

*Abschlussbericht zum Vorhaben*  
„Schutz der Versicherten bei der  
Bekämpfung von Entstehungsbränden  
(SUVE)“ (FP-0405)

*Laufzeit*  
01.08.2019 – 31.03.2022

*Fabian Ladzinski, M.Sc.*  
*Univ.-Prof. Dr. Roland Goertz*

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung deutsch

Kurzfassung englisch

1 Problemstellung

2 Forschungszweck/-ziel

3 Methodik

3.1 Brandversuche

3.2 Löschversuche

3.3 Brandsimulationen

4 Ergebnisse des Gesamtvorhabens

4.1 Ergebnisse der Brandversuche

4.2 Ergebnisse der Löschversuche

4.3 Ergebnisse der Brandsimulationen

4.3 Vergleich der Brandsimulation mit den Brandversuchen

5 Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen

6 Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen

6.1 Holzkrippenbrände

6.2 Löschversuche

6.3 Einordnung der Ergebnisse

7 Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

8 Anhang

8.1 Tabellenverzeichnis

8.2 Abbildungsverzeichnis

8.3 Literaturverzeichnis

## Kurzfassung deutsch

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Schutz der Versicherten bei der Bekämpfung von Entstehungsbränden (SUVE)“ wurden Maßnahmen im Rahmen der Entstehungsbrandbekämpfung zur Verbesserung des Schutzes von Versicherten nähergehend betrachtet. Hierzu wurden verschiedenste Brand- und Löschversuche sowie umfangreiche Brandsimulationen durchgeführt, um eine umfassende Bewertung der Entstehungsbrandbekämpfung im Sinne der ASR A2.2 vornehmen zu können. Hierdurch konnte unter anderem aufgezeigt werden, dass der in der DIN EN 3-7 enthaltene Prüfbrand 8A zwar für die Charakterisierung der Löschleistungsfähigkeit von tragbaren Feuerlöschern geeignet ist, eine Heranziehung dieses Prüfbrandes für die Beschreibung eines Entstehungsbrandes in einer Arbeitsumgebung, die mit einer Büronutzung vergleichbar ist, jedoch nicht zielführend ist. So treten bei der experimentellen Durchführung dieses Prüfbrandes in einer büroähnlichen Umgebung brandinduzierte Temperaturen auf, die eine gefahrlose Brandbekämpfung weder mit dafür klassifizierten Feuerlöschern, noch mit Feuerlöschsprays, möglich machen.

Für die Beschreibung eines Entstehungsbrandes in einer mit einer Büronutzung vergleichbaren Umgebung wurden weitergehend Versuche mit Holzkrippen durchgeführt, die an die in der UL 1715 beschriebene Holzkrippe angelehnt waren. Hierbei zeigte sich, dass auch bei diesen deutlich kleineren Holzkrippen eine gefahrlose Entstehungsbrandbekämpfung nicht möglich ist, da die bei den Löschversuchen aufgezeichneten Kohlenstoffmonoxidkonzentrationen eine solche Bewertung nicht zulassen. Vielmehr kann auch bei diesen Holzkrippenbränden nur von einer gefahrenarmen Brandbekämpfung ausgegangen werden.

Die Betrachtung der grundsätzlichen Eignung von Feuerlöschsprays für die Entstehungsbrandbekämpfung zeigte, dass diese für die Brandbekämpfung von Bränden im Maßstab von Adventskränzen und Papierkörben, insbesondere auf Grund der leichten Bedienbarkeit und Handhabung, sehr gut geeignet sind, während eine Eignung bei Entstehungsbränden, die mit einem Holzkrippenbrand in Anlehnung an UL 1715 zu assoziieren sind, bei den durchgeführten Versuchen nicht mehr vorlag.

Für die Ausstattung von Arbeitsstätten mit Feuerlöscheinrichtungen – und die damit verbundene ASR A2.2 – bedeutet dies, dass eine Vorhaltung von Feuerlöschsprays, auf Grund der Zeitvorteile bei der Eingreifzeit, zu empfehlen und mit der Bereitstellung von Feuerlöschern mit einer größeren Löschleistungsfähigkeit zu kombinieren ist. So können mit Hilfe der Feuerlöcher mit einer größeren Löschleistungsfähigkeit auch Brandbekämpfungsmaßnahmen bei fortentwickelten Entstehungsbränden durchgeführt werden, bei denen Feuerlöschsprays nicht mehr sinnvoll einzusetzen sind. Hierbei ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bei Räumlichkeiten, die mit denen einer Büronutzung vergleichbar sind, eine gefahrlose Annäherung an den Brand auf Grund des Brandrauchs auch mit Feuerlöschern nicht mehr möglich ist. Auf die Einsatzgrenzen sowohl der Feuerlöschsprays als auch der Feuerlöcher ist seitens des Unternehmers im Rahmen der durchzuführenden Unterweisungen unbedingt einzugehen, um den Schutz der Versicherten bei der Entstehungsbrandbekämpfung zu verbessern.

## Kurzfassung englisch

Within the framework of the research project "Protection of Insured Persons in the Fighting of Incipient Fires (SUVE)", measures within the framework of incipient firefighting to improve the protection of insured persons were examined in more detail. For this purpose, a wide variety of fire and extinguishing tests as well as extensive fire simulations were carried out in order to be able to carry out a comprehensive evaluation of firefighting at the outset in the sense of ASR A2.2. This showed, among other aspects, that the test fire 8A contained in DIN EN 3-7 is suitable for characterizing the extinguishing capacity of portable fire extinguishers, but that the use of this test fire for describing an incipient fire in a working environment comparable to an office is not expedient. For example, during the experimental execution of this test fire in an office-like environment, fire-induced temperatures occur that do not allow safe firefighting either with fire extinguishers classified for this purpose or with fire extinguishing sprays.

For the description of an incipient fire in an environment comparable to an office use, further tests were carried out with wooden cribs based on the wooden crib described in UL 1715. It was found that even with these significantly smaller wooden cribs, it is not possible to safely extinguish an incipient fire because the carbon monoxide concentrations recorded during the extinguishing tests do not allow such an assessment. Rather, even for these wooden crib fires, only low-hazard firefighting can be assumed.

The consideration of the basic suitability of fire extinguishing sprays for incipient firefighting showed that they are very well suited for firefighting of fires on the scale of Advent wreaths and paper baskets, especially due to the ease of use and handling, while suitability for incipient fires to be associated with a wooden crib fire following UL 1715 is no longer present under the selected test conditions.

For the equipment of workplaces with fire extinguishing devices - and the associated ASR A2.2 - this means that a provision of fire extinguishing sprays, due to the time advantages in the intervention time, is recommended and should be combined with the provision of fire extinguishers with a greater extinguishing capacity. Thus, with the help of fire extinguishers with a greater extinguishing capacity, fire-fighting measures can also be carried out in the case of advanced incipient fires, where fire extinguishing sprays are no longer useful. It should be noted, however, that in premises comparable to those of an office use, a safe approach to the fire is no longer possible even with fire extinguishers due to the fire smoke. The limits of use of both the fire extinguishing sprays and the fire extinguishers must be explained by the company during the training to be carried out to improve the protection of the insured persons when fighting incipient fires.

## 1 Problemstellung

Bei der Durchführung von Erstmaßnahmen zur Brandbekämpfung sind die betroffenen Versicherten in Arbeitsstätten grundsätzlich bestimmten Gefährdungen ausgesetzt. Durch praktische Erfahrung, wie auch durch die Berichterstattung der Medien, wird eindrücklich gezeigt, dass die Versicherten bei Löschversuchen mit großer Häufigkeit verletzt werden. Oft wird von Rauchgasintoxikationen berichtet. Exemplarisch sind im Folgenden arbiträr vier Pressenotizen wiedergegeben, die über eine Internetrecherche zu den Stichworten „Verletzte bei Löschversuchen“ ermittelt wurden.

### „Großbrand in Kleinwallstadter Lackiererei - 31-Jähriger verletzt

In Kleinwallstadt ist am Mittwoch gegen 23 Uhr ein Brand in der Lackiererei Kreher ausgebrochen. Bei Löschversuchen erlitt ein Mitarbeiter leichte Verbrennungen und eine Rauchgasvergiftung. Für die Bevölkerung besteht keine Gefahr. [...]“ [1]

### „Arbeitsmaschine gerät in Brand Arbeiter bei Löschversuch verletzt

Babenhausen (ots) - Am Mittwochnachmittag (11.11.2015) ist eine Arbeitsmaschine auf dem Firmengelände eines Asphalt- und Recyclingbetriebs im Aschaffener Weg in Brand geraten. Gegen 13.50 Uhr wurde der Brand an der großen teerverarbeitenden Maschine bemerkt. Ein Arbeiter, der das Feuer löschen wollte, wurde bei dem Löschversuch leicht verletzt und musste mit Verdacht auf eine Rauchgasvergiftung in ein Krankenhaus. [...]“ [2]

### „Vier Arbeiter bei Löschversuchen verletzt

Bei einem Feuer in einer Maschinenhalle eines Recyclingbetriebes für Elektroschrott in der Carl-Zeiss-Straße in Reinbek sind am Donnerstag vier Arbeiter verletzt worden. Bei eigenen Löschversuchen erlitten sie eine Rauchgasvergiftung und wurden mit Rettungswagen ins Krankenhaus gebracht. [...]“ [3]

### „Wäscherei-Brand: Zwei Mitarbeiter bei Löschversuch verletzt

In Schnaitheim kam es am Donnerstagmorgen zu einem Brand in der Wäscherei CWS Boco an der Königsbronner Straße. [...] Bei eigenen Löschversuchen erlitten zwei Arbeiter der Wäscherei leichte Rauchgasvergiftungen. [...]“ [4]

Entstehungsbrände im Sinne der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A2.2 [5] „Maßnahmen gegen Brände“ sind „Brände mit so geringer Rauch- und Wärmeentwicklung, dass noch eine gefahrlose Annäherung von Personen bei freier Sicht auf den Brandherd möglich ist“.

Während die ASR A2.2 sinnvollerweise darauf abstellt, dass ein Entstehungsbrand ein Brand ist, der noch eine gefahrlose Annäherung ermöglicht, treten bei Versicherten im Rahmen der Erstbrandbekämpfung in der Praxis häufig Verletzungen auf. Insgesamt kam es im Zeitraum von 2012 bis 2016 nach Daten der DGUV zu 6.279 meldepflichtigen Unfällen durch Feuer und hochschlagende Flammen, dabei fünf Tote durch Verbrennungen und

zwölf Tote durch Vergiftung und Sauerstoffmangel. [6] Eine genauere Zuordnung der Personen, die bei Löschversuchen verletzt wurden, ist hierbei nicht möglich, da derartige Daten momentan nicht erhoben werden.

Die Beurteilung eines Brandes seitens der Versicherten, respektive durch die Brandschutzhelfer<sup>1</sup>, und die Einschätzung, ob dieser noch im Rahmen der Selbsthilfemaßnahmen zur Entstehungsbrandbekämpfung sicher gelöscht werden kann, ist grundsätzlich nur nach einer intensiven Unterweisung möglich. Im Rahmen dieser Unterweisung sind Kenntnisse bezüglich typischer Gegebenheiten an Arbeitsstätten, dem Brandverhalten von Materialien und den zur Verfügung stehenden Löschmöglichkeiten zu vermitteln.

In der Vergangenheit kam es in der Fachwelt [7–12] immer wieder zu Diskussionen, ob die in der ASR A2.2 verankerte Definition des Entstehungsbrandes in Verbindung mit den Prüfnormen zur Feststellung der Leistungsfähigkeit von Feuerlöschern für die Sicherstellung der Gefahrlosigkeit der Entstehungsbrandbekämpfung ausreicht.

Diskrepanzen werden in der Fachwelt derzeit insbesondere darin gesehen, dass die Löschleistungsfähigkeit von tragbaren Feuerlöschgeräten (Feuerlöschern) nach DIN EN 3-7 [13] näherungsweise in einem Versuchsraum mit einer Mindesthöhe von 8 m und einem Freiraum von 3 m um das Prüfobjekt normativ geprüft wird. Die betriebliche Entstehungsbrandbekämpfung findet jedoch häufig in niedrigen und eher kleinen Räumen statt, woraus eine deutlich höhere Gefährdungssituation für die Versicherten resultiert, da hierdurch ein schnellerer Anstieg der Wärmestrahlung und eine größere Ausbreitung des Brandrauches hervorgerufen wird.

Vorangegangene Untersuchungen [7], bei welchen die nach ASR A2.2 getroffene Definition anhand eines brennenden Büros in Anlehnung an die DIN CEN/TS 14972 durch brandtechnologische Berechnungsverfahren betrachtet wurde, ergaben, dass aufgrund der Wärmestrahlung eine Brandbekämpfung nahe des Brandherdes (Plumbereich) nach 220 Sekunden nicht mehr möglich ist.

Hieraus ergibt sich ein Zeitfenster von etwa 130 Sekunden für die Durchführung eines Löschangriffes im Brandraum, wenn eine Entdeckungs- und Eingreifzeit von ca. 90 Sekunden angenommen wird. Durch eine Vergrößerung des Abstandes zum Brandherd verlängert sich der für die Durchführung des Löschangriffes zur Verfügung stehende Zeitraum, jedoch sinkt gleichzeitig auch die Wahrscheinlichkeit eines Löscherfolges. Nicht betrachtet wurden im Rahmen dieser Untersuchungen aufgrund der Komplexität und fehlender Daten weitere Kenngrößen wie die Brandgastoxizität und die zur Verfügung stehende Sichtweite. Beide Kenngrößen besitzen jedoch einen erheblichen Einfluss bei der Entstehungsbrandbekämpfung, wie aus den Daten zum Unfallgeschehen der DGUV hervorgeht [6].

Als Fazit dieser Untersuchungen ergab sich, dass bei idealen Bedingungen und schneller Einleitung des Löschangriffs bereits ein Löschvermögen von 5A (kleinste mögliche Feuerlöscherklassifizierung hinsichtlich Feststoffbränden), beziehungsweise einer Löscheinheit, reichten, um einen Entstehungsbrand zu löschen. Demnach eignen sich auch

---

<sup>1</sup> „Brandschutzhelfer sind die Beschäftigten, die der Arbeitgeber für Aufgaben der Brandbekämpfung bei Entstehungsbränden benannt hat.“ [5]

Feuerlöschsprays nach DIN SPEC 14411<sup>2</sup> für eine Bekämpfung eines Entstehungsbrandes, sofern diesem eine kurze Eingreifzeit zugrunde liegt.

---

<sup>2</sup> Die damalige Untersuchung bezog sich noch auf die mittlerweile zurückgezogene und durch die DIN EN 16856 [14] ersetzte DIN SPEC 14411. Die Ausführungen können jedoch auf Feuerlöschsprays nach DIN EN 16856 übertragen werden.

## 2 Forschungszweck/-ziel

Eine Verbesserung des Schutzes der Versicherten bei der Entstehungsbrandbekämpfung setzt für die weiteren Überlegungen eine Untersetzung der in der ASR A2.2 verankerten und grundsätzlich sinnvollen Definition des Entstehungsbrandes mit brandschutztechnisch nachvollziehbaren Grenzwerten für Entstehungsbrandszenarien voraus.

Dies ermöglicht über Vergleiche mit Grenzwerten für Strahlungsintensitäten, Sichtbeeinträchtigungen und Brandrauchtoxizitäten die Charakterisierung der Ausmaße typischer Entstehungsbrände und bildet die Grundlage für die Abschätzung, bis zu welchem Stadium eines Brandes Löschmaßnahmen durch ungeschützte Versicherte gefahrlos durchführbar sind.

Für den genauen Ablauf und Umfang der Löschmaßnahmen werden klassische tragbare Feuerlöscher mit Kleinlöschgeräten, wie beispielsweise „Feuerlöschsprays“, mit ein bis zwei Löscheinheiten, verglichen. Bei diesem Vergleich sollen die den Kleinlöschgeräten zugeschriebenen Vorteile, wie geringere Laufwege, auf Grund effektiverer Flächenabdeckung in Folge höherer Anzahl von Löschgeräten, und geringere Hemmnisse gegenüber der Benutzung, berücksichtigt werden und den damit verbundenen Nachteilen, wie eine geringere Löschmittelmenge, gegenübergestellt werden.

**Das strategische Ziel des Forschungsvorhabens ist damit grundsätzlich die präventive Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Versicherten bei der Durchführung von Maßnahmen im Rahmen der Entstehungsbrandbekämpfung.**

### 3 Methodik

Hinsichtlich der Vorgehensweise sind die Aufgabenfelder „Brandversuche“, „Löschversuche“ sowie „Brandsimulationen“ voneinander zu differenzieren, wobei zwischen diesen Aufgabenfeldern mitunter ein hoher innerer Bezug besteht, der sich durch eine hohe wechselseitige Abhängigkeit manifestiert. Daher erfolgt nachfolgend eine getrennte Beschreibung des Vorgehens für diese Aufgabenfelder unter ausgeprägter Inbezugnahme der Ausführungen zu den weiteren Aufgabenfeldern. Hierbei ist das Aufgabenfeld „Brandversuche“ grundlegend für die Aufgabenfelder „Löschversuche“ sowie „Brandsimulationen“ zu betrachten, während die Abhängigkeiten zwischen den Aufgabenfeldern „Löschversuche“ und „Brandsimulationen“ demgegenüber als rezessiv anzusehen sind.

#### 3.1 Brandversuche

Auf Basis einer Literaturrecherche erfolgt eine Ausarbeitung des Versuchsaufbaus sowie der Messstrategie für das Szenario „Bürobrand“. Für diesen Versuchsaufbau wird ein Brandraum des Materialprüfungsamtes Nordrhein-Westfalen im Brandprüfzentrum Erwitte genutzt. Dieser Brandraum entspricht nahezu den in der ISO 9705-1 [15] beschriebenen Anforderungen für einen Room-Corner-Test. Die Grundfläche dieses Brandraums entspricht mit  $8,64 \text{ m}^2$  in etwa den in der ASR A1.2 mindestens geforderten  $8 \text{ m}^2$  Grundfläche für die Einrichtung eines Arbeitsraumes und dem dort ebenso aufgeführten Richtwert von  $8 \text{ m}^2$  bis  $10 \text{ m}^2$  Grundfläche für die Einrichtung eines Zellenbüros [16, Ziffer 5, Abs. 4], weshalb von einer Vergleichbarkeit hinsichtlich der räumlichen Maße zu einem gewöhnlichen Büroraum ausgegangen werden kann.

Zur Abschätzung der auftretenden Temperaturen im Brandraum wird ein erster Vorversuch mit einer Holzkrippe 8A entsprechend der DIN EN 3-7 [13], die in der Raummitte auf einem entsprechenden Untergestell angeordnet wird, durchgeführt. Diese Holzkrippe besteht aus insgesamt 14 Holzstabschichten, wobei die unterste Schicht aus fünf Hölzern der Holzart *Pinus silvestris* (Waldkiefer) mit einem quadratischen Querschnitt von  $40 \text{ mm}$  sowie einer Länge von  $0,8 \text{ m}$  und die darüberliegende Holzschicht aus 8 Holzstäben der gleichen Holzart, mit dem gleichen Querschnitt und einer Länge von  $0,5 \text{ m}$  besteht. Die zwölf darüber angeordneten Holzschichten werden wechselweise nach diesem Aufbau hergerichtet.

Auf Grund der nachfolgend geplanten Löschversuche befindet sich eine Stahlwanne am Boden des Brandraums, welche als Auffangbecken für die einzusetzenden Löschmittel dienen soll. Die Holzkrippe wird mithilfe einer mit n-Heptan gefüllten Brandwanne aus Metall entzündet, die hierfür  $0,03 \text{ m}$  hoch mit Leitungswasser sowie anschließend mit  $1500 \text{ mL}$  n-Heptan befüllt wird. Ein Entfernen der Brandwanne nach einer definierten Vorbrennzeit ist auf Grund der Platzverhältnisse im Versuchsraum nicht möglich.

Zur Messung der auftretenden Temperaturen werden jeweils an der linken und rechten Raumseite drei Thermoelemente Typ K auf einer Höhe von  $0,3 \text{ m}$ ,  $1,3 \text{ m}$  sowie  $2,2 \text{ m}$  verwendet. Darüber hinaus wird ein weiteres Thermoelement auf dem Boden unter einer Isolationsplatte angeordnet, um Rückschlüsse auf die Auslegungstemperatur für die weiteren Brandversuche zu erhalten. Dieser Versuchsaufbau ist in Abbildung 1

dargestellt. Weitergehend wird 7 m vor der Öffnung des Versuchsraums eine Spiegelreflexkamera (Canon EOS 77 D) sowie eine Wärmebildkamera (FLIR E 95) auf Stativen zur Aufzeichnung der Brandgeschehens positioniert.



**Abbildung 1** Versuchsaufbau mit einer Holzkrippe 8A, einer Brandwanne sowie einer umgebenden Stahlwanne im Room-Corner-Testraum

#### Holzkippenbrände:

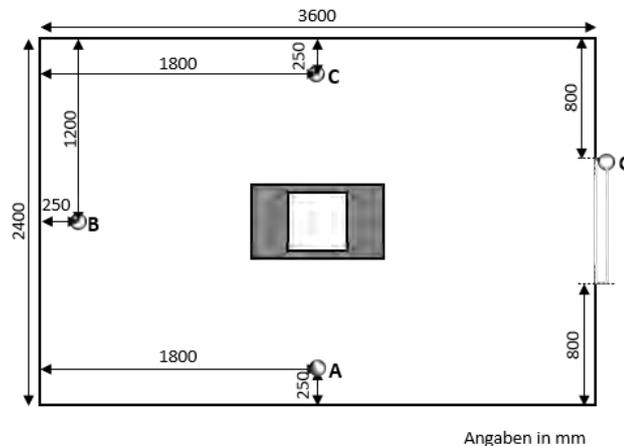
Auf Grund der Ergebnisse des Vorversuchs mit der 8A-Holzkippe besteht die Notwendigkeit der Konzeption eines kleineren Holzkippenbrandes, der Anpassung des Zündinitials und einer Ausweitung der einzusetzenden Messtechnik. Nach der Durchführung von Zwischenversuchen mit eigens entworfenen Holzkippen – bestehend aus sechs Holzschichten mit jeweils fünf Holzstäben aus Waldkiefer, welche jeweils einen quadratischen Querschnitt von 40 mm und eine Länge von 0,5 m besitzen und mit 50 mL n-Heptan gezündet werden – wird sich, insbesondere aus Gründen der Vergleichbarkeit, auf die Nutzung von Holzkippen in Anlehnung an UL 1715 [17] aus Waldkiefer festgelegt.

Diese Holzkippen bestehen aus insgesamt zehn Holzschichten mit jeweils fünf Holzstäben pro Schicht. Jeder Holzstab besitzt einen quadratischen Querschnitt von 40 mm sowie eine Länge von 0,38 m und wird mittels Nägel am jeweils darunterliegenden Holzstab befestigt. Die Holzkippe wird nicht, wie in der UL 1715 vorgegeben, mit einem Gasbrenner, sondern mit 50 mL n-Heptan gezündet. Die hierfür zu verwendende runde Brandwanne mit einem Durchmesser von 0,15 m wird hierfür zuvor mit 0,03 m Leitungswasser gefüllt, um eine gleichmäßigere Wärmeverteilung zu erreichen. Ebenso wird die Holzkippe in der Raummitte und nicht, wie in der UL 1715 vorgesehen, in einer Ecke angeordnet, um eine Zugänglichkeit bei den Löschversuchen gewährleisten zu können. Eine zusammenfassende Gegenüberstellung der Holzkippen ist Tabelle 1 zu entnehmen.

**Tabelle 1** Übersicht über die bei den Brandversuchen eingesetzten Holzkippen

| Bezeichnung                       | 8A   | 50 cm · 50 cm          | UL 1715                                     |
|-----------------------------------|--|------------------------|---|
| Länge                             | 80 cm  | 50 cm                  | 38,1 cm                                     |
| Breite                            | 50 cm  | 50 cm                  | 38,1 cm                                     |
| Holzschichten                     | 14   | 6                      | 10  |
| Zündinitial                       | 1500 mL <i>n</i> -Heptan                         | 50 mL <i>n</i> -Heptan | 50 mL <i>n</i> -Heptan                      |
| Besonderheiten                    | -  | -                      | genagelt                                    |
| reguläre Verwendung               | Prüfung des Löschvermögens von Feuerlöschgeräten | -                      | Prüfung von Materialien für den Innenausbau |
| reguläre Anordnung der Holzkrippe | Raummitte  | -                      | Raumecke                                    |

Für die Brandversuche mit der Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 werden die Stahlwanne entfernt und an drei Stellen Messbäume (Punkte A, B und C in Abbildung 2) für die Temperaturmessung installiert. An diesen Messbäumen wird die Temperatur mit Thermoelementen vom Typ K jeweils auf einer Höhe von 0,3 m, 0,8 m, 1,3 m, 1,8 m und 2,2 m aufgezeichnet. In der Öffnung des Brandraums werden weiterhin zwei Abgasanalysatoren mit nicht-dispersiver Infrarottechnik (NDIR) auf einer Höhe von 1,20 m und 1,73 m zur Erfassung der Konzentrationen von Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) platziert. Diese Position ist in Abbildung 2 mit dem Buchstaben G gekennzeichnet.



**Abbildung 2** Anordnung der Messgeräte in und vor dem Brandraum

Weiterhin wird bei den Versuchen eine unterhalb der Holzkrippe angeordnete abgeschirmte Waage für die Ermittlung des brandbedingten Massenverlustes eingesetzt, um nachgehend hierüber die Wärmefreisetzungsrate der Holzkrippe bestimmen zu können.

Insgesamt werden mit dieser Versuchsanordnung sechs Versuche mit der Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 durchgeführt.

## 3.2 Löschversuche

Für die Löschversuche wird grundlegend der im Kapitel 3.1 für die Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 beschriebene Versuchsaufbau genutzt.

Die Löschversuche werden von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls für Chemische Sicherheit und Abwehrenden Brandschutz der Bergischen Universität Wuppertal durchgeführt. Auf Grund der durchgeführten Gefährdungsbeurteilung tragen diese bei der Durchführung der Löschversuche eine Feuerwehrüberhose und eine Feuerwehrüberjacke (entsprechend der DIN EN 469), Brandschutzhandschuhe (Typ Seiz Fire-Fighter Premium S) sowie ein Gebläsefiltersystem (Typ Dräger X-plore 8000).

Zur Messung der auftretenden Wärmestromdichte werden weitergehend drei Heatfluxsensoren des Typs, wie auch aus Abbildung 3 ersichtlich, auf der Helmfront des Gebläsefiltersystems, auf dem Handrücken des Handschuhes der Hand, welche die Düse des Feuerlöschers respektive das Feuerlöschspray hält sowie auf der Überjacke in Brusthöhe positioniert. Weiterhin werden auf der linken Schulter der löschenden Person ein Dräger X-am 8000 (Messgase: CO, O<sub>2</sub>, Cyanwasserstoff (HCN) sowie Isobuten (C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>)) und auf der rechten Schulter die Ansaugung für ein Dräger X-am 7000 (Messgase: CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> sowie HCN), welches in einem Rucksack auf dem Rücken der Personen untergebracht ist, positioniert.



**Abbildung 3** Personengetragene Messtechnik X-am 7000, X-am 8000 und Heatfluxsensoren Typ T sowie persönliche Schutzausrüstung des Bedieners der Feuerlöschgeräte

### Feuerlöscheinrichtungen:

Für die Löschversuche mit Feuerlöschern werden speziell angefertigte Übungsfeuerlöcher mit einer Füllmenge von drei Litern Wasser und handelsüblichen Düsen eingesetzt. Die Übungslöcher werden für die Versuche zuerst mit Wasser befüllt und mittels Druckluft auf den vorgesehenen Betriebsdruck von 15 bar gebracht. Für die Löschversuche mit Feuerlöschsprays werden handelsübliche Feuerlöschsprays mit einer Löschmittelmenge von

700 mL und einer vom Hersteller angegebenen Klassifizierung des Löschvermögens entsprechend der DIN SPEC 14411 von 8A verwendet.

#### Holzkippenbrände:

Die Holzkippen für die Löschversuche sind äquivalent zu den Holzkippen in Anlehnung an UL 1715, welche bei den Brandversuchen eingesetzt werden. Wie in der DIN EN 3-7 vorgesehen, erfolgt das Löschen der brennenden Holzkippe nach einer Vorbrennzeit von acht Minuten. Hierzu wird bei den ersten drei Versuchen der Übungslöcher mit drei Litern Wasser eingesetzt, wobei sich die Bedienperson nach eigenem Ermessen um das Feuer herumbewegt und das Wasser in Intervallen ausbringt. Die Beurteilung des vollständigen Löschens erfolgt seitens der Bedienperson, wobei darauf geachtet wird, dass innerhalb von drei Minuten nach erfolgter Löschung keine Flammen mehr entstehen.

Bei den folgenden drei Versuchen wird jeweils ein Feuerlöschspray anstelle des Feuerlöschers verwendet. Aus Handhabungsgründen wird der Verschlussdeckel des Feuerlöschsprays bereits im Vorfeld entfernt. Alle weiteren Bedingungen der Versuche entsprechen denen der Löschversuche mit den Feuerlöschern.

Weitergehend werden vier weitere Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays durchgeführt, wobei die Feuerlöschsprays nicht zeitgleich, sondern hintereinander durch eine Bedienperson zum Einsatz gebracht werden. Der Wechsel auf das zweite Feuerlöschspray erfolgt hierbei ebenso nach eigenem Ermessen durch die Bedienperson, wobei der Versuchsraum für diesen Wechsel kurzzeitig verlassen werden muss.

#### Papierkorbbrände:

Für die Löschversuche mit Papierkörben werden pulverbeschichtete Drahtmetallpapierkörbe mit einem Fassungsvermögen von 23 L verwendet. Als Füllung werden insgesamt 64 Papierkugeln aus Zeitungsdruckpapier in Anlehnung an die in der DIN 66084 [18] beschriebene Füllung eines Papierkissens verwendet, wobei auf Grund von Lieferproblemen anstelle von Papier der Größe DIN A2 solches mit der Größe DIN A3 verwendet werden muss. Hieraus resultiert eine rechnerische Beladung des Papierkorbs auf Basis des Papiergewichts von 0,391 kg. Dies ergibt, unter der Annahme eines Heizwertes von 18.336 kJ/kg [19, 6–71] für Zeitungsdruckpapier und einer Verbrennungseffektivität von 0,8 für feststoffartige Brandlasten [20, S. 20], eine maximale theoretische Gesamtwärmefreisetzung des Papiers von 5.735,5 kJ.

Die Papierkörbe werden für die Löschversuche in die schon für die Löschversuche der Holzkippen in Anlehnung an UL 1715 verwendete Versuchsumgebung, mittig auf die Abbrandwaage – anstelle der Holzkippe – eingebracht und mittels eines handelsüblichen Feuerzeugs an einer oberen Papierkugel entzündet. Sie werden jeweils nach einer Vorbrennzeit von 90 Sekunden mittels eines Feuerlöschsprays, bei dem der Schutzdeckel bereits im Vorfeld entfernt wird, gelöscht. Auch bei diesen Löschversuchen bewegt sich die Bedienperson nach eigenem Ermessen um den Brand und zeigt das vollständige Löschen an. Insgesamt werden drei Löschversuche mit einem Papierkorb durchgeführt.

### Adventskranzbrände:

Weitergehend werden zwei Löschversuche mit jeweils einem Feuerlöschspray und je einem brennenden Adventskranz (1,65 kg und 1,13 kg) in der beschriebenen Versuchsumgebung durchgeführt. Zur Zündung werden 35 mL n-Heptan auf eine Seite des Adventskranzes gegeben und dieses unmittelbar mit einem Feuerzeug gezündet. Der Löschvorgang wird nach einer Vorbrennzeit von 105 Sekunden eingeleitet und nach eigenem Ermessen durch die Bedienungsperson durchgeführt, welche auch das vollständige Löschen des Brandes anzeigt.

## **3.3 Brandsimulationen**

Für die numerische Simulation von Brandereignissen bieten sich insbesondere Feldmodelle respektive CFD (Computational Fluid Dynamics)-Modelle an, weshalb für die Brandsimulationen der Fire Dynamics Simulator verwendet wird. Dieser ermöglicht, unter Anwendung numerischer Methoden auf der Basis von Gleichungen zur Erhaltung von Masse, Energie und Impuls, auch die Ermittlung von Temperaturen, Drücken sowie Konzentrationen von Brandprodukten an beliebigen Punkten innerhalb der Simulationsumgebung. Hierbei sind diese Ergebnisse jedoch in erheblichem Maße von den vorgegebenen Anfangs- und Randbedingungen abhängig.

