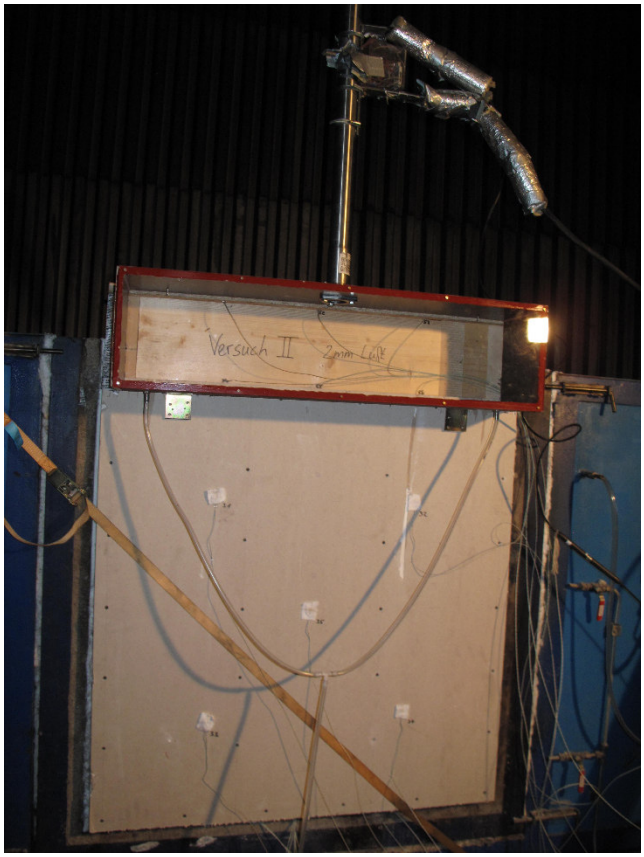


Abbildung 13: Wand, brandabgewandte Seite [30. Versuchsminute]



Abbildung 14: Leichter Rauchdurchtritt an der Verblockung [30. Versuchsminute]



Abbildung 15: RAK, brandabgewandte Seite [45. Versuchsminute]

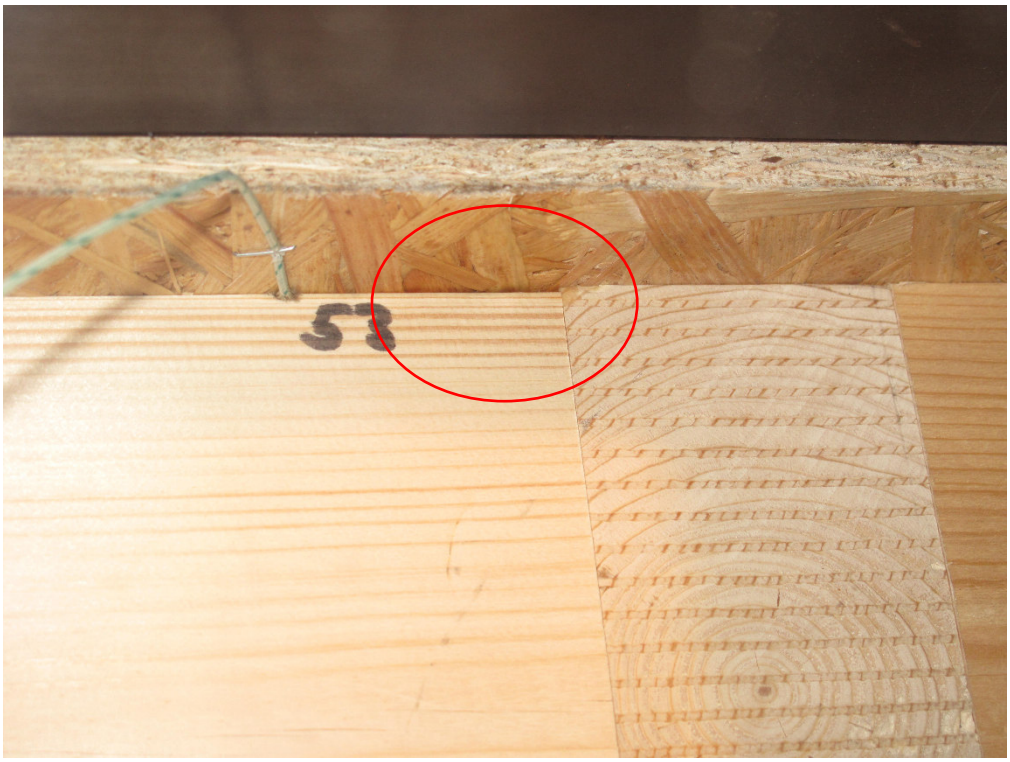


Abbildung 16: Leichter Rauchdurchtritt/Kondenswasser an der Verblockung [45. Versuchsminute]



