



Technische  
Universität  
Braunschweig

**iBMB** **MPA**  
TU BRAUNSCHWEIG

Technische Universität Braunschweig | Institut für Baustoffe, Massivbau  
und Brandschutz (iBMB) | Beethovenstraße 52 | 38106 Braunschweig  
Fachgebiet Brandschutz  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß

# Abschlussbericht

---

*Erarbeiten eines Prüfverfahrens und von Leistungskriterien für eine objektive  
Bestimmung des Rauchdurchgangs bei Brandprüfungen*

**Im Auftrag des**

**Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt)**

Forschungsvorhaben-Nr. P52-5-4.213-2087.22

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Zehfuß

Jan-Gabriel Scheller, M. Sc.

Juni 2023

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
1.1	Problembeschreibung und Zielsetzung .....	4
1.2	Literaturrecherche .....	5
<b>2</b>	<b>Prüfverfahren .....</b>	<b>11</b>
2.1	Messverfahren .....	11
2.2	Versuchsdurchführung .....	14
<b>3</b>	<b>Auswertung der Versuche .....</b>	<b>23</b>
3.1	Allgemeines .....	23
3.2	Brandversuche an nichtbrennbaren Bauteilen.....	23
3.3	Brandversuche an brennbaren Bauteilen .....	28
3.4	Vergleich der Brandversuche .....	32
<b>4</b>	<b>Empfehlungen für die Anwendung und normative Regelungen.....</b>	<b>34</b>
4.1	Empfehlungen für die Anwendung .....	34
4.2	Normative Regelungen.....	38
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>41</b>
6.1	Protokoll Versuch 1 (MW-mit Putz).....	41
6.1.1	Versuchsaufbau .....	41
6.1.2	Versuchsparameter.....	44
6.1.3	Auswertung .....	46
6.2	Protokoll Versuch 2 (MW-ohne Putz) .....	55
6.2.1	Versuchsaufbau .....	55
6.2.2	Versuchsparameter.....	58
6.2.3	Auswertung .....	60
6.3	Protokoll Versuch 3 (TB-STB1) .....	68
6.3.1	Versuchsaufbau .....	68

6.3.2	Versuchsparameter.....	72
6.3.3	Auswertung.....	74
6.4	Protokoll Versuch 4 (TB-STB2).....	92
6.4.1	Versuchsaufbau.....	92
6.4.2	Versuchsparameter.....	96
6.4.3	Auswertung.....	98
6.5	Protokoll Versuch 5 (MW-STB).....	116
6.5.1	Versuchsaufbau.....	116
6.5.2	Versuchsparameter.....	120
6.5.3	Auswertung.....	122
6.6	Protokoll Versuch 6 (HTB-HTB).....	139
6.6.1	Versuchsaufbau.....	139
6.6.2	Versuchsparameter.....	143
6.6.3	Auswertung.....	145
6.7	Protokoll Versuch 7 (BSP-STB).....	162
6.7.1	Versuchsaufbau.....	162
6.7.2	Versuchsparameter.....	166
6.7.3	Auswertung.....	168
6.8	Protokoll Versuch 8 (BSP-BSH).....	187
6.8.1	Versuchsaufbau.....	187
6.8.2	Versuchsparameter.....	191
6.8.3	Auswertung.....	193

# 1 Einleitung

## 1.1 Problembeschreibung und Zielsetzung

In der Muster-Bauordnung von September 2019 und im Folgenden in vielen Landesbauordnungen erfolgte eine Öffnung für den Holzbau. Unter bestimmten Voraussetzungen sind erleichternd Bauteile, die hochfeuerhemmend oder feuerbeständig sein müssen, aus brennbaren Baustoffen zulässig. Dabei müssen diese Bauteile hinsichtlich der Standsicherheit und des Raumabschlusses die geforderte Feuerwiderstandsfähigkeit nachweisen und einschließlich ihrer Anschlüsse ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung (Ausbreitung von Feuer und Rauch) sein. Diese Anforderung zielt insbesondere auf die Rauchdichtigkeit ab. Eine objektive Bewertung des Rauchdurchgangs erfolgt im Rahmen von Brandprüfungen nach DIN 4102 Teil 2 bzw. DIN EN 1363 Teil 1 bisher nicht. Die DIN 4102 Teil 2 und die europäische Klassifizierungsnorm DIN EN 13501 Teil 2 sowie die europäische Prüfnorm DIN EN 1363 Teil 1 sehen hinsichtlich des Durchgangs von Rauch lediglich eine visuelle Überprüfung vor (Ziffer 10.4.7 in DIN EN 1363-1), ein Prüfverfahren und konkrete Leistungskriterien werden nicht vorgegeben.

Da die Normprüfungen bisher kein Kriterium zur Bewertung des Rauchdurchtritts von Bauteilanschlüssen oder an Elementfugen vorsehen, sollte im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ein Prüfverfahren erarbeitet werden, mit dem der Durchgang von Rauch bzw. heißen Gasen bestimmt werden kann. Weiterhin sollten Leistungskriterien vorgeschlagen werden, die objektiv messtechnisch bewertet werden können. Hierfür war ein Vergleich an konventionellen Massiv- und Trockenbaubauteilen aus nichtbrennbaren Baustoffen geplant, an denen die vorgeschlagenen Leistungskriterien kalibriert werden können. Neben theoretischen Betrachtungen sollten im Rahmen des hier beantragten Forschungsvorhabens vor allem experimentelle Untersuchungen durchgeführt werden. Die in den Brandversuchen zu untersuchenden Bauteile bzw. Anschlüsse wurden im Vorfeld mit der PG Brandschutz abgestimmt.

Neben den Bauteilfugen gemäß Tabelle 2.2 wurden auch Elementfugen der Wandbauteile untersucht. Dabei dienten die Versuche an den Elementfugen im Wesentlichen zur Stützung der Annahme einer höheren Relevanz der Bauteilfugen, wenn es um die Rauchdichtigkeit von Bauteilen geht. Im vorliegenden Bericht wird daher vorwiegend auf die Bauteilfugen zwischen Wand- und Deckenbauteilen eingegangen. Die Messergebnisse der Elementfugen sind der Vollständigkeit halber im Anhang wiedergegeben und bestätigen eine tendenziell höhere Rauchdichtigkeit gegenüber den Bauteilfugen.

## 1.2 Literaturrecherche

Zur quantitativen Bewertung des Rauchdurchgangs insbesondere durch Anschlussfugen liegen bereits einige Forschungsarbeiten vor, deren Ergebnisse u. a. in Peter [1] zusammengestellt wurden. Hierbei wurden sowohl die Lichttrübung, der Leckagestrom sowie Anteile toxischer Gase wie z. B. Kohlenmonoxyd als Bewertungskriterien herangezogen.

Zur Bewertung des Rauchdurchgangs bei raumabschließenden Bauteilen und deren Anschlüsse existiert mit Ausnahme von Rauch- und Feuerschutzabschlüssen bisher kein standardisiertes Messverfahren. In den bisherigen Forschungsarbeiten wurden unterschiedliche Bewertungskriterien betrachtet, die im Folgenden kurz vorgestellt werden. Die Prüfung erfolgte in der Regel an Bauteilanschlüssen bei Brandprüfungen nach DIN 4102-2.

Hosser, Kampmeier et al. [1] 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 1.1). Durch eine Transmissionsmessung wird die optische Dichte des Mediums bestimmt. 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. Die Messungen wurden mit dem Rauchdichtemessgerät MAURER ME 82 nach DIN 50055 durchgeführt. 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 entscheidender Nachteil des Verfahrens ergibt sich durch die mögliche Beeinflussung der Transmissionsmessung durch Wasserdampf, der ebenfalls zur Lichttrübung führt und durch das Messverfahren nicht von einer Trübung durch Rauchgase unterschieden werden kann. Weiterhin kann mit dem Messverfahren ein Leckagestrom nicht direkt bestimmt werden, sodass nur eine qualitative Aussage zur Leckage möglich ist. Da die optische Dichte der Rauchgase ebenfalls variabel ist, hängt das Ergebnis zudem vom Verbrennungsvorgang im Brandraum ab [3].

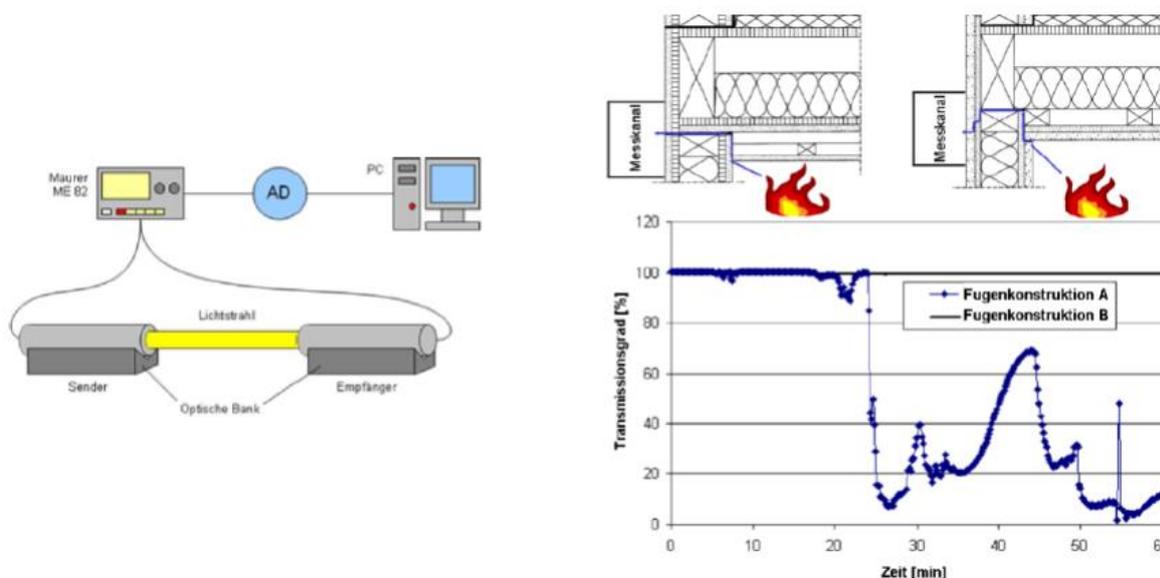


Abbildung 1.14.4: Prinzipskizze der Messtechnik sowie der Transmissionsmessung mit Rauchfangkasten an den Bauteilfugen [4], [5]

Ein weiteres Verfahren nach Hosser et al., welches von Stein [6] modifiziert wurde, basiert ebenfalls auf einem Rauchfangkasten, der an der Bauteilfuge auf der feuerabgewandten Seite installiert wird (Abbildung 1.2). Mittels Gasanalyse werden die Bestandteile der Brandgase im Ofen gemessen. Es wird vereinfacht davon ausgegangen, dass sich die Konzentration über den Fugenverlauf nicht ändert. Im Rauchfangkasten erfolgt eine Zuführung einer definierten Frischluftmenge (100 l/min). Das Gasgemisch im Rauchfangkasten wird ebenfalls analysiert. Die Leckagerate wird über die Änderung der Gaskonzentrationen bei Berücksichtigung der Frischluftzufuhr bestimmt [6]. Bei dieser Vorgehensweise erfolgt zwar keine Beeinflussung der Messung durch Wasserdampf, jedoch besteht eine Abhängigkeit vom verwendeten Brennstoff des Ofens (Gas oder Öl). Weiterhin kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Konzentration der aufgefundenen Gase durch Pyrolysevorgänge in der Bauteilfuge oder im Bauteil verändert, womit die Massenerhaltungsgleichung verfälscht wird.

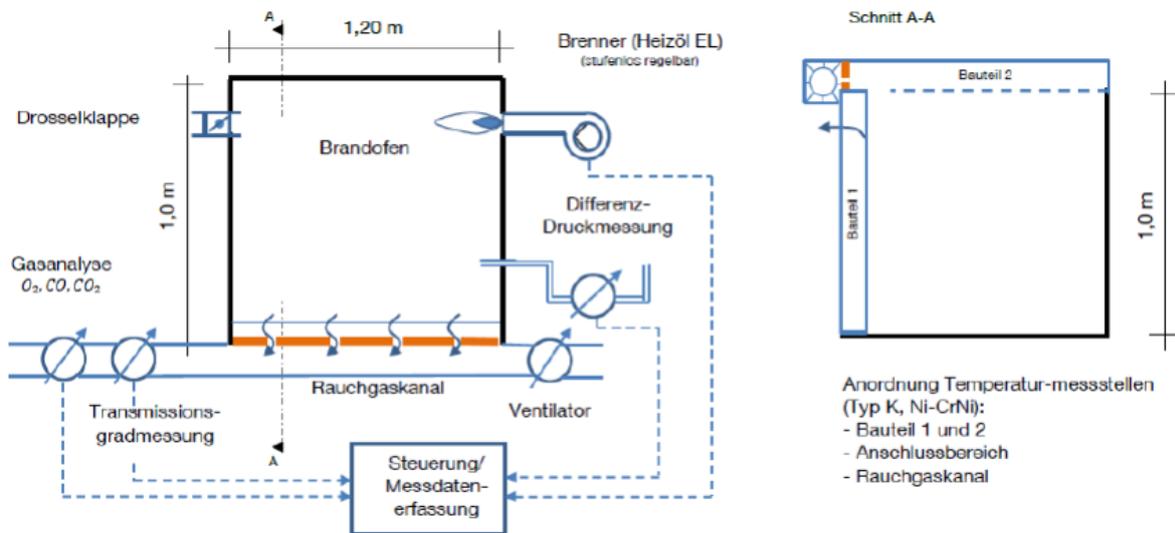


Abbildung 1.24-2: Prinzipskizze der Leckagestrombestimmung anhand Gasanalyse [6]

Im Rahmen des Forschungsvorhabens HolzbauRLBW [7] wurde ein von Kampmeier und Sudhoff entwickelter Ansatz zur Beurteilung des Rauchdurchtritts durch Bauteilfugen angewendet, der die vorgenannten Verfahren optimiert. In diesem Verfahren werden weder die Lichttrübung noch ein Vergleich der Gaskonzentration als Bewertungskriterien herangezogen. Das Verfahren zeichnet sich durch eine direkte Bestimmung des Volumenstroms der Leckage aus und kann in Kombination mit einer Gasanalyse angewendet werden. Für das "Auffangen" der Rauchgase wurde auf das bewährte Prinzip des Rauchauffangkastens zurückgegriffen.

Der Rauchauffangkasten (RAK) weist Abmessungen von 200 mm \* 200 mm \* 950 mm auf und hat vorderseitig ein Sichtfenster [7]. Die Abdichtung zum Bauteilofen erfolgt über ein an der Innenseite angebrachtes Kamindichtband. Für die Prüfung von unterschiedlichen Wand-Decken-Anschlüssen wurden zwei unterschiedliche Varianten konstruiert (Abbildung 1.3). Zur Messung der normativen Kriterien werden Revisionsöffnungen vorgesehen, die während der gesamten Versuchsdauer einen Wattebauschtest an der Fuge ermöglichen.

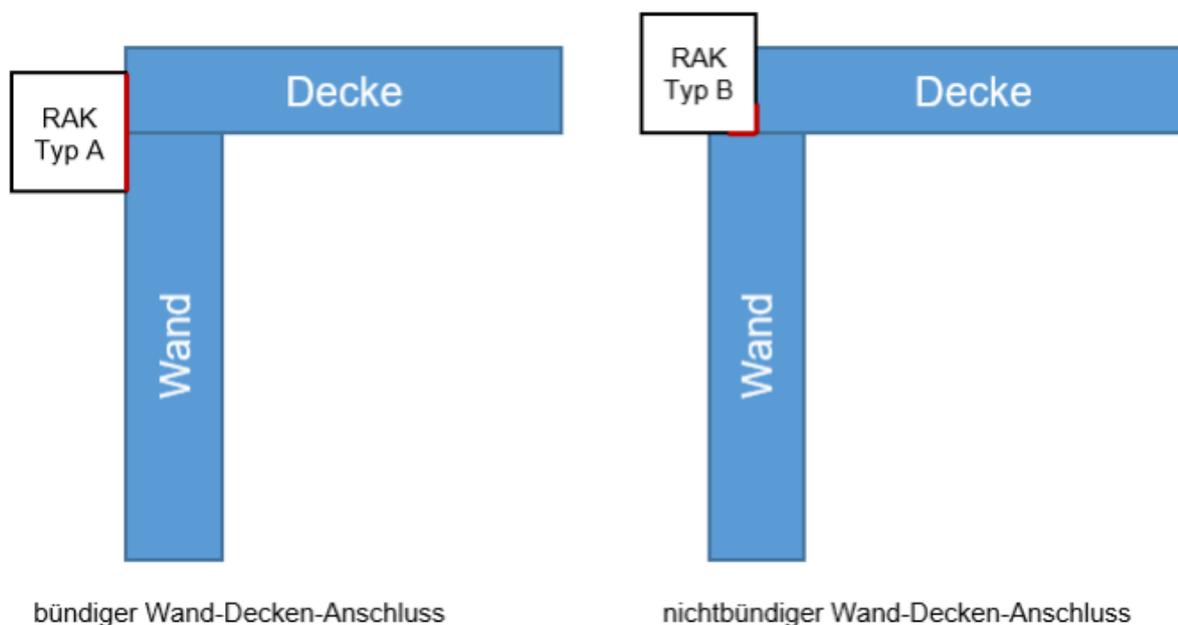


Abbildung 1.34.3: Rauchauffangkasten für bündigen bzw. nichtbündigen Wand-Decken-Abschluss [7]

Am Rauchauffangkasten wurde ein Abzugsrohr mit dem Nenndurchmesser 50 mm angeschlossen, in welchem die Rauchgase zunächst der Analytik zugeführt und anschließend 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. In [7] wurde ein Vorlauf gewählt, der dem 10-fachen (Rücklauf mind. 5-fachen) Rohrdurchmesser entspricht. Am Messpunkt können Strömungsgeschwindigkeit sowie die verschiedene Gasspezies mittels eines Messgerätes bestimmt werden. Um einen etwaigen Überdruck im Messkanal festzustellen, wurde ein zusätzlicher piezoresistiver Drucksensor im Rauchauffangkasten vorgesehen. In Abbildung 1.4 ist der Aufbau des Rauchauffangkastens nach Kampmeier und Sudhoff [7] dargestellt.

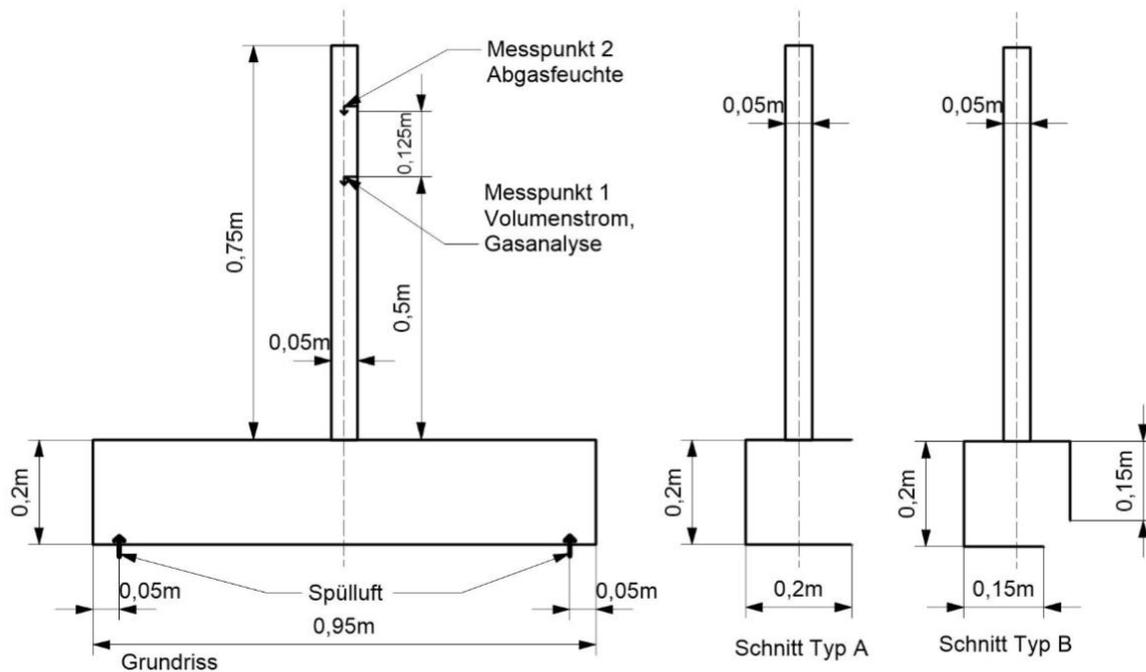


Abbildung 1.41-4: Ansicht und Schnitte des Rauchauffangkastens mit Anordnung der Messtechnik [7]

Eine detaillierte Beschreibung des Messprinzips ist in [7] enthalten.

Für die Bestimmung des Volumenstroms sowie der Gaskonzentrationen wurde in [7] ein Kombimesegerät 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. Als Leitkomponenten werden hierbei CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> mittels elektrochemischer Sensoren erfasst und parallel zum Leakagestrom aufgezeichnet. Die Versuche zur Bestimmung des Rauchdurchgangs in [7] wurden in einem mittelskaligen Brandofen mit Abmessungen von 1 m x 1 m durchgeführt

Das von Kampmeier und Sudhoff entwickelte Verfahren stellt eine Weiterentwicklung der oben beschriebenen Verfahren von Hosser und Stein dar. Vorteilhaft sind die Bestimmung des Leakagevolumenstroms und die Unabhängigkeit von der Atmosphäre im Brandofen. Das Kriterium des Leakagevolumenstroms ist „bauteilneutral“, und ähnlich wie bei der Prüfung von Rauchschutzabschlüssen. Weiterhin bietet das Verfahren die Möglichkeit ergänzend gasanalytische Untersuchungen durchzuführen. Das Verfahren wurde bereits erfolgreich in zahlreichen Versuchen im Forschungsvorhaben [7] eingesetzt.

Das Prüfverfahren für Rauchschutztüren nach DIN EN 1634-3 ist, abgesehen vom Kriterium des Leckagevolumenstroms, zur Übertragung auf die Untersuchung während Brandprüfungen an Wand- und Deckenbauteilen nicht geeignet. Dabei entspricht die Prüfung von Leistungskriterien bei Umgebungstemperatur und bei 200°C nicht der Beanspruchung in Form der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) nach DIN EN 1363-1 mit deutlich höheren Temperaturen an Wand- und Deckenbauteilen. Während dem Prüfverfahren für Rauchschutztüren ein Entstehungsbrand zugrunde liegt, unterliegen die Brandprüfungen der Wand- und Deckenbauteilen einem Vollbrandszenario.

Auch das Prüfverfahren bei Fahrschachttüren nach DIN EN 81-58 ist zur Anwendung bei Anschlussfugen von Wand- und Deckenbauteilen nicht geeignet. Bei dem Verfahren wird die Leckrate anhand CO<sub>2</sub> als Prüfgas bestimmt und die Konzentrationen im Ofen mit der Konzentration auf der brandabgewandten Seite ins Verhältnis gesetzt. Dabei kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich die Konzentration der aufgefangenen Gase durch Pyrolysevorgänge in der Bauteilfuge oder im Bauteil verändert.

Im Rahmen des hier durchgeführten Forschungsvorhabens wurde das in [7] erfolgreich eingesetzte Verfahren hinsichtlich einer Anwendung an Bauteilen im Realmaßstab überprüft und optimiert.

## 2 Prüfverfahren

### 2.1 Messverfahren

Als Messverfahren wurde das Verfahren nach [7] gewählt, welches sich bereits in mehreren Versuchen bewährt hat. Gegenüber dem Messprinzip nach [7] wurde der Rauchauffangkasten dahingehend optimiert, dass sich die Messwerte beim hier verwendeten Rauchauffangkasten mit einer Kanteninnenlänge von 1 m auf eine entsprechende Bauteilfugenlänge von 1 m beziehen (Abbildung 2.1). Weiterhin wurde an Stelle eines Ofendichtbandes ein Fugendichtmittel zur Abdichtung des Rauchauffangkastens zu den Bauteilen verwendet. Aufgrund der vergleichsweise geringen Rauchgastemperaturen von unter 100 °C sowie geringen Temperaturen an den ausreichend feuerwiderstandsfähig bemessenen Bauteilen bestanden hiergegen keine Bedenken. Undichtigkeiten wie sie in [7] aufgrund des Ofendichtbandes beschrieben wurden, konnten so vermieden werden. Auf eine Fertigung des Rauchauffangkastens aus dauerhafterem Material, wie z. B. Metall, wurde bewusst verzichtet. Eine Fertigung aus Siebdruckplatten (verleimte Furnierlagen mit widerstandsfähiger Beschichtung) erwies sich aufgrund der Möglichkeit von Bauteilversagen bei Großbrandversuchen als zielführender, was sich mit der Zerstörung des Rauchauffangkastens in Versuch 2 bestätigte. Ein neuer Rauchauffangkasten konnte kurzfristig mit vergleichsweise geringem Aufwand nachgefertigt werden.

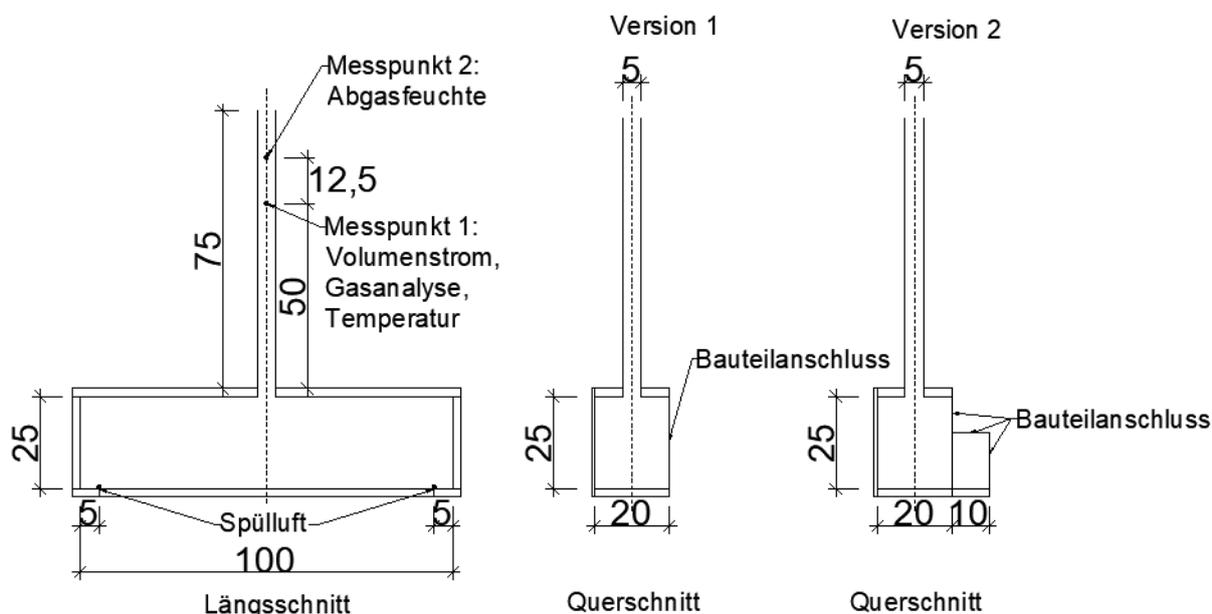


Abbildung 2.1: Längs- und Querschnitt des verwendeten Rauchauffangkastens (Bauteilfuge)

Der Ansatz eines Wattebauschtest nach DIN EN 1363-1 wurde nicht weiterverfolgt. Zum einen wurde in [7] festgestellt, dass es im Rauchauffangkasten zu keiner Entzündung des

Wattebauschs kam. Weiterhin wird der Wattebauschtest bei unvorhersehbaren Undichtigkeiten an flächigen Bauteilen verwendet. Im vorliegenden Fall waren Thermoelemente in der untersuchten Fuge vorhanden, so dass eine Temperaturerhöhung bei Undichtigkeiten messtechnisch erfasst werden konnte. Mit dem Verzicht auf eine entsprechende Klappe für den Wattebausch am Rauchauffangkasten wie in [7], konnten zusätzliche Undichtigkeiten am Kasten vermieden werden.

Basierend auf den Ergebnissen aus [7] wurde auf die Verwendung eines Drucksensors im Rauchauffangkasten verzichtet, da keine wesentlichen Druckerhöhungen erfasst wurden und entsprechend auch in diesem Forschungsvorhaben nicht zu erwarten waren. Zusätzliche Messtechnik und mögliche Undichtigkeiten aufgrund von Leitungsführungen in den Rauchauffangkasten konnten damit vermieden werden.

Nach [7] wurden zwei Messpunkte am Abgasrohr des Rauchauffangkastens angeordnet. An Messpunkt 1 wurden nach einer Rohrlänge von 0,50 m der Volumenstrom, die Abgastemperatur und die Abgaskonzentrationen gemessen. An Messpunkt 2 wurde nach einer zusätzlichen Rohrlänge von 0,125 m die Abgasfeuchte gemessen (Abbildung 2.1). Die Einströmung der Spülluft mit einem eingestellten Durchfluss von 2 l/s erfolgte an zwei Einlässen an der Kastenunterseite.

Zur Messung des Volumenstroms sowie der Abgaskonzentrationen am Messpunkt 1 wurde ein Kombimessgerät (MRU Optima 7) verwendet, welches bereits erfolgreich in [7] eingesetzt wurde. Zur Messung der Abgasfeuchte am Messpunkt 2 kam ein Almemo-Sensor (FHAD 36-RAIC 102) zum Einsatz (Tabelle 2.1).

*Tabelle 2.1: Messtechnik am Rauchauffangkasten*

<b>Messpunkt</b>	<b>Gerätebezeichnung</b>	<b>Messgrößen</b>
1	MRU Optima 7 Kombimessgerät	Volumenstrom, Abgastemperatur, Abgaskonzentrationen
2	Almemo FHAD 36-RAIC 102	Abgasfeuchte

Darüber hinaus wurden in den Bauteil- und Elementfugen Thermoelemente vom Typ K gemäß den im Anhang jeweils dargestellten Anordnungen eingebracht. Zur Anwendung kamen Perlen- und Plattenthermoelemente. Auf den brandabgekehrten Wand- und Deckenseiten wurden jeweils 5 Plattenthermoelemente in Anlehnung an DIN EN 1364-1 bzw. DIN EN 1365-2 zur Messung der Temperaturerhöhung auf der brandabgekehrten Seite angeordnet. In einigen

Versuchen wurde zudem eine Brandraumkamera zur Beobachtung des brandzugewandten Bauteilverhaltens eingesetzt.

In der Mitte des jeweiligen Deckenbauteils wurde eine Verformungsmessung durchgeführt, so dass eine Durchbiegung des Deckenbauteils während der Brandbeanspruchung aufgrund der Materialeigenschaften und der aufgetragenen Totlasten erfasst werden konnte.

Nach DIN EN 1363-1 wurde der jeweilige Brandofen mit Thermoelementen und Drucksensoren zur Überwachung der Prüfbedingungen und definierten Brandbeanspruchung (ETK) ausgestattet.

## 2.2 Versuchsdurchführung

In Abstimmung mit der PG Brandschutz wurden insgesamt acht Großbrandversuche an Wand- und Deckenbauteilen durchgeführt (siehe Tabelle 2.2). Die Versuche 1 bis 5 an nichtbrennbaren Bauteilen sollten der Kalibrierung des Prüfverfahrens dienen. Der Einfluss der Tragfunktion wurde über eine mechanische Belastung der Bauteile berücksichtigt. Eine Wiederholbarkeit der Ergebnisse wurde über die Wiederholung der Versuche 3/4 getestet. In den Versuchen 6-8 wurden Holzbauteile untersucht. Neben massiven Bauteilen aus Stahlbeton und Mauerwerk wurden Metallständerwände und Bauteile aus brennbaren Baustoffen wie Holztafelelemente sowie Massivholzelemente untersucht. Alle Wand- und Deckenbauteile wurden mindestens für die jeweils angesetzte ETK-Beanspruchung feuerwiderstandsfähig ausgebildet. Zeichnungen mit den geometrischen Bauteilabmessungen und Angaben zu den Bauteilschichten der jeweiligen Versuchsaufbauten befinden sich im Anhang. Angaben zur Belastung befinden sich am Ende dieses Kapitels.

*Tabelle 2.2: Versuchsmatrix zur Untersuchung der Anschlussfuge*

<b>Nr.</b>	<b>Kurzbezeichnung</b>	<b>Wandbauteil</b>	<b>Deckenbauteil</b>	<b>Beanspruchung</b>
1	MW-mit Putz	Mauerwerk brandzug. mit Putz	-	ETK 90 min
2	MW-ohne Putz	Mauerwerk ohne Putz	-	ETK 90 min
3	TB-STB1	Trockenbau	Stahlbeton	ETK 90 min
4	TB-STB2	Trockenbau	Stahlbeton	ETK 90 min
5	MW-STB	Mauerwerk	Stahlbeton	ETK 90 min
6	HTB-HTB	Holztafelbau	Holztafelbau	ETK 60 min
7	BSH-STB	Brettschichtholz	Stahlbeton	ETK 90 min
8	BSH-BSP	Brettschichtholz	Brettsperrholz	ETK 90 min

Die Stahlbetondecken wurden aufgrund des hohen Eigengewichts und der begrenzten Kranlasten in den Versuchshallen teilweise als einzelne Elemente gefertigt. Sie wurden bei zweiseitiger Lagerung für die Ofenspannweite bemessen und mit einer Betondeckung von  $c = 35$  mm hergestellt. Die Fertigung der Stahlbetonbauteile erfolgte am 12.07.2022 mit einer Lagerung von mindestens 3 Monaten beim Hersteller gemäß DIN EN 1363-1. Die Anlieferung erfolgte mittels Tieflader wenige Tage vor dem Versuch.

Die Mauerwerkswände wurden 28 Tage vor dem Versuch gemäß DIN EN 1363-1 vor Ort hergestellt. Die Trockenbauwände wurden wenige Tage vor dem Versuch montiert. Die Holztafelelemente wurden vom Hersteller teilweise vormontiert angeliefert und vor Ort

fertiggestellt und eingebaut. Auch an den angelieferten Massivholzelementen wurden Arbeiten, wie das Anbringen der Bekleidungen, vor Ort wenige Tage vor dem Versuch durchgeführt. Dabei kam es bei den Holzelementen zunächst zu Fehllieferungen, welche die zeitliche Abfolge der Versuchsdurchführung verzögerte.

Die Versuche der Mauerwerkswände zur Untersuchung der Rauchdichtigkeit von Stoßfugen (Versuche 1 und 2) wurden im Wandprüfstand in Anlehnung an DIN EN 1364-1 durchgeführt. Für die Versuche an Bauteilfugen mit Wand- und Deckenbauteilen (Versuche 3 bis 8) wurde ein Versuchsaufbau in Anlehnung nach DIN EN 1364-1 i. V. m. DIN EN 1365-2 gewählt. Der Versuchsaufbau sah das Einstellen eines Wandbauteils in einen U-förmigen Brandofen mit drei Seiten vor, so dass das Wandbauteil die vierte Raumseite darstellte (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.Abbildung 2.2**). Die dem Wandbauteil gegenüberliegende Ofenwand und das Wandbauteil waren nichttragend.



Tabelle 2.3: Ausbildung der untersuchten Bauteilfugen

Nr.	Kurzbezeichnung	Ausbildung der Fuge	Grundlage
1	MW-mit Putz	Stoßfugen, brandzugewandt mit Putz	abZ / aBG Z-17.1-1060 (2020)
2	MW-ohne Putz	Stoßfugen, ohne Putz	abZ / aBG Z-17.1-1060 (2020)
3	TB-STB1	C-Profil verschraubt, Mineralwolle zwischen C-Profil und Decke, beidseitig verputzt	E DIN 4102-4/A1: 2018-11, Bild 10.8
4	TB-STB2	C-Profil verschraubt, Mineralwolle zwischen C-Profil und Decke, beidseitig verputzt	E DIN 4102-4/A1: 2018-11, Bild 10.8
5	MW-STB	Mineralwolle aufgelegt, beidseitig Fugendichtmittel	DIN 4102-4: 2016-05, Bild 9.3
6	HTB-HTB	Verblockung ohne Mineralwolle, verschraubt	E DIN 4102-4/A1: 2018-11, Bild 10.44
7	BSH-STB	Mineralwolle aufgelegt, verschraubt	MHolzBauRL 2020, Prinzipskizze 8c
8	BSH-BSP	Mineralwolle aufgelegt, verschraubt	MHolzBauRL 2020, Prinzipskizze 8c

Es wurden Thermoelemente in die Bauteilfuge eingebracht und zusätzlich auf den Außenseiten der Bauteile in Anlehnung an DIN EN 1364-1 i. V. m. DIN EN 1365-2 installiert. In der Mitte des Deckenbauteils wurde Messtechnik zur Erfassung der Deckenverformung (Durchbiegung) angeordnet. Die Rauchfangkästen an der Element- und Bauteilfuge wurden am Wand- und Deckenbauteil mit Stahlwinkeln verschraubt und mit Fugendichtmittel abgedichtet. Die Messtechnik des Rauchfangkastens (Kombimesgerät und Feuchtesensor) wurde mindestens 1-2 Stunden vor Versuchsbeginn in die Versuchshalle gebracht, um eine Anpassung an die klimatischen Bedingungen zu erreichen (siehe z. B. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** [Abbildung 2.5](#)).

Die Bauteile wurden zum Brandofen hin mit Mineralwolle und teilweise einem Klebstoff auf Silikatbasis abgedichtet. Ergänzend wurden Porenbetonsteine auf den Wänden des Brandofens zur Abdichtung und dem Ausgleich von Höhendifferenzen lose aufgestellt. Innenseitig wurden vor die Porenbetonsteine Matten aus Mineralwolle geklebt. Eine rauchdichte Abdichtung aller Lager- und Stoßfugen der Porenbetonsteine sowie allgemein der Fugen zum Brandofen mit Fugendichtmittel o. ä. wurde nicht durchgeführt. Dies entspräche nicht dem

regelmäßigen Vorgehen bei Brandprüfungen nach DIN EN 1363-1, da hier lediglich eine thermisch ausreichend dichte Brandofenbauweise erforderlich ist.

Die Versuche wurden in drei verschiedenen Brandöfen durchgeführt. Für die reinen Wandprüfungen (Versuche 1 und 2) wurde ein Wandprüfstand nach DIN EN 1364-1 gewählt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.Abbildung 2.3**).



*Abbildung 2.3: Ansicht Versuch 2, brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn (Wandprüfstand)*

Die Versuche zur Untersuchung der Bauteilfugen mit Bauteilen aus nichtbrennbaren Baustoffen (Versuche 3 bis 5) wurden, aufgrund der möglichen Kranlasten in der Halle von bis zu zehn Tonnen, im großen Deckenprüfstand (Kammer 20) des iBMB durchgeführt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.Abbildung 2.4**).

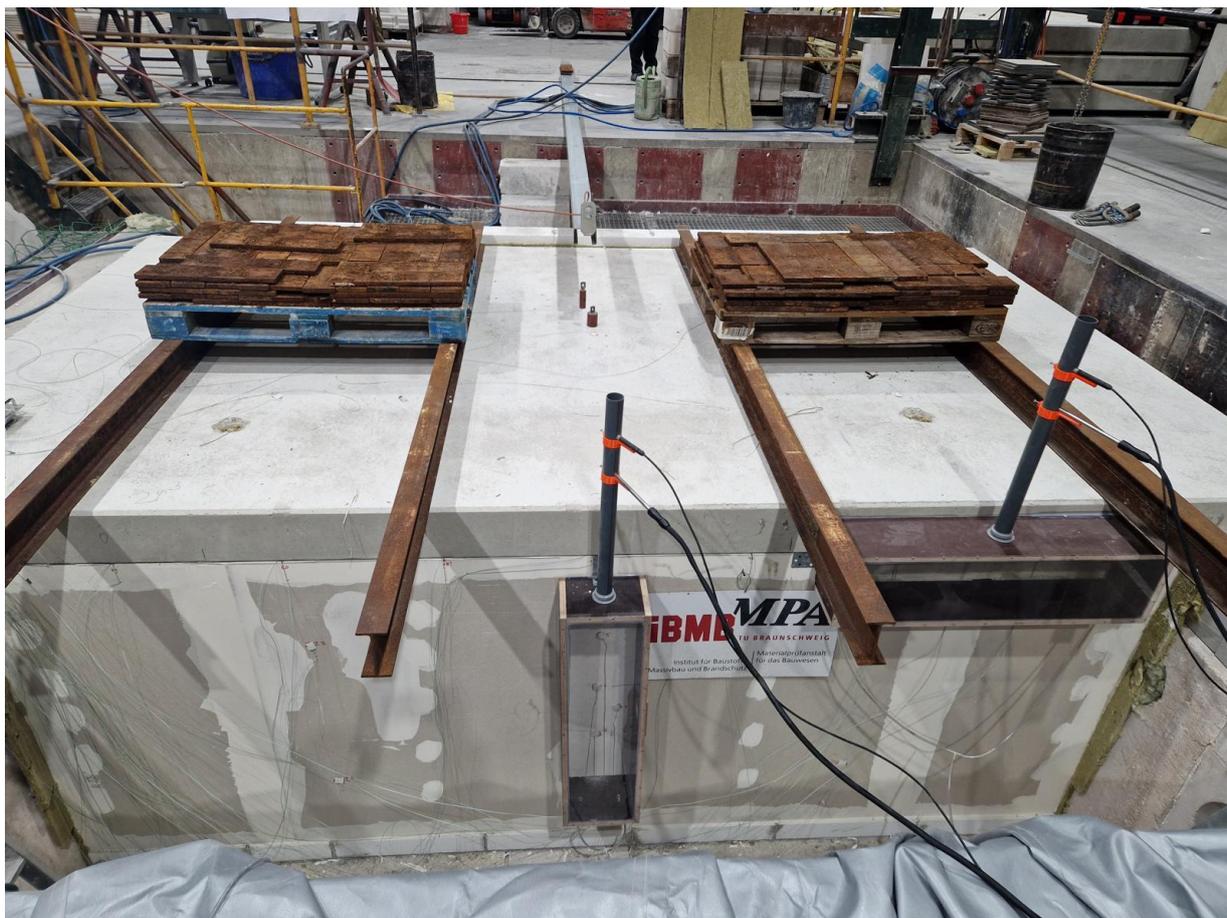


Abbildung 2.4: Ansicht Versuch 3, brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn (Kammer 20)

Aufgrund von erforderlichen Nachlöscharbeiten an den Bauteilen aus brennbaren Baustoffen wurden die weiteren Versuche (Versuche 6 bis 8) im Deckenprüfstand (Kammer 15/16) der MPA Braunschweig, mit geringeren Kranlasten in der Halle von bis zu drei Tonnen, aber der Möglichkeit von Löscharbeiten, durchgeführt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** **Abbildung 2.5**). Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen von Deckenbauteilen mit teilweise hohem Gewicht und dem Erfordernis von Löscharbeiten mussten die Versuche in verschiedenen Brandöfen durchgeführt werden. Alle Brandöfen wurden dabei mit einer Ölbefuerung betrieben.



Abbildung 2.5: Ansicht Versuch 6, brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn (Kammer 15/16)

Bei den Wandprüfungen (Versuche 1 und 2) wurde eine mechanische Belastung über Pressen des Prüfstandes aufgebracht. Gemäß DIN EN 1996 wurde in Abhängigkeit der Druckfestigkeitsklasse bei einer Auslastung der kalten Druckfestigkeit von 70 % eine Prüflast von 318,86 kN/lfdm aufgebracht. Maßgeblich für die Festlegung der Prüflast auf den Deckenbauteilen der weiteren Versuche (Versuche 3 bis 8) waren sicherheitstechnische Maßnahmen. Als Belastung der Deckenbauteile während der Versuche 6 bis 8 wurden zwei mit Wasser gefüllte IBC-Container als sogenannte Totlasten aufgebracht. So konnte aus sicherheitstechnischen Gründen die Belastung mit dem Ablassen des Wassers, ohne Betreten der beanspruchten Bauteile, nach Versuchsende wieder entfernt werden. Eine zügige Durchführung von Nachlöscharbeiten wurde damit gewährleistet. Aus der Befüllung der IBC-Container ergab sich auf den Decken eine Prüflast von 38,4 % gegenüber der rechnerischen Nutzlast für Büroflächen nach DIN EN 1991-1-1/NA als Bemessungswert bei Normaltemperatur:

$$2 \text{ kN/m}^2 \text{ (Nutzlast nach DIN EN 1991-1-1/NA)} * 1,5 \text{ (Kombinationsbeiwert)}$$

= 3 kN/m<sup>2</sup> (Bemessungswert der Nutzlast)

3 kN/m<sup>2</sup> \* 0,384 = 1,152 kN/m<sup>2</sup> (Prüflast bezogen auf die jeweilige Deckenfläche).

Zur Vergleichbarkeit wurde bei den Versuchen mit nichtbrennbaren Baustoffen (Versuch 3 bis 5) dasselbe Verhältnis von Prüf- zu Nutzlast gewählt. Dabei wurden zahlreiche Stahlplatten, auf zwei Europaletten verteilt, als Belastung aufgebracht. Die Prüflast wurde unmittelbar vor dem Versuch mit Befüllen der IBC-Container bzw. bis zu wenige Tage vor dem Versuch mit Auflegen der Europaletten aufgebracht.

Zehn Minuten vor Versuchsbeginn wurde die Spülluft von 2 l/s je Rauchfangkasten über Druckregler und die Anzeige am Kombimesegerät eingestellt. Mit Versuchsbeginn und Start der Beflammung wurden einzelne Undichtigkeiten im Übergang der zu untersuchenden Bauteile und den Ofenwänden sichtbar, welche bei größerem Ausmaß mit Mineralwolle abgedichtet wurden. Wie bereits beschrieben, konnte dabei eine vollständige Abdichtung von Lager- und Stoßfugen der Porenbetonsteine sowie Fugen zum Brandofen aufgrund des Umfangs und der Abmessungen der Konstruktionen nicht gewährleistet werden.

Während des Versuchsablaufs wurden neben dem Volumenstrom und Gaskonzentrationen am Rauchfangkasten auch die Temperaturen an den Bauteilen und in der Bauteilfuge sowie die Deckenverformung aufgezeichnet. Ergänzend wurde ein Versuchsprotokoll geführt. Die gesammelten Daten befinden sich im Anhang.

Im Versuchsverlauf kam es teilweise aus verschiedenen Gründen zum Versuchsabbruch. Bei Versuch 2 versagte die Mauerwerkswand in der 82. Minute. Bei den Versuchen 3 und 7 führte eine Kombination aus dem Abreißen der Silikonabdichtung des Rauchfangkastens und dem Aufklaffen der Deckenaufleger zu wesentlichen Undichtigkeiten am Rauchfangkasten und zu einer unmittelbaren Brandbeanspruchung über die offene Fuge. Nach Abbau des Rauchfangkastens zur Schonung der Messtechnik wurden die Versuche frühzeitig abgebrochen.

Wegen starker Rauchentwicklungen in der Versuchshalle musste diese im Verlauf der Versuche 4, 7 und 8 geräumt werden. Aufgrund des beschriebenen Versuchsaufbaus leitet sich hieraus keine unmittelbare Aussage über die Qualität der untersuchten Fugenkonstruktionen ab. Eine Rauchausbreitung in die Versuchshalle konnte optisch überwiegend über die Fugen zwischen den Bauteilen und den Wänden des Brandofens beobachtet werden.

Mit Versuchsende wurden die Messtechnik und die Rauchfangkästen abgebaut. Die Messtechnik wurde mit Frischluft gespült und Filter wurden nach Bedarf gewechselt, so dass

diese wiederverwendet werden konnte. Die Bauteile wurden aus den Brandöfen entfernt. Dabei wurden bei den Versuchen 5 und 8 Löscharbeiten durch die Feuerwehr Braunschweig durchgeführt, um die Bauteile über Nacht ohne Aufsicht lagern zu können.

### 3 Auswertung der Versuche

#### 3.1 Allgemeines

Als wesentliche Versuchsgröße wurde der gemessene Volumenstrom im Rauchauffangkasten als Maß für die Leckage der Bauteil- bzw. Elementfugen festgelegt. Die weiteren Messdaten wurden in Anlehnung an Brandprüfungen nach DIN EN 1363-1 erfasst und dienen teilweise zur Überprüfung der Plausibilität. Die Daten sind im Anhang aufgeführt. Im Nachfolgenden wird aufgrund der Vielzahl der gesammelten Daten schwerpunktmäßig auf den Volumenstrom an den untersuchten Bauteilfugen eingegangen.

#### 3.2 Brandversuche an nichtbrennbaren Bauteilen

Die Versuche 1 bis 5 wurden an Bauteilen aus nichtbrennbaren Baustoffen durchgeführt. Bei den Versuchen 1 und 2 wurden die Stoßfugen von einseitig verputztem Mauerwerk (Versuch 1) und unverputztem Mauerwerk (Versuch 2) untersucht. Das Ergebnis der Volumenströme der Versuche 1 und 2 ist in der Abbildung 3.1 dargestellt.

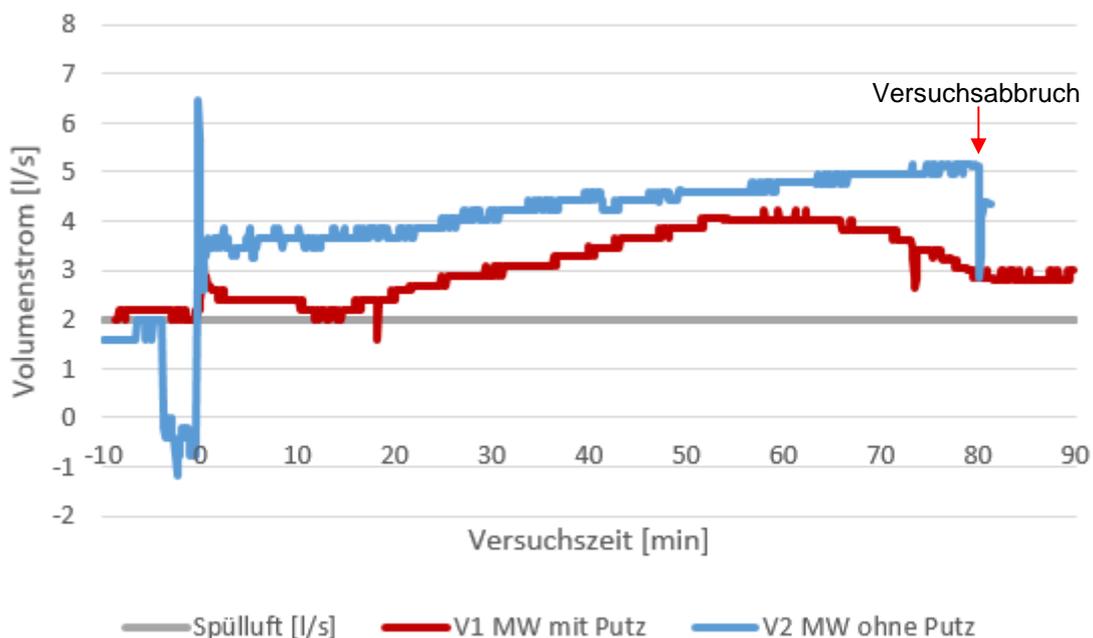


Abbildung 3.1: Vergleich der Volumenströme aus Versuch 1 (rot) und Versuch 2 (blau)

Vor Versuchsbeginn kam es beim Versuch 2 zu einem Luftzug über die unverputzten Stoßfugen zur eingeschalteten Ofenabsaugung (negative Werte zwischen -5 min und 0 min). Der gemessene Volumenstrom liegt bei Versuch 2 (ohne Putz) erwartungsgemäß über dem Volumenstrom beim Versuch 1 mit brandzugewandt verputztem Mauerwerk. In der 82. Versuchsminute kam es zum Versagen der Mauerwerkswand bei Versuch 2, so dass im

Folgenden keine Messwerte mehr aufgezeichnet werden konnten. Mit einem Blick auf die Temperaturen an den Stoßfugen (Abbildung 3.2) lässt sich der Abfall des Volumenstroms ab der 60. Versuchsminute im Versuch 1 erklären.

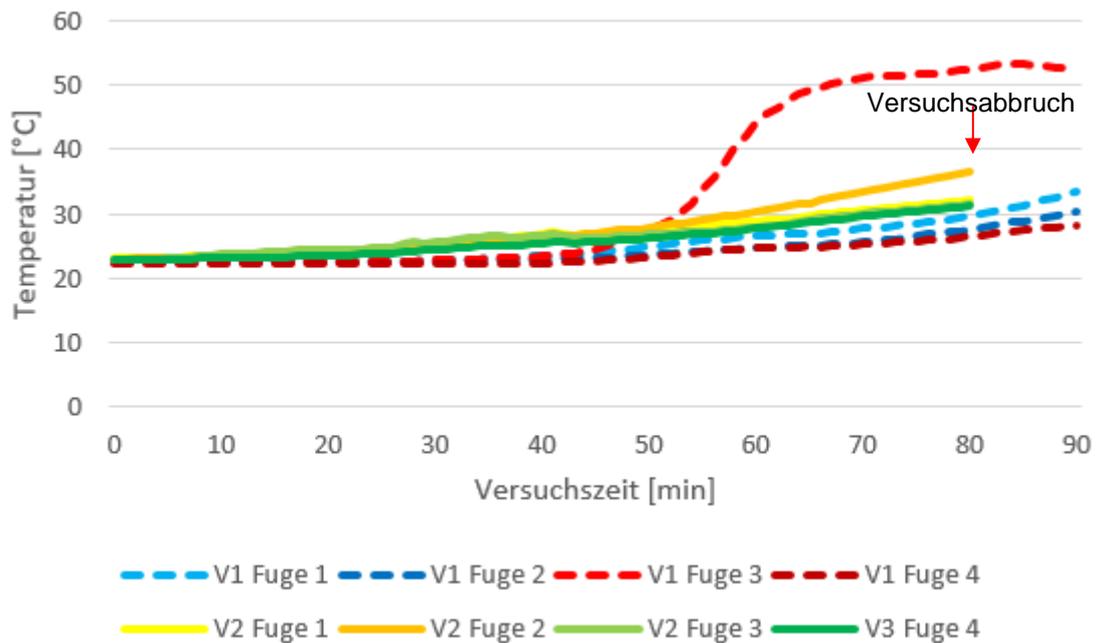


Abbildung 3.2: Temperaturen außen auf den Stoßfugen der Versuche 1 (mit Putz) und Versuch 2 (ohne Putz)

Bis zur 60. Versuchsminute kommt es zu einem maßgeblichen Temperaturanstieg an der Fuge 3 des Versuchs 1. Ab der 60. Versuchsminute ist der Temperaturanstieg nur noch auf dem Niveau der anderen Stoßfugen. Augenscheinlich kam es zu einem Verschließen der Fuge 3 aufgrund der Verformung der mechanisch belasteten Mauerwerkswand, wodurch der Temperaturanstieg in der Fuge geringer wurde und auch der Volumenstrom zurückging (Abbildung 3.1).

Allgemein lagen die Temperaturen an den Stoßfugen unter 40°C und bei Versuch 2 (ohne Putz) oberhalb der Temperaturen bei Versuch 1 mit brandzugewandt verputztem Mauerwerk. Während beider Versuche wurde optisch keine wesentliche Rauchentwicklung im Rauchauffangkasten beobachtet. Die Versuche 1 und 2 sind den Untersuchungen von Elementfugen zuzuordnen.

Bei den Versuchen 3 und 4 (TB-STB) wurde der Anschluss einer Trockenbauwand an einer Stahlbetondecke und beim Versuch 5 (MW-STB) der Anschluss einer Mauerwerkswand an einer Stahlbetondecke untersucht.

Die gemessenen Volumenströme an Bauteilfugen der Versuche 3 bis 5 sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Dabei war der Versuch 4 (TB-STB) ein Wiederholungsversuch des Versuchs 3 (TB-STB). Bei Versuch 5 (MW-STB) wurde der Anschluss einer Mauerwerkswand an einer Stahlbetondecke untersucht.

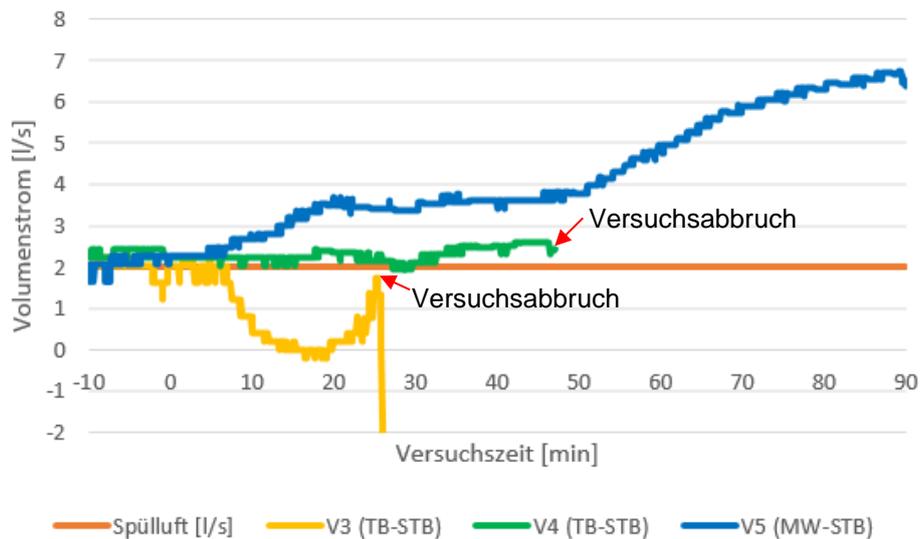


Abbildung 3.3: Vergleich der Volumenströme aus Versuch 3 (gelb), Versuch 4 (grün), Versuch 6 (blau) an der Bauteilfuge

Ein Abfall des gemessenen Volumenstroms bei Versuch 3 unterhalb des Niveaus der eingestellten Spülluft ist nicht plausibel. Es wurde ein Versagen der Spülluftung vermutet und die Messtechnik wurde zur 28. Versuchsminute aufgrund der nicht verwertbaren Messung abgebaut. Auch der Temperaturverlauf im Abgasrohr des Rauchauffangkastens (Abbildung 3.4) lässt mit ansteigendem Verlauf keinen fallenden Volumenstrom bei Versuch 3 erwarten.

Beim Wiederholungsversuch (Versuch 4) bleibt der Volumenstrom auf einem niedrigen Niveau, knapp oberhalb des Spülluftvolumenstroms. Dabei ist anzumerken, dass es ab der 29. Versuchsminute zum Abreißen der Silikonabdichtung zwischen Rauchauffangkasten und Bauteil kam. Dadurch konnten Undichtigkeiten entstehen und ein Auffangen des gesamten Volumenstroms im Rauchauffangkasten nicht mehr gewährleistet werden. Dennoch kam es im weiteren Versuchsverlauf des Versuchs 4 noch zu einem geringen Anstieg des Volumenstroms. Aufgrund des aufklaffenden Auflagers (siehe Abbildung 3.5) der Stahlbetondecke mit

thermischer Beanspruchung des Rauchfangkastens wurde dieser zur Schonung der Messtechnik in der 49. Versuchsminute entfernt.

Bei Versuch 5 kam es zu einem deutlichen Anstieg des Volumenstroms bis zur 20. Versuchsminute und dem Aufreißen des brandabgewandten Putzes, so dass an einzelnen Stellen des Wandbauteils ein optischer Rauchaustritt erkennbar war. Mit fortschreitendem Aufklaffen der Auflager der Stahlbetondecke kam es ab der 50. Versuchsminute zu einem weiteren deutlichen Anstieg des Volumenstroms bis zum Versuchsende.

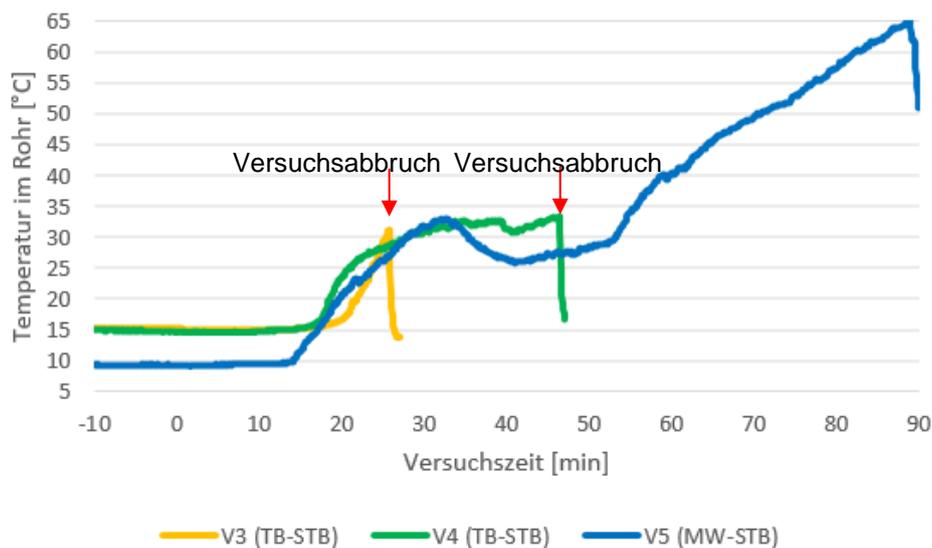
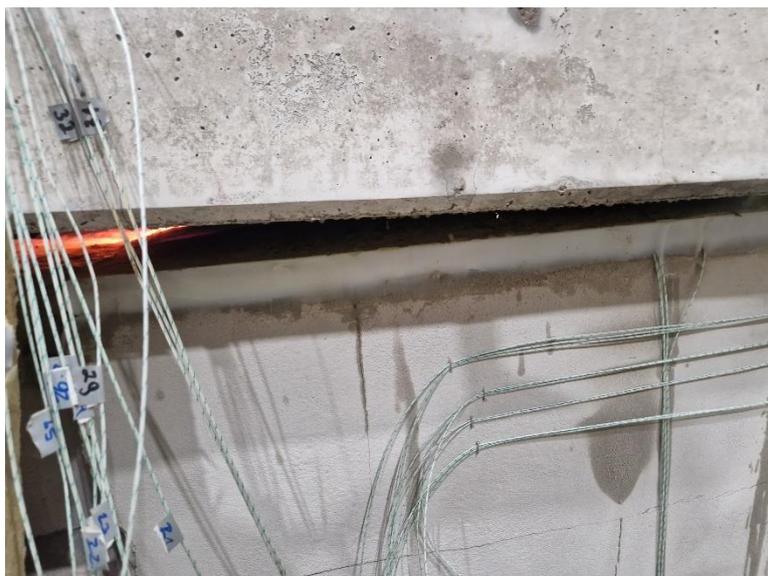


Abbildung 3.4: Temperaturen im Abgasrohr an Bauteilfuge während Versuch 3 (gelb), Versuch 4 (grün), Versuch 6 (blau)

Bei den untersuchten Bauteilfugen mit Bauteilen aus nichtbrennbaren Baustoffen hat sich der feste Anschluss der Trockenbauwand (Versuche 3 und 4) an der Stahlbetondecke als vergleichsweise dicht erwiesen. Dies ist mit der Verschraubung des UW-Profiles an der Stahlbetondecke zu begründen. Beim Aufklaffen des Deckenaufagers und der sich hierdurch öffnenden Bauteilfuge wird das UW-Profil mit der Decke nach oben gezogen, so dass eine gewisse Abdichtung der Bauteilfuge erhalten bleibt. Die Wandbekleidung verblieb dabei in ihrer Ausgangslage. Demgegenüber kam es bei Versuch 5 zu einem hohen Volumenstrom aufgrund der lediglich aufgelegten Stahlbetondecke. Mit Verformung der Stahlbetondecke und dem Aufklaffen ihrer Auflager weist diese Anschlusskonstruktion wesentliche Undichtigkeiten auf.



*Abbildung 3.5: Aufklaffendes Deckenauflager beim Versuch 5 zur 50. Versuchsminute*

Aufgrund der frühzeitig abgebrochenen Messungen bei den Versuchen 3 und 4 ist anzumerken, dass es auch hier ab der ca. 60. Versuchsminute zu wesentlichen Undichtigkeiten an der Bauteilfuge und optisch verstärktem Rauchaustritt kam. Dies ist mit der fortschreitenden Verformung der Decke zu begründen, welche sich in Folge dessen auf die Trockenbauwandkonstruktion auflegte. Daraufhin kam es zur Verformung des Wandbauteils und zu einem Knick in der Bekleidung. Mit thermischer Beanspruchung der brandabgewandten Bekleidung kam es weiterhin zu einem vermehrten Austritt von Wasserdampf (siehe Abbildung 3.6), was zum Räumen der Versuchshalle zur 86. Versuchsminute (Versuch 4) führte.



*Abbildung 3.6: Austritt von Wasserdampf beim Versuch 4 (TB-STB) zur 86. Versuchsminute*

Ein quantitativer Vergleich der Versuche 1, 2 und 5 an den Stoßfugen der Mauerwerkswände ist nicht möglich, da sich der Volumenstrom auf die unterschiedliche Größe und Anzahl der Stoßfugen und verwendeten Steinformate in einer Länge von einem Meter bezieht.

Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse an allen Elementfugen, dass gegenüber den Bauteilfugen geringere Volumenströme gemessen wurden (siehe Anhang). Damit können die Anschlüsse zwischen den Wand- und Deckenbauteilen als relevante Fugen hinsichtlich eines Rauchdurchtritts angesehen werden.

### **3.3 Brandversuche an brennbaren Bauteilen**

Die Versuche 6 bis 8 wurden im Wesentlichen an Bauteilen aus brennbaren Baustoffen durchgeführt. Bei den Versuchen 6 und 7 wurde der Anschluss einer bekleideten Massivholzwand aus Brettspertholz an einer Stahlbetondecke (BSP-STB) bzw. an einer unbekleideten Massivholzdecke aus Brettschichtholz (BSP-BSH) untersucht. Beim Versuch 6 (HTB-HTB) wurde der Anschluss zwischen Holztafelbauteilen untersucht. Die gemessenen Volumenströme der genannten Versuche sind in der nachfolgenden Abbildung 3.7 dargestellt.

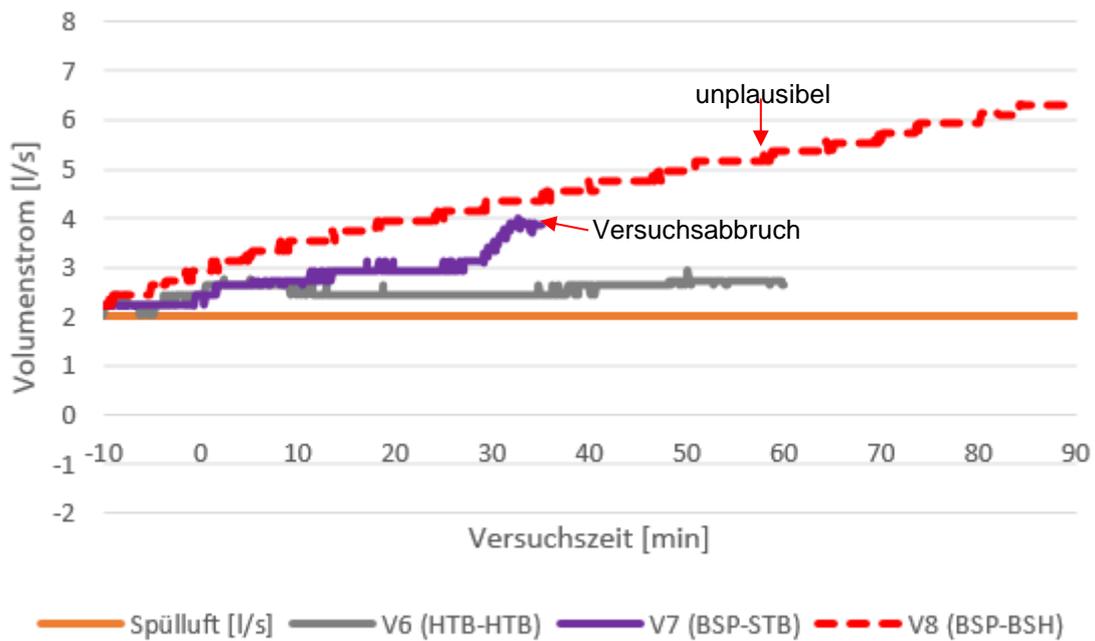


Abbildung 3.7: Vergleich der Volumenströme aus Versuch 6 (grau), 7 (violett), 8 (rot) an der Bauteilfuge

Der Volumenstrom an der Bauteilfuge des Versuchs 6 (HTB-HTB) blieb über den gesamten Versuchsverlauf auf einem niedrigen Niveau, obwohl dies der einzige Versuch ohne Mineralwolle im Anschlussbereich der Bauteilfuge war. Der Versuch endete planmäßig nach 60 Minuten Brandbeanspruchung.

Bei Versuch 7 (BSP-STB) kam es ab der 29. Versuchsminute aufgrund der Deckenverformung, trotz Verschraubung der Bauteile, zum Aufklaffen des Deckenaufagers und Öffnen der Bauteilfuge. Durch das Öffnen der Bauteilfuge kam es zum Anstieg des Volumenstroms, aber auch zur thermischen Beanspruchung des Rauchfangkastens (siehe Abbildung 3.8). Dies führte neben dem beginnenden Abreißen der Silikonabdichtung zum Abbau des Rauchfangkastens in der 35. Versuchsminute.



Abbildung 3.8: Offene Bauteilfuge im Versuch 7 (BSP-STB)

Der gemessene Volumenstrom des Versuchs 8 (BSP-BSH) mit vergleichsweise hohem Niveau wird als nicht plausibel bewertet. Der Volumenstrom stieg bereits mit dem Ende des Einstellens

der Spülluft und danach nahezu linear an. Die Temperaturen und die Sauerstoffkonzentration im Abgasstrom zeigten dagegen einen ähnlichen Verlauf wie beim Versuch 6 mit vergleichsweise niedrigem Volumenstrom (siehe Abbildung 3.9 und Abbildung 3.10). Auch der optische Rauchaustritt war beim Versuch 8 vergleichbar niedrig wie beim Versuch 6. Es wird vermutet, dass die vor Versuchsbeginn durchzuführende Nullpunktnahme der Umgebungsbedingungen am Kombimesegerät nicht korrekt ablief und Grund für den augenscheinlichen Messfehler war.