Für die Simulationen wird der Versuchsraum der Brand- und Löschversuche in FDS, nach der Durchführung von vergleichenden Simulationen mit unterschiedlichen Gitterweiten, mit einer Gitterweite von 2,5 cm abgebildet. Auf die Einbeziehung der vor dem Versuchsraum angeordneten Abzugshaube wird, insbesondere im Hinblick auf die zur Verfügung stehenden Rechenkapazitäten und unter Berücksichtigung der Fragestellungen, welche sich insbesondere auf den Versuchsraum selbst beziehen, verzichtet. Für die Abbildung des Brandes wird der in den Realversuchen ermittelte Verlauf des Mittelwertes des Gewichtes der Holzkrippen in Anlehnung an UL 1715 herangezogen und dieser Verlauf durch ein Polynom dritten Grades angenähert. Durch Differentiation dieses Polynoms kann der sekundliche Massenverlust abstrahiert und für die Berechnung der Wärmefreisetzungsrate mit folgender Formel verwendet werden:

$$\dot{Q} = X \cdot \dot{m} \cdot \Delta h_c$$

Für den Heizwert wird hierbei ein Wert von  $\Delta h_c=21.000$  kJ/kg [21, S. 791] für Kiefernholz und eine Verbrennungseffektivität von  $X=1$  angenommen. Der so ermittelte Verlauf der Wärmefreisetzungsrate wird auf die für FDS erforderliche flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate, bei einer Brandfläche von  $A_{\text{Brd}}=0,16$  m<sup>2</sup>, umgerechnet und über die in Tabelle 2 wiedergegebenen Zeitpunkte mit den jeweiligen Anteilswerten von der maximalen flächenbezogenen Wärmefreisetzungsrate in die Simulation eingebracht.

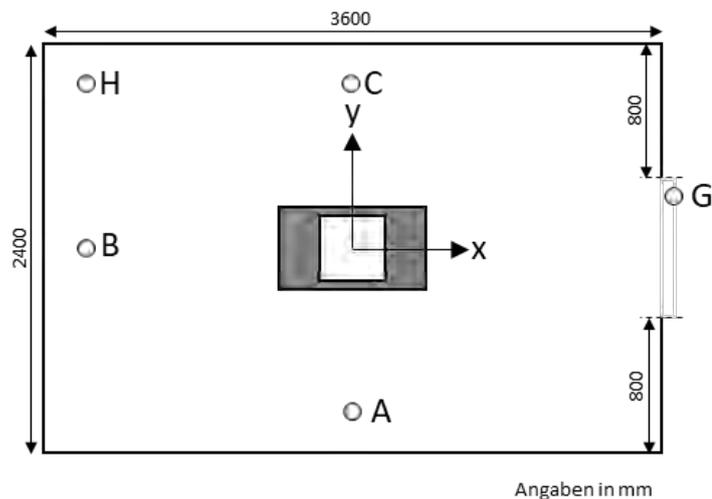
**Tabelle 2**

Verlauf der flächenbezogenen Wärmefreisetzungsrate für die Brandsimulationen

| Zeit [s] | Anteil der maximalen flächenbezogenen Wärmefreisetzungsrate [%] |
|----------|---|
| 0        | 0   |
| 120      | 40,6  |
| 240      | 63,7  |
| 360      | 81,2  |
| 480      | 93,1  |
| 600      | 93,3  |
| 720      | 100   |
| 840      | 95,1  |
| 960      | 84,5  |
| 1080     | 68,3  |
| 1200     | 46,5  |

Auf dieser Basis wird eine erste Simulation durchgeführt und die sich hieraus ergebenden Temperaturwerte an einem Messpunkt über die Zeit aufgetragen. Durch einen Vergleich des Integrals dieses Temperaturverlaufs über die Zeit mit dem Integral des gemittelten Temperaturverlaufs über die Zeit des äquivalenten Messpunktes aus den Brandversuchen kann die Verbrennungseffektivität weitergehend zu  $X=0,91$  bestimmt werden, woraus eine maximale flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate von  $1543,75 \text{ kW/m}^2$  resultiert. Diese flächenbezogene Wärmefreisetzungsrate wird mit dem in Tabelle 2 dargestellten zeitlichen Verlauf für die weitergehenden Simulationen genutzt.

Zur Auswertung der aufgetretenen Temperaturen werden im Simulationsraum an insgesamt vier Stellen Messpunkte für die stationäre Temperaturlaufzeichnung angeordnet. An den in Abbildung 4 dargestellten Stellen A, B und c wird die Temperatur jeweils auf einer Höhe von 0,30 m, 0,80 m, 1,30 m, 1,70 m, 1,80 m und 2,20 m ermittelt, während an der Stelle G die Temperatur auf einer Höhe von 1,20 m sowie 1,75 m aufgezeichnet wird. Weitergehend werden Slices zur Darstellung der Temperaturverteilung im Raum eingesetzt. So lässt sich beispielsweise dem Slice  $x=0$  die Temperaturverteilung auf der Ebene, die durch die x- und y-Achse aufgespannt wird, an der Position  $x=0$  entnehmen. Insgesamt werden für die Auswertung der Temperaturverteilung im Raum fünf Slices an den Positionen  $x=0$ ,  $x=1,90$ ,  $y=0$ ,  $z=1,35$  und  $z=1,75$  m genutzt.



**Abbildung 4** Anordnung der Temperaturmessstellen im simulierten Versuchsraum auf der z-Ebene

Die bei einer Verbrennung entstehenden Brandzersetzungsprodukte werden in FDS anhand einer vorzugebenden Reaktionsgleichung berechnet. Diese Reaktionsgleichung ist grundsätzlich eine Vereinfachung der Wirklichkeit auf der Grundlage von Literaturwerten und experimentellen Daten, weshalb diese die komplexen chemischen Vorgänge bei einer Verbrennung nur rudimentär abbilden kann. In Ermangelung einer publizierten Reaktionsgleichung für eine Waldkiefer wird eine Reaktionsgleichung für eine Douglasie [22, S. 178 f.] verwendet.

Die Auswertung der brandinduzierten Gaskonzentrationen in der Simulation beschränkt sich, auf Grund der vorgegebenen Reaktionsgleichung, auf die Konzentrationen von CO, CO<sub>2</sub> sowie O<sub>2</sub>. Für die Auswertung werden Slices an den Stellen  $x=0$ ,  $x=1,9$ ,  $y=0$ ,  $z=1,35$  sowie  $z=1,75$  herangezogen.

Die für die Abbildung der Brandversuche genutzte Simulation wird weitergehend als Grundlage für die Abschätzung der Auswirkungen unterschiedlicher Raumhöhen verwendet. Hierzu wird die Simulation lediglich hinsichtlich der Raumhöhe abgeändert und erneut für die Raumhöhen 4 m und 6 m durchgeführt. Alle sonstigen Parameter sind zwischen den Simulationen äquivalent.

## 4 Ergebnisse des Gesamtvorhabens

Die Ergebnisse der durchgeführten Brand- und Löschversuche werden nachfolgend dargestellt und ausgewertet. Hierbei wird, sofern mehrere Versuche innerhalb einer Versuchsreihe durchgeführt wurden, auf Grund der erheblichen Datenmenge jeweils nur die gesamte Versuchsreihe und kein Einzelversuch betrachtet. Da die Heatfluxsensoren sehr sensibel und störanfällig gegenüber Fremdeinwirkungen sind, jedoch personengetragen eingesetzt werden, enthalten die aufgezeichneten Messwerte teils große Messwertsprünge, bei denen ein artefaktischer Charakter nicht ausgeschlossen werden kann, weshalb eine Auswertung über eine vollständige Versuchsreihe nicht zielführend erscheint. Daher wird bei der Auswertung des Wärmestroms jeweils auf einen Einzelversuch der Versuchsreihe abgestellt.

Für die Auswertung der Versuchsreihen wird der zeitliche Verlauf jeder Messgröße jedes Einzelversuchs in den Auswertegrafiken grau hinterlegt. Weiterhin wird der sich aus den Einzelversuchen ergebende Mittelwert über die Zeit aufgetragen und die zugehörige  $1\sigma$ -Umgebung abgebildet. Um eine Betrachtung der Extremwerte zu ermöglichen, wird für die ermittelten Gaskonzentrationen der für jeden Zeitpunkt der Versuchsdauer innerhalb der Versuchsreihe ermittelte Extremwert als Maximum respektive Minimum aufgetragen.

Bei den doppelt gemessenen Konzentrationen von CO sowie O<sub>2</sub> (sowohl vom X-am 7000 als auch vom X-am 8000) der personengetragenen Messung werden die beiden Konzentrationen in einem ersten Schritt über den zeitlichen Verlauf des Einzelversuchs gemittelt. Dieser Mittelwert wird weitergehend als Darstellung der gemessenen Konzentration des Einzelversuchs in den Diagrammen verwendet. Um etwaig aufgetretene Extremwerte nicht durch diese Mittelwertbildung zu relativieren, wird der dargestellte Extremwert unabhängig von dieser Mittelung ermittelt und bildet den von beiden Messgeräten je Zeitschritt ermittelten Extremwert ab.

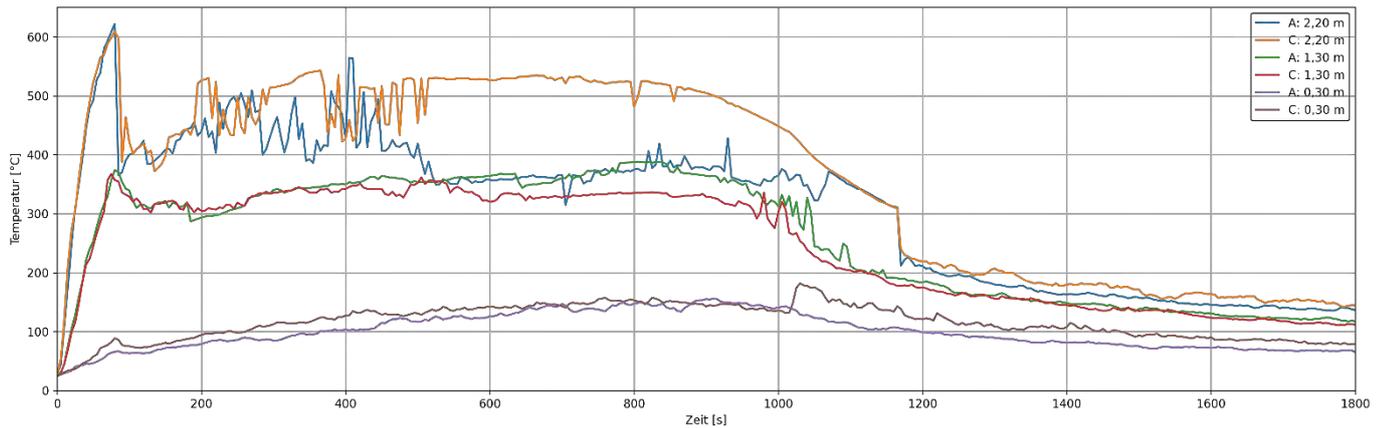
Zur Verdeutlichung der mittels Brandsimulationen ermittelten Verläufe von Temperatur und Gaskonzentrationen wird in den Auswertegrafiken neben den ermittelten Verläufen auch das Polynom sechsten Grades der jeweiligen Verläufe dargestellt.

### 4.1 Ergebnisse der Brandversuche

Als Brandversuche werden sowohl der durchgeführte Vorversuch mit einer Holzkrippe 8A entsprechend der DIN EN 3-7 als auch die Versuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 ausgewertet.

#### Vorversuch:

Der Vorversuch für die Holzkrippenbrände erfolgt mittels des in Kapitel 3.1 beschriebenen Versuchsaufbaus und einer Holzkrippe 8A entsprechend der DIN EN 3-7. Dabei kann festgestellt werden, dass bei einer Verwendung von 1,5 L *n*-Heptan als Zündinitial dieses 90 Sekunden nach der Zündung vollständig verbrannt ist und die dabei freiwerdende Wärmeenergie ausreicht, um einen Vollbrand der Holzkrippe herbeizuführen. Insgesamt beträgt die Gesamtbrenndauer der Holzkrippe 1420 Sekunden.



**Abbildung 5** Temperaturverläufe an den Messpunkten A und C des Brandes einer Holzkrippe 8A

Die Auswertung der im Raum gemessenen Temperaturen (Abbildung 5) zeigt, dass die höchsten Temperaturen von 622 °C (Messpunkt A) und 608,9 °C (Messpunkt C) auf einer Höhe von 2,20 m bereits nach 80 Sekunden und damit zehn Sekunden vor dem Erlöschen des Zündinitials auftreten, weshalb diese Maximaltemperaturen im Wesentlichen auf das Verbrennen des Zündinitials und nicht der Holzkrippe zurückzuführen sein werden. Nach diesen zündinitialbedingten Temperaturmaxima können im Versuchsraum auf einer Höhe von 2,20 m Maximaltemperaturen von 564,4 °C (Messpunkt A nach 405 Sekunden) und 542,9 °C (Messpunkt C nach 365 Sekunden) gemessen werden. Nach 480 Sekunden werden im Versuchsraum auf einer Höhe von 2,20 m Temperaturen von 419 °C (Messpunkt A) sowie 527,8 °C (Messpunkt C) und auf einer Höhe von 1,30 m von 359 °C (Messpunkt A) sowie 327,3 °C (Messpunkt C) aufgezeichnet. Alle zu diesem Zeitpunkt an den Messpunkten A und C aufgezeichneten Temperaturen sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

**Tabelle 3** Temperaturen an den Messpunkten A und C nach 480 Sekunden beim Brand einer Holzkrippe 8A

| Messpunkt | Höhe [m] | Temperatur [°C] |
|-----------|----------|-----------------|
| A         | 2,20     | 419,0           |
| C         | 2,20     | 527,8           |
| A         | 1,30     | 359,0           |
| C         | 1,30     | 327,3           |
| A         | 0,30     | 121,6           |
| C         | 0,30     | 126,2           |

Es zeigt sich, dass die zum Zeitpunkt 480 Sekunden – der Zeitpunkt, zu dem im Testverfahren nach DIN EN 3-7 der Löschvorgang eingeleitet wird – auftretenden Temperaturen im Testraum derart hoch sind, dass eine gefahrlose Annäherung von Personen, wie in der ASR A2.2 bei einem Entstehungsbrand gefordert, nicht mehr möglich ist (vgl. hierzu auch [23, S. 45]). Einen visuellen Eindruck von der Situation im Versuchsraum zu diesem Zeitpunkt liefert Abbildung 6.



**Abbildung 6** Versuchsraums mit einer brennenden 8A-Holzkippe 480 Sekunden nach Zündung

Daher scheidet eine Nutzung der 8A-Holzkippe, insbesondere auf Grund der auftretenden Temperaturen, aber auch vor dem Hintergrund der Überlagerung des Holzkippenbrandes durch das genutzte Zündinitial, aus und ein optimierter Versuchsaufbau wird entworfen.

#### Holzkippenbrände:

Es zeigt sich, dass eine Zündung der Holzkippen mittels 50 mL *n*-Heptan, und einer daraus resultierenden mittleren Brenndauer des Zündinitials von  $140 \pm 14$  Sekunden, für einen Vollbrand dieser ausreichend ist und keine zündinitialbedingte Temperaturüberlagerung mehr auftritt. Auch sind die Temperaturen zum Zeitpunkt 480 Sekunden, gegenüber dem Vorversuch deutlich geringer. So liegt beispielsweise der Mittelwert der Temperatur am Messpunkt A auf einer Höhe von 2,20 m ( $203,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) deutlich unter der im Vorversuch an gleicher Stelle gemessenen Temperatur von  $419,0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Auch die an diesem Punkt ermittelte Maximaltemperatur von  $217,2 \text{ }^\circ\text{C}$  zum Zeitpunkt 480 Sekunden aus allen Versuchen der Versuchsreihe liegt damit um  $201,8 \text{ }^\circ\text{C}$  unterhalb der Vergleichstemperatur des Vorversuchs. Abbildung 7 zeigt den Versuchsraum zu diesem Zeitpunkt.



**Abbildung 7** Versuchsraums mit einer brennenden UL 1715-Holzkrippe 480 Sekunden nach Zündung

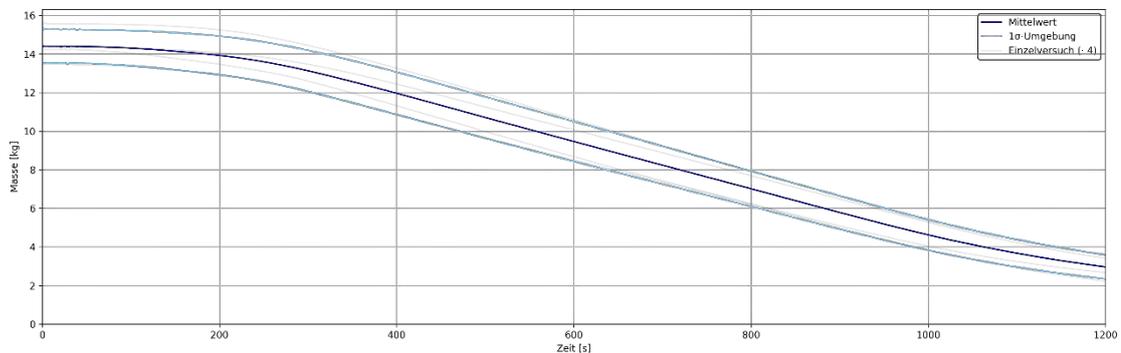
Auf einer Höhe von 1,80 m wird am Messpunkt C mit 209,4 °C der höchste Temperaturmittelwert und mit 218,6 °C die höchste Maximaltemperatur zum Zeitpunkt 480 Sekunden ermittelt, während auf einer Höhe von 1,30 m zu gleicher Zeit am gleichen Messpunkt eine durchschnittliche Temperatur von 71,0 °C und eine Maximaltemperatur von 76,6 °C festzustellen ist. Die Mittelwerte und die maximalen Temperaturen nach 480 Sekunden der Messpunkte A, B sowie C für die Höhen 2,20 m, 1,80 m und 1,30 m können Tabelle 4 entnommen werden. Die vollständigen Temperaturzeitverläufe für alle drei Messpunkte auf einer Höhe von 1,80 m können Abbildung 38 bis Abbildung 40 des Anhangs entnommen werden.

**Tabelle 4** Temperaturen an den Messpunkten A, B und C nach 480 Sekunden der Brände der Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

| Messpunkt | Höhe [m] | Mittelwert Temperatur [°C] | Maximum Temperatur [°C] |
|-----------|----------|----------------------------|-------------------------|
| A         | 2,20     | 203,2±8,8                  | 217,2                   |
| B         | 2,20     | 210,1±11,1                 | 225,0                   |
| C         | 2,20     | 214,8±15,7                 | 242,7                   |
| A         | 1,80     | 175,2±8,7                  | 183,9                   |
| B         | 1,80     | 204,1±8,1                  | 213,5                   |
| C         | 1,80     | 209,4±8,7                  | 218,6                   |
| A         | 1,30     | 67,2±4,2                   | 72,0                    |
| B         | 1,30     | 50,2±3,4                   | 55,6                    |
| C         | 1,30     | 71,0±5,0                   | 76,6                    |

Die Auswertung des brandbedingten Massenverlustes gibt Abbildung 8 wieder. Diese zeigt eine sehr gleichförmige Gewichtsabnahme der Holzkrippe über die Zeit, welche für alle Holzkruppen vergleichbar festzustellen ist. Die während des Verlaufs auftretenden Gewichtsunterschiede zwischen den Kruppen sind mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf den bereits zu Beginn vorhandenen Massenunterschied zurückzuführen. Eine starke singuläre Gewichtsabnahme der Kruppe in Folge eines Zusammenbruchs ist in dieser Auswertung nicht zu erkennen,

da sich diese auf den Massenverlust innerhalb der ersten 1.200 Sekunden beschränkt. Der früheste Zusammenbruch einer Holzkrippe erfolgte jedoch erst nach 1.345 Sekunden. Insgesamt ergab sich somit im Mittel ein Massenabbrand von 11,4 kg innerhalb der ersten 1.200 Sekunden.



**Abbildung 8** Masse der Holzkrippe über die Zeit der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

Am Messpunkt G können stationär auf einer Höhe von 1,20 m nur relativ geringe Konzentrationsänderungen festgestellt werden. So zeigt sich über die vollständige Versuchsdauer eine schwankende Kohlenstoffmonoxidkonzentration, die zwischenzeitlich einen Maximalwert von 14,5 ppm erreicht, welcher hinsichtlich einer etwaigen Personengefährdung jedoch vernachlässigt werden kann. Ebenso ist im zeitlichen Verlauf der Kohlenstoffdioxidkonzentration nur ein leichter Anstieg feststellbar. Bis zum Zeitpunkt 400 Sekunden ist fast durchgängig eine mittlere und maximale Kohlenstoffdioxidkonzentration von 600,0 ppm messbar, während ab diesem Zeitpunkt ein langsamer Konzentrationsanstieg bis zum Ende der Versuchsdauer beobachtet werden kann. Nach 1.200 Sekunden ist eine mittlere Konzentration von 875 ppm und eine maximale Konzentration von 1.000 ppm festzustellen. Ebenso weist der Konzentrationsverlauf von Sauerstoff nur ein minimales Absinken mit voranschreitender Versuchsdauer auf, liegt hierbei jedoch durchgängig in einem Intervall zwischen 20,88 Vol.-% und 20,96 Vol.-%, weshalb die Relevanz dieser Veränderung zu vernachlässigen ist. Die vollständigen Konzentrationsverläufe können Abbildung 41, Abbildung 43 und Abbildung 45 des Anhangs entnommen werden.

Auf einer Höhe von 1,73 m werden am gleichen Messpunkt jedoch relevante Änderungen der Konzentration über die Zeit erfasst. Ab einer Versuchsdauer von etwa 57 Sekunden ist ein steiler Anstieg der Kohlenstoffmonoxidkonzentration zu beobachten, welcher sein Maximum im Mittel nach 111 Sekunden mit 84,5 ppm und im Maximum nach 117 Sekunden mit 189,0 ppm erreicht. Nach diesen Hochpunkten ist im darauffolgenden Zeitintervall bis etwa 261 Sekunden ein Konzentrationsrückgang auf im Mittel 44,25 ppm und im Maximum auf 87,0 ppm festzustellen. Daher ist davon auszugehen, dass dieser anfängliche Anstieg der Kohlenstoffmonoxidkonzentration auf eine unvollständige Verbrennung des Zündinitials zurückzuführen ist. Dies würde auch den danach folgenden leichteren Konzentrationsanstieg erklären, der durch den Brand der Holzkrippe hervorgerufen wird und die maximale Ausprägung im Mittel nach 633 Sekunden mit 68,5 ppm und im Maximum nach 655 Sekunden mit 145,0 ppm erreicht. Im weiteren Verlauf kann wiederum ein Abfallen der Konzentrationen auf im Mittel 24,3 ppm nach 1.200 Sekunden festgestellt werden. Im Konzentrationsverlauf von Kohlenstoffdioxid

kann kein eindeutiger, dem Zündinitial zuzuordnender Effekt festgestellt werden. Hier zeigt sich von Beginn an ein kontinuierlicher Konzentrationsanstieg bis zu einer Versuchsdauer von etwa 400 Sekunden. Zu diesem Zeitpunkt werden im Mittel Konzentrationen von 13.375 ppm und im Maximum 27.600 ppm gemessen, die ab diesem Zeitpunkt sehr konstant mit einer leicht abnehmenden Tendenz bis zum Ende der Versuchsdurchführung festgestellt werden können. Ein dazu fast gleichartiges Verhalten kann für die Konzentration von Sauerstoff festgestellt werden. Hier ist ein verhältnismäßig gleichförmiges Absinken der Konzentration im Zeitintervall bis 400 Sekunden auf im Mittel 20,0 Vol.-% und im Maximum auf 18,4 Vol.-% zu beobachten, während darauffolgend eine kontinuierliche Konzentration in diesem Bereich mit einem geringen Anstieg zum Versuchsende hin auftritt. Die vollständigen Konzentrationsverläufe finden sich in Abbildung 43, Abbildung 45 und Abbildung 47 des Anhangs.

## 4.2 Ergebnisse der Löschversuche

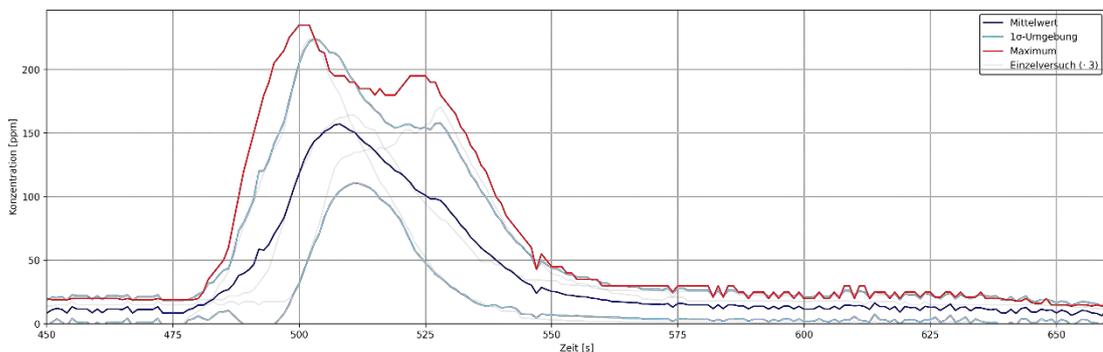
### Holzkippenbrände mit einem Feuerlöscher:

Im Rahmen der drei Löschversuche mit einem Feuerlöscher mit einem Inhalt von drei Litern Wasser kann die brennende Holzkippe durchschnittlich innerhalb von 13,3 Sekunden und maximal nach 16 Sekunden vollständig gelöscht werden. Hierbei verbleiben 1,05 L bis 1,7 L als Restlöschmittel im Feuerlöscher, welches nicht mehr benutzt wird. Bedingt durch diesen Löschvorgang sinken auch die aufgezeichneten Temperaturen im Versuchsraum deutlich und steigen nicht noch mal erneut an (vgl. hierzu auch Abbildung 48 bis Abbildung 50 des Anhangs). So liegt beispielsweise die mittlere Temperatur am Messpunkt A auf einer Höhe von 1,80 m nach einer Gesamtdauer von 600 Sekunden, und damit zwei Minuten nach dem Beginn der Löschmaßnahmen, bei 107,1 °C und die Maximaltemperatur bei 110,7 °C.

Auf einer Höhe von 1,20 m wird am Messpunkt G bis zu einer Versuchszeit von etwa 320 Sekunden eine sehr geringe Kohlenstoffmonoxidkonzentration gemessen, die im Mittel ein Konzentrationsmaximum von 0,6 ppm und eine maximale Konzentration von 1,8 ppm aufweist. Von diesem Zeitpunkt an kann ein gleichförmiger aber mäßiger Konzentrationsanstieg bis zum Zeitschritt 511 Sekunden beobachtet werden, an welchem im Mittel eine Konzentration von 2,6 ppm und im Maximum eine Konzentration von 5,3 ppm gemessen wird. Nachfolgend ergibt sich ein steilerer Anstieg der Konzentration, der im Konzentrationsmaximum von im Mittel 15,9 ppm nach 587 Sekunden sowie im Maximum von 41,5 ppm nach 594 ppm seinen Wendepunkt findet und danach kontinuierlich bis zum Zeitschritt 688 Sekunden auf im Mittel 0,8 ppm und im Maximum auf 2,2 ppm sinkt. Der Verlauf von Kohlenstoffdioxid zeigt in den ersten 420 Sekunden eine sehr konstante Konzentration von im Maximum 600 ppm. Erst ab einer Versuchsdauer von 428 Sekunden ist ein sehr moderater Anstieg auf eine maximale Konzentration von 900 ppm feststellbar. Ebenso unauffällig zeigt sich der Verlauf der Sauerstoffkonzentration über die Versuchsdauer, welcher sich durchgängig im Bereich von 20,90 Vol.-% und 20,96 Vol.-% befindet, weshalb die Konzentrationsänderungen über die Zeit als sehr marginal zu beschreiben sind. Die vollständigen Konzentrationsverläufe geben Abbildung 51, Abbildung 52 und Abbildung 53 des Anhangs wieder.

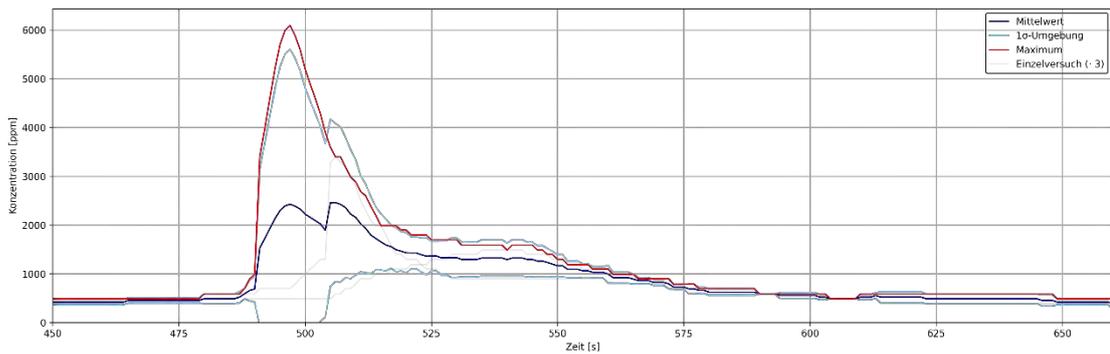
Auf Grund eines erst im Nachgang erkannten technischen Defektes des Messgerätes erfolgt auf einer Höhe von 1,73 m während dieser Versuchsreihe keine Erfassung der Konzentrationen von Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff.

Abbildung 9 gibt den Verlauf der Konzentration von Kohlenstoffdioxid über die Zeit der personengetragenen Gasmessung wieder. Hier zeigt sich erwartungsgemäß ein relevanter Konzentrationsanstieg erst ab einer Versuchsdauer von 480 Sekunden und damit in einem unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang mit dem Beginn der Löschmaßnahmen. Ab 480 Sekunden kann ein sehr schneller und steiler Konzentrationsanstieg verzeichnet werden, dessen Hochpunkt nach 500 Sekunden mit im Mittel 235 ppm und im Maximum nach 508 Sekunden mit 157,2 ppm erreicht wird. Während nach diesem Hochpunkt in der Mittelung der Konzentrationen ein stetiger Konzentrationsabfall zu erkennen ist, weist der Verlauf des Maximums nach einem kurzzeitigen Rückgang einen erneuten Konzentrationsanstieg auf 195 ppm nach 522 Sekunden auf, bevor auch hier ein deutlicher Konzentrationsrückgang auf Konzentrationen im Bereich der Ausgangskonzentrationen festzustellen ist.



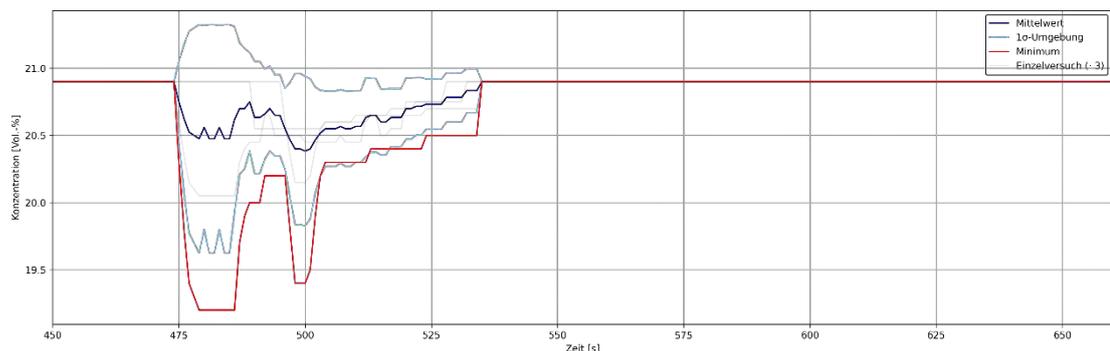
**Abbildung 9** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

Der Konzentrationsverlauf für Kohlenstoffdioxid zeigt, ebenso wie der Verlauf der Konzentration von Kohlenstoffmonoxid, einen dem Löschvorgang zuzuordnenden Ablauf. So ist auch hier ein steiler Anstieg erst nach 487 Sekunden und damit nach dem Beginn der Löschmaßnahmen festzustellen. Es zeigt sich ein sehr schnelles Erreichen der maximalen Konzentration von im Mittel 2.463 ppm nach 506 Sekunden sowie in der Maximalwertbetrachtung von 6.100 ppm nach 497 Sekunden. Auf diese Maximalwerte folgt ebenso ein sehr zügiges Absinken der Konzentration auf einen Konzentrationsbereich unterhalb von 2.000 ppm. Der vollständige Verlauf kann Abbildung 10 entnommen werden.