Abbildung 17: Leichter Rauchdurchtritt/Kondenswasser an der Verblockung [45. Versuchsminute]



Abbildung 18: Wand, Verblockung, brandabgewandte Seite [60. Versuchsminute]

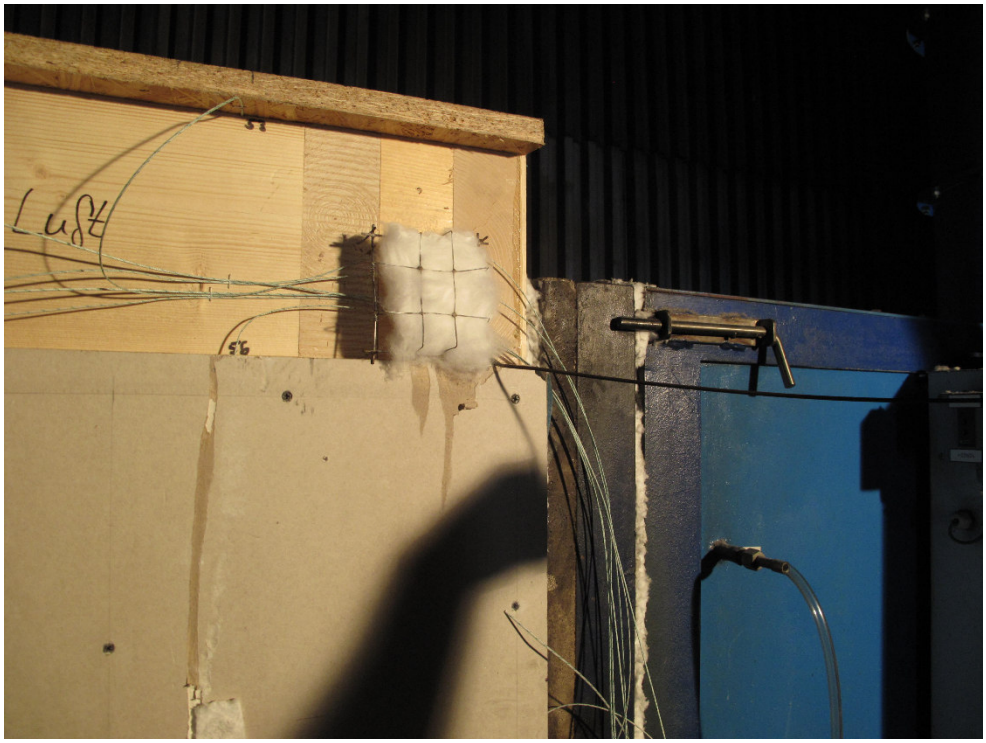


Abbildung 19: Wattebauschtest an der Verblockung [60. Versuchsminute]



Abbildung 20: Verblockung, rechte brandabgewandte Seite [60. Versuchsminute]



Abbildung 21: Decke, brandabgewandte Seite [60. Versuchsminute]



Abbildung 22: Herausheben des Probekörpers [nach Versuchsende]