Während der Versuche 6 und 8 kam es zu keiner wesentlichen Deckenverformung und in Folge dessen auch zu keinem wesentlichen Aufklaffen der Deckenaufleger. Die jeweiligen Werte der Deckenverformungen sind im Anhang graphisch wiedergegeben.

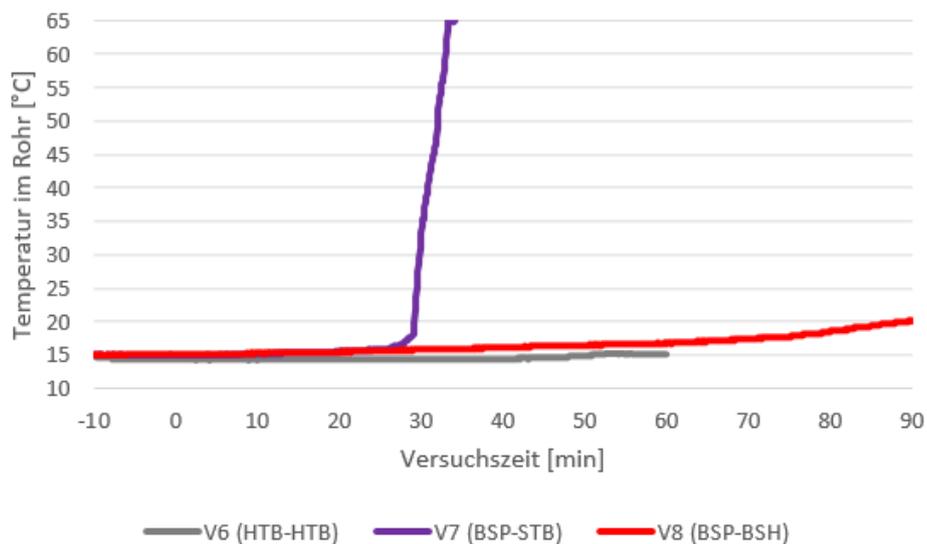


Abbildung 3.9: Temperaturen im Abgasrohr an Bauteilfuge beim Versuch 6 (grau), 7 (violett), 8 (rot)

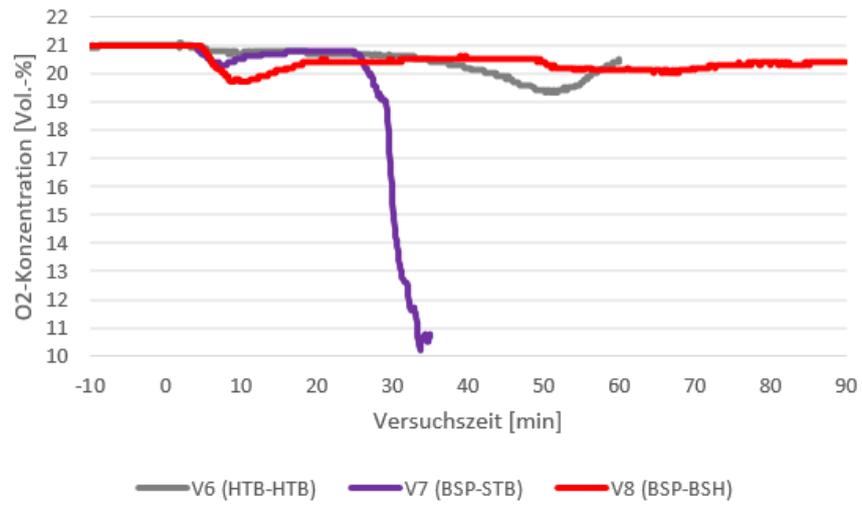


Abbildung 3.10: Sauerstoffkonzentration im Abgasrohr an Bauteilfuge beim Versuch 6 (grau), 7 (violett), 8 (rot)

### 3.4 Vergleich der Brandversuche

Um die Ergebnisse der gemessenen Volumenströme im Rauchfangkasten aus allen acht Versuchen miteinander vergleichen und einordnen zu können, wurden in der nachfolgenden Darstellung zunächst die Volumenströme der Elementfugen zum Zeitpunkt der 30., 60. und 90. Versuchsminute aufgetragen.

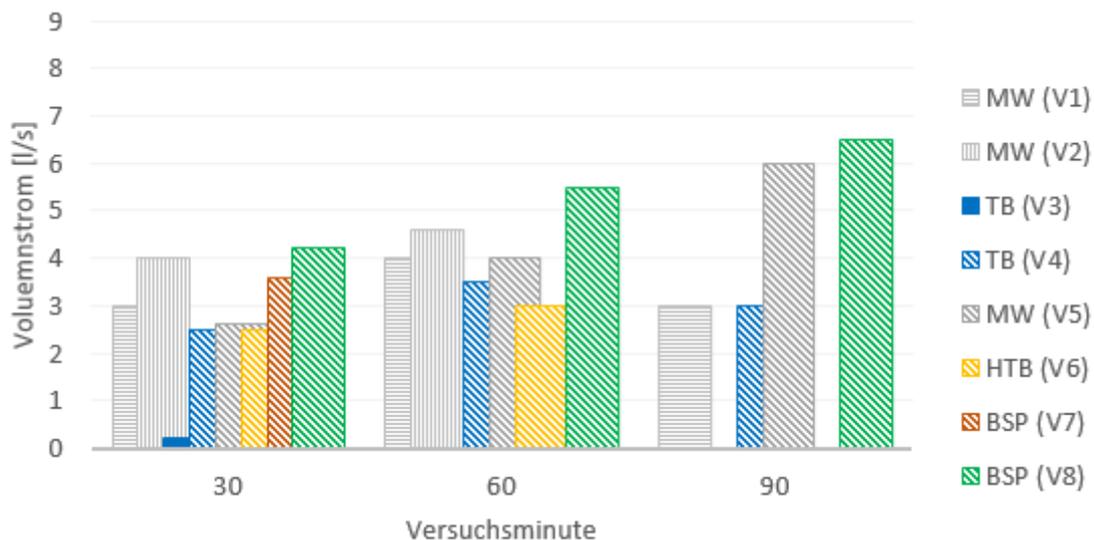


Abbildung 3.11: Vergleich der Volumenströme an den Elementfugen zur 30., 60. und 90. Minute

Aus der Darstellung lässt sich ableiten, dass kein wesentlicher Ausreißer in den Messdaten zu erkennen ist. Zur 30. Versuchsminute liegen die Werte zwischen 2,5 l/s und 4,2 l/s. Zur 60. Versuchsminute liegen die Werte zwischen 3,5 l/s und 5,5 l/s. Etwas größer fällt der Bereich in der 90. Versuchsminute mit 3 l/s und bis zu 6,5 l/s aus. Dabei ist bei Versuch 2 auf das Verschließen einer undichten Stoßfuge infolge der Verformung durch die mechanische Belastung hinzuweisen (siehe Kapitel 3.2). Bei Versuch 4 kam es wiederum zu einem Knick im Wandbauteil (Trockenbaukonstruktion) aufgrund der Deckenverformung und somit zu Undichtigkeiten am Rauchfangkasten (siehe Fotodokumentation zum Versuch 4 im Anhang). Mit geringerer Durchlässigkeit der untersuchten Fuge bei Versuch 2 und mit größerer Undichtigkeit des Rauchfangkastens bei Versuch 4 lassen sich die niedrigeren Volumenströme zur 90. Versuchsminute erklären.

Für einen Ansatz der Vergleichbarkeit der Bauteilfugen wurden die in diesem Vorhaben gemessenen Volumenströme mit den Ergebnissen aus [7] verglichen und in der nachfolgenden Darstellung zum Zeitpunkt der 30., 60. und 90. Versuchsminute aufgetragen. Die Werte aus [7] sind in der Legende mit dem Zusatz (MD) gekennzeichnet.

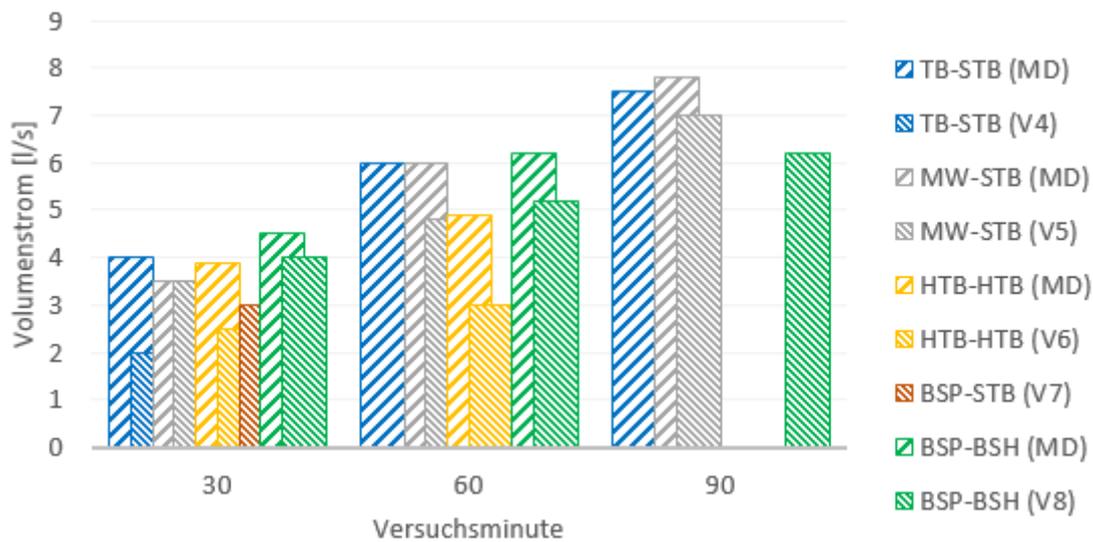


Abbildung 3.12: Vergleich der Volumenströme (mit Spülluft) an den Bauteilfugen zur 30., 60. und 90. Minute mit den Werten aus [7]

Die Ergebnisse aus [7] lassen zunächst einen qualitativen Vergleich zu, jedoch sind hierbei die teilweise abweichenden Anschlusskonstruktionen gegenüber den untersuchten Anschlüssen nach Tabelle 2.3 zu beachten. Auch unterscheidet sich die untersuchte Fugenlänge aufgrund eines Rauchfangkastens mit einem Außenmaß von 0,95 m in [7] und einem Innenmaß von 1 m beim vorliegenden Vorhaben. Dennoch lässt sich, wie bei den Elementfugen, eine Tendenz zu einem ähnlichen Wertebereich über alle Anschlusskonstruktionen ableiten. Es ergibt sich kein Ausreißer mit wesentlich erhöhtem Volumenstrom. Ein tendenziell etwas höherer Volumenstrom lässt sich bei den Versuchen aus [7] auf eine bessere Abdichtbarkeit des kleineren Brandofens und eine Untersuchung auf der gesamten Länge der Bauteilfuge im kleineren Versuchsstand zurückführen. Undichtigkeiten aufgrund des Versuchsaufbaus konnten damit in [7] verringert werden.

Es konnten keine Anzeichen für eine erhöhte Undichtigkeit von Anschlüssen an Holzbauteilen (Versuche 6 bis 8) gegenüber Bauteilen aus mineralischen Baustoffen (Versuche 1 bis 5) beobachtet werden. Wesentlich problematischer stellte sich in den durchgeführten Großbrandversuchen die Verformung der Stahlbetondecken (Versuch 3, 4, 5 und 7) aufgrund der Erwärmung und des hohen Eigengewichts dar. Ein durch den Versuchsaufbau bedingtes Aufklaffen der Deckenaufleger führte dabei wiederholt zum Öffnen der Bauteilfuge. In der Baupraxis ist das Phänomen in dieser Ausprägung nicht zu erwarten, da i. d. R. Wandkonstruktionen oberhalb der Decke oder ein Durchlaufsystem eine entsprechende Verformung an den Auflagern zumindest begrenzen.

## 4 Empfehlungen für die Anwendung und normative Regelungen

### 4.1 Empfehlungen für die Anwendung

Auf Grundlage der durchgeführten Versuche unter den beschriebenen Bedingungen werden für die Anwendung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung des Rauchdurchgangs keine Großbrandversuche empfohlen. Zu den wesentlichen Erkenntnissen, die gegen eine Messung des Rauchdurchtritts bei Brandprüfungen an realmaßstäblichen Bauteilen sprechen, gehören demnach:

- Undichtigkeiten an der Bauteilfuge aufgrund von Deckenverformungen,
- Undichtigkeiten am Rauchauffangkasten aufgrund von Deckenverformungen,
- Belastung und Verformung nichttragender Wände aufgrund von Deckenverformungen,
- Undichtigkeiten am Brandofen,
- Temperaturerhöhungen in der Versuchshalle.

Weiterhin ist zu beachten, dass sich Normprüfungen nicht für die Bewertung des Rauchdurchtritts von Bauteilfugen eignen, da sie i. d. R. an Einzelbauteilen durchgeführt werden.

Eine wesentliche Einschränkung bei der Durchführung des Prüfverfahrens im Rahmen von Großbrandversuchen waren die Durchbiegungen der Stahlbetondecken um bis zu ca. 10 cm in Deckenmitte (siehe Deckenverformung im Anhang). Die Deckenelemente wurden wie bei Norm-Brandprüfungen üblich frei auf den Brandofen aufgelegt, womit es neben der Durchbiegung in Deckenmitte gleichzeitig zum Anheben der beiden seitlichen Auflagerbereiche kam. Hierfür waren wesentlich die Erwärmung der Decke und insbesondere der Bewehrung mit der daraus folgenden thermischen Dehnung und das Eigengewicht verantwortlich. Daraufhin kam es zum Aufreißen der Bauteilfugen und gleichzeitig zum Abreißen der Silikonabdichtung zwischen Rauchauffangkasten und Bauteilen im Auflagerbereich. Da dieses Phänomen in der Baupraxis aufgrund begrenzter Auflagerbewegungen mit deutlich geringerer Ausprägung (Durchlaufwirkung, Auflast von darüberliegenden Wänden) zu erwarten ist, sind die gemessenen Werte unter diesen Versuchsbedingungen einzuordnen und zu bewerten. Das Abreißen der Silikonabdichtung führte wiederum zu geringeren Messwerten des Leckagevolumenstroms aufgrund von Undichtigkeiten am Rauchauffangkasten. Die Durchbiegung bei den Deckenelementen aus brennbaren Baustoffen lag bei weniger als 2 cm (siehe Deckenverformung im Anhang), so dass Undichtigkeiten an der Bauteilfuge sowie am

Rauchfangkasten eine wesentlich geringere Rolle spielen. Ergänzend wird darauf hingewiesen, dass das Raumabschlusskriterium nach DIN EN 13501-2 hinsichtlich Spalte und Öffnungen an den Wand- und Deckenbauteilen zwar nicht mituntersucht wurde, die Kriterien jedoch an den Anschlussfugen augenscheinlich aufgrund der Versuchsbedingungen mit großen Verformungen der Stahlbetondecken nicht über die Klassifizierungsdauer von 90 Minuten eingehalten wurden.

Im Prüfverlauf wird mit zunehmender Durchbiegung der Deckenelemente ein Teil der Eigen- und Prüflast auf die nichttragenden Wandbauteile übertragen. Bei der leichten Bauweise der Trockenbaukonstruktionen kam es daraufhin zu einer deutlichen Verformung des Wandbauteils (Versuch 3 und 4) noch vor Ende des eigentlich klassifizierten Feuerwiderstandes. Dabei ist anzumerken, dass im Rahmen der durchgeführten Versuche zur Überprüfung der Rauchdichtigkeit keine Raumabschlusskriterien der ausreichend klassifizierten Bauteile überprüft wurden. Auch existiert hinsichtlich einer Verformung des nichttragenden Wandbauteils kein Leistungskriterium nach DIN EN 1364-1.

Um die Messtechnik im Brandofen wie Thermoelemente, Drucksensoren und Brandraumkamera in den Brandofen einführen zu können, wird es i. d. R. erforderlich die Wände des Brandofens mit Porenbetonsteinen aufzumauern und die Messtechnik durch die Porenbetonsteine zu führen. Hierdurch entstehen zahlreiche Lager- und Setzfugen der Porenbetonsteine, welche im Rahmen von Brandprüfungen nach DIN EN 1363-1 nicht gesondert verklebt oder abgedichtet werden und thermisch ausreichend dicht sind. Dies gilt auch für die Fugen der Prüfkörper zu den Brandofenwänden bzw. zu den Porenbetonsteinen. Erst mit Beginn der Brandprüfung werden durch austretende Rauchgase wesentliche Undichtigkeiten sichtbar und können teilweise noch abgedichtet werden. Bei den durchgeführten Versuchen wurden die Porenbetonsteine innenseitig mit Dämmmatten aus Mineralwolle abgedichtet und die Fugen zwischen den Probekörpern zum Brandofen bzw. den Porenbetonsteinen mit Mineralwolle verstopft. Dennoch war ein Rauchaustritt aus den zahlreichen Fugen zu den Ofenwänden bzw. Porenbetonaufmauerungen nicht gänzlich zu verhindern. Ein Versuchsaufbau mit erhöhtem Anspruch an die Rauchdichtigkeit wäre mit einem erhöhten Zeit- und Kostenaufwand verbunden und würde über das Maß von Brandprüfungen nach DIN EN 1363-1 hinausgehen.

Im Rahmen der durchgeführten Großbrandversuche kam es insbesondere über die Bauteile sowie Undichtigkeiten am Brandofen zu geringen Temperaturerhöhungen um bis zu ca. 5 K in den Versuchshallen. Die Temperaturerhöhungen konnten an den Kombimesegeräten erfasst werden. Gemäß Rücksprache mit dem Hersteller des Kombimesegerätes zur Erfassung des

Volumenstroms ist der verwendete Drucksensor weitestgehend temperaturkompensiert. Jedoch kann eine Temperaturerhöhung am Schlauch und am Gerät zu einem erhöhten Druck und somit zu einem erhöht gemessenen Volumenstrom führen. Demnach könnte bereits die menschliche Körperwärme im feinen Messbereich des Geräts zu einer Beeinflussung führen. Ein Korrektur- oder Umrechnungsfaktor sowie Angaben zur Höhe einer möglichen Beeinflussung auf Grund einer geringen Temperaturerhöhung konnten vom Hersteller nicht bereitgestellt werden, so dass dieser Unsicherheitsfaktor bei der Bewertung der Ergebnisse zu berücksichtigen bleibt.

Aus den gewonnen Erkenntnissen leitet sich die Empfehlung zur Durchführung von Brandversuchen zur Bestimmung des Rauchdurchgangs im Rahmen von mittelskaligen Brandprüfungen ab. Neben dem Entfall der oben aufgeführten Effekte bei den durchgeführten Großbrandversuchen bietet eine Durchführung von Brandprüfungen an mittelskaligen Bauteilen bzw. Bauteilanschlüssen ergänzend nachfolgende Vorteile:

- Messwerte beziehen sich auf die gesamte Fuge des Prüfkörpers,
- sehr gute Vergleichbarkeit aufgrund eines einheitlichen Versuchsaufbaus bzw. Brandofens,
- geringerer Aufwand aufgrund geringerer Bauteilabmessungen.

Es sind keine bzw. kaum Auswirkungen auf Grund von Deckenverformungen der mittelskaligen Deckenelemente zu erwarten. Der Brandofen und Versuchsaufbau mit deutlich geringerer Ausdehnung kann mit wesentlich geringerem Zeit- und Kostenaufwand für einen erhöhten Anspruch an die Rauchdichtigkeit abgedichtet werden. Aufgrund der geringeren Wärmefreisetzung im kleineren Brandofen und einer besseren Abdichtung sind in der Versuchshalle keine relevanten Temperaturerhöhungen zu erwarten.

Bei einer mittelskaligen Brandprüfung kann der Rauchfangkasten ohne erhöhten Aufwand an der gesamten Bauteilfuge befestigt werden, so dass Unsicherheiten gegenüber einem möglichen Rauchaustritt an anderen Stellen der 4 m langen Bauteilfuge bei Großbrandversuchen entfallen.

Bauteile aus nichtbrennbaren und brennbaren Baustoffen können ohne wesentliche Einschränkungen in demselben mittelskaligen Brandofen untersucht werden, womit eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben ist. Löscharbeiten von brennbaren Bauteilen können aufgrund der geringen Abmessungen nach Ausbau der Bauteile und somit ohne Beanspruchung des Brandofens durch Löschwasser durchgeführt werden.

Brandprüfungen nach DIN EN 1363-1 sehen keine gleichzeitige Untersuchung von Wand- und Deckenbauteilen vor. Es werden entweder Prüfungen an Deckenbauteilen oder Wandbauteilen durchgeführt. Demnach bedeutet die Untersuchung von Bauteilfugen bei realmaßstäblichen Brandversuchen einen zusätzlichen Versuchsaufbau gegenüber den Brandprüfungen nach DIN EN 1363-1. Da ohnehin ein zusätzlicher Versuchsaufbau zur Untersuchung der Bauteilfugen erforderlich wird, entsteht auch bei der zusätzlichen Durchführung von mittelskaligen Brandprüfungen ein geringerer Aufwand als bei Durchführung von Großbrandversuchen mit Bauteilfugen. Es wird empfohlen auf Basis der hier vorgestellten Erkenntnisse einen Katalog von Konstruktionsdetails für die Ausführung von Bauteil- und Elementfugen zu entwickeln, bei denen der Rauchdurchtritt minimiert ist. Eine Kalibrierung von neu entwickelten Anschlussdetails kann dann anhand der hier vorgeschlagenen Systematik an mittelskaligen Brandversuchen erfolgen.

## 4.2 Normative Regelungen

Aus den durchgeführten Versuchen lassen sich aufgrund der allgemeinen Randbedingungen von Großbrandprüfungen keine verbindlichen Leistungskriterien ableiten. Im Hinblick auf die in [7] durchgeführten Versuche und mit ergänzender Heranziehung der in diesem Vorhaben untersuchten Konstruktionen (siehe Kapitel 3.4), die Bauteilanschlüssen nach Technischen Baubestimmungen entsprechen und für die somit das bauaufsichtlich akzeptierte Risiko unterstellt werden kann, können nachfolgende Wertebereiche als erster Anhaltspunkt für Beurteilungswerte und zukünftig festzulegende Leistungskriterien (ohne Spülluft) vorgeschlagen werden.

- 30. Versuchsminute: 2 bis 3 l/s
- 60. Versuchsminute: 4 bis 5 l/s
- 90. Versuchsminute: 5 bis 6 l/s

Die Werte resultieren aus den genannten Versuchen an klassifizierten Bauteilen und sind ohne Spülluft angegeben. Sie beziehen sich auf einen Meter Bauteilfuge bei ETK-Beanspruchung mit 20 Pa Ofendruck. Der im Rahmen von Brandprüfungen gemessene Volumenstrom sollte demnach den vorgeschlagenen Wertebereich nicht überschreiten. Es wird dabei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass aufgrund der Vielzahl möglicher Bauteilkombinationen und teilweise beeinflussenden Versuchsbedingungen keine pauschale Aussage oder ein konkretes Leistungskriterium festgelegt werden können. Die hier angegebenen Wertebereiche sind unter den durchgeführten Versuchsbedingungen zu bewerten. Demnach können sich abweichende Wertebereiche bei hier nicht untersuchten Bauteilkombinationen oder bei anderen Versuchsbedingungen ergeben. Daher wird für zukünftige Untersuchungen ein vergleichendes Prüfverfahren im Rahmen von mittelskaligen Brandprüfungen zur Bestimmung des Rauchdurchgangs empfohlen.

Für die Festlegung von quantitativen Leistungskriterien zur Bestimmung des Rauchdurchgangs wird ergänzend darauf hingewiesen, dass das Einstellen einer kritischen Rauchkonzentration nicht zu Letzt von der angrenzenden Raumgeometrie und der Fähigkeit zur Aufnahme eines entsprechenden Rauchvolumens abhängig ist. Ein quantitatives Leistungskriterium kann somit lediglich einen Ansatz im Prüfverfahren darstellen, nicht jedoch die Praxis mit nahezu unbegrenzt unterschiedlichen Raumgeometrien berücksichtigen.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Peter, M.: Brandschutztechnische Stellungnahme zum Bauartgenehmigungsantrag des Holzbau Deutschland – Institut e. V.. Projektnummer 18-G-040. Auftraggeber: Holzbau Deutschland – Institut e. V., Berlin.
- [2] Hosser, D.; Kampmeier, B.: 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 DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1.2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkung auf Tragwerke.
- [3] Rüter, 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 Explosionsschutztag (2019).
- [4] Hosser, D.; Dehne, M.; Zehfuß, J.: Theoretische und experimentelle Grundlagenuntersuchungen 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.
- [5] Weigand, M.; Brein, D.: Räumliche Erfassung der Verdünnung von Brandrauch, Gasen und Dämpfen bei Brandsimulation in unterschiedlichen Modellmaßstäben. Brandschutzforschungsbericht Nr. 170. Karlsruhe, 2012.
- [6] Stein, R.: Zur Bewertung beeinflussender Faktoren auf Brandweiterleitungsmechanismen in Bauteilfugen vorgefertigter Holzbauelemente. München, Technische Universität München. Dissertation, 2015.
- [7] Dederich, L.; Kampmeier, B.; Sudhoff, P.; Rüter, N.; Winter, S.; Suttner, E.; Werther, N.: Abschlussbericht zum Forschungsprojekt Entwicklung einer Richtlinie für Konstruktionen in Holzbauweise in den Gebäudeklassen 4 und 5 gemäß der LBO BW – HolzbauRLBW. Gefördert durch die Europäische Union, EFRE und das Land Baden-Württemberg, 2020.
- [8] DIN 4102-2:1977-09: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 2: Bauteile – Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.
- [9] DIN EN 1363-1:2012-10: Feuerwiderstandsprüfungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 1363-1:2012.

- [10] DIN EN 13501-2:2010-02: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Deutsche Fassung EN 13501-2:2007+A1:2009,
- [11] DIN 50055:1989-03: Lichtmessstrecke für Rauchentwicklungsprüfungen.
- [12] DIN EN 1634-3:2005-01: Feuerwiderstandsprüfungen für Tür- und Abschlusseinrichtungen – Teil 3: Rauchschutzabschlüsse; Deutsche Fassung EN 1634-3:2004.
- [13] DIN EN 81-58:2018-05: Sicherheitsregeln für die Konstruktion und den Einbau von Aufzügen – Überprüfung und Prüfverfahren – Teil 58: Prüfungen der Feuerwiderstandsfähigkeit von Fahrstachttüren; Deutsche Fassung EN 81-58:2018.
- [14] DIN EN 1364-1:2015-09: Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile – Teil 1: Wände; Deutsche Fassung EN 1364-1:2015.
- [15] DIN EN 1365-2:2015-02: Feuerwiderstandsprüfungen für tragende Bauteile – Teil 2: Decken und Dächer; Deutsche Fassung 1365-2:2014.
- [16] DIN EN 1996-1-1:2010-12: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005 + AC:2009.
- [17] DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.

## 6 Anhang

### 6.1 Protokoll Versuch 1 (MW-mit Putz)

#### 6.1.1 Versuchsaufbau

##### 6.1.1.1 Detailzeichnungen

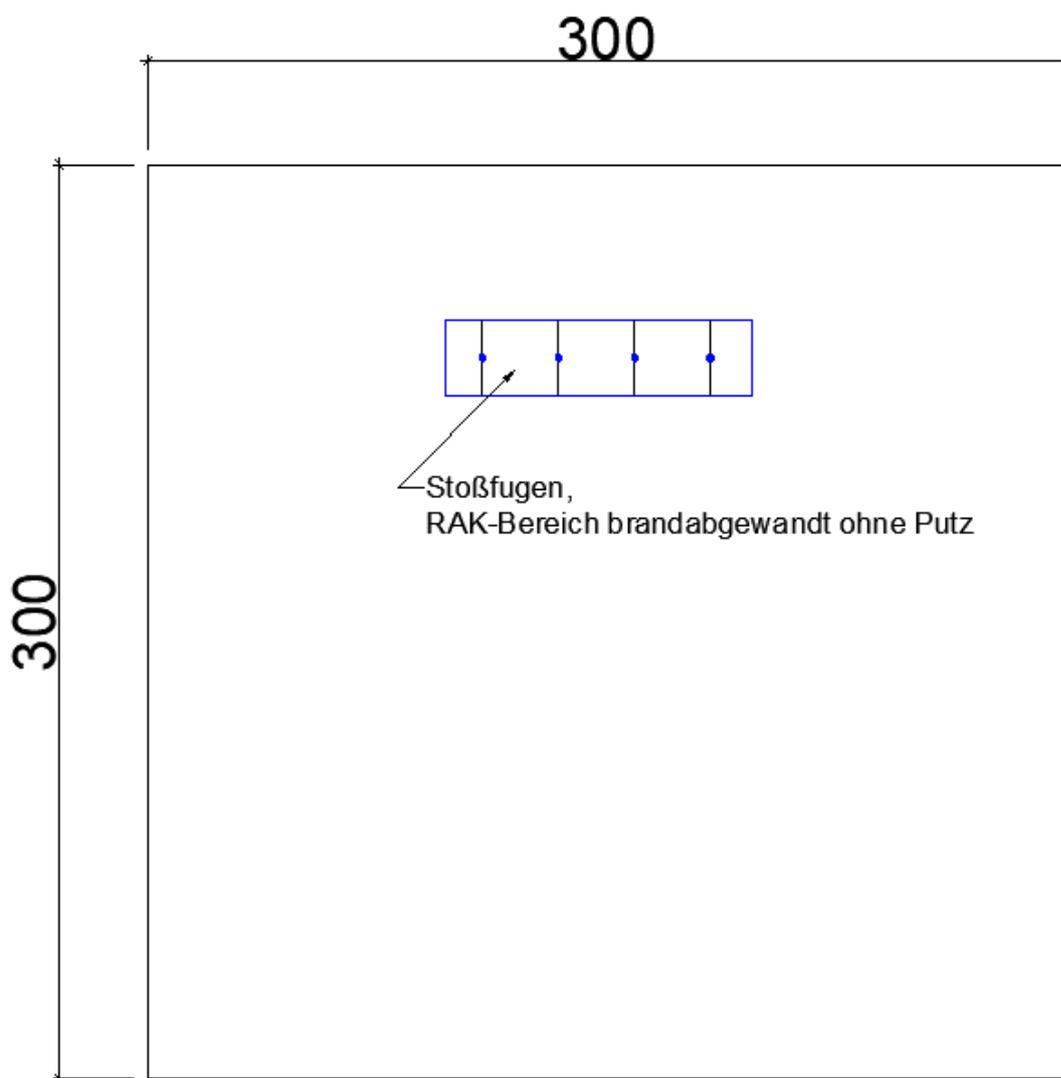


Abb. 6.1: Ansicht Wand, brandabgewandte Seite

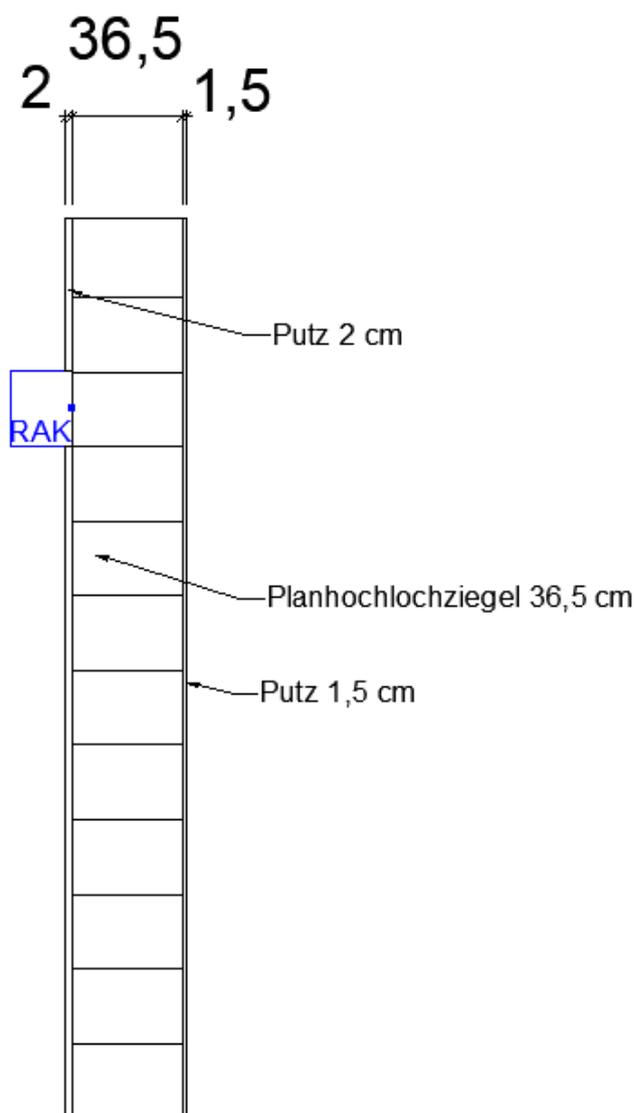


Abb. 6.2: Schnitt vertikal

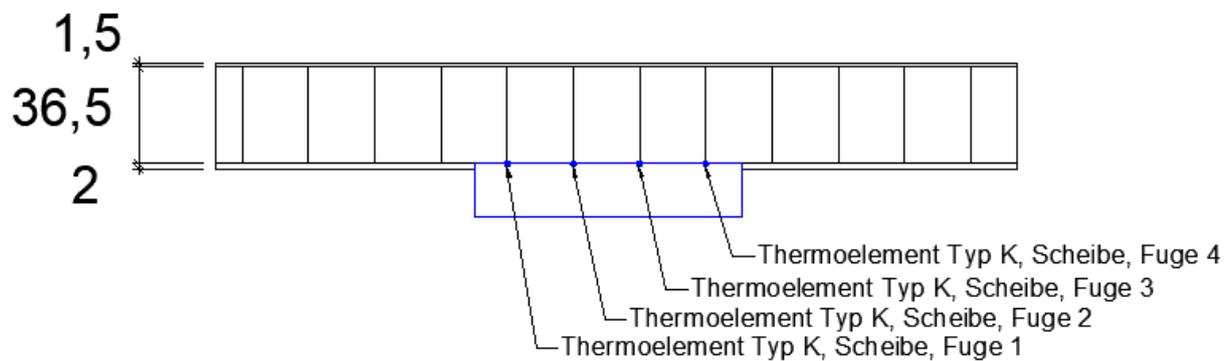


Abb. 6.3: Schnitt horizontal, Stoßfugen

### 6.1.1.2 Bauteilschichten

Tab. 6.1: Benennung der Bauteilschichten, brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
W1	Putzmörtel d = 15 mm	-	maxit ip 23 F, P IV bzw. B3
W2	Planhochlochziegel d = 365 mm 245 mm x 365 mm x 249 mm Kammern mit Mineralwolle verfüllt	0,52 kg/dm <sup>3</sup> Steinroh- dichte	Schlagmann Poroton GmbH & Co. KG
W3	Putzmörtel d = 20 mm (ohne im RAK)	-	maxit ip 18 ML, P II bzw. CS II

Tab. 6.2: Weitere verwendete Materialien

Material	Beschreibung/Hersteller	verwendet in Schicht
Dünnbettmörtel	maxit mur 900 D	W2

## 6.1.2 Versuchsparameter

Tab. 6.3: Versuchsdauer

Versuchsbeginn	Versuchsende	Versuchsdauer
13.06.2022, 13:37 Uhr	13.06.2022, 15:07 Uhr	90 min

### 6.1.2.1 Umgebungsbedingungen

Tab. 6.4: Umgebungsbedingungen bei Versuchsbeginn

Umgebungsdruck	Umgebungstemperatur	Luftfeuchte in %
1012 mbar	21 °C	47 % rh

### 6.1.2.2 Prüfbedingungen

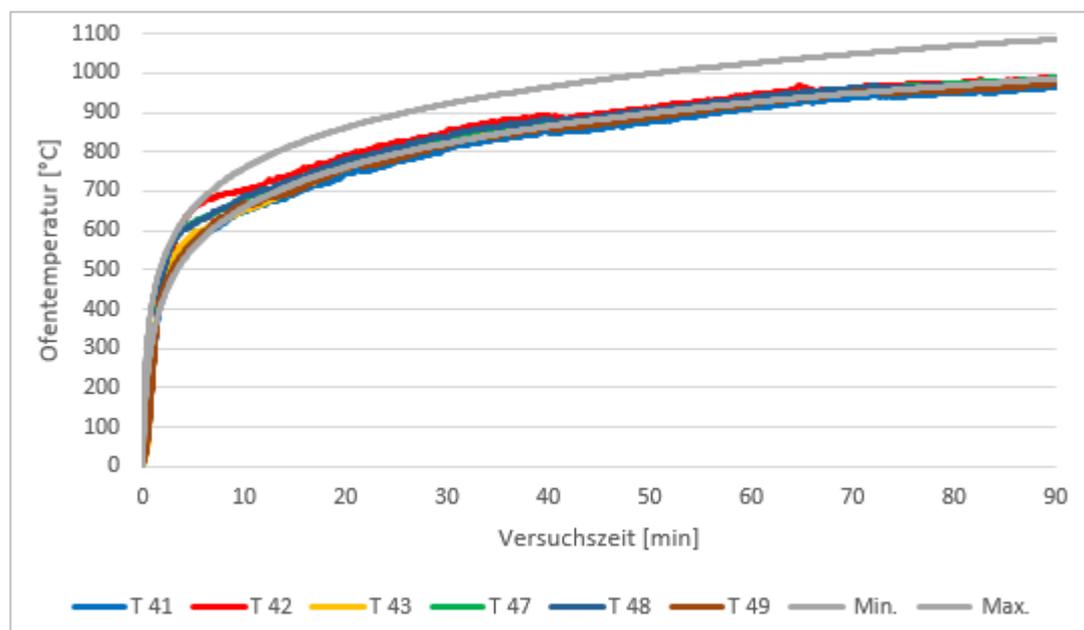


Abb. 6.4: Temperaturzeitkurve, Ofentemperatur

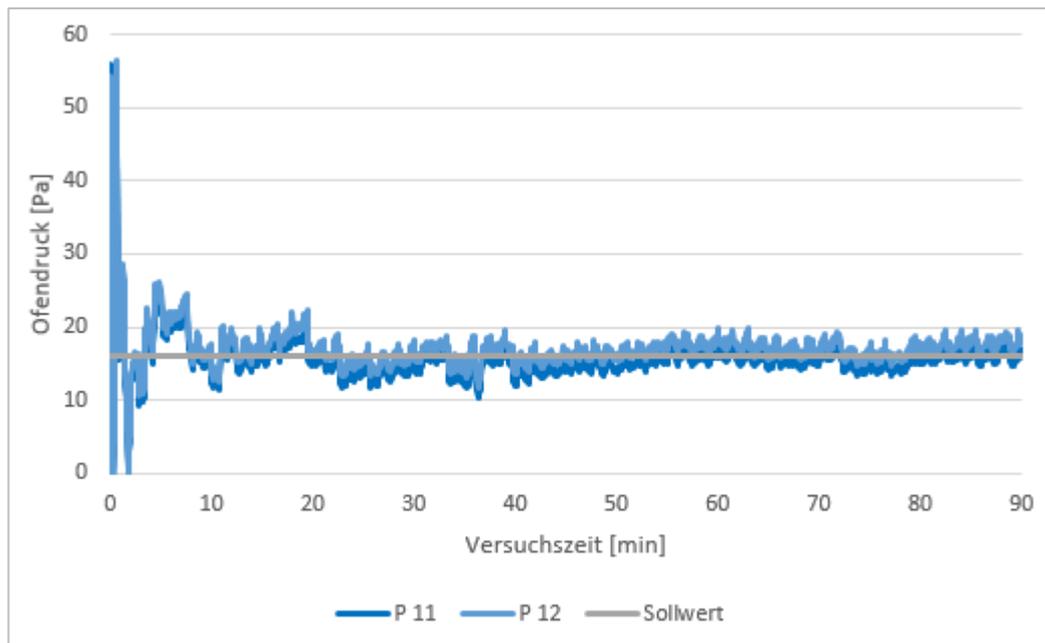


Abb. 6.5: Ofendruck

### 6.1.3 Auswertung

#### 6.1.3.1 Temperaturverläufe

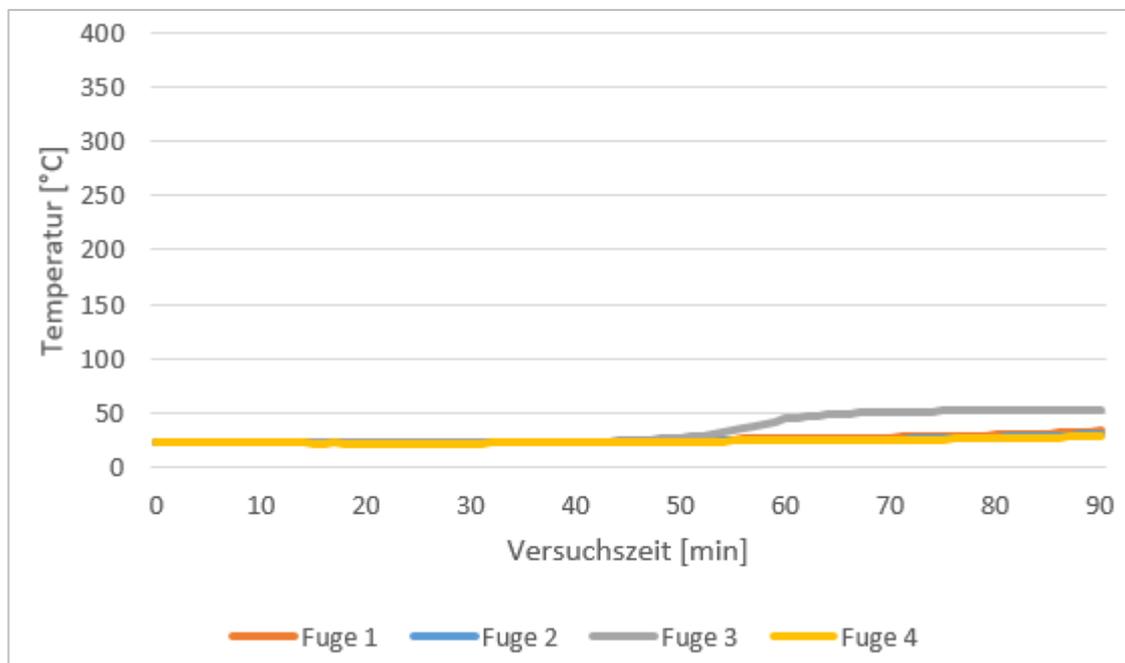


Abb. 6.6: Temperaturverlauf Stoßfugen außen

### 6.1.3.2 Ergebnisse der Rauchgasanalytik

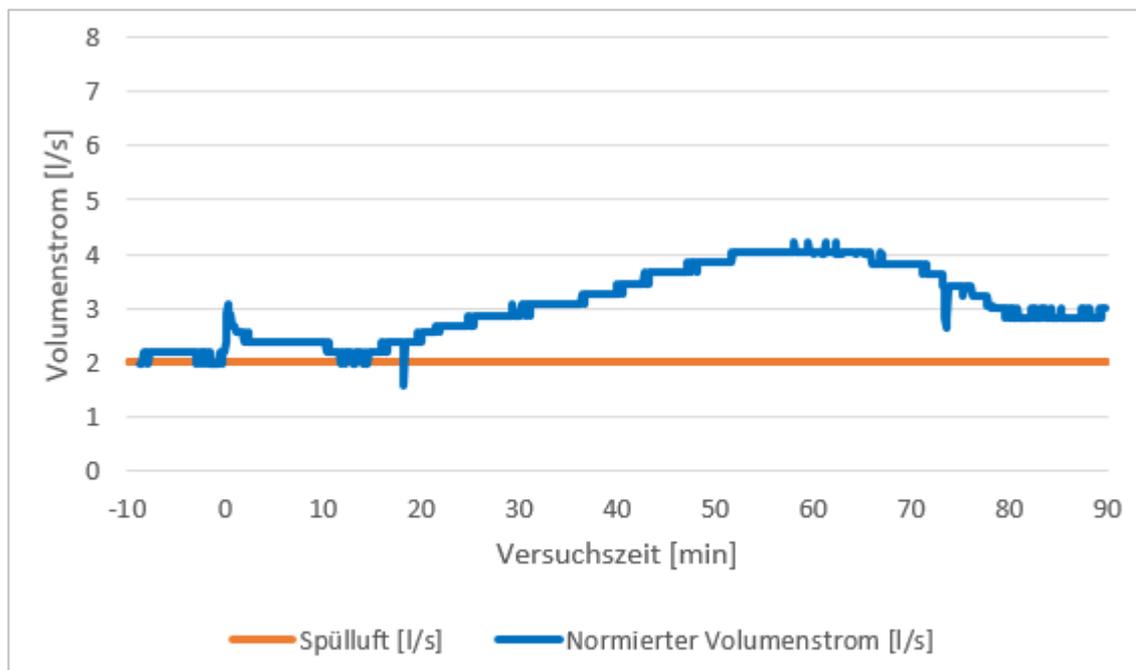


Abb. 6.7: Volumenstrom

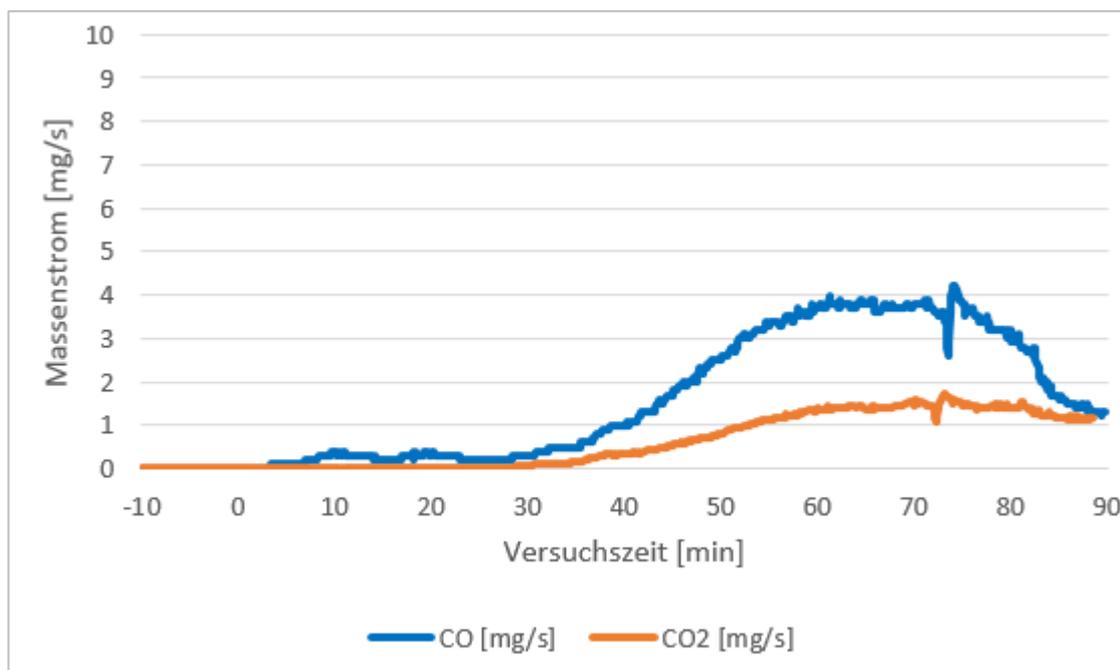


Abb. 6.8: Massenströme CO, CO<sub>2</sub>

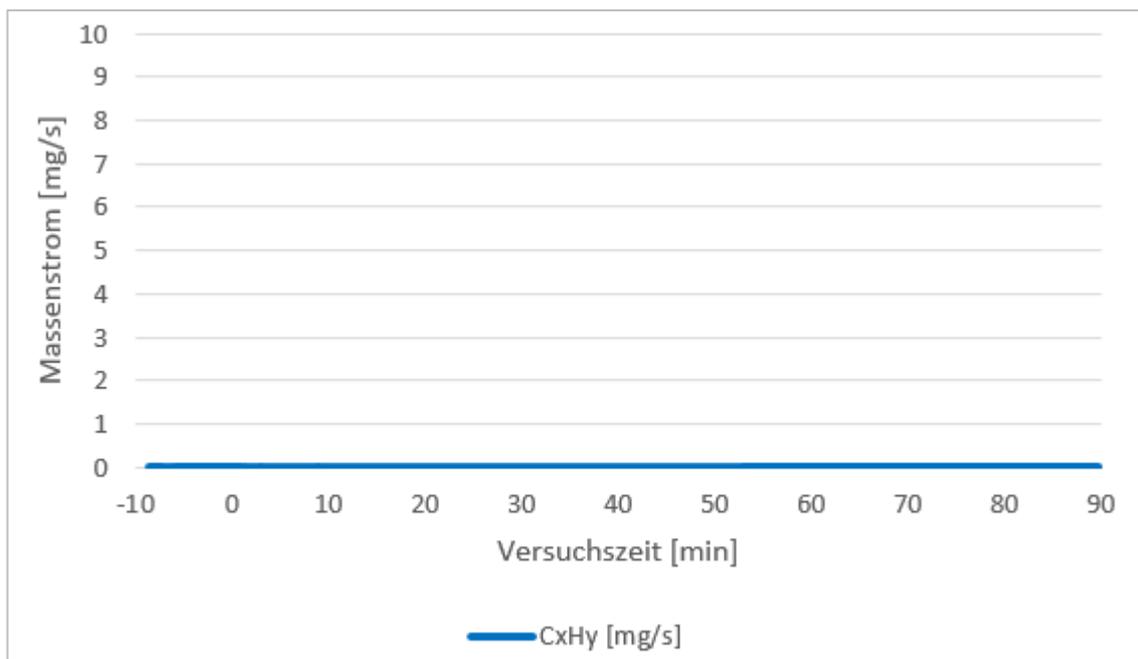


Abb. 6.9: Massenstrom CxHy

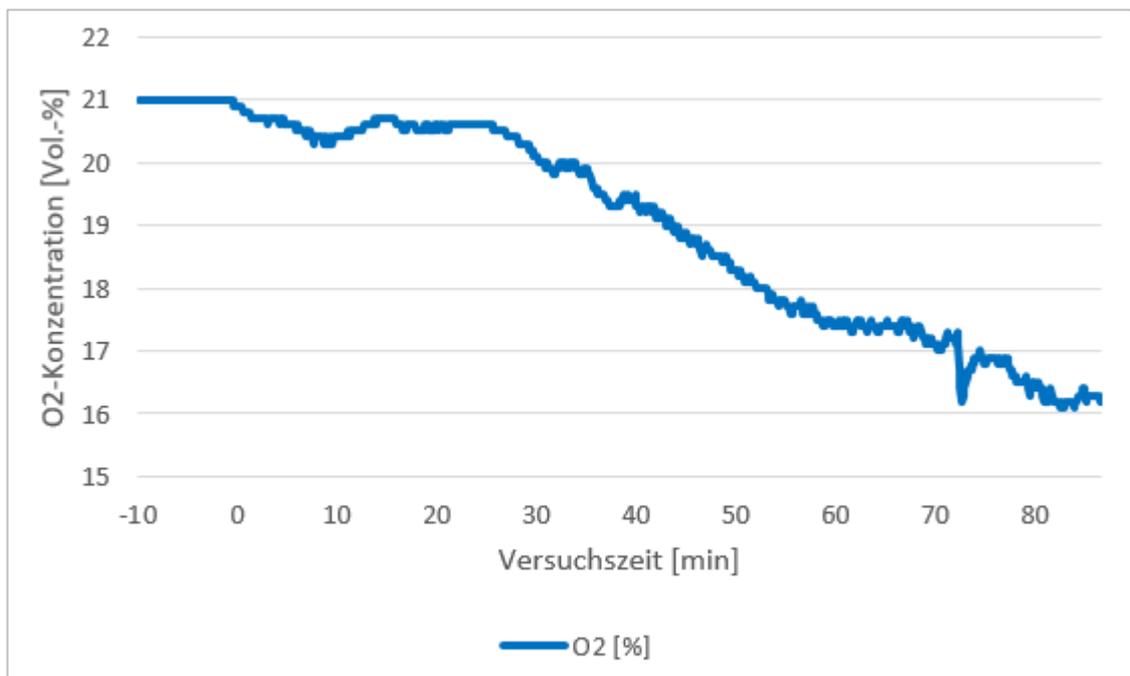


Abb. 6.10: Sauerstoffkonzentration

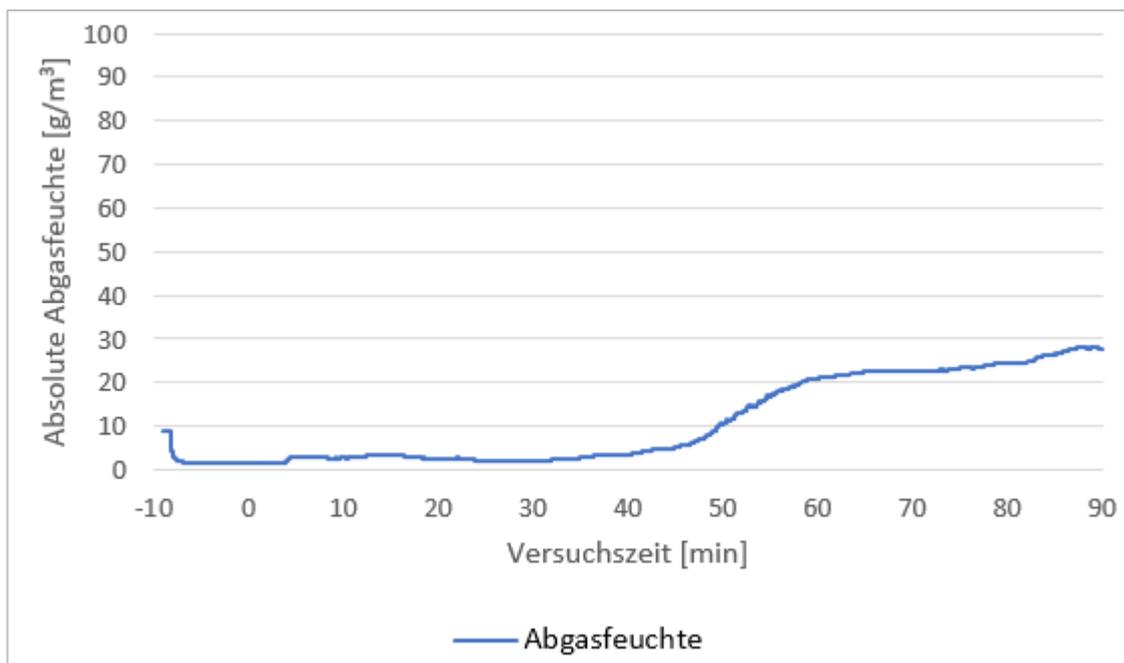


Abb. 6.11: Absolute Abgasfeuchte

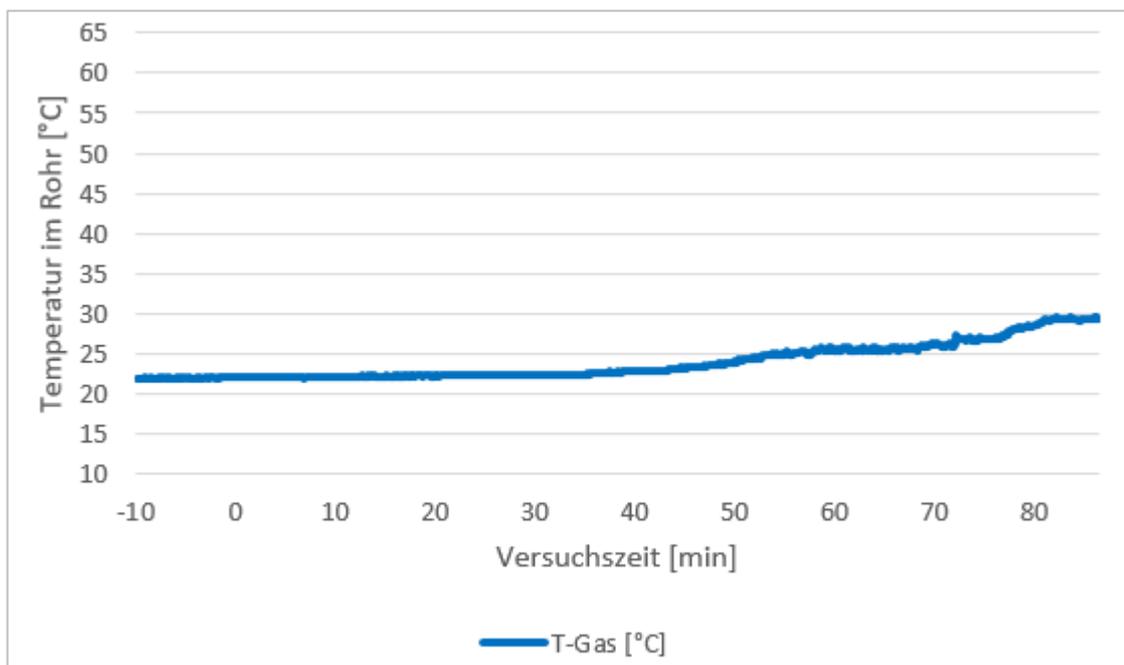


Abb. 6.12: Rauchgastemperatur

### 6.1.3.3 Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Tab. 6.5: Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

<b>Brandminute</b>	<b>Ereignis</b>	<b>Foto dokumentiert</b>
(-32.)	Last wird aufgebracht	
5.	Rauchaustritt seitlich der Ofenfugen	
15.	Rauchaustritt seitlich der Ofenfugen	X
47.	Leichter Rauchdurchtritt an Stoßfuge erkennbar	
58.	Leichter Rauchaustritt am Rohr erkennbar	
74.	Abriss des Spülluftschlauchs für ca. 15 Sekunden	
83.	Verstärkte Kondenswasserbildung	
90.	Versuchsende	

### 6.1.3.4 Fotodokumentation



Abb. 6.13: Probekörper brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn



Abb. 6.14: Probekörper brandzugewandte Seite vor Versuchsbeginn



Abb. 6.15: Stoßfugen brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn ohne Rauchauffangkasten

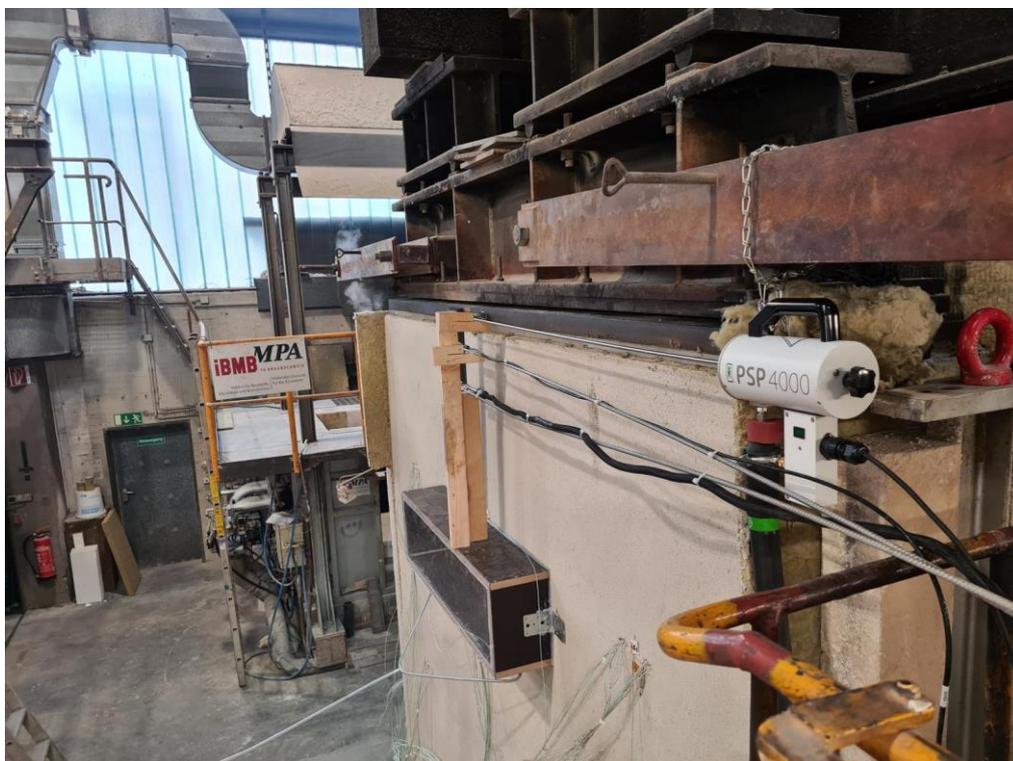


Abb. 6.16: Rauchaustritt seitlich der Ofenfugen (15. Brandminute)



Abb. 6.17: Probekörper brandabgewandte Seite nach Versuchsende



Abb. 6.18: Stoßfugen brandabgewandte Seite nach Versuchsende



*Abb. 6.19: Probekörper brandzugewandte Seite nach Versuchsende*

## 6.2 Protokoll Versuch 2 (MW-ohne Putz)

### 6.2.1 Versuchsaufbau

#### 6.2.1.1 Detailzeichnungen

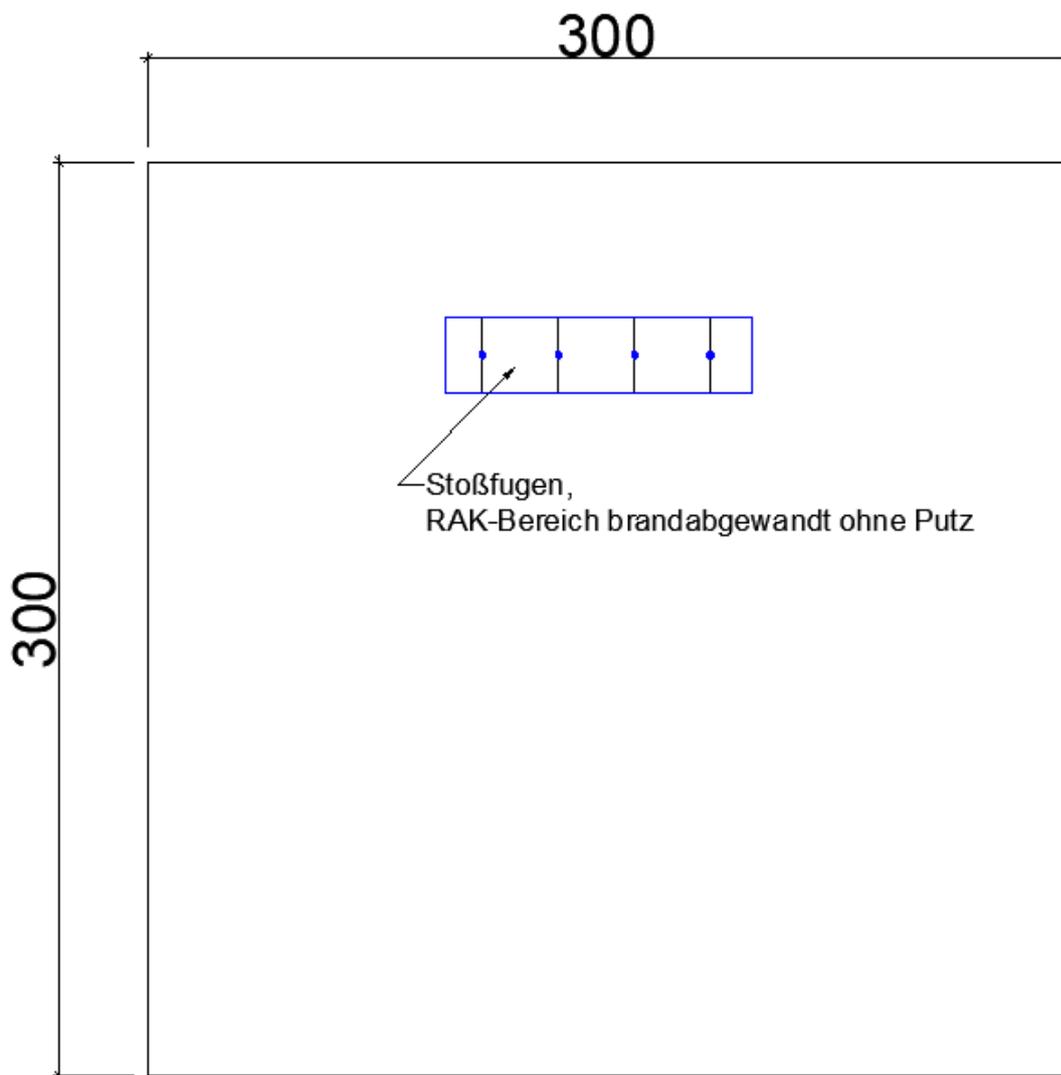


Abb. 6.20: Ansicht Wand, brandabgewandte Seite

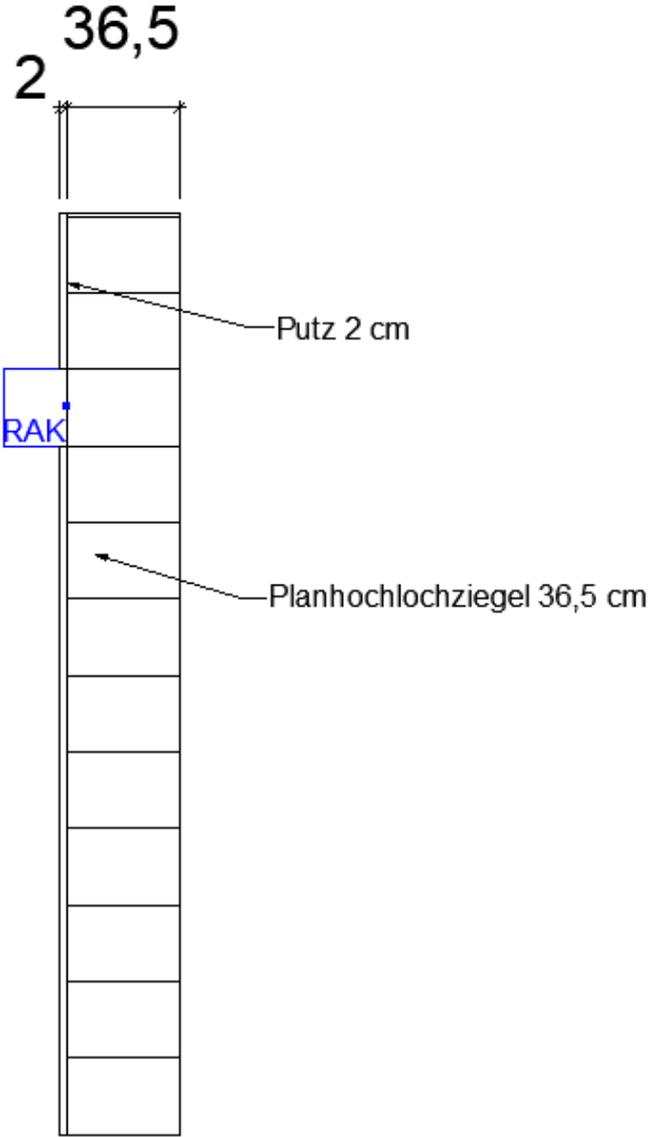


Abb. 6.21: Schnitt vertikal

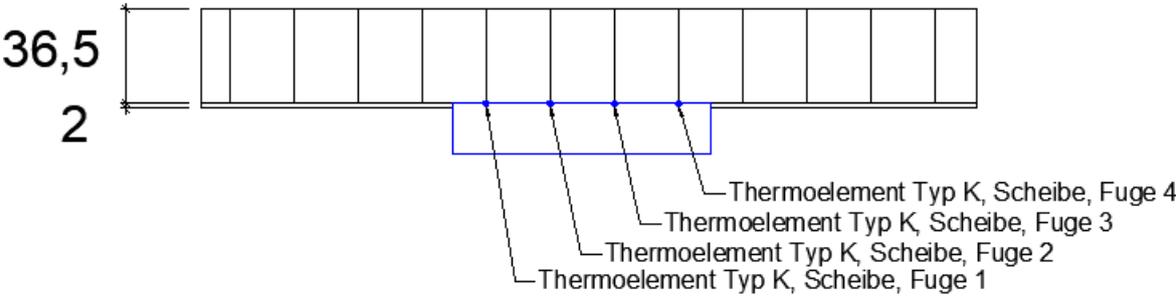


Abb. 6.22: Schnitt horizontal, Stoßfugen

### 6.2.1.2 Bauteilschichten

Tab. 6.6: Benennung der Bauteilschichten, brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
W1	Planhochlochziegel d = 365 mm 245 mm x 365 mm x 249 mm Kammern mit Mineralwolle verfüllt	0,52 kg/dm <sup>3</sup> Steinroh- dichte	Schlagmann Poroton GmbH & Co. KG
W2	Putzmörtel d = 20 mm (ohne im RAK)	-	maxit ip 18 ML, P II bzw. CS II

Tab. 6.7: Weitere verwendete Materialien

Material	Beschreibung/Hersteller	verwendet in Schicht
Dünnbettmörtel	maxit mur 900 D	W1

## 6.2.2 Versuchsparameter

Tab. 6.8: Versuchsdauer

Versuchsbeginn	Versuchsende	Versuchsdauer
16.06.2022, 12:08 Uhr	16.06.2022, 13:30 Uhr	82 min