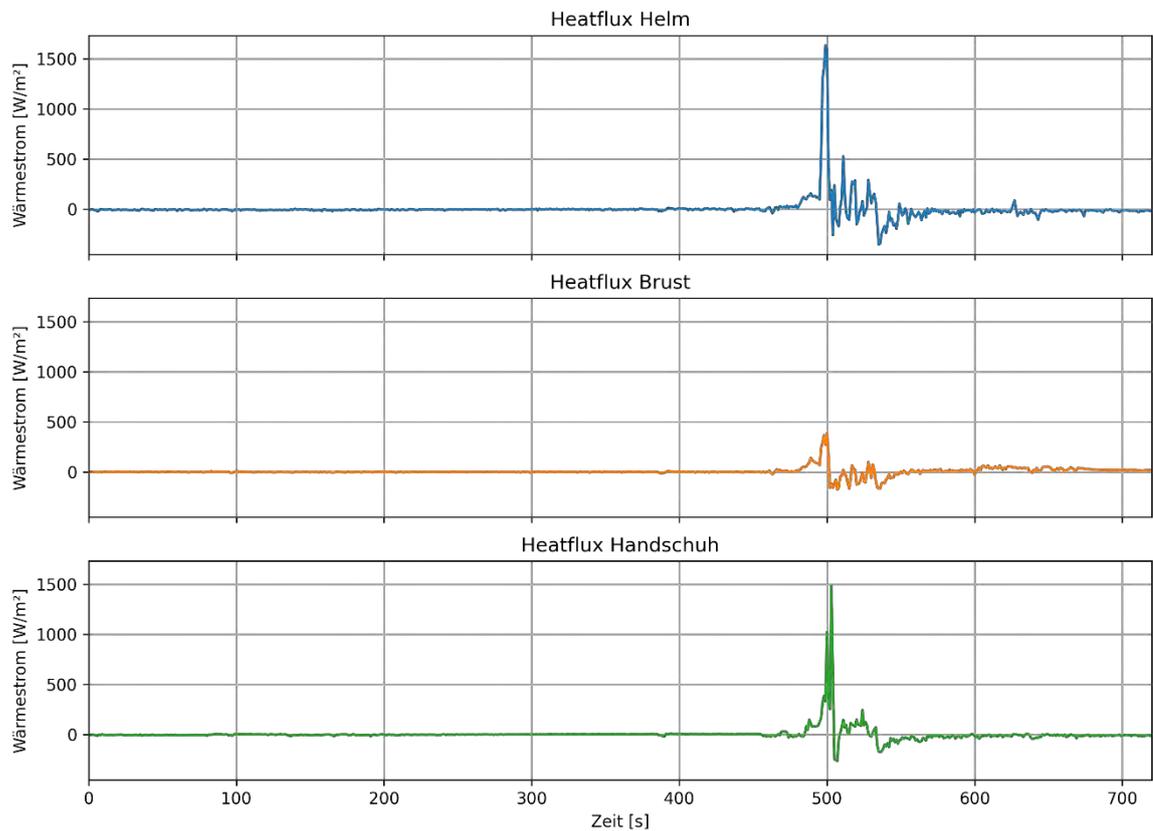
**Abbildung 10** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

Ein Absinken der Sauerstoffkonzentration ab dem Zeitpunkt 475 Sekunden ergibt sich aus dem in Abbildung 11 zu findenden Verlauf für die personengetragene Konzentrationsmessungen. In dieser zeigt sich ein sehr zügiges Absinken auf im Minimum 19,2 Vol.-% nach 479 Sekunden, während der Mittelwert der Sauerstoffkonzentration den geringsten Wert mit 20,4 Vol.-% erst nach 500 Sekunden erreicht. Weiterhin zeigt sich, dass die Sauerstoffreduktion nur für maximal 54 Sekunden festgestellt werden kann, da ab einer Versuchsdauer von 528 Sekunden wieder die ursprüngliche Sauerstoffkonzentration von 20,9 Vol.-% gemessen wird.



**Abbildung 11** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

Beim Einzelversuch für das Löschen der UL1715-Holzkrippe mittels eines Feuerlöschers mit einem Inhalt von drei Litern Wasser kann ein maximaler Wärmestrom von 1.634,0 W/m<sup>2</sup> (nach 499 Sekunden) am Helm der Bedienperson festgestellt werden. Der maximale Wärmestrom am Handschuh beträgt 1.487,0 W/m<sup>2</sup> und wird nach einer Versuchsdauer von 503 Sekunden aufgezeichnet. Innerhalb dieses Zeitraums der Feststellung des maximalen Wärmestroms von vier Sekunden wird mit 385,9 W/m<sup>2</sup> nach 500 Sekunden auch der maximale Wärmestrom an der Hand aufgezeichnet. Diese hohen Wärmeströme treten jedoch nicht über einen längeren Zeitraum, sondern nur für einige Sekunden auf. Während der restlichen Versuchsdauer werden hierzu vergleichsweise sehr geringe Wärmeströme festgestellt. Der vollständige Verlauf des aufgezeichneten Wärmestroms über die Zeit am Helm, an der Brust und am Handschuh kann Abbildung 12 sowie Abbildung 57 bis Abbildung 59 des Anhangs entnommen werden.



**Abbildung 12** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an Helm, Brust und Handschuh während eines Löschversuchs einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 mittels eines Feuerlöschers

#### Holzkruppenbrände mit einem Feuerlöschspray:

Es werden insgesamt drei Versuche mit einem Feuerlöschspray durchgeführt, wobei bei keinem dieser Versuche ein vollständiger Löscherfolg erzielt werden kann und ein Wiederaufflammen der Holzkrippe festzustellen ist. Die Versuche werden nach etwa 16 Minuten respektive 18 Minuten durch ein Ablöschen der Holzkruppen mittels eines Wandhydranten beendet. Dieser Verlauf der Versuchsdurchführung zeigt sich auch bei der Auswertung der im Versuchsraum erfassten Temperaturen. So zeigen die Verläufe der Temperatur über die Zeit an den Messpunkten A, B und C auf einer Höhe von 1,80 m, die sich in Abbildung 60, Abbildung 61 und Abbildung 62 finden, einen kontinuierlichen Anstieg der Temperatur auf eine maximale mittlere Temperatur von 179,8 °C nach 484 Sekunden (Messpunkt A), 202,6 °C nach 485 Sekunden (Messpunkt B) sowie 213,9 °C nach 482 Sekunden (Messpunkt C). Im darauffolgenden zeitlichen Abschnitt zeigt sich erst ein Absinken der Temperaturen an allen drei Messpunkten, bevor diese, bedingt durch das Wiederaufflammen der Holzkrippe, wieder ansteigen und neue Maximalwerte im Mittel erreichen.

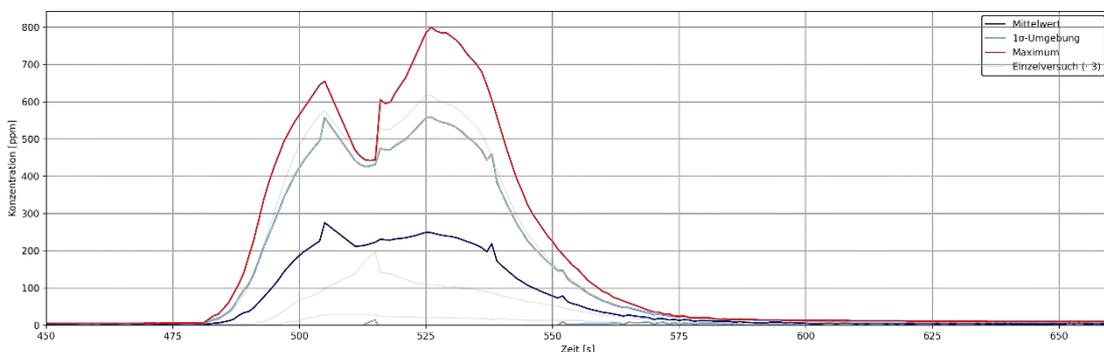
Im Rahmen der stationären Gasmessung am Messpunkt G kann auf einer Höhe von 1,20 m der in Abbildung 63 dargestellte Konzentrationsverlauf für Kohlenstoffmonoxid aufgezeichnet werden. Dieser zeigt im Zeitintervall bis 300 Sekunden eine sehr geringe Konzentration mit Maximalwerten von 0,3 ppm. Ab diesem Zeitschritt zeigt sich ein erster sehr geringfügiger Konzentrationsanstieg auf bis zu 0,6 ppm im Mittel und 1,8 ppm im Maximum nach 392

Sekunden, gefolgt von einem leichten Konzentrationsrückgang. Ab einer Versuchsdauer von 503 Sekunden ist dann ein vergleichsweise starker Konzentrationsanstieg erkennbar, in dessen Folge zum Zeitpunkt 556 Sekunden Maximalwerte von im Mittel 4,9 ppm und im Maximum 14,6 ppm gemessen werden. Nach diesen Maximalwerten ist wieder ein langsamer Konzentrationsrückgang bis zum Ende der ausgewerteten Versuchszeit erkennbar. Die Verläufe von Kohlenstoffdioxid und Sauerstoff (Abbildung 65 und Abbildung 67 des Anhangs) zeigen, sehr konstante Konzentrationsverläufe im Bereich von 533 ppm bis 700 ppm (Kohlenstoffdioxid) sowie 20,89 Vol.-% bis 20,93 Vol.-% (Sauerstoff).

Auf einer Höhe von 1,73 m zeigt sich im Konzentrations-Zeit-Diagramm für Kohlenstoffmonoxid (Abbildung 64) um 100 Sekunden ein leichter Anstieg der aufgezeichneten Konzentration auf 75 ppm (Mittelwert) respektive 122 ppm (Maximalwert), der wahrscheinlich auf eine unvollständige Verbrennung des Zündinitials zurückzuführen ist. Nach dem Erlöschen des Zündinitials ist erst ein leichter Konzentrationsrückgang bis etwa 180 Sekunden zu erkennen, auf den ein vergleichsweise moderates Ansteigen der Konzentration folgt. So liegt die Konzentration nach 492 Sekunden im Mittel bei 83 ppm und im Maximum bei 124 ppm. Auf diese Phase des geringen Anstiegs folgt jedoch ein sprunghafter Konzentrationsanstieg, der in einem zeitlichen Zusammenhang mit den durchgeführten Löschmaßnahmen zu sehen ist. So erreicht der Mittelwert nach 548 Sekunden ein Maximum von 767 ppm, während das Konzentrationsmaximum von 1.501 ppm nach einer Versuchsdauer von 536 Sekunden auftritt. Im weiteren Verlauf zeigt sich ein Konzentrationsabfall bis etwa 600 Sekunden (270 ppm im Mittel und maximal 490 ppm), dem ein nachgelagerter Konzentrationsanstieg bis zum Zeitpunkt 646 Sekunden mit im Mittel 433 ppm und im Maximum 764 ppm folgt. Im zeitlichen Intervall bis etwa 687 Sekunden ist ein erneuter Konzentrationsrückgang auf einen Mittelwert von 281 ppm und einen Maximalwert von 429 ppm zu verzeichnen. Ab etwa 687 Sekunden zeigt sich wieder ein starker Konzentrationsanstieg, dessen Hochpunkt im Mittel bei 631 ppm nach 808 Sekunden und in der Maximalwertbetrachtung bei 1194 ppm nach 842 Sekunden liegt und dem ein Konzentrationsrückgang folgt. Der Konzentrationsverlauf von Kohlenstoffdioxid kann lediglich für zwei der drei Versuche ausgewertet werden, da bei einem Versuch, bedingt durch einen erst im Nachgang festgestellten Defekt am Messgerät, keine Daten vorliegen. Der in Abbildung 66 des Anhangs wiedergegebene Verlauf der Konzentration von Kohlenstoffdioxid über die Zeit zeigt bis zu einer Versuchsdauer von etwa 360 Sekunden einen vergleichweisen gleichförmigen Anstieg der Konzentration auf im Mittel 26.450 ppm und im Maximum 30.800 ppm. Im folgenden Zeitintervall bis 500 Sekunden zeigt sich ein leichter Rückgang des Konzentrationsmaximums, während der Mittelwert der Konzentration nur noch sehr geringfügig ansteigt. Ab einer Versuchsdauer von 500 Sekunden lässt sich ein steiler Konzentrationsrückgang feststellen, sodass zum Zeitpunkt 600 Sekunden im Mittel eine Konzentration von 3.750 ppm und 5.000 ppm im Maximum festgestellt werden kann. Auf diesen Konzentrationsrückgang folgt ein erneuter Konzentrationsanstieg bis zum Ende der ausgewerteten Versuchsdauer, wodurch nach 880 Sekunden eine mittlere Konzentration von 24.800 ppm und eine maximale Konzentration von 25.700 ppm festzustellen ist. Für den Verlauf der Sauerstoffkonzentration, welcher Abbildung 68 entnommen werden kann, zeigt sich ein ähnlicher, nur umgekehrter Verlauf. Hier ist im Zeitintervall bis 350 Sekunden eine vergleichsweise gleichförmige Abnahme der Sauerstoffkonzentration auf 19,73 Vol.-% im Mittel und 18,38 Vol.-% im Minimum festzustellen. Diese

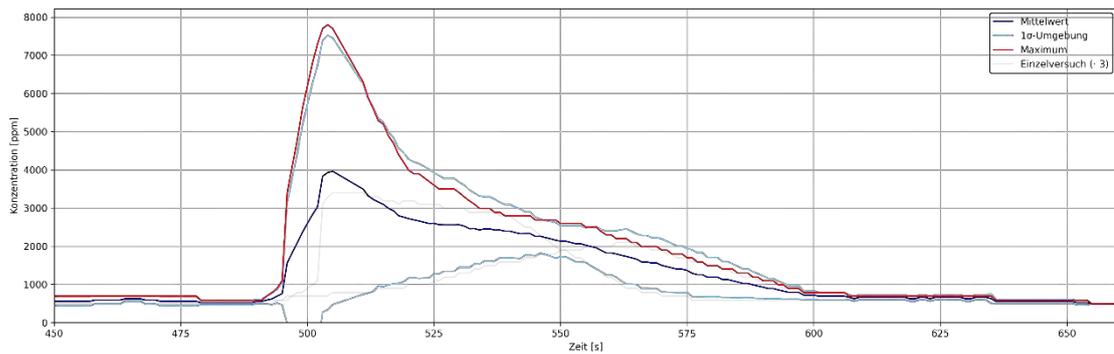
Konzentrationen halten sich sehr gleichförmig bis zu einer Versuchsdauer von 500 Sekunden. Ab diesem Zeitpunkt ist ein Anstieg der Sauerstoffkonzentration auf 21,34 Vol.-% im Mittel und 21,01 Vol.-% im Minimum erkennbar, bevor ein erneuter Rückgang der Sauerstoffkonzentration verzeichnet ist. Dieser gleichförmige Rückgang reicht bis zum Ende der ausgewerteten Versuchsdauer, weshalb nach 880 Sekunden eine mittlere Sauerstoffkonzentration von 19,82 Vol.-% und eine minimale Konzentration von 18,76 Vol.-% vorliegt.

Der in Abbildung 13 dargestellte Verlauf der Kohlenstoffmonoxidkonzentration über die Zeit für die personengetragene Messung zeigt im Bereich bis 480 Sekunden erwartungsgemäß keine wesentlichen Konzentrationen, da sich die Messgeräte zu diesem Zeitpunkt noch außerhalb des Versuchsraums befinden. Erst mit Beginn der Löschmaßnahmen nach 480 Sekunden zeigt sich daher der sehr steile Konzentrationsanstieg, in dessen Folge die mittlere Konzentration das Konzentrationsmaximum von 275 ppm nach 505 Sekunden erreicht. Zu diesem Zeitpunkt zeigt auch die Auswertung des Konzentrationsmaximums mit 655 ppm einen ersten Hochpunkt. Nach dem Erreichen dieser Werte lässt sich ein leichter Konzentrationsrückgang feststellen. Im Verlauf des Maximalwertes bildet sich darauffolgend ein erneut steiler Konzentrationsanstieg heraus, in dessen Folge ein Maximalwert von 800 ppm nach 525 Sekunden festgestellt werden kann. Im weiteren Verlauf ist ein Abfallen der Konzentration zu erkennen, sodass nach einer Versuchsdauer von etwa 585 Sekunden eine Konzentration im Bereich der Ausgangskonzentration vorliegt.



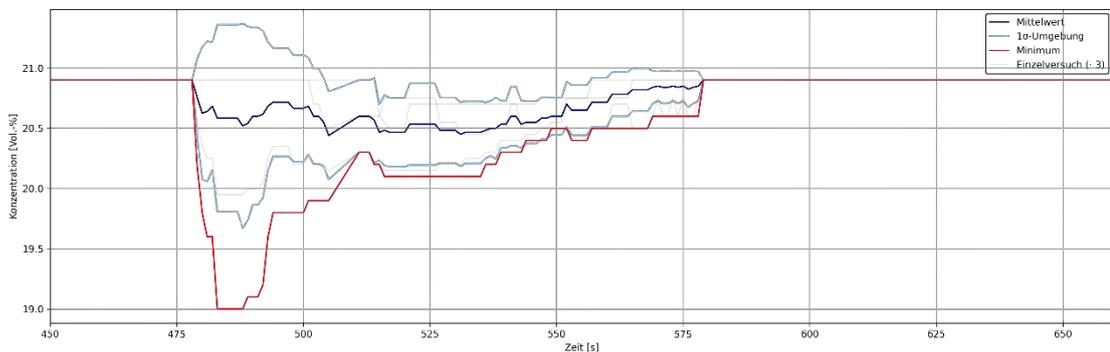
**Abbildung 13** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

Die personengetragene Messung von Kohlenstoffdioxid liefert den in Abbildung 14 gezeigten Konzentrationsverlauf. Dieser zeigt einen starken Konzentrationsanstieg ab einer Versuchsdauer von 495 Sekunden und erreicht nach 505 Sekunden einen maximalen Mittelwert von 3.963 ppm sowie einen absoluten Maximalwert von 7.800 ppm nach 504 Sekunden. Bis zu einer Versuchsdauer von etwa 520 Sekunden zeigt sich anschließend ein starker Konzentrationsrückgang auf im Mittel 2.723 ppm sowie im Maximum 3.990 ppm. Hieran schließt sich ein Intervall mit einem langsamer verlaufenden Konzentrationsrückgang an, welches nach einer Versuchsdauer von 600 Sekunden wieder Werte im Bereich der Ausgangskonzentration aufweist.



**Abbildung 14** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

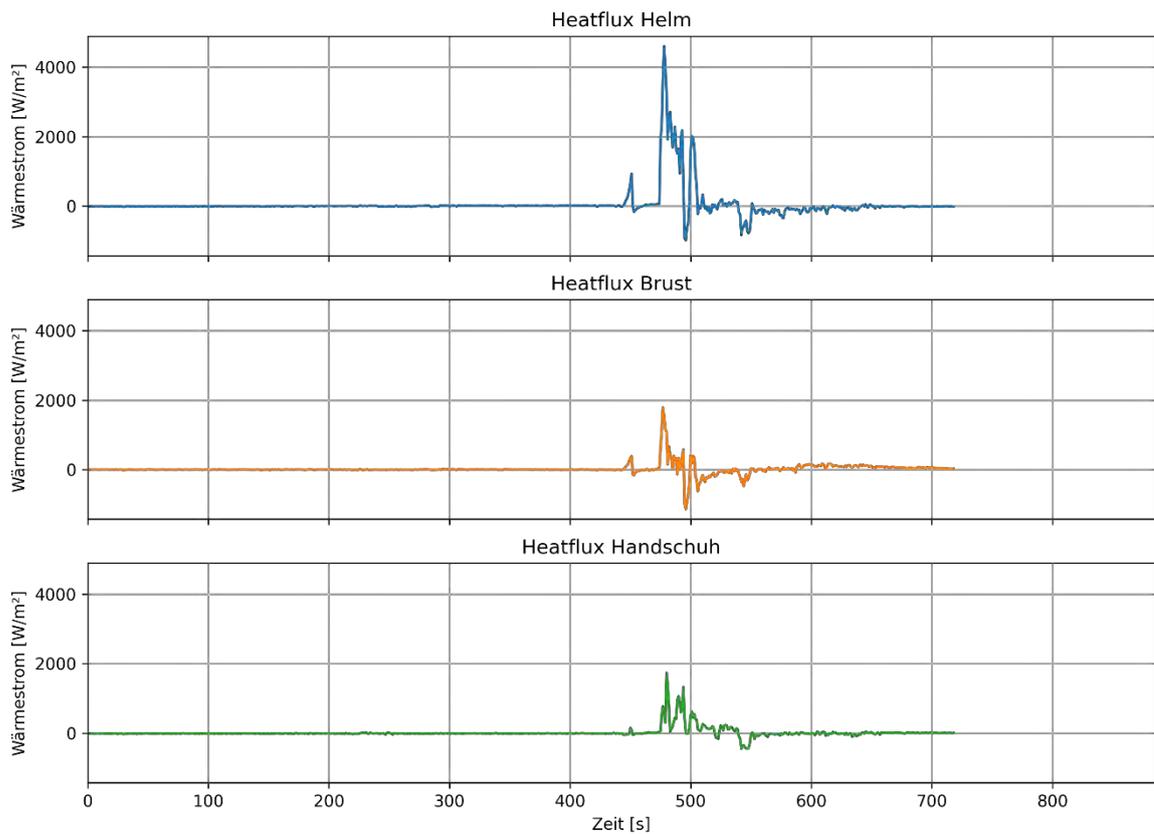
Der Verlauf der personengetragenen erfassten Konzentration von Sauerstoff findet sich in Abbildung 15. Dieser zeigt eine durchgängige Sauerstoffkonzentration im Zeitintervall bis 478 Sekunden sowie ab einer Versuchsdauer von 579 Sekunden bis zum Auswertungsende von 20,9 Vol.-%. Nach 478 Sekunden zeigt sich im Verlauf ein starker Konzentrationsrückgang im Maximum auf 19,0 Vol.-% nach 483 Sekunden, der insgesamt fünf Sekunden vorhält, bevor ein Konzentrationsniveau von 19,8 Vol.-% nach 494 Sekunden erreicht wird. Alle im weiteren Verlauf gemessenen minimalen Konzentrationen liegen über diesen festgestellten Werten. Die niedrigste mittlere Sauerstoffkonzentration von 20,4 Vol.-% tritt nach 505 Sekunden auf.



**Abbildung 15** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

Die Auswertung des Wärmestroms für einen Löschversuch zeigt, dass vor dem Beginn der Einleitung der Löschmaßnahmen keine relevanten Messwerte, mit Ausnahme eines kurzen Ausschlages im Zeitintervall zwischen 446 Sekunden und 451 Sekunden, welcher auf äußere Einflüsse der Versuchsumgebung zurückzuführen sein dürfte, aufgezeichnet werden. Ab einer Versuchszeit von 464 Sekunden kann hingegen zuerst ein langsamer Anstieg des Wärmestroms an allen drei Messpunkten festgestellt werden. Dieser Anstieg vergrößert sich nach 475 Sekunden sprunghaft, sodass der Maximalwert am Helm von 4.602 W/m<sup>2</sup> nach 478 Sekunden, der Maximalwert an der Brust nach 477 Sekunden (1789 W/m<sup>2</sup>) und der maximale Wärmestrom am Handschuh von 1.736 W/m<sup>2</sup> nach 480 Sekunden erreicht wird. Im Anschluss an diesen starken Anstieg treten im Zeitintervall bis 502 Sekunden weiterhin am Helm Wärmeströme im Bereich um bis zu 2.000 W/m<sup>2</sup> auf, während an den übrigen zwei Messpunkten vergleichsweise erheblich geringere Wärmeströme festgestellt werden können. Ab einer Versuchsdauer von

506 Sekunden können keine relevanten Wärmeströme mehr erfasst werden. Den vollständigen Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an den drei Messpunkten zeigt Abbildung 16.



**Abbildung 16** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an Helm, Brust und Handschuh während eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

#### Holzkrippenbrände mit zwei Feuerlöschsprays:

Für die Auswertung der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays der brennenden Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 können vier Versuche herangezogen werden. Die brennende Holzkrippe kann in keinem der Versuche mittels zwei Feuerlöschsprays unmittelbar gelöscht werden. In zwei Fällen lässt sich im Nachgang ein eigenständiges Erlöschen der Holzkrippe ohne weitere Maßnahmen 27 Sekunden sowie 307 Sekunden nach Abschluss der Löschmaßnahmen feststellen. In den beiden übrigen Versuchen erfolgt das Ablöschen der Holzkrippe nach einer Versuchsdauer von 960 Sekunden mittels eines Wandhydranten. In allen Versuchen kann die erste Löschspraydose restentleert werden, während bei drei von vier Versuchen ein vollständiges Entleeren des zweiten Löschsprays nicht möglich ist. Hier tritt, durch die Schräghaltung zum Ablöschen von Brandstellen im Inneren der Holzkrippe, ein Druckverlust auf, sodass nicht mehr genügend Druck für ein vollständiges Ausbringen des Löschmittels vorhanden ist. Das erste Löschspray ist bei den Versuchen im Mittel nach 534 Sekunden verbraucht, während die letztmögliche Löschmittelabgabe mit dem zweiten Feuerlöschspray im Mittel nach 586 Sekunden erfolgt.

Dieser Verlauf lässt sich auch in der Darstellung der Temperatur über die Zeit auf einer Höhe von 1,80 m an den Messpunkten A, B und C (vgl. hierzu Abbildung 75 bis Abbildung 77 des Anhangs) erkennen. Hier zeigt sich an allen drei Messpunkten ein gleichförmiger Anstieg der Temperatur bis zu einer Versuchsdauer von 480 Sekunden. Nach Einleitung der Löschmaßnahmen lässt sich ein schneller Temperaturrückgang an den Messpunkten B und C auf im

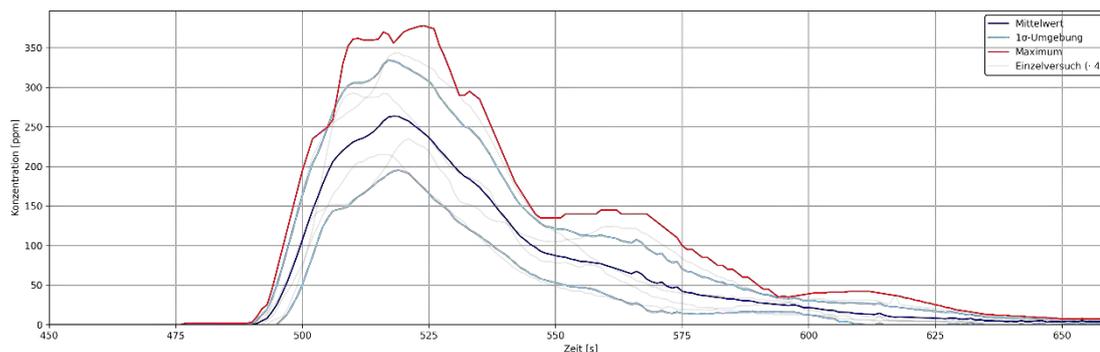
Mittel 73,1 °C nach 675 Sekunden feststellen, auf den ein erneuter Anstieg auf im Mittel 101,5 °C (Messpunkt B) respektive 101,8 °C (Messpunkt C) folgt. Dieser grundsätzliche Verlauf ist in unausgeprägter Weise auch für den Messpunkt A erkennbar.

Die Verläufe der stationären Gasmessung am Messpunkt G für eine Höhe von 1,20 m finden sich in Abbildung 78, Abbildung 80 sowie Abbildung 82 des Anhangs. Für Kohlenstoffmonoxid liegt bis zu einer Versuchsdauer von 521 Sekunden durchgängig eine Konzentration von 0 ppm vor, während ab diesem Zeitpunkt ein nahezu einer Gaußkurve ähnelnder Konzentrationsverlauf bis zu einer Versuchsdauer von 751 Sekunden erkennbar ist. Der Hochpunkt innerhalb dieses Verlaufes ist nach 609 Sekunden mit im Mittel 23,3 ppm und im Maximum 49,7 ppm erreicht. Nach einer Versuchsdauer von 751 Sekunden kann keine Konzentration mehr festgestellt werden. Für Kohlenstoffdioxid zeigt sich bis zu einer Versuchszeit von 497 Sekunden ein vergleichsweise geradliniger Verlauf der Konzentration im Bereich zwischen 500 ppm und 600 ppm, dessen stellenweise auftretenden Ausschläge messsystembedingt zu erklären sind. Ab 498 Sekunden ist dann ein leichter Konzentrationsanstieg feststellbar, in dessen Folge Maximalwerte von im Mittel 750 ppm und im Maximum von 900 ppm nach einer Versuchsdauer von 591 Sekunden erkennbar sind. Ab einer Versuchszeit von 633 Sekunden ist ein langsamer Rückgang der Konzentration auf die Ausgangswerte ersichtlich. Für den Verlauf der Sauerstoffkonzentration zeigt sich ein sehr leichtes Absinken der Konzentration auf 20,90 Vol.-% im Zeitintervall von 427 Sekunden bis 589 Sekunden, wobei in diesem Intervall auch wiederholt Zwischenwerte von 20,91 Vol.-% auftreten. Grundsätzlich treten bei dieser Messung nur sehr geringe Konzentrationsunterschiede auf, deren Minimalwerte über die ausgewertete Versuchsdauer zwischen 20,90 Vol.-% und 20,92 Vol.-% liegen.

Die Ergebnisse der Konzentrationsmessung von Kohlenstoffmonoxid über die Zeit am Messpunkt G auf einer Höhe von 1,73 m finden sich in Abbildung 79 des Anhangs. Die Abbildung zeigt einen Konzentrationsverlauf, der bis zum Zeitpunkt 501 Sekunden nur einen vergleichsweise geringen Anstieg aufweist. Dieser geringe Anstieg wird durch einen etwas schnelleren Konzentrationsanstieg im Bereich um 100 Sekunden durchbrochen, bei welchen Maximalwerten von im Mittel 80,5 ppm und im Maximum von 112 ppm auftreten und der mutmaßlich auf eine unvollständige Verbrennung des Zündinitials zurückzuführen ist. Ab einer Versuchsdauer von 502 Sekunden zeigt sich ein sehr schneller und ausgeprägter Konzentrationsanstieg, sodass nach 536 Sekunden ein Maximum der mittleren Konzentration von 1.026 ppm und nach 534 Sekunden ein Maximalwert von 1.507 ppm erreicht wird. Danach ist ein Abfallen der Konzentration auf im Mittel 661 ppm nach 566 Sekunden sowie 992 ppm im Maximum nach 992 Sekunden zu beobachten, worauf ein erneuter Konzentrationsanstieg folgt, der seine maximale Ausprägung nach 584 Sekunden (Mittelwert: 787,5 ppm; Maximum: 1437 ppm) erreicht. Auf diesen Hochpunkt folgt ein Abfallen der Konzentration im Zeitintervall bis 636 Sekunden bei der Betrachtung des Maximalwertes auf einen Wert von 698 ppm, bevor hier wieder ein Anstieg auf 1.255 ppm nach 718 Sekunden zu erkennen ist. Die mittlere Konzentration geht während dieser Zeitspanne kontinuierlich zurück und erreicht nach 746 Sekunden mit einer Konzentration von 296 ppm einen Tiefpunkt, da daran anschließend wieder ein Konzentrationsanstieg festzustellen ist. Nach einer Versuchsdauer von 880 Sekunden kann eine mittlere Konzentration von 574 ppm und eine maximale Konzentration 1.303 ppm gemessen werden. Auch der in Abbildung 81 zu findende Verlauf der

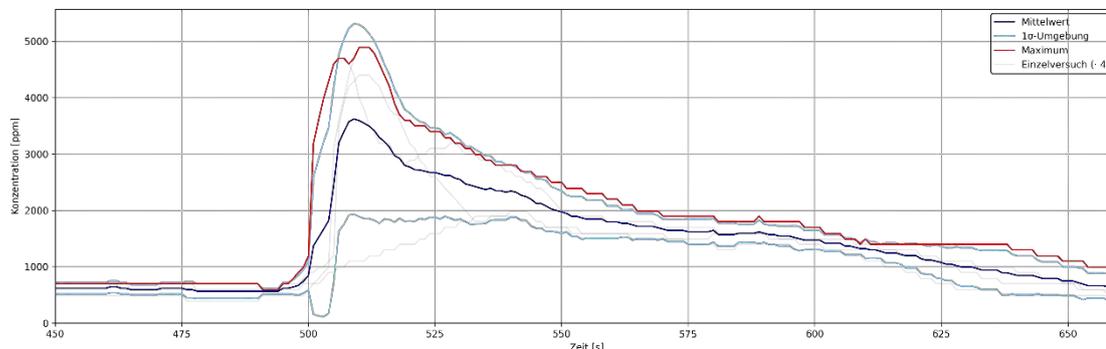
Kohlenstoffdioxidkonzentration zeigt im Zeitintervall bis 200 Sekunden eine vermutlich zündinitialbedingte Überlagerung des ausgezeichneten Werteverlaufs. Es zeigt sich insgesamt ein vergleichsweise gleichförmiger Anstieg der Konzentration auf im Mittel 28.600 ppm nach einer Versuchsdauer von 438 Sekunden und im Maximum von 29.800 ppm nach 406 Sekunden. Dieser Konzentrationsbereich hält sich bis etwa 500 Sekunden. Nach 500 Sekunden zeigt sich ein sehr steiler Konzentrationsrückgang, der nach 620 Sekunden mit 5.000 ppm den geringsten Maximalwert und nach 648 Sekunden den geringsten Mittelwert (2.275 ppm) erreicht, bevor ein erneuter Anstieg zu beobachten ist. Dieser Anstieg führt zu einer maximalen Konzentration von 20.700 ppm und einer mittleren Konzentration von 7.325 ppm nach einer Versuchsdauer von 880 Sekunden. Der in Abbildung 83 wiedergegebene Verlauf der Sauerstoffkonzentration über die Zeit zeigt ein dem Kohlenstoffdioxid sehr ähnliches Verhalten. Innerhalb der ersten 400 Sekunden ist ein vergleichsweise gleichförmiger Rückgang der Konzentration zu sehen, der im Bereich von 100 Sekunden bis 200 Sekunden durch eine wahrscheinlich zündinitialbedingte Absenkung der Sauerstoffkonzentration geprägt ist. Dieser Konzentrationsrückgang schwächt sich im Zeitintervall von 350 Sekunden bis etwa 400 Sekunden ab, sodass ab diesem Zeitpunkt eine vergleichsweise konstante Sauerstoffkonzentration gemessen wird. Die niedrigste in diesem Bereich gemessene mittlere Konzentration tritt nach einer Versuchsdauer von 444 Sekunden mit 18,42 Vol.-% auf, während die minimalste Konzentration (18,24 Vol.-%) nach 430 Sekunden erreicht wird. Ab einer Versuchsdauer von 508 Sekunden tritt ein steiler Anstieg der Sauerstoffkonzentration ein, in dessen Folge nach einer Versuchsdauer von 644 Sekunden die mittlere Konzentration bei 21,26 Vol.-% und die minimale Konzentration bei 21,14 Vol.-% liegt. Nach diesem Hochpunkt ist ein erneuter Konzentrationsrückgang dargestellt, sodass nach einer Versuchsdauer von 880 Sekunden im Mittel eine Konzentration von 20,70 Vol.-% und im Minimum eine Konzentration von 19,44 Vol.-% vorherrscht.