Abbildung 23: Öffnen und Ablöschen des Probekörpers



Abbildung 24: Öffnen und Ablöschen des Probekörpers

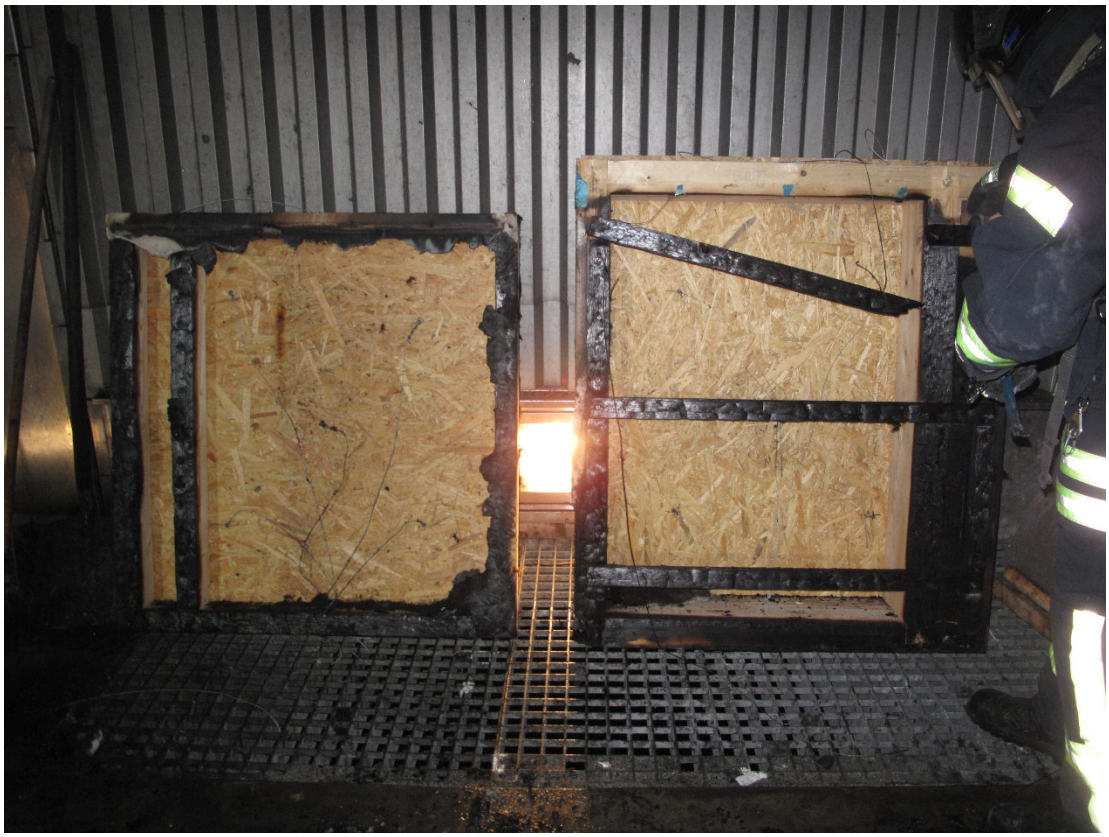


Abbildung 25: Wand & Decke, brandzugewandte Seite [nach Versuchsende, Bauteilfuge oben]



Abbildung 26: Wand, brandzugewandte Seite [nach Versuchsende, Bauteilfuge oben]



Abbildung 27: Rähm, brandzugewandte Seite [nach Versuchsende]



Abbildung 28: Rähm, brandzugewandte Seite [nach Versuchsende]