### 6.2.2.1 Umgebungsbedingungen

Tab. 6.9: Umgebungsbedingungen bei Versuchsbeginn

Umgebungsdruck	Umgebungstemperatur	Luftfeuchte in %
1012 mbar	23 °C	41 % rh

### 6.2.2.2 Prüfbedingungen

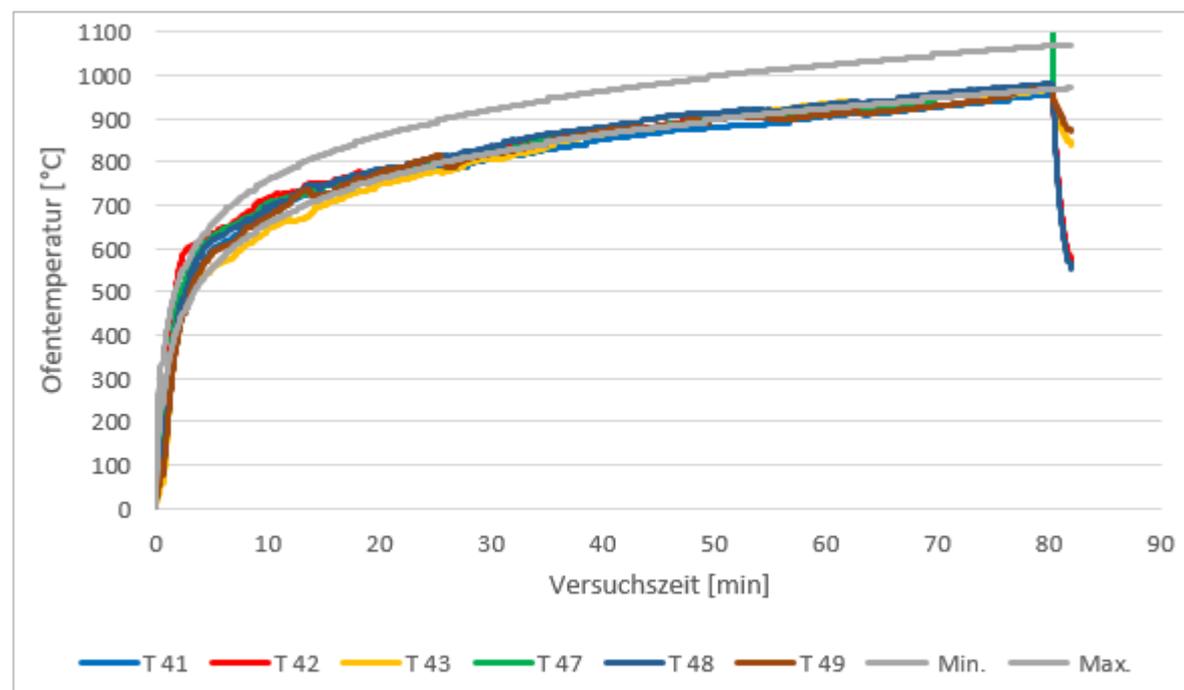


Abb. 6.23: Temperaturzeitkurve, Ofentemperatur

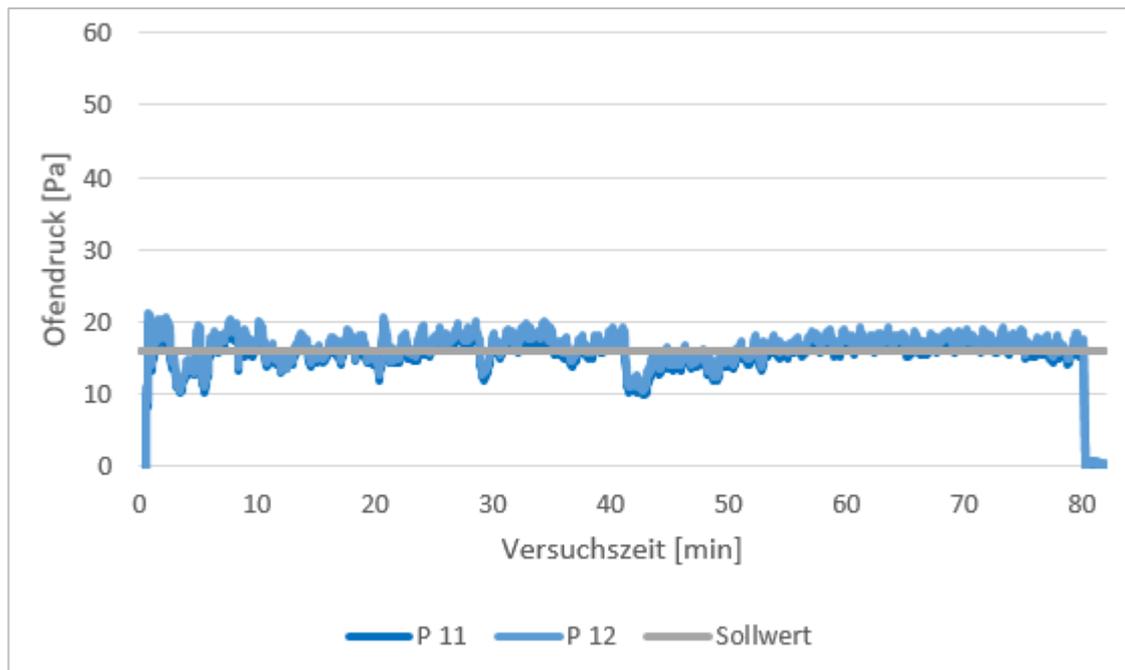


Abb. 6.24: Ofendruck

## 6.2.3 Auswertung

### 6.2.3.1 Temperaturverläufe

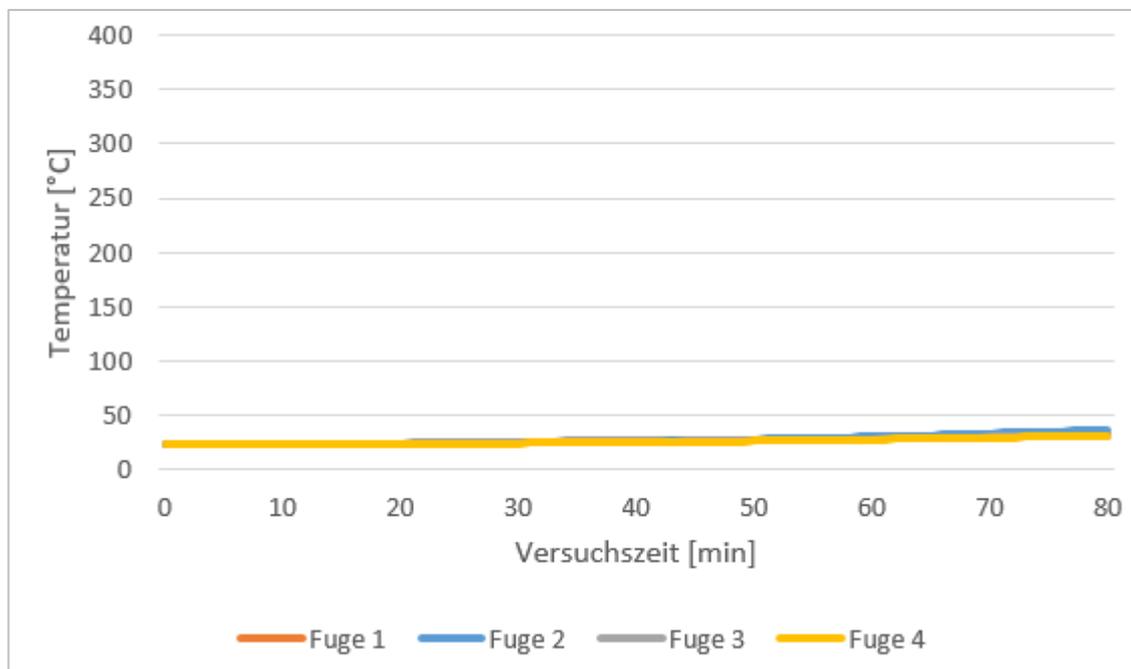


Abb. 6.25: Temperaturverlauf Stoßfugen außen

### 6.2.3.2 Ergebnisse der Rauchgasanalytik

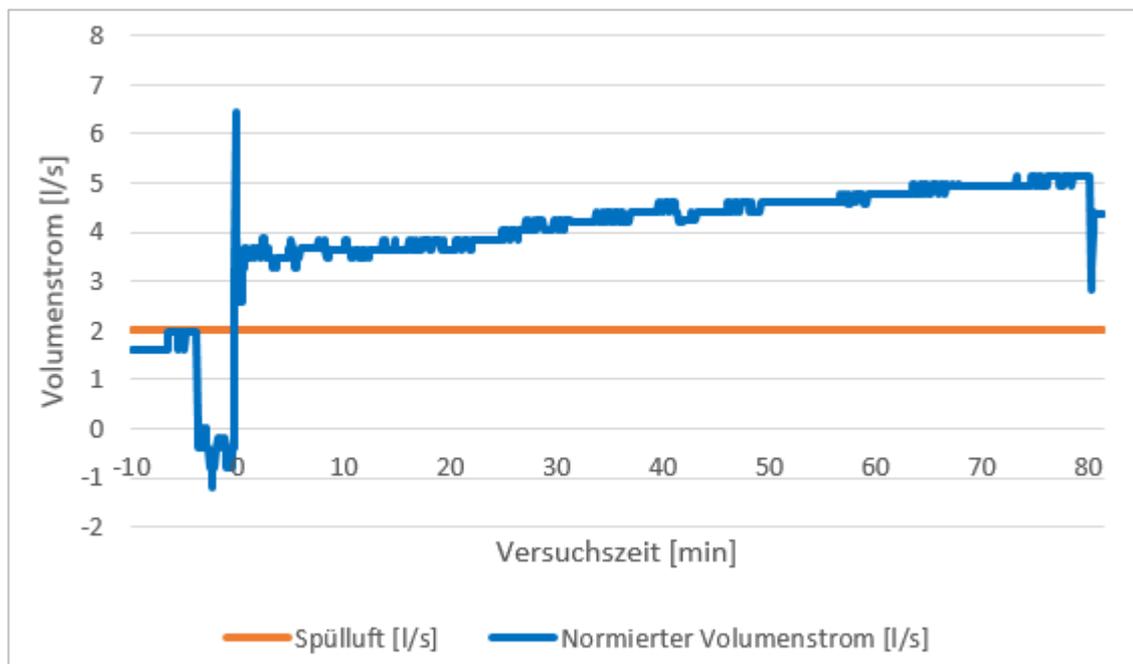


Abb. 6.26: Volumenstrom Stoßfugen

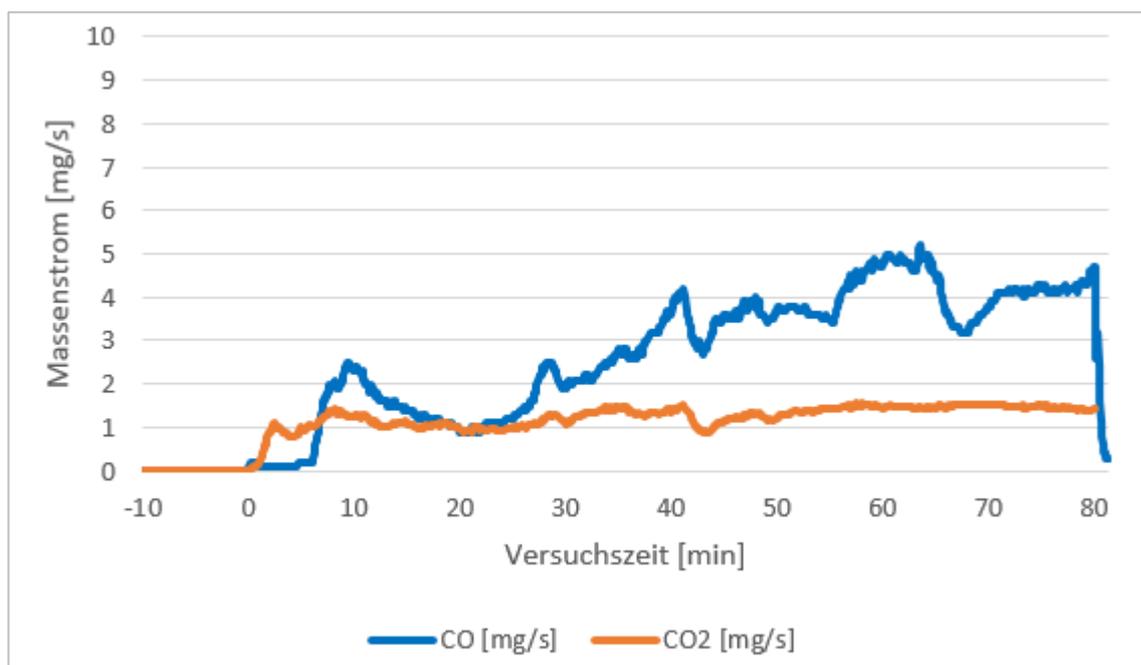


Abb. 6.27: Massenströme CO, CO<sub>2</sub>

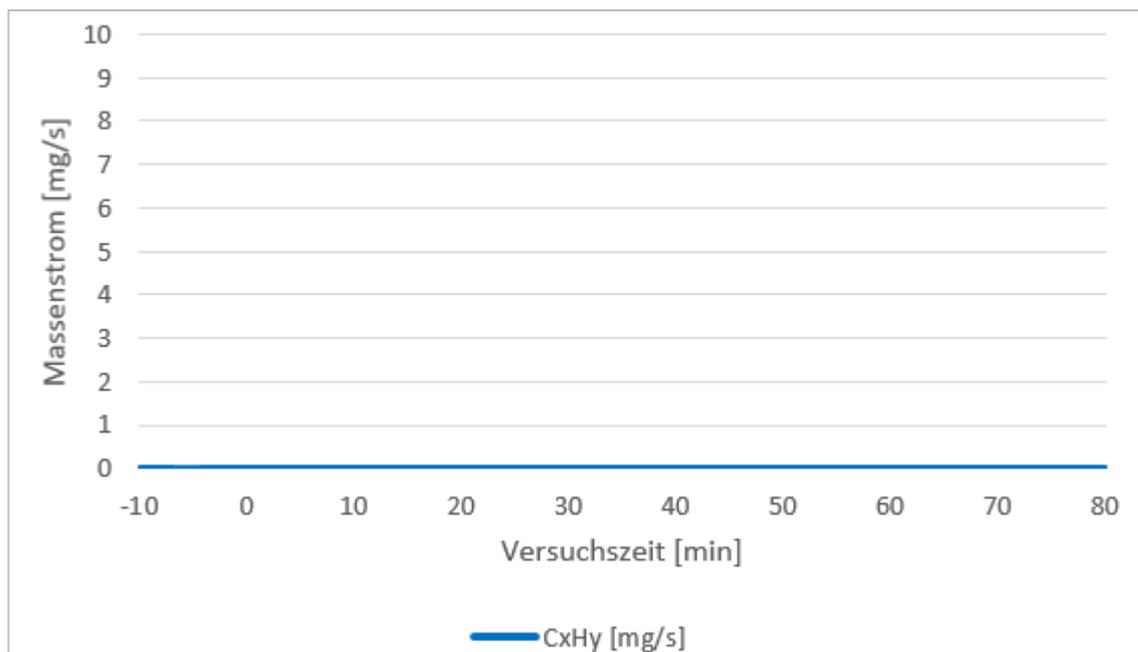


Abb. 6.28: Massenstrom CxHy

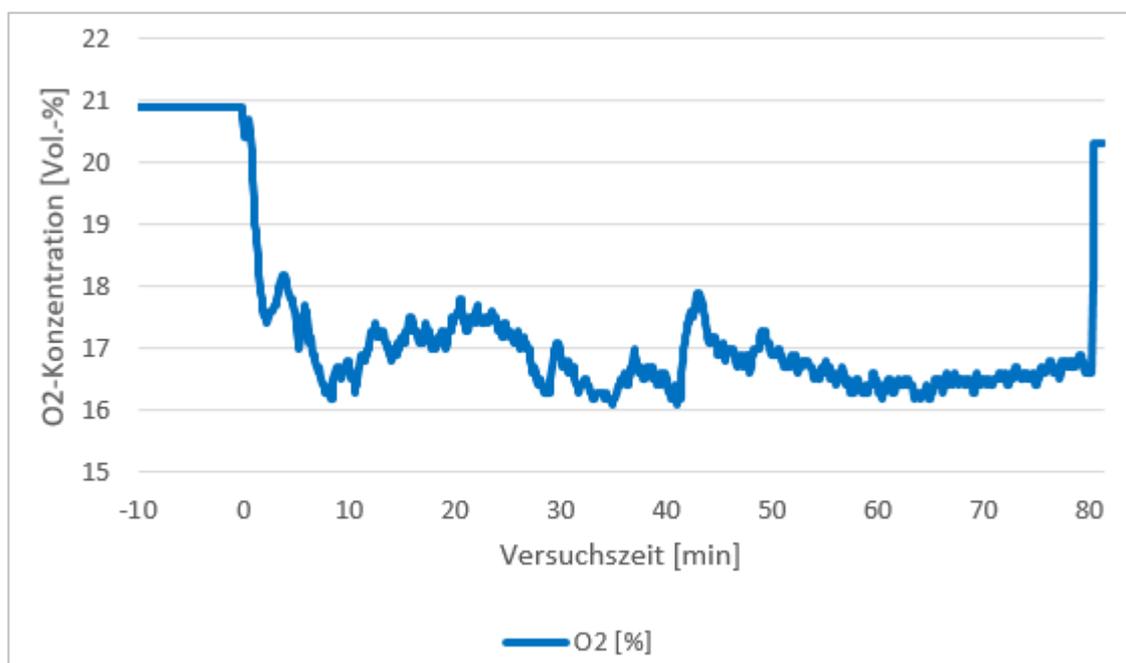


Abb. 6.29: Sauerstoffkonzentration

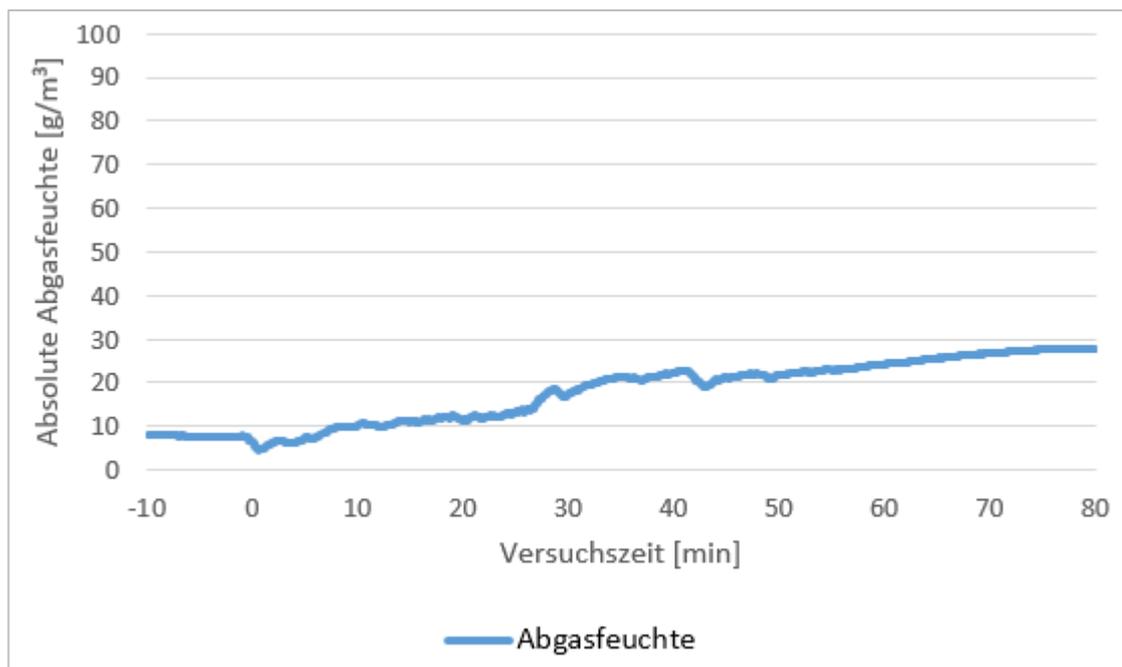


Abb. 6.30: Absolute Abgasfeuchte

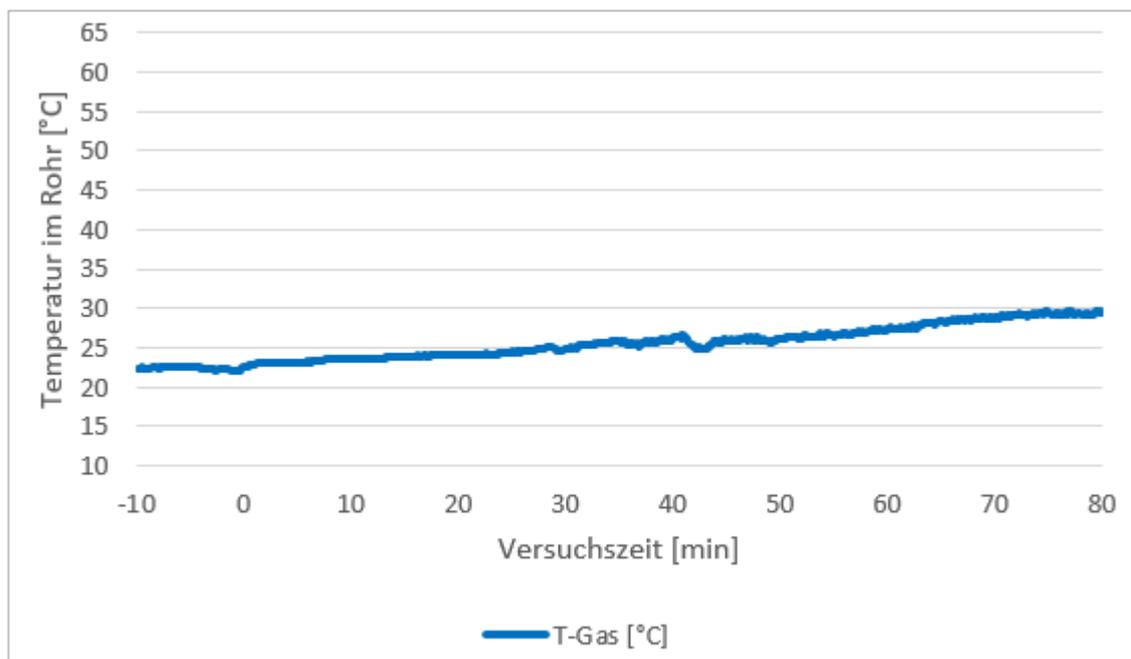


Abb. 6.31: Rauchgastemperatur

### 6.2.3.3 *Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen*

Tab. 6.10: *Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen*

<b>Brandminute</b>	<b>Ereignis</b>	<b>Foto dokumentiert</b>
(-30.)	Last wird aufgebracht	
	Spülluft wird bei geöffneter Ofentür eingestellt, bei geschlossenem Ofen entsteht ein Sog auf Grund der Absaugung und offener Stoßfugen	
6.	Rauchaustritt am Rohr erkennbar	
9.	Leichter Rauchdurchtritt an Stoßfuge erkennbar	
15.	Verringerter Rauchdurchtritt am Rohr erkennbar	X
37.	Kurzzeitig Rauchdurchtritt am Rohr erkennbar	
44.	Kurzzeitig Rauchdurchtritt am Rohr erkennbar	
82.	Wandversagen durch Einsturz	

### 6.2.3.4 Fotodokumentation



Abb. 6.32: Probekörper brandabgewandte Seite vor Versuchsbeginn



Abb. 6.33: Probekörper brandzugewandte Seite vor Versuchsbeginn



Abb. 6.34: Stoßfugen brandabgewandte Seite ohne Rauchauffangkasten (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.35: Rauchaustritt am Rohr erkennbar (15. Brandminute)



Abb. 6.36: Probekörper nach Versagen (82. Brandminute)

## 6.3 Protokoll Versuch 3 (TB-STB1)

### 6.3.1 Versuchsaufbau

#### 6.3.1.1 Detailzeichnungen

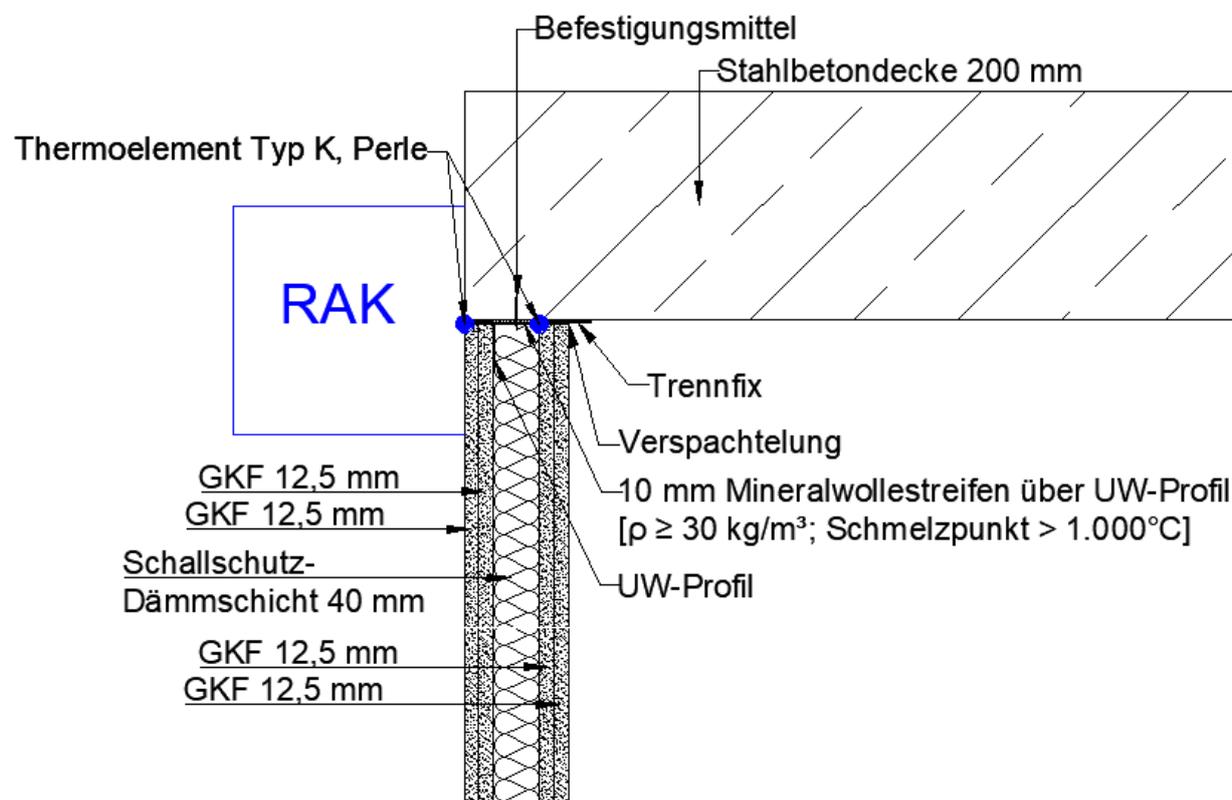


Abb. 6.37: Vertikal-Schnitt Bauteilanschluss im Detail

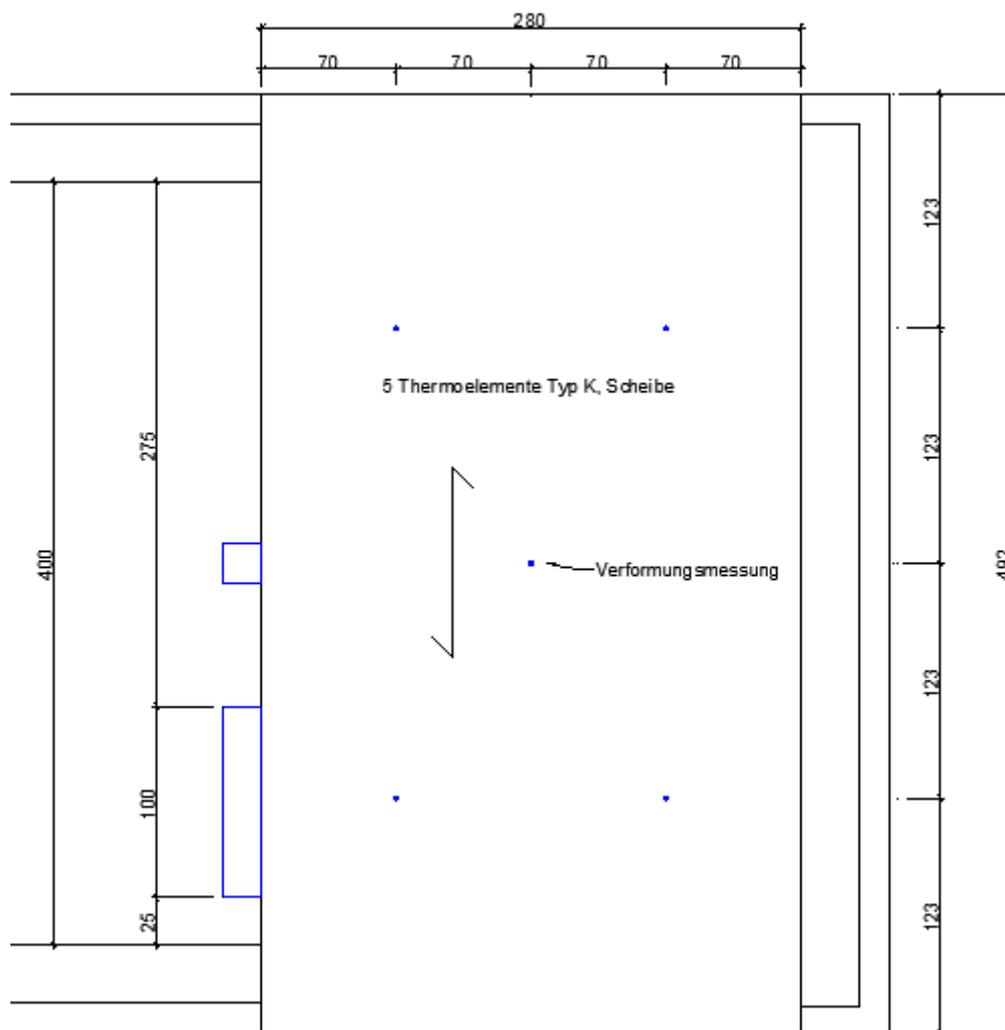


Abb. 6.38: Draufsicht Brandofen/Decke, brandabgewandt

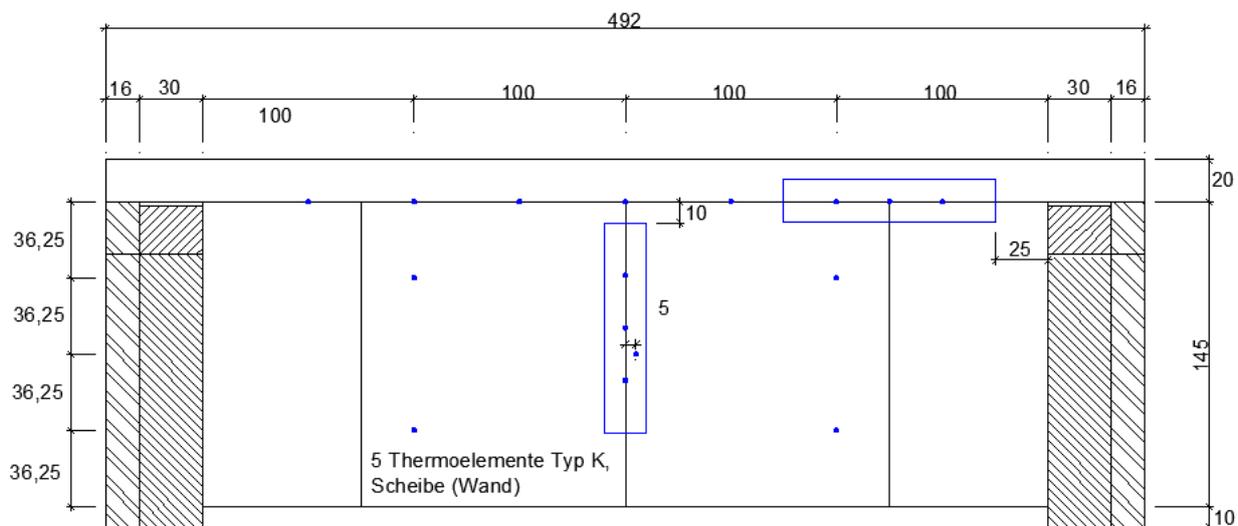


Abb. 6.39: Ansicht Wand, brandabgewandt

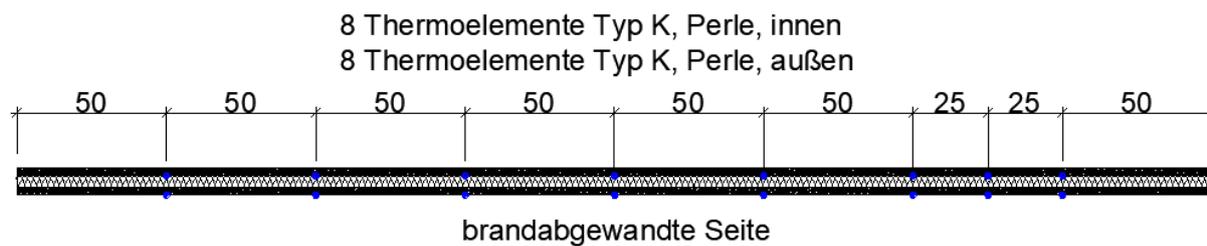


Abb. 6.40: Horizontal-Schnitt/Draufsicht Bauteilfuge

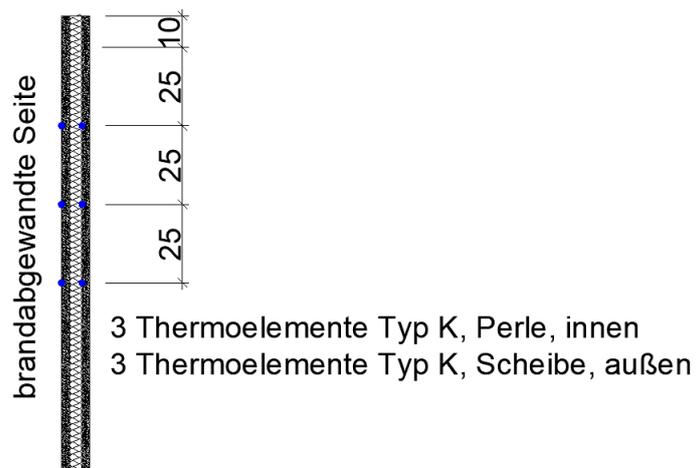


Abb. 6.41: Vertikal-Schnitt Elementfuge

### 6.3.1.2 Bauteilschichten

Tab. 6.11: Benennung der Bauteilschichten (Wand), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
W1	12,5 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf Gips KG
W2	12,5 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf Gips KG
W3	CW-Profil 50/50/0,6 mit UW-Profil 50/40/0,6	-	Knauf Gips KG
	40 mm Dämmung	100 kg/m <sup>3</sup>	Rockwool Termarock 100
W4	12,5 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf Gips KG
W5	12,5 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf Gips KG

Tab. 6.12: Benennung der Bauteilschichten (Decke), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
D1	Stahlbetonvollplatte C20/25 XC1, Baustahl 500 S / 500 M, Betondeckung 35 mm, Herstelldatum: 12.07.2022	2.500 kg/m <sup>3</sup>	Preteq Fertigteilbau GmbH

Tab. 6.13: Weitere verwendete Materialien

Material	Beschreibung/Hersteller	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben	Würth	W1, W2, W4, W5
Gips-Spachtelmasse	Knauf Uniflott	W1, W2, W4, W5
Trennstreifen	Knauf Trenn-Fix	W1, W2, W4, W5 Anschlussbereich zur Decke
Mineralwolle	Rockwool Termarock 100, 100 kg/m <sup>3</sup> , Schmelztemperatur > 1.000°C	W3 10 mm Anschlussdichtung oberhalb des UW-Profiles
Betonschraube	Würth TSM	W3 Befestigung UW-Profil an Decke

### 6.3.2 Versuchsparameter

Tab. 6.14: Versuchsdauer

Versuchsbeginn	Versuchsende	Versuchsdauer
28.11.2022, 08:30 Uhr	28.11.2022, 09:35 Uhr	65 min