Der Verlauf der Konzentration von Kohlenstoffmonoxid der personengetragenen Messung über die Zeit findet sich in Abbildung 17 und zeigt keine nennenswerten Messwerte im Bereich bis 491 Sekunden. Ab diesem Zeitpunkt zeigt sich sowohl für den Verlauf des Mittelwertes, als auch für den des Maximalwertes ein steiler Anstieg, in dessen Folge Maximalwerte von im Mittel 264 ppm nach 518 Sekunden und im Maximum von 378 ppm nach 524 Sekunden auftreten. Während sich im Mittelwert in der Folge ein kontinuierliches Absinken der Konzentration zeigt, welches mit zunehmenden Zeit immer geringer wird, lässt sich für den Verlauf des Maximalwertes eine Plateaubildung im zeitlichen Intervall zwischen 545 Sekunden und 568 Sekunden im Bereich von 140 ppm bis 150 ppm feststellen. Nach diesem Plateau ist ein weitergehendes Absinken der Konzentration beobachtbar. Nach 650 Sekunden liegt wieder eine den Ausgangswerten entsprechende Konzentration vor.



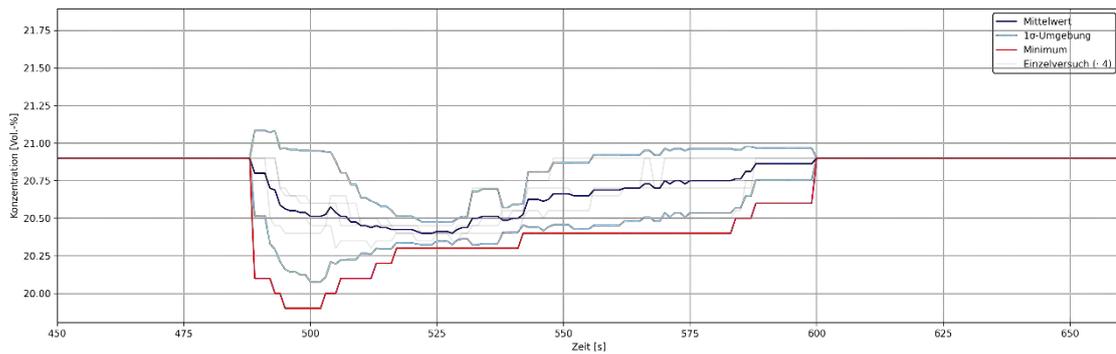
**Abbildung 17** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

Abbildung 18 zeigt den Verlauf der Konzentration von Kohlenstoffdioxid über die Zeit der personengetragenen Messung. Im Zeitraum bis 496 Sekunden finden sich in diesem Verlauf keine auffälligen Messwerte. Ab diesem Zeitpunkt ist ein steiler Konzentrationsanstieg festzustellen, der mit den eingeleitete Löschmaßnahmen in Verbindung zu bringen ist. So erreicht der Mittelwert nach 509 Sekunden seinen maximalen Wert von 3623 ppm, während das absolute Konzentrationsmaximum von 4.890 ppm eine Sekunde später verzeichnet ist. Diese Konzentrationen treten jedoch nur für einen kurzen Zeitraum auf. So liegt die Konzentration bereits nach 519 Sekunden im Mittel bei 2.800 ppm und im Maximum bei 3.600 ppm und verzeichnet von da an einen langsamen Rückgang, sodass zum Ende der Auswertezeit Konzentrationen im Bereich der Ausgangswerte vorherrschen.



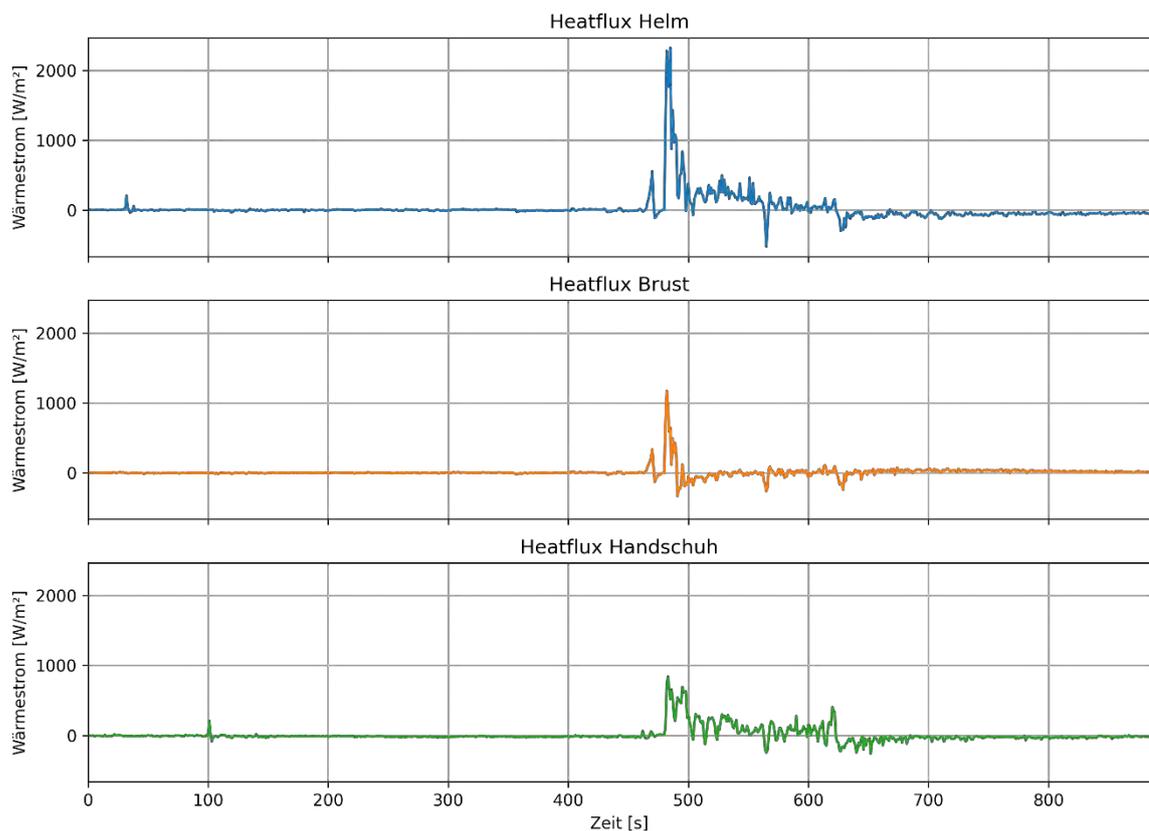
**Abbildung 18** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

Der in Abbildung 19 dargestellte zeitliche Verlauf der Sauerstoffkonzentration über die Zeit weist ebenso wie die anderen Verläufe der personengetragenen Messtechnik erst ab einer Versuchsdauer von 489 Sekunden relevante Veränderungen der Konzentration auf. So sinkt die Sauerstoffkonzentration ab 489 Sekunden im Minimum von 20,9 Vol.-% auf 19,9 Vol.-% nach 495 Sekunden, bevor ab einer Dauer von 502 Sekunden ein leichter Konzentrationsanstieg auf 20,3 Vol.-% nach 517 Sekunden vorliegt. Die mittlere Konzentration erreicht ihr Minimum nach 522 Sekunden mit 20,4 Vol.-% und steigt nach diesem Zeitpunkt wieder leicht an. Ab 600 Sekunden lässt sich bis zum Ende der Auswertungszeit durchgängig eine Konzentration von 20,9 Vol.-% erkennen.



**Abbildung 19** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

Die in Abbildung 20 verzeichneten Verläufe des Wärmestroms über die Zeit am Helm, der Brust und am Handschuh zeigen bis zu einer Versuchsdauer von 480 Sekunden keine relevanten Veränderungen des aufgezeichneten Wärmestroms. Ab einer Versuchsdauer von 481 Sekunden, und damit in einem zeitlichen Zusammenhang mit den eingeleiteten Löschmaßnahmen, ist jedoch ein sprunghafter Anstieg festzustellen. Der maximale Wärmestrom von 2.325 W/m<sup>2</sup> am Helm tritt nach einer Versuchsdauer von 485 Sekunden auf. Bereits nach 482 Sekunden kann an der Brust ein maximaler Wärmestrom von 1.172 W/m<sup>2</sup> gemessen werden, während am Handschuh ein maximaler Wärmestrom von 843 W/m<sup>2</sup> nach 483 Sekunden auftritt. Nach diesen sprunghaften Anstiegen lässt sich ein vergleichbares Abfallen der Messwerte erkennen. Bereits nach 502 Sekunden kann am Helm nur noch ein Wärmestrom von 98,2 W/m<sup>2</sup> gemessen werden. Ein gleichgelagerter Rückgang zeigt sich auch für die Messpositionen Brust und Handschuh.



**Abbildung 20** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an Helm, Brust und Handschuh während eines Löschversuchs mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715

#### Papierkorbbrände:

Insgesamt werden drei Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für das Löschen eines brennenden Papierkorbes ausgewertet. Erwartungsgemäß ist das auftretende Flammenbild im Versuchsraum deutlich kleiner und auf den Ursprungsort des Brandes beschränkter, als dies bei den Holzkrippen der Fall ist. Auch ist das Ausbilden einer visuell erkennbaren flächigen Rauchsicht im Deckenbereich vor der Einleitung der Löschmaßnahmen nicht festzustellen. Einen visuellen Eindruck vom Versuchsraum zum Zeitpunkt 90 Sekunden liefert Abbildung 21, welche im Rahmen von Vorversuchen unter gleichen Bedingungen entstanden ist.



**Abbildung 21** Versuchsaufbau mit einem brennenden Papierkorb 90 Sekunden nach Zündung

Bei den Löschversuchen zeigt sich, dass in allen drei Versuchen der Papierkorb erfolgreich gelöscht werden kann und danach noch eine Restlöschmittelmenge im jeweiligen Feuerlöschspray vorhanden ist, sodass noch weitergehende Löschmaßnahmen hiermit erfolgen können. Für das Löschen werden im Mittel 11 Sekunden und maximal 12 Sekunden benötigt.

Zum Zeitpunkt der Einleitung der Löschmaßnahmen (nach 90 Sekunden) kann im Versuchsaufbau auf einer Höhe von 2,20 m eine Maximaltemperatur von 72,2 °C am Messpunkt C bei einer mittleren Temperatur von 64,0 °C festgestellt werden. Die Maximaltemperatur auf einer Höhe von 1,80 m wird ebenso am Messpunkt C mit 60,7 °C und einer durchschnittlichen Temperatur von 53,2 °C ermittelt. Eine Übersicht über die zum Zeitpunkt 90 Sekunden an den Messpunkten A, B und C auf 1,30 m, 1,80 m und 2,20 m herrschenden Temperaturen liefert Tabelle 5. Die vollständigen Temperaturverläufe an den Messpunkten A, B und C auf einer Höhe von 1,80 m können Abbildung 90 bis Abbildung 92 des Anhangs entnommen werden.

**Tabelle 5** Temperaturen an den Messpunkten A, B und C nach 90 Sekunden der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb

| Messpunkt | Höhe [m] | Mittelwert Temperatur [°C] | Maximum Temperatur [°C] |
|-----------|----------|----------------------------|-------------------------|
| A         | 2,20     | 63,1±8,1                   | 70,8                    |
| B         | 2,20     | 53,0±5,3                   | 57,9                    |
| C         | 2,20     | 64,0±8,1                   | 72,2                    |
| A         | 1,80     | 51,5±7,6                   | 59,0                    |
| B         | 1,80     | 45,9±5,7                   | 51,6                    |
| C         | 1,80     | 53,2±8,0                   | 60,7                    |
| A         | 1,30     | 24,9±1,1                   | 25,9                    |
| B         | 1,30     | 23,7±0,8                   | 24,1                    |
| C         | 1,30     | 25,9±1,0                   | 26,8                    |

Bei der stationären Gasmessung in der Tür können auf einer Höhe von 1,20 m nur sehr geringe Konzentrationsänderungen während der Versuchsdurchführung für eine ausgewertete Versuchsdauer von 180 Sekunden festgestellt werden. So liegt die Konzentration von Sauerstoff durchgehend in einem Bereich von 20,92 Vol.-% bis 20,94 Vol.-% und die Konzentration von Kohlenstoffdioxid im Bereich von 600 ppm bis 700 ppm. Diese Konzentrationsbereiche entsprechen der vor Ort herrschenden Hintergrundkonzentration. Die aufgezeichneten Konzentrationsänderungen über die Versuchsdurchführung sind weitergehend so gering, dass diese mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Messungenauigkeit der Messtechnik zurückzuführen sind, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass keine Konzentrationsänderung vorliegt. Die Konzentration von Kohlenstoffmonoxid hingegen verändert sich über die ausgewertete Versuchszeit und erreicht eine Maximalkonzentration von 7,1 ppm. Diese wird nach 180 Sekunden und damit im Mittel 78 Sekunden nach dem Erlöschen der Flamme aufgezeichnet. Die Konzentrationsverläufe sind Abbildung 93, Abbildung 95 und Abbildung 97 des Anhangs zu entnehmen.

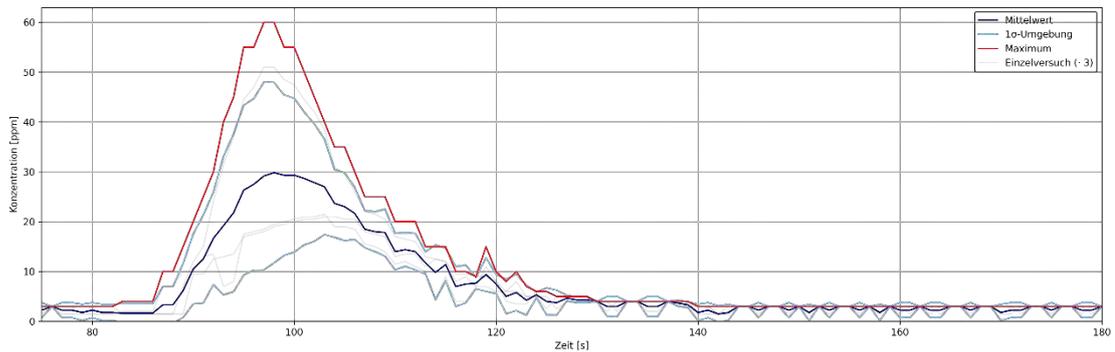
Auf einer Höhe von 1,73 m lassen sich hingegen für alle ausgewerteten Brandgase Konzentrationsänderungen feststellen. Während im Zeitraum bis 20 Sekunden eine relativ konstante Kohlenstoffmonoxidkonzentration festzustellen ist, stieg diese in den darauffolgenden 45 Sekunden leicht an. Einhergehend mit den darauffolgenden durchgeführten Löschmaßnahmen ist ein deutlicherer Konzentrationsanstieg festzustellen, der im Zeitraum 116 Sekunden bis 118 Sekunden die Maximalkonzentrationen von 71,7 ppm (Mittelwert) respektive 81 ppm (Maximalwertbetrachtung) erreicht. Darauffolgend ist wieder ein Abfallen der Konzentration festzustellen (vgl. hierzu Abbildung 94 des Anhangs).

Die Kohlenstoffdioxidkonzentration (Abbildung 96 des Anhangs) liegt in den ersten 18 Sekunden der Versuche konstant im Bereich von 200 ppm bis 300 ppm und zeigt ab diesem Zeitpunkt einen zeitlich vergleichsweise gleichförmigen Anstieg auf bis zu 6.533 ppm im Mittel sowie 7.700 ppm im Maximum nach 88 Sekunden. Darauffolgend kann ein steilerer Konzentrationsrückgang auf das Konzentrationsintervall von 300 ppm bis 400 ppm ab dem Zeitpunkt 138 Sekunden gemessen werden.

Im Zeitintervall bis 24 Sekunden ist ein relativ gleichmäßiger Verlauf der Sauerstoffkonzentration im Bereich von 22,15 Vol.-% festzustellen, während sich die Konzentration im weitergehenden Verlauf verringert und nach 90 Sekunden mit 21,47 Vol.-% (Mittelwert) und 21,36 Vol.-% (Extremwert) die geringste Konzentration festzustellen ist. Im darauffolgenden Zeitintervall kann ein Wiederanstieg der Sauerstoffkonzentration auf das Ausgangsintervall im Bereich von 22,15 Vol.-% gemessen werden, welches erstmals nach 146 Sekunden erreicht wird. Alle auf diesen Zeitpunkt folgenden Messwerte liegen im Bereich des Ausgangsintervalls. Der vollständige Verlauf ist Abbildung 98 des Anhangs zu entnehmen.

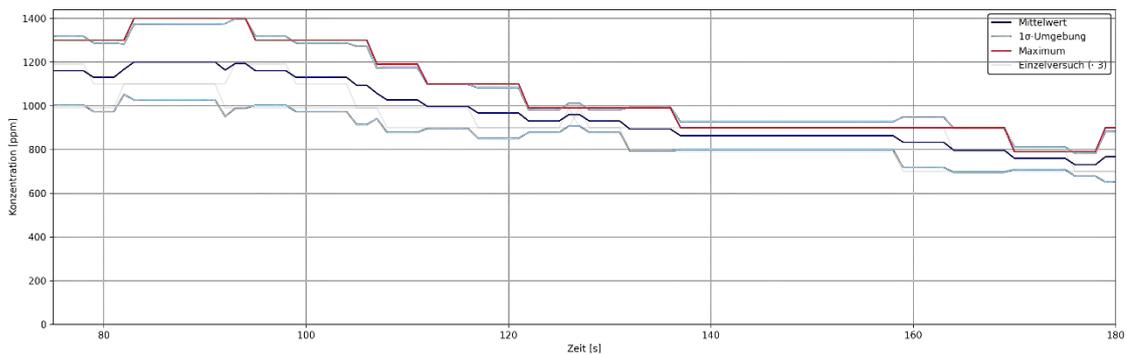
Für die personengetragene Messtechnik werden bei drei Versuchen die aufgezeichneten Gaskonzentrationen ausgewertet. Hierbei zeigt sich für die Konzentration von Kohlenstoffmonoxid über die Zeit der in Abbildung 22 dargestellte Verlauf. Während im Zeitintervall bis 87 Sekunden eine Konzentration im untersten Messwertbereich festgestellt werden kann, ist ab dem Zeitpunkt 87 Sekunden ein starker Anstieg auf eine maximale Konzentration von 60 ppm (Extremwert nach 97 Sekunden) beziehungsweise 30 ppm (Mittelwert nach 98 Sekunden) zu

verzeichnen sowie im darauffolgenden Intervall ein starker Abfall auf eine Konzentration von im Mittel und Maximum 4 ppm nach 130 Sekunden. Der Konzentrationsverlauf über die Zeit ist Abbildung 22 zu entnehmen.



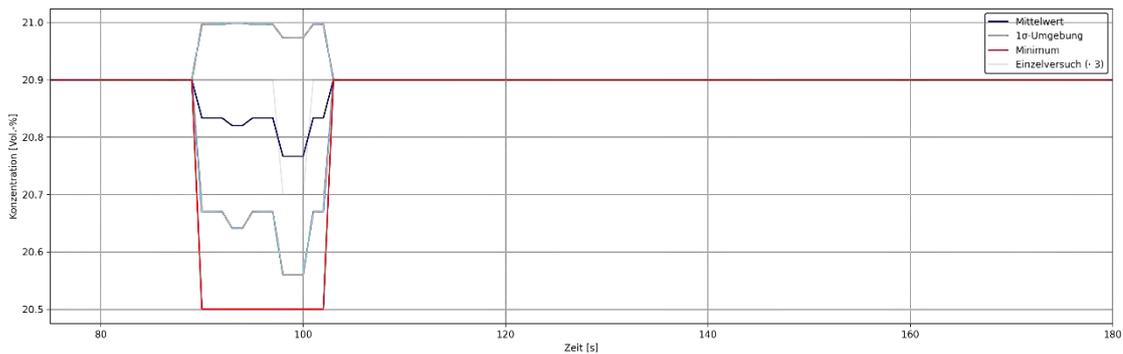
**Abbildung 22** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb

Der Konzentrationsverlauf von Kohlenstoffdioxid über die Zeit (**Abbildung 22**) zeigt über die gesamte Auswertedauer einen eher un stetigen Verlauf mit einem leichten Konzentrationsrückgang mit fortschreitender Versuchsdauer. Hierbei werden durchgängig Konzentrationen im Bereich zwischen 730 ppm und 1.400 ppm gemessen.



**Abbildung 23** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb

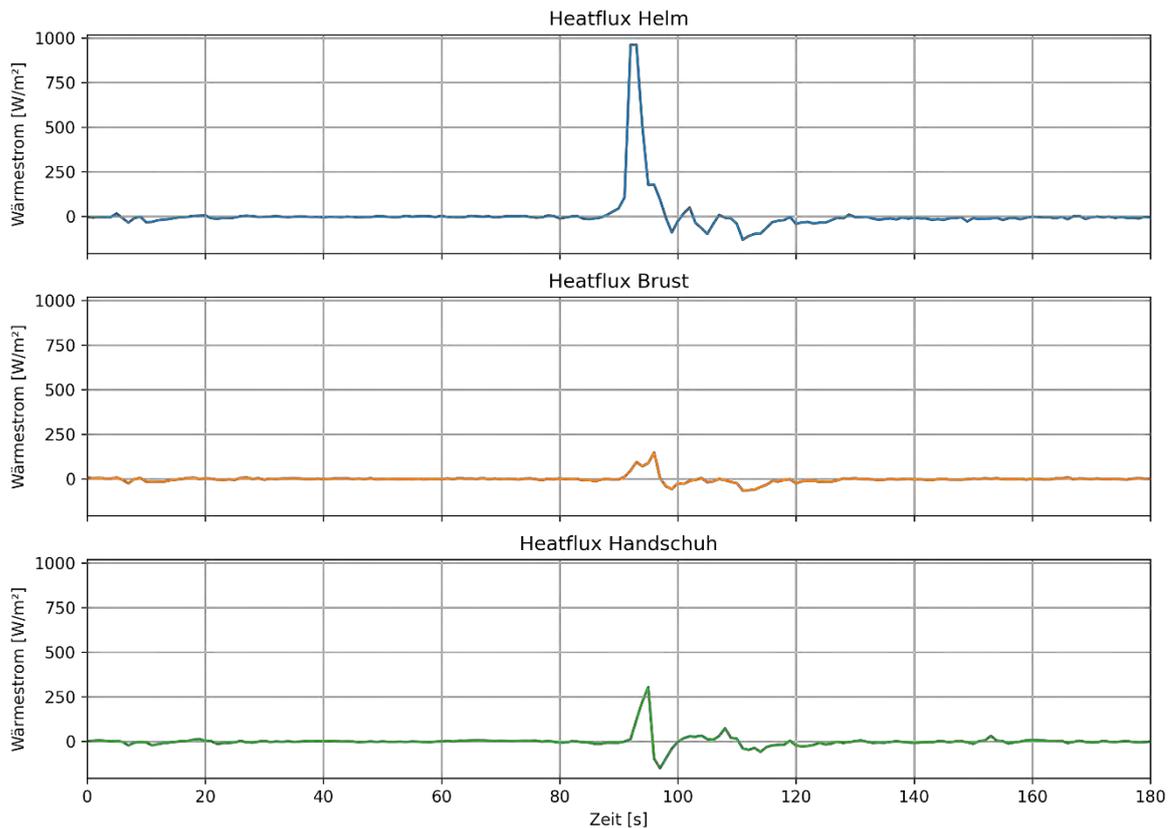
Der in Abbildung 24 aufgetragene Verlauf der Sauerstoffkonzentration über die Zeit für die Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb zeigt für das Zeitintervall bis 89 Sekunden eine durchgängige Sauerstoffkonzentration von 20,9 Vol.-% sowohl im Mittel, als auch in der Extremwertbetrachtung. Im darauffolgenden zeitlichen Intervall mit einer Länge von 8 Sekunden ist ein Abfallen der Konzentration auf minimal 20,77 Vol.-% im Mittel und 20,5 Vol.-% in der Extremwertbetrachtung festzustellen. Ab 103 Sekunden kann wieder eine konstante Konzentration von 20,9 Vol.-% bis zum Versuchsende erfasst werden.



**Abbildung 24** Verläufe der Konzentrationen von  $O_2$  über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb

Beim ausgewerteten Einzelversuch des Löschens eines Papierkorbes mit einem Feuerlöschspray kann im Zeitintervall bis 90 Sekunden kein nennenswerter Wärmestrom aufgezeichnet werden, während ab diesem Zeitpunkt ein sprunghafter Anstieg des aufgezeichneten Wärmestroms auf  $963,0 \text{ W/m}^2$  nach 93 Sekunden erfasst wird, der zeitlich mit den beginnenden Löschmaßnahmen übereinfällt. Nach diesem Sprunghaften Anstieg kann jedoch auch ein ebenso sprunghaftes Absinken des Wärmestroms festgestellt werden. Während im Zeitintervall 98 Sekunden bis etwa 120 Sekunden noch ein intermittierendes Messsignal aufgezeichnet wird, zeigt sich im restlichen Versuchsverlauf ein Messsignal, welches mit dem im Bereich bis 93 Sekunden zu vergleichen ist.

Nahezu gleichgelagerte Messwertverläufe werden auch für den Wärmestrom an der Brust und am Handschuh erfasst, wobei die hier festgestellten Maximalwerte mit  $147,6 \text{ W/m}^2$  nach 96 Sekunden (Brust) sowie  $302,9 \text{ W/m}^2$  nach 95 Sekunden deutlich niedriger liegen. Die vollständigen Verläufe der Wärmeströme über die Zeit können Abbildung 25 sowie Abbildung 102 bis Abbildung 104 des Anhangs entnommen werden.



**Abbildung 25** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an Helm, Brust und Handschuh während eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb

#### Adventskranzbrände:

Für die Löschversuche der Adventskränze mit einem Feuerlöschspray können zwei Versuche ausgewertet werden. Bei diesen beiden Versuchen kann der Adventskranz einmal innerhalb von 7 Sekunden und einmal innerhalb von 22 Sekunden vollständig gelöscht werden. In beiden Fällen wird das zur Verfügung stehende Löschmittel nicht vollständig verbraucht, sodass noch weitere Löschmaßnahmen mit dem Feuerlöschspray möglich wären. Zum Zeitpunkt der Einleitung der Löschmaßnahmen kann auf einer Höhe von 1,80 m in einem Versuch am Messpunkt A eine maximale Temperatur von 115,1 °C aufgezeichnet werden, während im anderen Versuch die maximale Temperatur von 81,2 °C am Messpunkt C erreicht wird. Nach der Einleitung der Löschmaßnahmen ist im Temperatur-Zeit-Diagramm ein langsames aber kontinuierliches Absinken der Temperaturen auf allen Höhen zu erkennen (vgl. hierzu für eine Höhe von 1,80 m Abbildung 105 bis Abbildung 107 des Anhangs). Eine Übersicht über die zum Zeitpunkt 105 Sekunden auftretenden Temperaturen an den Messpunkten A, B und C auf einer Höhe von 1,30 m, 1,80 m sowie 2,20 m kann Tabelle 6 entnommen werden.

**Tabelle 6** Temperaturen an den Messpunkten A, B und C nach 105 Sekunden der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz

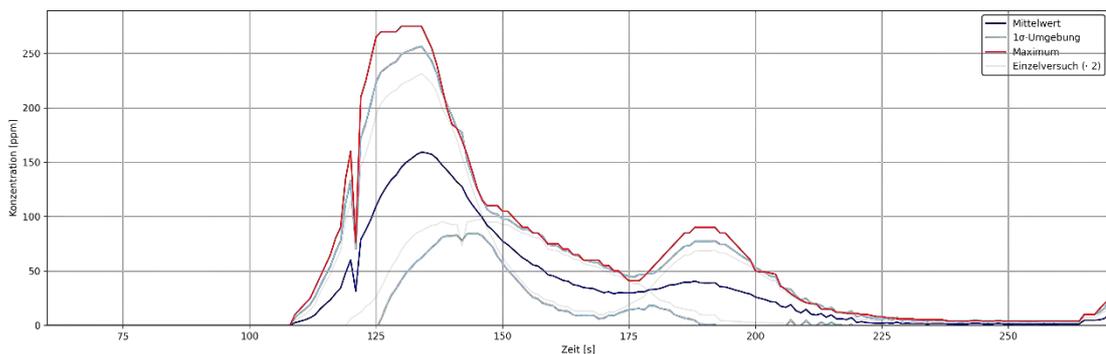
| Messpunkt | Höhe [m] | Temperatur Versuch 1 [°C] | Temperatur Versuch 2 [°C] |
|-----------|----------|---------------------------|---------------------------|
| A         | 2,20     | 129,5                     | 92,2                      |
| B         | 2,20     | 99,2                      | 71,3                      |
| C         | 2,20     | 130,9                     | 92,7                      |
| A         | 1,80     | 115,1                     | 80,5                      |
| B         | 1,80     | 89,8                      | 64,6                      |
| C         | 1,80     | 114,7                     | 81,2                      |
| A         | 1,30     | 44,9                      | 29,4                      |
| B         | 1,30     | 33,2                      | 26,2                      |
| C         | 1,30     | 42,3                      | 31,8                      |

Die Verläufe der stationären Gasmessung am Messpunkt G auf einer Höhe von 1,20 finden sich in Abbildung 108, Abbildung 110 sowie Abbildung 112 des Anhangs. Für Kohlenstoffmonoxid tritt erst nach einer Versuchsdauer von 180 Sekunden eine relevante Konzentrationsänderung auf. Ab diesem Zeitpunkt ist ein einer gaußschen Verteilung ähnelnder Verlauf der Konzentration mit einem Hochpunkt bei einer Versuchsdauer von 261 Sekunden mit im Mittel 18,5 ppm sowie maximal 25,2 ppm zu sehen. Der Verlauf von Kohlenstoffdioxid ist über die vollständige Auswertezeit unauffällig und liegt in einem Bereich von 500 ppm bis 700 ppm. Ebenso zeigt sich für den Sauerstoff über die Auswertezeit eine nur sehr geringfügige Konzentrationsänderung im Bereich von 20,88 Vol.-% bis 20,93 Vol.-%.