4.1. Darstellung des Restquerschnittes

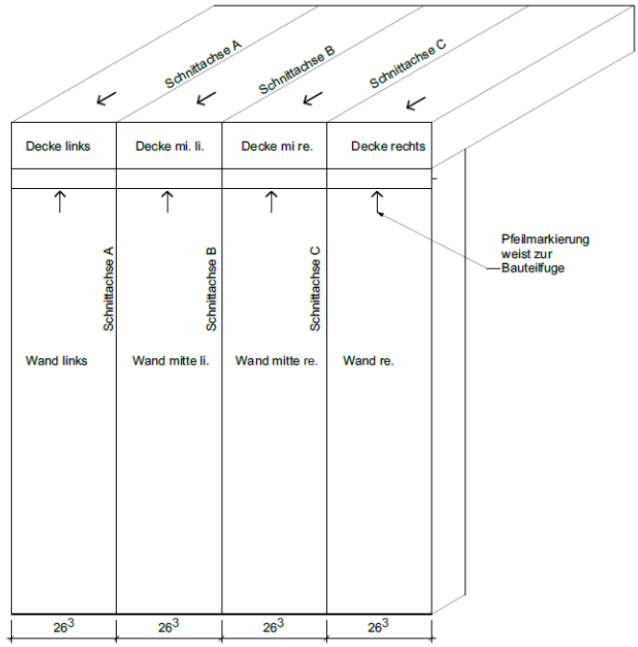


Abbildung 29: Schnittlinien Decke

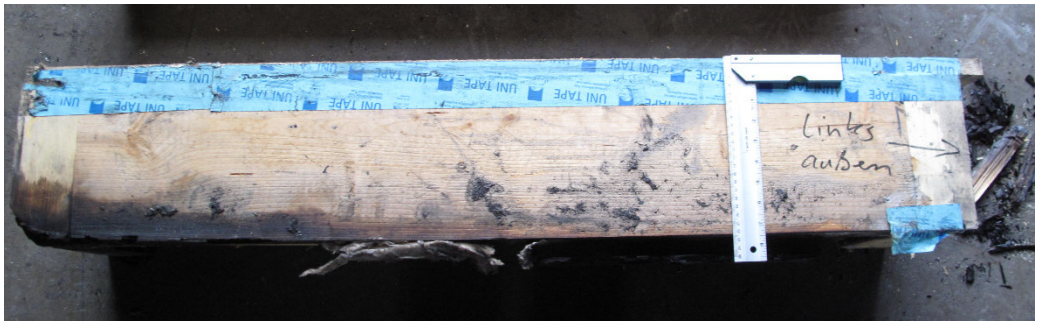


Abbildung 30: Restquerschnitt Decke, links außen



Abbildung 31: Restquerschnitt Decke, Schnittachse A

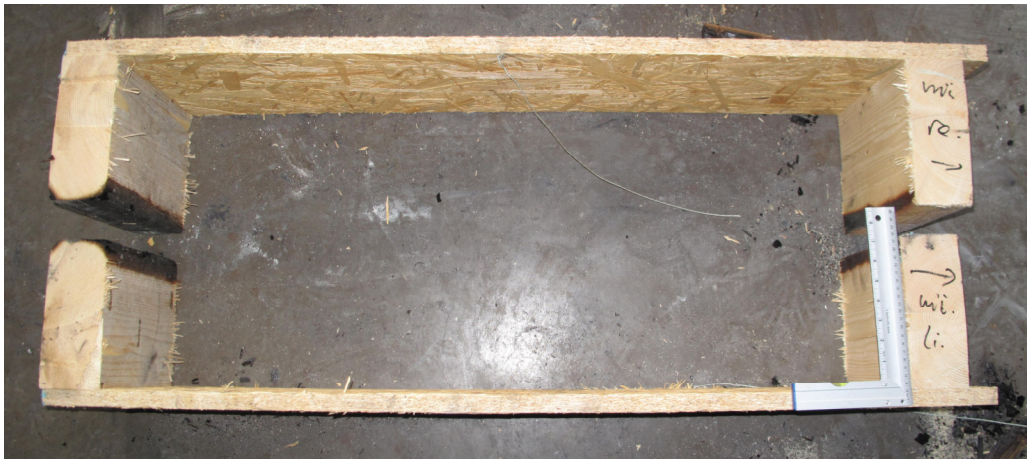


Abbildung 32: Restquerschnitt Decke, Schnittachse B



Abbildung 33: Restquerschnitt Decke, Schnittachse C



Abbildung 34: Restquerschnitt Decke, rechts außen



Abbildung 35: Restquerschnitt Wand, links außen

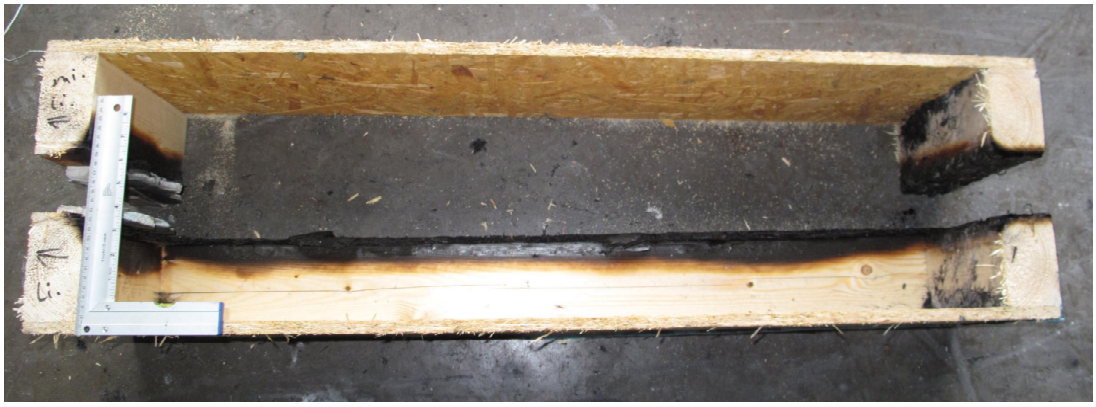


Abbildung 36: Restquerschnitt Wand, Schnittachse A



Abbildung 37: Restquerschnitt Wand, Schnittachse B

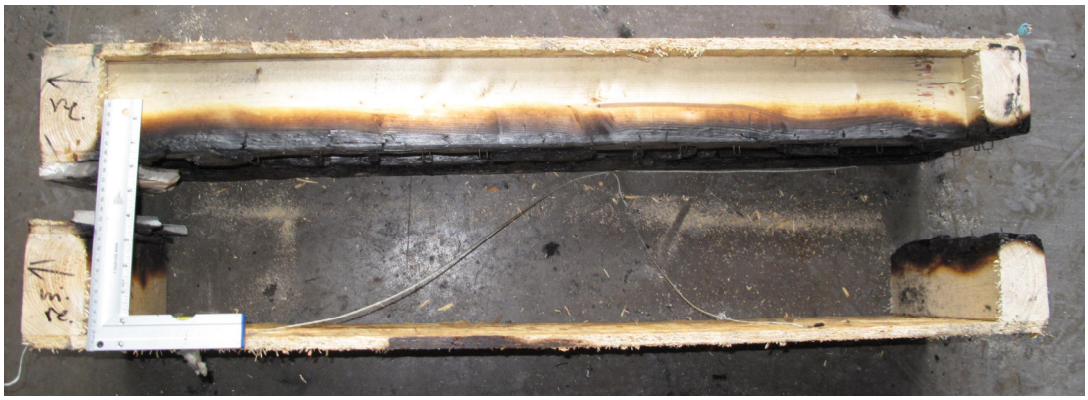


Abbildung 38: Restquerschnitt Wand, Schnittachse C



Abbildung 39: Restquerschnitt Wand, rechts außen