#### 6.3.2.1 Umgebungsbedingungen

Tab. 6.15: Umgebungsbedingungen bei Versuchsbeginn

Umgebungsdruck	Umgebungstemperatur	Luftfeuchte in %
1005 mbar	16 °C	8 % rh

#### 6.3.2.2 Prüfbedingungen

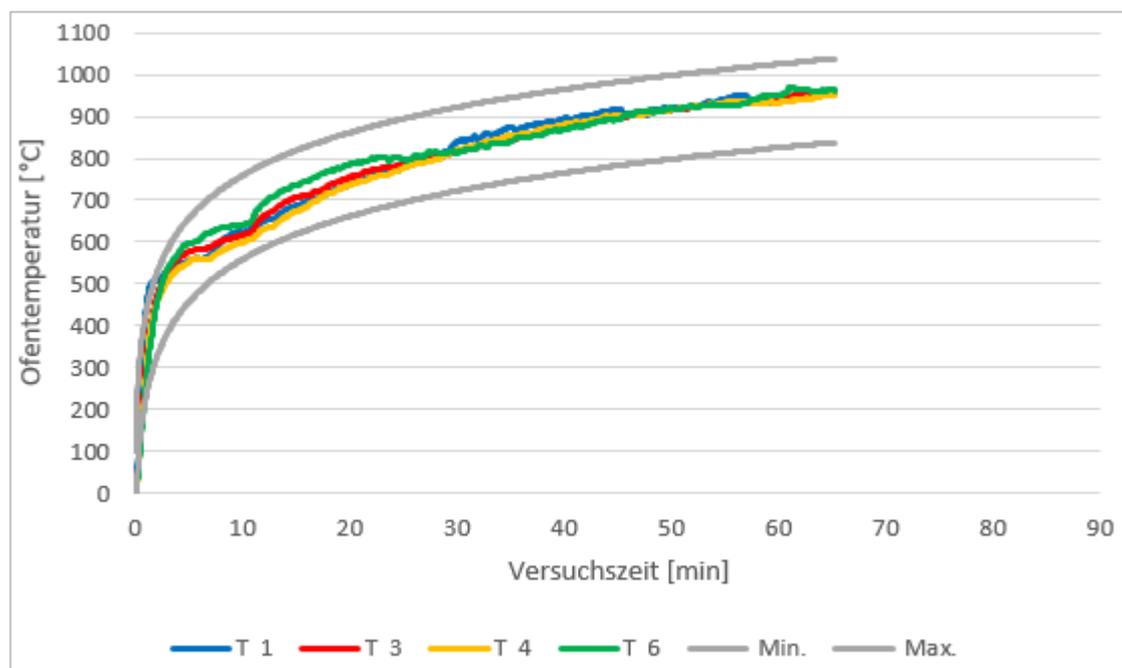


Abb. 6.42: Temperaturzeitkurve, Ofentemperatur

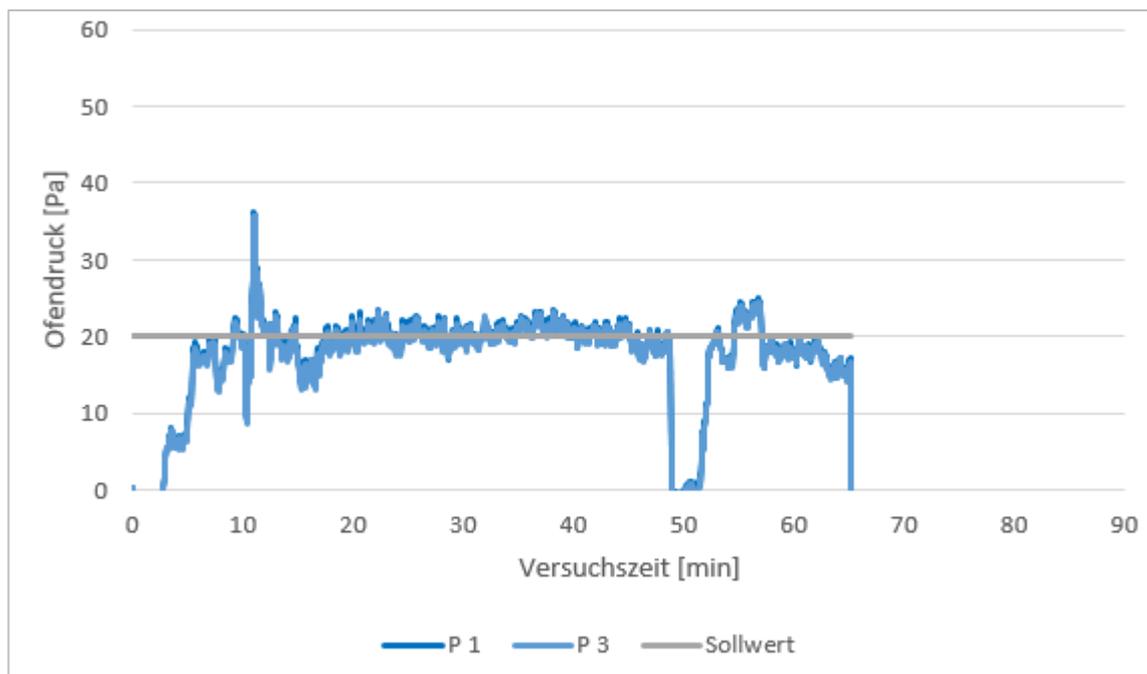


Abb. 6.43: Ofendruck

### 6.3.3 Auswertung

#### 6.3.3.1 Temperaturverläufe

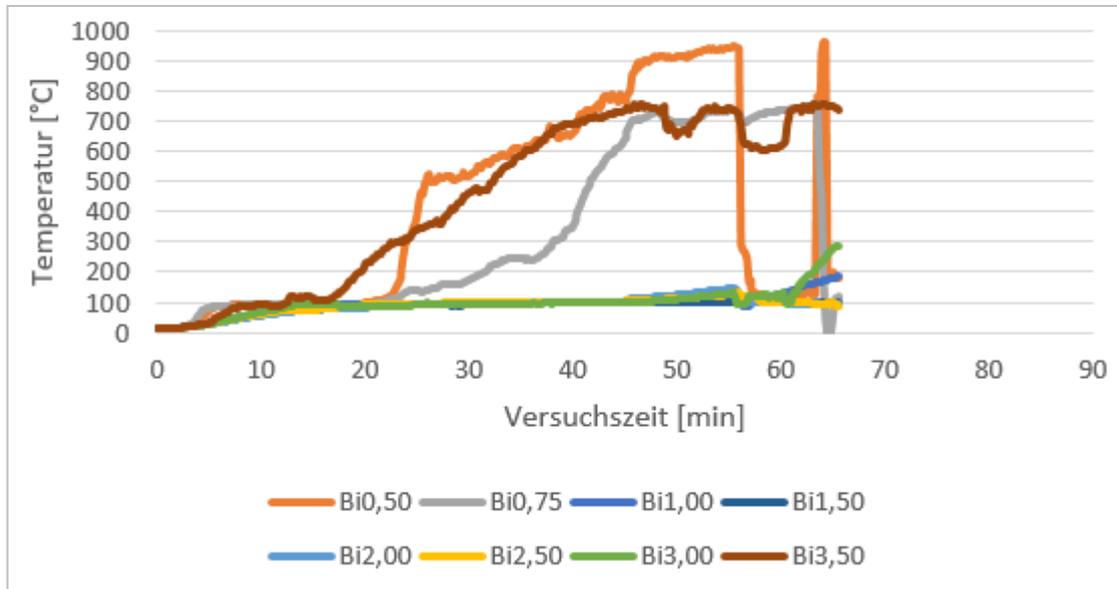


Abb. 6.44: Temperaturverlauf Bauteilfuge CW-Profil brandzugewandt

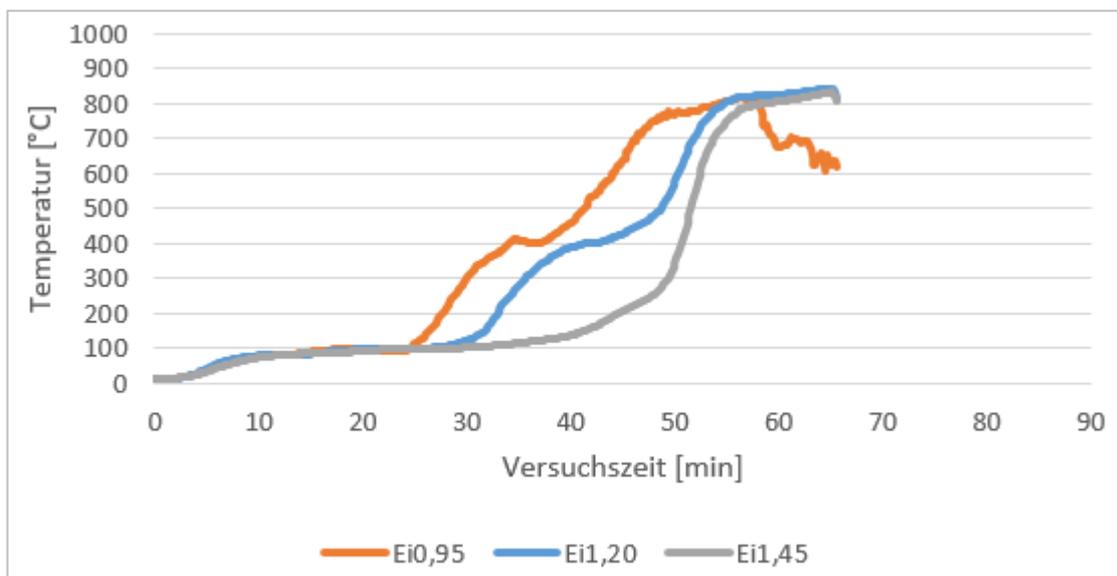


Abb. 6.45: Temperaturverlauf Elementfuge UW-Profil brandzugewandt

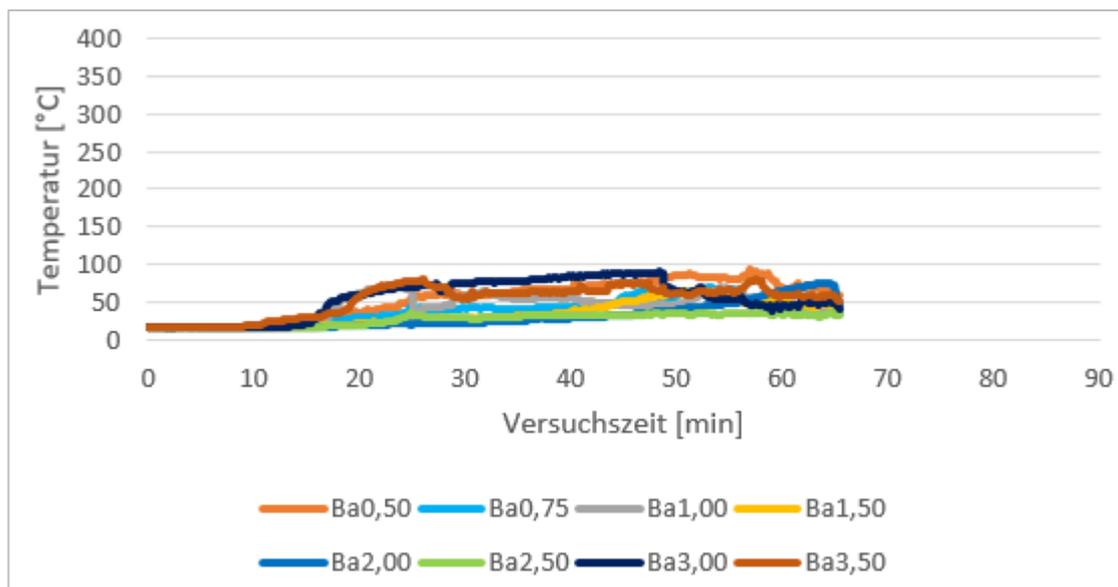


Abb. 6.46: Temperaturverlauf Bauteilfuge außen

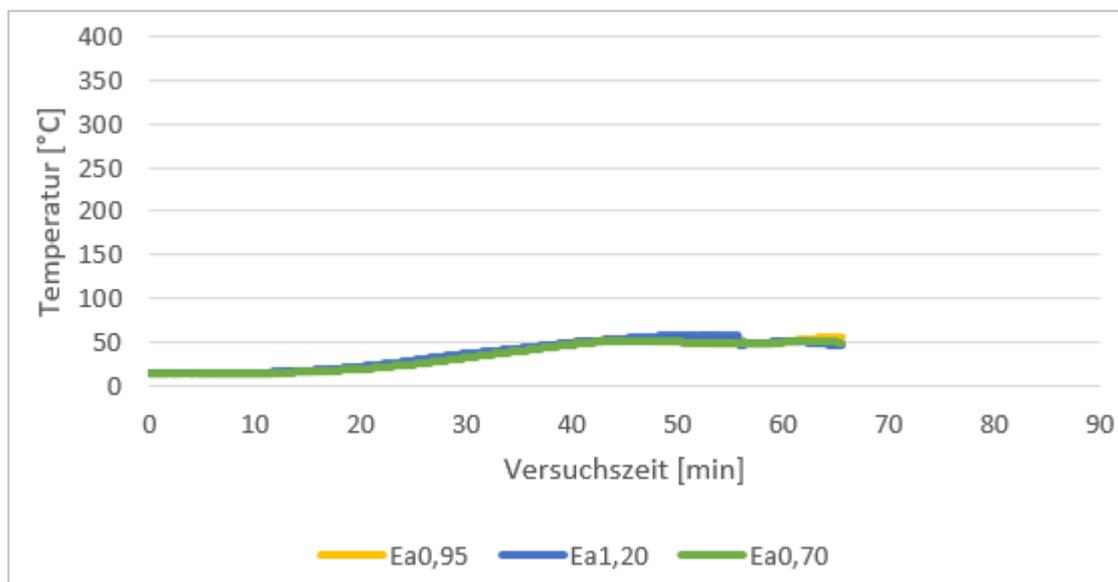


Abb. 6.47: Temperaturverlauf Elementfuge außen

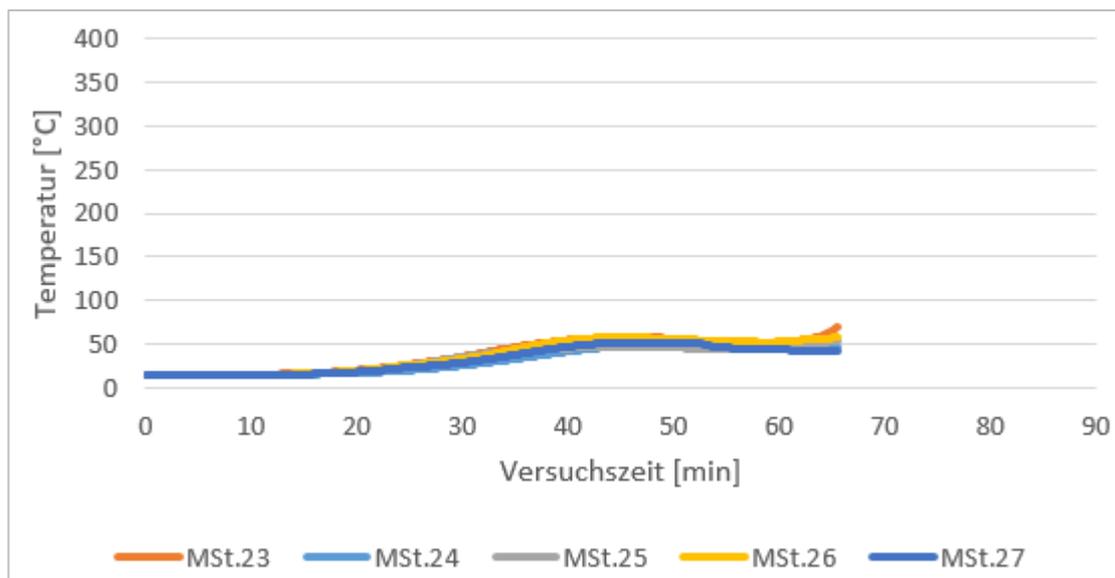


Abb. 6.48: Temperaturverlauf Wand außen

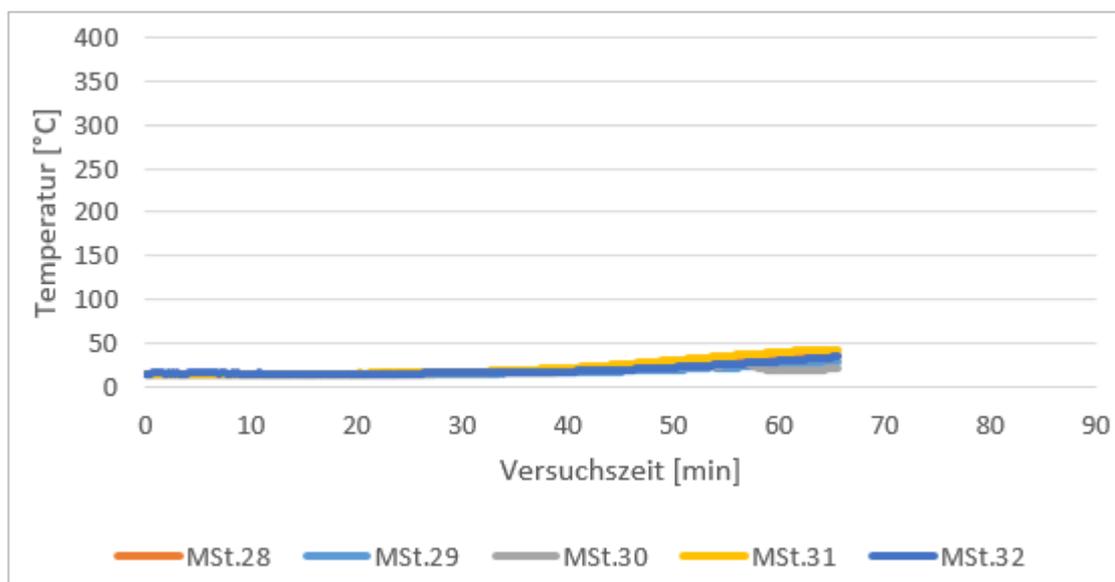


Abb. 6.49: Temperaturverlauf Decke außen

### 6.3.3.2 Deckenverformung

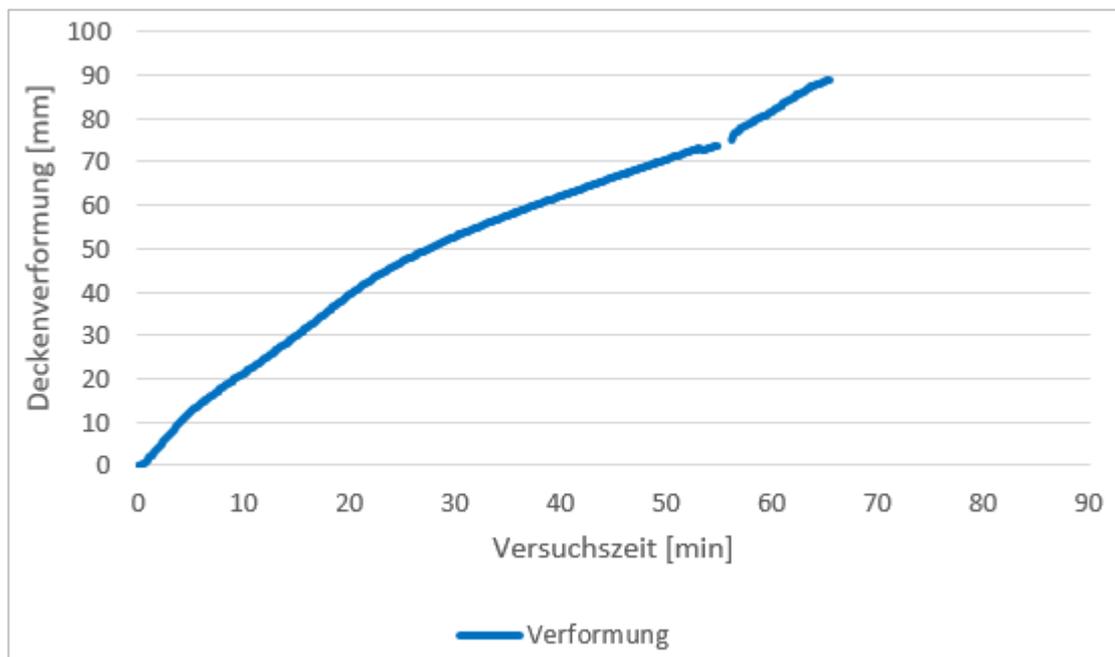


Abb. 6.50: Durchbiegung in Deckenmitte

### 6.3.3.3 Ergebnisse der Rauchgasanalytik

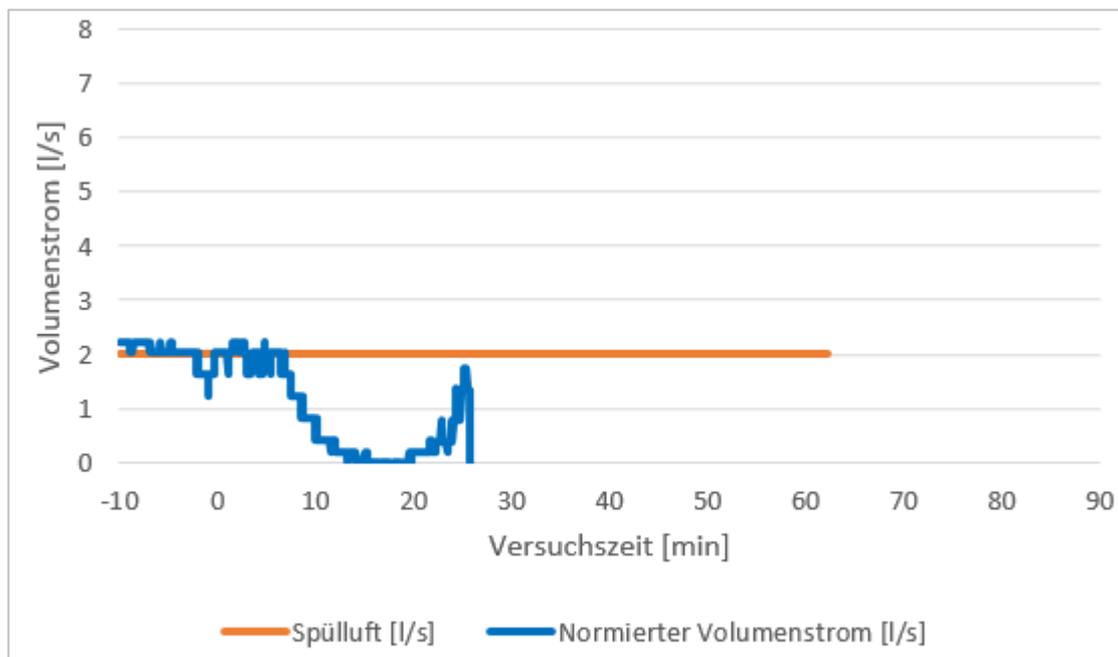


Abb. 6.51: Volumenstrom Bauteilfuge

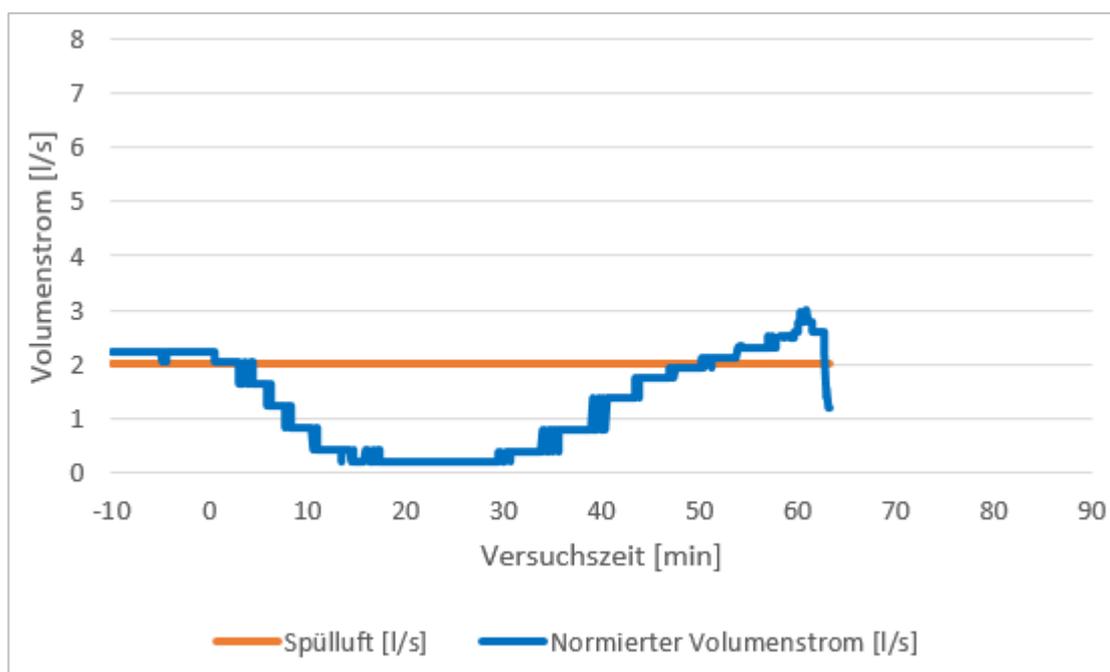


Abb. 6.52: Volumenstrom Elementfuge

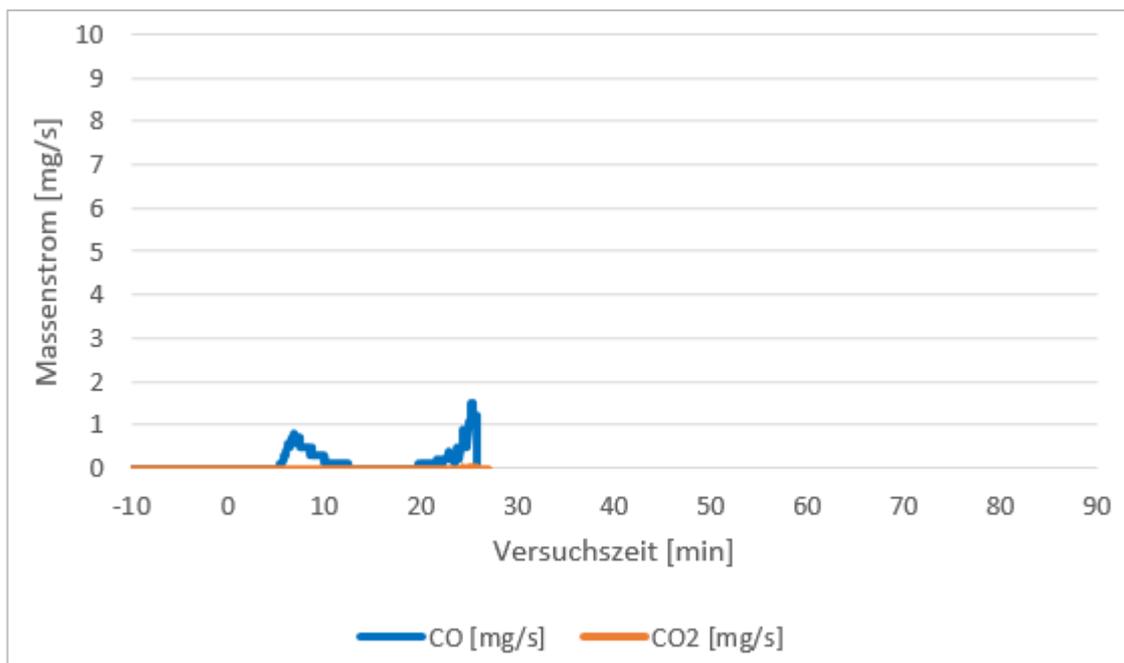


Abb. 6.53: Massenströme Bauteilfuge CO, CO<sub>2</sub>

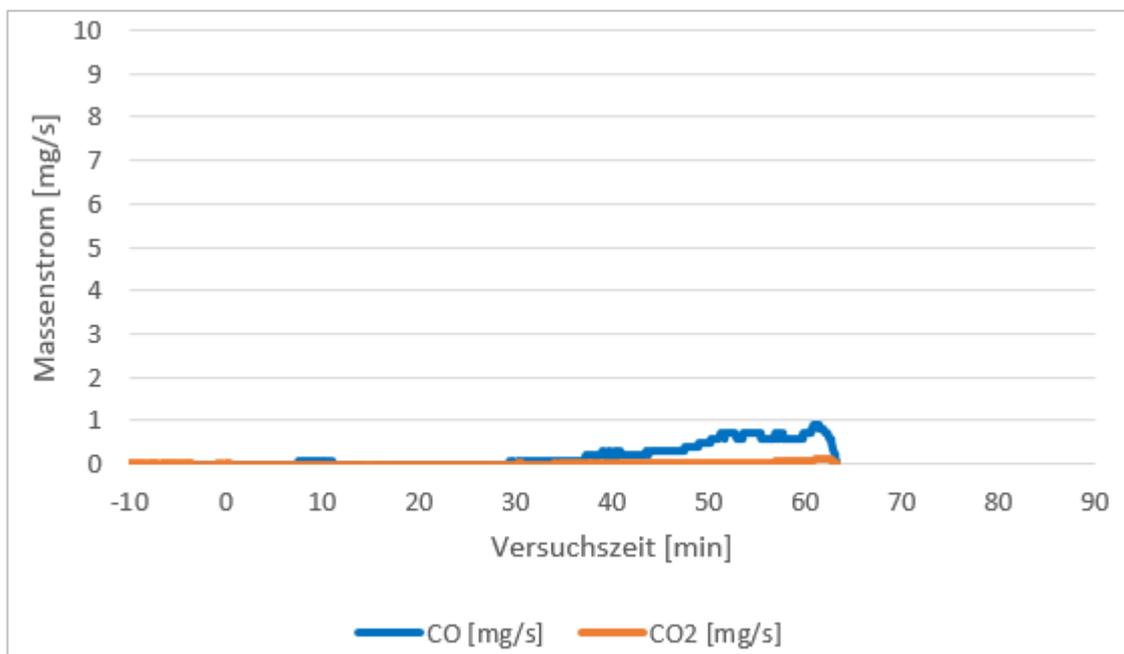


Abb. 6.54: Massenströme Elementfuge CO, CO<sub>2</sub>

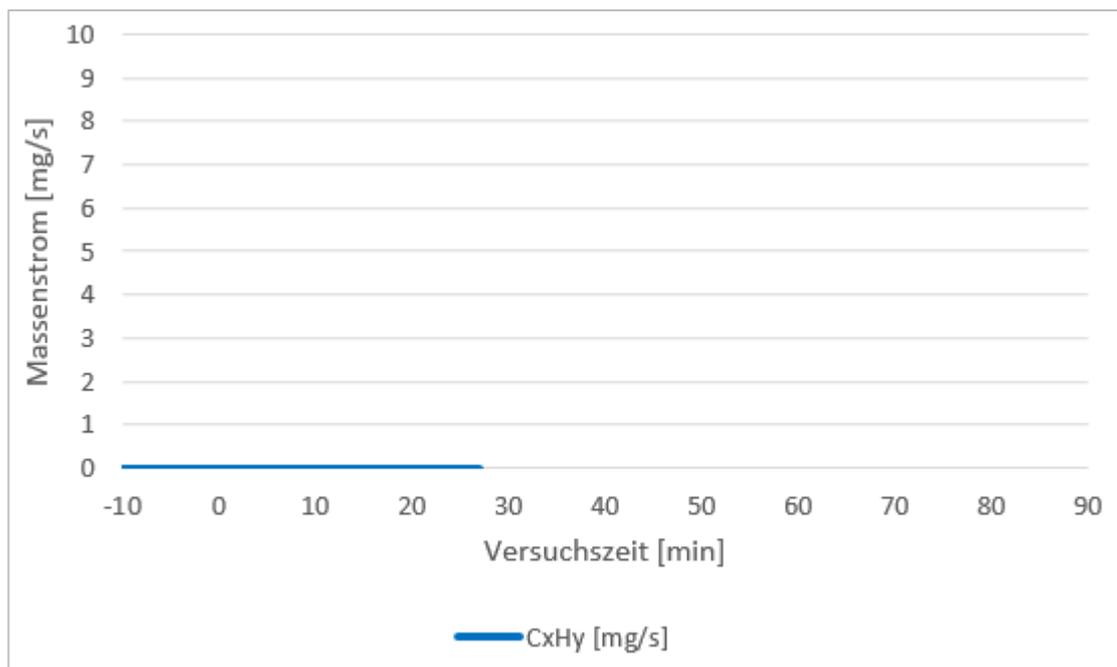


Abb. 6.55: Massenstrom Bauteilfuge CxHy

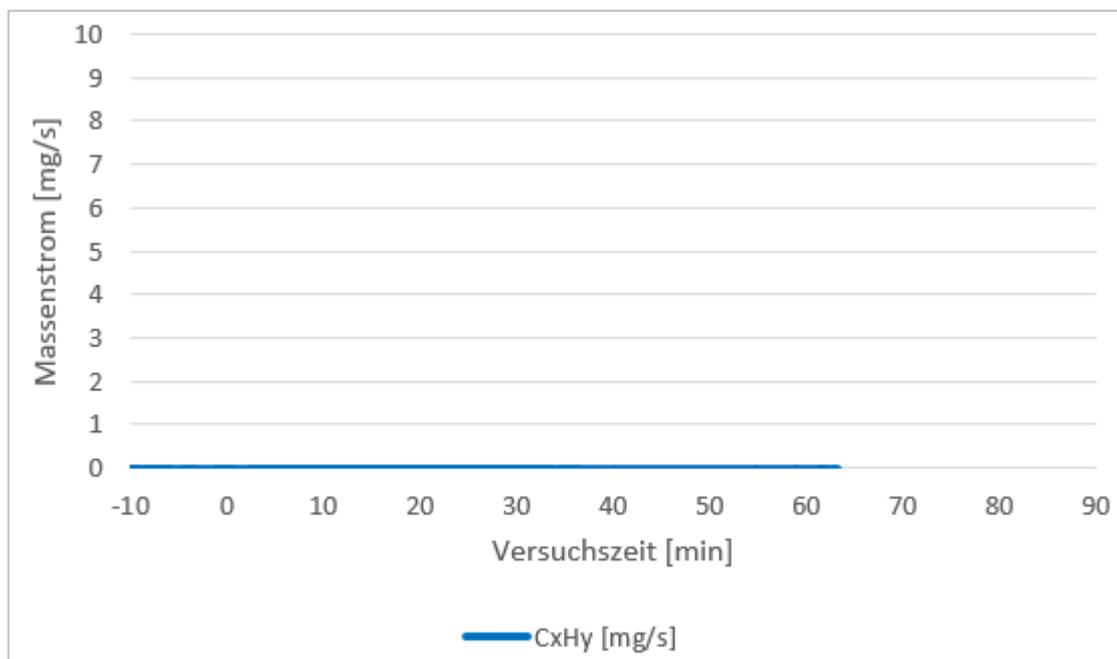


Abb. 6.56: Massenstrom Elementfuge CxHy

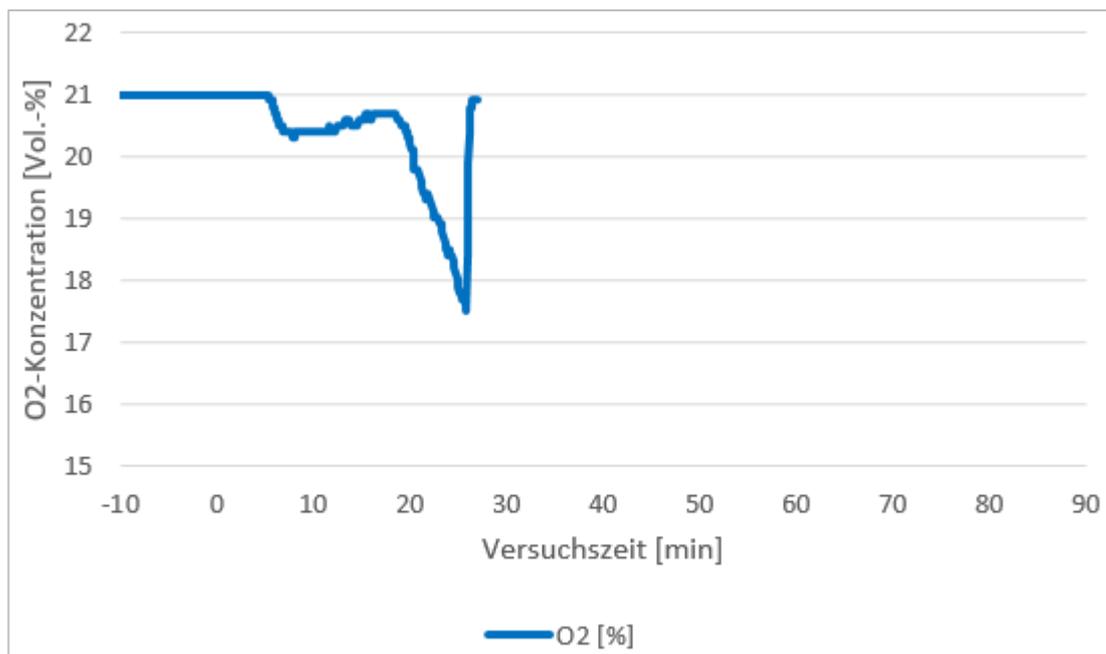


Abb. 6.57: Sauerstoffkonzentration Bauteilfuge

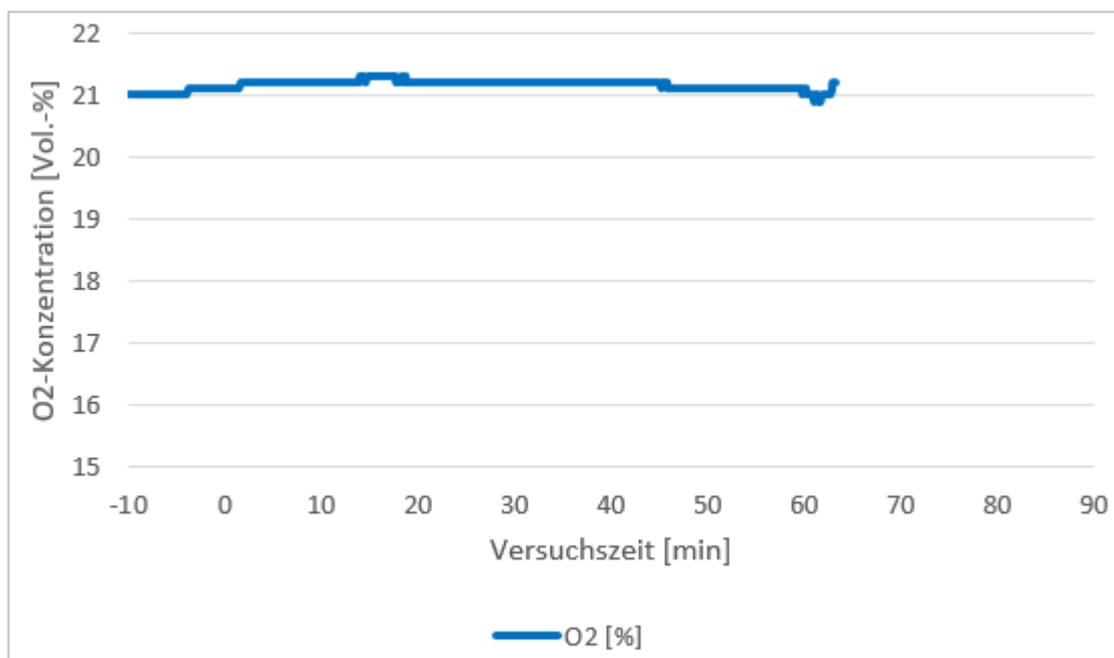


Abb. 6.58: Sauerstoffkonzentration Elementfuge

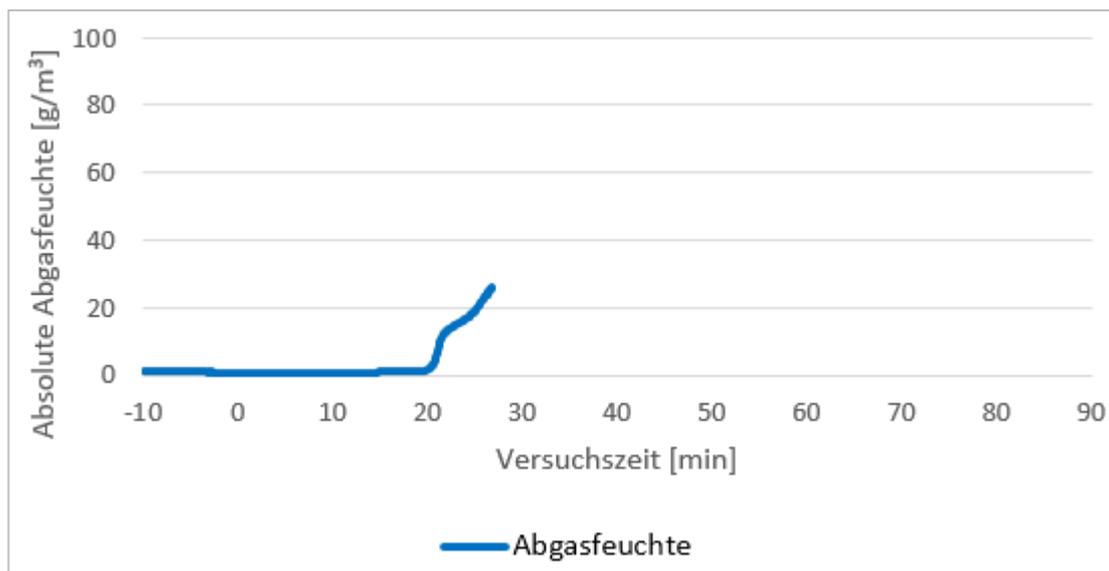


Abb. 6.59: Absolute Abgasfeuchte Bauteilfuge

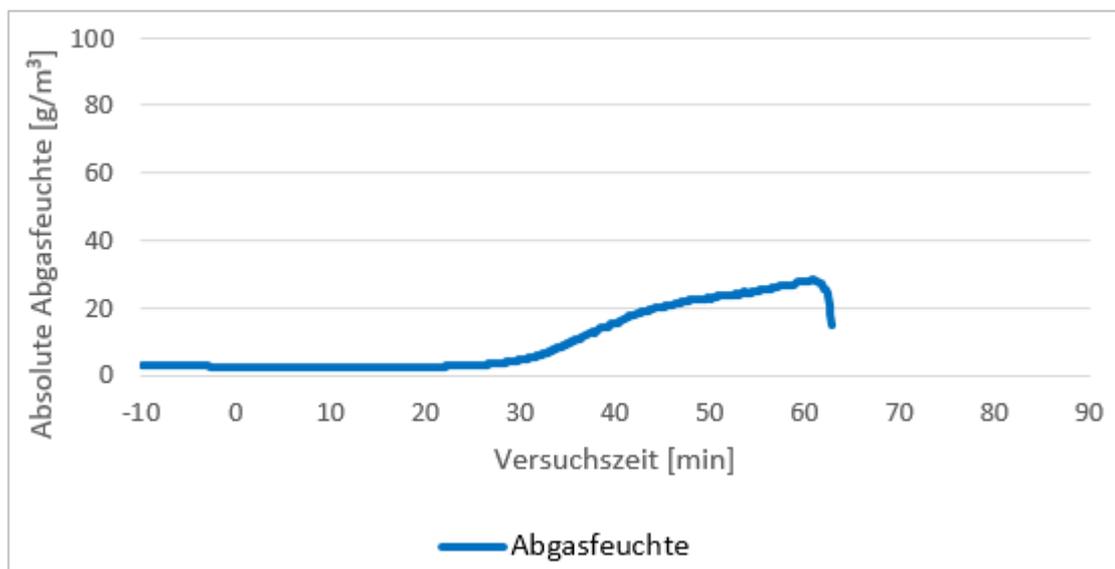


Abb. 6.60: Absolute Abgasfeuchte Elementfuge

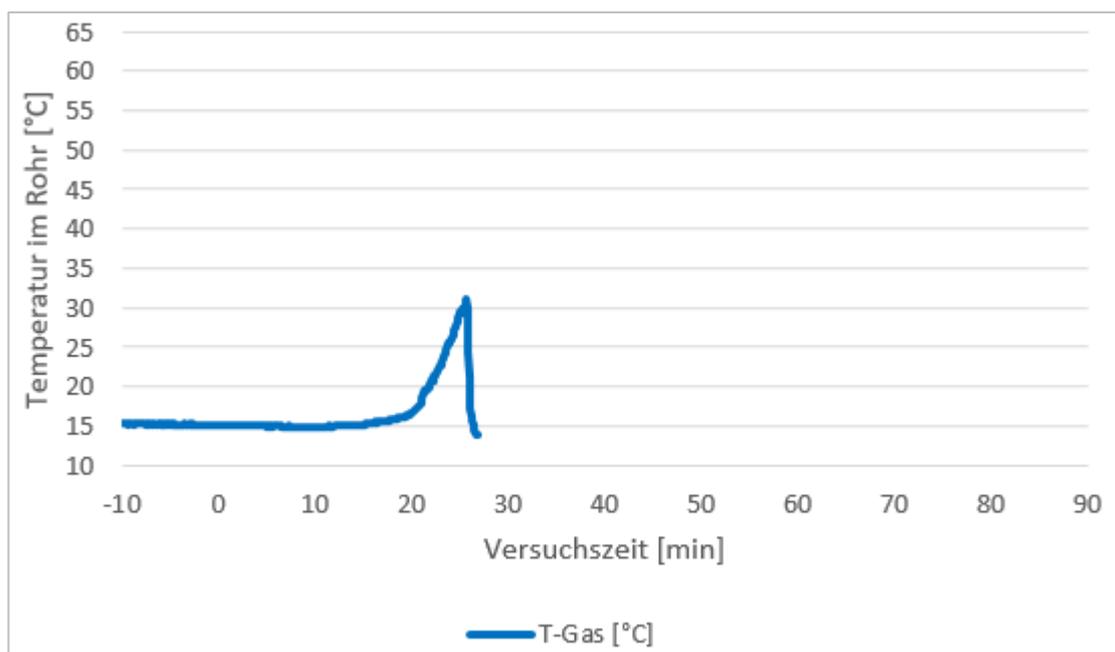


Abb. 6.61: Rauchgastemperatur Bauteilfuge

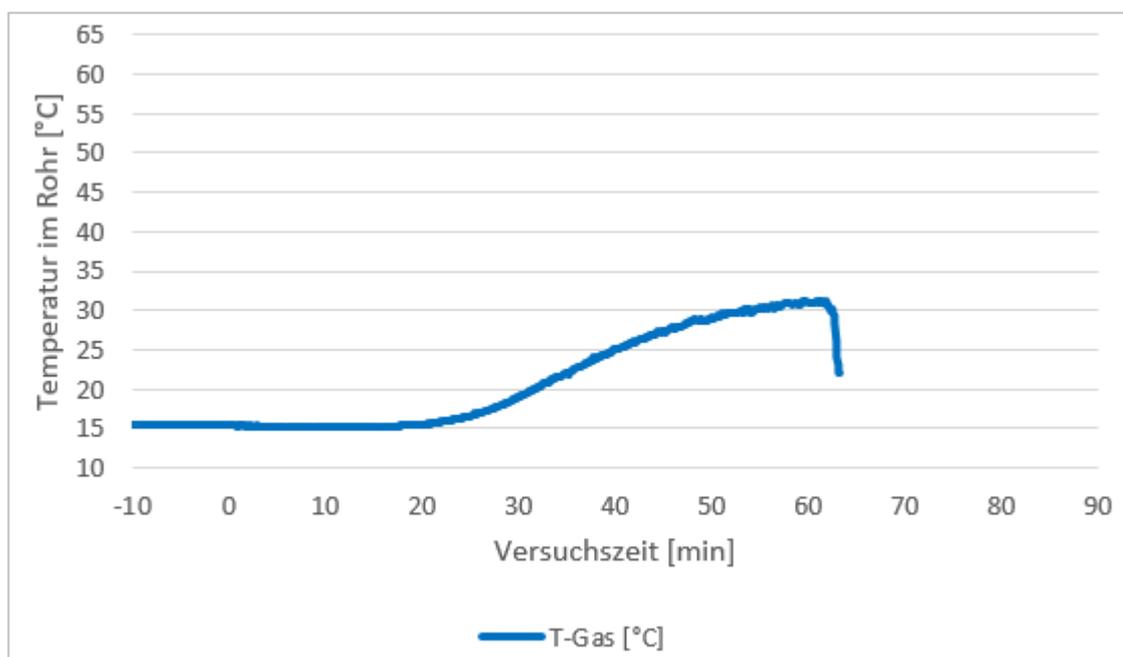


Abb. 6.62: Rauchgastemperatur Elementfuge

### 6.3.3.4 Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Tab. 6.16: Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
(-)	Belastung 3 Tage vor Versuchstag aufgebracht	
(-5.)	Die Rauchgasreinigungsanlage wurde während dem Einstellen der Spülluft eingeschaltet.	
4.	Rauchaustritt seitlich der Bauteilfuge	X
6.	Rauchaustritt durch seitliche Auflagerfugen und hintere Deckenfuge	
11.	Deckenverformung: Aufklaffen der Auflager beginnt	X
16.	Bauteilfuge im RAK öffnet sich	
19.	Silikonabdichtung am RAK-Bauteilfuge reißt auf, RAK-Bauteilfuge beschlägt	X
28.	Messtechnik an Bauteilfuge zur Schonung abgebaut	
30.	UW-Profil hält an Decke	
32.	Decke zieht UW-Profil nach oben	X
34.	Wasseraustritt auf der Decke; Wassereintritt in RAK-Elementfuge	
48.	Wandverformung ist sichtbar	
57.	Silikonabdichtung am RAK-Elementfuge reißt auf	X
61.	Messtechnik an Elementfuge zur Schonung abgebaut	
62.	Starker Rauchaustritt und Wandverformung	X
65.	Einschalten der Hallenabluft, Versuchsabbruch	

### 6.3.3.5 Fotodokumentation



Abb. 6.63: Montage des UW-Profiles mit Mineralwolle am Deckenelement (vor Versuchsbeginn)

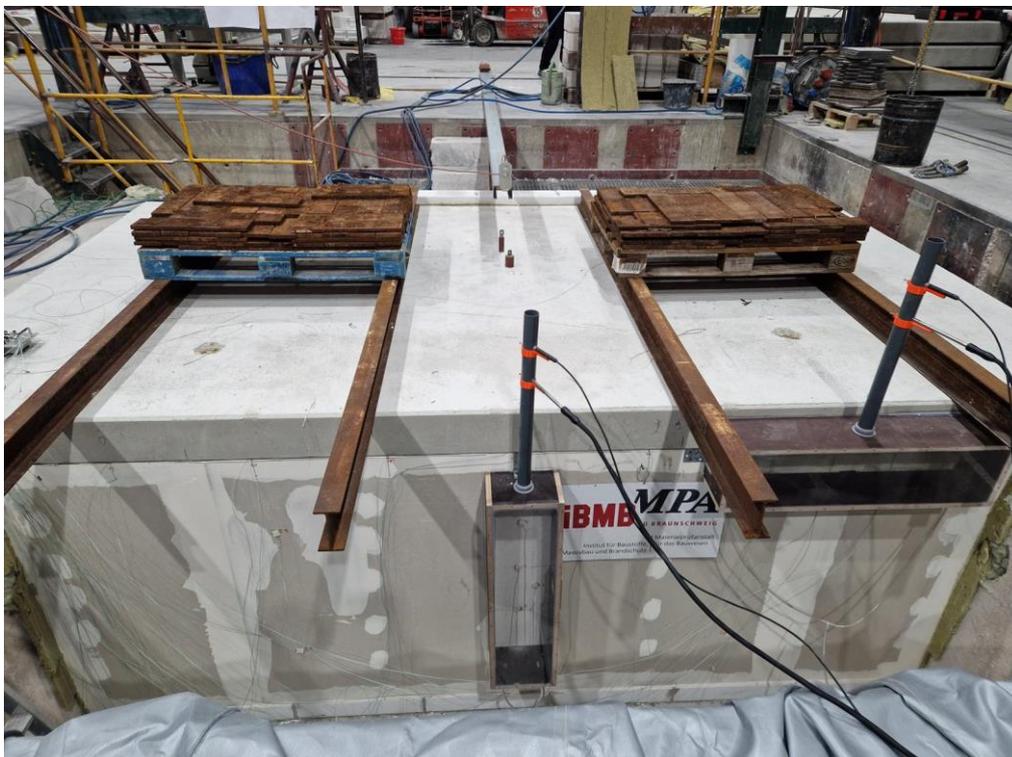


Abb. 6.64: Probekörper brandabgewandte Seite (8. Brandminute)



*Abb. 6.65: Probekörper brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)*



*Abb. 6.66: Rauchaustritt seitlich der Bauteilfuge (4. Brandminute)*



Abb. 6.67: Deckenverformung: Aufklaffen der Auflager beginnt (11. Brandminute)



Abb. 6.68: Silikonabdichtung am RAK-Bauteilfuge reißt auf, RAK beschlägt (19. Brandminute)

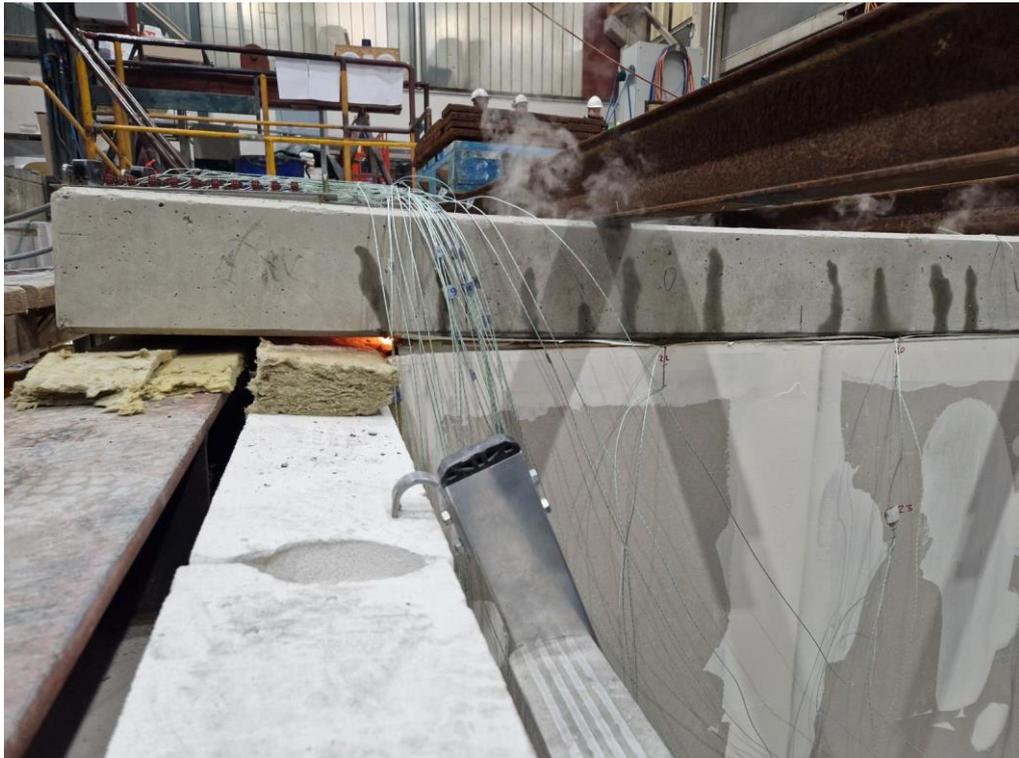


Abb. 6.69: Decke zieht UW-Profil nach oben (32. Brandminute)



Abb. 6.70: Silikonabdichtung am RAK-Elementfuge reißt auf (57. Brandminute)



Abb. 6.71: Starker Rauchaustritt und Wandverformung (62. Brandminute)



Abb. 6.72: Probekörper brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



*Abb. 6.73: Probekörper brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)*



*Abb. 6.74: Verschraubtes UW-Profil mit Mineralwolle an Deckenelement (nach Versuchsende)*

## 6.4 Protokoll Versuch 4 (TB-STB2)

### 6.4.1 Versuchsaufbau

#### 6.4.1.1 Detailzeichnungen

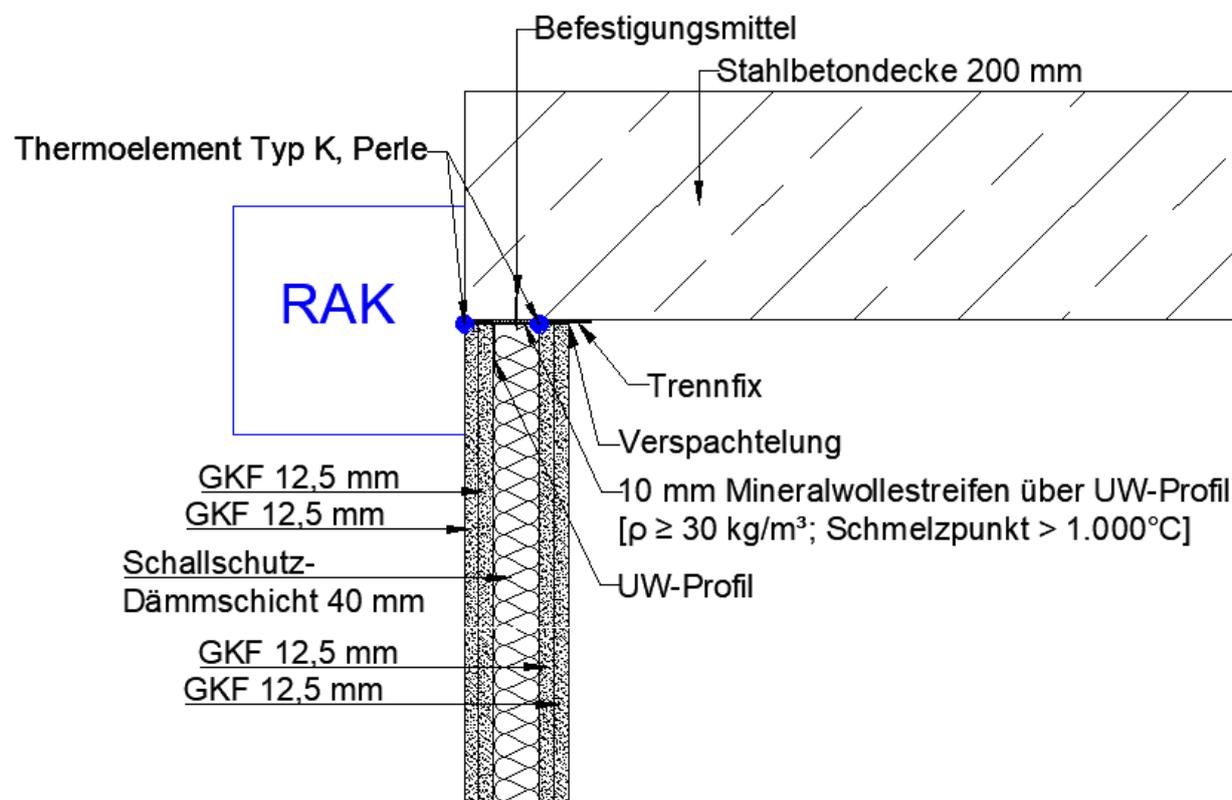


Abb. 6.75: Vertikal-Schnitt Bauteilanschluss im Detail

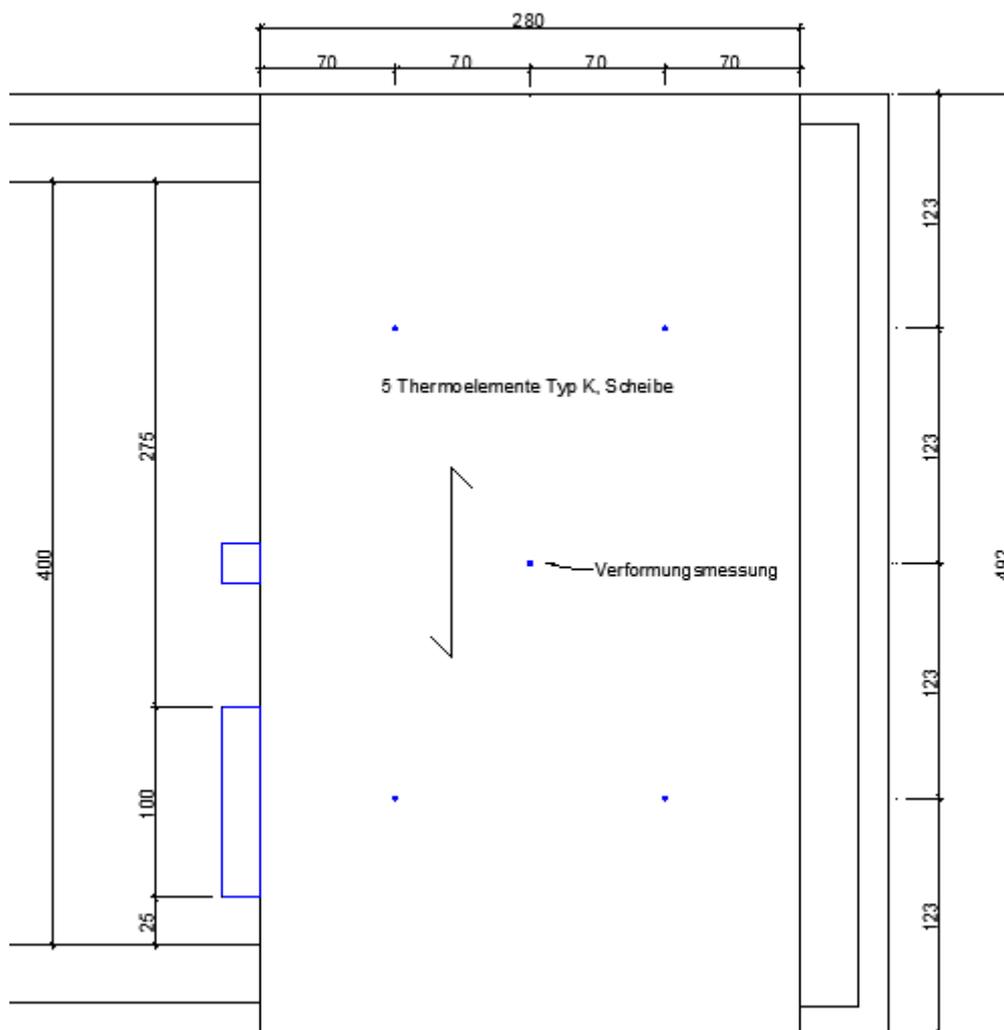


Abb. 6.76: Draufsicht Brandofen/Decke, brandabgewandt

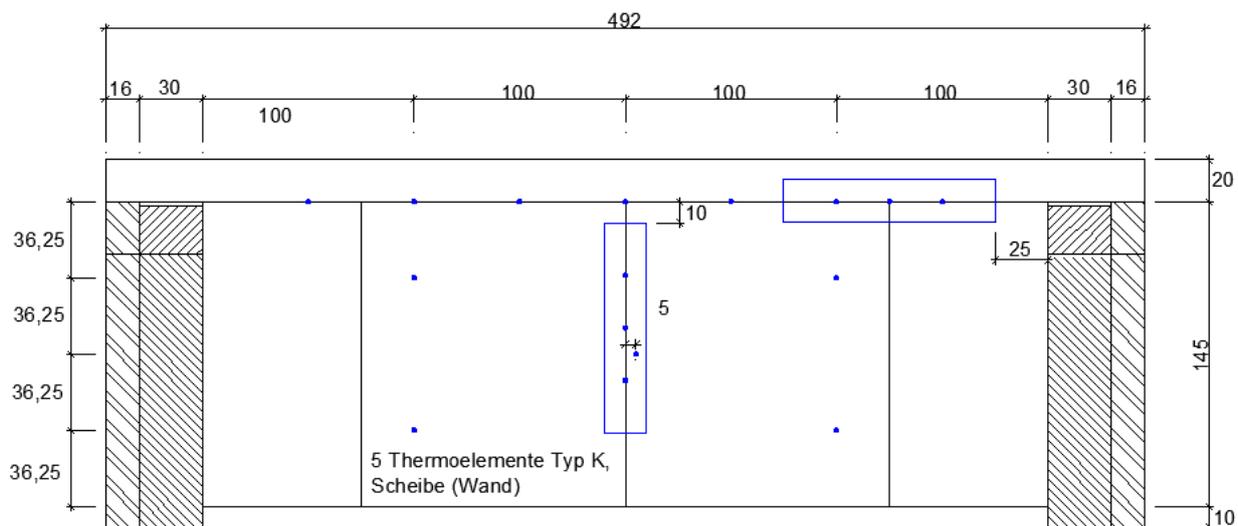


Abb. 6.77: Ansicht Wand, brandabgewandt

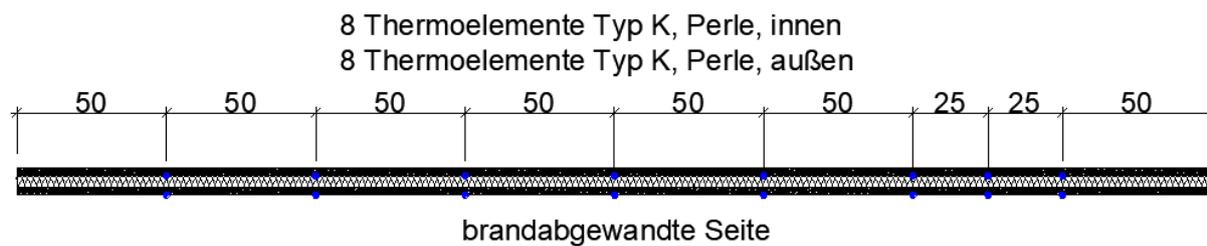


Abb. 6.78: Horizontal-Schnitt/Draufsicht Bauteilfuge

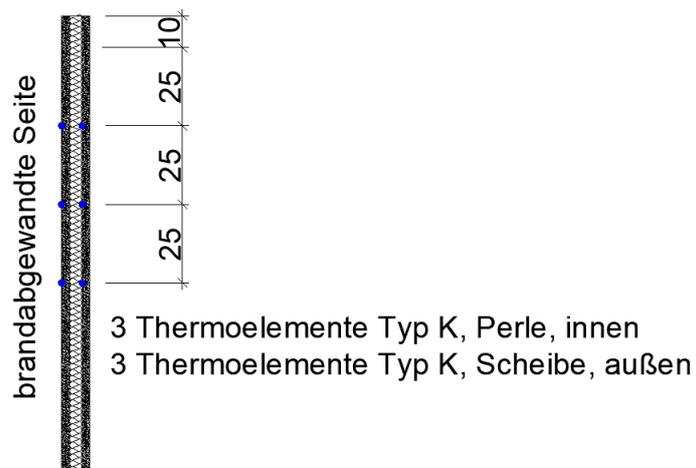


Abb. 6.79: Vertikal-Schnitt Elementfuge

### 6.4.1.2 Bauteilschichten

Tab. 6.17: Benennung der Bauteilschichten (Wand), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
W1	12,5 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf Gips KG
W2	12,5 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf Gips KG
W3	CW-Profil 50/50/0,6 mit UW-Profil 50/40/0,6	-	Knauf Gips KG
	40 mm Dämmung	100 kg/m <sup>3</sup>	Rockwool Termarock 100
W4	12,5 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf Gips KG
W5	12,5 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf Gips KG

Tab. 6.18: Benennung der Bauteilschichten (Decke), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
D1	Stahlbetonvollplatte C20/25 XC1, Baustahl 500 S / 500 M, Betondeckung 35 mm, Herstelldatum: 12.07.2022	2.500 kg/m <sup>3</sup>	Preteq Fertigteilebau GmbH

Tab. 6.19: Weitere verwendete Materialien

Material	Beschreibung/Hersteller	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben	Würth	W1, W2, W4, W5
Gips-Spachtelmasse	Knauf Uniflott	W1, W2, W4, W5
Trennstreifen	Knauf Trenn-Fix	W1, W2, W4, W5 Anschlussbereich zur Decke
Mineralwolle	Rockwool Termarock 100, 100 kg/m <sup>3</sup> , Schmelztemperatur > 1.000°C	W3 10 mm Anschlussdichtung oberhalb des UW-Profiles
Betonschraube	Würth TSM	W3 Befestigung UW-Profil an Decke

## 6.4.2 Versuchsparameter

Tab. 6.20: Versuchsdauer

Versuchsbeginn	Versuchsende	Versuchsdauer
05.12.2022, 10:03 Uhr	05.12.2022, 11:33 Uhr	90 min