Auf einer Höhe von 1,73 m am Messpunkt G ist in allen Konzentrationsverläufen (Abbildung 109, Abbildung 111 und Abbildung 113 des Anhangs) eine erkennbare Veränderung vorhanden. So steigt die Konzentration von Kohlenstoffmonoxid ab einer Versuchsdauer von etwa 50 Sekunden kontinuierlich auf ein Maximum von im Mittel 168 ppm nach 156 Sekunden und eine maximale Konzentration von 223 ppm nach 158 Sekunden an. Von diesem Zeitpunkt an ist ein geringer Konzentrationsrückgang auf 147 ppm im Mittel und 203 ppm im Maximum nach 170 Sekunden erkennbar, auf welchen ein geringfügiger erneuter Anstieg folgt. Dieser Anstieg führt zu einer maximalen mittleren Konzentration von 150,5 ppm nach 182 Sekunden sowie einer zeitlich übereinstimmenden maximalen Konzentration von 215 ppm. Ab diesem Konzentrationsmaximum lässt sich im weiteren Verlauf ein Konzentrationsrückgang feststellen. Nach einer Versuchsdauer von 300 Sekunden lässt sich im Mittel noch eine Konzentration von 51,5 ppm und im Maximum von 79 ppm feststellen. Der Konzentrationsverlauf von Kohlenstoffdioxid lässt bis zu einer Versuchsdauer von 32 Sekunden keine relevante Konzentrationsänderung erkennen. Ab diesem Zeitpunkt ist ein Konzentrationsverlauf mit einer nahezu gaußschen Gestalt zu erkennen. Das Konzentrationsmaximum tritt nach einer Versuchsdauer von 102 Sekunden mit 13.900 ppm (Maximalwert) respektive nach 108 Sekunden mit 11.200 ppm (Mittelwert) auf. Ab einer Versuchsdauer von 168 Sekunden sind wieder kontinuierliche Messwerte erkennbar (Mittelwert: 1.250 ppm; Maximum: 1.500 ppm) die im folgenden Verlauf nur noch einen geringfügigen Rückgang aufweisen. Der Konzentrationsverlauf von Sauerstoff weist in den 32 Sekunden der Versuche einen relativ konstanten Mittelwert im Bereich von 22,33 Vol.-% und Minimalwert im Bereich von 22,25 Vol.-% auf. Nachfolgend zeigt sich ein kontinuierlich ansteigender Konzentrationsrückgang auf im Minimum 20,68 Vol.-% nach 94 Sekunden im Mittel auf 21,08 Vol.-% nach 108 Sekunden. Anschließend ist ein

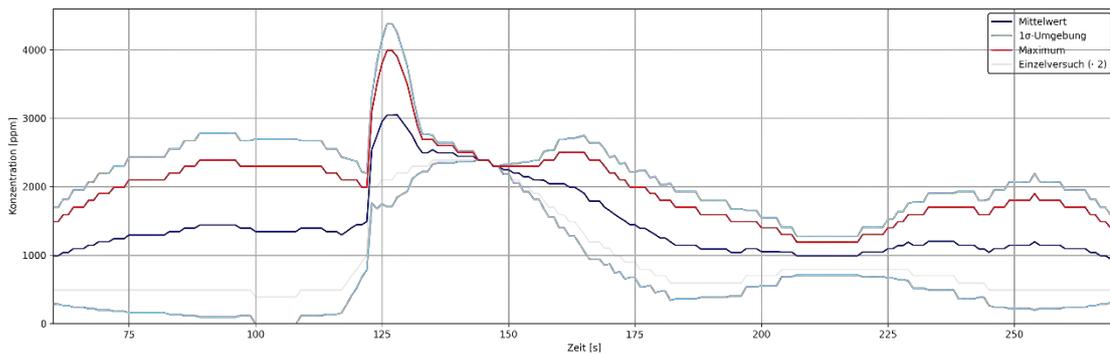
leichter Konzentrationsanstieg feststellbar, der ab einer Versuchsdauer von 126 Sekunden zunimmt. Ab einer Versuchsdauer von 168 Sekunden ist ein relativ konstanter Konzentrationsverlauf bei im Mittel 22,22 Vol.-% und minimal 22,12 Vol.-% zu erkennen.

Der in Abbildung 26 enthaltene Verlauf zeigt die personengetragen gemessene Konzentration von Kohlenstoffmonoxid über die Zeit. Der Verlauf zeigt, dass erst ab einer Versuchsdauer von 105 Sekunden eine Konzentration gemessen wird. Diese Konzentration steigt dann aber sehr schnell an und erreicht nach 134 Sekunden ein gemittelt Maximum von 159 ppm und ein absolutes Konzentrationsmaximum von 275 ppm nach 130 Sekunden. Während des Anstiegs ist bei einer Versuchsdauer von 123 Sekunden ein nicht in den Verlauf passender Einzelwert erfasst worden. Hier kann davon ausgegangen werden, dass es sich dabei um einen Fehler des Messsystems handelt. Nach dem beschriebenen Anstieg ist ein Konzentrationsabfall auf eine Konzentration von im Mittel 29 ppm nach einer Versuchsdauer von 172 Sekunden zu beobachten, auf die ein minimaler Anstieg der Konzentration folgt, sodass nach einer Versuchsdauer von 188 Sekunden eine mittlere Konzentration von 40,8 ppm vorliegt. Im gleichen Zeitraum lässt sich eine maximale Konzentration von 90 ppm feststellen. Nach diesem erneuten Anstieg ist ein Rückgang der Konzentration zu erkennen, welche ab einer Versuchsdauer von 230 Sekunden im Bereich von 2 ppm liegt.



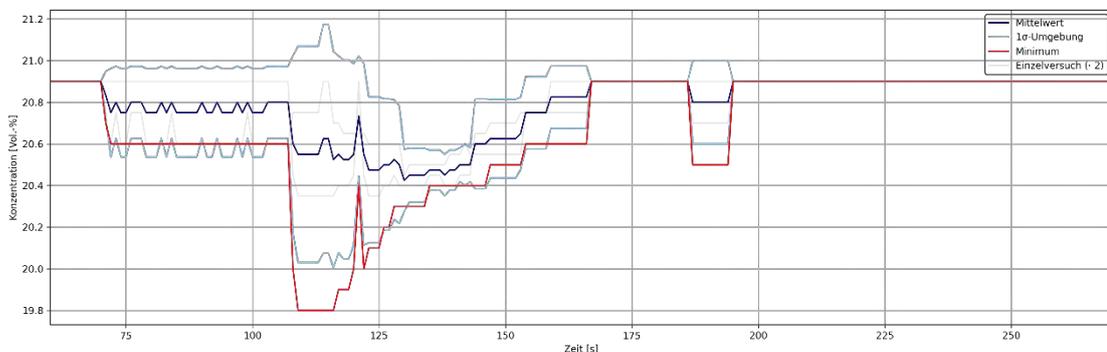
**Abbildung 26** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz

Der Verlauf der Kohlenstoffdioxidkonzentration über die Zeit der personengetragenen Messung findet sich in Abbildung 27. Es zeigt sich ein sehr uneinheitlicher Verlauf, aus dem ein sprunghafter Konzentrationsanstieg nach einer Versuchsdauer von 123 Sekunden hervorsticht. Im Zusammenhang mit diesem Anstieg kann auch die maximale mittlere Konzentration von 3.050 ppm nach 128 Sekunden gemessen werden. Die maximale absolute Konzentration liegt bei 3.990 Sekunden und tritt bereits zwei Sekunden zuvor auf. Nach dem Auftreten dieser Konzentrationsspitzen ist ein sehr schneller Konzentrationsrückgang zu beobachten. So treten im weiteren Verlauf keine Konzentrationen über 2.500 ppm mehr auf.



**Abbildung 27** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz

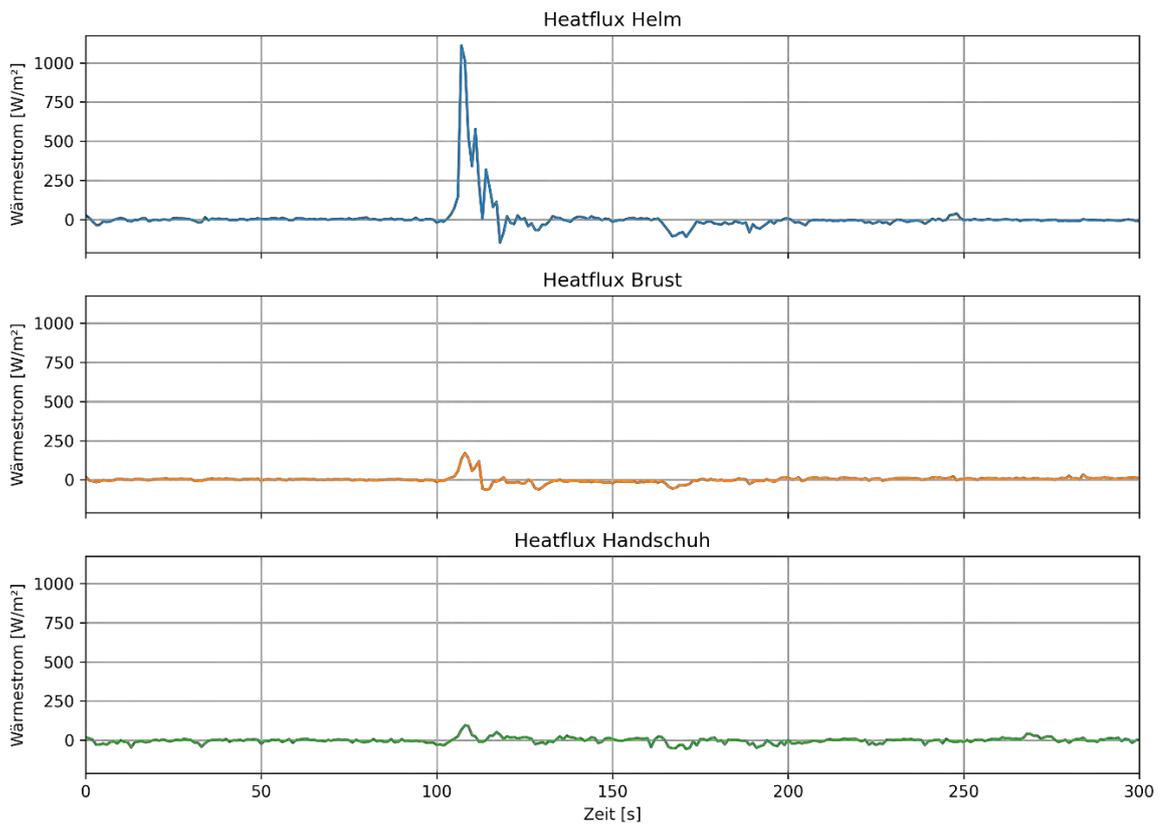
Die in Abbildung 28 zu findende Auswertung der Sauerstoffkonzentration über die Zeit zeigt bis zu einer Versuchsdauer von 70 Sekunden eine konstante Konzentration von 20,9 Vol.-%, die auch nach einer Versuchsdauer von 195 Sekunden wieder durchgehend vorzufinden ist. Nach 70 Sekunden zeigt sich im Verlauf ein Abfallen der Konzentration auf 20,6 Vol.-% im Minimum, welche bis zum Zeitschritt 107 Sekunden durchgängig aufgezeichnet wird. Ab diesem Zeitschritt, welcher mit dem Beginn der Löschmaßnahmen übereinfällt, zeigt sich ein Absinken der Konzentration auf 19,8 Vol.-%, bevor ab einer Versuchsdauer von 116 Sekunden ein Ansteigen der Konzentration zu verzeichnen ist. Im Zeitintervall 70 Sekunden bis 107 Sekunden schwankt der Mittelwert im Bereich zwischen 20,7 Vol.-% sowie 20,8 Vol.-%, sinkt im darauffolgenden Verlauf ab und erreicht die minimalste Konzentration nach einer Versuchsdauer von 130 Sekunden. Nach diesem Zeitpunkt ist ein kontinuierlicher Anstieg auf eine Konzentration von 20,9 Vol.-% nach 167 Sekunden erkennbar.



**Abbildung 28** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz

Die Auswertung des aufgetretenen Wärmestroms am Helm, an der Brust und am Handschuh eines Einzelversuchs zeigt, dass nur zu Beginn der Einleitung der Löschmaßnahmen relevante Wärmeströme aufgezeichnet werden. So ist der maximale Wärmestrom am Helm von 1111,0 W/m<sup>2</sup> nach einer Versuchsdauer von 107 Sekunden aufgetreten, während das Maximum von 170,3 W/m<sup>2</sup> an der Brust nach 108 Sekunden erreicht wird. Der maximale Wärmestrom am Handschuh wird mit 94,0 W/m<sup>2</sup> ebenso nach 108 Sekunden aufgezeichnet. Während der übrigen Versuchsdauer kann ein Messsignal erfasst werden, welches über die Zeit konstant Werte im Bereich des Nullpunktes erfasst. Dieses Verhalten ist mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf die Empfindlichkeit der Messtechnik zurückzuführen.

Der vollständige Verlauf des Wärmestroms am Helm, an der Brust und am Handschuh über die Zeit kann der Abbildung 29 sowie Abbildung 117 bis Abbildung 119 des Anhangs entnommen werden.



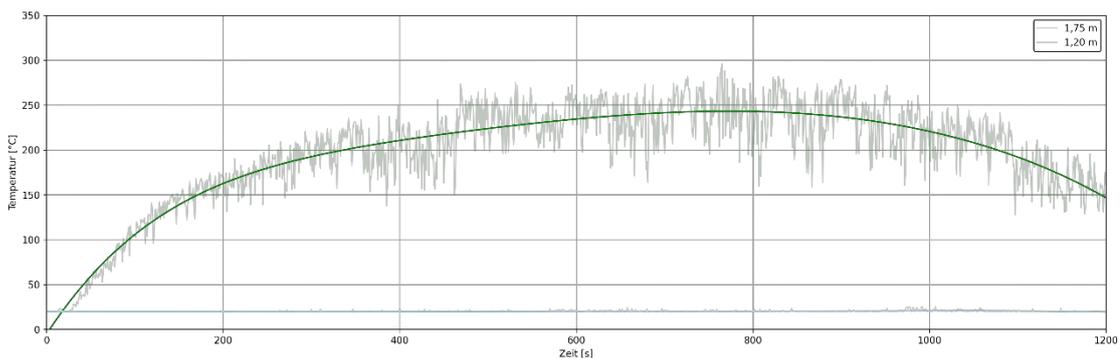
**Abbildung 29** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an Helm, Brust und Handschuh während eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz

### 4.3 Ergebnisse der Brandsimulationen

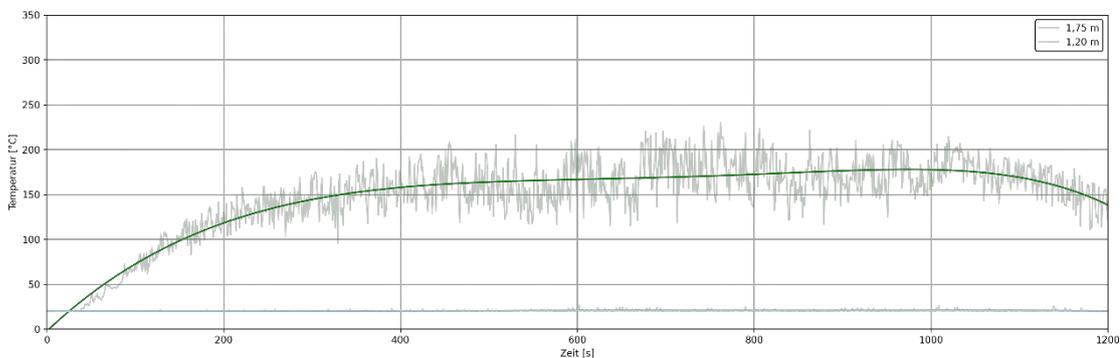
Die vollständigen Auswertegrafiken der Brandsimulationen finden sich als Abbildung 120 bis Abbildung 320 im Anhang dieses Berichts.

Auf Grund der Komplexität der Brandsimulationen sollen die beobachtbaren Effekte an dieser Stelle exemplarisch anhand des Temperaturverlaufs am Messpunkt G sowie des dort erfassten Verlaufs der CO-Konzentration dargestellt werden.

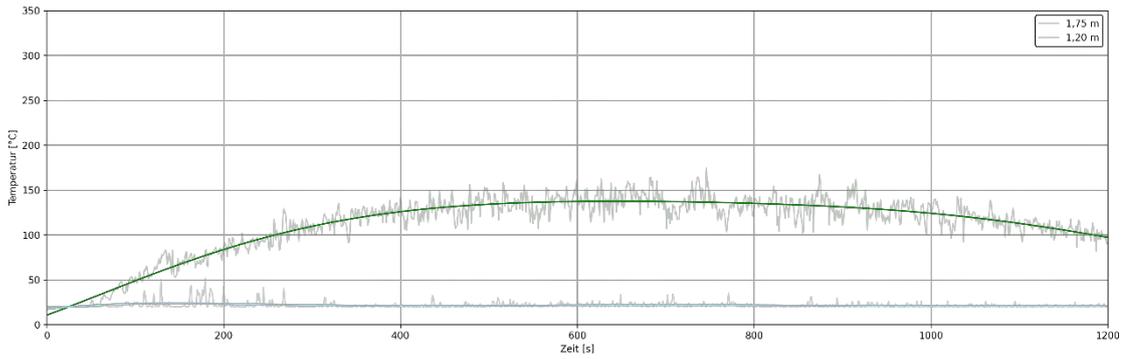
Die in Abbildung 30 bis Abbildung 32 dargelegten Temperaturverläufe am Messpunkt G bei unterschiedlichen Raumhöhen enthalten nur jeweils auf einer Höhe von 1,80 m auswertbare Ergebnisse, da auf allen darunterliegenden Messhöhen keine relevanten Temperaturveränderungen über die Simulationszeit auftreten. Während der in Abbildung 30 abgebildete Temperaturverlauf nach 765 Sekunden eine maximale Temperatur von 295,7 °C erreicht, wird an gleicher Position bei einer Raumhöhe von 4 m nur noch eine maximale Temperatur von 230,4 °C nach 762 Sekunden erreicht (Abbildung 31). Bei einer Raumhöhe von 6 m liegt die maximale Temperatur nach einer Simulationsdauer von 746 Sekunden bei 174,3 °C. Es zeigt sich insgesamt, dass mit einer zunehmenden Raumhöhe die simulierten Temperaturverläufe niedrigere Werte bei einem sehr vergleichbaren Temperaturverlauf aufweisen.



**Abbildung 30** Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m

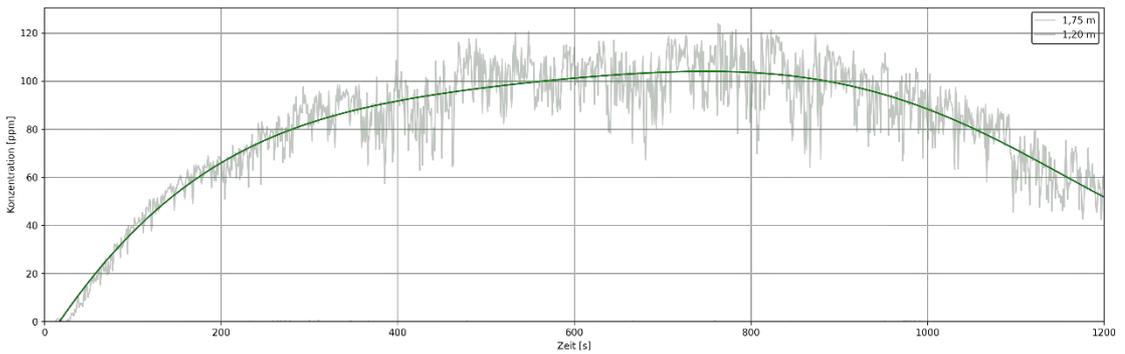


**Abbildung 31** Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



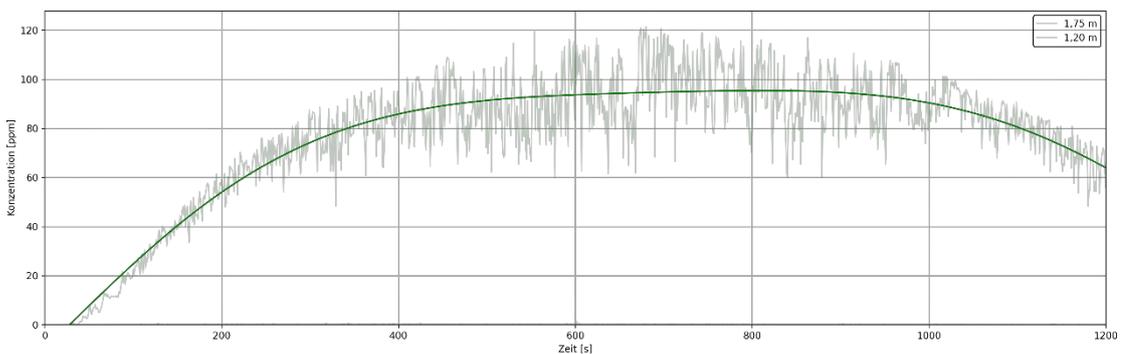
**Abbildung 32** Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m

Bei einem Vergleich der Konzentrationsverläufe von Kohlenstoffmonoxid am Messpunkt G zeigt sich, dass ein deutlicher Unterschied zwischen den Konzentrationsverläufen für eine Raumhöhe von 2,5 m (Abbildung 33) und eine Raumhöhe von 4 m (Abbildung 34) auf einer Höhe von 1,75 m nicht gegeben ist. In beiden Verläufen sind Maximalkonzentrationen im Bereich von über 120 ppm (2,5 m: 123,87 ppm; 4,0 m: 121,38 ppm) zu erkennen.

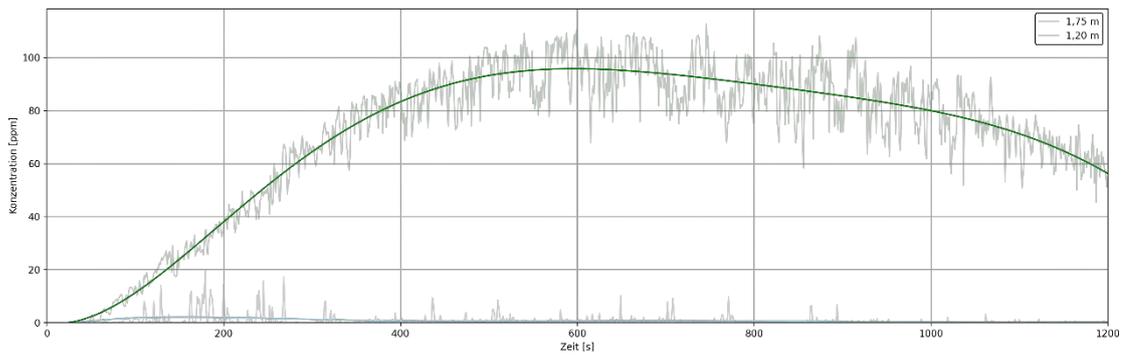


**Abbildung 33** Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m

Bei einer Betrachtung des Konzentrationsverlaufs auf einer Höhe von 1,75 m bei einer Raumhöhe von 6 m (Abbildung 35) lässt sich hingegen ein gegenüber dem Verlauf bei einer Raumhöhe von 2,5 m und 4 m etwas geringerer Konzentrationsverlauf erkennen. So zeigt der Verlauf zu keiner Zeit eine Konzentration über 120 ppm. Die maximale Konzentration von 112,71 ppm wird nach einer Simulationsdauer von 746 Sekunden erreicht.



**Abbildung 34** Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m

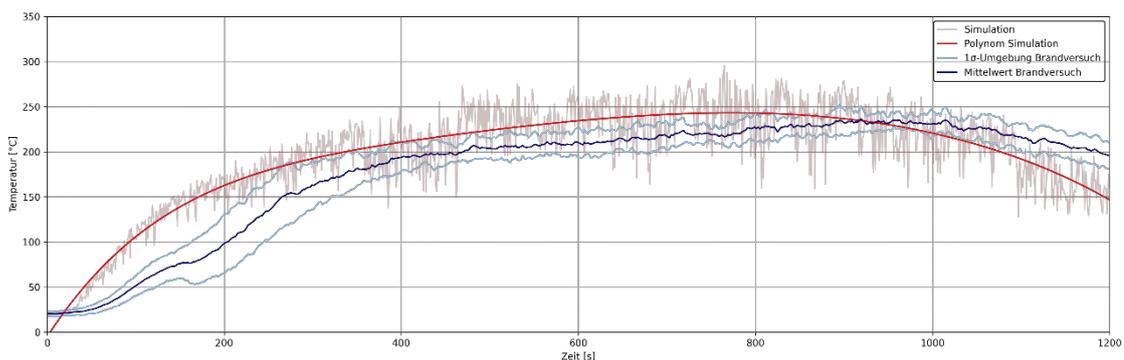


**Abbildung 35** Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m

### 4.3 Vergleich der Brandsimulation mit den Brandversuchen

Grundsätzlich sind die mittels Brandsimulationen ermittelten Temperaturen und insbesondere die errechneten Gaskonzentrationen mit einem Unsicherheitsfaktor behaftet, der maßgeblich von den verwendeten Eingangsgrößen und notwendigen Simulationsannahmen abhängt.

Der in Abbildung 36 dargestellte Vergleich der Temperaturverläufe zwischen dem am Messpunkt G auf einer Höhe von 1,73 m in den Brandversuchen mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 aufgezeichneten Verlauf und dem mittels Brandsimulation für die gleiche Position auf einer Höhe von 1,75 m errechneten Temperaturverlauf zeigt, dass eine relativ genaue Temperatursimulation insbesondere im Bereich von etwa 400 Sekunden bis 900 Sekunden möglich ist. Während im Zeitintervall bis 400 Sekunden eine im Vergleich zu den Brandversuchen zu hohe Temperatur für den Messpunkt G auf einer Höhe von 1,75 m simuliert wird, zeigt sich ab etwa 900 Sekunden, dass die simulatorisch ermittelten Temperaturwerte unterhalb der Vergleichstemperatur aus den Brandversuchen liegen. Im Zeitintervall von etwa 400 Sekunden bis 900 Sekunden befindet sich das Polynom für den Temperaturverlauf der Brandsimulation jedoch nur knapp über der Sigmaumgebung des Mittelwertes der Brandversuche. Innerhalb dieses Zeitintervalls, in dem eine vergleichsweise geringe Überschätzung der Temperatur durch die Simulation vorliegt, erfolgen in den Löschversuchen alle Löschmaßnahmen, weshalb dieses Intervall für die Beurteilung der Sicherheit von Versicherten bei der Bekämpfung von Entstehungsbränden eine besondere Relevanz besitzt. Auf Grund der nur geringen Temperaturüberschätzung kann von einer Vergleichbarkeit zwischen Simulation und Realversuchen – insbesondere innerhalb dieses Zeitbereichs – ausgegangen werden. Daher ist eine gute Abschätzung des Einflusses der Raumhöhe auf die auftretenden Temperaturen, wie in Abbildung 30 bis Abbildung 32 dargestellt, möglich.

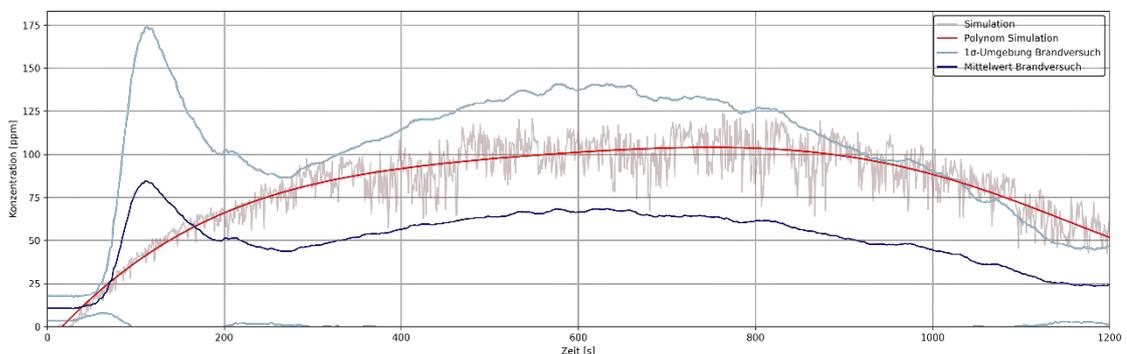


**Abbildung 36** Temperaturverläufe am Messpunkt G auf einer Höhe von 1,73 m der Brandversuche sowie der Simulation auf einer Höhe von 1,75 m mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m

Abbildung 37 zeigt den Vergleich der CO-Konzentration am Messpunkt G auf einer Höhe von 1,75 m der Brandsimulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m und der am Messpunkt G auf einer Höhe von 1,73 m aufgezeichneten CO-Konzentration der entsprechenden Brandversuche. Hier ist

ersichtlich, dass das in den Brandversuchen ermittelte mittlere Konzentrationsmaximum von 84,50 ppm nach einer Versuchsdauer von 111 Sekunden in der Brandsimulation nicht abgebildet wird. Dieses Konzentrationsmaximum in den Brandversuchen ist sehr wahrscheinlich auf die Verbrennung des Zündinitials n-Heptan zurückzuführen, welches in der Brandsimulation nicht berücksichtigt wird. Im Zeitintervall zwischen 167 Sekunden und 1033 Sekunden liegt das Polynom zur Abbildung des Konzentrationsverlaufs der Simulation über dem Mittelwert aus den Brandversuchen und unterhalb der oberen  $1\sigma$ -Umgebung für den Mittelwert. Dementsprechend lässt sich im Vergleich eine Überschätzung der CO-Konzentration für dieses Zeitintervall seitens der Brandsimulation feststellen. Da sich diese jedoch innerhalb der  $1\sigma$ -Umgebung und oberhalb des Mittelwertes der Brandversuche befindet, können die simulatorisch ermittelten Konzentrationen für eine konservative Abschätzung im genannten Zeitintervall für die Beurteilung der Sicherheit von Versicherten bei der Bekämpfung von Entstehungsbränden herangezogen werden. Die Problematik der nicht simulatorisch abgebildeten Konzentrationsspitzen im Zeitintervall bis 111 Sekunden kann hierbei unberücksichtigt bleiben, da in allen Löschversuchen mit Holzkrippen die Löschmaßnahmen erst nach einer Gesamtversuchsdauer von 480 Sekunden eingeleitet werden.

Vor diesem Hintergrund ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass die Simulationen der Holzkrippenbrände in Anlehnung an UL 1715 (Abbildung 33 bis Abbildung 35) bei einer Deckenhöhe von 2,5 m und 4,0 m keine wesentlichen CO-Konzentrationsunterschiede am Messpunkt G auf einer Höhe von 1,75 m zeigen, während bei einer Deckenhöhe von 6,0 m nur ein geringer Rückgang der Maximalkonzentration von 11,16 ppm gegenüber der Maximalkonzentration bei einer Deckenhöhe von 2,5 m festzustellen ist.



**Abbildung 37** Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G auf einer Höhe von 1,73 m der Brandversuche sowie der Simulation auf einer Höhe von 1,75 m mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m

## **5 Auflistung der für das Vorhaben relevanten Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilten Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen**

Während der Bearbeitungszeit des Forschungsvorhabens wurde das Forschungsprojekt „Techniken zur Branderkennung, Bekämpfung und Selbstrettung in der frühesten Brandphase – TEBRAS“ abgeschlossen. Die bisher publizierten Ergebnisse dieses Forschungsprojektes wurden bei der Planung der eigenen experimentellen Versuchsdurchführung berücksichtigt. Im Einzelnen wurden hierfür folgende Publikationen verwendet:

HAHN, S.-K., GNUTZMANN, T. Charakterisierung von Entstehungsbränden. In: Tagungsband der 66. Jahresfachtagung vom 27. Bis 29. Mai 2019 in Ulm. Tagungsband, 66. Jahresfachtagung der vfdb, 2019, Ulm, S. 186-199.

MEINERT, M., FESTAG, S., EICHMANN, J., POHLE, R., GNUTZMANN, T., HAHN, S.-K. Detektion von Brandgasen und deren Ausbreitung im Vergleich zu Brandrauch. In: Tagungsband der 66. Jahresfachtagung vom 27. bis 29. Mai 2019 in Ulm. Tagungsband, 66. Jahresfachtagung der vfdb, 2019, Ulm, S. 204-218.

## 6 Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels, Schlussfolgerungen

### 6.1 Holzkrippenbrände

Ein dem Forschungsprojekt zugrundeliegender Kerngedanke war, dass die Prüfung des Löschvermögens der Feuerlöscher nach DIN EN 3-7 [13] in einem mindestens 8 m hohen Raum und in der Regel unter einem Abzug erfolgt, wodurch die Effekte des Brandes (Rauch, Wärmestrahlung), die eine gefahrlose Annäherung verhindern, minimiert werden und nicht mehr in dem Maße auf die Versicherten einwirken, die den Löschversuch unternehmen. Bei der Prüfung von Feuerlöschern nach der früheren DIN 14406-2 [24] wurde die Prüfung des Löschvermögens „in einer Halle oder im Freien durchgeführt“. Die reale Nutzung von Feuerlöschern findet dagegen in geschlossenen Räumen oder auch in Industriehallen statt. Insbesondere im Bereich der Büronutzung ist insofern mit einer sehr schnellen Verschärfung der Bedingungen während eines Brandes zu rechnen, die dazu führt, dass eine gefahrlose Annäherung an den Brand, wie von der ASR A2.2 für Entstehungsbrände gefordert, bereits nach kurzer Zeit nicht mehr möglich ist. Für eine realistischere Untersuchung zur präventiven Verbesserung der Sicherheit und Gesundheitsschutzes der Versicherten bei der Entstehungsbrandbekämpfung ist daher die möglichst realistische Wahl der Umgebungsbedingungen und des Brandverlaufs unabdingbar.

Der genutzte Brandraum mit einer Höhe von 2,4 m, einer Grundfläche von 3,6 m Länge und einer Breite von 2,4 m sowie einer Türöffnung mit einer Breite von 0,8 m und einer Höhe von 2,1 m entspricht in sehr guter Näherung einem typischen Büroraum. Die Rauchgasabsaugung wurde so eingestellt, dass in der Türöffnung eine maximale Bewegungsgeschwindigkeit der Luft von 0,2 m/s sichergestellt ist. Durch die geringe Raumhöhe, das begrenzte Raumvolumen und die fehlende, respektive nur sehr geringe Beeinflussung durch die Rauchgasabsaugung, konnten die Experimente sehr realitätsnah erfolgen.

Nach der DIN EN 3-7 werden acht verschiedene Prüfobjekte mit einer konstanten Höhe von 546 mm und einer Tiefe von 500 mm sowie einer variablen Länge von 0,5 m bis 5,5 m für die Prüfobjekte 5A, 8A, 13A, 21A, 27A, 34A, 43 A und 55A unterschieden.

Holzkrippenbrände als Prüfobjekte für die Untersuchung von Bränden in Räumen haben in der Brandwissenschaft eine lange Tradition und sind in der Vergangenheit auch vielfach charakterisiert worden, da sie hinsichtlich der Abbrandrate, der Wärmefreisetzungsrates und der Branddauer in bestimmten Grenzen gut steuerbar sind [25; 26]. Auch zur Prüfung des Löschvermögens tragbarer Feuerlöscher in der Brandklasse A wurden sie, entsprechend der DIN 14406-2 [24], eingesetzt. So wurde ein „Holzstoß von 45 x 45 cm Grundfläche und 56 cm Höhe“, der aus 80 lufttrockenen Kiefernholzscheiten bestand, als Prüfobjekt A II/H bezeichnet. Krippenbrände werden weiterhin häufig eingesetzt, da die notwendigen Materialien leicht verfügbar sind und diese meist reproduzierbare Ergebnisse liefern. [27]

Andererseits verhalten sich Holzkrippen naturgemäß nicht wie ein sich „natürlich“ entwickelnder Brand von Feststoffen. Insofern entsteht eine gewisse Künstlichkeit bei der Prüfung der Löscheinleistungsfähigkeit der Feuerlöscher schon dadurch, dass die Löscheinversuche erst dann begonnen werden, wenn sich die Holzkrippe im quasistationären Zustand, also in der Phase des Vollbrandes, befindet. Bei normgerechter Durchführung wird erst acht Minuten nach Zündung der Löscheinversuch eingeleitet. Selbst wenn die frühe Phase der Brandentwicklung der gezündeten Holzkrippe einem natürlichen Brandverlauf entspricht, ist durch die interne Wärmerückstrahlung in kleineren Räumen und die große Oberfläche der Holzkrippe der Brandverlauf so schnell, dass mit Prüfbeginn von 8 min selbst bei dem Prüfobjekt 8 A eine so große Wärmerfreisetzungsraterate erreicht wird, dass das Szenario nicht mehr einem Entstehungsbrand entspricht, bei dem noch eine gefahrlose Annäherung möglich ist.

Die in Anlehnung an die UL 1715 konzipierte, kleinere Holzkrippe ermöglicht hingegen noch eine gefahrarme Annäherung noch.

## 6.2 Löscheinversuche

Es wurden Löscheinversuche in folgenden Kombinationen durchgeführt.

- Holzkrippenbrände in Anlehnung an UL 1715
  - Übungsfeuerlöscher 3 Liter
  - Feuerlöschspray 700 ml
- Papierkorbbrände
  - Feuerlöschspray 700 ml
- Adventskranzbrände
  - Feuerlöschspray 700 ml

### Fazit der Löscheinversuche der Holzkrippenbrände

Die Feuerlöscher mit 3 Litern Wasser als Löschmittel konnten die Holzkrippen mit 1,3 Litern bis 2 Litern Löschmittel innerhalb von ca. 13 Sekunden bis 16 Sekunden ablöschen. Während zu Beginn des Löscheinversuchs die CO-Konzentration noch sehr gering war, zeigte sich durch den Löscheinvorgang ein starker Anstieg der CO-Freisetzung, die vermutlich durch die Reaktion des Wassers mit dem glühenden Kohlenstoff hervorgerufen wird. Der Wärmestrom, der auf die löscheinde Person einwirkt, liegt im Bereich von ca. 1,5 kW/m<sup>2</sup> bis 1,6 kW/m<sup>2</sup>.

Der Einsatz von einem Feuerlöschspray zeigt bei den Holzkrippenbränden keinen vollständigen Löscheinerfolg. Während die CO-Konzentrationen den Werten der Feuerlöscher gleichen, treten mit bis zu 4,6 kW/m<sup>2</sup> deutlich höhere Werte für den Wärmestrom auf der Oberfläche der löscheinenden Person auf. Werden zwei Feuerlöschsprays nacheinander eingesetzt, tritt in einem Versuch ein vollständiger Löscheinerfolg unmittelbar, in zwei weiteren Versuchen mittelbar, also nach ca. 30 Sekunden bis 5 Minuten, ein. In zwei Experimenten ließ sich auch mit zwei nacheinander eingesetzten Feuerlöschsprays kein Löscheinerfolg erzielen.

### Fazit der Löschversuche der Papierkorbbrände

In allen drei Experimenten ließ sich der brennende Papierkorb mit Hilfe eines Feuerlöschsprays nach 11 Sekunden bis 12 Sekunden vollständig ablöschen. In allen Fällen war im Aerosolbehälter noch ein ausreichendes Restvolumen an Löschmittel vorhanden, um im Bedarfsfall noch weitere Löschmaßnahmen durchführen zu können. Die Gaskonzentrationen sowie die gemessenen Wärmeströme nahmen keine bedeutungsvollen Werte an.

### Fazit der Löschversuche der Adventskranzbrände

Auch beim Ablöschen der Adventskranzbrände mit einem Durchmesser von ca. 0,4 m sowie einem Gewicht zwischen 1,1 kg und 1,7 kg zeigte der Einsatz eines Feuerlöschsprays einen vollständigen Löscherfolg. Die relevanten Gaskonzentrationen sowie der Wärmestrom zeigten keine auffälligen Werte.

## **6.3 Einordnung der Ergebnisse**

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Holzkrippen entsprechend der DIN EN 3-7 bereits ab dem Prüfobjekt 8 A derart hohe Wärmefreisetzungsraten entwickeln, dass sie nicht mehr als Modell für einen Entstehungsbrand im Sinne der ASR A2.2 dienen können. In einem büroähnlich großen Raum wäre für den Löschenden eine gefahrlose Annäherung, allein schon auf Grund der brandinduzierten hohen Raumtemperatur, keinesfalls mehr möglich. Ein Entstehungsbrand liegt hinsichtlich der brandwissenschaftlichen Parameter Wärmefreisetzung, Gaskonzentrationen und Wärmestrom unter den Bedingungen eines realitätsnahen Raumes deutlich darunter.

Die Ergebnisse zeigen, dass grundsätzlich eine Entstehungsbrandbekämpfung bei Bränden, die hinsichtlich des Brandausmaßes mit Bränden von Holzkrippen in Anlehnung an UL 1715 vergleichbar sind, eine gefahrarme Annäherung möglich ist. Mit Blick auf die beim Löschen auftretenden Kohlenstoffmonoxidkonzentrationen erscheint die Bezeichnung „gefährlos“ eher unangebracht, da die auftretenden Konzentrationen teilweise recht hoch sind.

Es zeigt sich auch, dass die Holzkrippen geradezu auf Feuerlöscher konditionierte Prüfbrandobjekte sind. Während die Feuerlöscher die Holzkrippenbränden in Anlehnung an UL 1715 vollständig löschen konnten, war dies nur mit zwei hintereinander eingesetzten Feuerlöschsprays möglich. Mit Blick auf den Gesamtlöschmittelinhalt sowie den Löschmittelvolumenstrom sind die Ergebnisse plausibel. Bei den Krippenbränden treten bei Nutzung der Feuerlöschsprays durch den geringen Löschmittelvolumenstrom teils hohe Werte beim Wärmestrom auf der Körperoberfläche auf.

Da kein Zweifel bestand, dass die Feuerlöscher auch den Papierkorb und den Adventskranz löschen konnten, wurden diese Experimente ausschließlich mit dem Feuerlöschspray durchgeführt. Hier zeigte sich, dass das Feuerlöschspray Entstehungsbrände dieser Dimension vollständig ablöschen kann.

Insofern ist die Löschleistungsfähigkeit der Feuerlöscher sehr groß. Sie ist für industrielle und gewerbliche-technische Risiken sehr gut geeignet. Feuerlöscher bieten weiterhin eine entsprechend große Leistungsreserve, so dass auch Brände jenseits der Parameter eines zukünftig zu definierenden Entstehungsbrandes wirksam bekämpft werden können.

Feuerlöschsprays zeigen bei der Brandbekämpfung der Krippenbrände in Anlehnung an UL 1715 ihre Leistungsgrenzen. Unter Berücksichtigung des artifiziellen Brandguts schmälert das den Einsatznutzen der Feuerlöschsprays nicht. Wie sich zeigen ließ, sind diese für die unmittelbare Bekämpfung von Entstehungsbränden in den Dimensionen von Adventskränzen und Papierkörben sehr gut geeignet. Vor dem Hintergrund der leichten Bedienbarkeit und Handhabung, lassen sich Feuerlöschsprays bei der Entstehungsbrandbekämpfung in den vorgenannten Dimensionen erfolgreich einsetzen.

Insgesamt zeigt sich das Konzept der ASR A2.2 als tragfähig. Bei der Nutzung von Feuerlöschsprays zur Verkürzung der Eingreifzeit, lassen sich die Zeitvorteile bei der Entstehungsbrandbekämpfung gut nutzen. Wird der Brand erst später erkannt und die Brandbekämpfung daher erst zu einem vergleichsweise späten Zeitpunkt eingeleitet, bedarf es der Feuerlöscher, um mit einer größeren Löschleistungsfähigkeit die Maßnahmen durchzuführen. Hierbei kann jedoch bei Räumlichkeiten, die mit einer Büronutzung vergleichbar sind, keine gefahrlose Annäherung mehr sichergestellt werden.

## **7 Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan**

Bisher besteht die konkrete Absicht, die Ergebnisse des Forschungsvorhabens mittels Beiträgen in der Fachzeitschrift für Sicherheitstechnik, Gesundheitsschutz und menschengerechte Arbeitsgestaltung – sicher ist sicher insbesondere für die präventive Praxis zu veröffentlichen. Eine weitergehende, auch internationale, Veröffentlichung ist beabsichtigt, aber zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht in der konkreten Umsetzungsplanung.

## 8 Anhang

### 8.1 Tabellenverzeichnis

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Tabelle 1</b> | Übersicht über die bei den Brandversuchen eingesetzten Holzkrippen .....   | 11 |
| <b>Tabelle 2</b> | Verlauf der flächenbezogenen Wärmefreisetzungsrate für die Brandsimulationen .....   | 15 |
| <b>Tabelle 3</b> | Temperaturen an den Messpunkten A und C nach 480 Sekunden beim Brand einer Holzkrippe 8A .....                                       | 18 |
| <b>Tabelle 4</b> | Temperaturen an den Messpunkten A, B und C nach 480 Sekunden der Brände der Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715.....                  | 20 |
| <b>Tabelle 5</b> | Temperaturen an den Messpunkten A, B und C nach 90 Sekunden der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb.....    | 35 |
| <b>Tabelle 6</b> | Temperaturen an den Messpunkten A, B und C nach 105 Sekunden der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz..... | 40 |

## 8.2 Abbildungsverzeichnis

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Abbildung 1</b>  | Versuchsaufbau mit einer Holzkrippe 8A, einer Brandwanne sowie einer umgebenden Stahlwanne im Room-Corner-Testraum .....   | 10 |
| <b>Abbildung 2</b>  | Anordnung der Messgeräte in und vor dem Brandraum .....  | 11 |
| <b>Abbildung 3</b>  | Personengetragene Messtechnik X-am 7000, X-am 8000 und Heatfluxsensoren Typ T sowie persönliche Schutzausrüstung des Bedieners der Feuerlöschgeräte .....                                      | 12 |
| <b>Abbildung 4</b>  | Anordnung der Temperaturmessstellen im simulierten Versuchsraum auf der z-Ebene .....  | 16 |
| <b>Abbildung 5</b>  | Temperaturverläufe an den Messpunkten A und C des Brandes einer Holzkrippe 8A .....  | 18 |
| <b>Abbildung 6</b>  | Versuchsraums mit einer brennenden 8A-Holzkrippe 480 Sekunden nach Zündung.....  | 19 |
| <b>Abbildung 7</b>  | Versuchsraums mit einer brennenden UL 1715-Holzkrippe 480 Sekunden nach Zündung.....   | 20 |
| <b>Abbildung 8</b>  | Masse der Holzkrippen über die Zeit der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....   | 21 |
| <b>Abbildung 9</b>  | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....                | 23 |
| <b>Abbildung 10</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....   | 24 |
| <b>Abbildung 11</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....    | 24 |
| <b>Abbildung 12</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an Helm, Brust und Handschuh während eines Löschversuchs einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 mittels eines Feuerlöschers .....                      | 25 |
| <b>Abbildung 13</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715.....              | 27 |
| <b>Abbildung 14</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715..... | 28 |
| <b>Abbildung 15</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715.....  | 28 |
| <b>Abbildung 16</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an Helm, Brust und Handschuh während eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....                     | 29 |
| <b>Abbildung 17</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....             | 32 |
| <b>Abbildung 18</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715..... | 32 |
| <b>Abbildung 19</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 ..... | 33 |
| <b>Abbildung 20</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an Helm, Brust und Handschuh während eines Löschversuchs mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715.....                      | 34 |
| <b>Abbildung 21</b> | Versuchsraums mit einem brennenden Papierkorb 90 Sekunden nach Zündung .....   | 35 |
| <b>Abbildung 22</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb.....                                     | 37 |
| <b>Abbildung 23</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb.....                        | 37 |

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Abbildung 24</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb.....   | 38 |
| <b>Abbildung 25</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an Helm, Brust und Handschuh während eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb .....  | 39 |
| <b>Abbildung 26</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz.....   | 41 |
| <b>Abbildung 27</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz .....   | 42 |
| <b>Abbildung 28</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz.....   | 42 |
| <b>Abbildung 29</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an Helm, Brust und Handschuh während eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz .....  | 43 |
| <b>Abbildung 30</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....   | 44 |
| <b>Abbildung 31</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 44 |
| <b>Abbildung 32</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 45 |
| <b>Abbildung 33</b> | Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m.....   | 45 |
| <b>Abbildung 34</b> | Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m.....   | 45 |
| <b>Abbildung 35</b> | Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m.....   | 46 |
| <b>Abbildung 36</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt G auf einer Höhe von 1,73 m der Brandversuche sowie der Simulation auf einer Höhe von 1,75 m mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m.....            | 47 |
| <b>Abbildung 37</b> | Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G auf einer Höhe von 1,73 m der Brandversuche sowie der Simulation auf einer Höhe von 1,75 m mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m..... | 48 |
| <b>Abbildung 38</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt A der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m .....   | 76 |
| <b>Abbildung 39</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt B der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m .....   | 76 |
| <b>Abbildung 40</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt C der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m .....   | 77 |
| <b>Abbildung 41</b> | Masse der Holzkrippen über die Zeit der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....   | 77 |
| <b>Abbildung 42</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m.....   | 78 |
| <b>Abbildung 43</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m.....   | 78 |
| <b>Abbildung 44</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m.....  | 79 |

|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Abbildung 45</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m.....                           | 79 |
| <b>Abbildung 46</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m.....                            | 80 |
| <b>Abbildung 47</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m.....                            | 80 |
| <b>Abbildung 48</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt A der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m.....   | 81 |
| <b>Abbildung 49</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt B der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m.....   | 81 |
| <b>Abbildung 50</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt C der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m.....   | 82 |
| <b>Abbildung 51</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m .....                 | 82 |
| <b>Abbildung 52</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m .....    | 83 |
| <b>Abbildung 53</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m .....     | 83 |
| <b>Abbildung 54</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....                       | 84 |
| <b>Abbildung 55</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....          | 84 |
| <b>Abbildung 56</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....           | 85 |
| <b>Abbildung 57</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Handschuh eines Löschversuchs mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....   | 86 |
| <b>Abbildung 58</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an der Brust eines Löschversuchs mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....   | 87 |
| <b>Abbildung 59</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Helm eines Löschversuchs mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....  | 88 |
| <b>Abbildung 60</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt A der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m.....  | 89 |
| <b>Abbildung 61</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt B der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m.....  | 89 |
| <b>Abbildung 62</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt C der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m.....  | 90 |
| <b>Abbildung 63</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m .....              | 90 |
| <b>Abbildung 64</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m .....              | 91 |
| <b>Abbildung 65</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m ..... | 91 |

|                     |   |     |
|---------------------|---|-----|
| <b>Abbildung 66</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m ..... | 92  |
| <b>Abbildung 67</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m .....  | 92  |
| <b>Abbildung 68</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m .....  | 93  |
| <b>Abbildung 69</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....                    | 93  |
| <b>Abbildung 70</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....       | 94  |
| <b>Abbildung 71</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....        | 94  |
| <b>Abbildung 72</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Handschuh eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....  | 95  |
| <b>Abbildung 73</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an der Brust eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....  | 96  |
| <b>Abbildung 74</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Helm eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....   | 97  |
| <b>Abbildung 75</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt A der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m .....   | 98  |
| <b>Abbildung 76</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt B der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m .....   | 98  |
| <b>Abbildung 77</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt C der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m .....   | 99  |
| <b>Abbildung 78</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m .....              | 99  |
| <b>Abbildung 79</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m .....              | 100 |
| <b>Abbildung 80</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m ..... | 100 |
| <b>Abbildung 81</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m ..... | 101 |
| <b>Abbildung 82</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m .....  | 101 |
| <b>Abbildung 83</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m .....  | 102 |

|                      |   |     |
|----------------------|---|-----|
| <b>Abbildung 84</b>  | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....              | 102 |
| <b>Abbildung 85</b>  | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 ..... | 103 |
| <b>Abbildung 86</b>  | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....  | 103 |
| <b>Abbildung 87</b>  | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Handschuh eines Löschversuchs mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....  | 104 |
| <b>Abbildung 88</b>  | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an der Brust eines Löschversuchs mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....  | 105 |
| <b>Abbildung 89</b>  | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Helm eines Löschversuchs mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 .....   | 106 |
| <b>Abbildung 90</b>  | Temperaturverläufe am Messpunkt A der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,80 m .....  | 107 |
| <b>Abbildung 91</b>  | Temperaturverläufe am Messpunkt B der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,80 m .....  | 107 |
| <b>Abbildung 92</b>  | Temperaturverläufe am Messpunkt C der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,80 m .....  | 108 |
| <b>Abbildung 93</b>  | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,20 m .....                               | 108 |
| <b>Abbildung 94</b>  | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,73 m .....                               | 109 |
| <b>Abbildung 95</b>  | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,20 m .....                  | 109 |
| <b>Abbildung 96</b>  | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,73 m .....                  | 110 |
| <b>Abbildung 97</b>  | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,20 m .....                   | 110 |
| <b>Abbildung 98</b>  | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,73 m .....                   | 111 |
| <b>Abbildung 99</b>  | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb .....                                     | 111 |
| <b>Abbildung 100</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb .....                        | 112 |
| <b>Abbildung 101</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb .....                         | 112 |
| <b>Abbildung 102</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Handschuh eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb .....   | 113 |
| <b>Abbildung 103</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an der Brust eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb .....   | 114 |
| <b>Abbildung 104</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Helm eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb .....  | 115 |
| <b>Abbildung 105</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt A der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,80 m .....  | 116 |

|                      |   |     |
|----------------------|---|-----|
| <b>Abbildung 106</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt B der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,80 m.....   | 116 |
| <b>Abbildung 107</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt C der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,80 m.....   | 117 |
| <b>Abbildung 108</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,20 m.....                      | 117 |
| <b>Abbildung 109</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,73 m.....                      | 118 |
| <b>Abbildung 110</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,20 m.....         | 118 |
| <b>Abbildung 111</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,73 m.....         | 119 |
| <b>Abbildung 112</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,20 m.....          | 119 |
| <b>Abbildung 113</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,73 m.....          | 120 |
| <b>Abbildung 114</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz.....                            | 120 |
| <b>Abbildung 115</b> | Verläufe der Konzentrationen von CO <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz .....              | 121 |
| <b>Abbildung 116</b> | Verläufe der Konzentrationen von O <sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz.....                | 121 |
| <b>Abbildung 117</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Handschuh eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz.....  | 122 |
| <b>Abbildung 118</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an der Brust eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz.....  | 123 |
| <b>Abbildung 119</b> | Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Helm eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz.....   | 124 |
| <b>Abbildung 120</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt A der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 125 |
| <b>Abbildung 121</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt B der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 125 |
| <b>Abbildung 122</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt C der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 126 |
| <b>Abbildung 123</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 126 |
| <b>Abbildung 124</b> | Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m.....  | 127 |
| <b>Abbildung 125</b> | Verläufe der CO <sub>2</sub> -Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m.....                                  | 127 |
| <b>Abbildung 126</b> | Verläufe der O <sub>2</sub> -Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m.....                                   | 128 |
| <b>Abbildung 127</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m ..... | 129 |

|                      |  |     |
|----------------------|--|-----|
| <b>Abbildung 128</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 129 |
| <b>Abbildung 129</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....              | 129 |
| <b>Abbildung 130</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m.....                     | 130 |
| <b>Abbildung 131</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 130 |
| <b>Abbildung 132</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                | 130 |
| <b>Abbildung 133</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m.....                     | 131 |
| <b>Abbildung 134</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 131 |
| <b>Abbildung 135</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                | 131 |
| <b>Abbildung 136</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                 | 132 |
| <b>Abbildung 137</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....   | 132 |
| <b>Abbildung 138</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....             | 132 |
| <b>Abbildung 139</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                 | 133 |
| <b>Abbildung 140</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....   | 133 |
| <b>Abbildung 141</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....             | 133 |
| <b>Abbildung 142</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....     | 134 |
| <b>Abbildung 143</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                                    | 134 |
| <b>Abbildung 144</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m ..... | 134 |
| <b>Abbildung 145</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....       | 135 |

|                      |   |     |
|----------------------|---|-----|
| <b>Abbildung 146</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....   | 135 |
| <b>Abbildung 147</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                | 135 |
| <b>Abbildung 148</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                    | 136 |
| <b>Abbildung 149</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....   | 136 |
| <b>Abbildung 150</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                | 136 |
| <b>Abbildung 151</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                 | 137 |
| <b>Abbildung 152</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 137 |
| <b>Abbildung 153</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....             | 137 |
| <b>Abbildung 154</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                 | 138 |
| <b>Abbildung 155</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 138 |
| <b>Abbildung 156</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....             | 138 |
| <b>Abbildung 157</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....     | 139 |
| <b>Abbildung 158</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                                    | 139 |
| <b>Abbildung 159</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m ..... | 139 |
| <b>Abbildung 160</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....       | 140 |
| <b>Abbildung 161</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                                      | 140 |
| <b>Abbildung 162</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....   | 140 |

|                      |  |     |
|----------------------|--|-----|
| <b>Abbildung 163</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....        | 141 |
| <b>Abbildung 164</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                                       | 141 |
| <b>Abbildung 165</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....    | 141 |
| <b>Abbildung 166</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....     | 142 |
| <b>Abbildung 167</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                                    | 142 |
| <b>Abbildung 168</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m ..... | 142 |
| <b>Abbildung 169</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....     | 143 |
| <b>Abbildung 170</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                                    | 143 |
| <b>Abbildung 171</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m ..... | 143 |
| <b>Abbildung 172</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....       | 144 |
| <b>Abbildung 173</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                                      | 144 |
| <b>Abbildung 174</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....   | 144 |
| <b>Abbildung 175</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....         | 145 |
| <b>Abbildung 176</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 145 |
| <b>Abbildung 177</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....     | 145 |
| <b>Abbildung 178</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....         | 146 |
| <b>Abbildung 179</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....  | 146 |

|                      |   |     |
|----------------------|---|-----|
| <b>Abbildung 180</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....    | 146 |
| <b>Abbildung 181</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....     | 147 |
| <b>Abbildung 182</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                                    | 147 |
| <b>Abbildung 183</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m ..... | 147 |
| <b>Abbildung 184</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....     | 148 |
| <b>Abbildung 185</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m .....                                    | 148 |
| <b>Abbildung 186</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m ..... | 148 |
| <b>Abbildung 187</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt A der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....  | 149 |
| <b>Abbildung 188</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt B der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....  | 149 |
| <b>Abbildung 189</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt C der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....  | 150 |
| <b>Abbildung 190</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....  | 150 |
| <b>Abbildung 191</b> | Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 151 |
| <b>Abbildung 192</b> | Verläufe der CO <sub>2</sub> -Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 151 |
| <b>Abbildung 193</b> | Verläufe der O <sub>2</sub> -Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....  | 152 |
| <b>Abbildung 194</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                 | 153 |
| <b>Abbildung 195</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 153 |
| <b>Abbildung 196</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                             | 153 |
| <b>Abbildung 197</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                   | 154 |
| <b>Abbildung 198</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 154 |

|                      |  |     |
|----------------------|--|-----|
| <b>Abbildung 199</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                | 154 |
| <b>Abbildung 200</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m.....                     | 155 |
| <b>Abbildung 201</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....  | 155 |
| <b>Abbildung 202</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                | 155 |
| <b>Abbildung 203</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                 | 156 |
| <b>Abbildung 204</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 156 |
| <b>Abbildung 205</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....             | 156 |
| <b>Abbildung 206</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                 | 157 |
| <b>Abbildung 207</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 157 |
| <b>Abbildung 208</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....             | 157 |
| <b>Abbildung 209</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....     | 158 |
| <b>Abbildung 210</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                    | 158 |
| <b>Abbildung 211</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m ..... | 158 |
| <b>Abbildung 212</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....       | 159 |
| <b>Abbildung 213</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                      | 159 |
| <b>Abbildung 214</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 159 |
| <b>Abbildung 215</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....       | 160 |

|                      |   |     |
|----------------------|---|-----|
| <b>Abbildung 216</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 160 |
| <b>Abbildung 217</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                | 160 |
| <b>Abbildung 218</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                 | 161 |
| <b>Abbildung 219</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....  | 161 |
| <b>Abbildung 220</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....             | 161 |
| <b>Abbildung 221</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                 | 162 |
| <b>Abbildung 222</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....  | 162 |
| <b>Abbildung 223</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....             | 162 |
| <b>Abbildung 224</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....     | 163 |
| <b>Abbildung 225</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                    | 163 |
| <b>Abbildung 226</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m ..... | 163 |
| <b>Abbildung 227</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....       | 164 |
| <b>Abbildung 228</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                      | 164 |
| <b>Abbildung 229</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 164 |
| <b>Abbildung 230</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....       | 165 |
| <b>Abbildung 231</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                      | 165 |
| <b>Abbildung 232</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 165 |

|                      |  |     |
|----------------------|--|-----|
| <b>Abbildung 233</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....     | 166 |
| <b>Abbildung 234</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                    | 166 |
| <b>Abbildung 235</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m ..... | 166 |
| <b>Abbildung 236</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....     | 167 |
| <b>Abbildung 237</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                    | 167 |
| <b>Abbildung 238</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m ..... | 167 |
| <b>Abbildung 239</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....       | 168 |
| <b>Abbildung 240</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                      | 168 |
| <b>Abbildung 241</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....   | 168 |
| <b>Abbildung 242</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....         | 169 |
| <b>Abbildung 243</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....  | 169 |
| <b>Abbildung 244</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....     | 169 |
| <b>Abbildung 245</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....         | 170 |
| <b>Abbildung 246</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....  | 170 |
| <b>Abbildung 247</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....     | 170 |
| <b>Abbildung 248</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....      | 171 |
| <b>Abbildung 249</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                     | 171 |

|                      |   |     |
|----------------------|---|-----|
| <b>Abbildung 250</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m ..... | 171 |
| <b>Abbildung 251</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....     | 172 |
| <b>Abbildung 252</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m .....                                    | 172 |
| <b>Abbildung 253</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m ..... | 172 |
| <b>Abbildung 254</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt A der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....  | 173 |
| <b>Abbildung 255</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt B der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....  | 173 |
| <b>Abbildung 256</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt C der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....  | 174 |
| <b>Abbildung 257</b> | Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....  | 174 |
| <b>Abbildung 258</b> | Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 175 |
| <b>Abbildung 259</b> | Verläufe der CO <sub>2</sub> -Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 175 |
| <b>Abbildung 260</b> | Verläufe der O <sub>2</sub> -Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....  | 176 |
| <b>Abbildung 261</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                               | 177 |
| <b>Abbildung 262</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 177 |
| <b>Abbildung 263</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                           | 177 |
| <b>Abbildung 264</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                 | 178 |
| <b>Abbildung 265</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 178 |
| <b>Abbildung 266</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                             | 178 |
| <b>Abbildung 267</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                 | 179 |
| <b>Abbildung 268</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 179 |

|                      |  |     |
|----------------------|--|-----|
| <b>Abbildung 269</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                | 179 |
| <b>Abbildung 270</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                 | 180 |
| <b>Abbildung 271</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 180 |
| <b>Abbildung 272</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....             | 180 |
| <b>Abbildung 273</b> | Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                 | 181 |
| <b>Abbildung 274</b> | Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 181 |
| <b>Abbildung 275</b> | Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....             | 181 |
| <b>Abbildung 276</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....     | 182 |
| <b>Abbildung 277</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                    | 182 |
| <b>Abbildung 278</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m ..... | 182 |
| <b>Abbildung 279</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....       | 183 |
| <b>Abbildung 280</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                      | 183 |
| <b>Abbildung 281</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 183 |
| <b>Abbildung 282</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....       | 184 |
| <b>Abbildung 283</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                      | 184 |
| <b>Abbildung 284</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 184 |
| <b>Abbildung 285</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....    | 185 |

|                      |  |     |
|----------------------|--|-----|
| <b>Abbildung 286</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 185 |
| <b>Abbildung 287</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....              | 185 |
| <b>Abbildung 288</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                  | 186 |
| <b>Abbildung 289</b> | Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 186 |
| <b>Abbildung 290</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,75$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....              | 186 |
| <b>Abbildung 291</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....      | 187 |
| <b>Abbildung 292</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                     | 187 |
| <b>Abbildung 293</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=1,9$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....  | 187 |
| <b>Abbildung 294</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....        | 188 |
| <b>Abbildung 295</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                       | 188 |
| <b>Abbildung 296</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $x=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....    | 188 |
| <b>Abbildung 297</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....        | 189 |
| <b>Abbildung 298</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                       | 189 |
| <b>Abbildung 299</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $y=0$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....    | 189 |
| <b>Abbildung 300</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....     | 190 |
| <b>Abbildung 301</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                    | 190 |
| <b>Abbildung 302</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene $z=1,35$ der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m ..... | 190 |

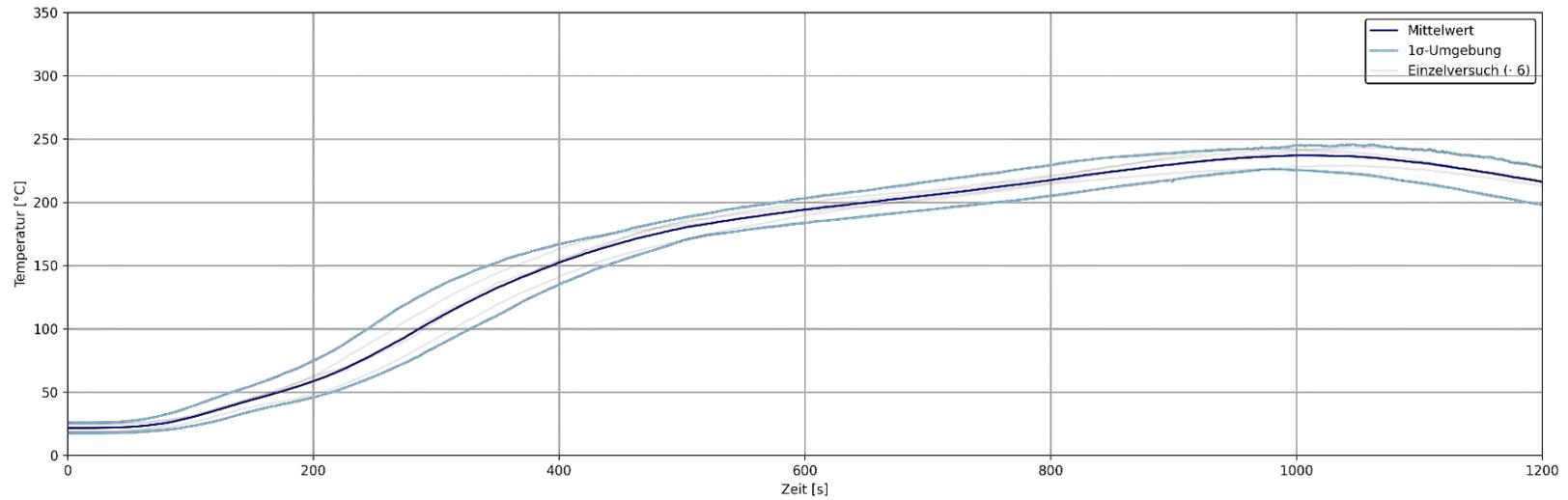
|                      |  |     |
|----------------------|--|-----|
| <b>Abbildung 303</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....     | 191 |
| <b>Abbildung 304</b> | Verteilung der Konzentration von CO <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                    | 191 |
| <b>Abbildung 305</b> | Verteilung der maximalen Konzentration von CO <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m ..... | 191 |
| <b>Abbildung 306</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....       | 192 |
| <b>Abbildung 307</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                      | 192 |
| <b>Abbildung 308</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....   | 192 |
| <b>Abbildung 309</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....         | 193 |
| <b>Abbildung 310</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....  | 193 |
| <b>Abbildung 311</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....     | 193 |
| <b>Abbildung 312</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....         | 194 |
| <b>Abbildung 313</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....  | 194 |
| <b>Abbildung 314</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene y=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....     | 194 |
| <b>Abbildung 315</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....      | 195 |
| <b>Abbildung 316</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                     | 195 |
| <b>Abbildung 317</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....  | 195 |
| <b>Abbildung 318</b> | Verteilung der minimalen Konzentration von O <sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....      | 196 |
| <b>Abbildung 319</b> | Verteilung der Konzentration von O <sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m .....                                     | 196 |