### 6.4.2.1 Umgebungsbedingungen

Tab. 6.21: Umgebungsbedingungen bei Versuchsbeginn

Umgebungsdruck	Umgebungstemperatur	Luftfeuchte in %
1010 mbar	16 °C	20 % rh

### 6.4.2.2 Prüfbedingungen

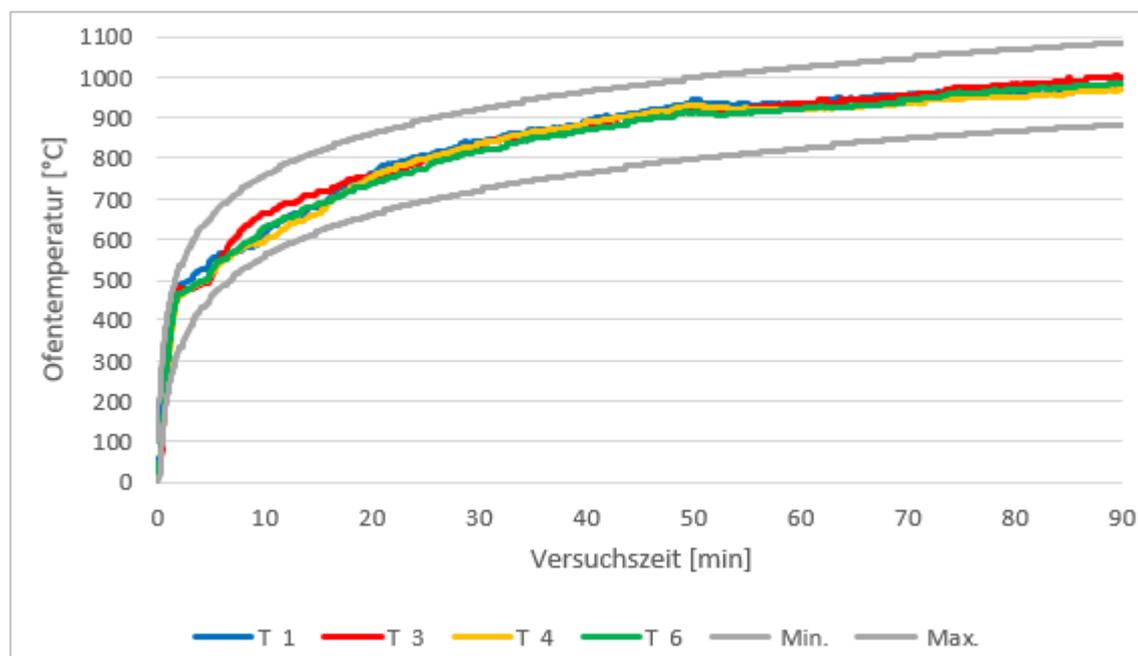


Abb. 6.80: Temperaturzeitkurve, Ofentemperatur

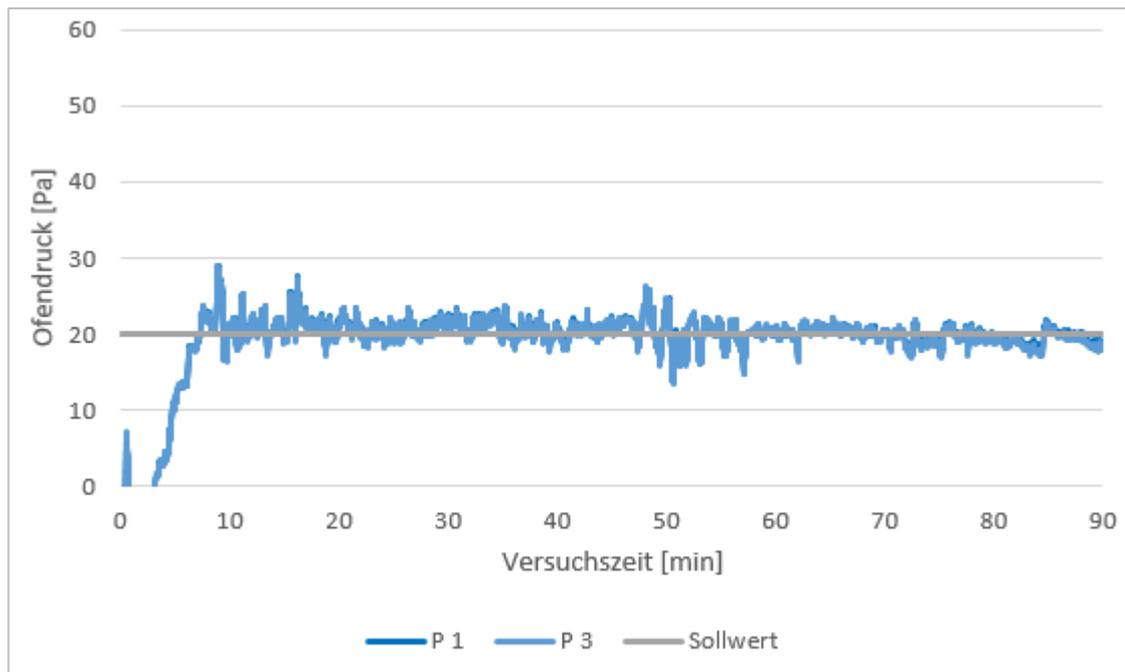


Abb. 6.81: Ofendruck

### 6.4.3 Auswertung

#### 6.4.3.1 Temperaturverläufe

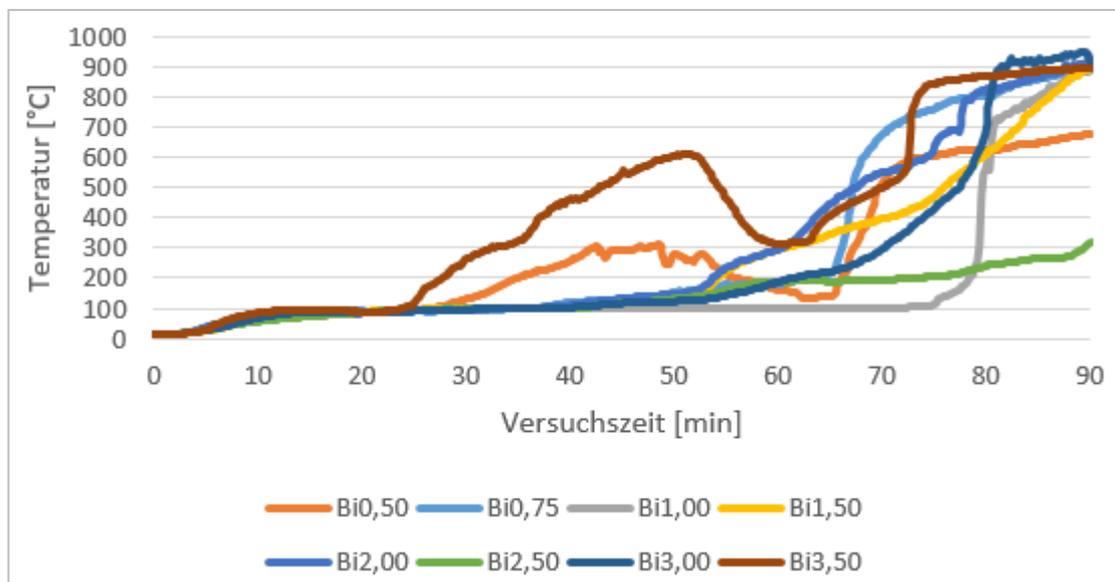


Abb. 6.82: Temperaturverlauf Bauteilfuge CW-Profil brandzugewandt

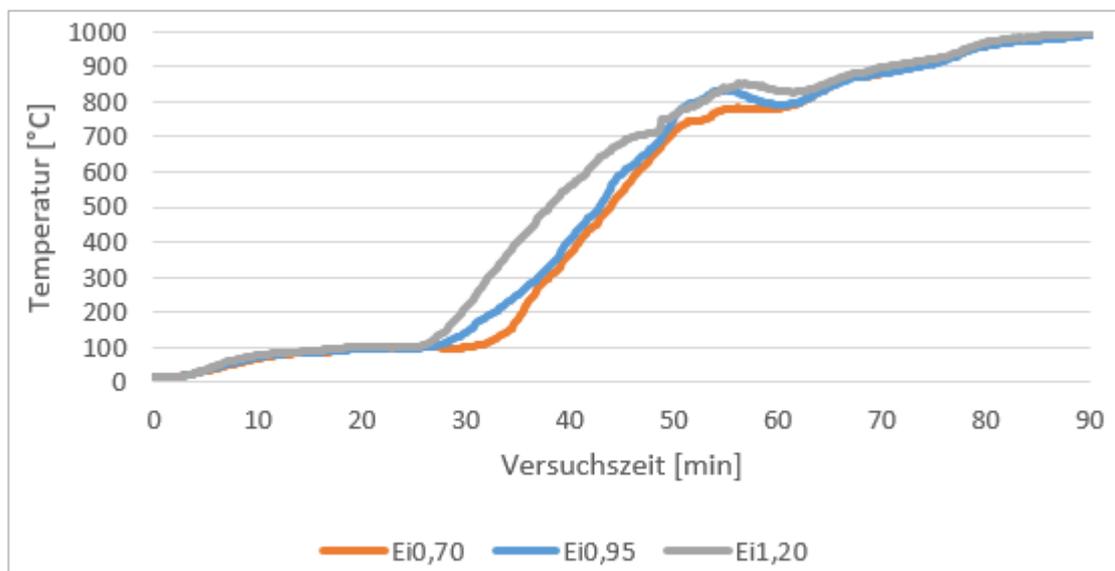


Abb. 6.83: Temperaturverlauf Elementfuge UW-Profil brandzugewandt

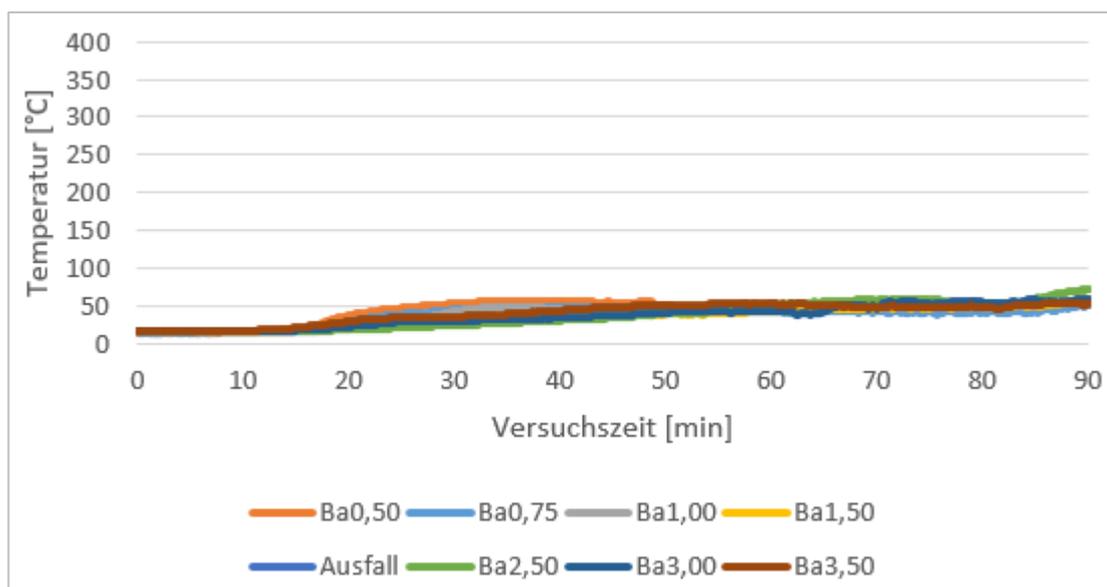


Abb. 6.84: Temperaturverlauf Bauteilfuge außen

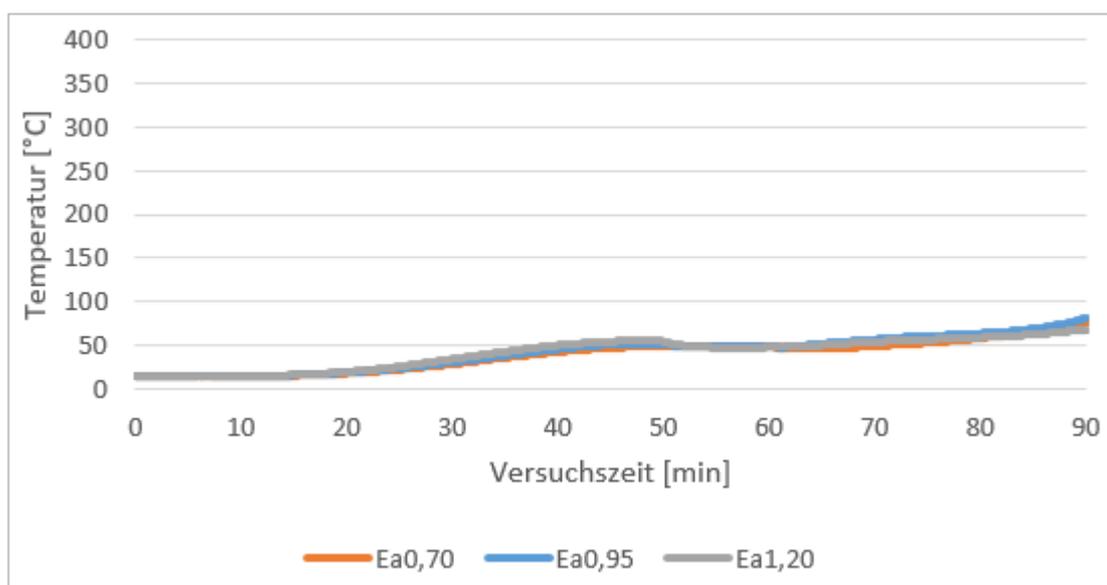


Abb. 6.85: Temperaturverlauf Elementfuge außen

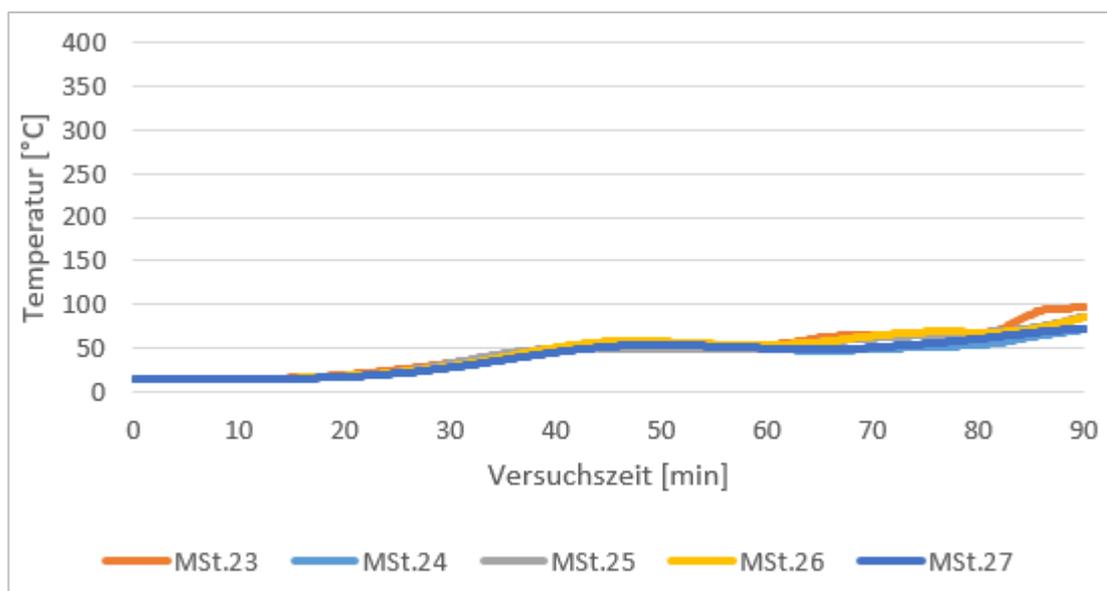


Abb. 6.86: Temperaturverlauf Wand außen

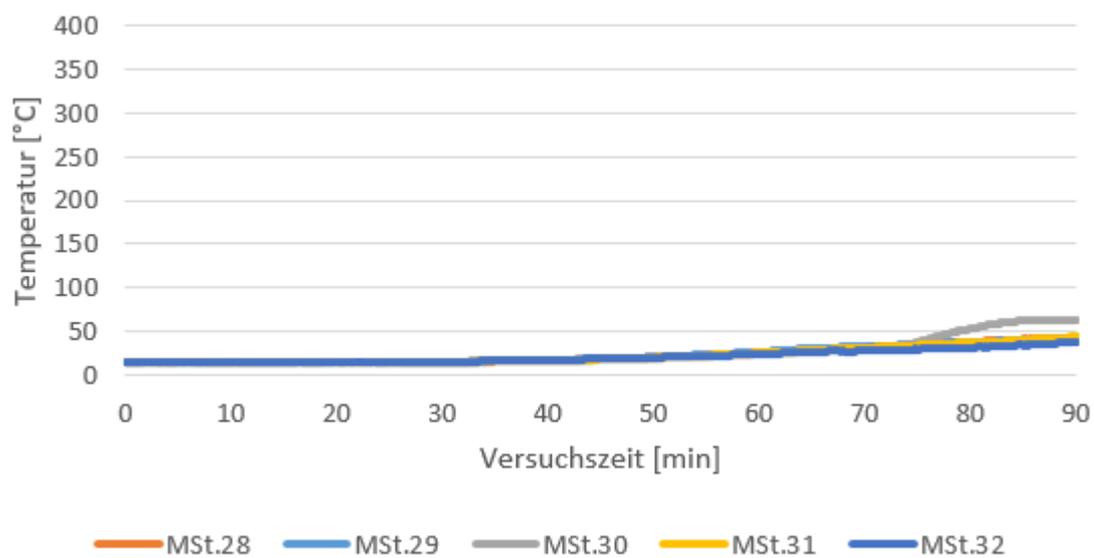


Abb. 6.87: Temperaturverlauf Decke außen

### 6.4.3.2 Deckenverformung

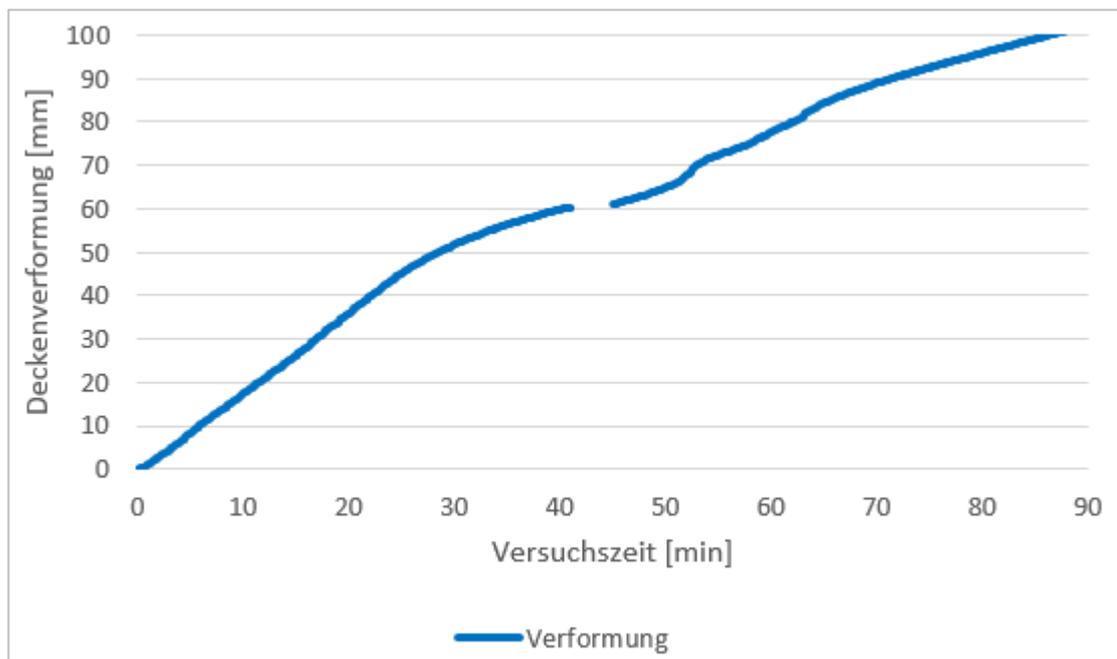


Abb. 6.88: Durchbiegung in Deckenmitte

### 6.4.3.3 Ergebnisse der Rauchgasanalytik

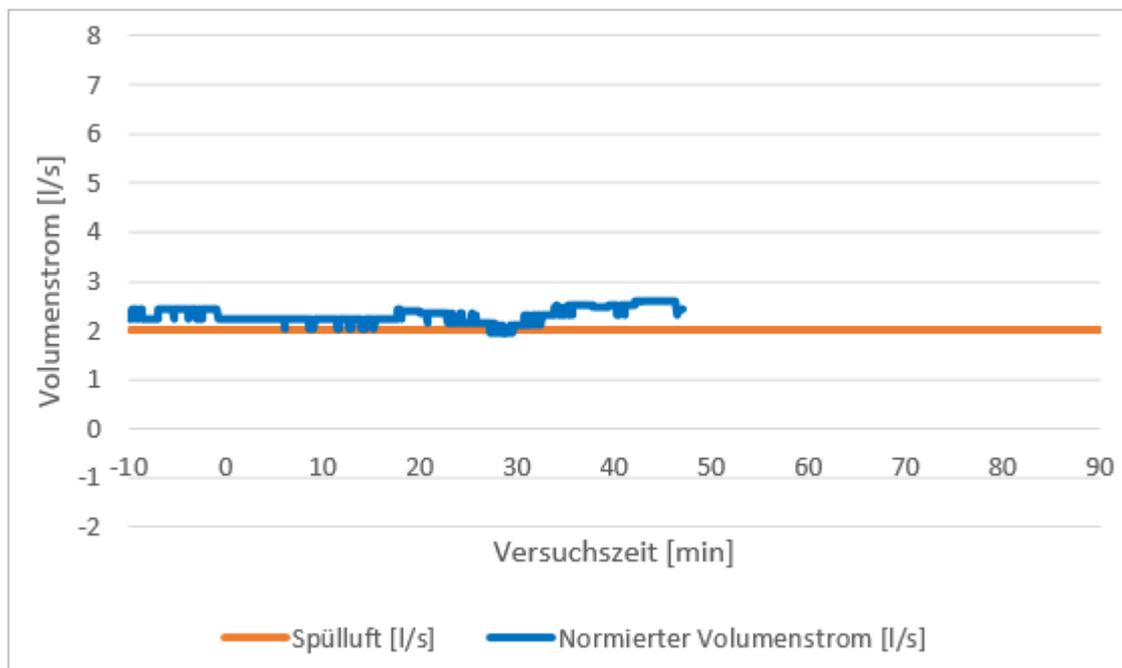


Abb. 6.89: Volumenstrom Bauteilfuge

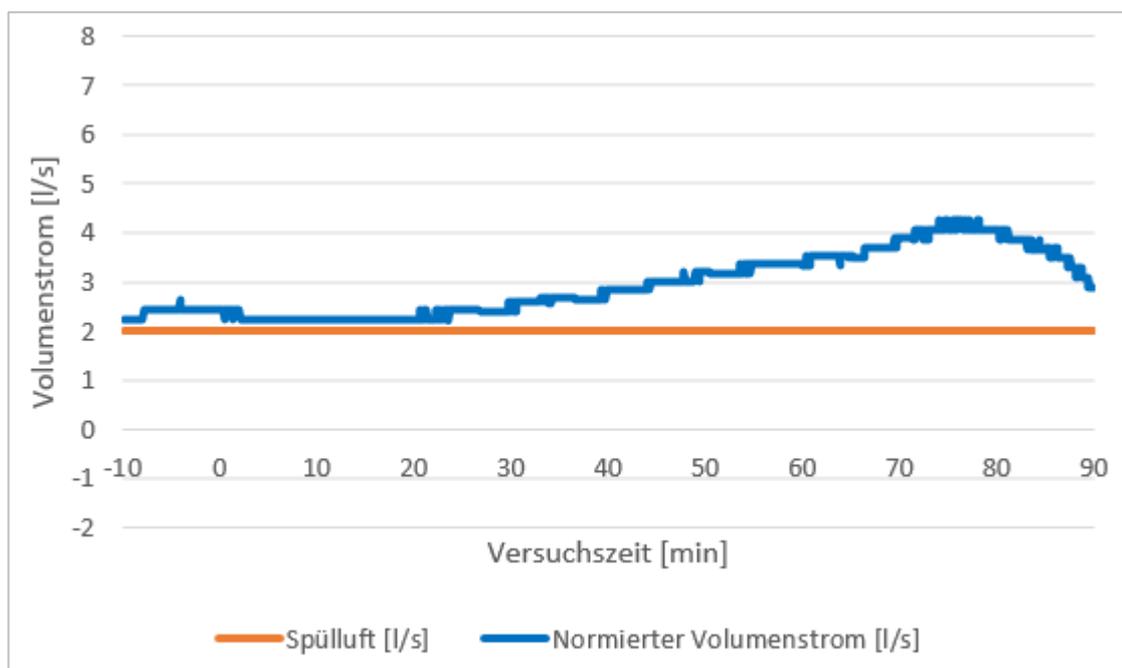


Abb. 6.90: Volumenstrom Elementfuge

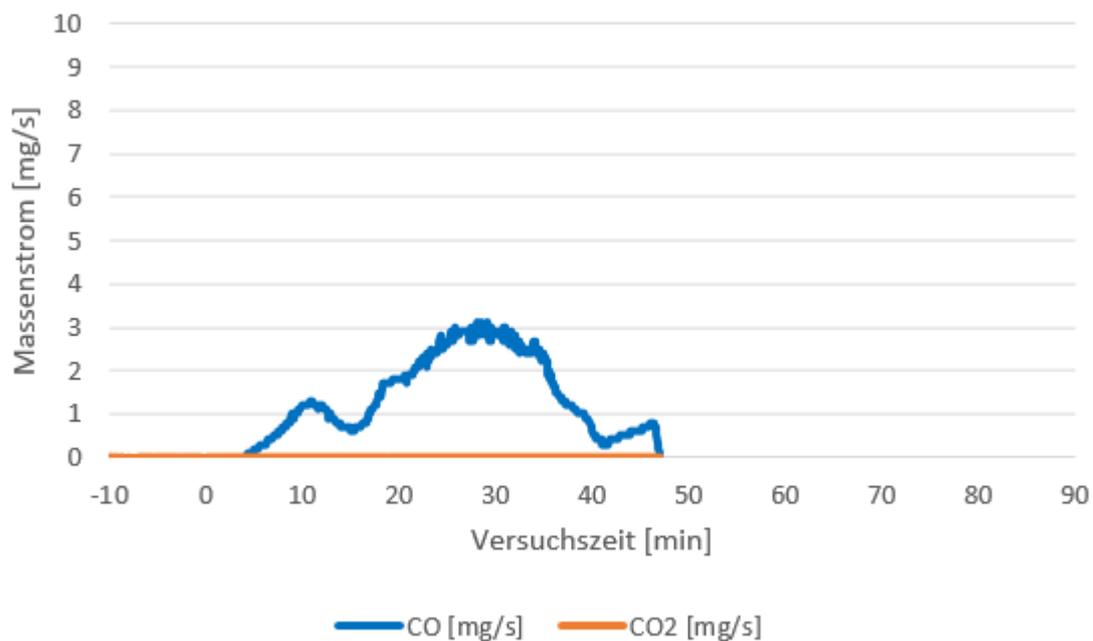


Abb. 6.91: Massenströme Bauteilfuge CO, CO<sub>2</sub>

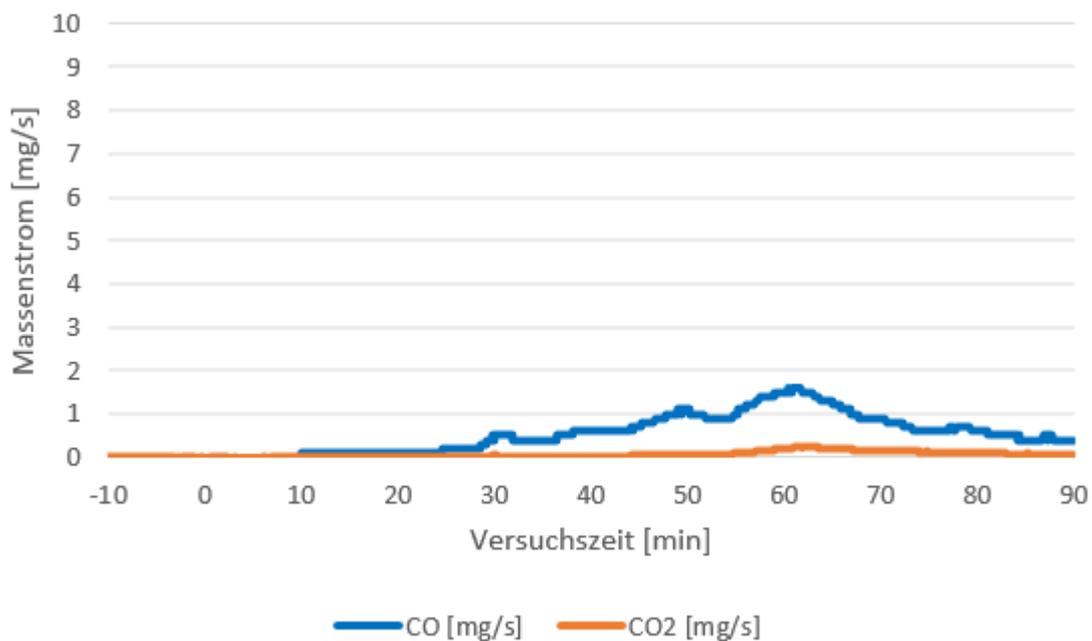


Abb. 6.92: Massenströme Elementfuge CO, CO<sub>2</sub>

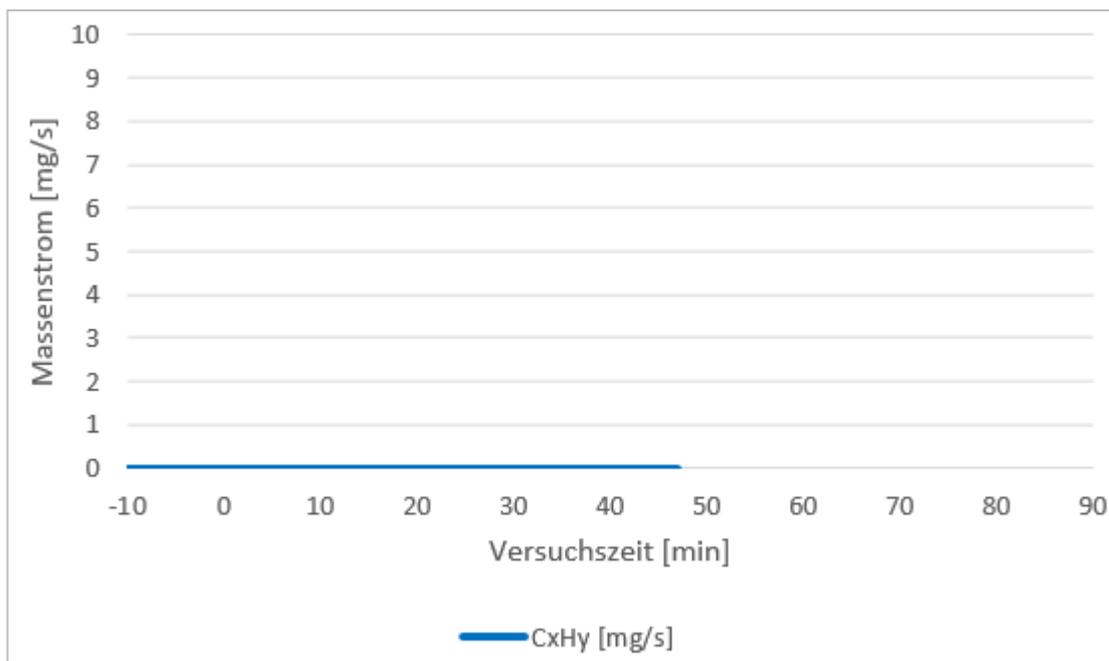


Abb. 6.93: Massenstrom Bauteiffuge CxHy

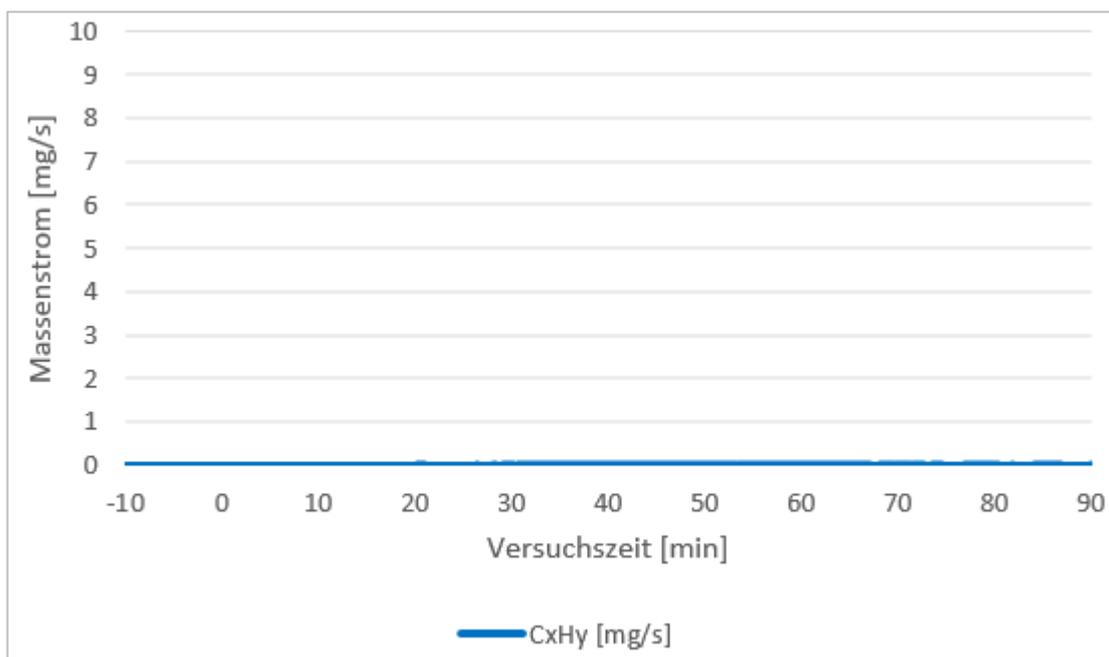


Abb. 6.94: Massenstrom Elementfuge CxHy

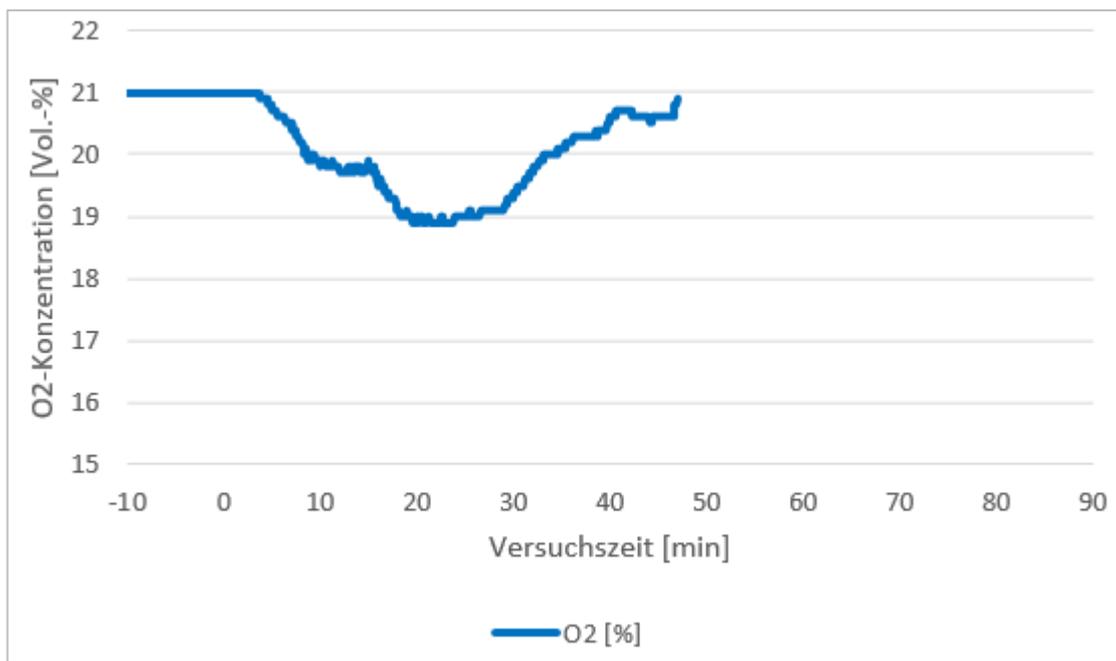


Abb. 6.95: Sauerstoffkonzentration Bauteilfuge

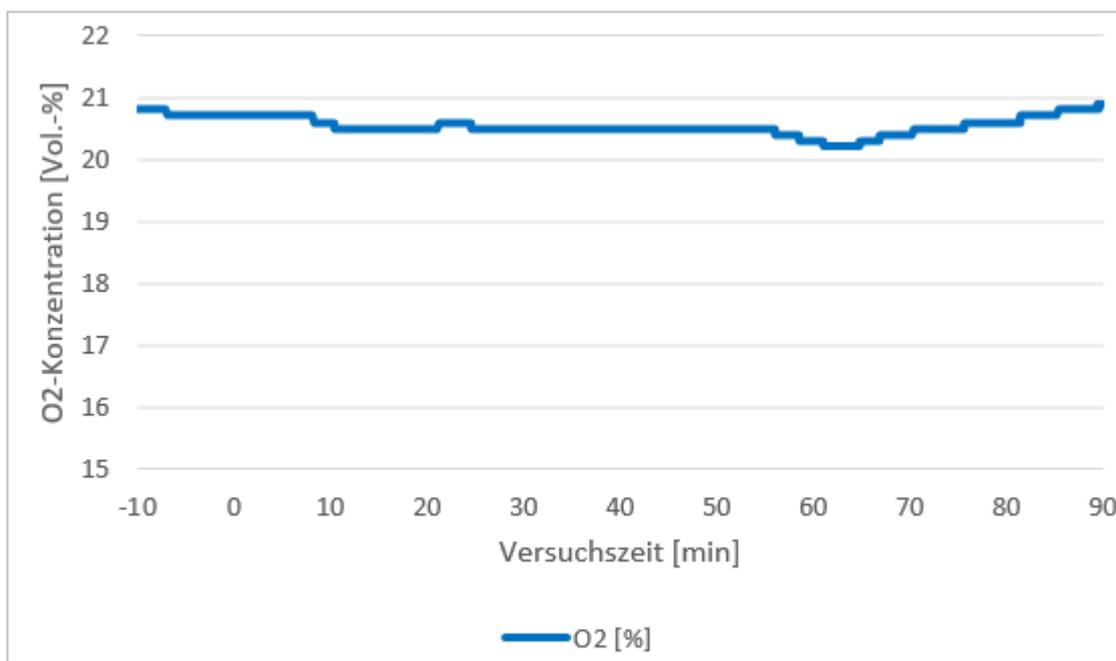


Abb. 6.96: Sauerstoffkonzentration Elementfuge

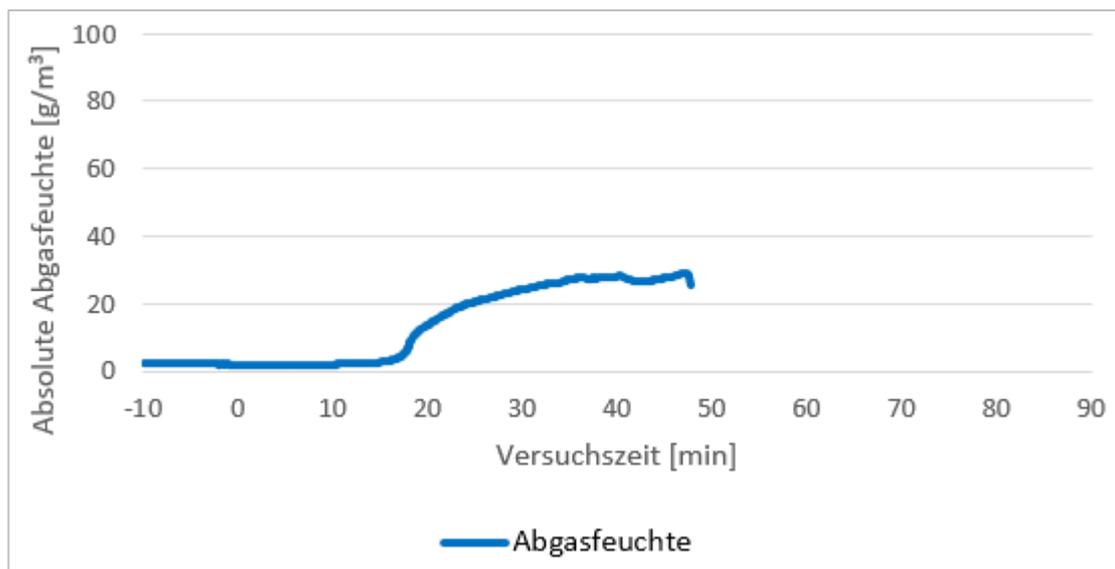


Abb. 6.97: Absolute Abgasfeuchte Bauteilfuge

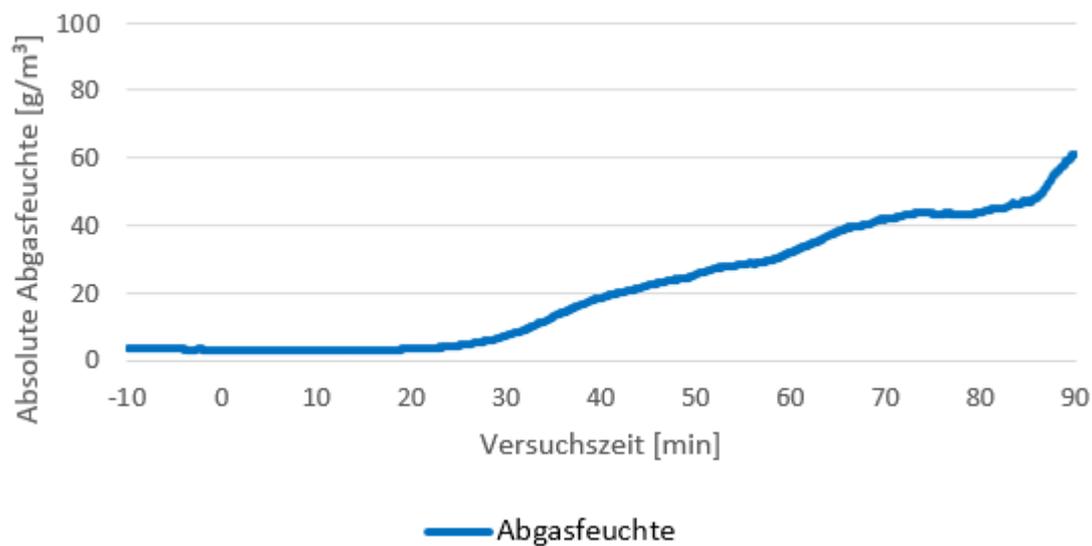


Abb. 6.98: Absolute Abgasfeuchte Elementfuge

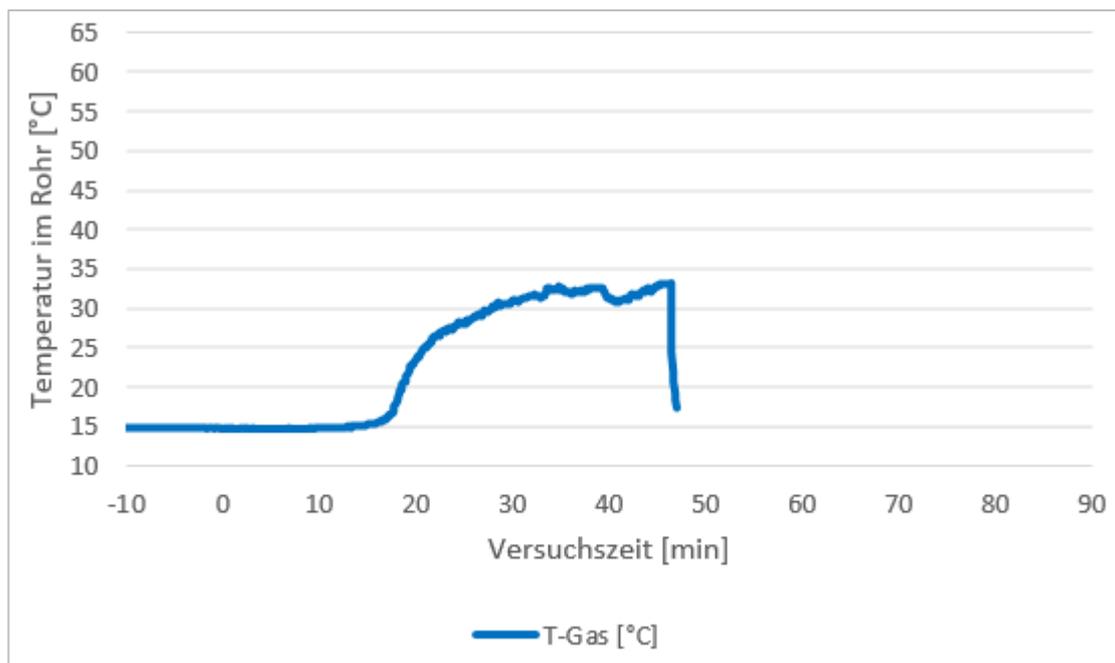


Abb. 6.99: Rauchgastemperatur Bauteilfuge

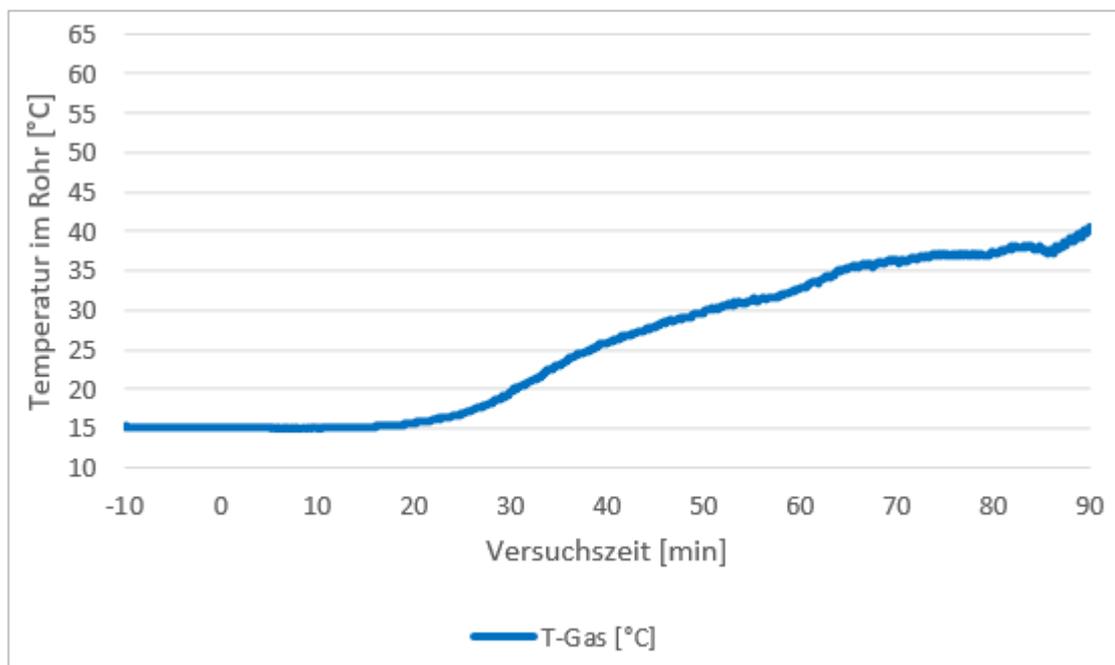


Abb. 6.100: Rauchgastemperatur Elementfuge

#### 6.4.3.4 Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Tab. 6.22: Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
(-)	Belastung 3 Tage vor Versuchstag aufgebracht	
5.	Rauchaustritt seitlich der Bauteilfuge	
7.	Rauchaustritt durch seitliche Auflagerfugen und hintere Deckenfuge	
8.	Deckenverformung: Aufklaffen der Auflager beginnt	X
14.	Bauteilfuge im RAK öffnet sich	
20.	Rauchaustritt aus Abgasrohr des RAK-Bauteilfuge erkennbar, Scheibe beschlägt, UW-Profil an der Decke wird an den Auflagern sichtbar	
25.	Leichte Haarrisse sind im Putz der Elementfuge erkennbar	
28.	Silikonabdichtung am RAK-Bauteilfuge reißt auf	
38.	Geringer Rauchaustritt am Sockelbereich der Wand	
45.	Weitestgehend offene Silikonabdichtung zwischen RAK-Bauteilfuge und Decke, Messtechnik an Bauteilfuge abgebaut, Verkohlung am RAK-Bauteilfuge nach Abbau sichtbar	X
52.	Wassereintritt in RAK-Elementfuge, Wandverformung ist sichtbar	
55.	Rauchaustritt über gesamte Bauteilfuge	
65.	Silikonabdichtung am RAK-Elementfuge reißt auf	
70.	Starker Rauchaustritt aus Bauteilfuge, Hallenoberlichter geöffnet	X
75.	Knick in äußerer Bekleidungslage der Wand erkennbar	X
81.	Feuerschein in der Mitte der Bauteilfuge zu erkennen	
82.	Hallenabluft eingeschaltet	
86.	Versuchshalle wird zum Eigenschutz auf Grund der Rauchentwicklung verlassen	X
90.	Versuchsende	

### 6.4.3.5 Fotodokumentation



Abb. 6.101: Verputzte Bauteiffuge brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)

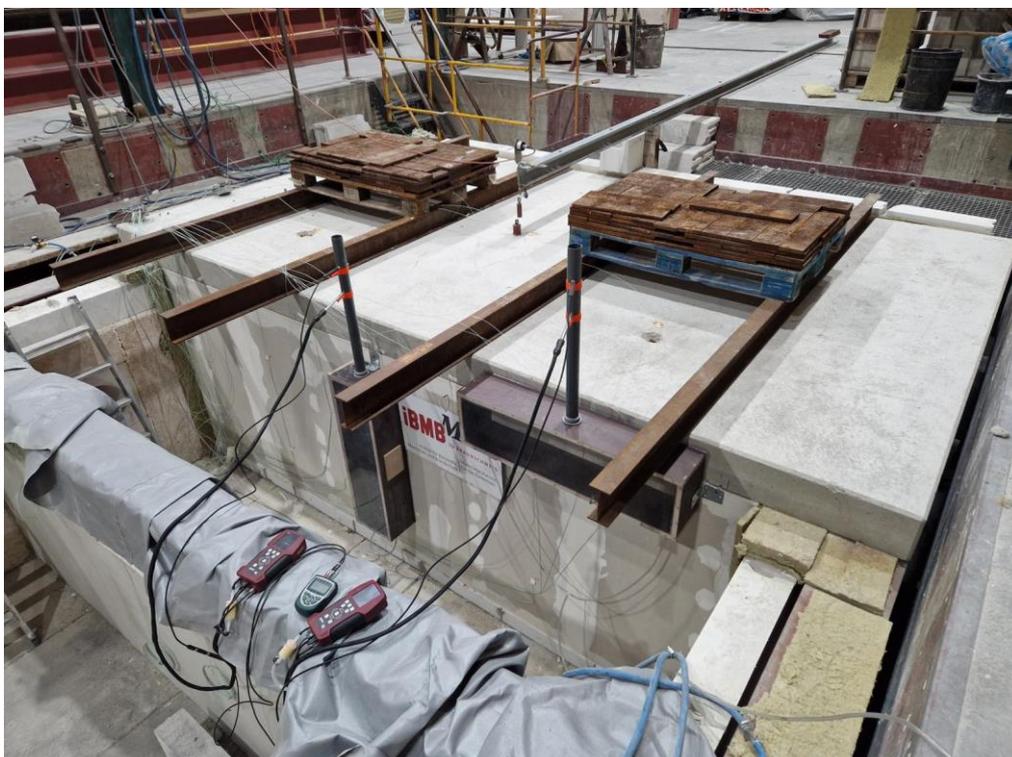


Abb. 6.102: Probekörper brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.103: Probekörper brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.104: Deckenverformung: Aufklaffen der Auflager beginnt (8. Brandminute)



Abb. 6.105: Offene Silikonabdichtung zwischen RAK-Bauteilfuge und Decke (45. Brandminute)



Abb. 6.106: Verkohlung am RAK-Bauteilfuge sichtbar (nach Abbau)



*Abb. 6.107: Starker Rauchaustritt aus Bauteiffuge (70. Brandminute)*



Abb. 6.108: Knick in äußerer Bekleidungslage (75. Brandminute)



Abb. 6.109: Starke Rauchentwicklung in der Versuchshalle (86. Brandminute)



*Abb. 6.110: Probekörper brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)*



*Abb. 6.111: Probekörper brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)*



Abb. 6.112: Verschraubtes UW-Profil mit Mineralwolle an Deckenelement (nach Versuchsende)

## 6.5 Protokoll Versuch 5 (MW-STB)

### 6.5.1 Versuchsaufbau

#### 6.5.1.1 Detailzeichnungen

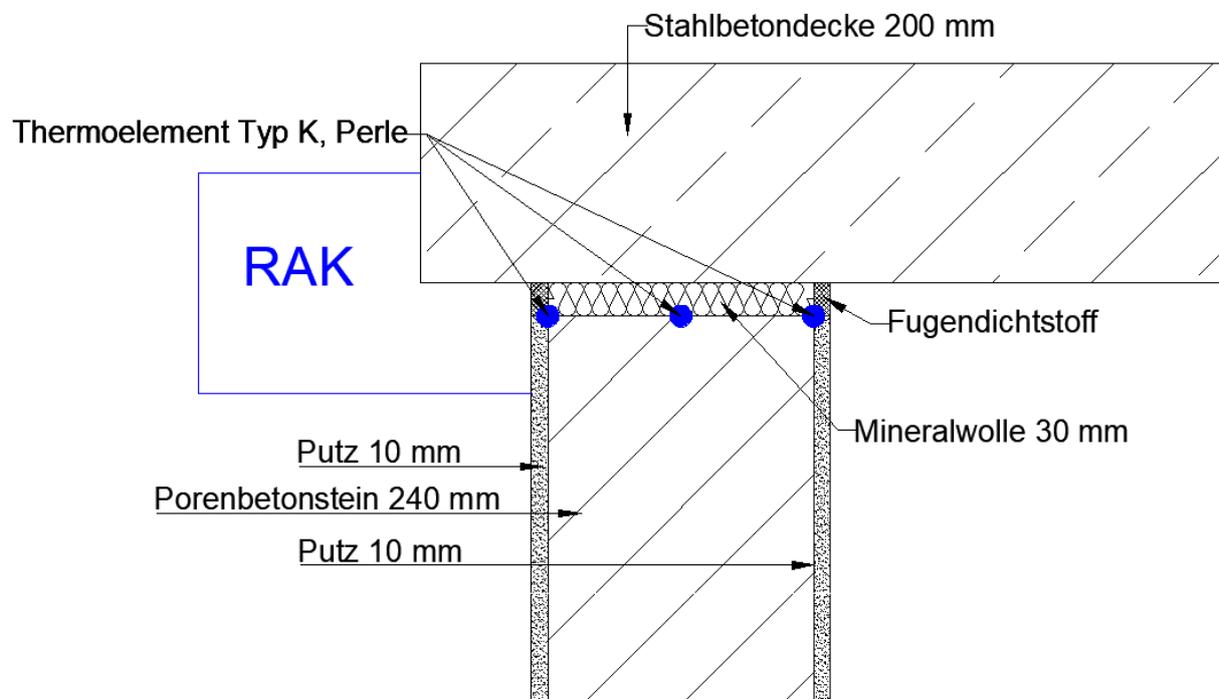


Abb. 6.113: Vertikal-Schnitt Bauteilanschluss im Detail

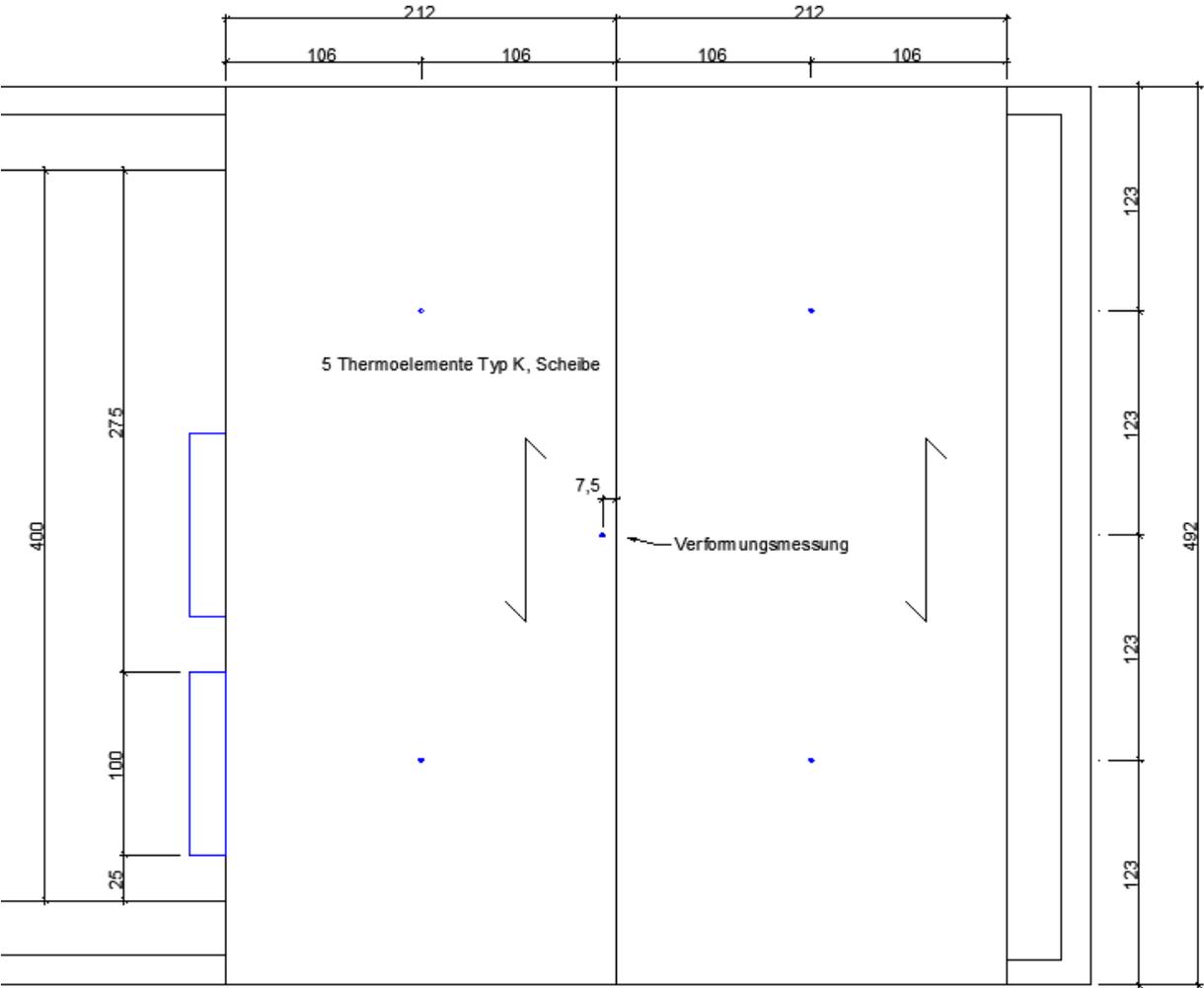


Abb. 6.114: Draufsicht Brandofen/Decke, brandabgewandt

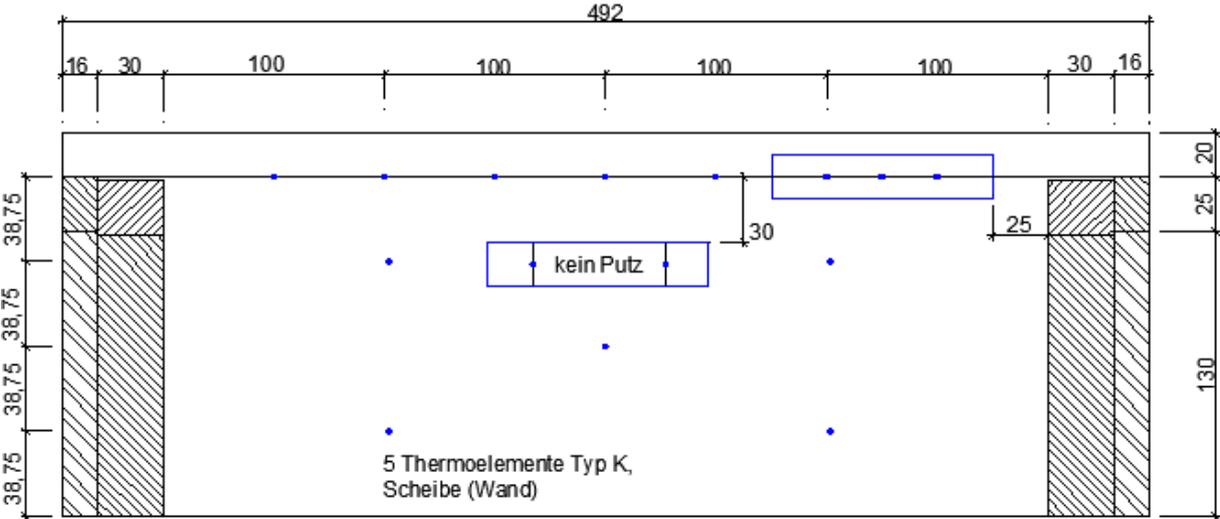


Abb. 6.115: Ansicht Wand, brandabgewandt

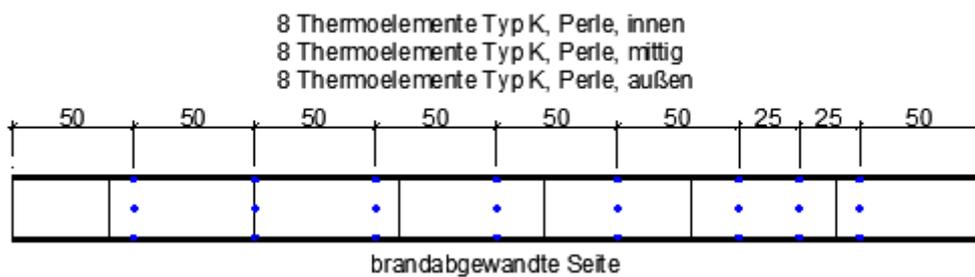


Abb. 6.116: Horizontal-Schnitt/Draufsicht Bauteilfuge

2 Thermolemente Typ K, Scheibe, innen  
2 Thermolemente Typ K, Scheibe, außen

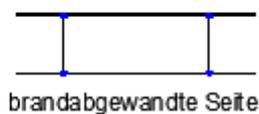


Abb. 6.117: Horizontal-Schnitt Stoßfugen

### 6.5.1.2 Bauteilschichten

Tab. 6.23: Benennung der Bauteilschichten (Wand), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
W1	Kalkzementputz d = 10 mm	1.400 kg/m <sup>3</sup>	weber.dur 110, P II bzw. CS II
W2	Porenbetonsteine d = 240 mm 599 mm x 240 mm x 249 mm	0,50 RDK	Xella Ytong
W3	Kalkzementputz d = 10 mm	1.400 kg/m <sup>3</sup>	weber.dur 110, P II bzw. CS II

Tab. 6.24: Benennung der Bauteilschichten (Decke), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
D1	Stahlbetonvollplatte C20/25 XC1, Baustahl 500 S / 500 M, Betondeckung 35 mm, Herstelldatum: 12.07.2022	2.500 kg/m <sup>3</sup>	Preteq Fertigteilbau GmbH

Tab. 6.25: Weitere verwendete Materialien

Material	Beschreibung/Hersteller	verwendet in Schicht
Tiefengrund	MEM Bauchemie GmbH	W1, W3
Dichtmasse	Kleiberit Silikon 594 N	W1, W3 Als Fugendichtmasse zwischen Putz und Decke
Mineralwolle	Rockwool Termarock 100, 100 kg/m <sup>3</sup> , Schmelztemperatur > 1.000°C	W2 30 mm Höhe aufgelegt auf 240 mm Wandtiefe, komprimiert auf 25 mm
Dünnbettmörtel	-	W2

## 6.5.2 Versuchsparameter

Tab. 6.26: Versuchsdauer

Versuchsbeginn	Versuchsende	Versuchsdauer
13.12.2022, 15:03 Uhr	13.12.2022, 16:33 Uhr	90 min

### 6.5.2.1 Umgebungsbedingungen

Tab. 6.27: Umgebungsbedingungen bei Versuchsbeginn

Umgebungsdruck	Umgebungstemperatur	Luftfeuchte in %
1003 mbar	8 °C	11 % rh

### 6.5.2.2 Prüfbedingungen

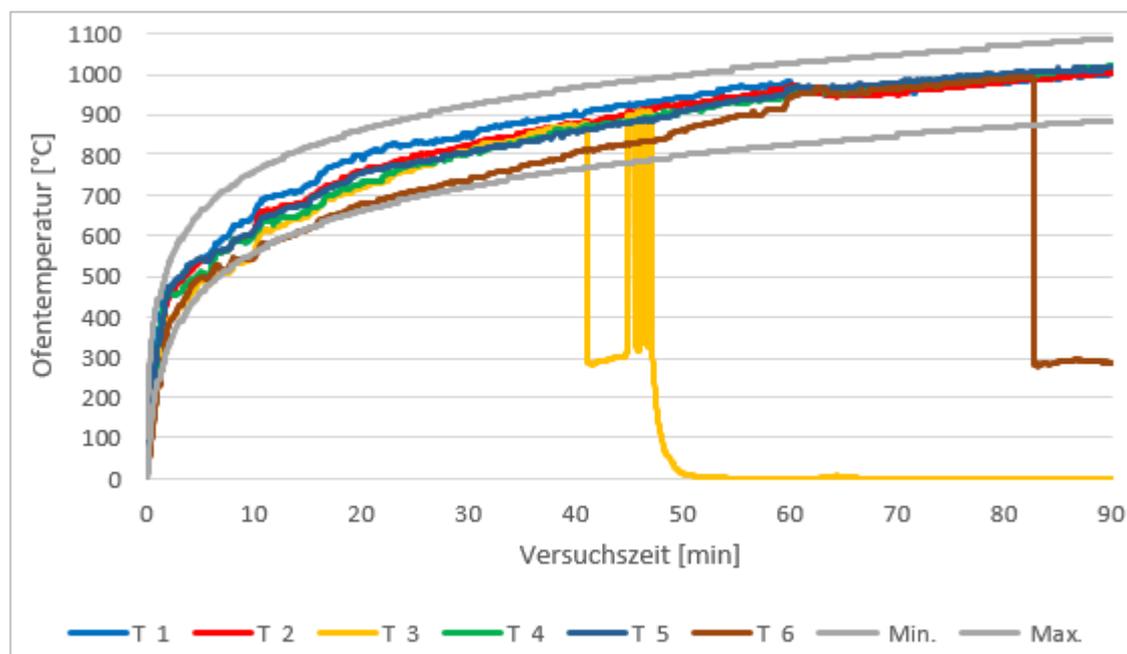


Abb. 6.118: Temperaturzeitkurve, Ofentemperatur

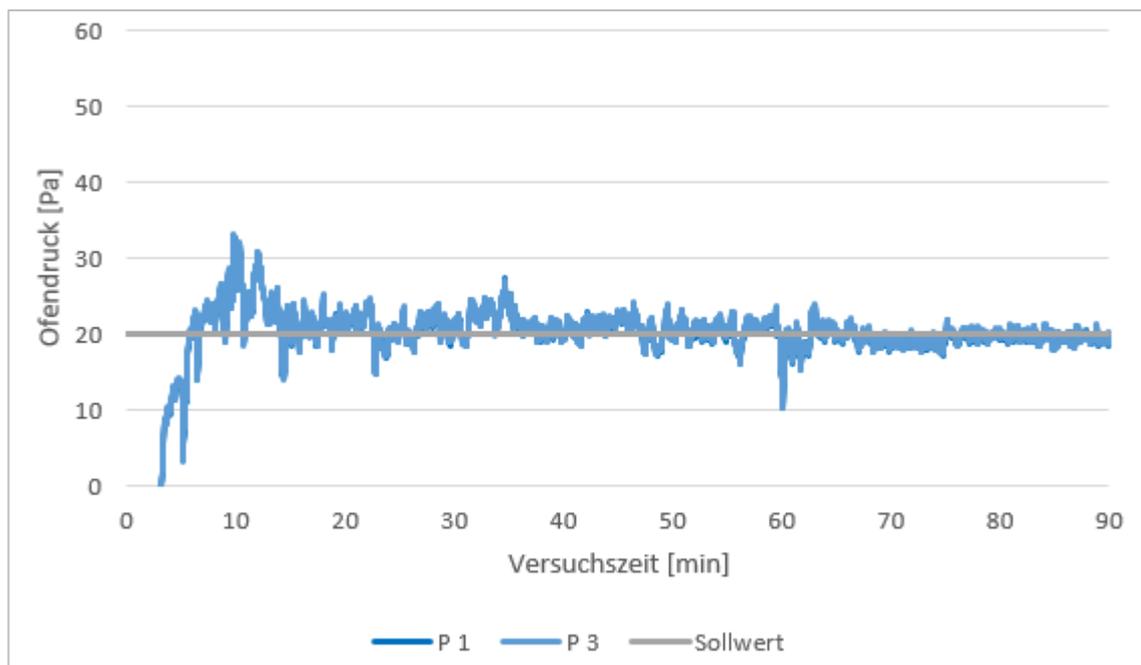


Abb. 6.119: Ofendruck

### 6.5.3 Auswertung

#### 6.5.3.1 Temperaturverläufe

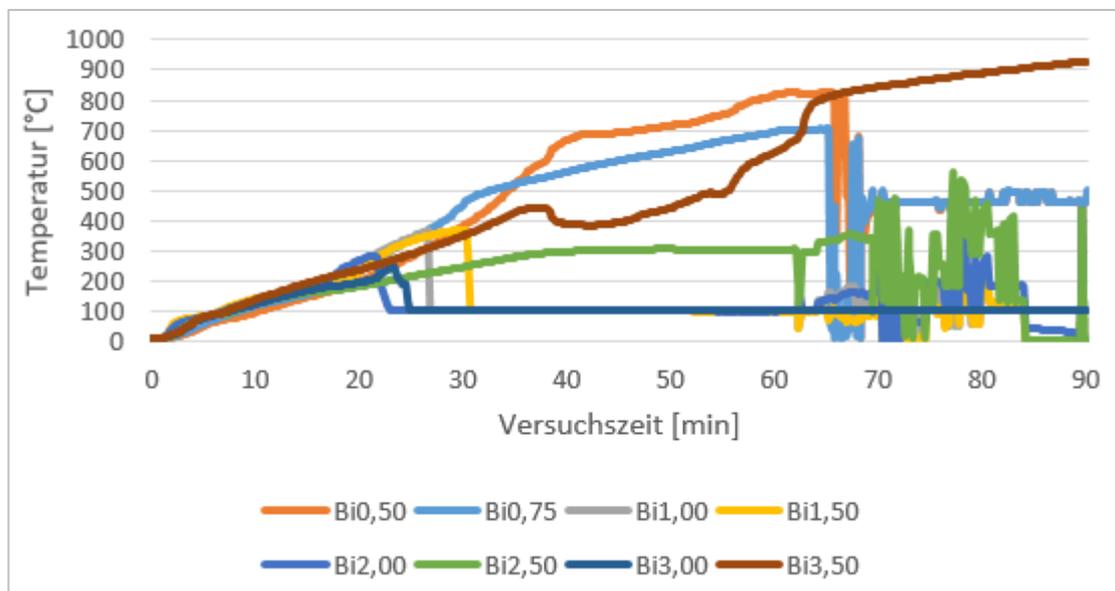


Abb. 6.120: Temperaturverlauf Bauteilfuge zwischen Putz und Dichtstoff, brandzugewandt

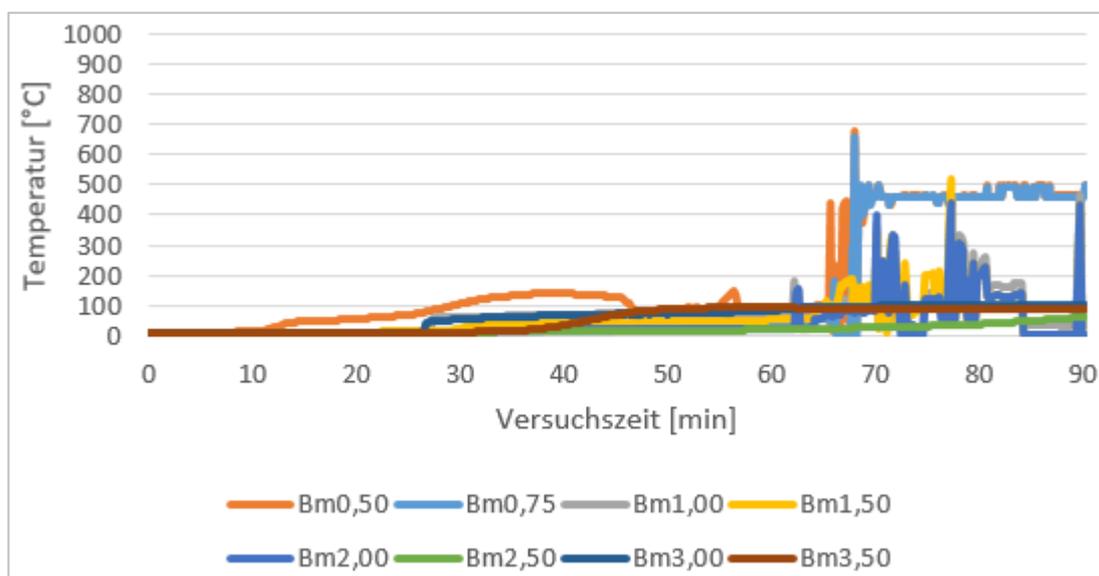


Abb. 6.121: Temperaturverlauf Bauteilfuge mittig unterhalb Mineralwolle

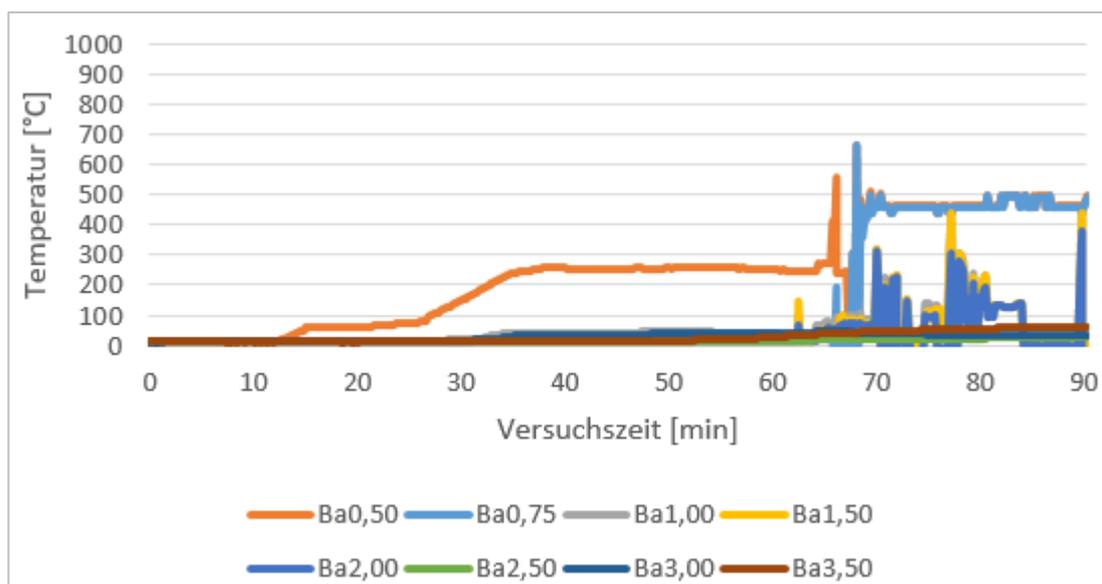


Abb. 6.122: Temperaturverlauf Bauteilfuge zwischen Putz und Dichtstoff, brandabgewandt

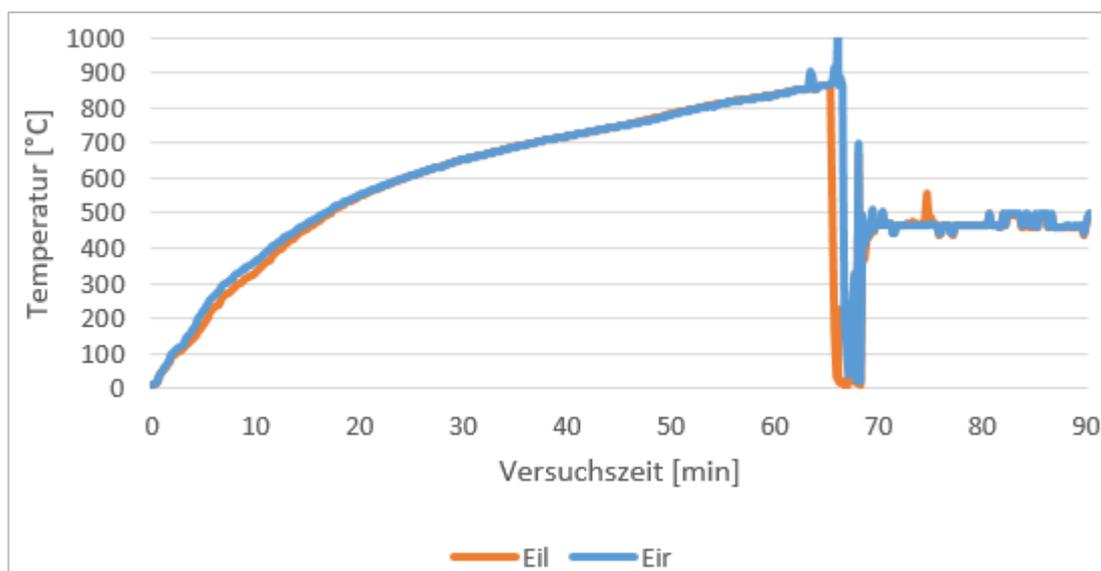


Abb. 6.123: Temperaturverlauf Stoßfugen innen unter Putz, brandzugewandt

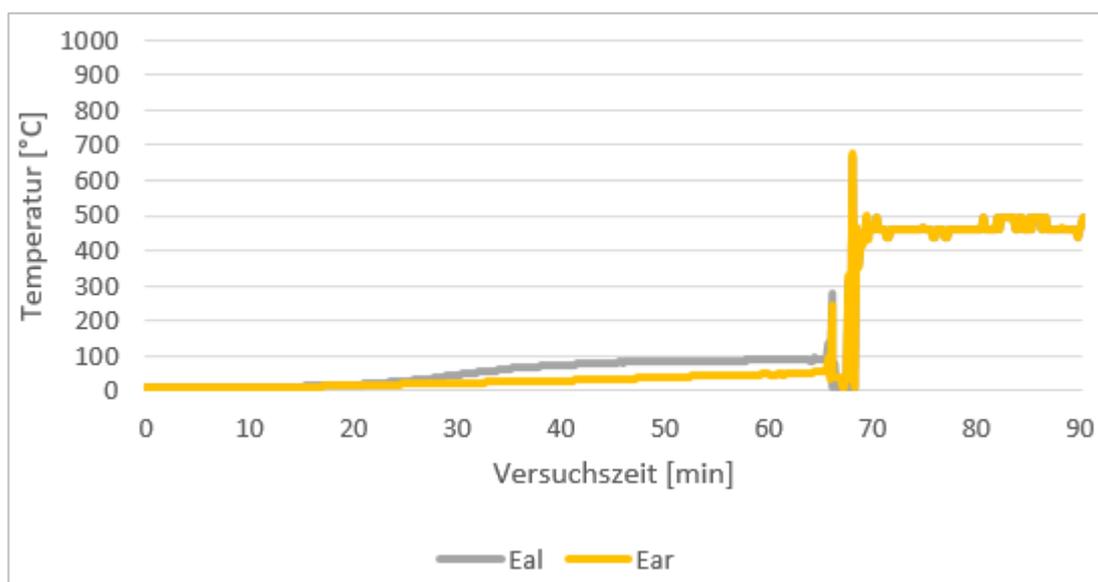


Abb. 6.124: Temperaturverlauf Stoßfugen außen, brandabgewandt

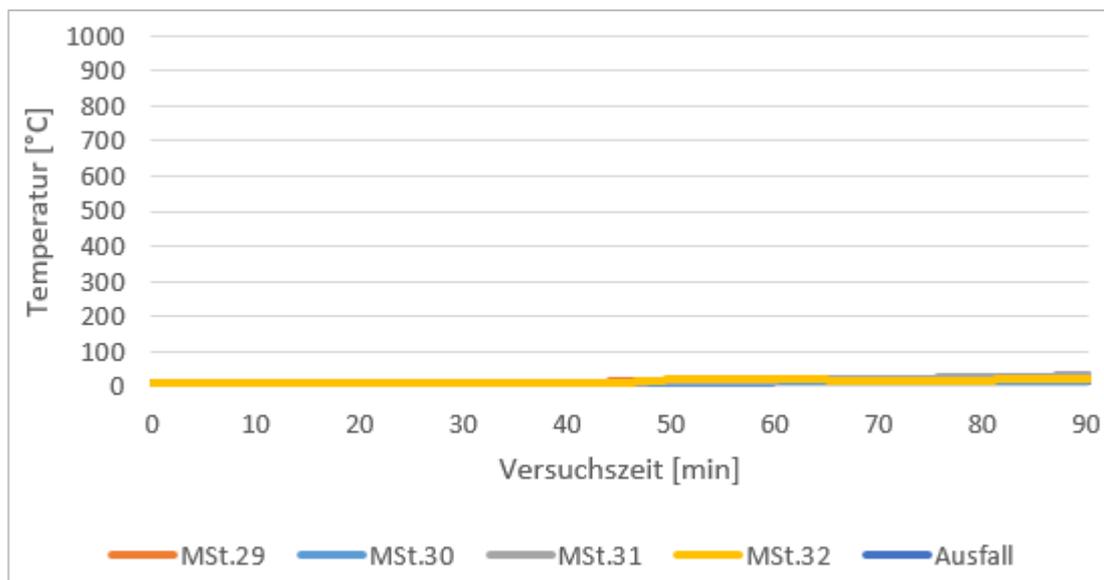


Abb. 6.125: Temperaturverlauf Wand außen, brandabgewandt

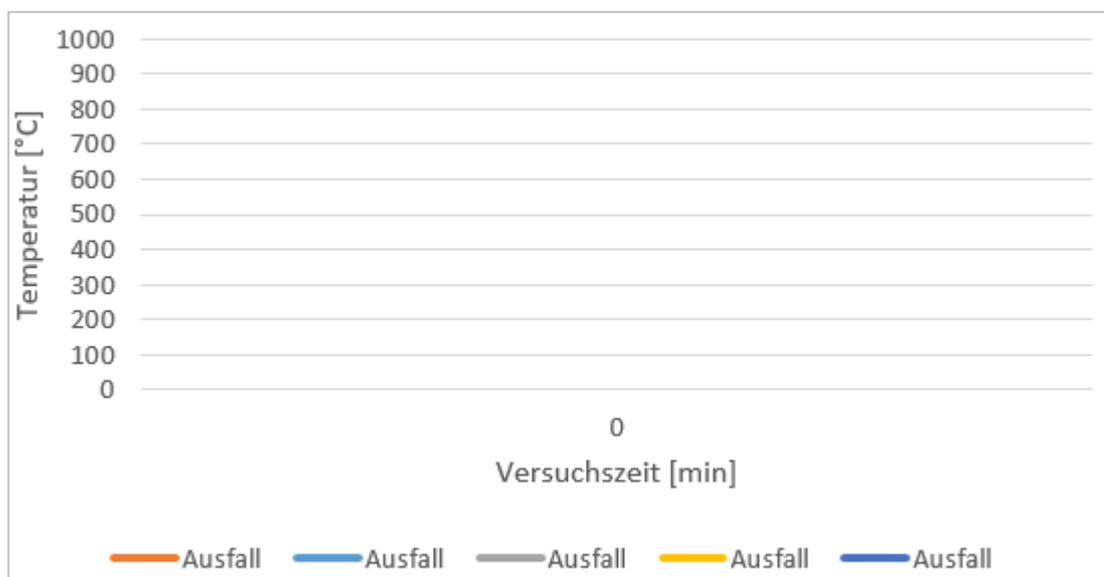


Abb. 6.126: Temperaturverlauf Decke außen, brandabgewandt

### 6.5.3.2 Deckenverformung

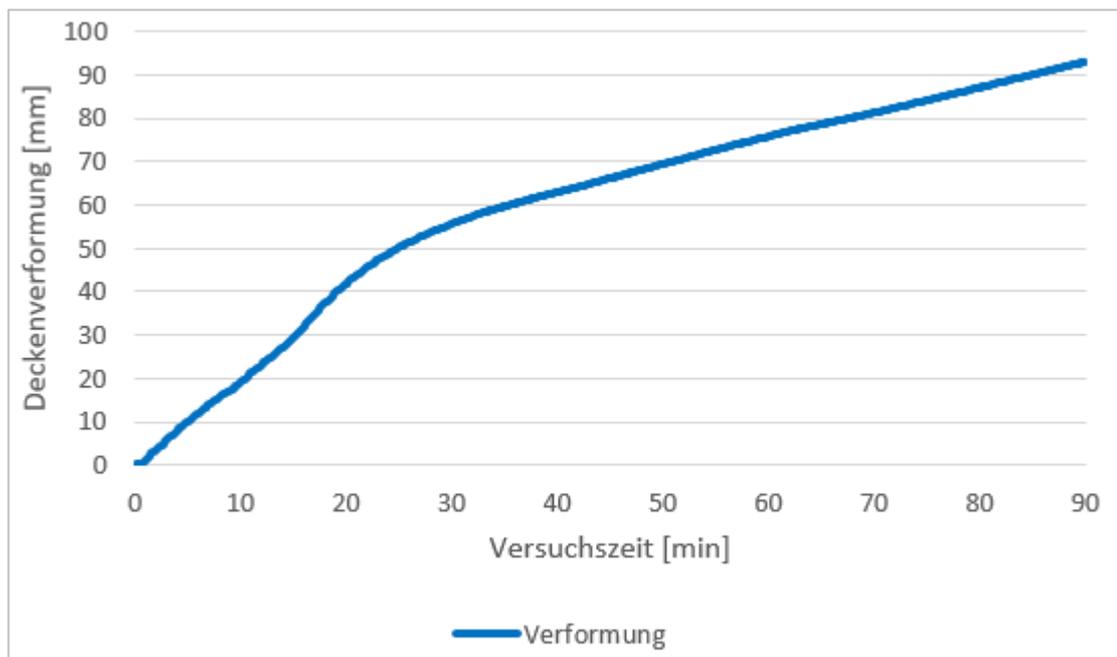


Abb. 6.127: Durchbiegung in Deckenmitte

### 6.5.3.3 Ergebnisse der Rauchgasanalytik

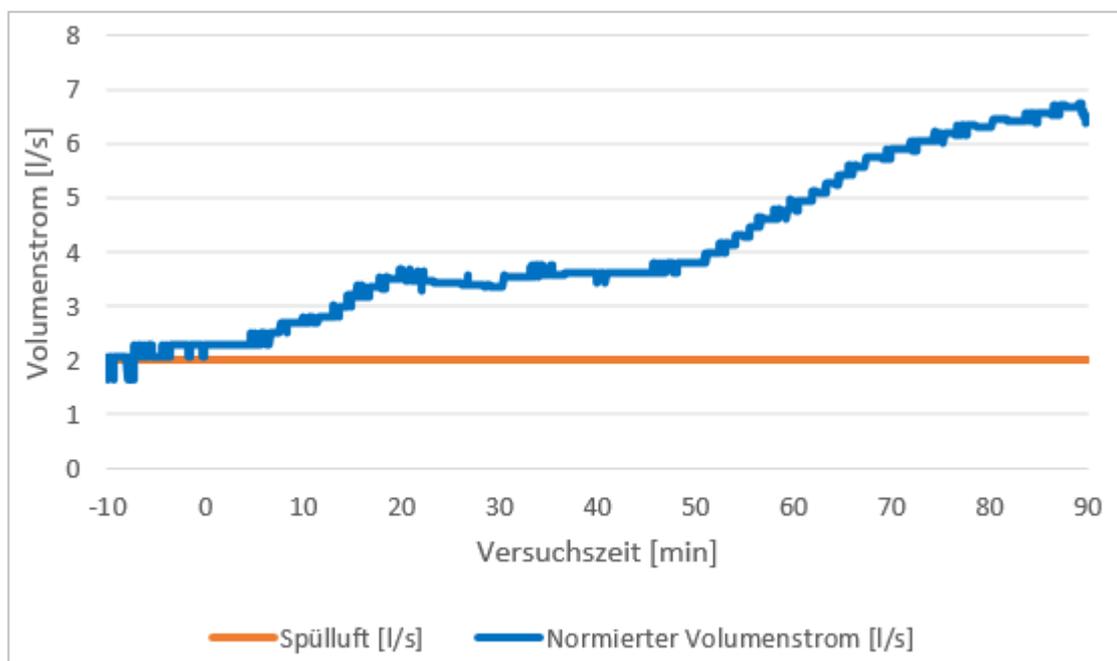


Abb. 6.128: Volumenstrom Bauteilfuge

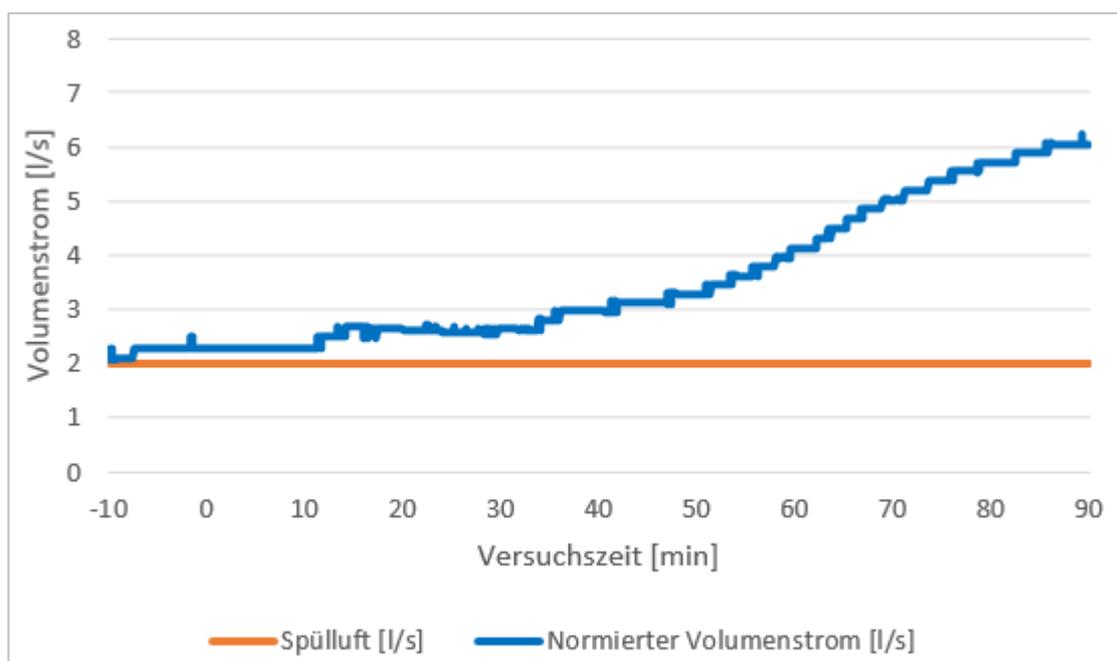


Abb. 6.129: Volumenstrom Stoßfuge

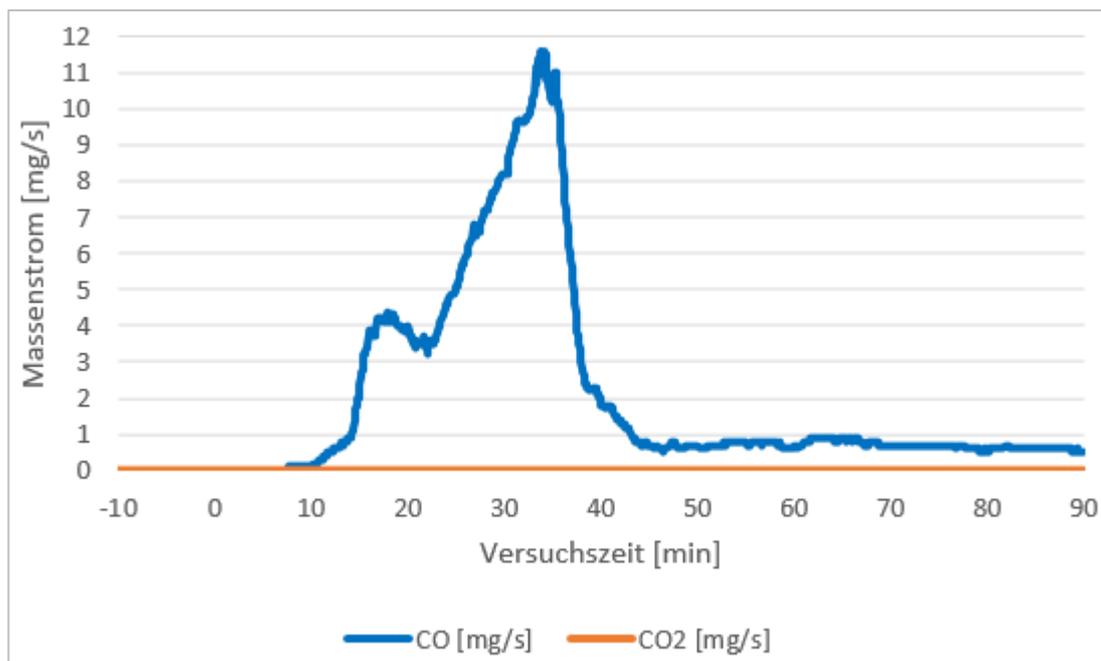


Abb. 6.130: Massenströme Bauteilfuge CO, CO<sub>2</sub>

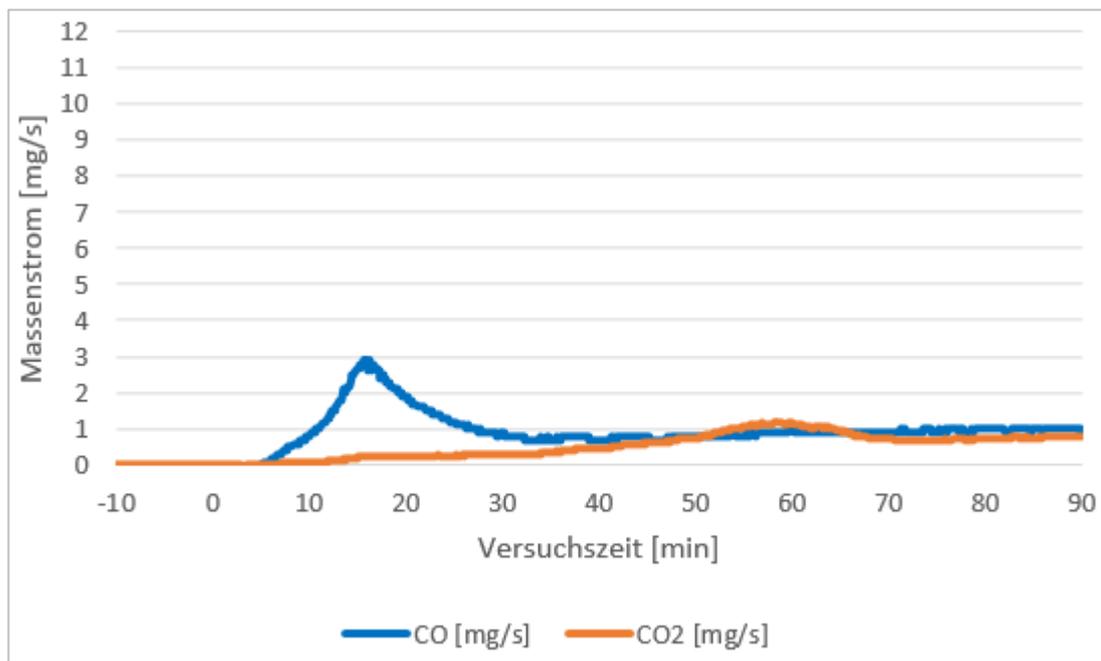


Abb. 6.131: Massenströme Stoßfugen CO, CO<sub>2</sub>

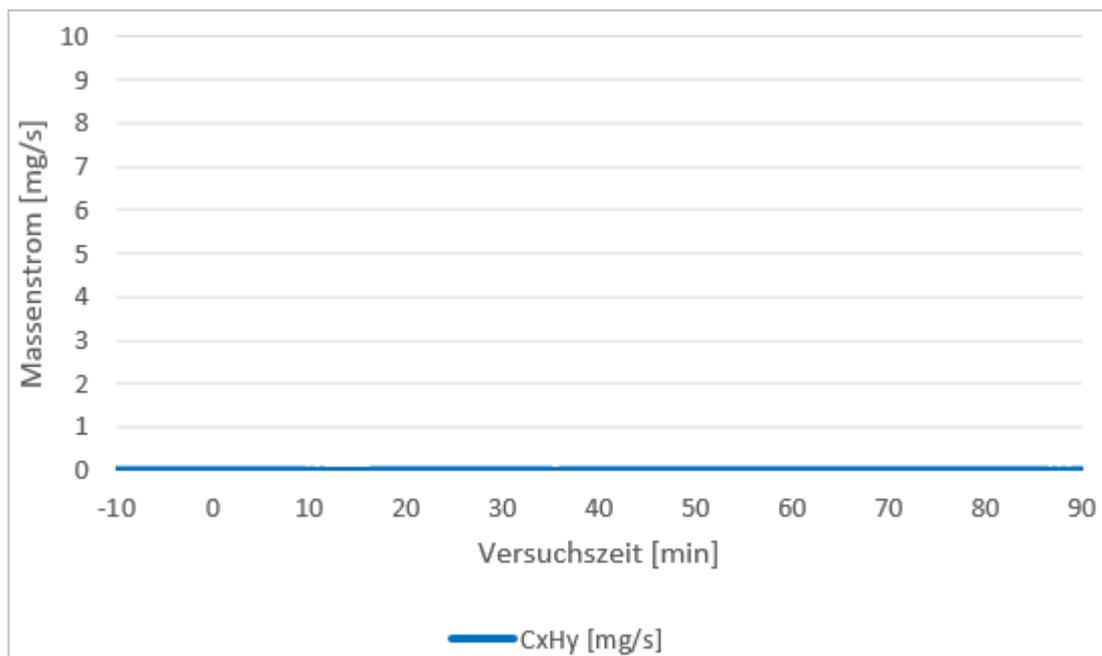


Abb. 6.132: Massenstrom Bauteilfuge CxHy

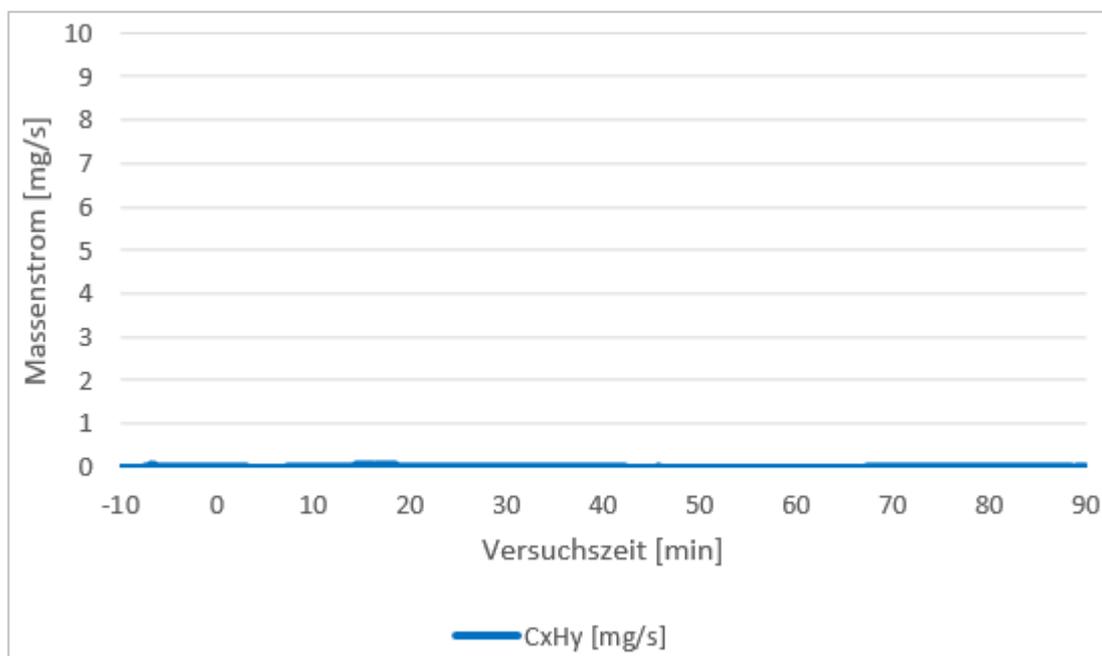


Abb. 6.133: Massenstrom Stoßfugen CxHy

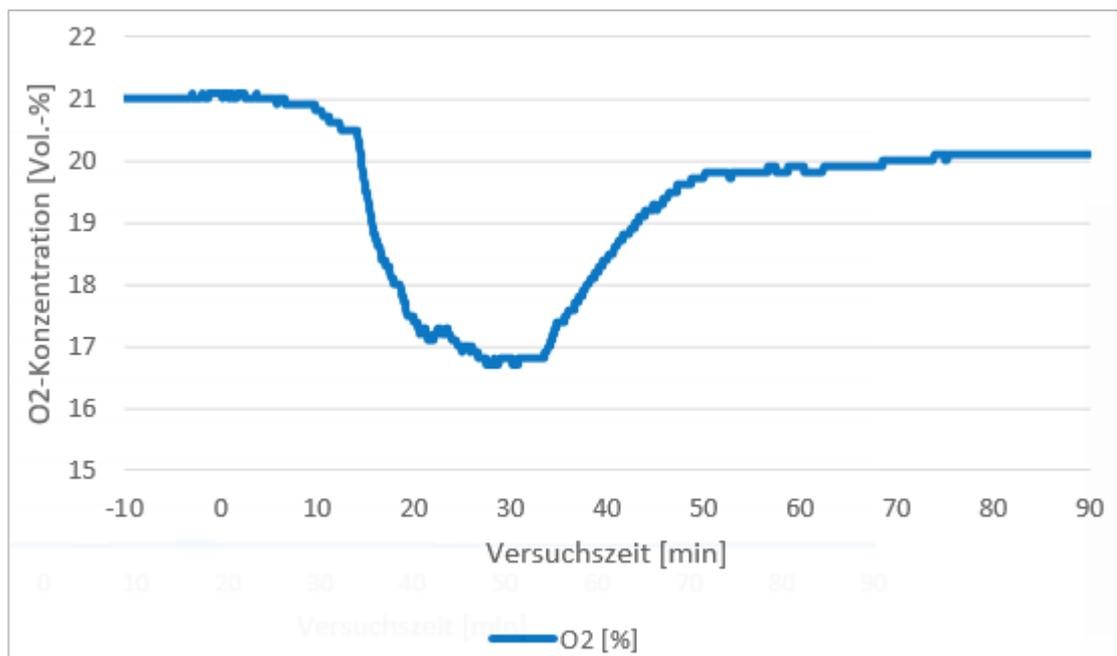


Abb. 6.134: Sauerstoffkonzentration Bauteilfuge

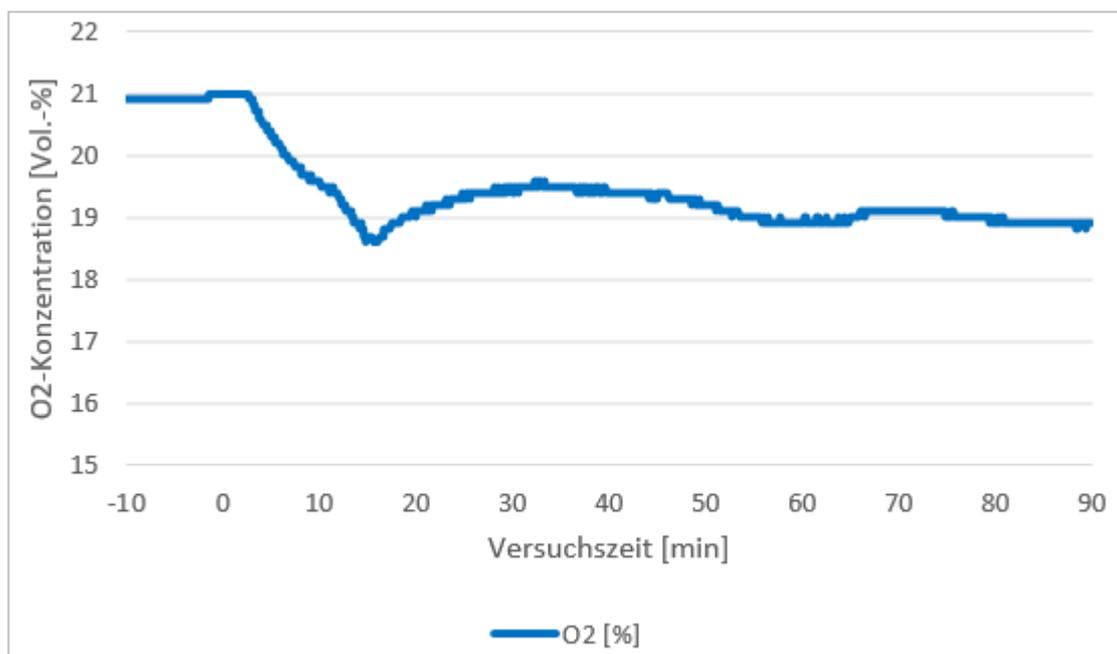


Abb. 6.135: Sauerstoffkonzentration Stoßfuge

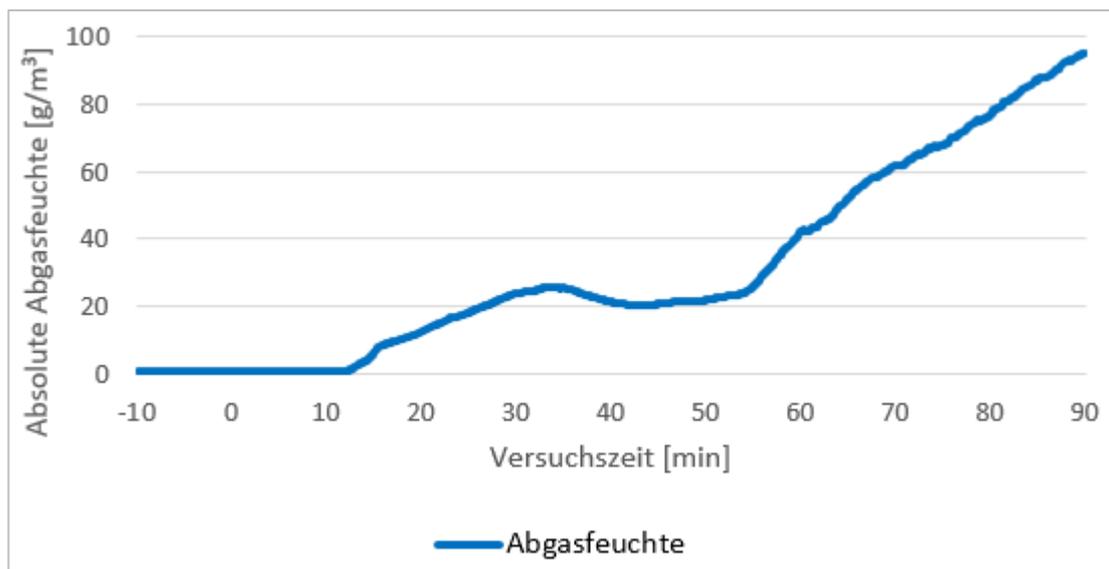


Abb. 6.136: Absolute Abgasfeuchte Bauteilfuge

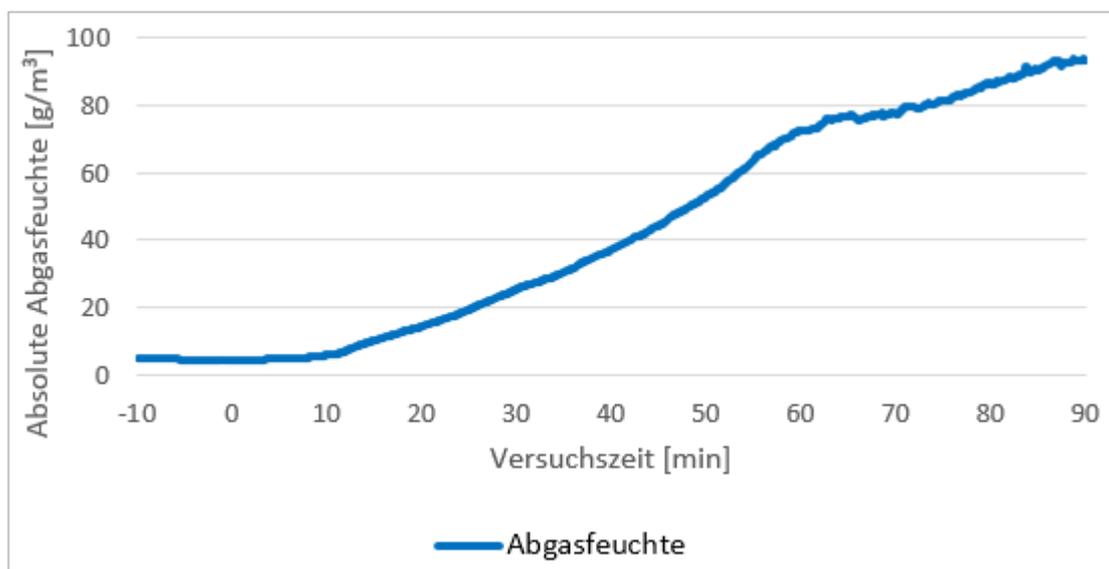


Abb. 6.137: Absolute Abgasfeuchte Stoßfuge

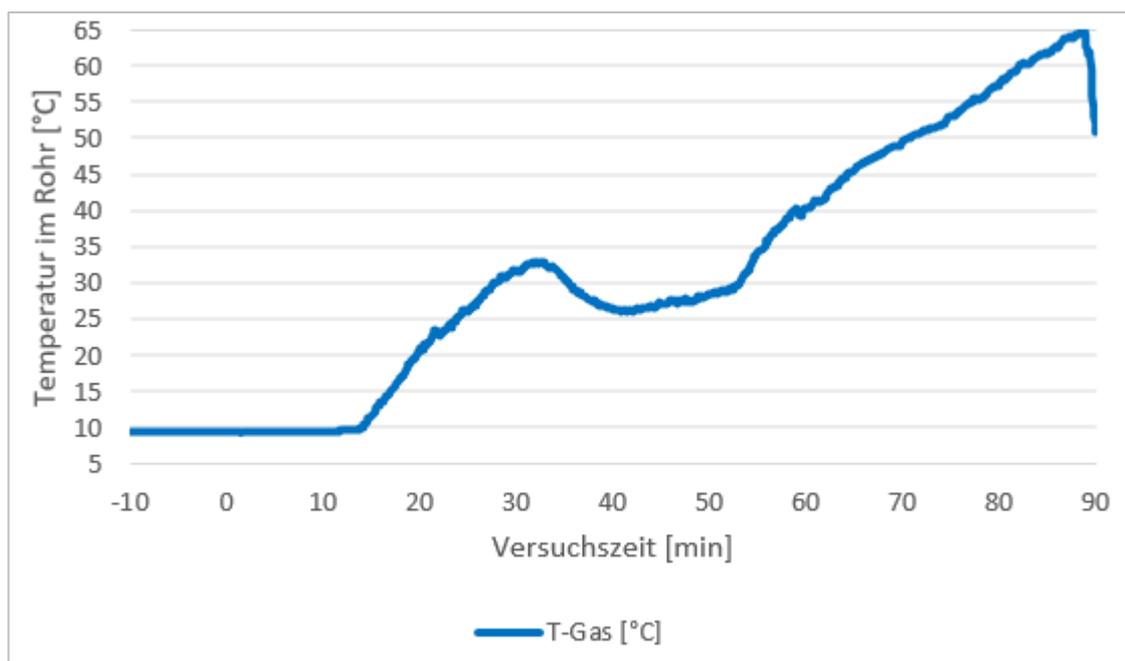


Abb. 6.138: Rauchgastemperatur Bauteilfuge

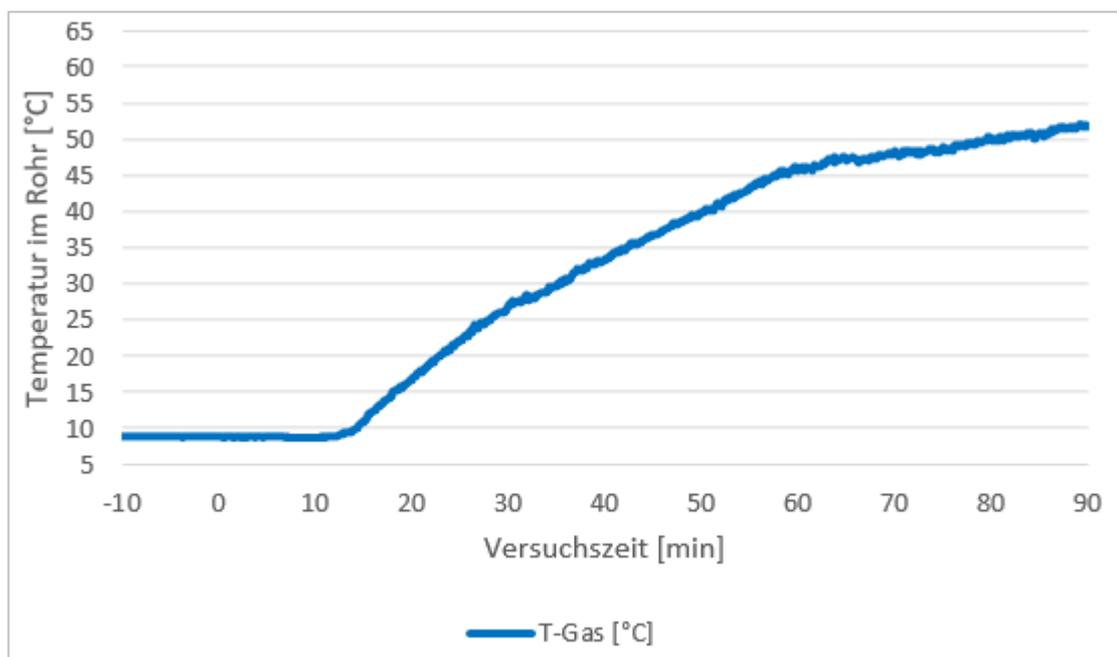


Abb. 6.139: Rauchgastemperatur Stoßfugen

### 6.5.3.4 Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Tab. 6.28: Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
(-)	Belastung 3 Tage vor Versuchstag aufgebracht	
4.	Rauchaustritt durch hintere Deckenfuge	
8.	Deckenverformung: Aufklaffen der Auflager beginnt, Aufreißen des Fugendichtmittels	
10.	Leichter Rauchaustritt am Abgasrohr RAK-Stoßfugen und RAK-Bauteilfuge erkennbar	
14.	Außenputz beginnt zu reißen, starker Rauchaustritt unterhalb des RAK-Bauteilfuge	X
23.	Hallenablufte eingeschaltet, Fenster vom RAK-Stoßfugen ist beschlagen	
37.	Rauchaustritt am RAK-Bauteilfuge wird weniger	
51.	Silikonabdichtung am RAK-Bauteilfuge reißt auf	X
56.	Etwas mehr Rauchaustritt an der hinteren Deckenfuge	
65.	Innenputz an Bauteilfuge komplett abgefallen	
86.	Stärkerer Rauch (Wasserdampf) an den Fugen und auf der Deckenfläche erkennbar, Messstelle Nr. 37 auf der Decke abgerissen	X
90.	Versuchsende	