**Abbildung 320** Verteilung der minimalen Konzentration von O<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m ..... 196

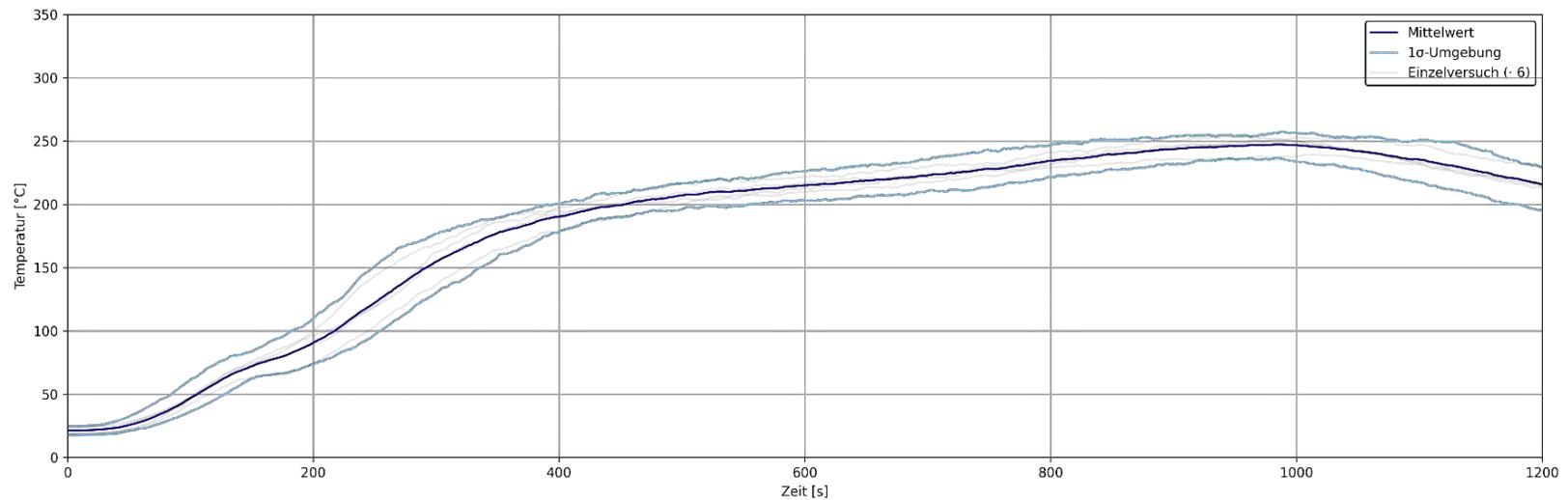
## 8.3 Literaturverzeichnis

1. <https://www.main-echo.de/regional/blaulicht/art12299,4715536>, zuletzt geprüft: 2. Juli 2018.
2. <https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/4969/3172654>, zuletzt geprüft: 2. Juli 2018.
3. <http://www.ln-online.de/Lokales/Stormarn/Vier-Arbeiter-bei-Loeschversuchen-verletzt>, zuletzt geprüft: 2. Juli 2018.
4. [https://www.swp.de/blaulicht/heidenheim/waescherei-brand\\_-zwei-mitarbeiter-bei-loeschversuch-verletzt-22316417.html](https://www.swp.de/blaulicht/heidenheim/waescherei-brand_-zwei-mitarbeiter-bei-loeschversuch-verletzt-22316417.html), zuletzt geprüft: 2. Juli 2018.
5. ASR A2.2 (2018): Technische Regeln für Arbeitsstätten: Maßnahmen gegen Brände.
6. DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG (2018): Berichtsjahre 2012 – 2016, Meldepflichtige Arbeitsunfälle, neue Unfallrenten und tödliche Unfälle (UART=1-4), Abweichung: Feuer, hochschlagende Flammen, REFERAT STATISTIK DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG.
7. HENKELMANN, PAOLO et al. (2015): Szenariendefinition und Löschmittelbemessung nach ASR A2.2, Ein brandtechnologischer Ansatz, sicher ist sicher, Ausgabe 4, 2015, **66**, S. 196-202.
8. KÖLBL, IRENE; WAGNER, STEFAN (2011): Vergleichstests: Feuerlöscher und Löschspray, WFV Deutschland Info, Ausgabe 1, 2011, **13**, S. 24-26.
9. RIES, REINHARD; TSCHÖPE, BERNHARD (2012): Brandbekämpfung per Sprühdose, GIT Sicherheit und Management, 1-2, 2012, **21**, S. 1-2.
10. GUNDERMANN, PETER (2013): Löschspraydosen, Rechtsvorschriften, Regelwerke und Normen zur Gewährleistung der Anwendersicherheit, in: VEREINIGUNG ZUR FÖRDERUNG DES DEUTSCHEN BRANDSCHUTZES: vfdb-Jahresfachtagung 2013, S. 325-335.
11. BECKER, MICHAEL (2013): Tragbare Feuerlöschgeräte vs. Löschspraydose, in: VEREINIGUNG ZUR FÖRDERUNG DES DEUTSCHEN BRANDSCHUTZES: vfdb-Jahresfachtagung 2013, S. 337-345.
12. VELTEN, WILFRIED (2013): Feuerlöschspraydosen in Arbeitsstätten zur Bekämpfung von Entstehungsbränden, in: VEREINIGUNG ZUR FÖRDERUNG DES DEUTSCHEN BRANDSCHUTZES: vfdb-Jahresfachtagung 2013, S. 347-360.
13. DIN EN 3-7:2007-10 (2007): Tragbare Feuerlöscher - Teil 7: Eigenschaften, Leistungsanforderungen und Prüfungen.
14. DIN EN 16856:2020-06 (2020): Feuerlöschsprays.
15. ISO 9705-1:2016-01 (2016): Reaction to fire tests - Room corner test for wall and ceiling lining products - Part 1: Test method for a small room configuration.
16. ASR A1.2 (2013): Technische Regeln für Arbeitsstätten: Raumabmessungen und Bewegungsflächen.
17. UL 1715 (1997): Fire Test of Interior Finish Material.
18. DIN 66084:2021-02 (2021): Klassifizierung des Brennverhaltens von Polsterverbunden.
19. CHOLIN, JOHN M. (2008): Wood and Wood-Based Products, in: COTE, ARTHUR: Fire Protection Handbook Volume I, 20. Auflage, Quincy, Massachusetts, National Fire Protection Association, 6-61-6-75.
20. DIN EN 1991-1-2/NA:2015-09 (2015): Nationaler Anhang – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke.
21. STEINLEITNER, HANS-DIETER et al. (1979): Tabellenbuch brennbarer und gefährlicher Stoffe, Berlin, Staatsverlag der Deutschen Demokratischen Republik.

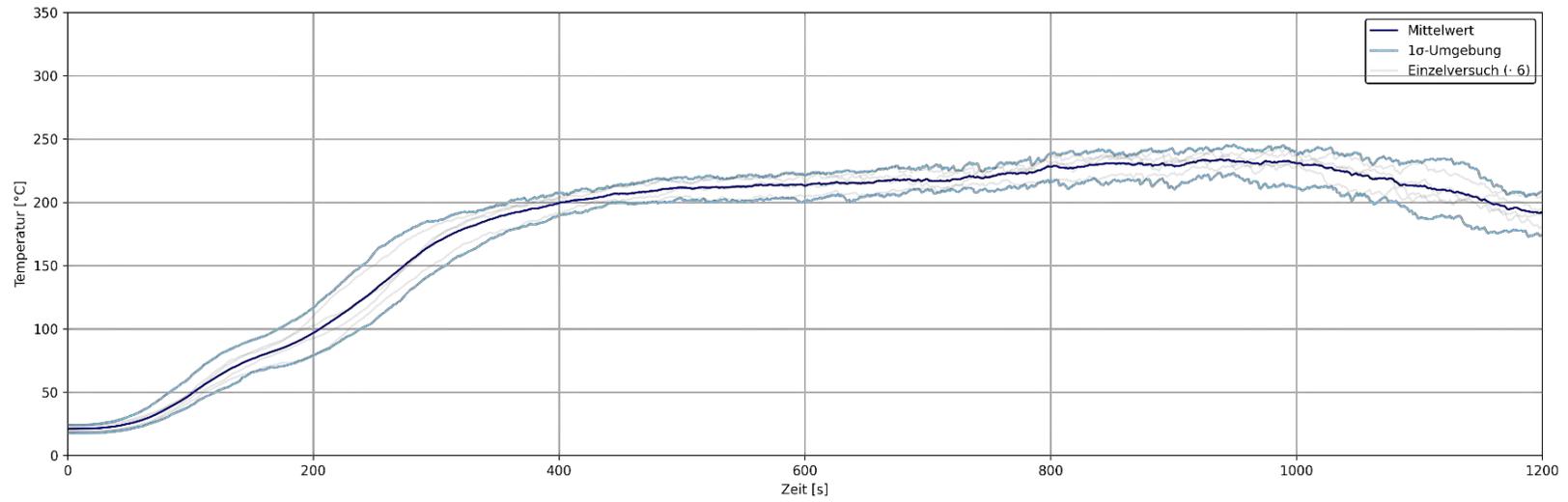
22. MCGRATTAN, KEVIN et al. (2022): Fire Dynamics Simulator User's Guide, 6. Auflage, Gaithersburg, MD.
23. O. A. (2019): Effects of Fire Effluent, in: Society of Fire Protection Engineers: SFPE Guide to Human Behavior in Fire, Cham, Springer, S. 41-47.
24. DIN 14406-2:1983-02 (1983): Tragbare Feuerlöscher - Teil 2: Brandschutztechnische Typprüfung.
25. GROSS, DANIEL (1960): Experiments on the burning of cross-piles of wood, Washington, D.C. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/RPT/nbsreport6830.pdf>, zuletzt geprüft: 13. April 2023.
26. GROSS, DANIEL (1962), Journal of Research of the National Bureau of Standards, Section C: Engineering and Instrumentation, Ausgabe 2, 1962, S. 99-105.
27. GUPTA, VINNY et al. (2021): Burning dynamics and in-depth flame spread of wood cribs in large compartment fires, Combustion and Flame, Ausgabe 228, 2021, **65**, S. 42-56.



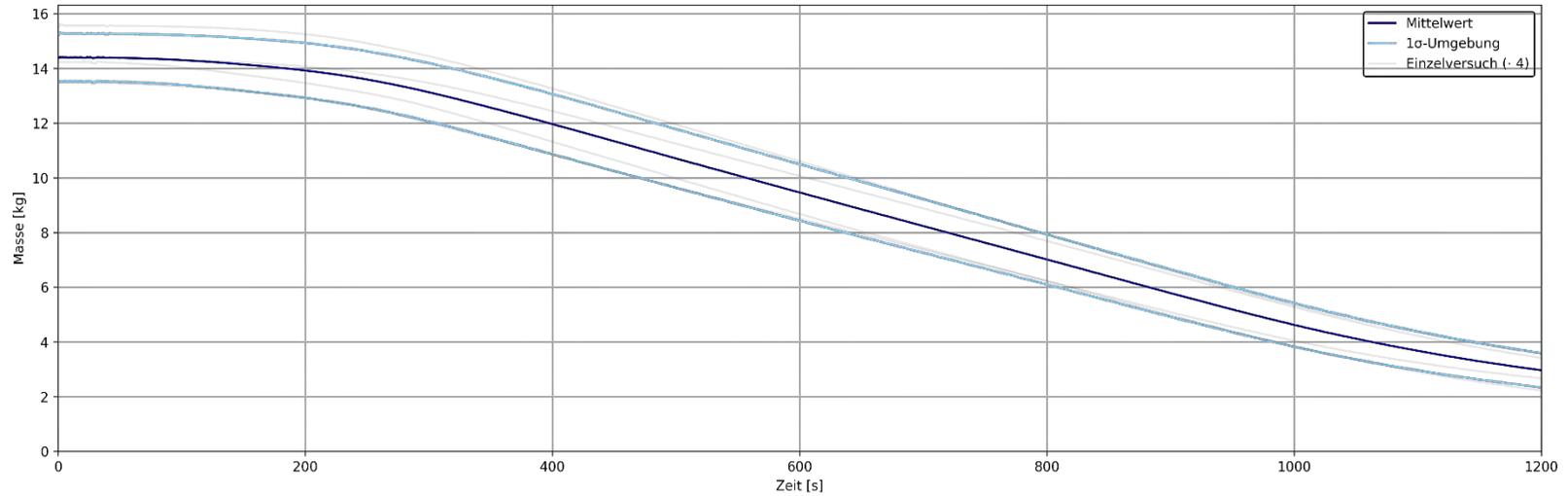
**Abbildung 38** Temperaturverläufe am Messpunkt A der Brandversuche mit einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



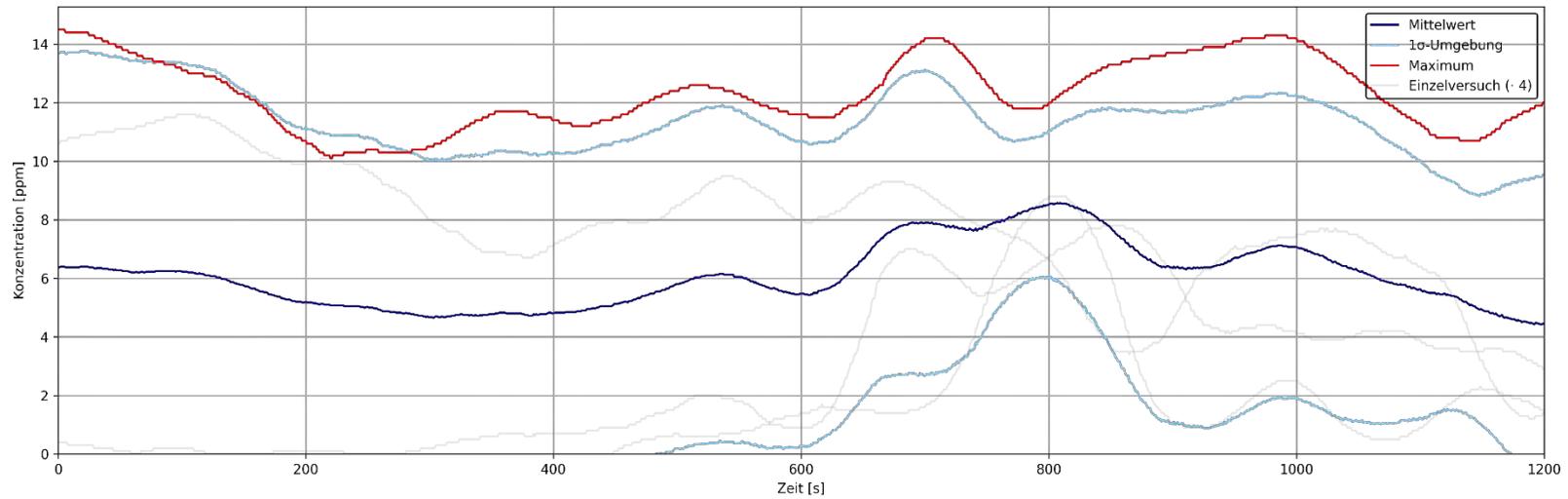
**Abbildung 39** Temperaturverläufe am Messpunkt B der Brandversuche mit einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



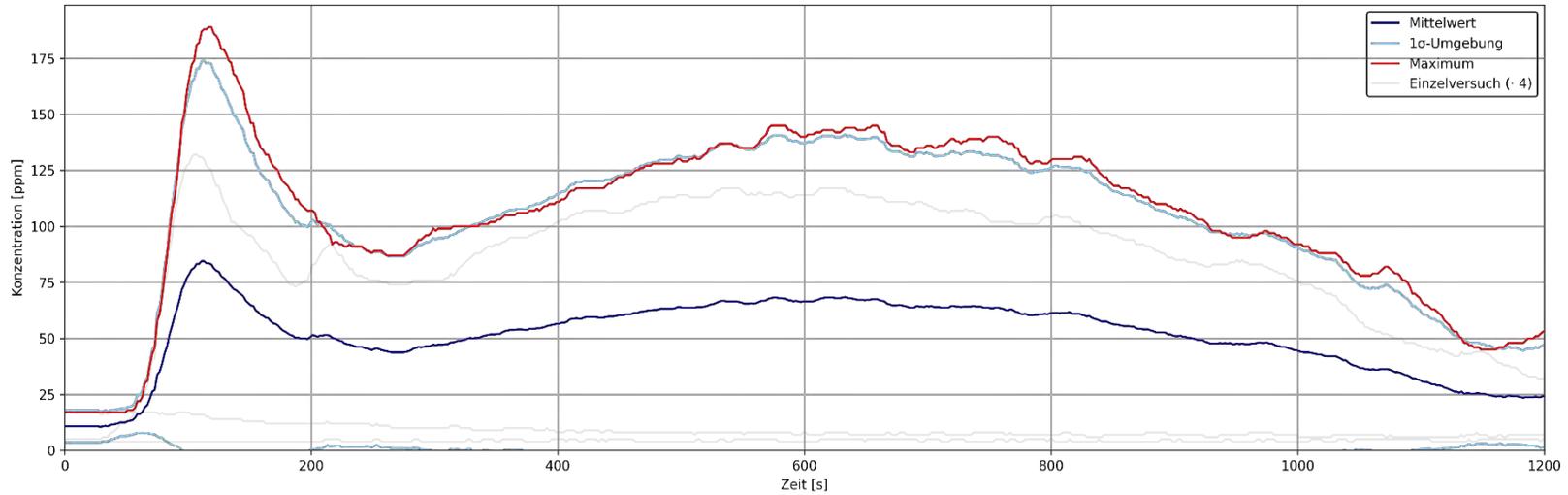
**Abbildung 40** Temperaturverläufe am Messpunkt C der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



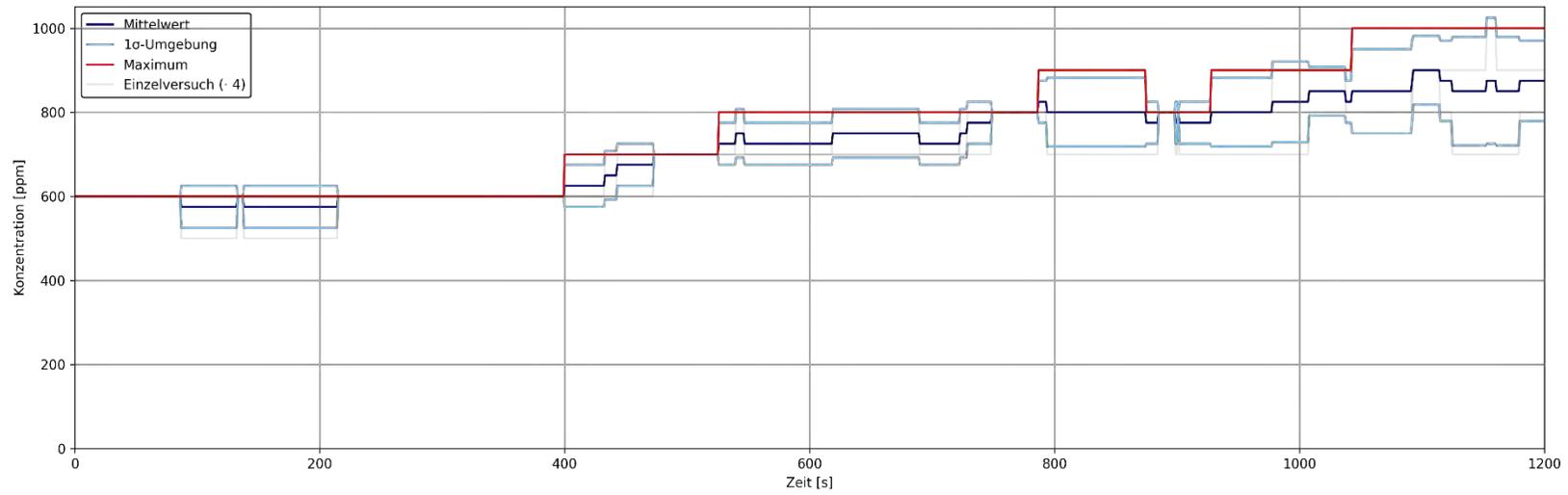
**Abbildung 41** Masse der Holzkippen über die Zeit der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



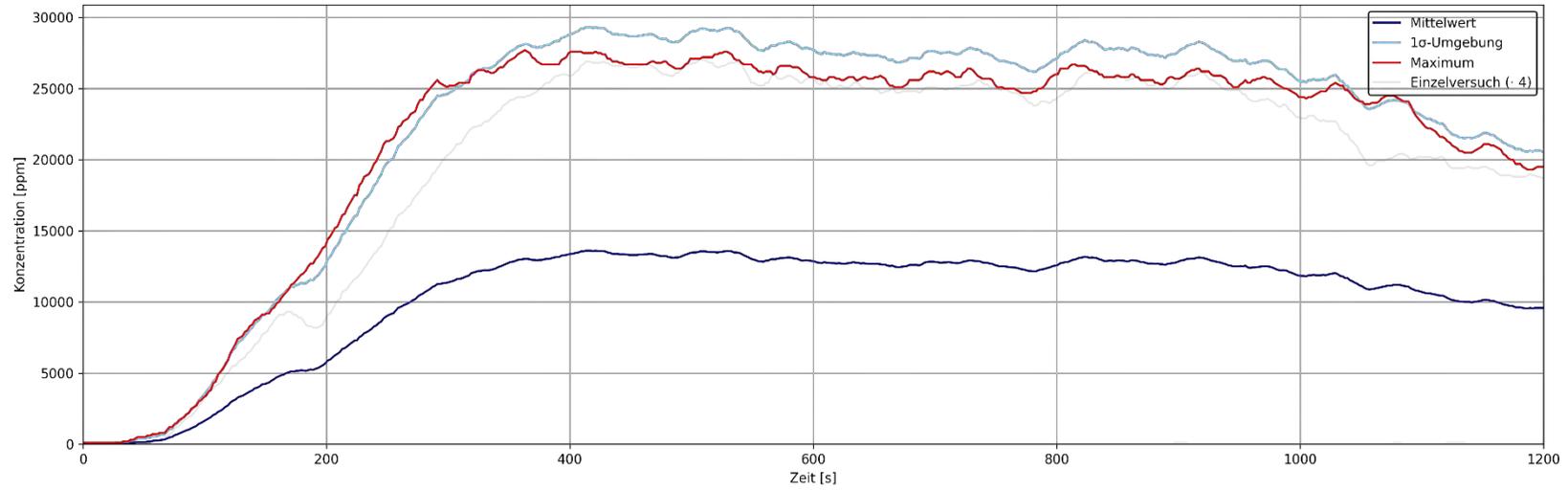
**Abbildung 42** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



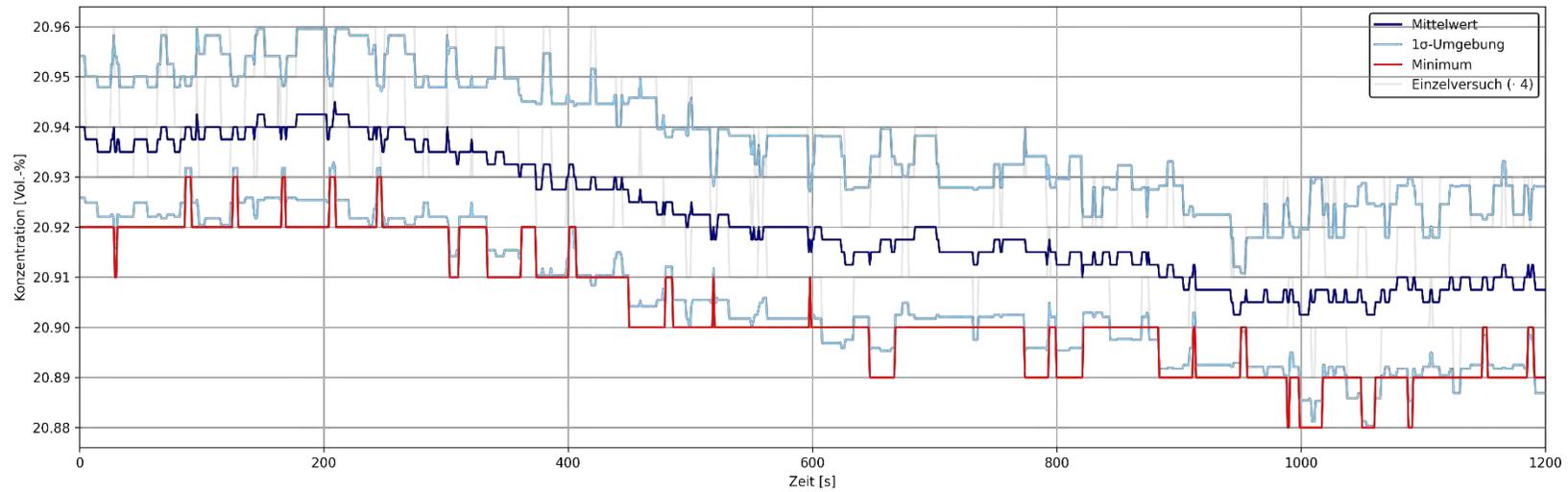
**Abbildung 43** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m



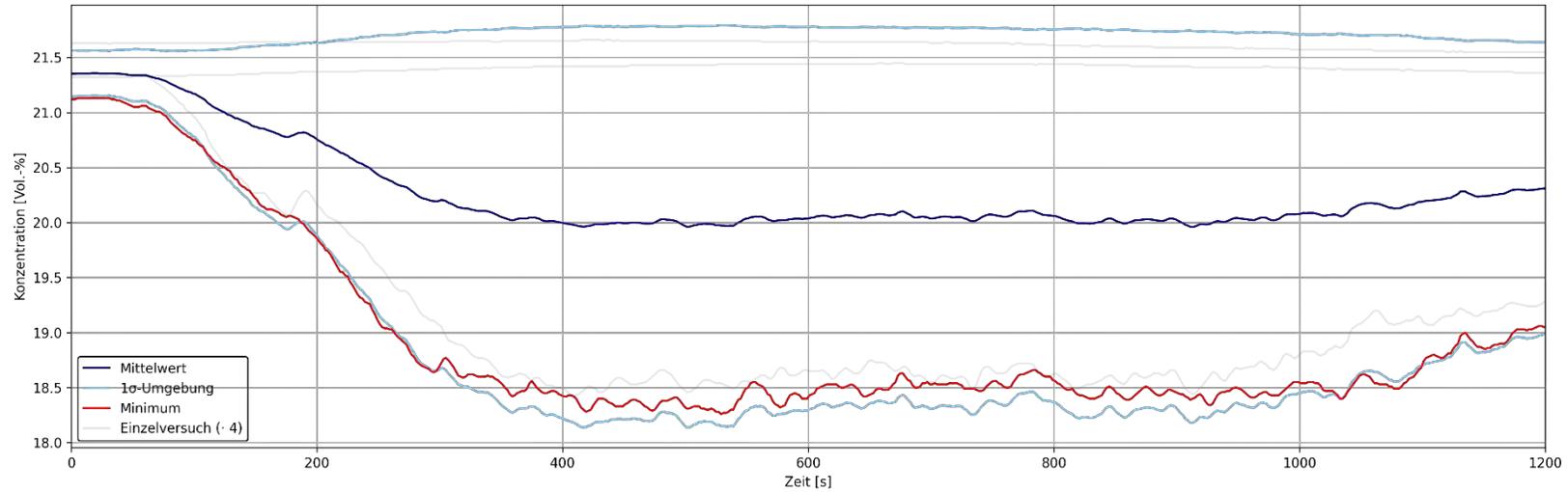
**Abbildung 44** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



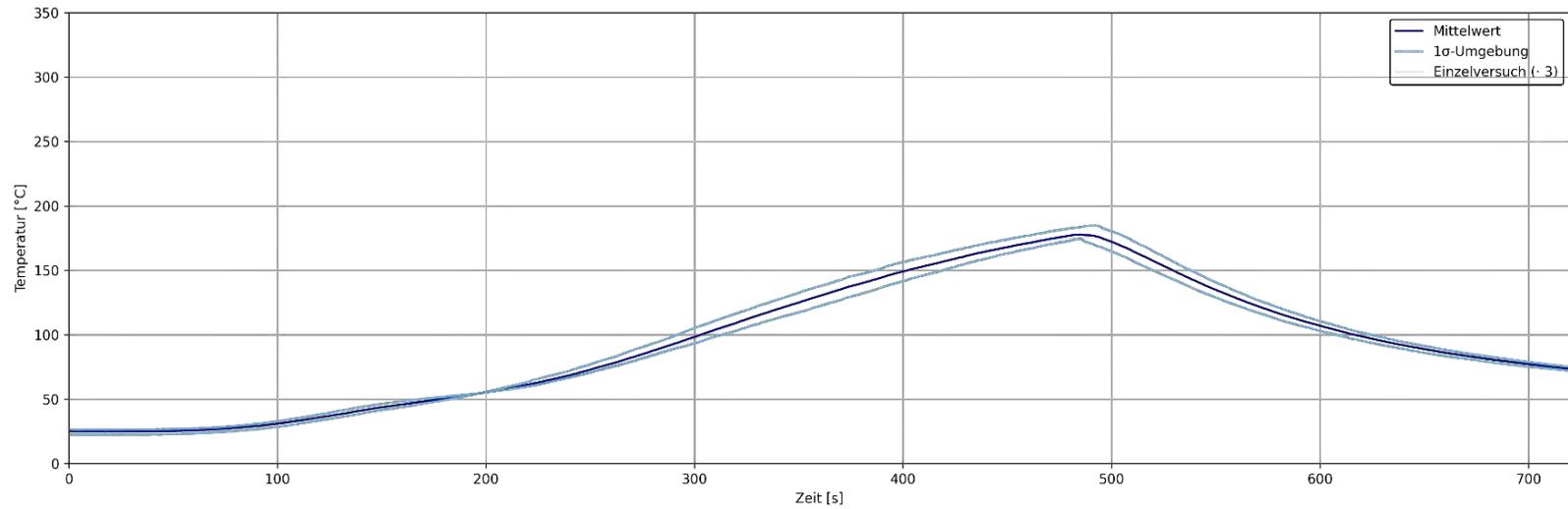
**Abbildung 45** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m



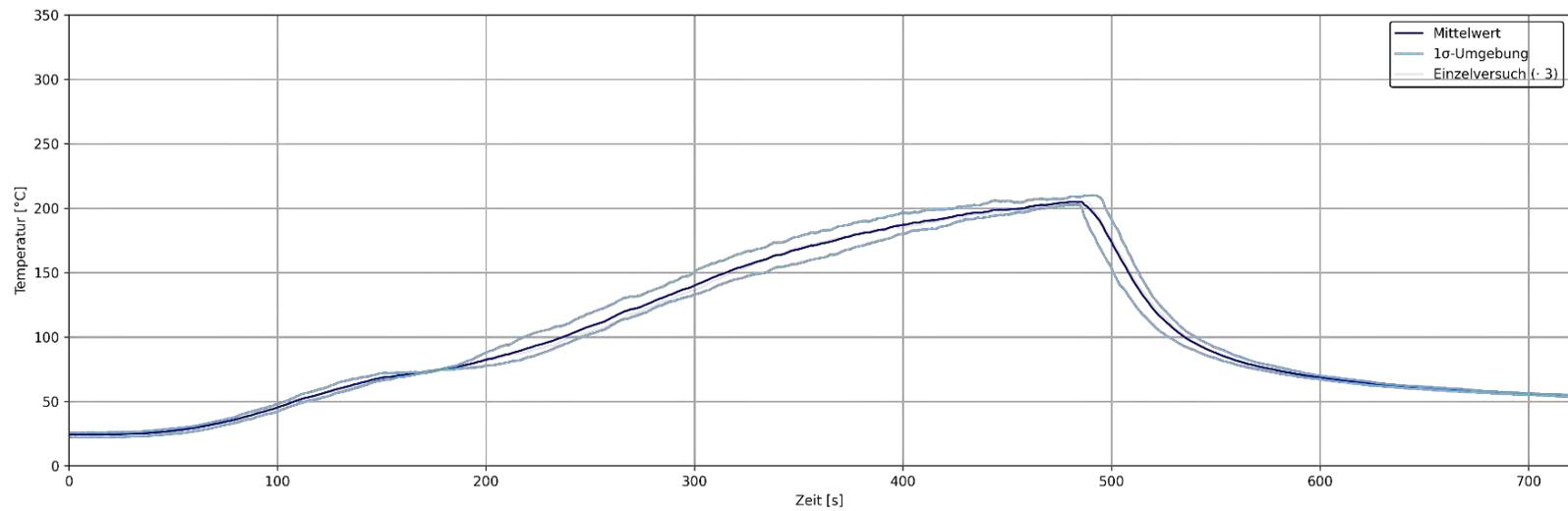
**Abbildung 46** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