### 6.5.3.5 Fotodokumentation



Abb. 6.140: Bauteilfuge mit Mineralwolle noch ohne Fugendichtstoff (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.141: Probekörper brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.142: Probekörper brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.143: Außenputz beginnt zu reißen, Rauchaustritt unterhalb RAK-Bauteilfuge (14. Brandminute)



Abb. 6.144: Silikonabdichtung am RAK-Bauteilfuge reißt auf (51. Brandminute)

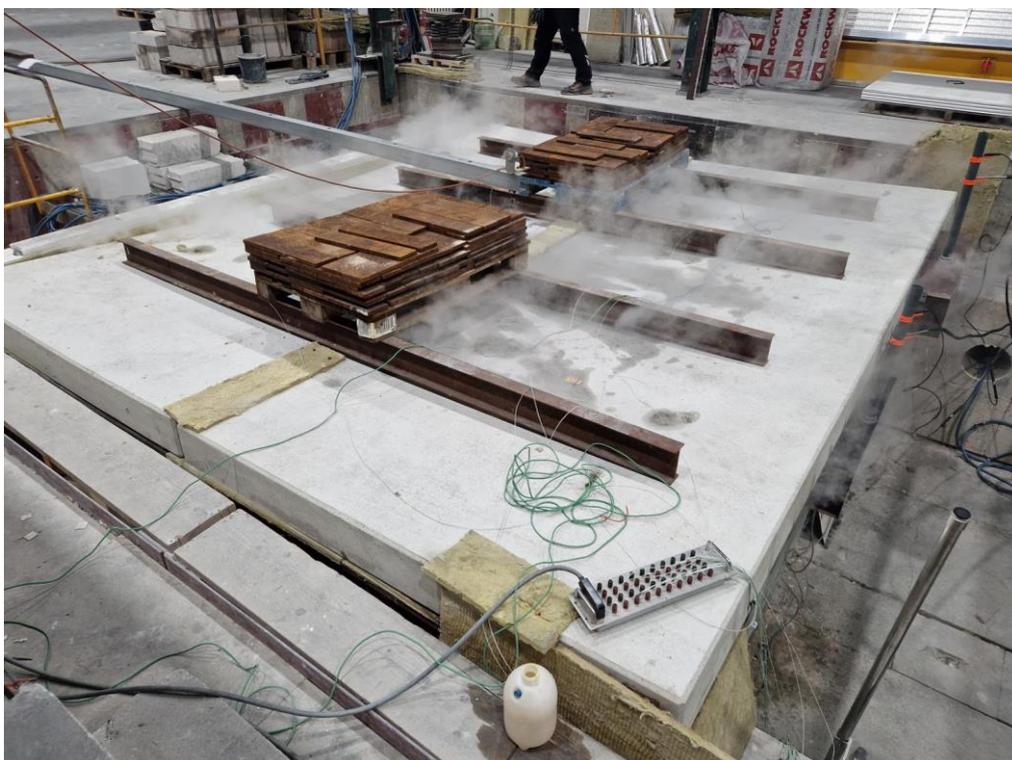


Abb. 6.145: Stärkerer Rauch (Wasserdampf) an Fugen und Deckenfläche (86. Brandminute)



Abb. 6.146: Probekörper brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



Abb. 6.147: Probekörper brandzugewandte Seite ohne Decke (nach Versuchsende)



*Abb. 6.148: Draufsicht Bauteilfuge ohne Decke (nach Versuchsende)*

## 6.6 Protokoll Versuch 6 (HTB-HTB)

### 6.6.1 Versuchsaufbau

#### 6.6.1.1 Detailzeichnungen

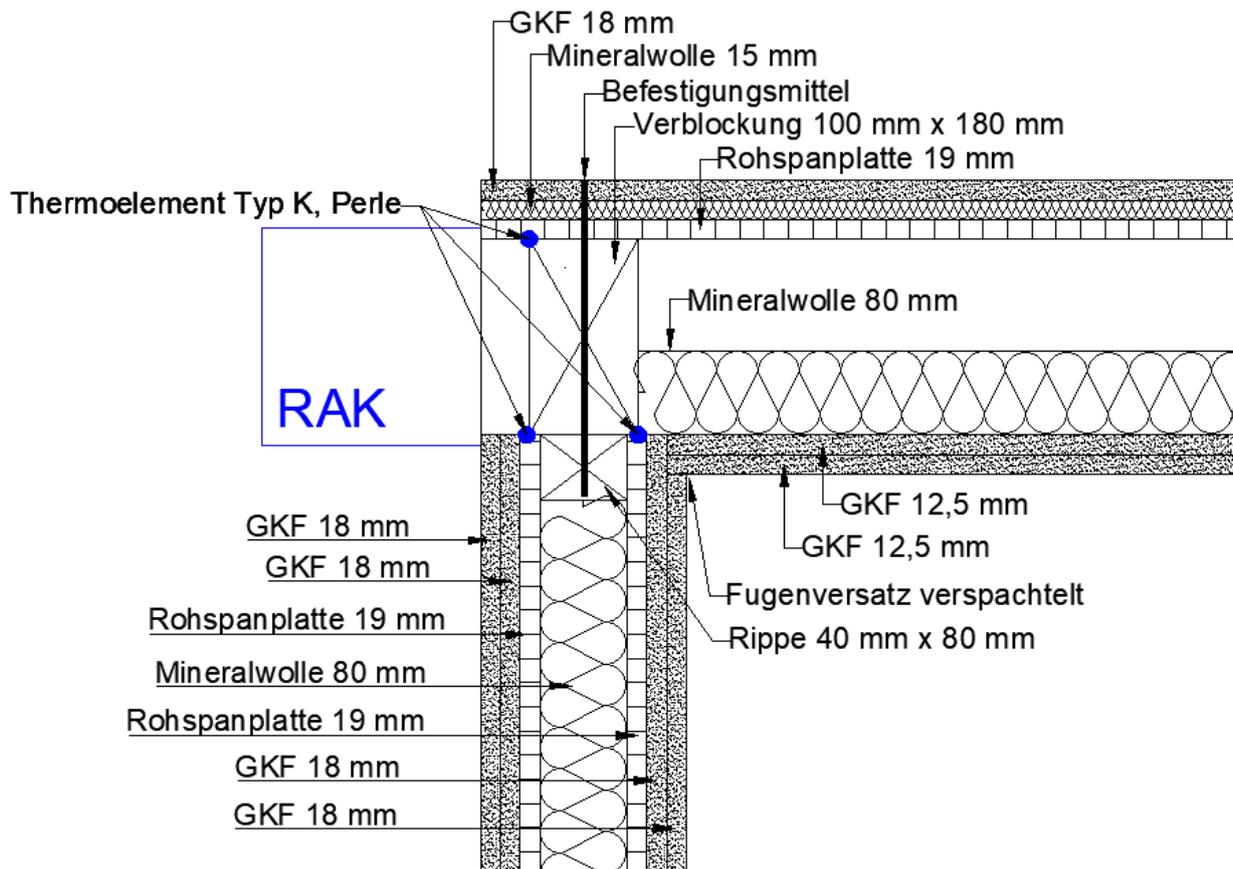


Abb. 6.149: Vertikal-Schnitt Bauteilanschluss im Detail



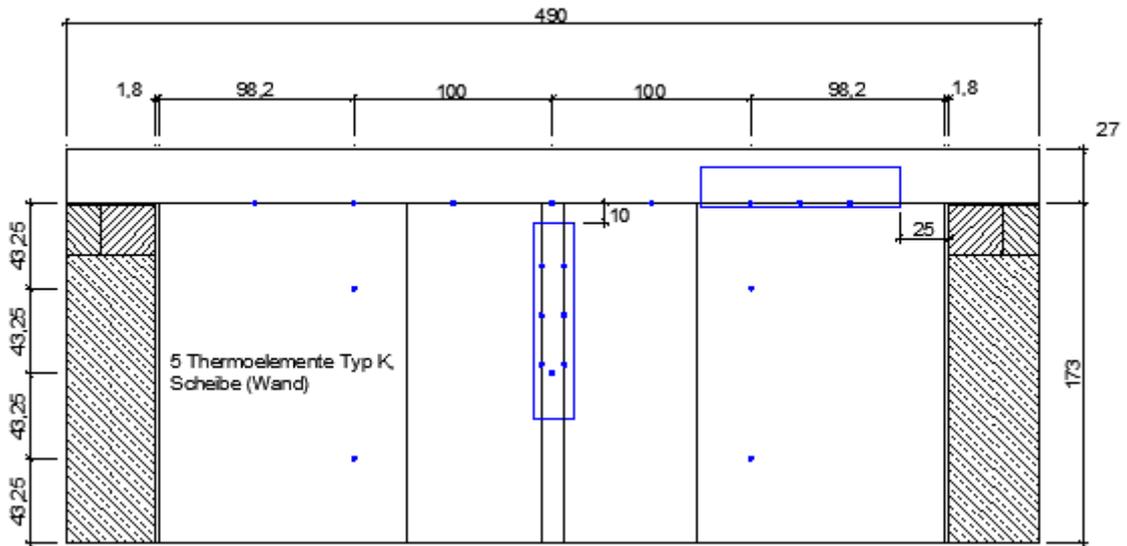


Abb. 6.151: Ansicht Wand, brandabgewandt

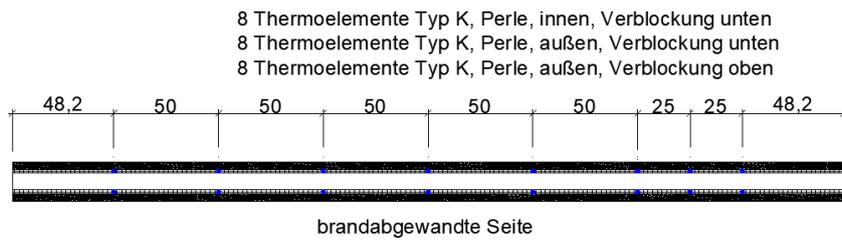


Abb. 6.152: Horizontal-Schnitt/Draufsicht Bauteilfuge

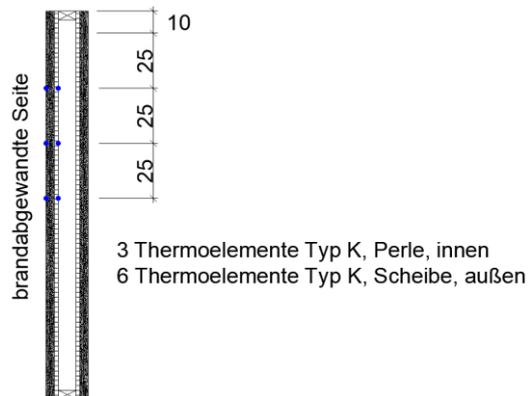


Abb. 6.153: Vertikal-Schnitt Elementfuge

### 6.6.1.2 Bauteilschichten

Tab. 6.29: Benennung der Bauteilschichten (Wand), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
W1	18 mm Feuerschutzplatte	850 kg/m <sup>3</sup>	Knauf
W2	18 mm Feuerschutzplatte	850 kg/m <sup>3</sup>	Knauf
W3	19 mm Rohspanplatte	660 kg/m <sup>3</sup>	Egger
W4	Konstruktionsvollholz Fichte C24 (60x80)	460 kg/m <sup>3</sup>	-
	Mineralwolle 80 mm	40 kg/m <sup>3</sup>	Rockwool Klemmrock
W5	19 mm Rohspanplatte	660 kg/m <sup>3</sup>	Egger
W6	18 mm Feuerschutzplatte	850 kg/m <sup>3</sup>	Knauf
W7	18 mm Feuerschutzplatte	850 kg/m <sup>3</sup>	Knauf

Tab. 6.30: Benennung der Bauteilschichten (Decke), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
D1	12,5 mm Feuerschutzplatte	850 kg/m <sup>3</sup>	Dano
D2	12,5 mm Feuerschutzplatte	850 kg/m <sup>3</sup>	Dano
D3	Konstruktionsvollholz Fichte C24 (100x180)	460 kg/m <sup>3</sup>	-
	Mineralwolle 80 mm (brandschutz. nicht notw. Dämmschicht)	40 kg/m <sup>3</sup>	Rockwool Klemmrock
D4	19 mm Rohspanplatte	660 kg/m <sup>3</sup>	Egger
D5	15 mm Feuerschutzplatte	850 kg/m <sup>3</sup>	Knauf
	Mineralwolle	40 kg/m <sup>3</sup>	Rockwool Klemmrock
D6	18 mm Feuerschutzplatte	850 kg/m <sup>3</sup>	Knauf

Tab. 6.31: Weitere verwendete Materialien

Material	Beschreibung/Hersteller	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben	Würth	W1, W2, W6, W7, D1, D2, D6
Spachtelmasse	Würth Fugen- und Flächenspachtel WLF	W1, W2, W6, W7, D1, D2, D6

### 6.6.2 Versuchsparameter

Tab. 6.32: Versuchsdauer

Versuchsbeginn	Versuchsende	Versuchsdauer
03.11.2022, 15:46 Uhr	03.11.2022, 16:46 Uhr	60 min

#### 6.6.2.1 Umgebungsbedingungen

Tab. 6.33: Umgebungsbedingungen bei Versuchsbeginn

Umgebungsdruck	Umgebungstemperatur	Luftfeuchte in %
1001 mbar	15 °C	18 % rh

#### 6.6.2.2 Prüfbedingungen

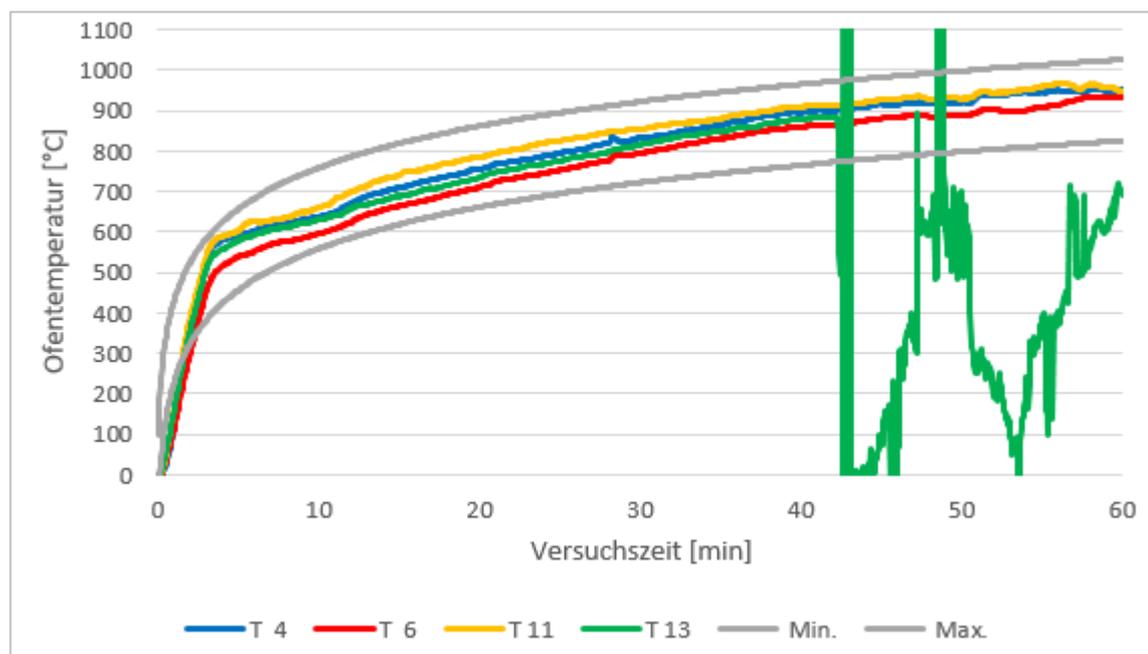


Abb. 6.154: Temperaturzeitkurve, Ofentemperatur

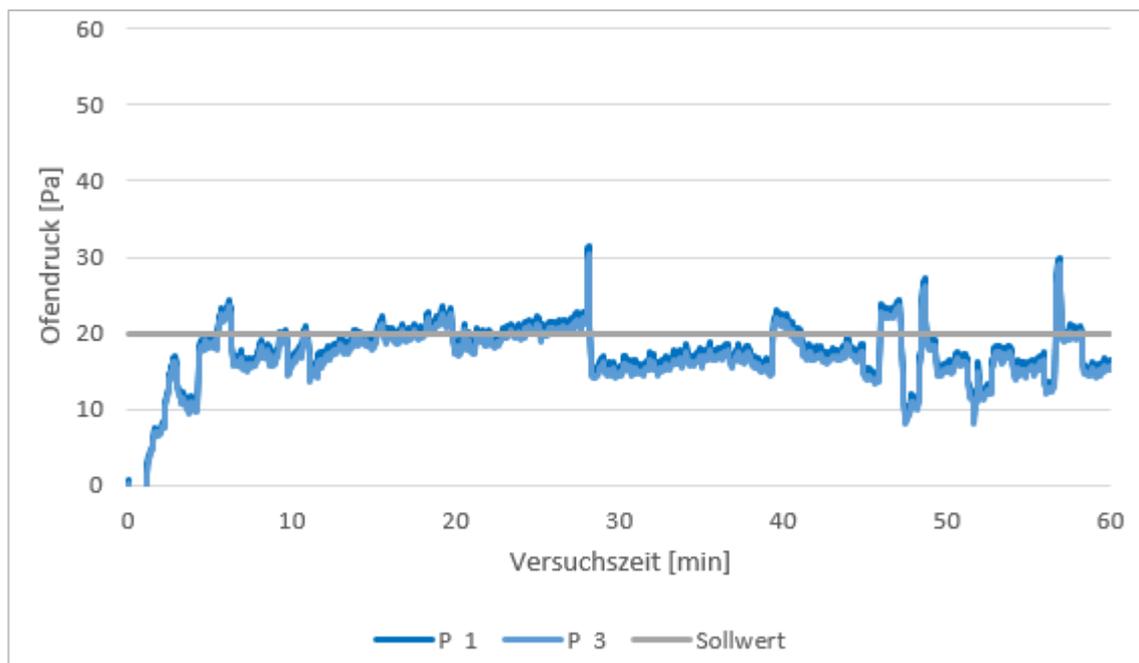


Abb. 6.155: Ofendruck

### 6.6.3 Auswertung

#### 6.6.3.1 Temperaturverläufe

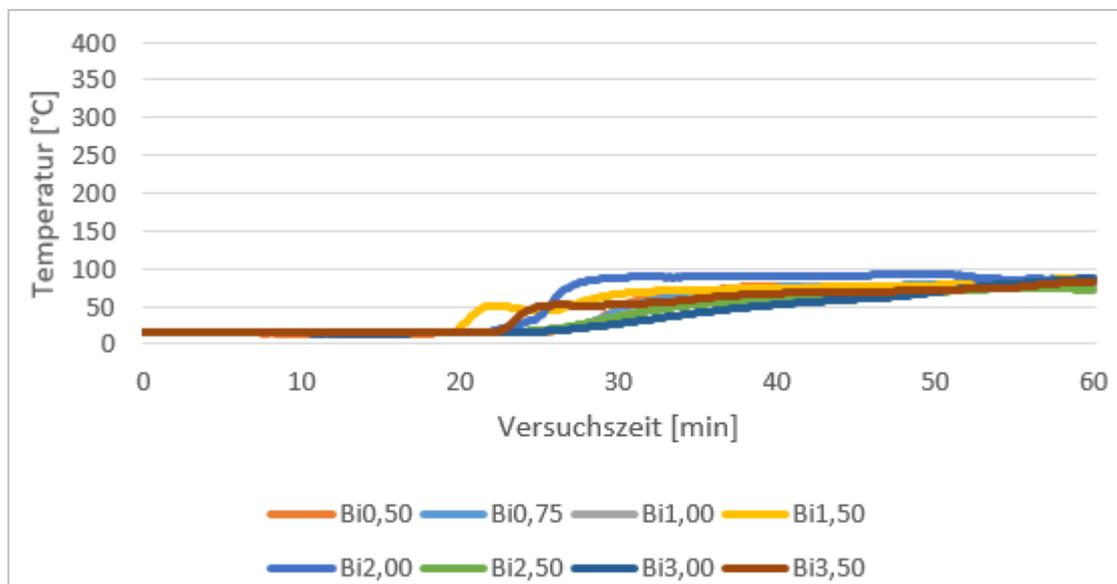


Abb. 6.156: Temperaturverlauf Bauteilfuge innen zwischen Bekleidung und Verblockung unten, brandzugewandt

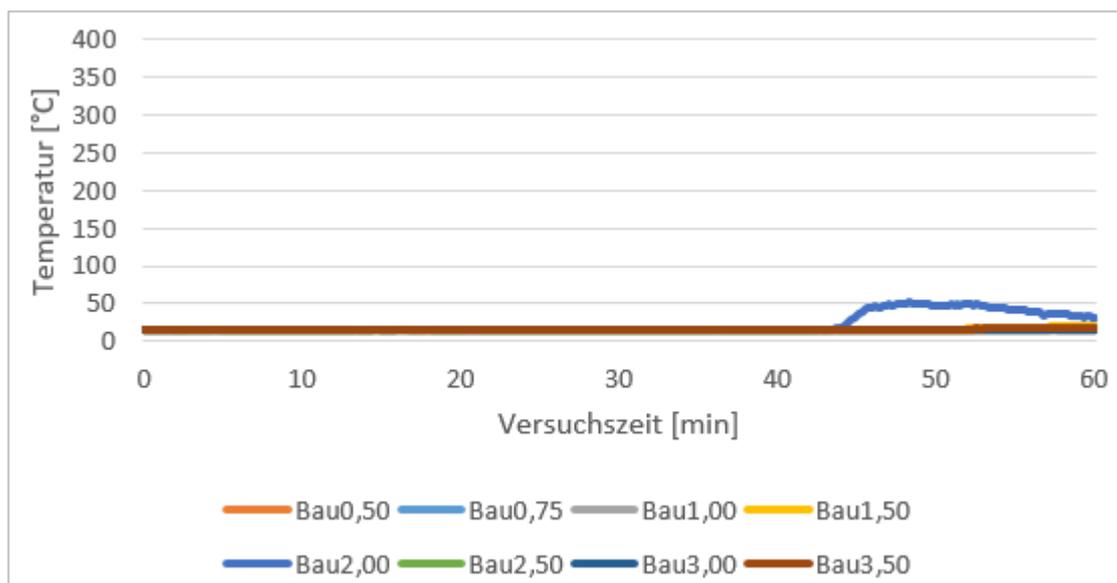


Abb. 6.157: Temperaturverlauf Bauteilfuge außen Verblockung unten, brandabgewandt

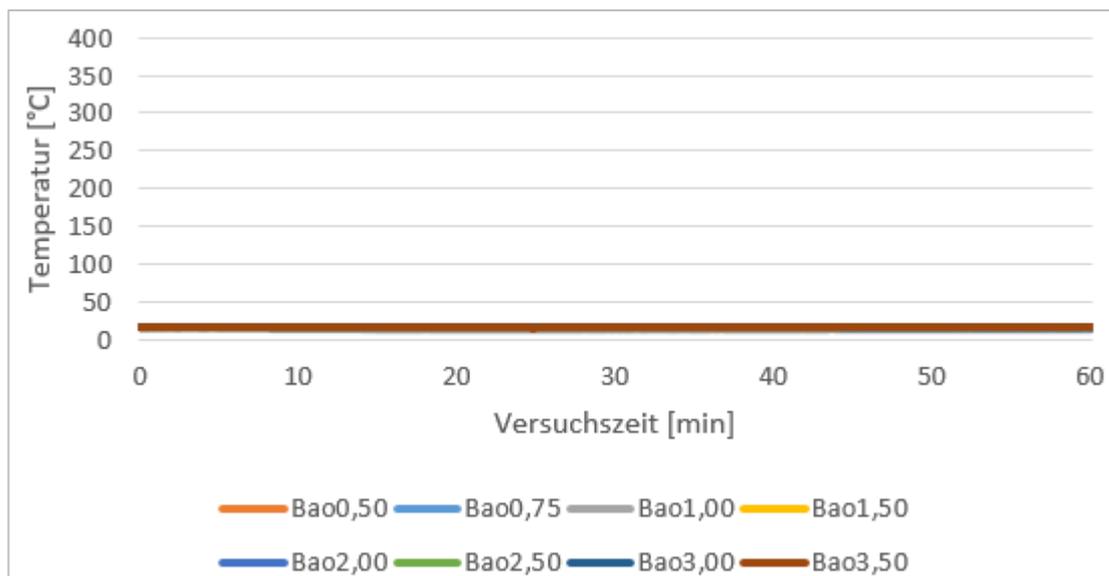


Abb. 6.158: Temperaturverlauf Bauteilfuge außen Verblockung oben, brandabgewandt

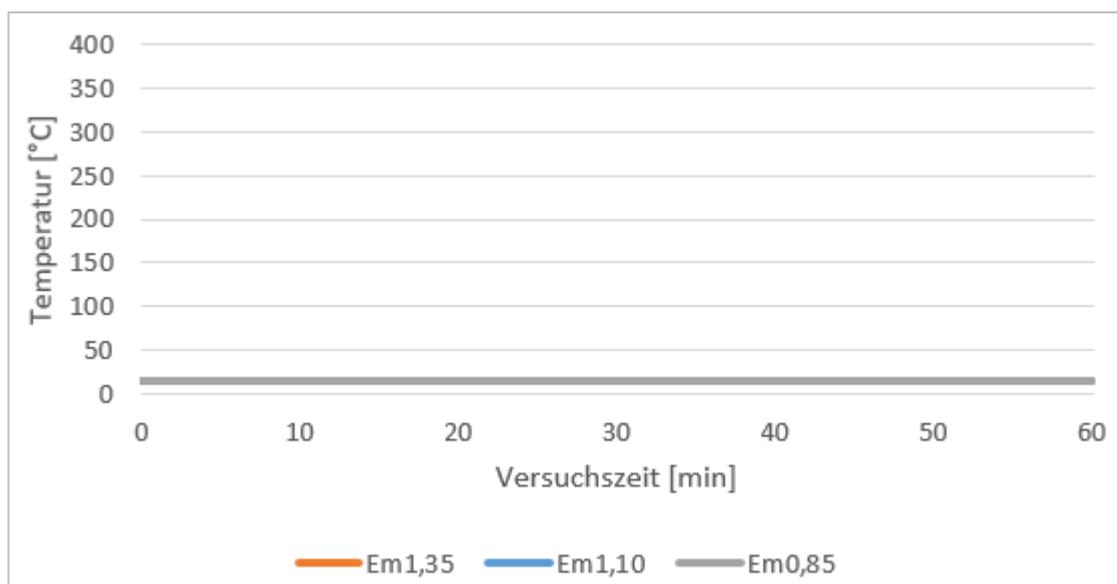


Abb. 6.159: Temperaturverlauf Elementfuge innen zwischen Holzwerkstoffplatte und Konstruktions-holz, brandabgewandt

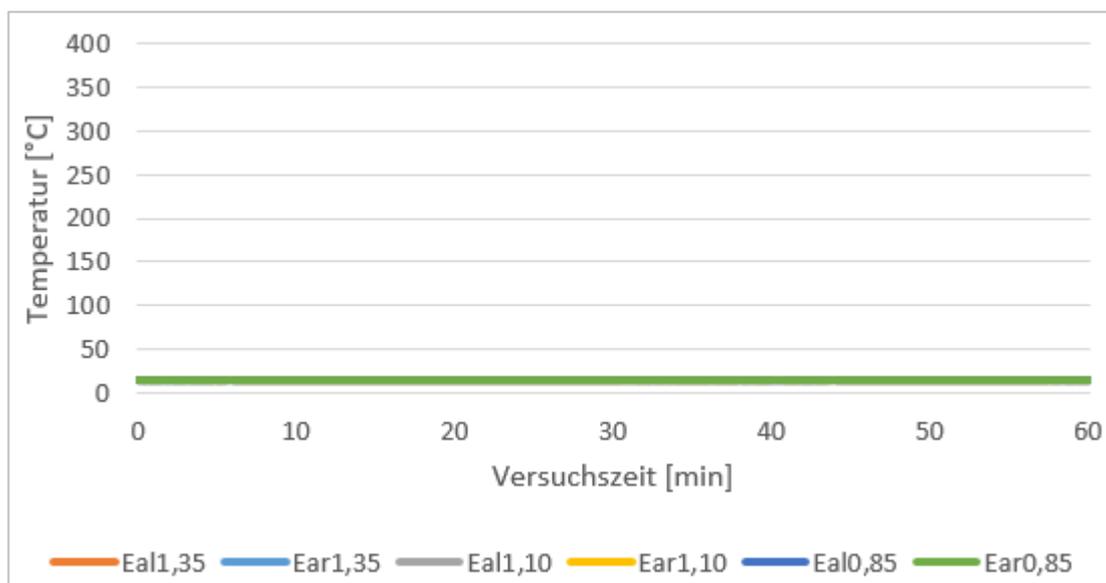


Abb. 6.160: Temperaturverlauf Elementfuge außen, brandabgewandt

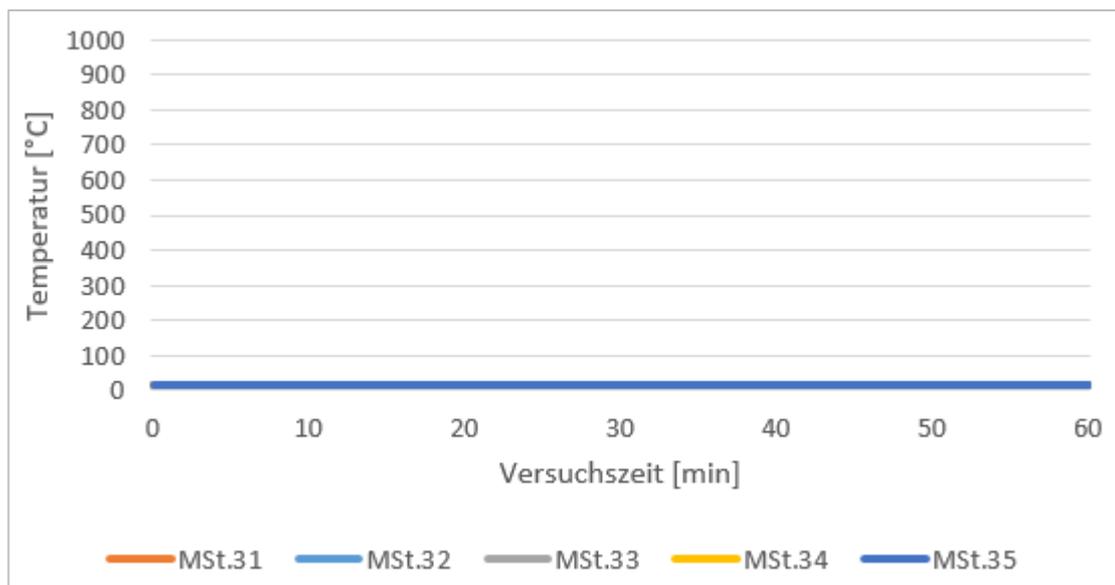


Abb. 6.161: Temperaturverlauf Wand außen, brandabgewandt

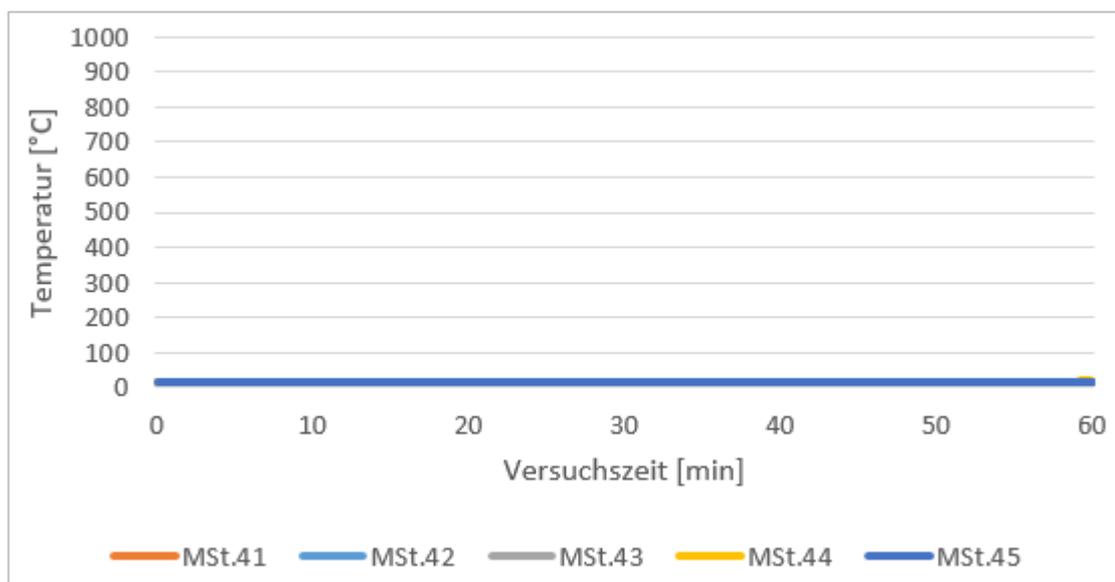


Abb. 6.162: Temperaturverlauf Decke außen, brandabgewandt

### 6.6.3.2 Deckenverformung

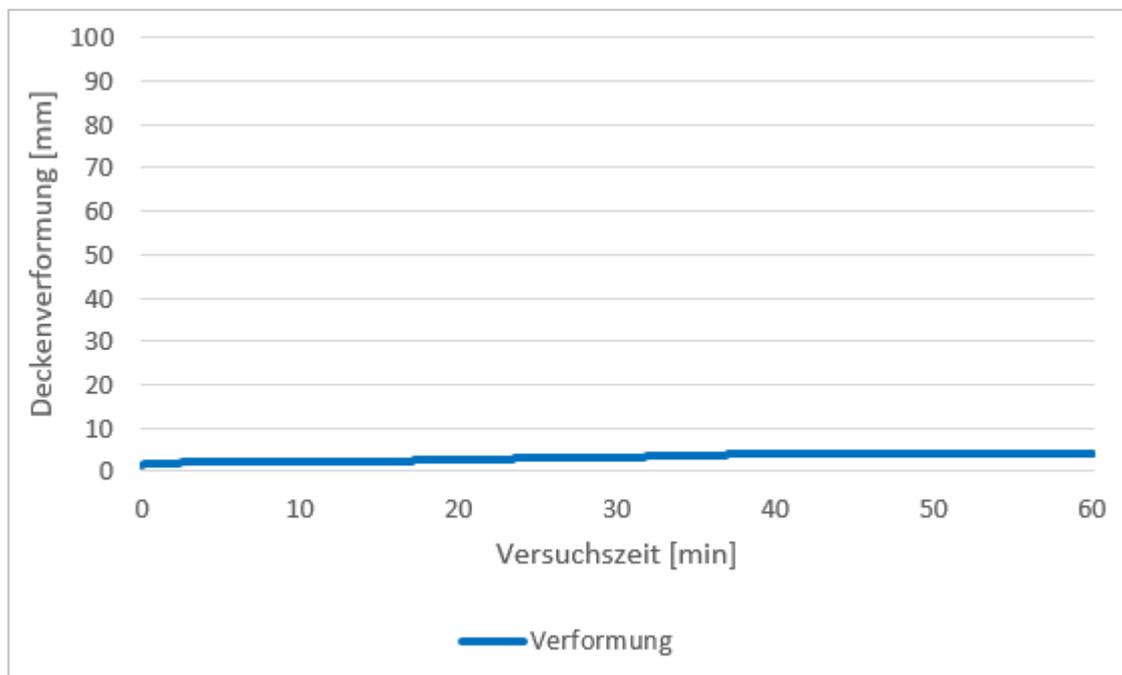


Abb. 6.163: Durchbiegung in Deckenmitte

### 6.6.3.3 Ergebnisse der Rauchgasanalytik

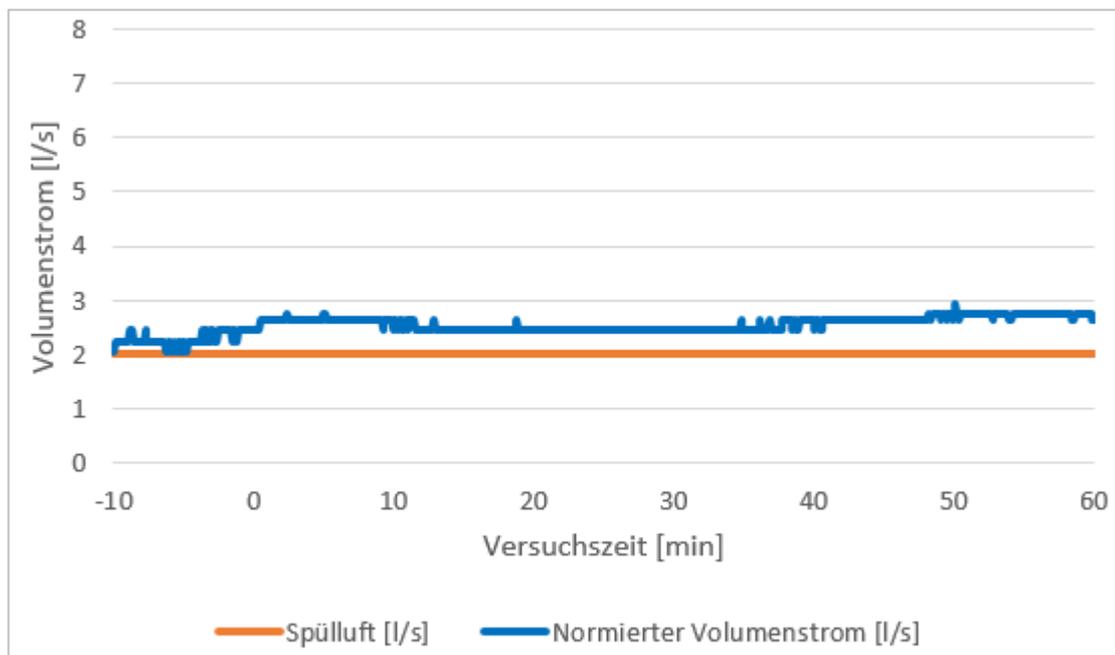


Abb. 6.164: Volumenstrom Bauteilfuge

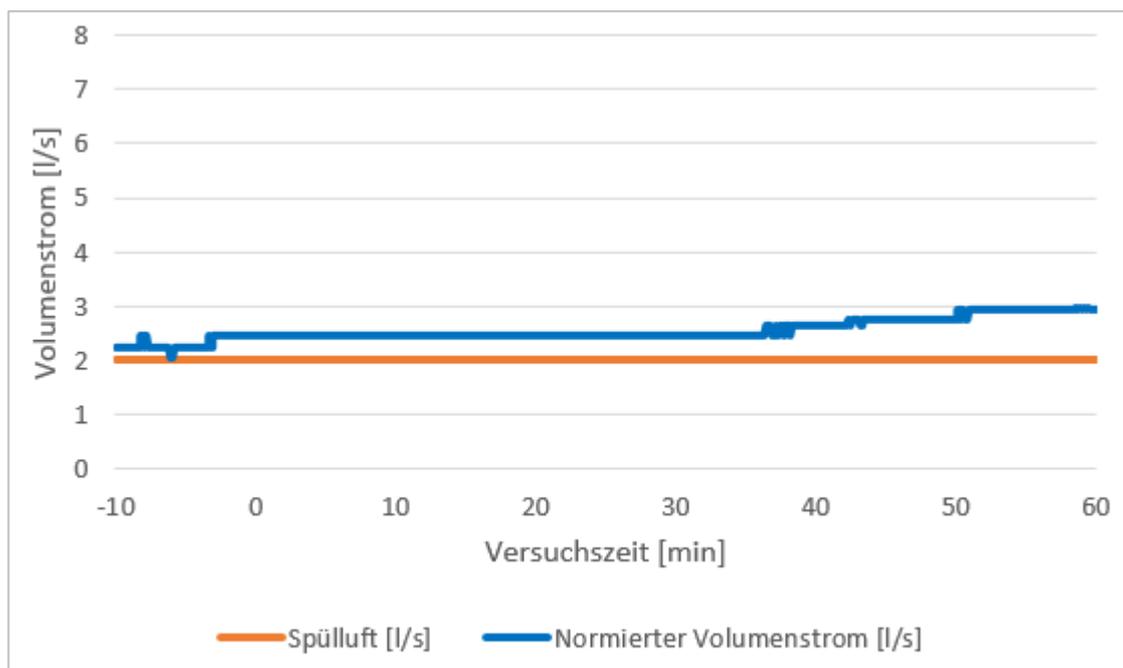


Abb. 6.165: Volumenstrom Elementfuge

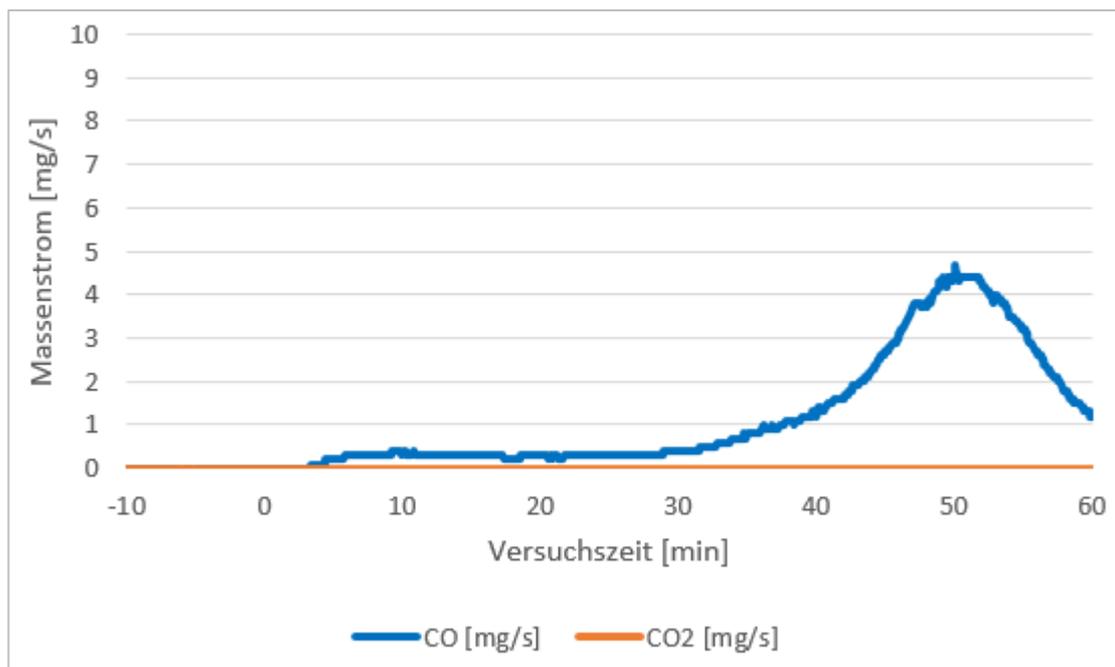


Abb. 6.166: Massenströme Bauteilfuge CO, CO<sub>2</sub>

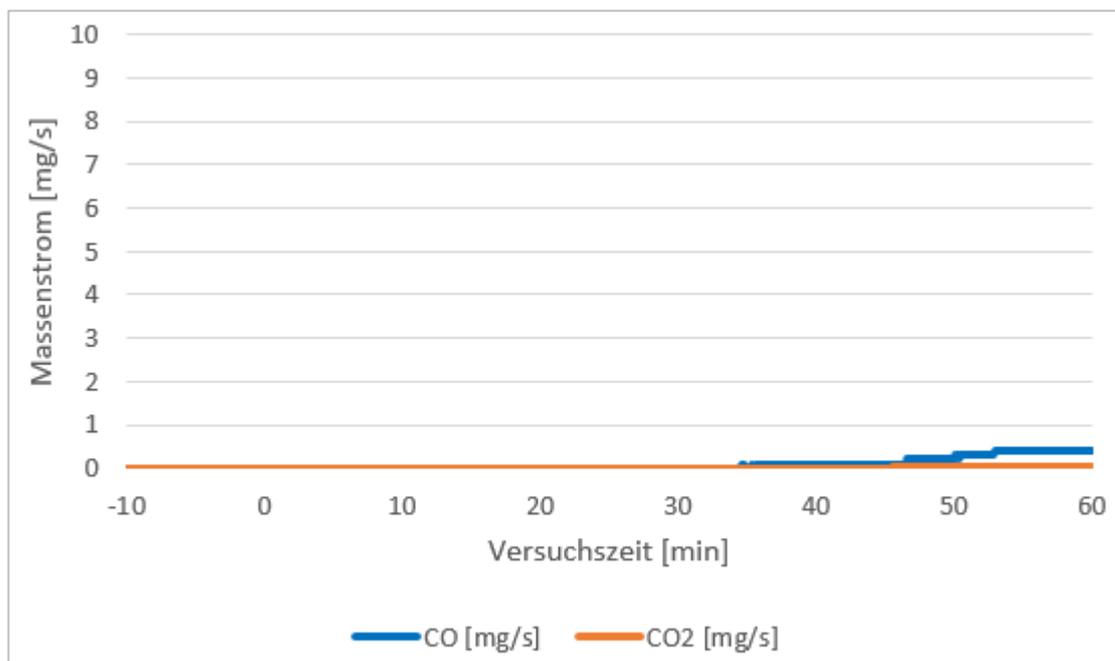


Abb. 6.167: Massenströme Elementfuge CO, CO<sub>2</sub>

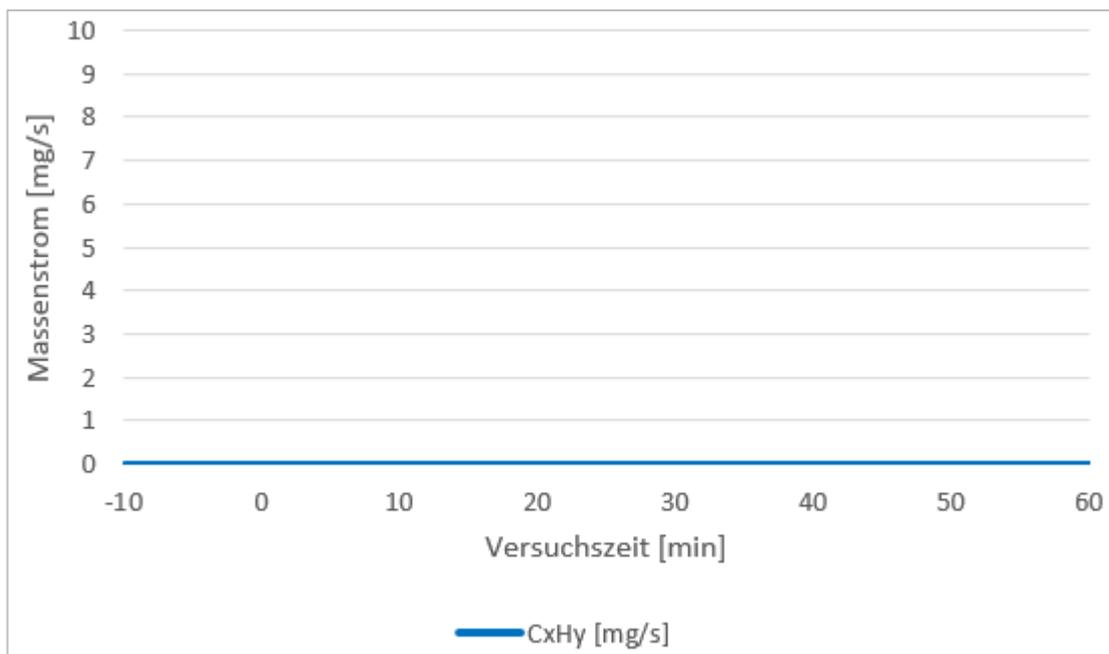


Abb. 6.168: Massenstrom Bauteilfuge CxHy

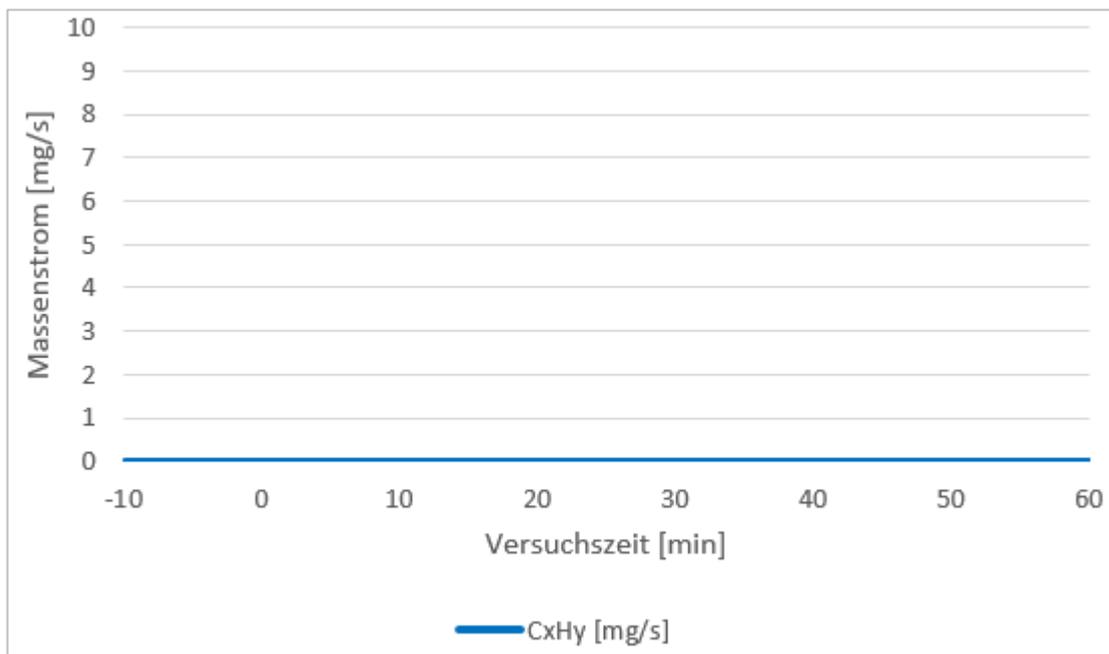


Abb. 6.169: Massenstrom Elementfuge CxHy

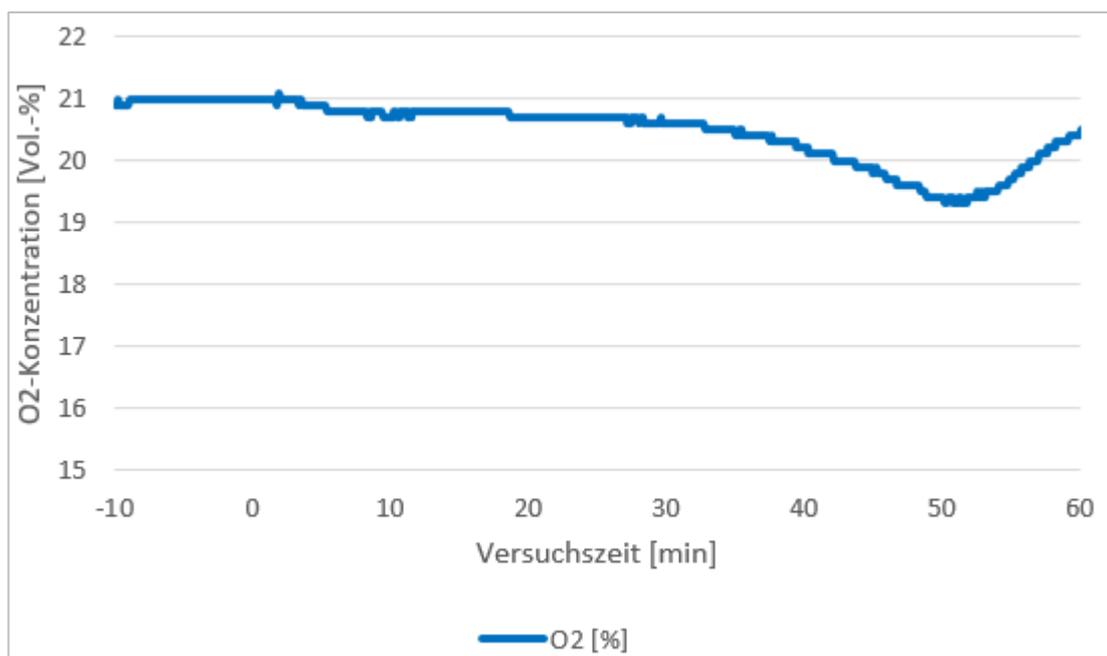


Abb. 6.170: Sauerstoffkonzentration Bauteilfuge

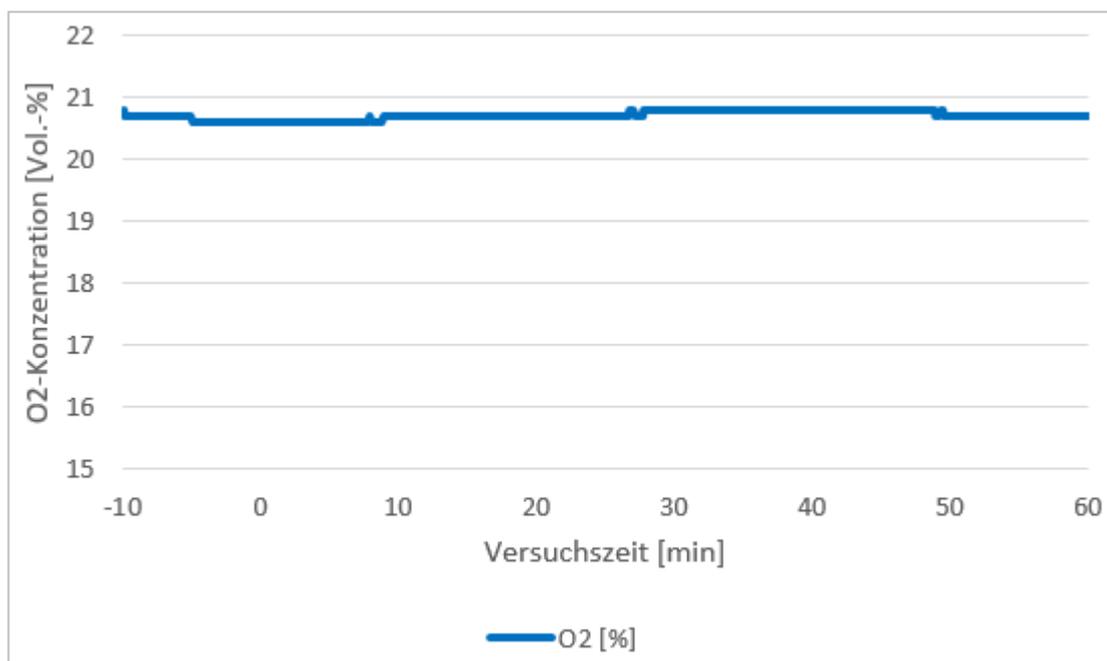


Abb. 6.171: Sauerstoffkonzentration Elementfuge

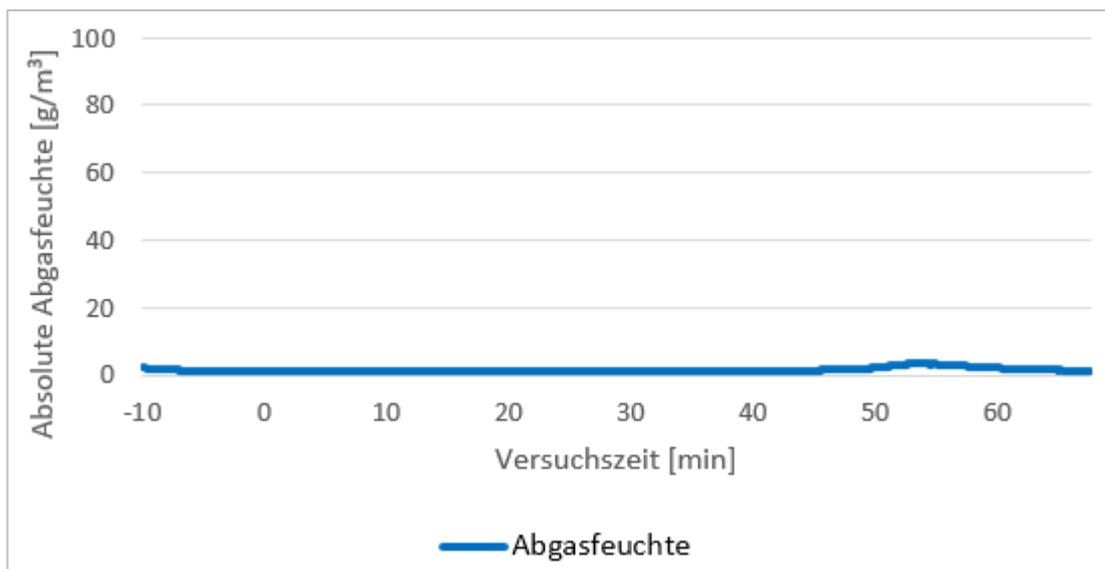


Abb. 6.172: Absolute Abgasfeuchte Bauteilfuge

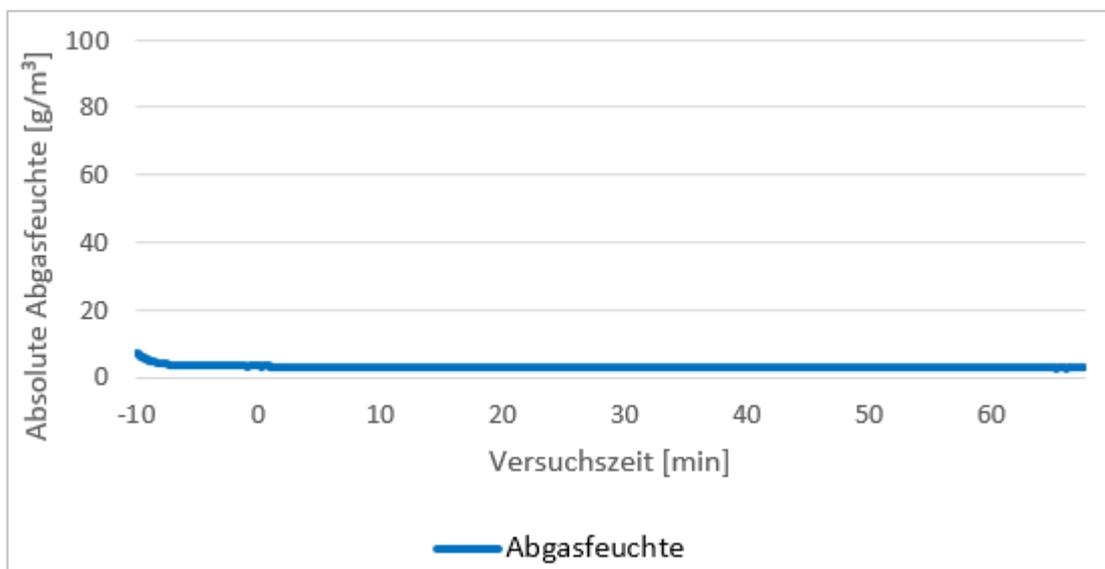


Abb. 6.173: Absolute Abgasfeuchte Elementfuge

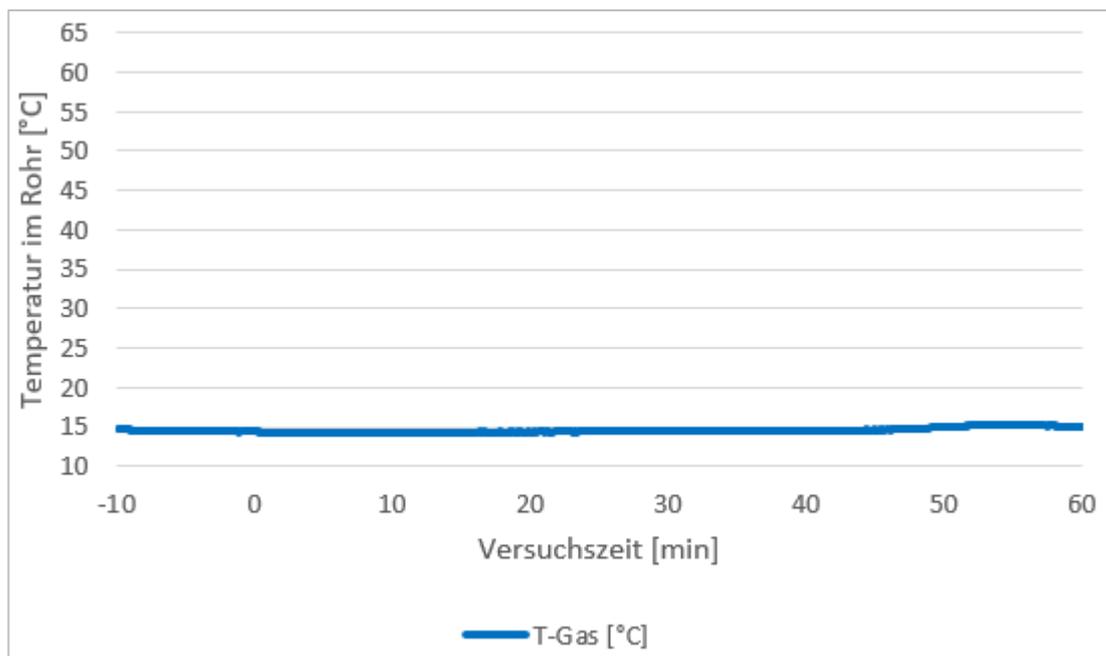


Abb. 6.174: Rauchgastemperatur Bauteilfuge

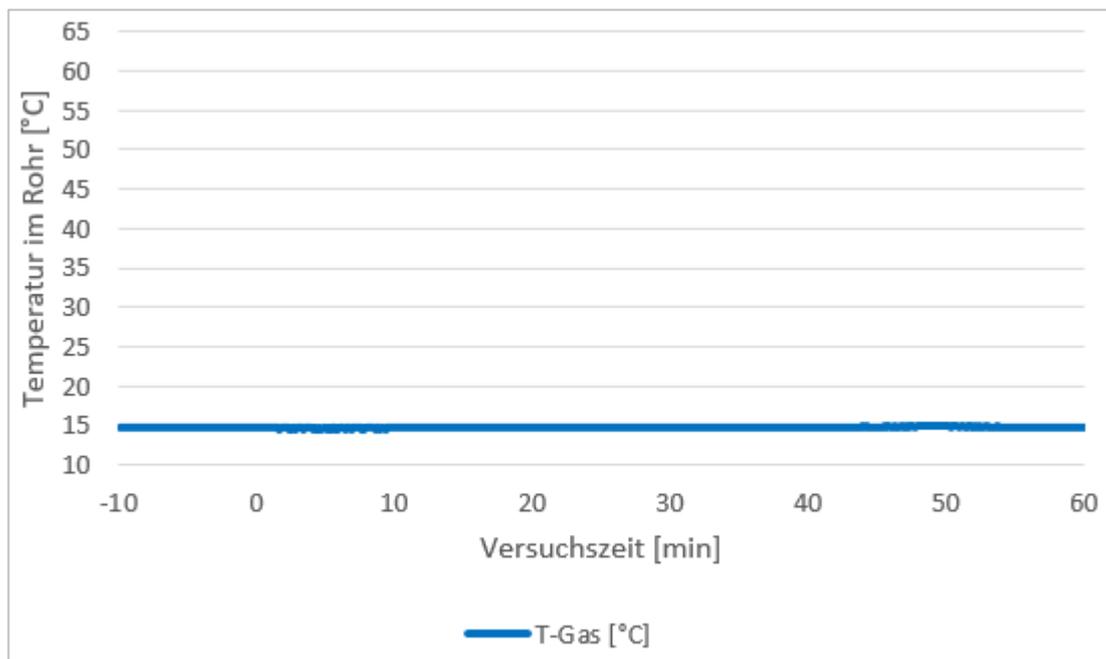


Abb. 6.175: Rauchgastemperatur Elementfuge

### 6.6.3.4 Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Tab. 6.34: Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

<b>Brandminute</b>	<b>Ereignis</b>	<b>Foto dokumentiert</b>
(-16.)	Totlasten aufgebracht (Befüllung IBC's)	
3.	Rauchaustritt durch seitliche Auflagerfugen	X
8.	Erste Risse an den Wand- und Deckenbekleidungen brandzugewandt	
23.	Abfall der 1. Deckenlage beginnt	
30.	Leichter Rauchaustritt Mitte Bauteilfuge an Messstelle 20	
35.	Rauchaustritt durch seitliche Auflagerfugen	X
43.	Die Deckenkonstruktion brennt teilweise mit	
48.	Verstärkter Rauchaustritt durch seitliche Auflagerfugen, Hallenabluft eingeschaltet/geöffnet	X
60.	Versuchsende	

### 6.6.3.5 Fotodokumentation



Abb. 6.176: Bauteilfuge (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.177: Probekörper brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



*Abb. 6.178: Probekörper brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)*



*Abb. 6.179: Rauchaustritt durch seitliche Auflagerfugen (3. Brandminute)*



Abb. 6.180: Rauchaustritt durch seitliche Auflagerfugen (35. Brandminute)



Abb. 6.181: Zeitpunkt zum Einschalten der Hallenabluft (48. Brandminute)



Abb. 6.182: Probekörper brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



Abb. 6.183: Probekörper brandzugewandte Seite (nach Versuchsende und Löscharbeiten)



*Abb. 6.184: Verblockung der Decke zur Bauteilfuge (nach Versuchsende und Löscharbeiten)*



*Abb. 6.185: Auflagefläche der Wand zur Bauteilfuge (nach Versuchsende und Löscharbeiten)*

## 6.7 Protokoll Versuch 7 (BSP-STB)

### 6.7.1 Versuchsaufbau

#### 6.7.1.1 Detailzeichnungen

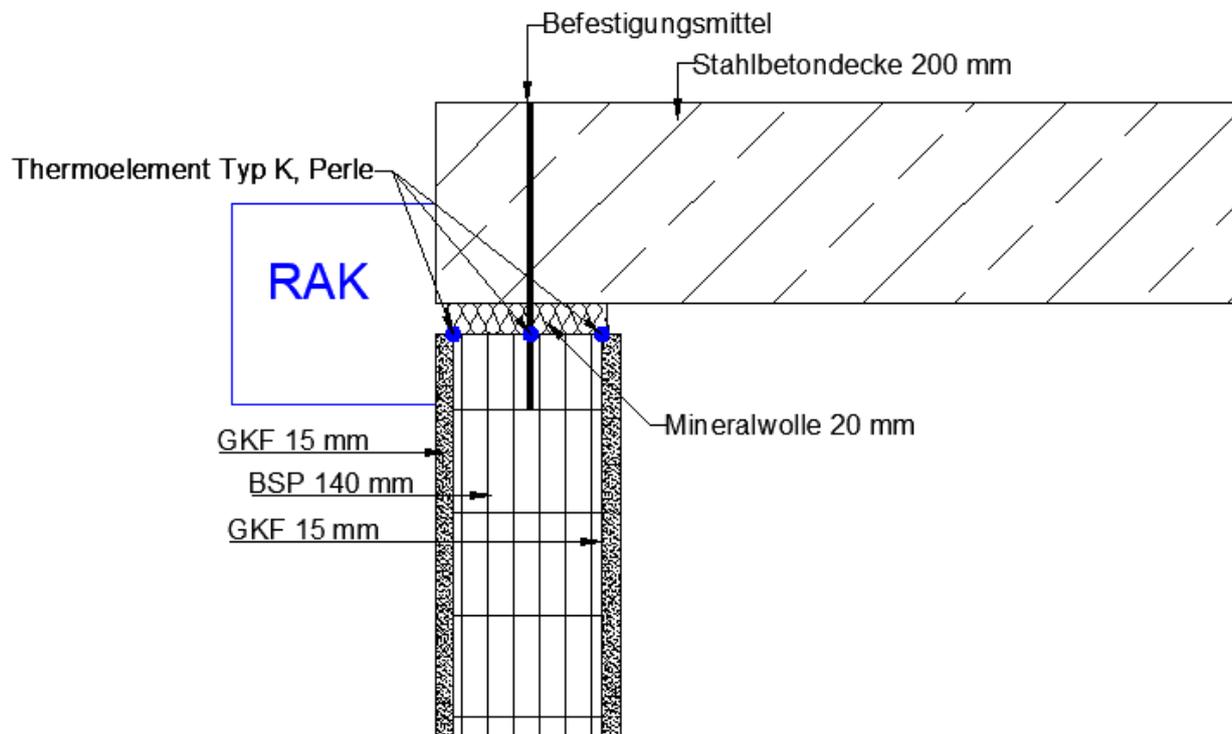


Abb. 6.186: Vertikal-Schnitt Bauteilanschluss im Detail

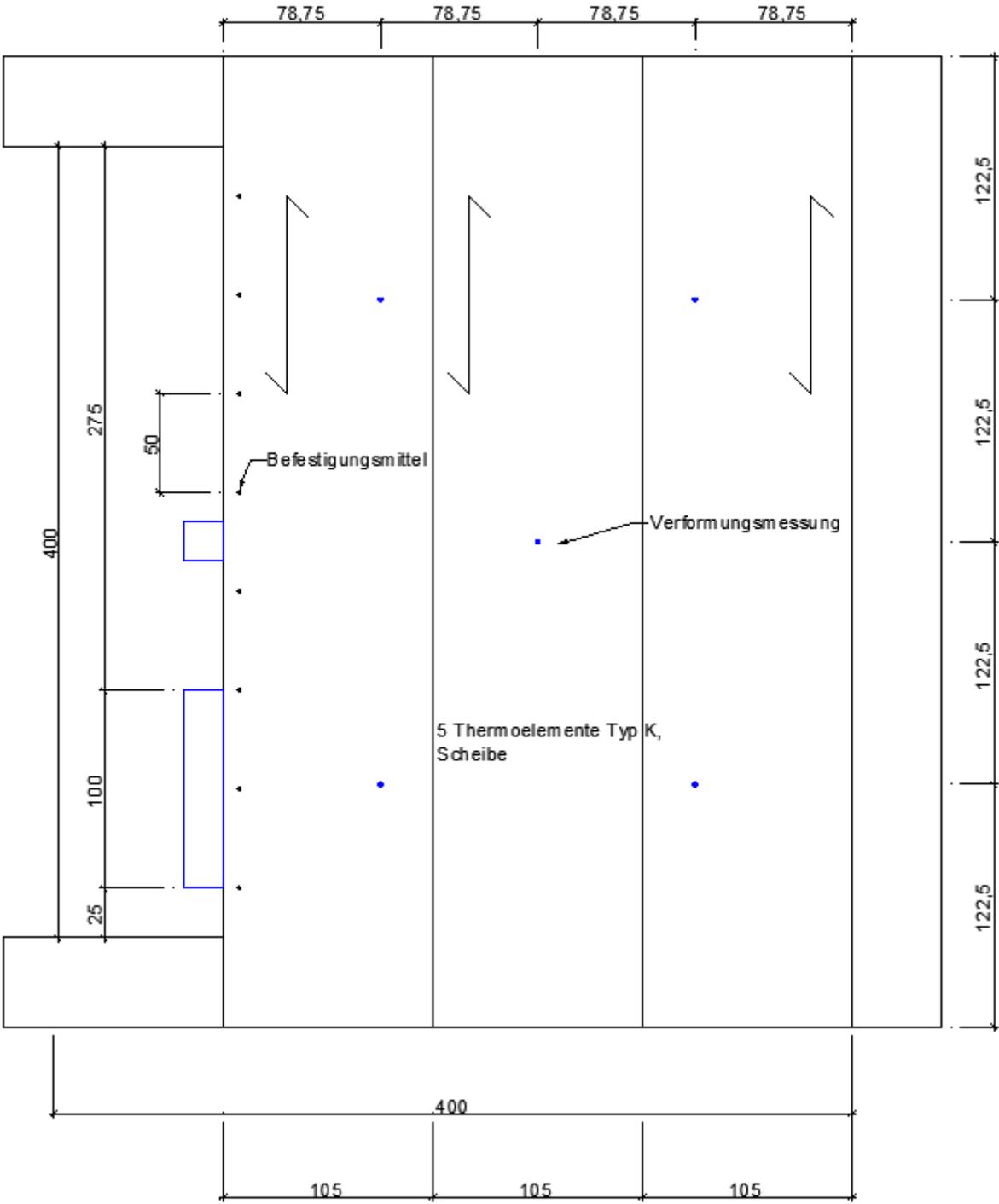


Abb. 6.187: Draufsicht Brandofen/Decke, brandabgewandt

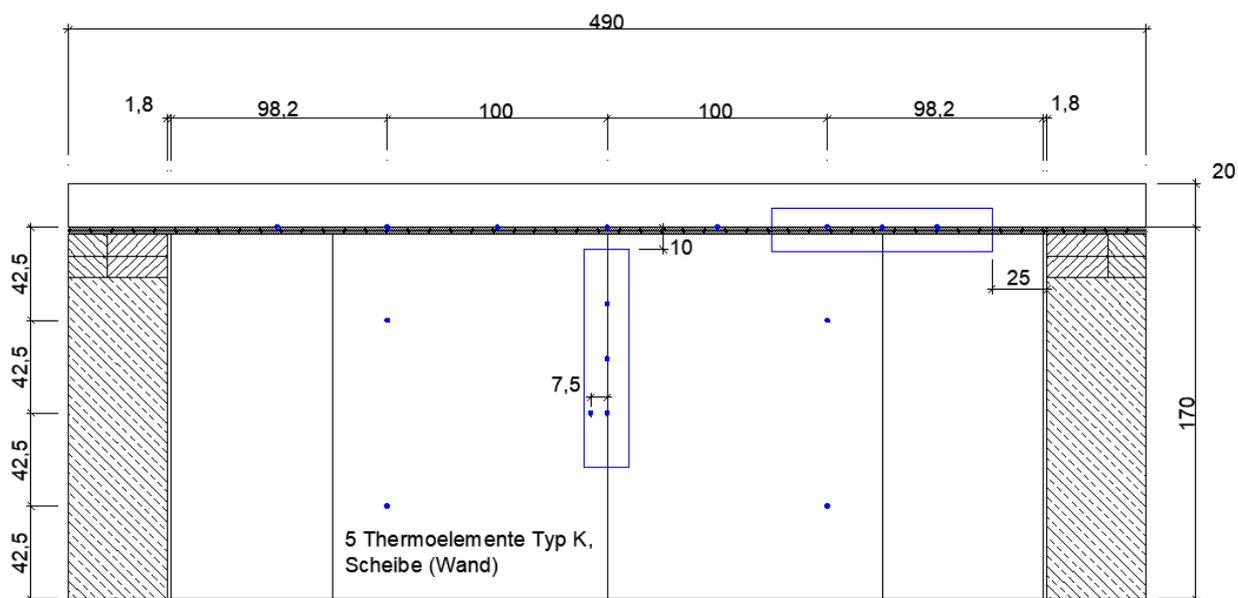


Abb. 6.188: Ansicht Wand, brandabgewandt

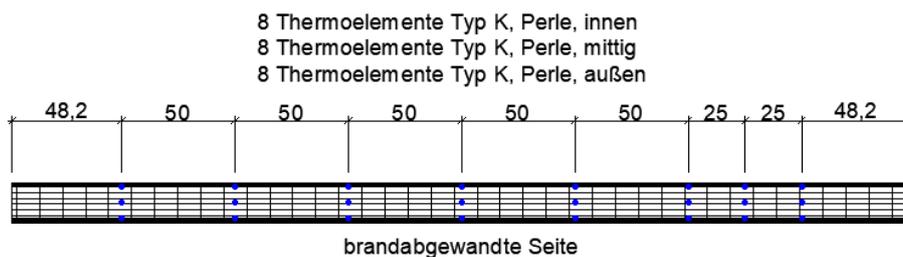


Abb. 6.189: Horizontal-Schnitt/Draufsicht Bauteilfuge

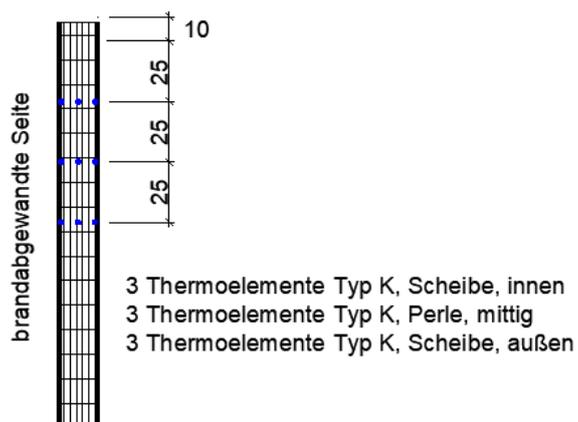


Abb. 6.190: Vertikal-Schnitt Elementfuge

### 6.7.1.2 Bauteilschichten

Tab. 6.35: Benennung der Bauteilschichten (Wand), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
W1	15 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf
W2	140 mm BSP-Element (40-20-20-20-40)	460 kg/m <sup>3</sup>	Nordlam GmbH
W3	15 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf

Tab. 6.36: Benennung der Bauteilschichten (Decke), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
D1	Stahlbetonvollplatte C20/25 XC1, Baustahl 500 S / 500 M, Betondeckung 35 mm, Herstelldatum: 13.07.2022	2.500 kg/m <sup>3</sup>	Preteq Fertigteilbau GmbH

Tab. 6.37: Weitere verwendete Materialien

Material	Beschreibung/Hersteller	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben	Würth	W1, W3
Spachtelmasse	Würth Fugen- und Flächenspachtel WLF	W1, W3
Mineralwolle	Rockwool Termarock 100, 100 kg/m <sup>3</sup> , Schmelztemperatur > 1.000°C	W2 20 mm Höhe aufgelegt auf 155 mm Wandtiefe, komprimiert auf 15 mm
Schrauben	Würth Assy	Verbindung zwischen STB-Decke (vorgebohrt) und BSP-Element

## 6.7.2 Versuchsparameter

Tab. 6.38: Versuchsdauer

Versuchsbeginn	Versuchsende	Versuchsdauer
10.11.2022, 13:00 Uhr	10.11.2022, 14:00 Uhr	60 min

### 6.7.2.1 Umgebungsbedingungen

Tab. 6.39: Umgebungsbedingungen bei Versuchsbeginn

Umgebungsdruck	Umgebungstemperatur	Luftfeuchte in %
1015 mbar	15 °C	18 % rh

### 6.7.2.2 Prüfbedingungen

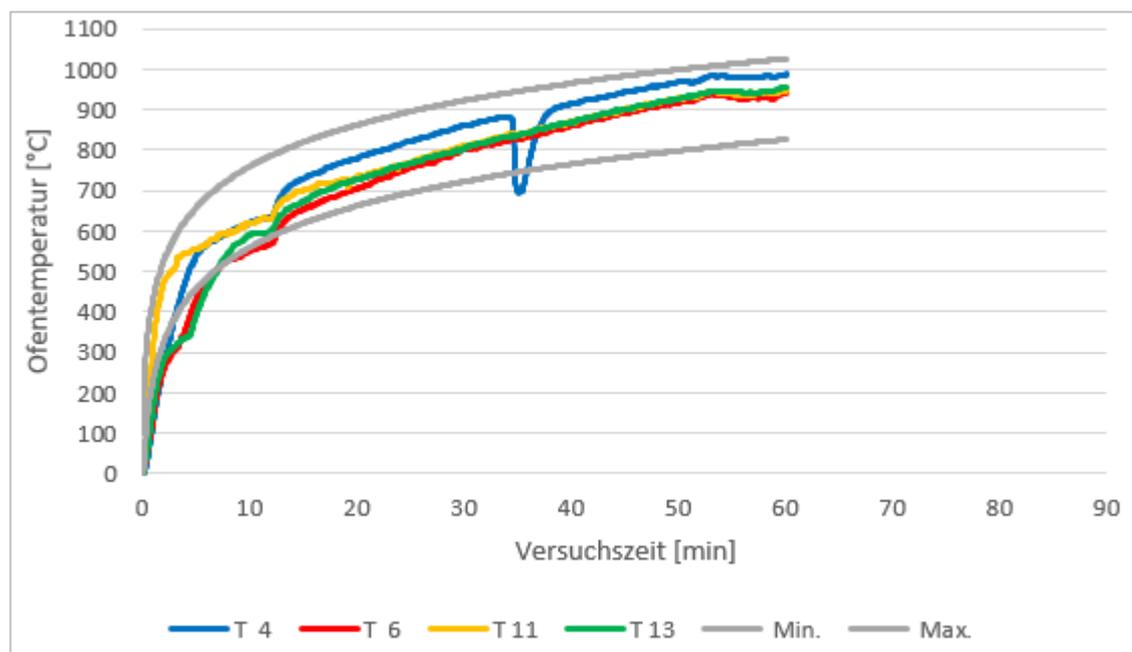


Abb. 6.191: Temperaturzeitkurve, Ofentemperatur

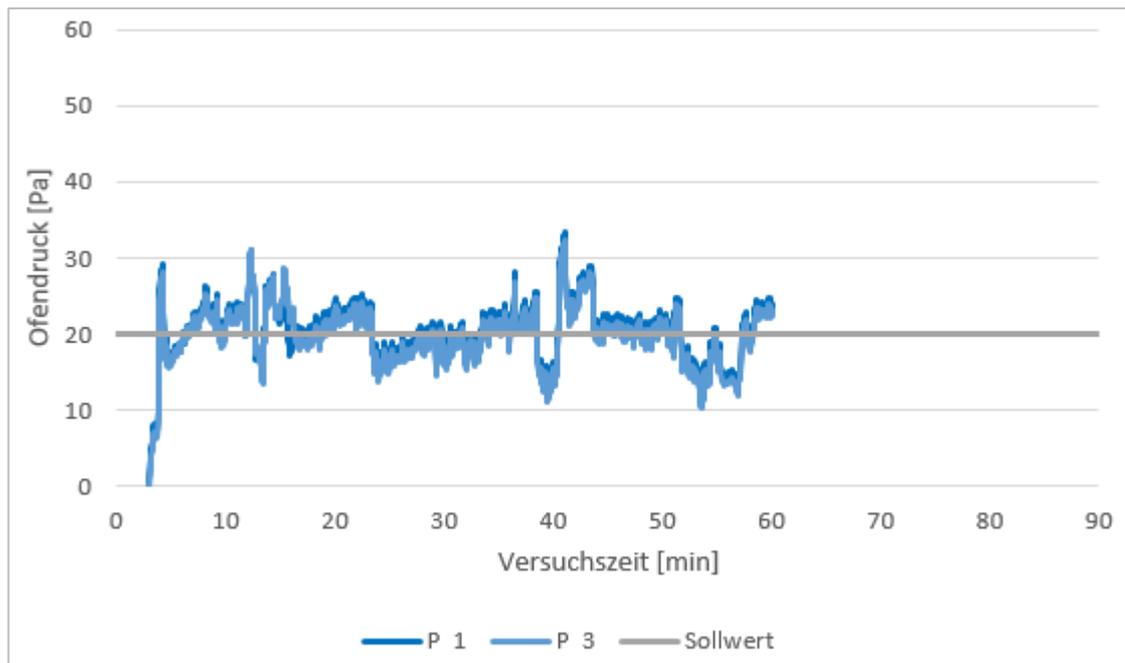


Abb. 6.192: Ofendruck

### 6.7.3 Auswertung

#### 6.7.3.1 Temperaturverläufe

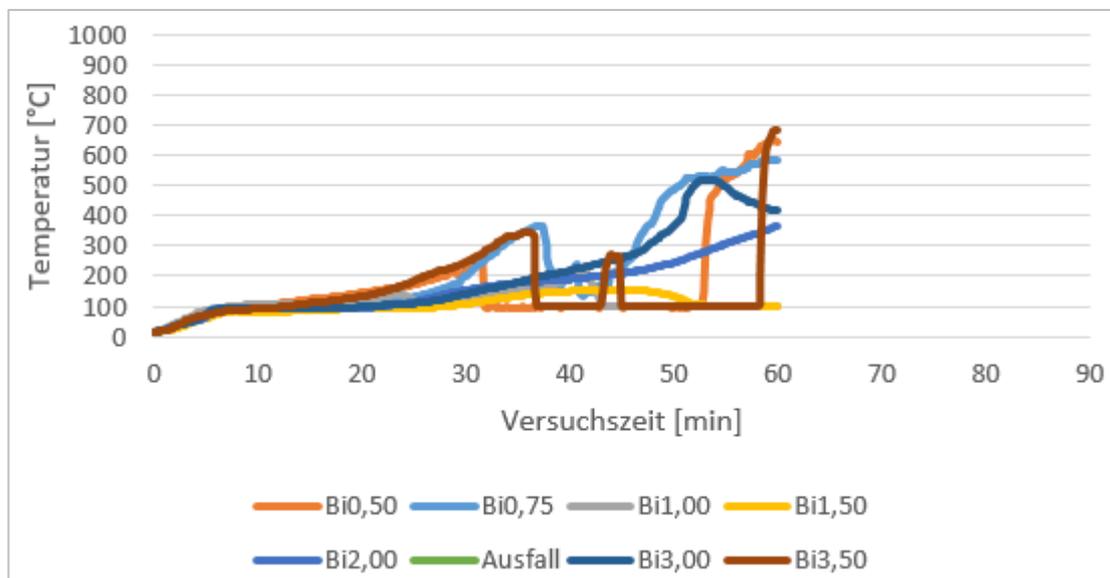


Abb. 6.193: Temperaturverlauf Bauteifuge innen unter Mineralwolle, brandzugewandt

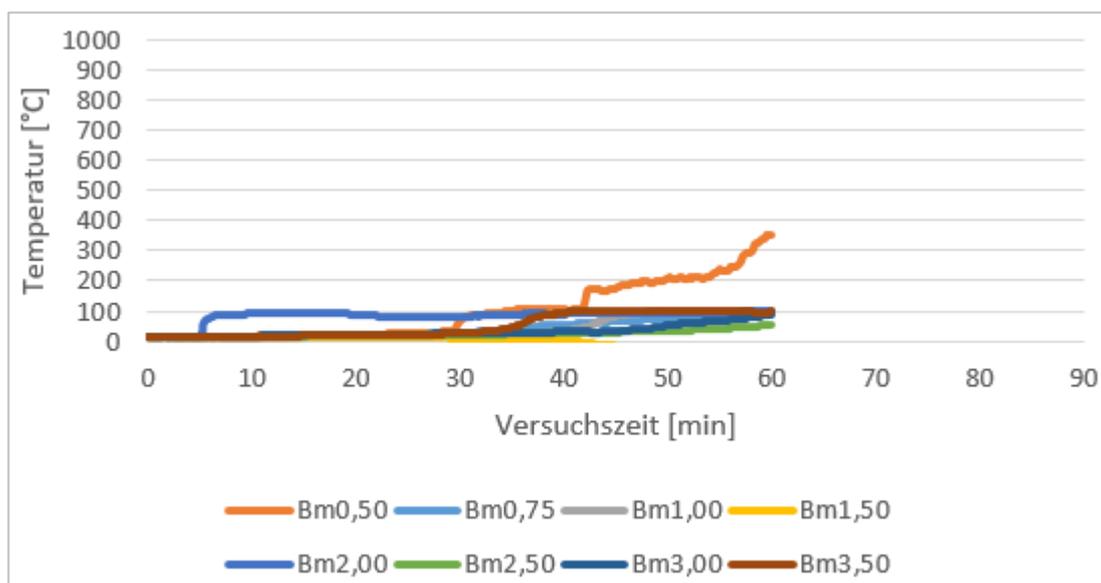


Abb. 6.194: Temperaturverlauf Bauteifuge mittig unter Mineralwolle

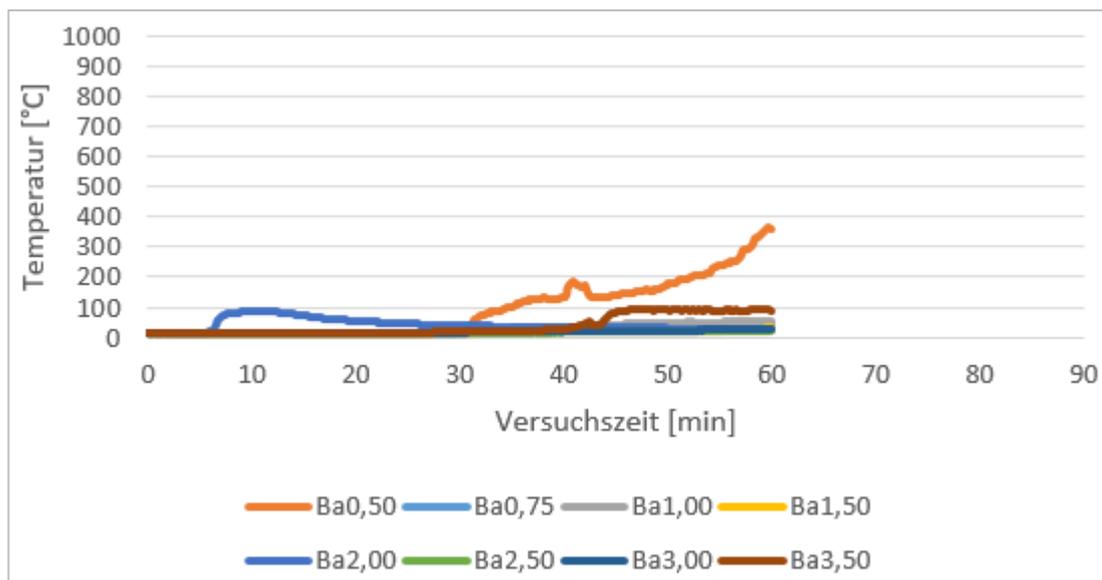


Abb. 6.195: Temperaturverlauf Bauteilfuge außen unter Mineralwolle, brandabgewandt

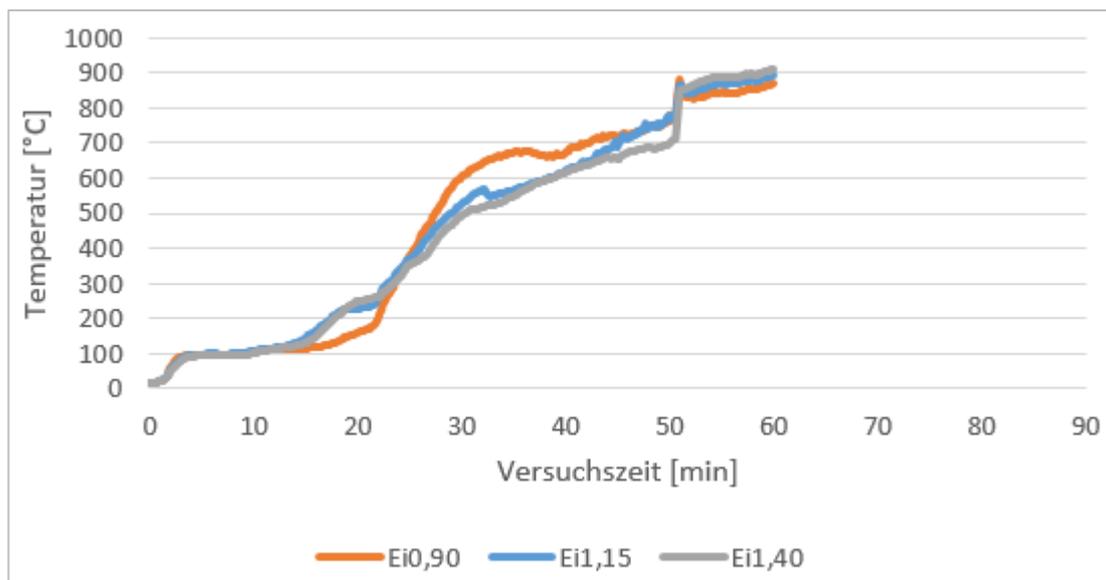


Abb. 6.196: Temperaturverlauf Elementfuge zwischen Bekleidung und BSP, brandzugewandt

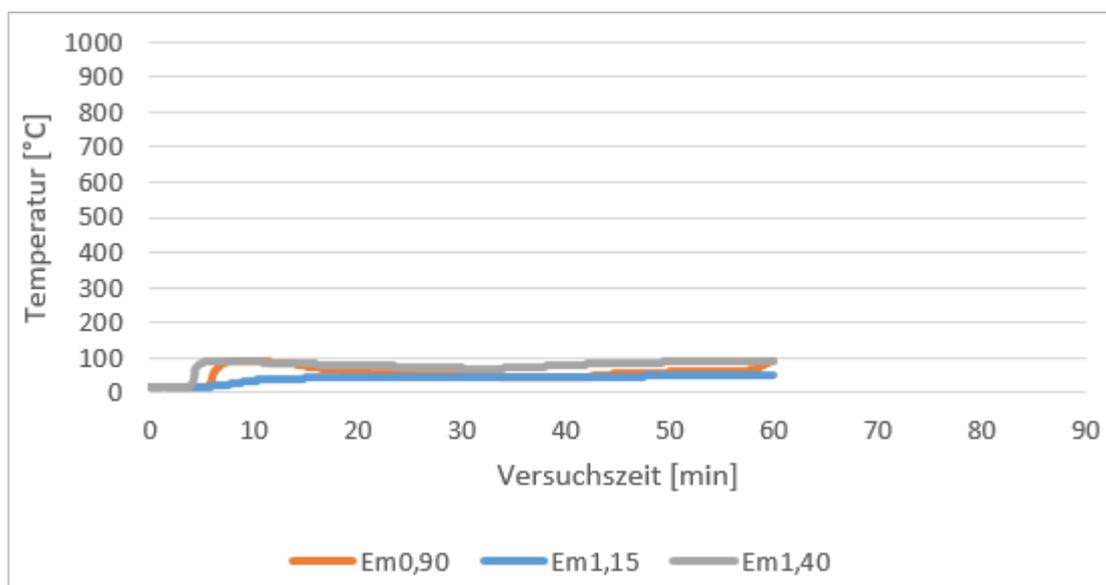


Abb. 6.197: Temperaturverlauf Elementfuge mittig im BSP-Element

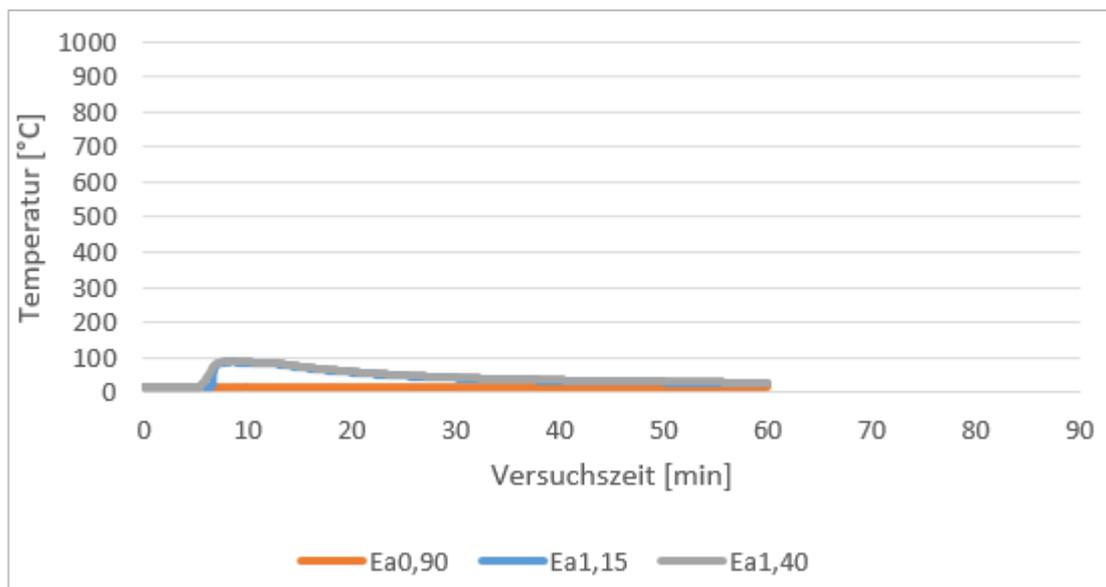


Abb. 6.198: Temperaturverlauf Elementfuge zwischen Bekleidung und BSP, brandabgewandt

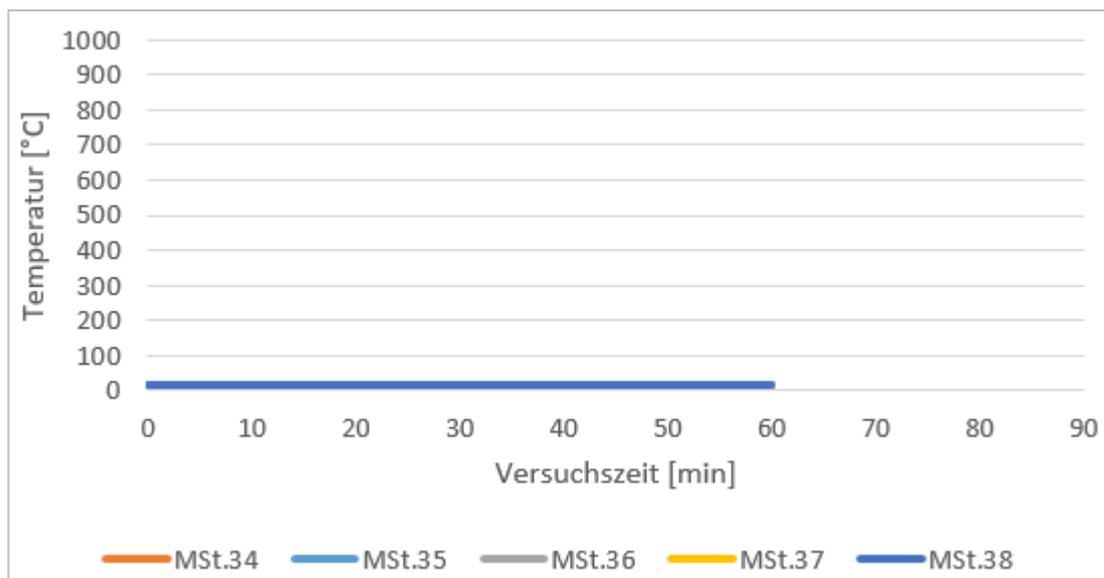


Abb. 6.199: Temperaturverlauf Wand, brandabgewandt

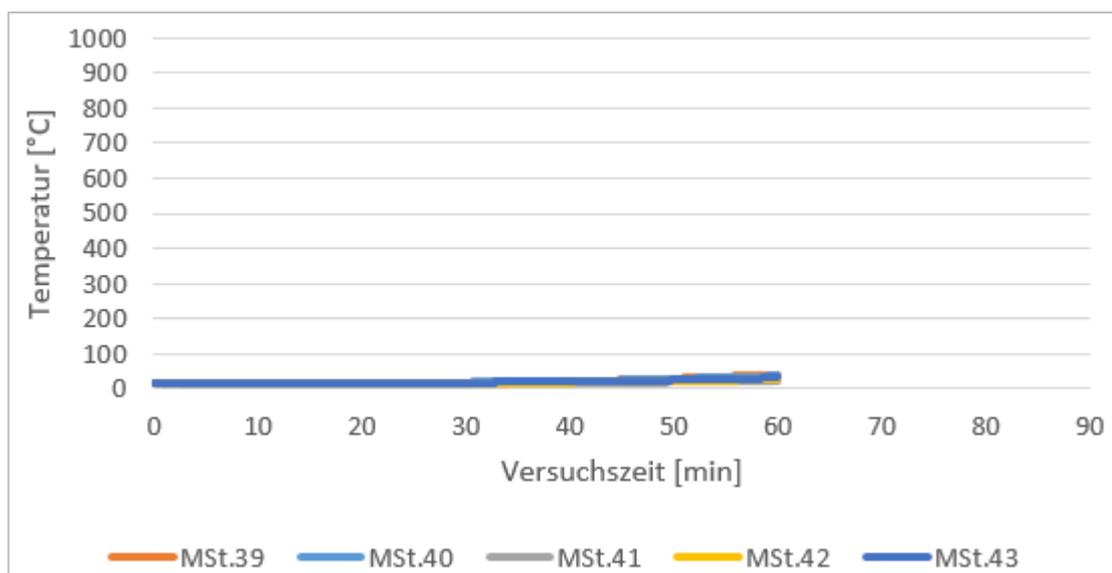


Abb. 6.200: Temperaturverlauf Decke, brandabgewandt

### 6.7.3.2 Deckenverformung

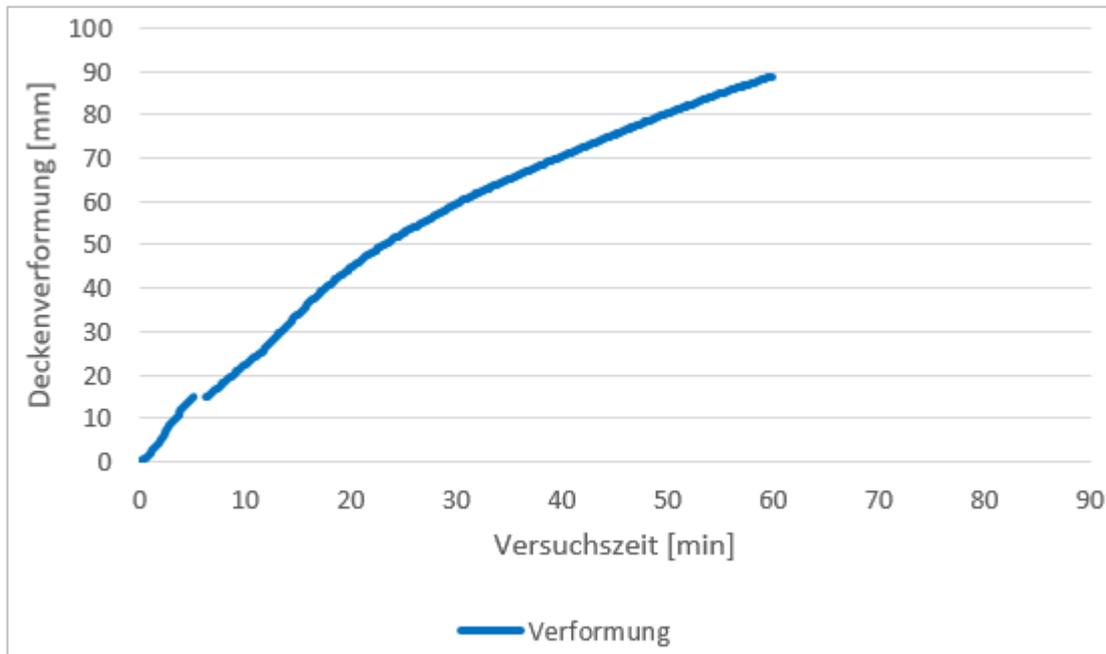


Abb. 6.201: Durchbiegung in Deckenmitte

### 6.7.3.3 Ergebnisse der Rauchgasanalytik

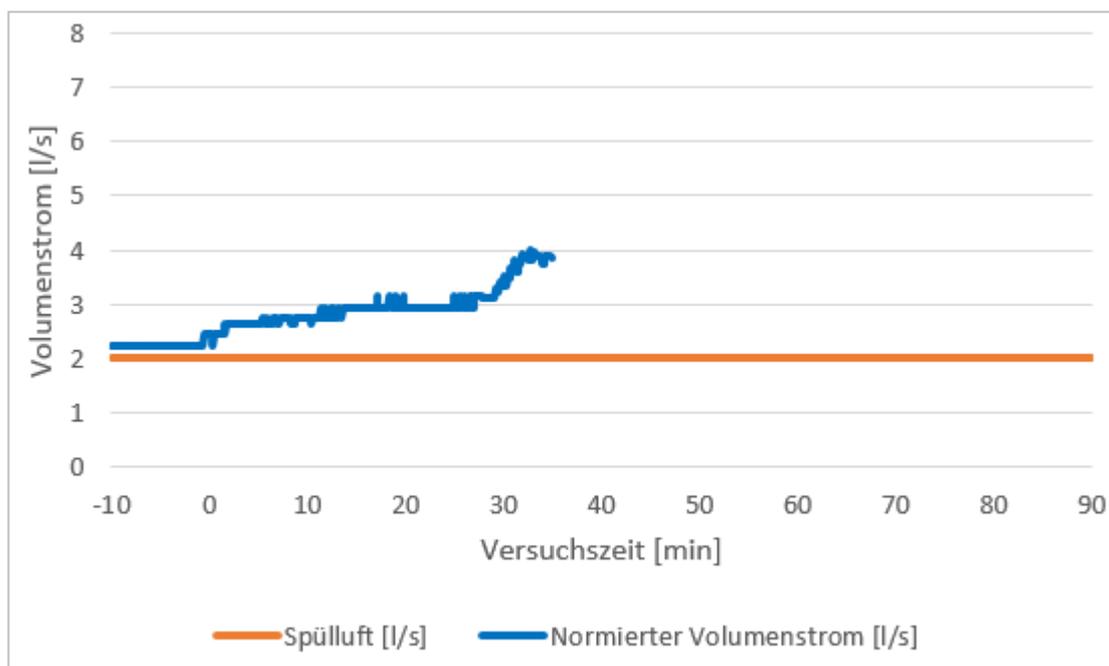


Abb. 6.202: Volumenstrom Bauteilfuge

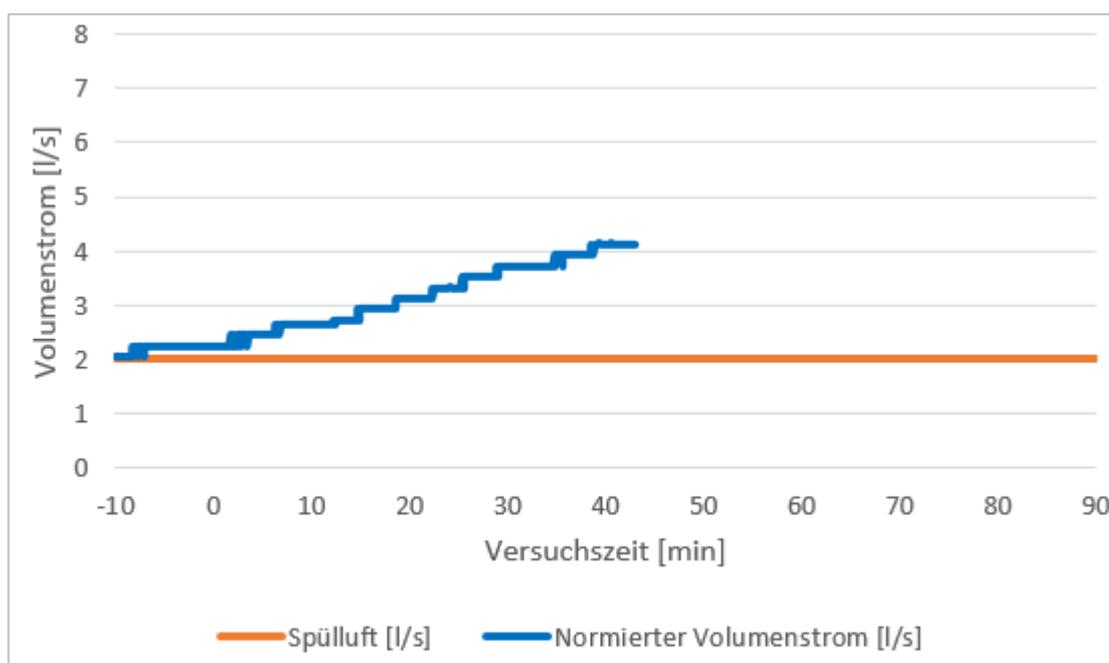


Abb. 6.203: Volumenstrom Elementfuge

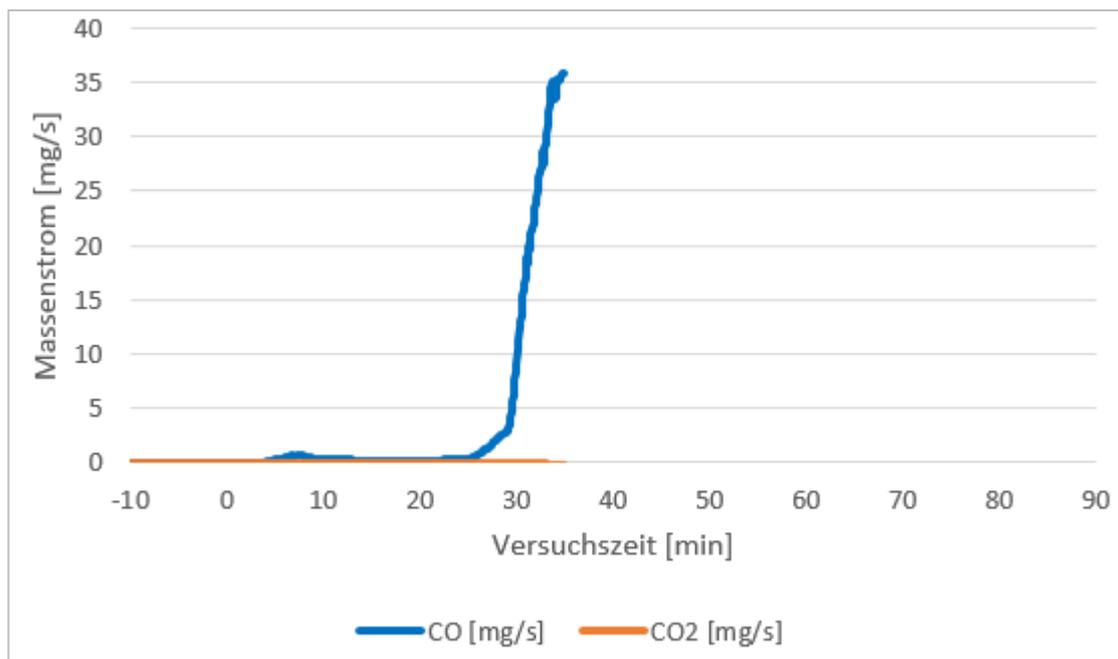


Abb. 6.204: Massenströme Bauteilfuge CO, CO<sub>2</sub>

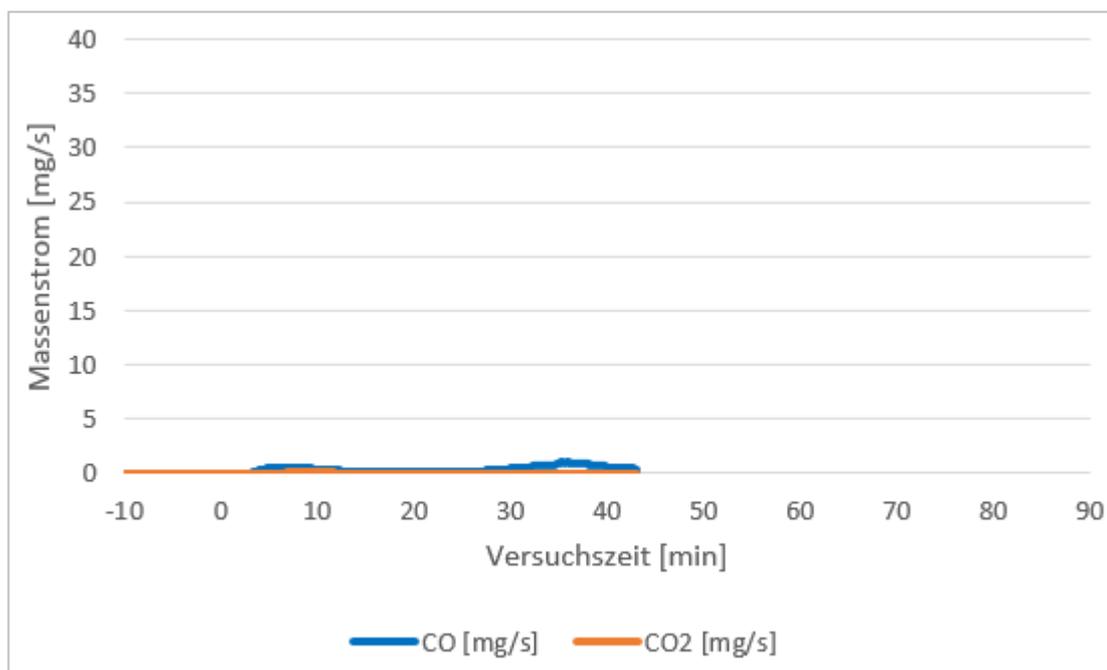


Abb. 6.205: Massenströme Elementfuge CO, CO<sub>2</sub>

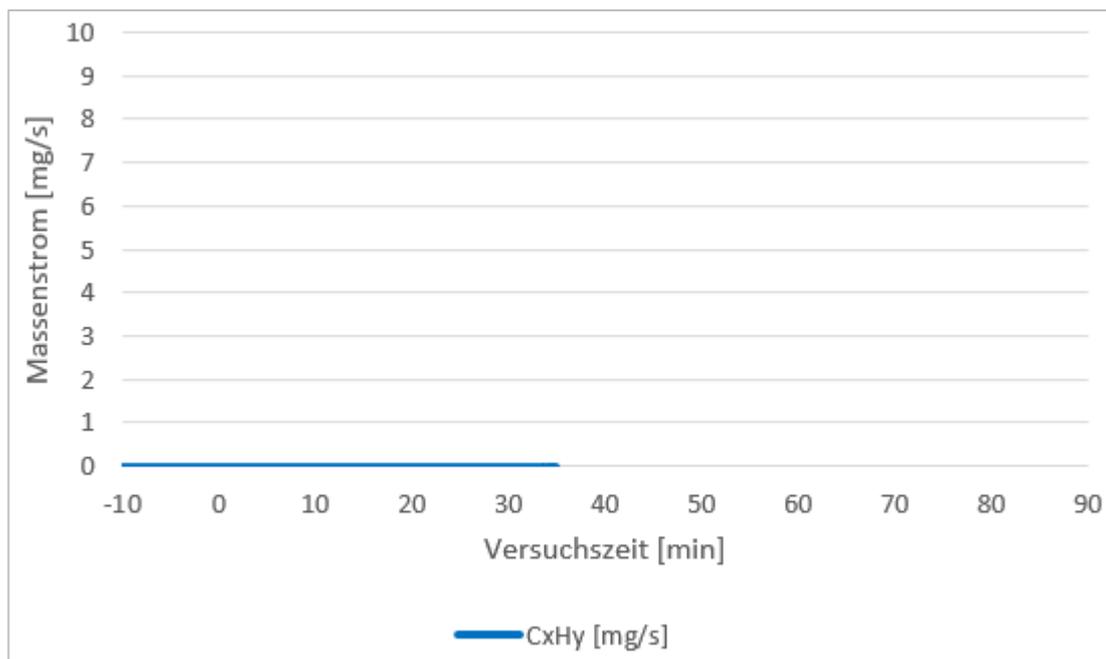


Abb. 6.206: Massenstrom Bauteilfuge CxHy

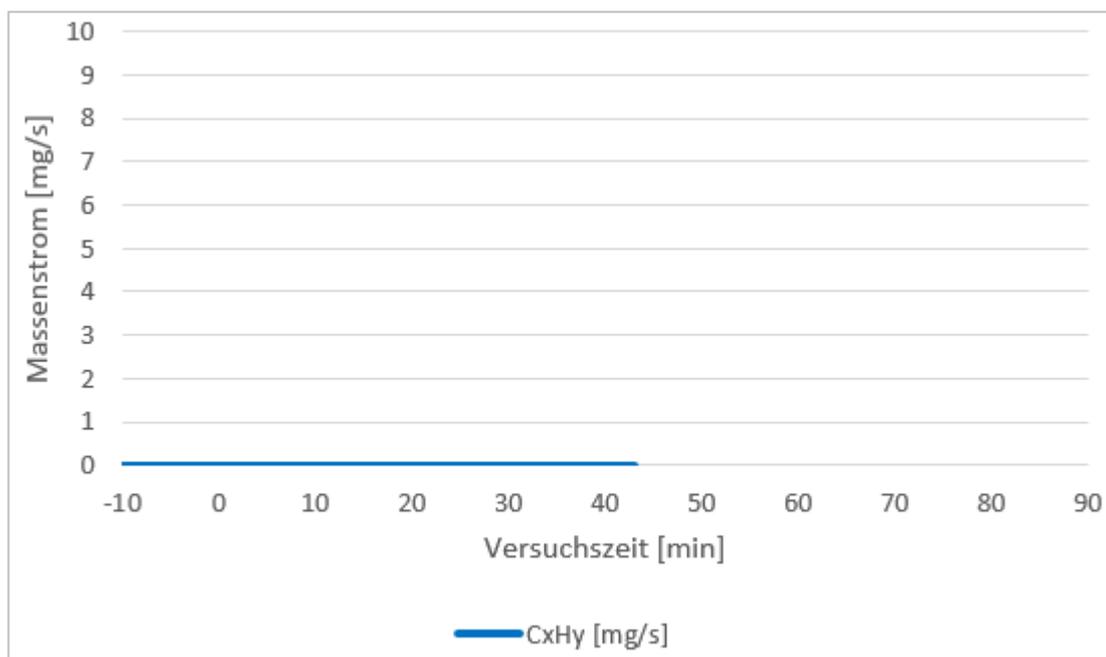


Abb. 6.207: Massenstrom Elementfuge CxHy

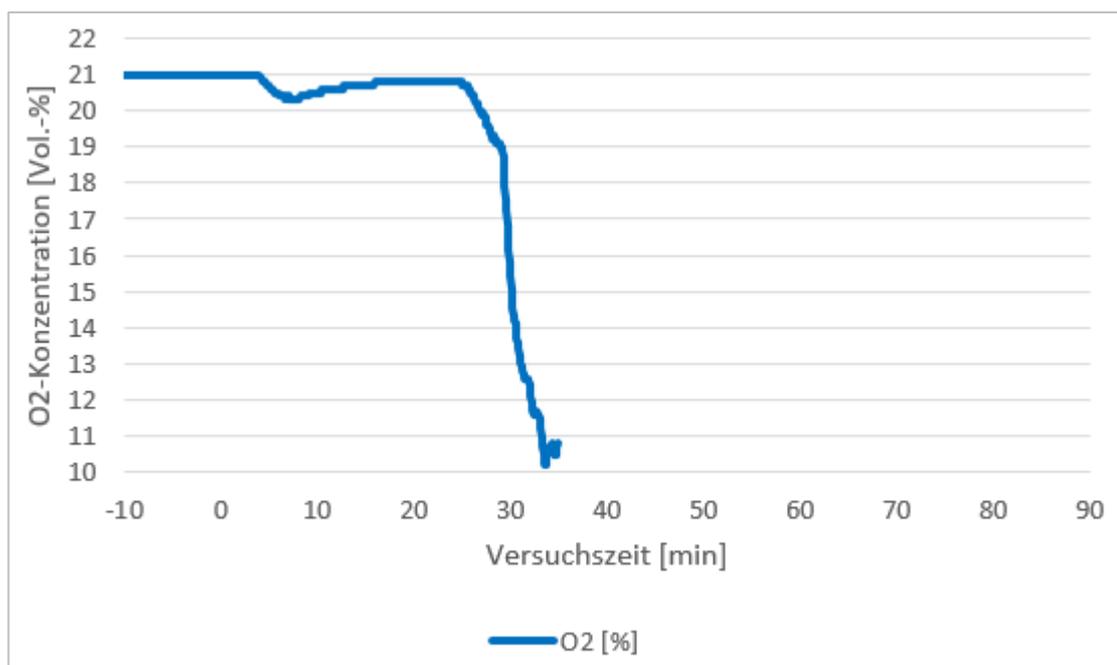


Abb. 6.208: Sauerstoffkonzentration Bauteilfuge

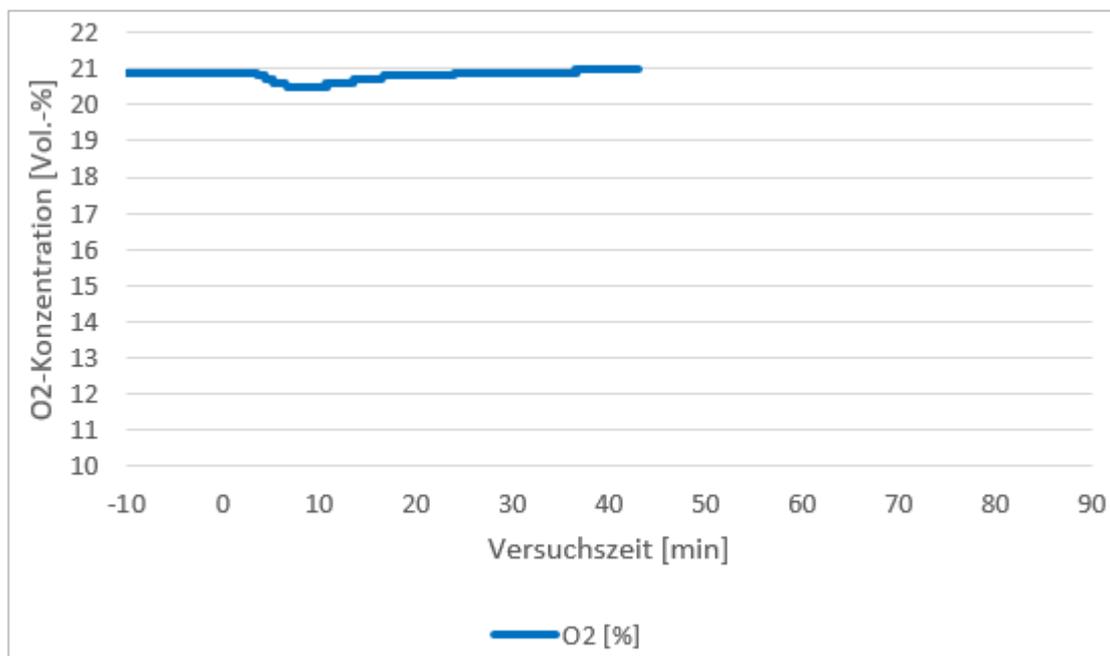


Abb. 6.209: Sauerstoffkonzentration Elementfuge

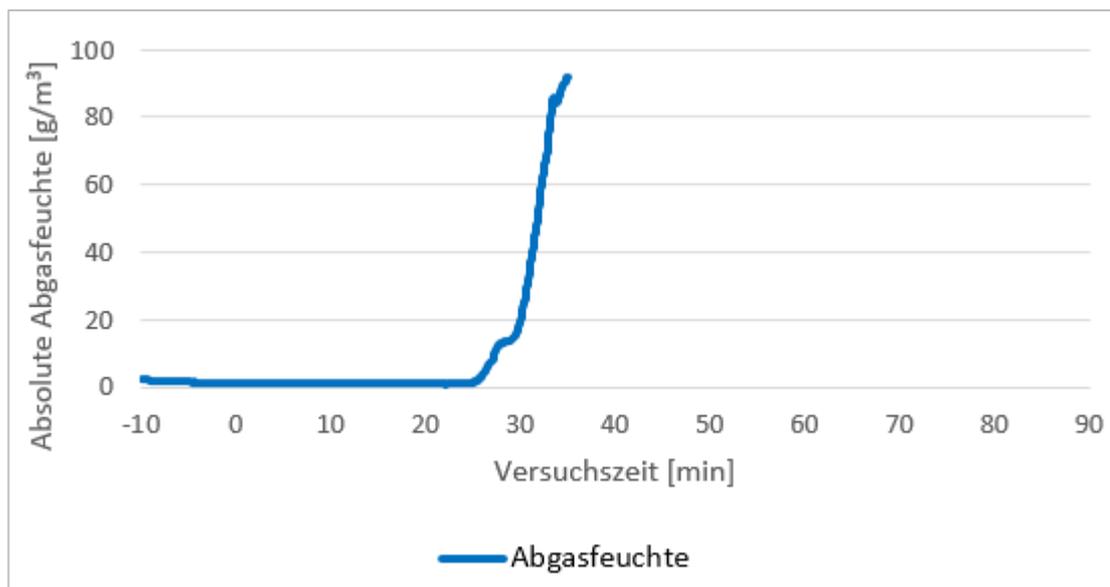


Abb. 6.210: Absolute Abgasfeuchte Bauteilfuge

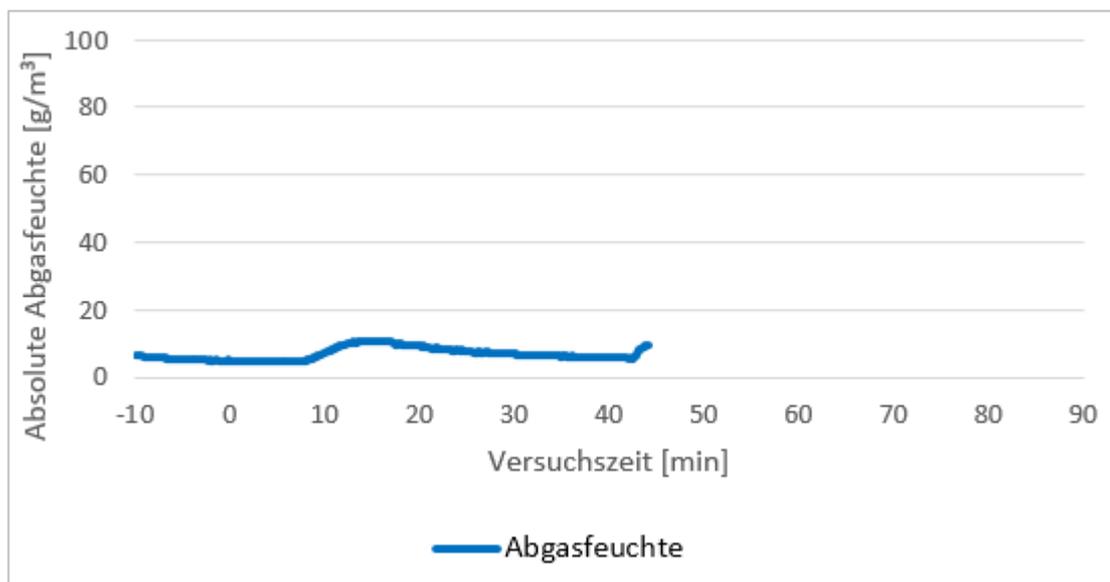


Abb. 6.211: Absolute Abgasfeuchte Elementfuge

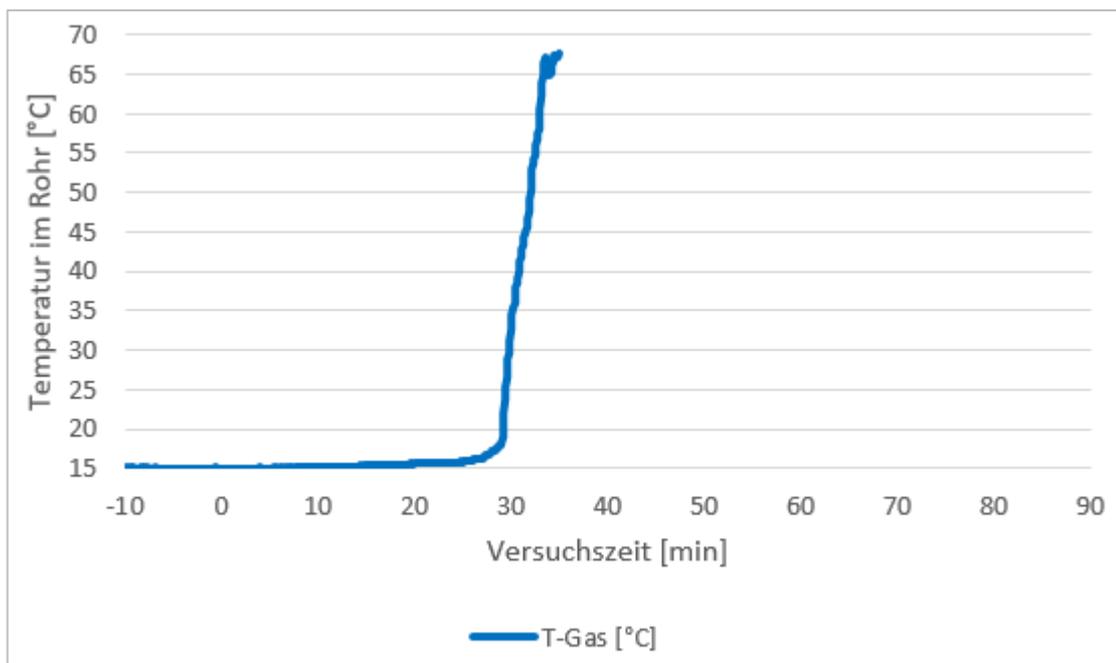


Abb. 6.212: Rauchgastemperatur Bauteilfuge

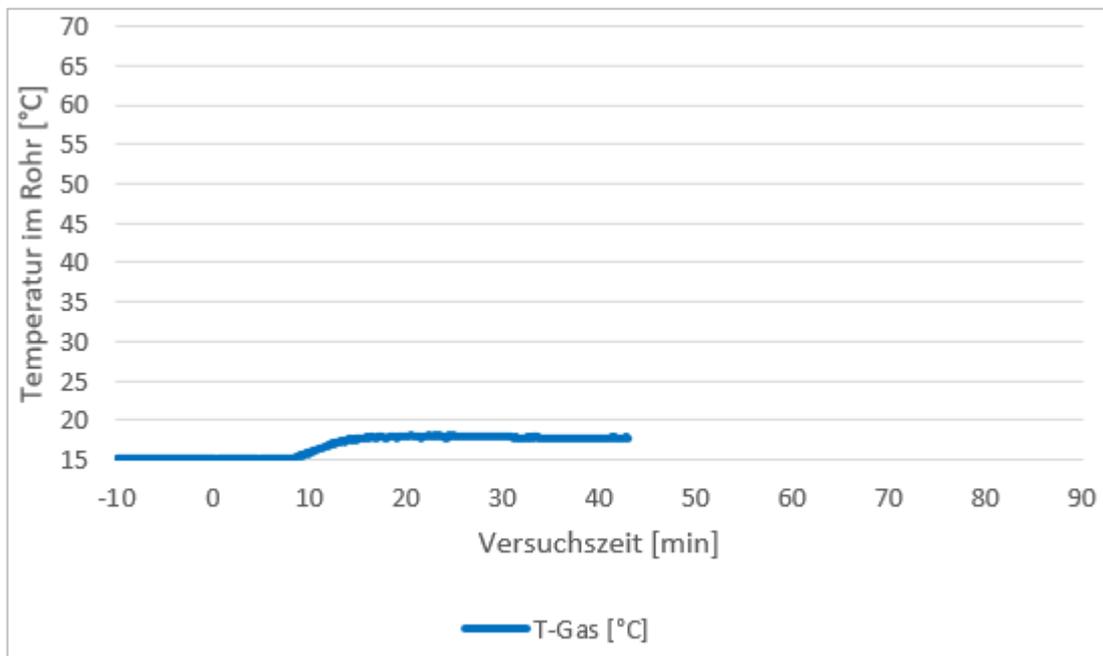


Abb. 6.213: Rauchgastemperatur Elementfuge

### 6.7.3.4 Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Tab. 6.40: Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Brandminute	Ereignis	Foto dokumentiert
(-11.)	Totlasten aufgebracht (Befüllung IBC's)	
3.	Rauchaustritt durch hintere Deckenfuge	
7.	Rauchaustritt durch Bauteilfuge mittig über RAK-Elementfuge	
12.	Abplatzungen des Betons hörbar	
14.	Deckenverformung: Aufklaffen der Auflager	
25.	CO-Warner am Körper alarmiert, Hallenabluft eingeschaltet/geöffnet	
27.	Abreißen der Silikonfuge RAK-Bauteilfuge	X
28.	Fenster des RAK-Bauteilfuge ist beschlagen	
30.	Feuerschein durch Bauteilfuge im RAK-Bauteilfuge	X
35.	Messtechnik des RAK-Bauteilfuge zur Schonung abgebaut	
43.	Messtechnik des RAK-Elementfuge zur Schonung abgebaut	
50.	CO-Warner am Körper alarmiert, Versuchshalle wird zum Eigenschutz verlassen	X
60.	Versuchsabbruch	

### 6.7.3.5 Fotodokumentation



Abb. 6.214: Bauteilfuge mit komprimierter Mineralwolle (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.215: Probekörper brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.216: Probekörper brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.217: Deckenverformung und Abreißen Silikonfuge am RAK-Bauteilfuge (27. Brandminute)



Abb. 6.218: Feuerschein durch Bauteilfuge am RAK-Bauteilfuge (30. Brandminute)



Abb. 6.219: Auslösung CO-Warner und Verlassen der Versuchshalle (50. Brandminute)



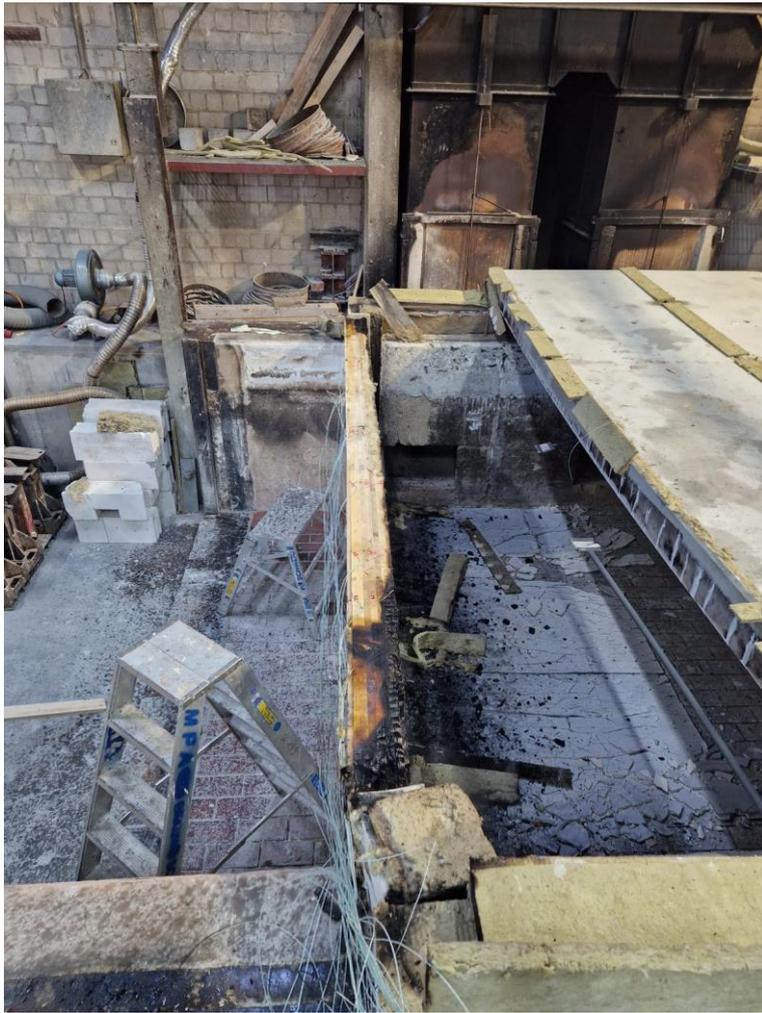
Abb. 6.220: Probekörper brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



Abb. 6.221: Probekörper (Wand) brandzugewandte Seite (nach Versuchsende)



*Abb. 6.222: Unterseite Decke im Bereich der Bauteilfuge (nach Versuchsende)*



*Abb. 6.223: Auflagerfläche der Wand zur Bauteilfuge (nach Versuchsende)*

## 6.8 Protokoll Versuch 8 (BSP-BSH)

### 6.8.1 Versuchsaufbau

#### 6.8.1.1 Detailzeichnungen

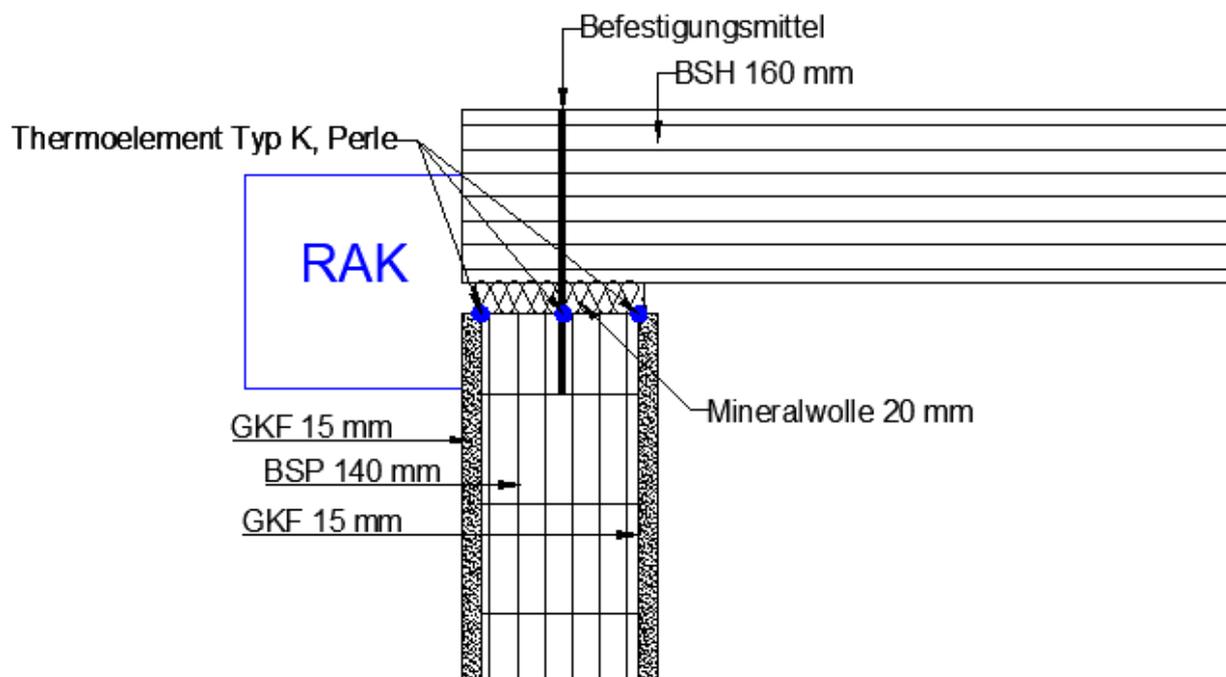


Abb. 6.224: Vertikal-Schnitt Bauteilanschluss im Detail

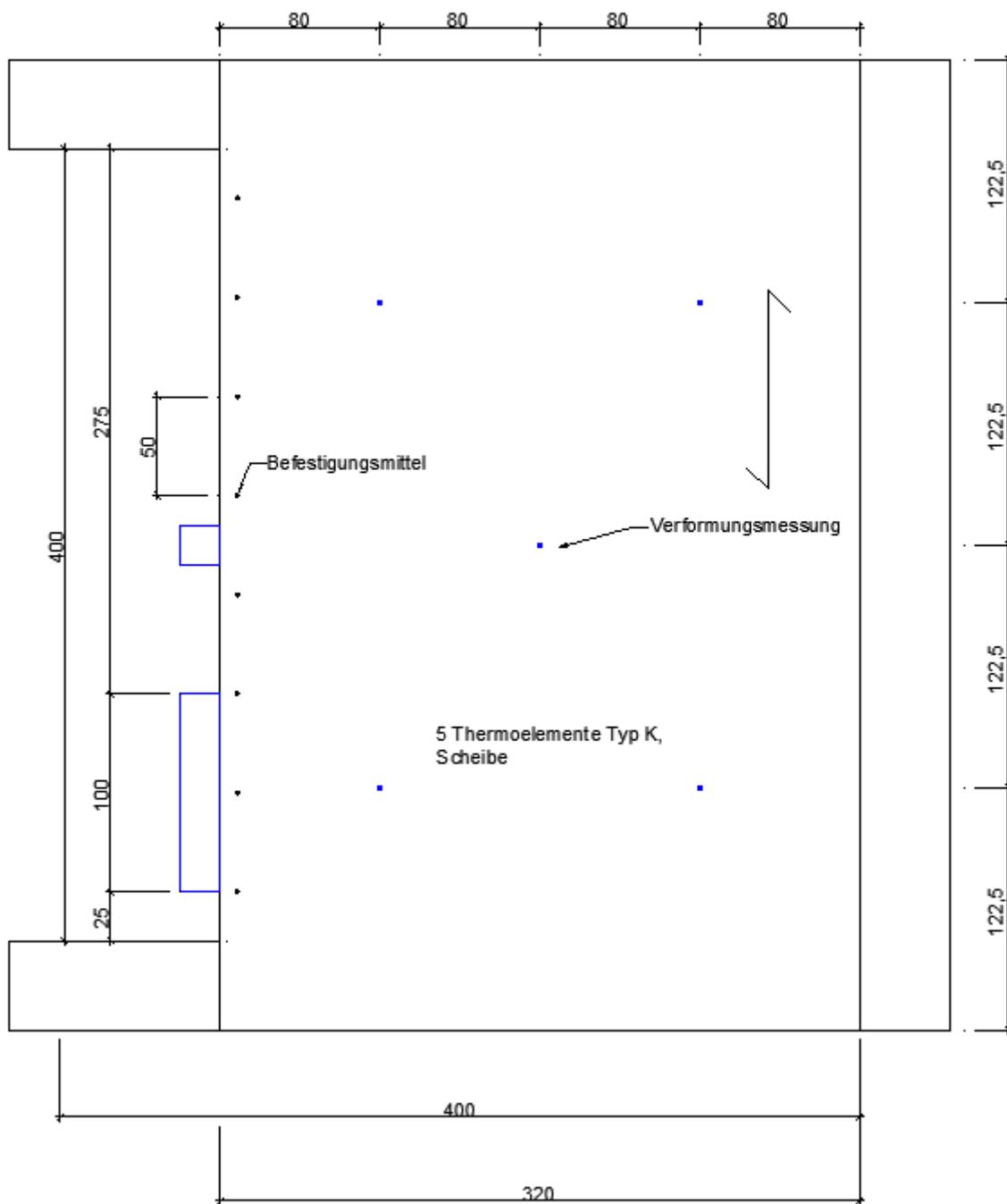


Abb. 6.225: Draufsicht Brandofen/Decke, brandabgewandt

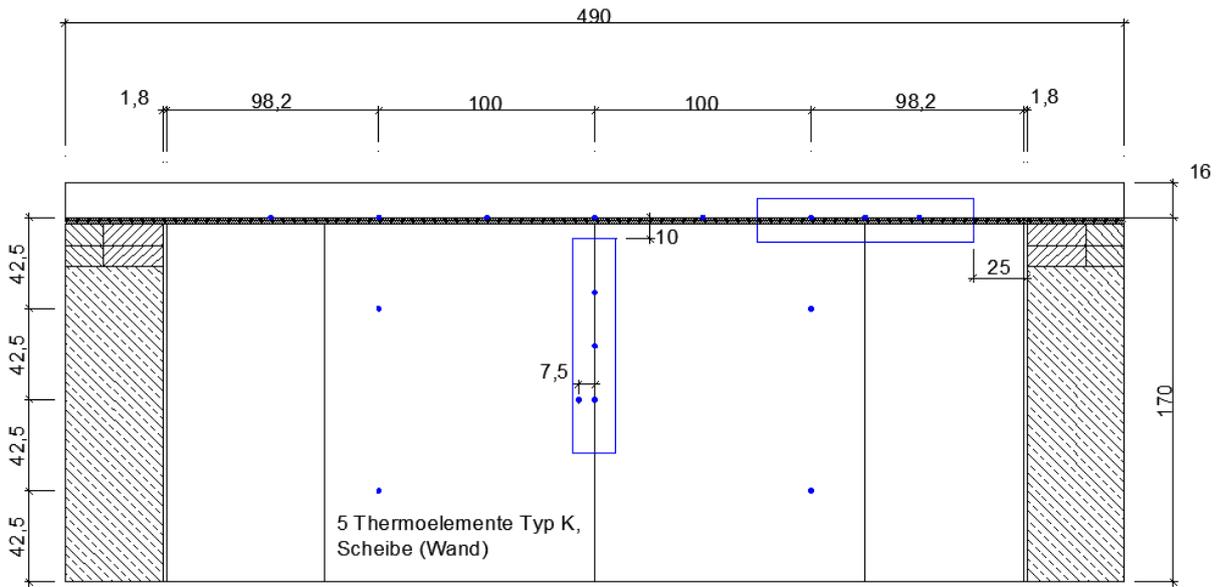


Abb. 6.226: Ansicht Wand, brandabgewandt

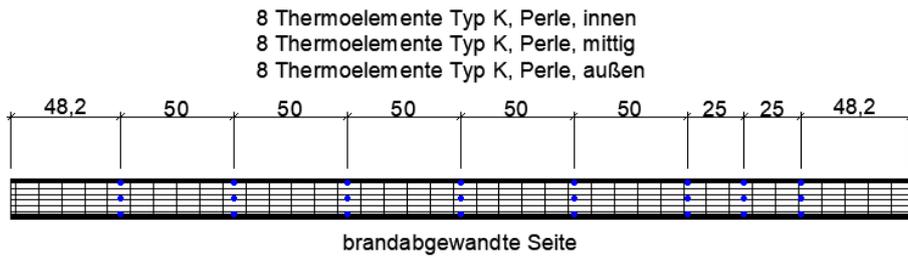


Abb. 6.227: Horizontal-Schnitt/Draufsicht Bauteilfuge

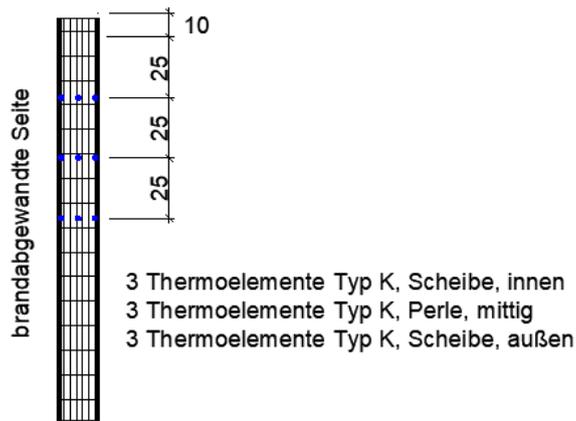


Abb. 6.228: Vertikal-Schnitt Elementfuge

### 6.8.1.2 Bauteilschichten

Tab. 6.41: Benennung der Bauteilschichten (Wand), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
W1	15 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf
W2	140 mm BSP-Element (40-20-20-20-40)	460 kg/m <sup>3</sup>	Nordlam GmbH
W3	15 mm Feuerschutzplatte	816 kg/m <sup>3</sup>	Knauf

Tab. 6.42: Benennung der Bauteilschichten (Decke), brandzugewandt nach brandabgewandt

Schicht Nummer	Name	Rohdichte	Beschreibung/Hersteller
D1	160 mm BSH-Element GL24h	380 kg/m <sup>3</sup>	Nordlam GmbH

Tab. 6.43: Weitere verwendete Materialien

Material	Beschreibung/Hersteller	verwendet in Schicht
Schnellbauschrauben	Würth	W1, W3
Spachtelmasse	Knauf Fugenfüller Leicht	W1, W3
Mineralwolle	Rockwool Termarock 100, 100 kg/m <sup>3</sup> , Schmelztemperatur > 1.000°C	W2 20 mm Höhe aufgelegt auf 155 mm Wandtiefe, komprimiert auf 15 mm
Schrauben	Würth Assy	Verbindung zwischen BSH- und BSP-Element

## 6.8.2 Versuchsparameter

Tab. 6.44: Versuchsdauer

Versuchsbeginn	Versuchsende	Versuchsdauer
08.11.2022, 13:30 Uhr	08.11.2022, 15:00 Uhr	90 min

### 6.8.2.1 Umgebungsbedingungen

Tab. 6.45: Umgebungsbedingungen bei Versuchsbeginn

Umgebungsdruck	Umgebungstemperatur	Luftfeuchte in %
1002 mbar	15 °C	21 % rh

### 6.8.2.2 Prüfbedingungen

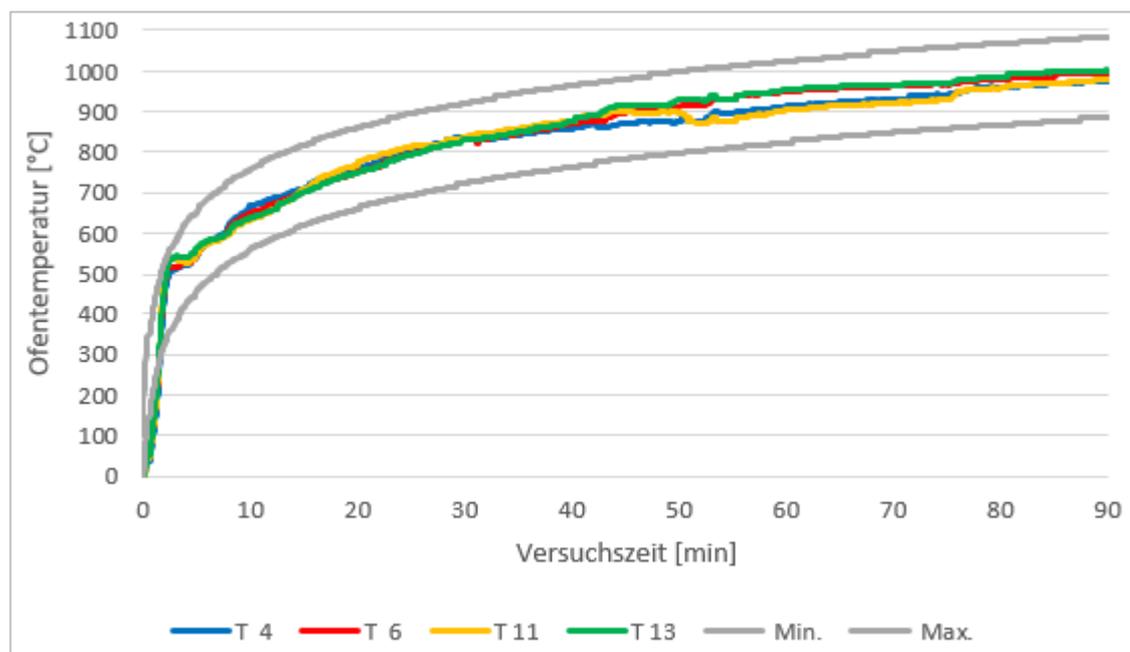


Abb. 6.229: Temperaturzeitkurve, Ofentemperatur

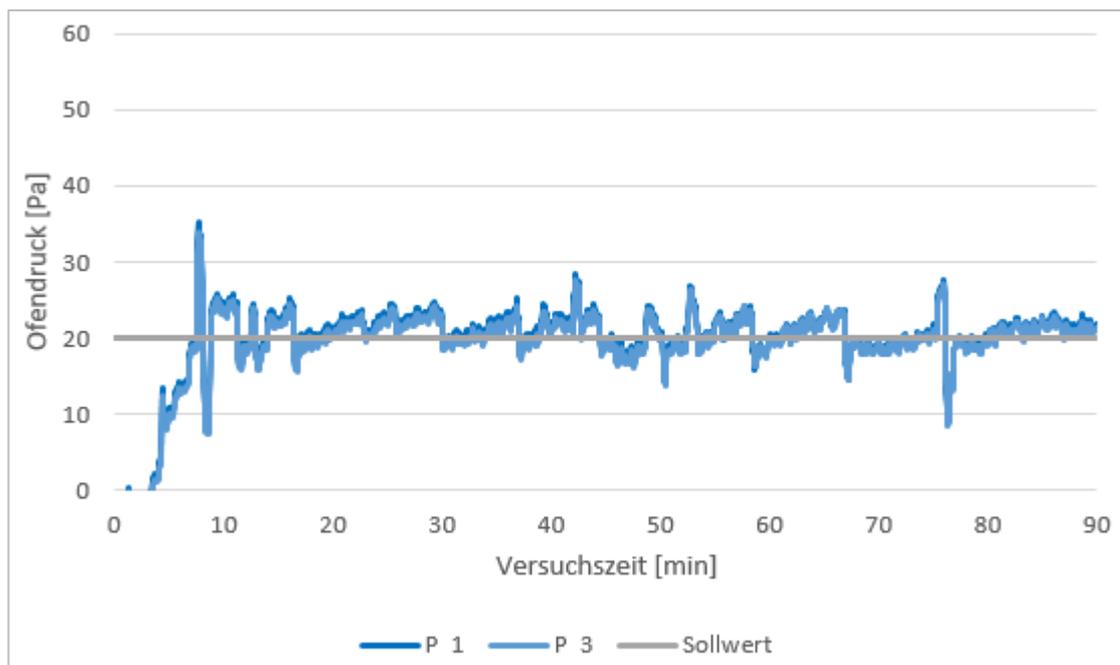


Abb. 6.230: Ofendruck

### 6.8.3 Auswertung

#### 6.8.3.1 Temperaturverläufe

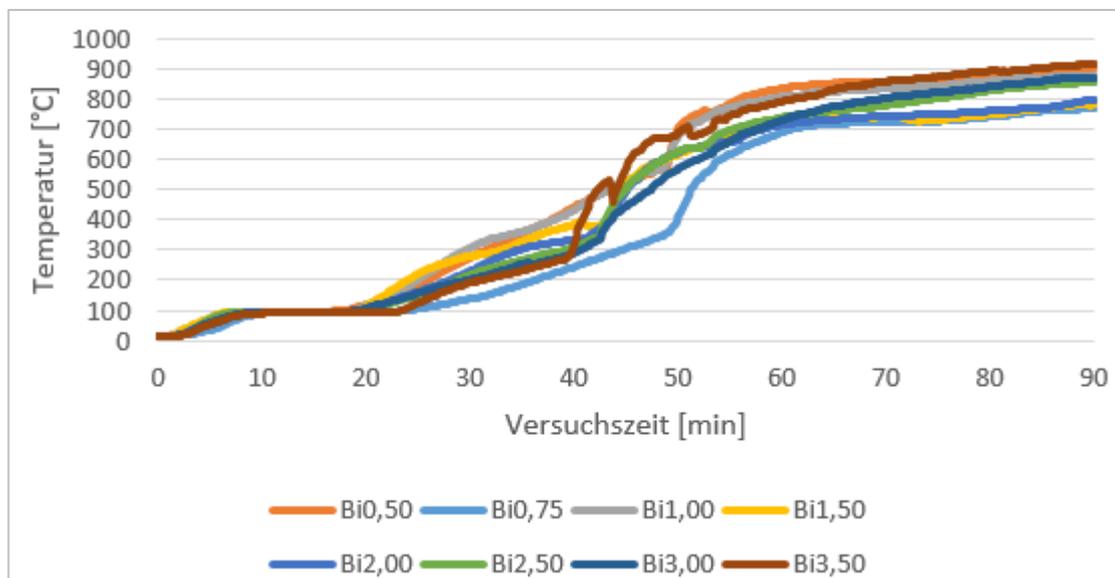


Abb. 6.231: Temperaturverlauf Bauteiffuge innen unter Mineralwolle, brandzugewandt

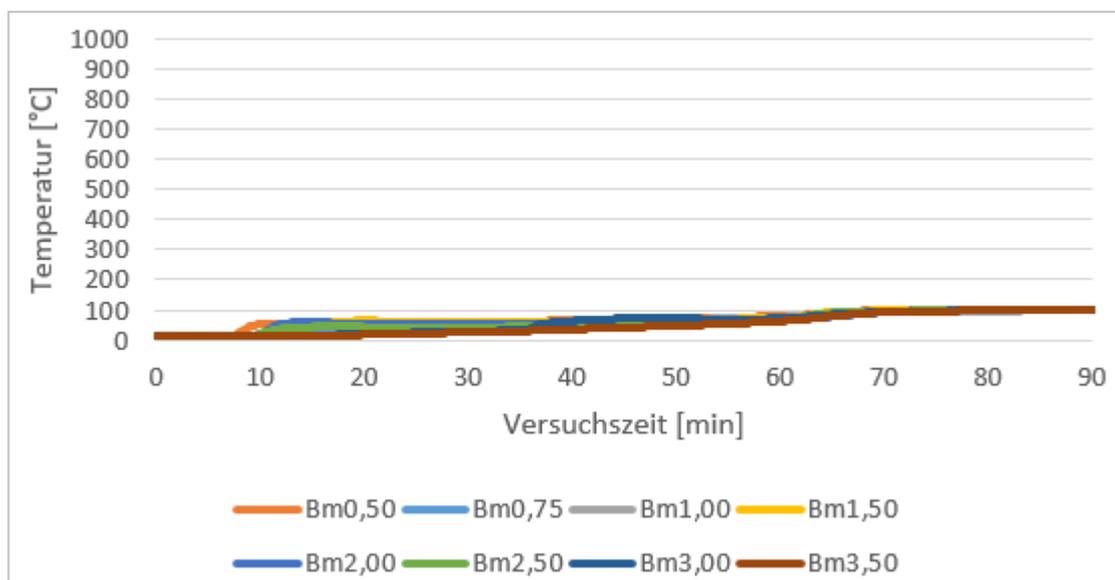


Abb. 6.232: Temperaturverlauf Bauteiffuge mittig unter Mineralwolle

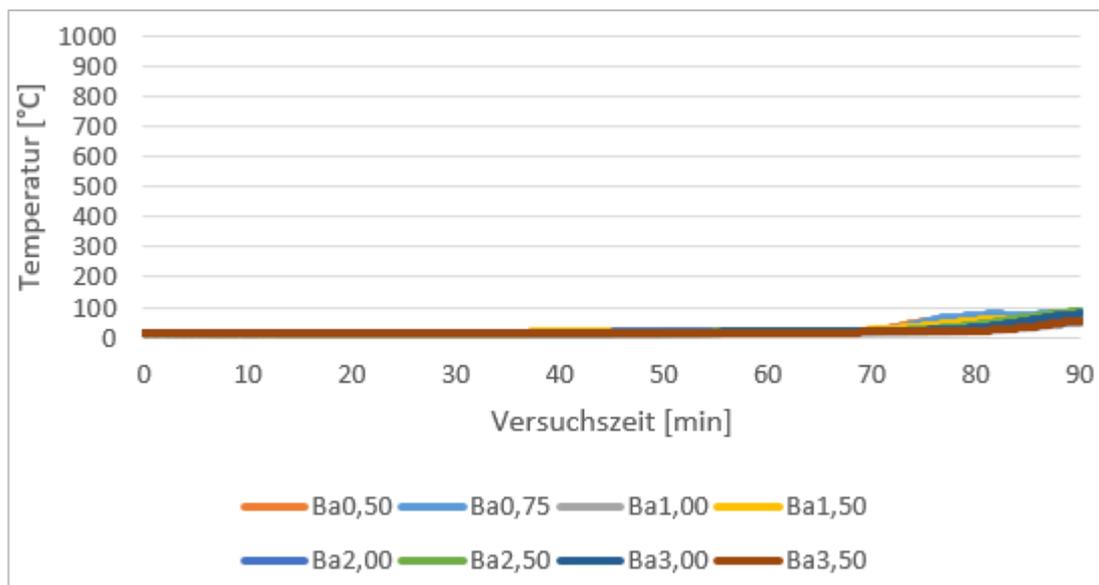


Abb. 6.233: Temperaturverlauf Bauteilfuge außen unter Mineralwolle, brandabgewandt

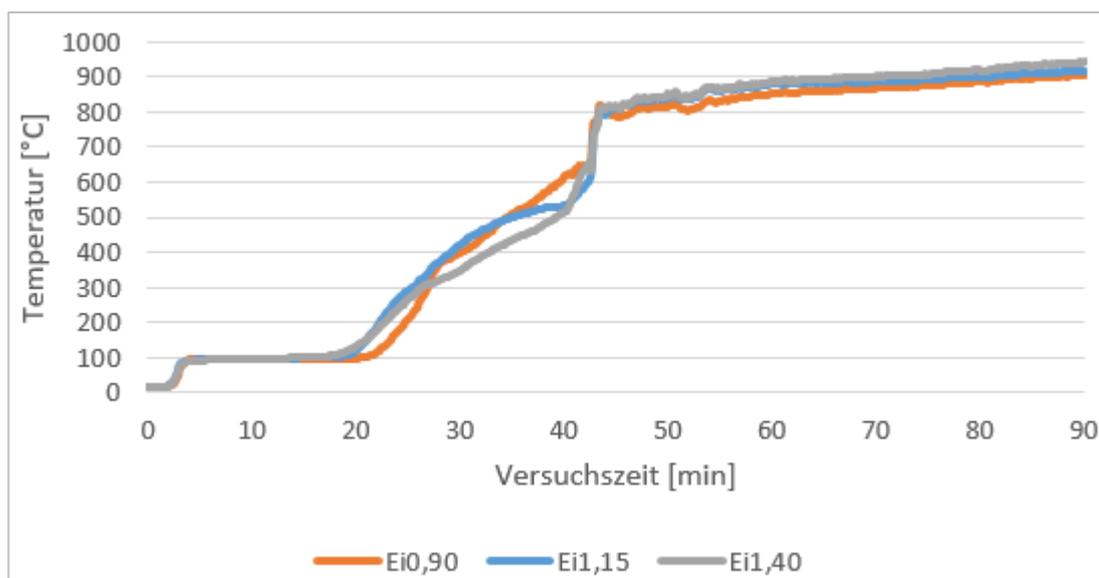


Abb. 6.234: Temperaturverlauf Elementfuge zwischen Bekleidung und BSP, brandzugewandt

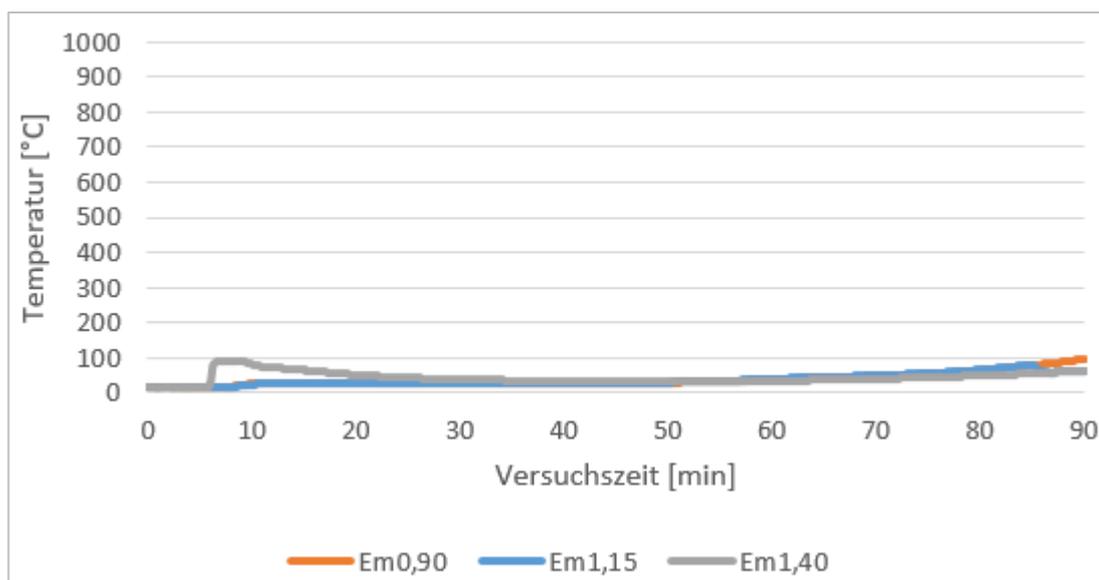


Abb. 6.235: Temperaturverlauf Elementfuge mittig im BSP-Element

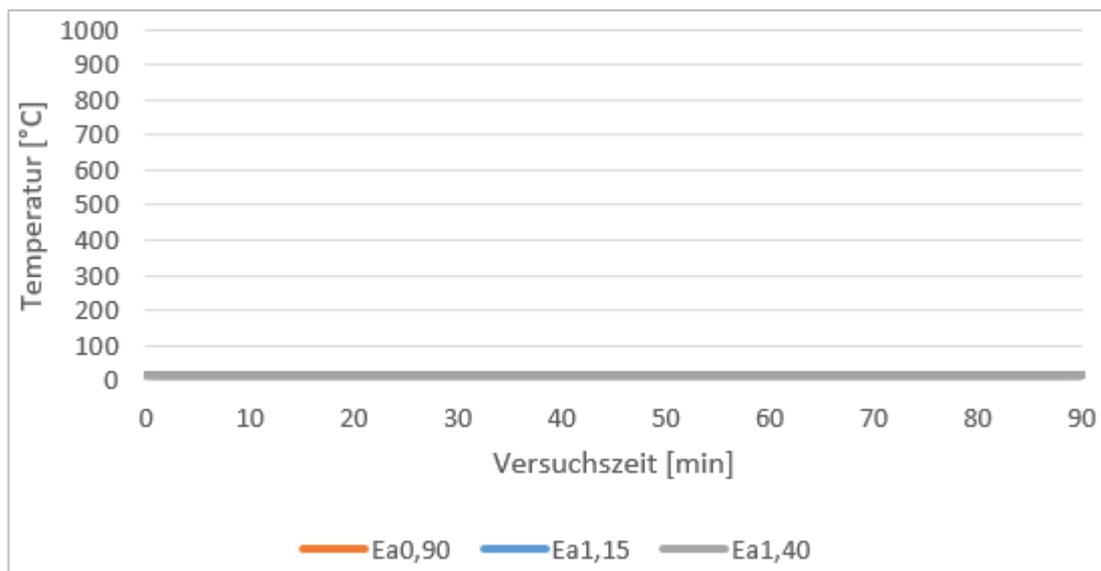


Abb. 6.236: Temperaturverlauf Elementfuge zwischen Bekleidung und BSP, brandabgewandt

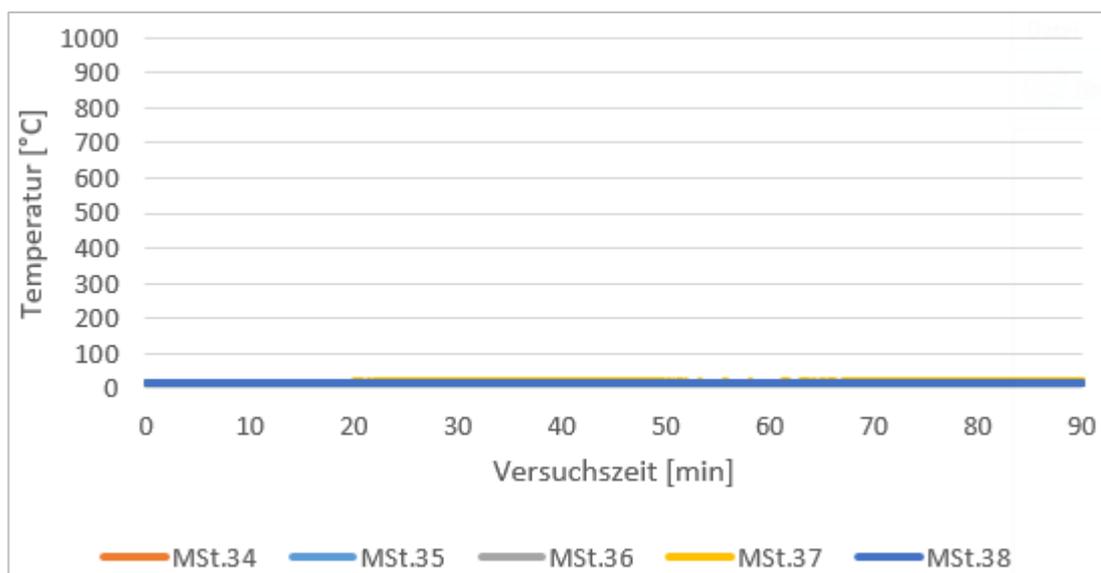


Abb. 6.237: Temperaturverlauf Wand, brandabgewandt

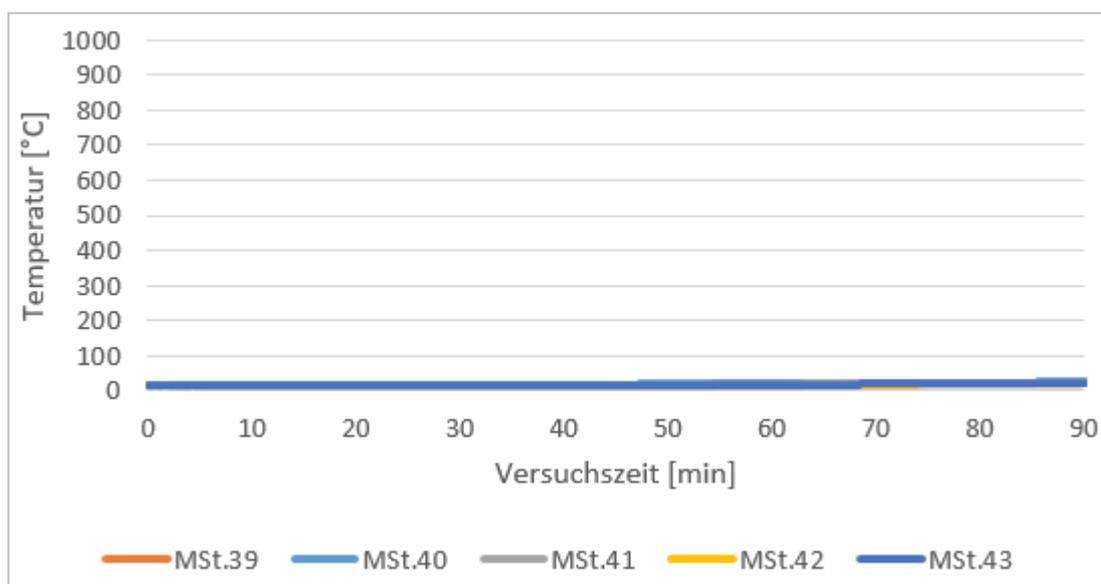


Abb. 6.238: Temperaturverlauf Decke, brandabgewandt

### 6.8.3.2 Deckenverformung

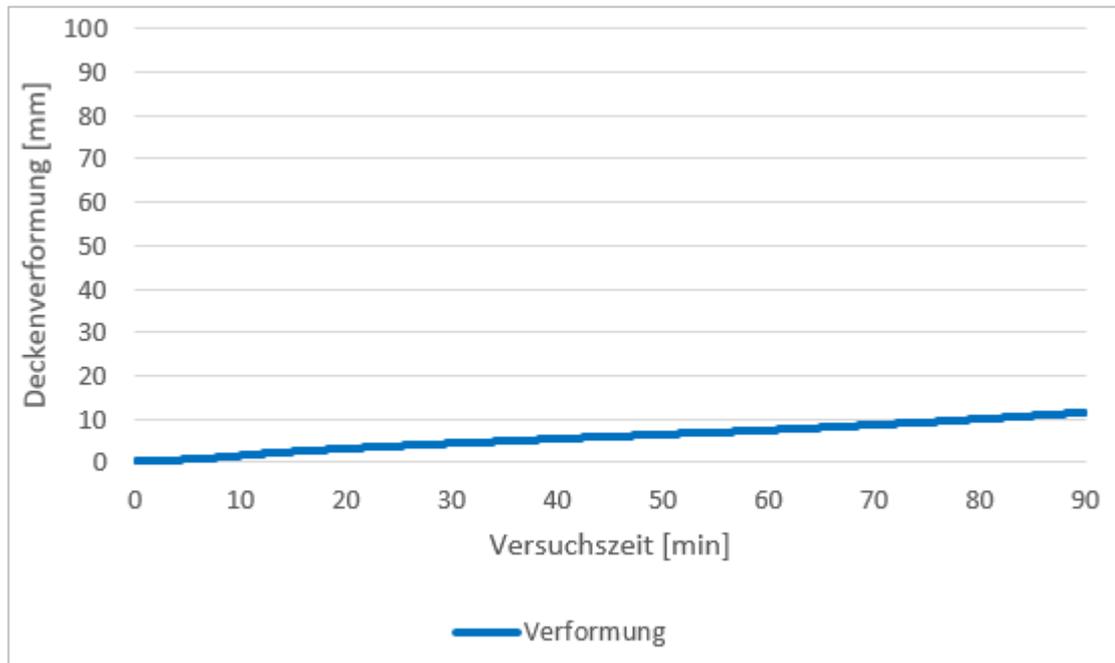


Abb. 6.239: Durchbiegung in Deckenmitte

### 6.8.3.3 Ergebnisse der Rauchgasanalytik

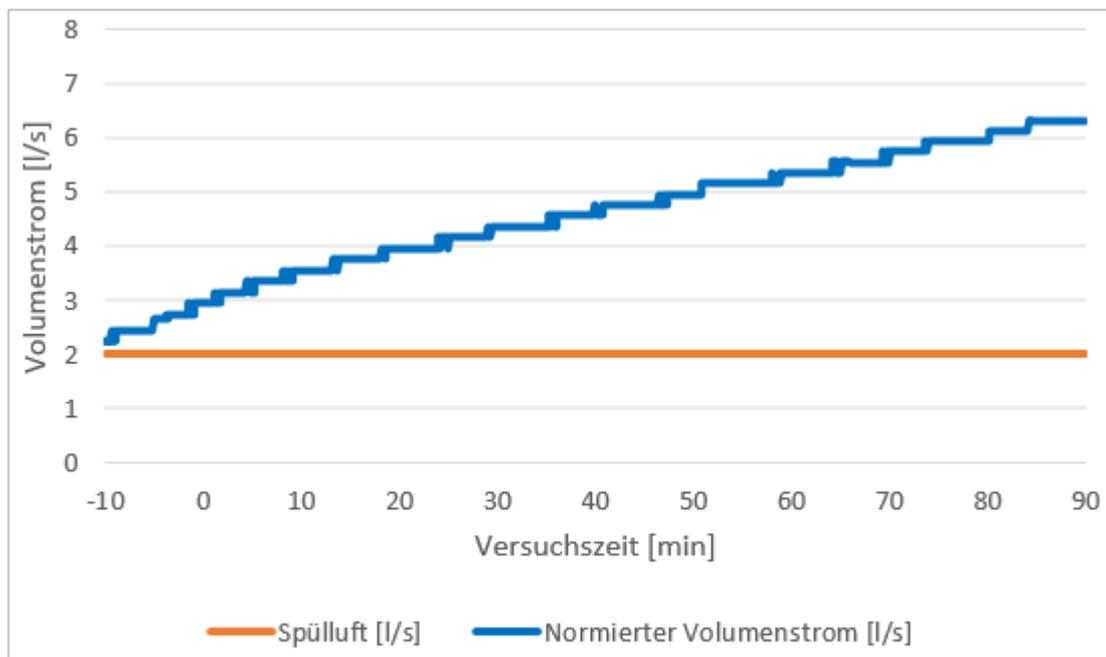


Abb. 6.240: Volumenstrom Bauteilfuge

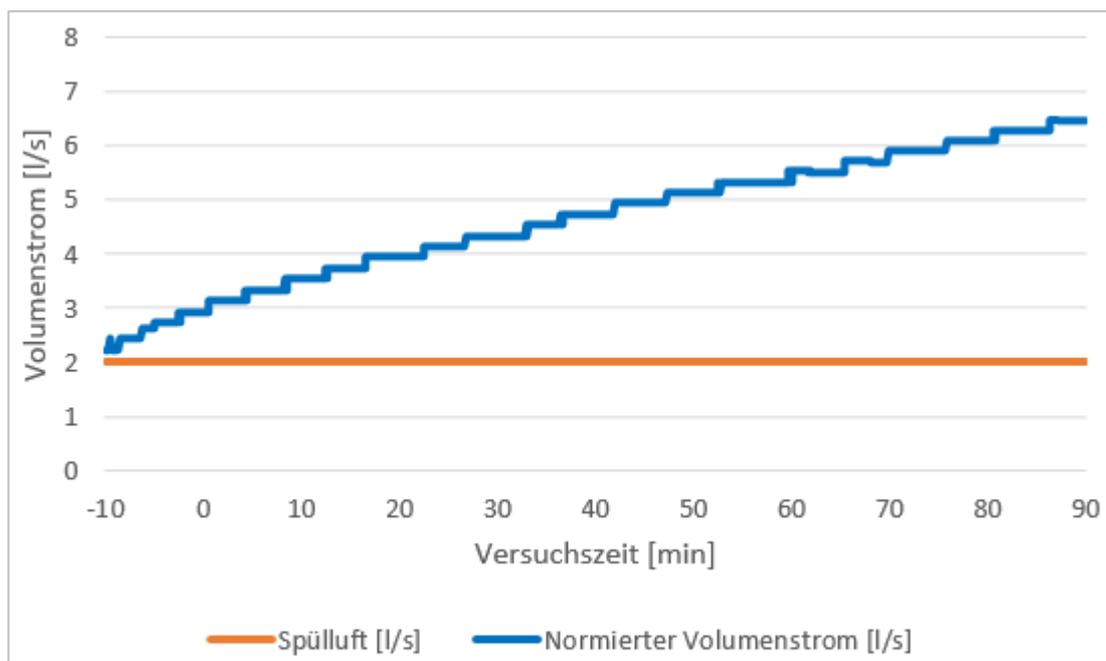


Abb. 6.241: Volumenstrom Elementfuge

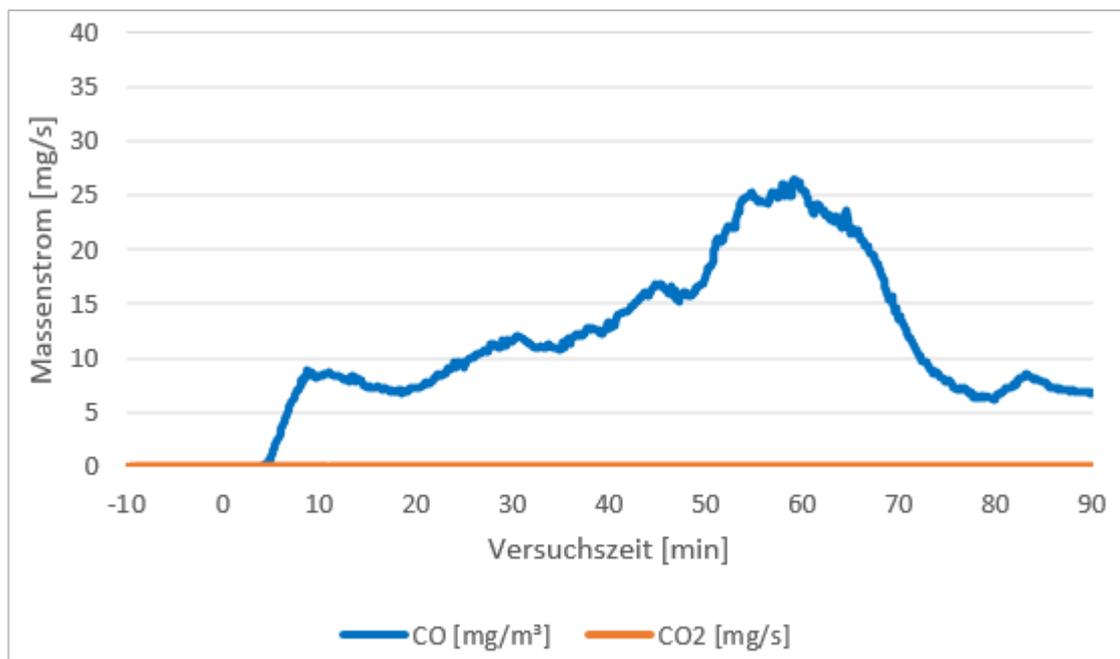


Abb. 6.242: Massenströme Bauteilfuge CO, CO<sub>2</sub>

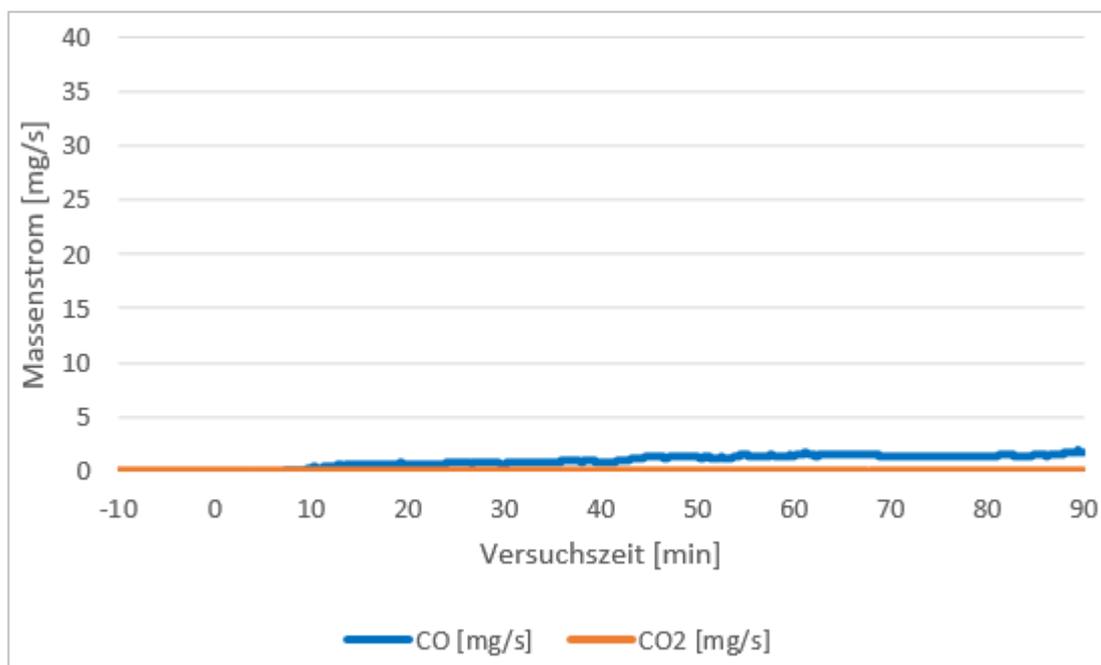


Abb. 6.243: Massenströme Elementfuge CO, CO<sub>2</sub>

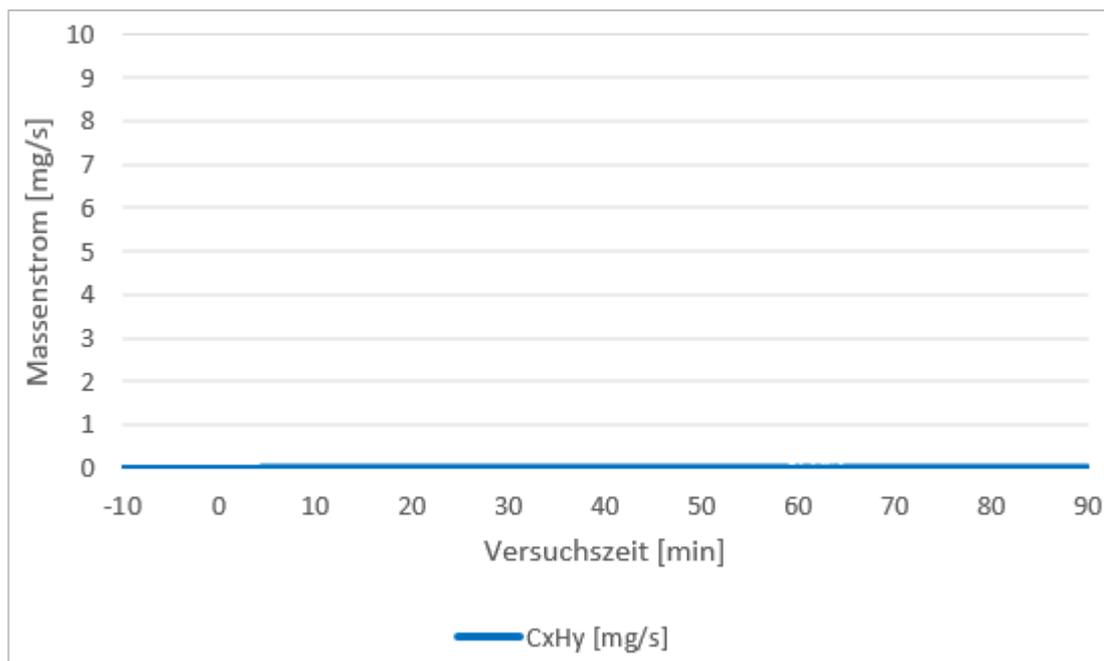


Abb. 6.244: Massenstrom Bauteilfuge CxHy

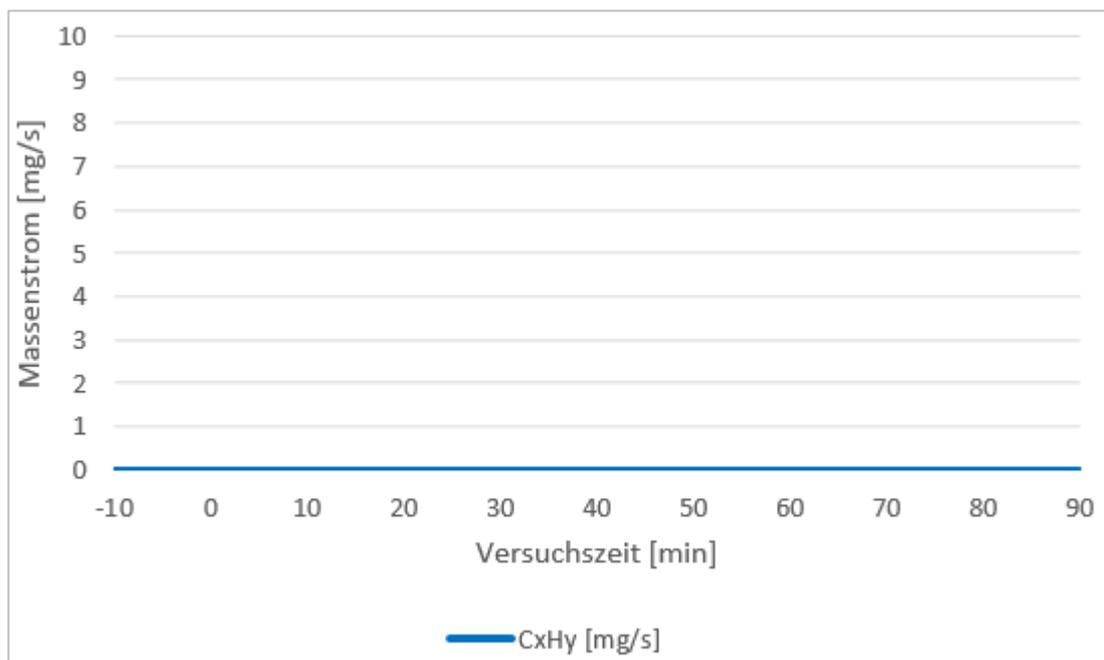


Abb. 6.245: Massenstrom Elementfuge CxHy

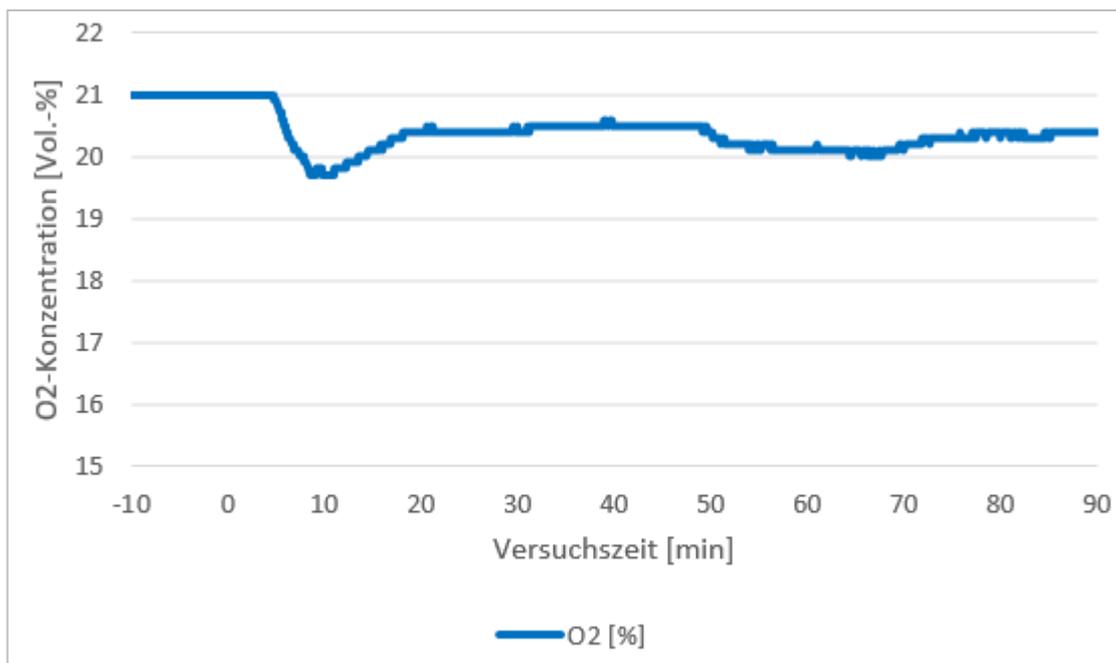


Abb. 6.246: Sauerstoffkonzentration Bauteilfuge

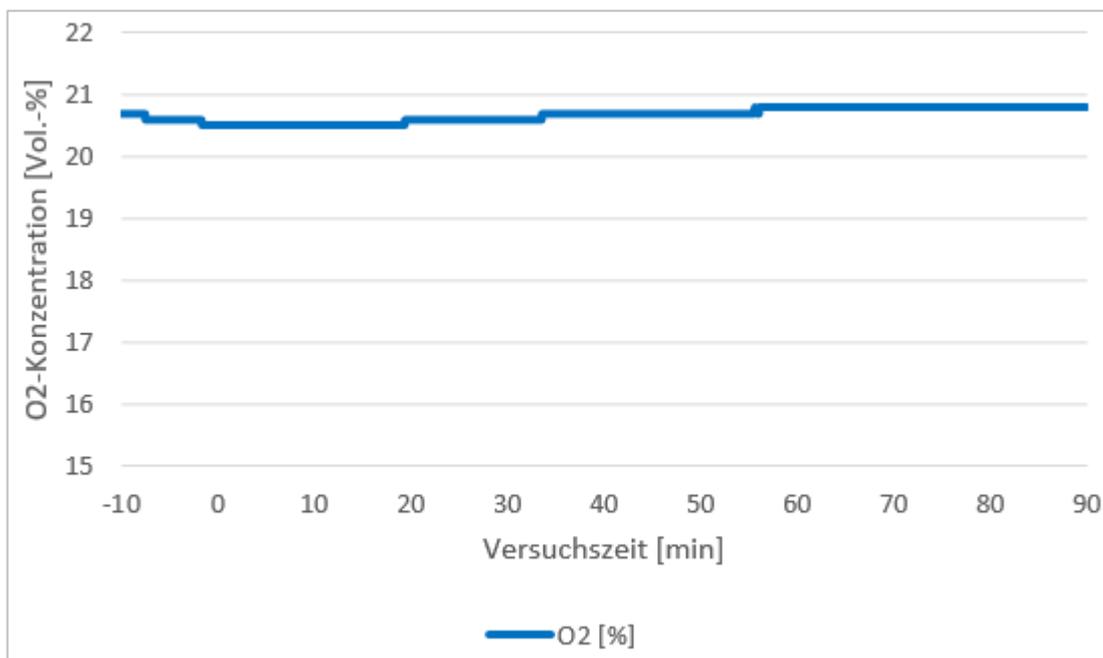


Abb. 6.247: Sauerstoffkonzentration Elementfuge

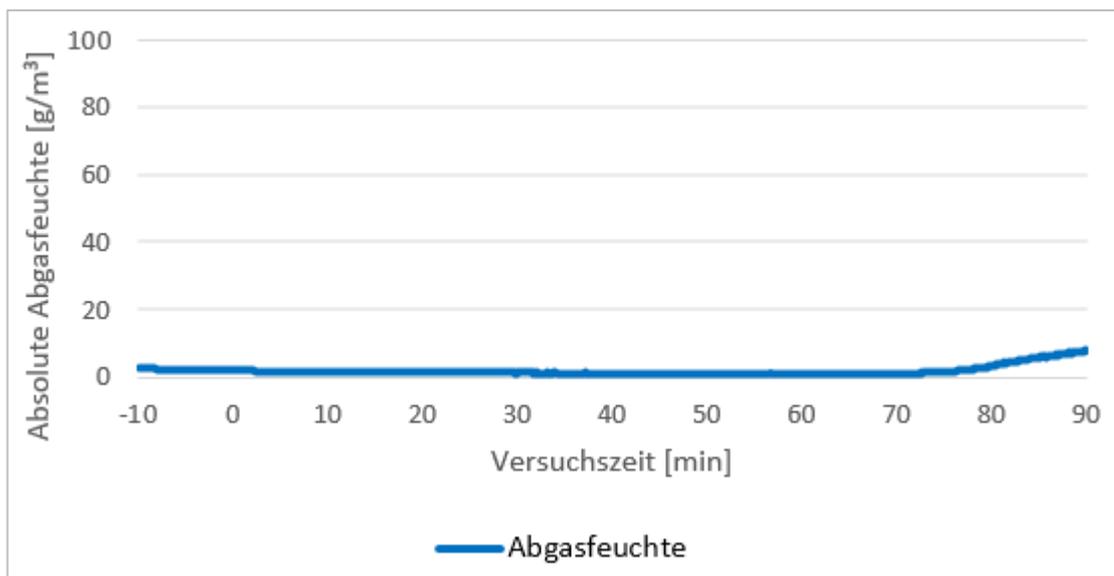


Abb. 6.248: Absolute Abgasfeuchte Bauteilfuge

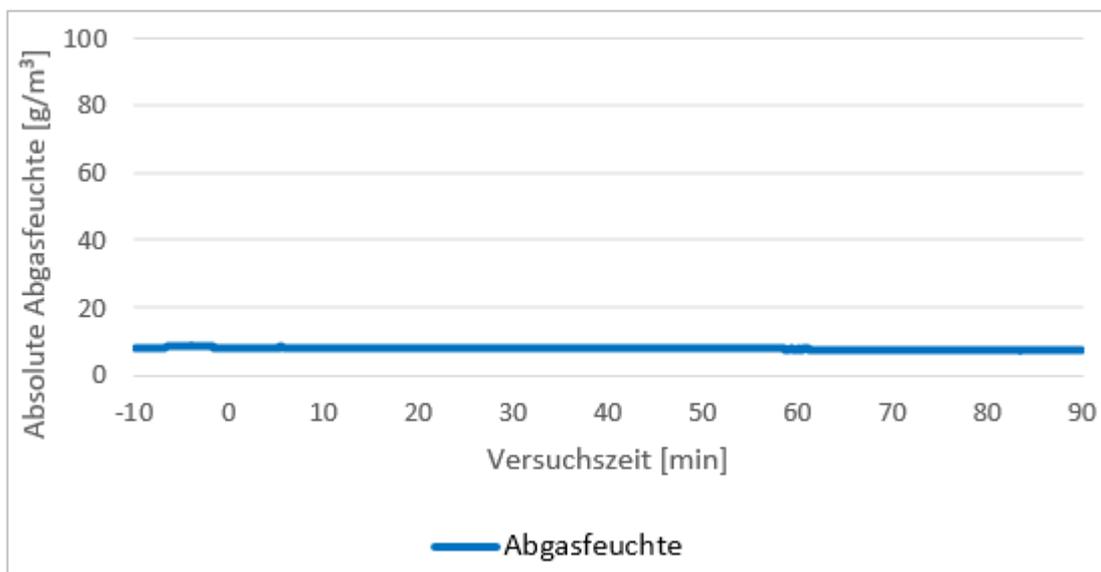


Abb. 6.249: Absolute Abgasfeuchte Elementfuge

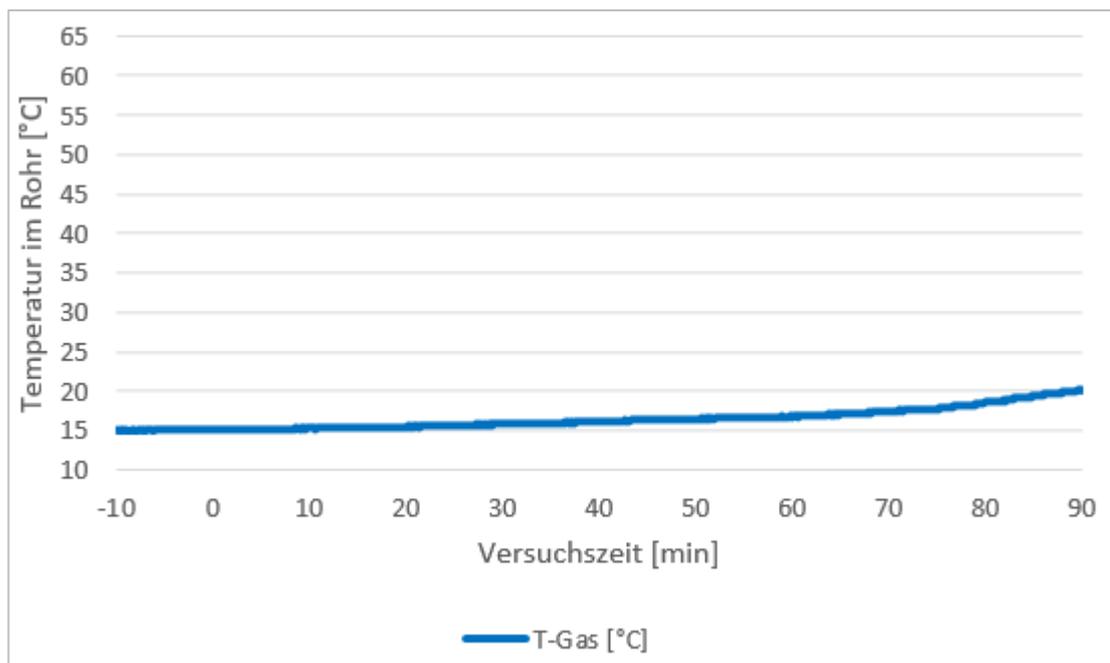


Abb. 6.250: Rauchgastemperatur Bauteilfuge

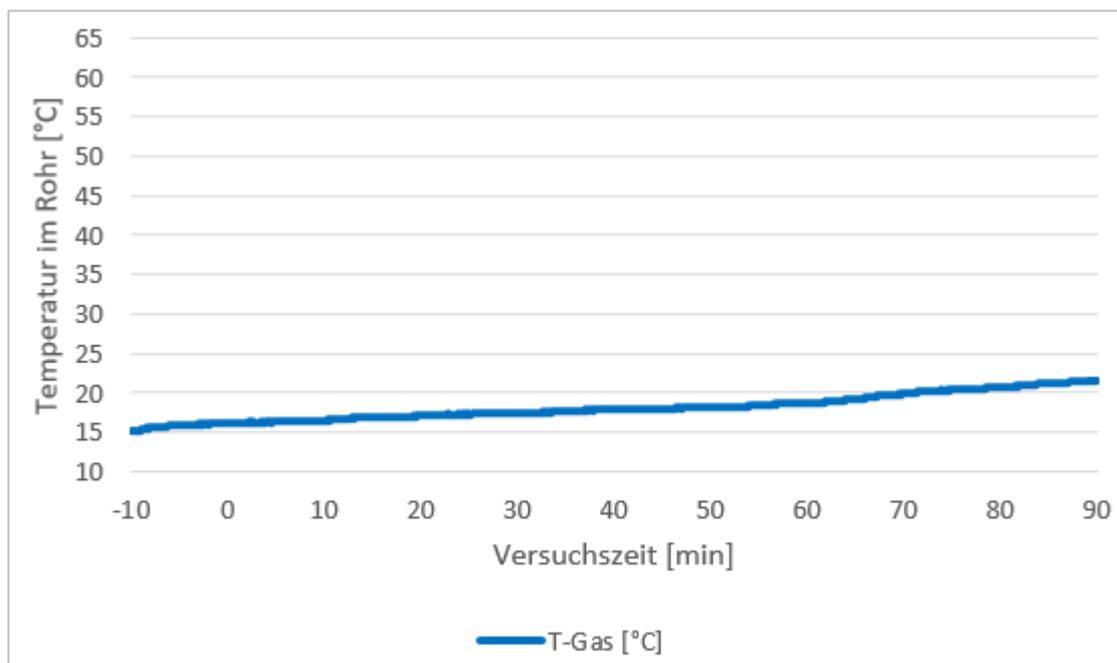


Abb. 6.251: Rauchgastemperatur Elementfuge

### 6.8.3.4 Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

Tab. 6.46: Zusätzliche Ereignisse/Beobachtungen

<b>Brandminute</b>	<b>Ereignis</b>	<b>Foto dokumentiert</b>
(-13.)	Totlasten aufgebracht (Befüllung IBC's)	
(-2.)	Anstieg der Spülluft von ca. 2 l/s auf 2,7-2,9 l/s	
5.	Rauchaustritt durch Brandofenfugen	X
7.	Hallenabluf eingeschaltet/geöffnet	
8.	CO-Warner am Körper alarmiert, Versuchshalle wird zum Eigenschutz verlassen	X
38.	Rauchausbreitung in der Versuchshalle	X
73.	Rauchaustritt ist geringer	X
90.	Versuchsende	

### 6.8.3.5 Fotodokumentation



Abb. 6.252: Bauteilfuge mit komprimierter Mineralwolle (vor Versuchsbeginn)



Abb. 6.253: Probekörper brandabgewandte Seite (vor Versuchsbeginn)



*Abb. 6.254: Probekörper brandzugewandte Seite (vor Versuchsbeginn)*



*Abb. 6.255: Rauchaustritt durch Brandofenfuge (5. Brandminute)*



Abb. 6.256: Auslösung CO-Warner und Verlassen der Versuchshalle (8. Brandminute)



Abb. 6.257: Rauchausbreitung in der Versuchshalle (38. Brandminute)



Abb. 6.258: Rauchausbreitung in der Versuchshalle nimmt ab (73. Brandminute)



Abb. 6.259: Probekörper brandabgewandte Seite (nach Versuchsende)



*Abb. 6.260: Probekörper (Wand) brandzugewandte Seite (nach Versuchsende / Löscharbeiten)*



*Abb. 6.261: Unterseite Decke im Bereich der Bauteilfuge (nach Versuchsende / Löscharbeiten)*



*Abb. 6.262: Auflagerfläche der Wand zur Bauteilfuge (nach Versuchsende / Löscharbeiten)*