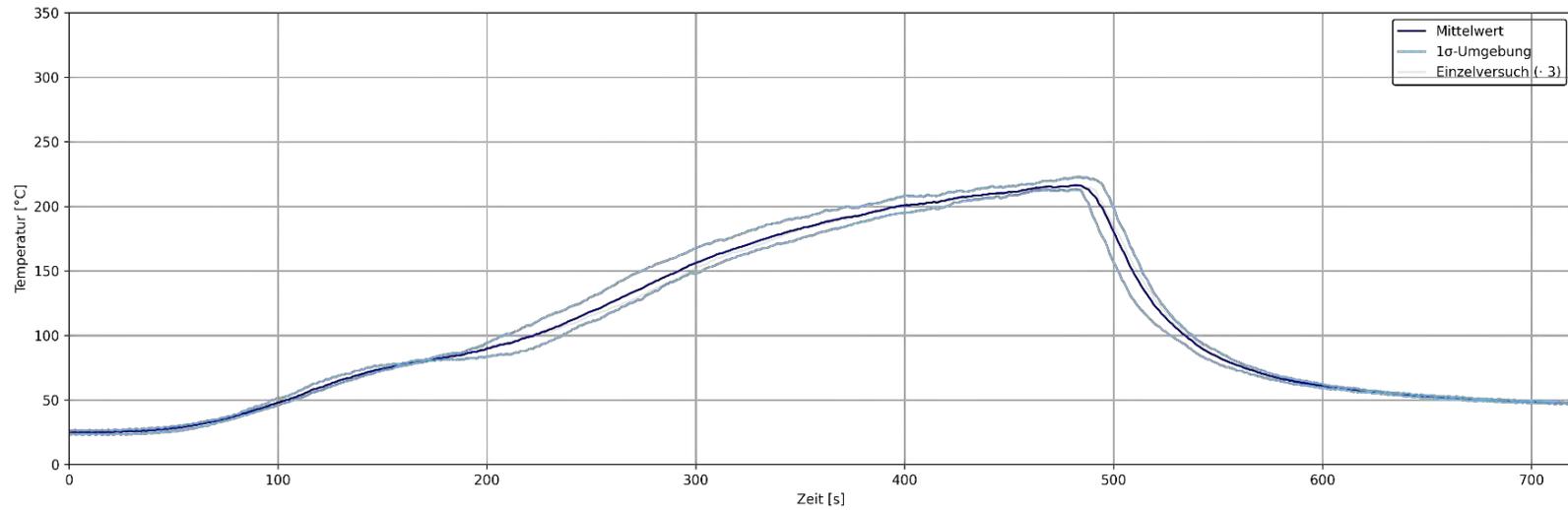
**Abbildung 47** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Brandversuche mit einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m



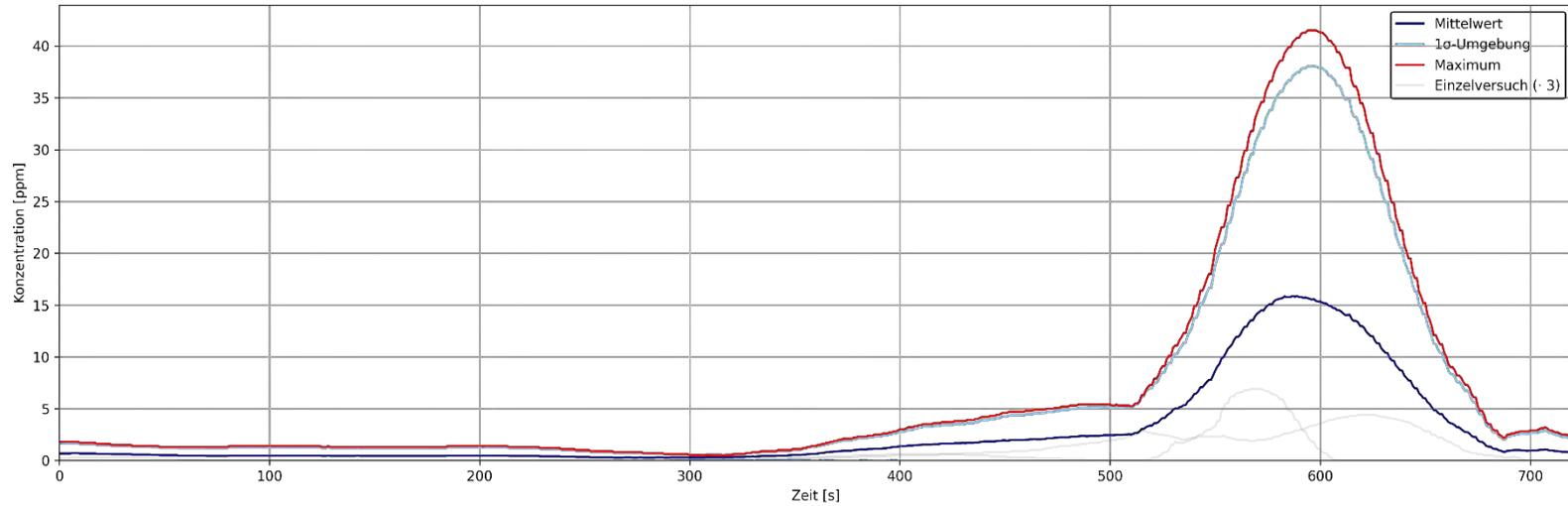
**Abbildung 48** Temperaturverläufe am Messpunkt A der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



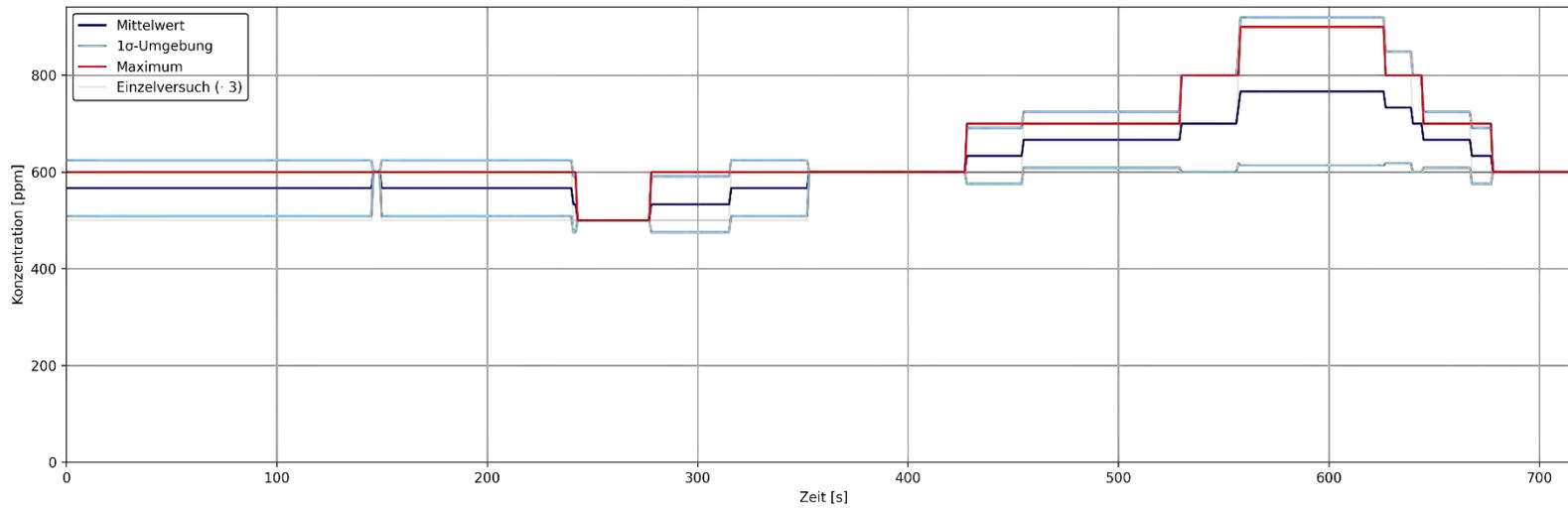
**Abbildung 49** Temperaturverläufe am Messpunkt B der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



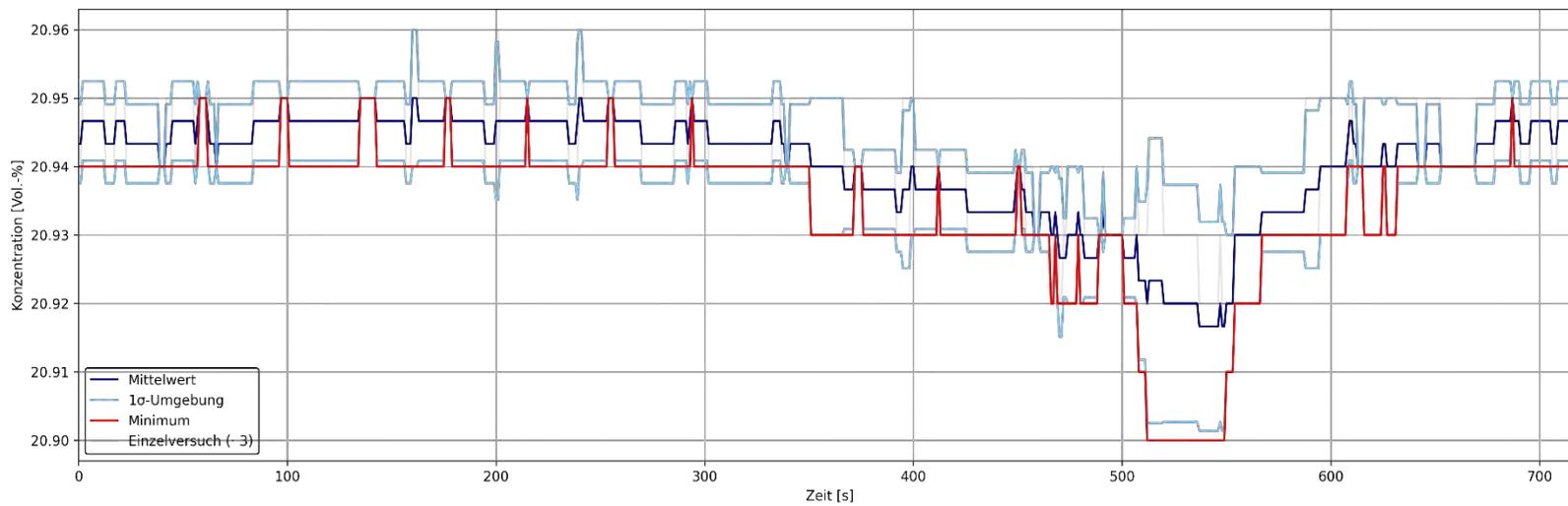
**Abbildung 50** Temperaturverläufe am Messpunkt C der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



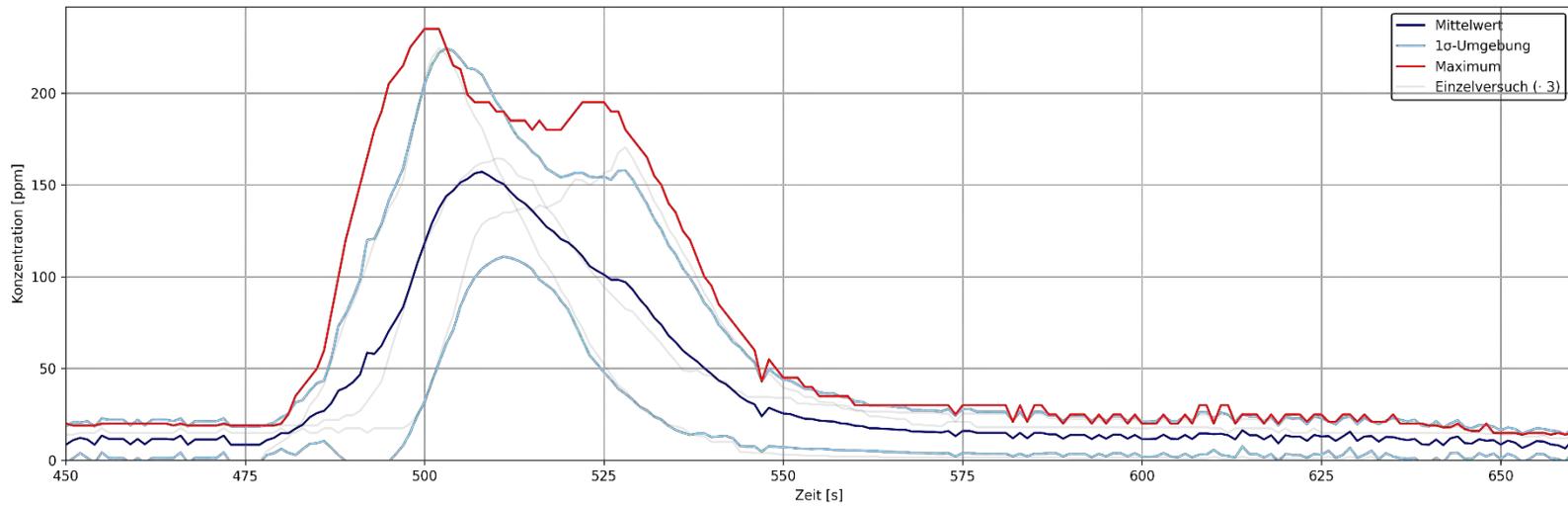
**Abbildung 51** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von  
 1,20 m  
 1,73 m



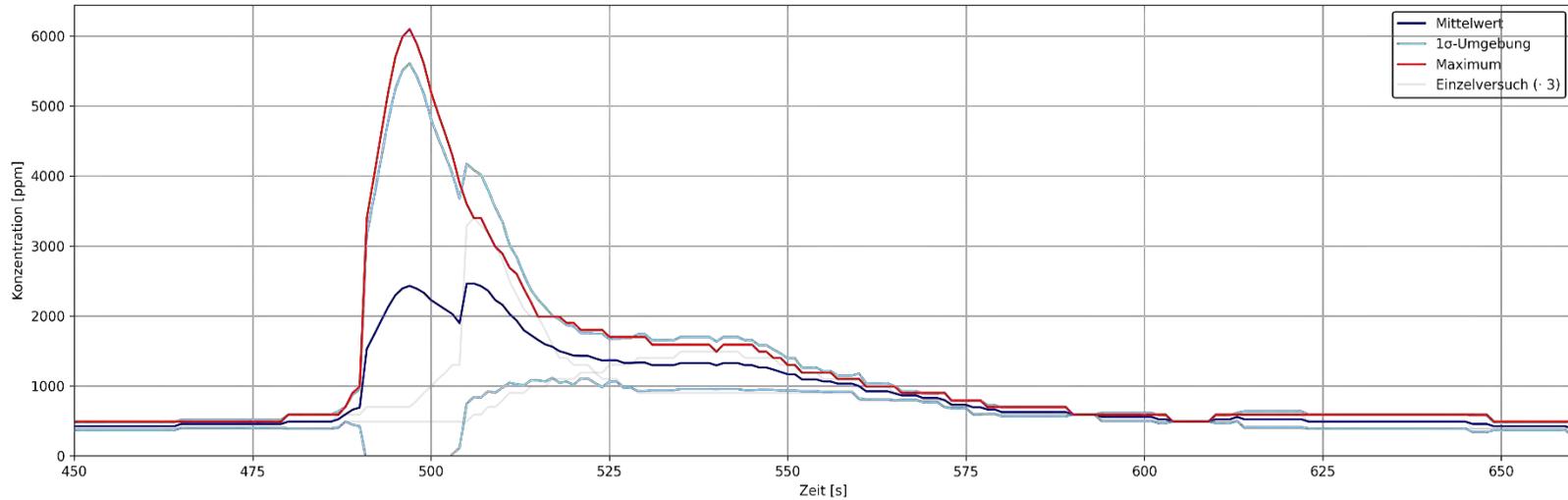
**Abbildung 52** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



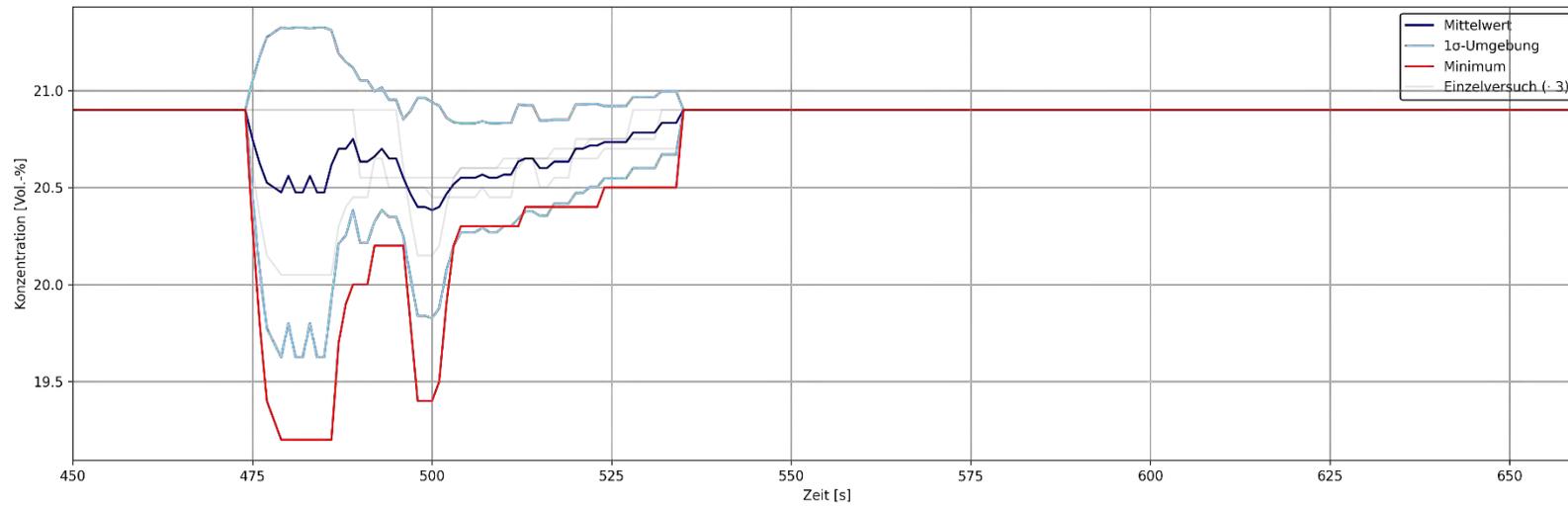
**Abbildung 53** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



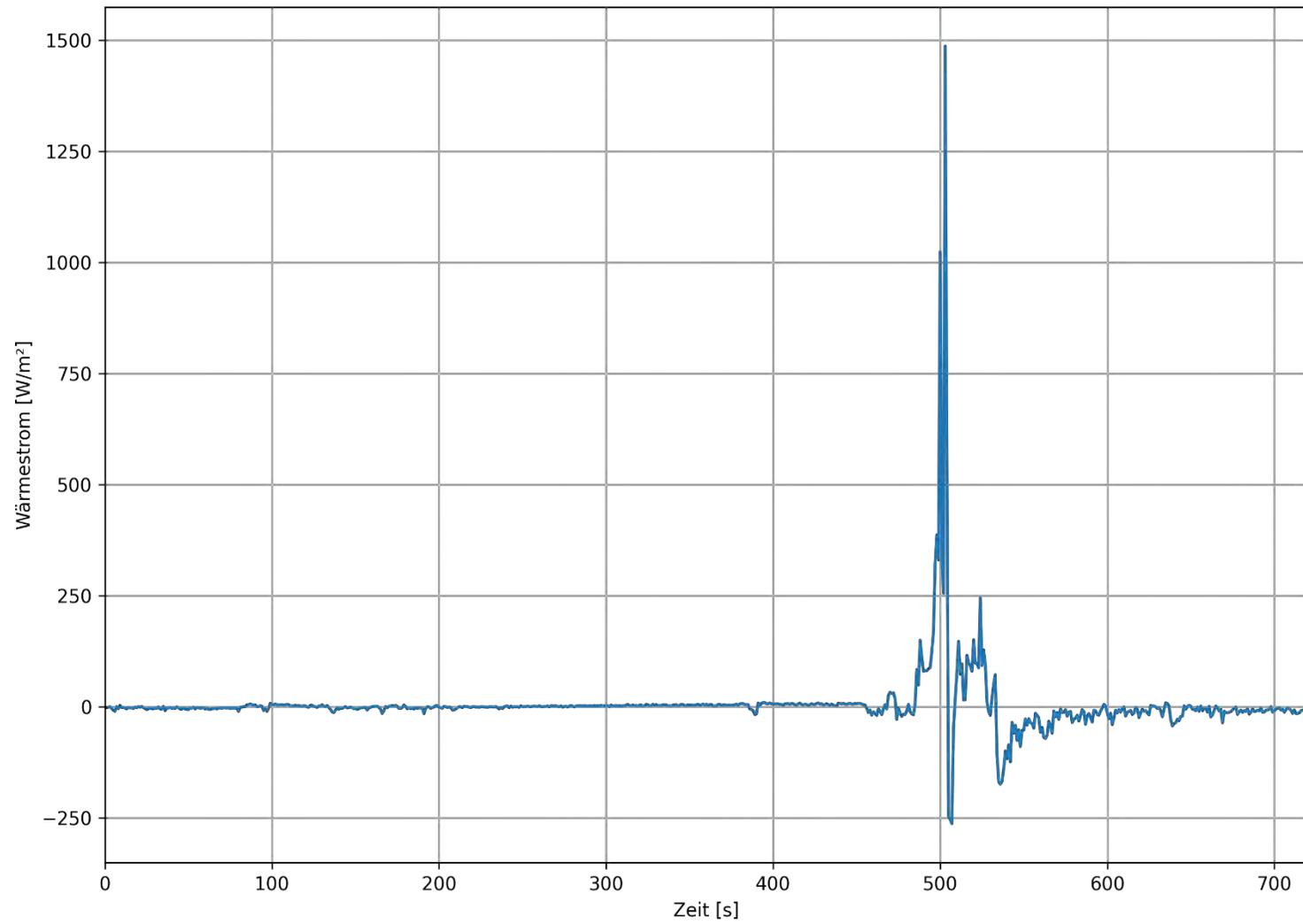
**Abbildung 54** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



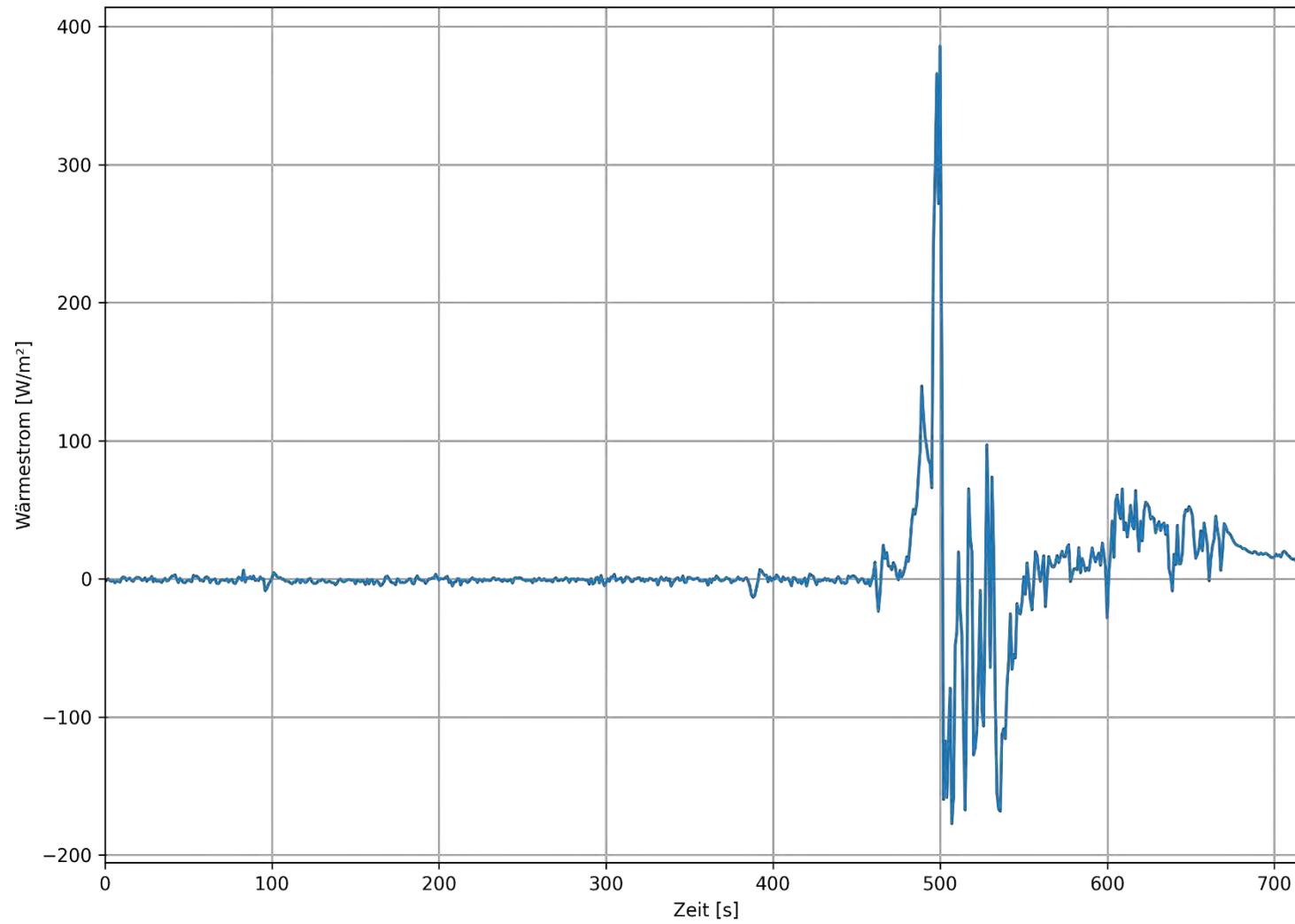
**Abbildung 55** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



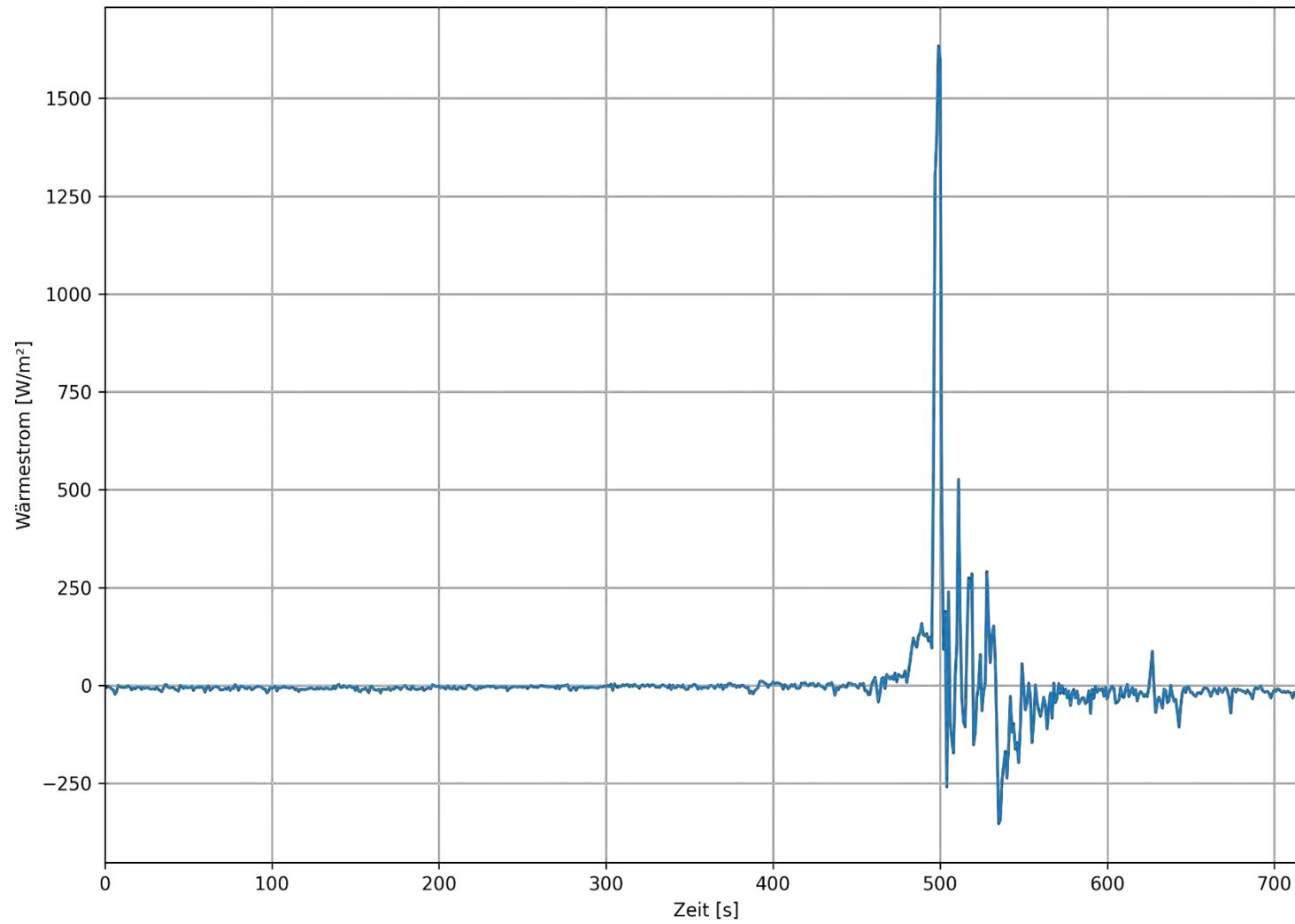
**Abbildung 56** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöscher für eine Holzrippe in Anlehnung an UL 1715



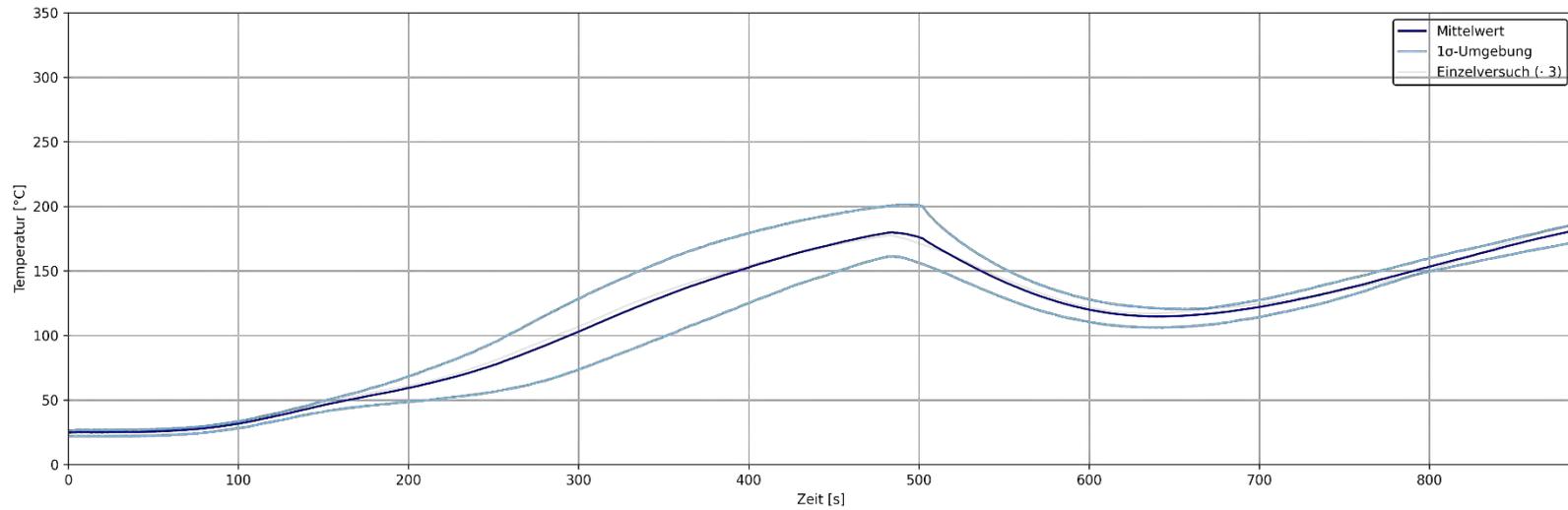
**Abbildung 57** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Handschuh eines Löschversuchs mit einem Feuerlöscher für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



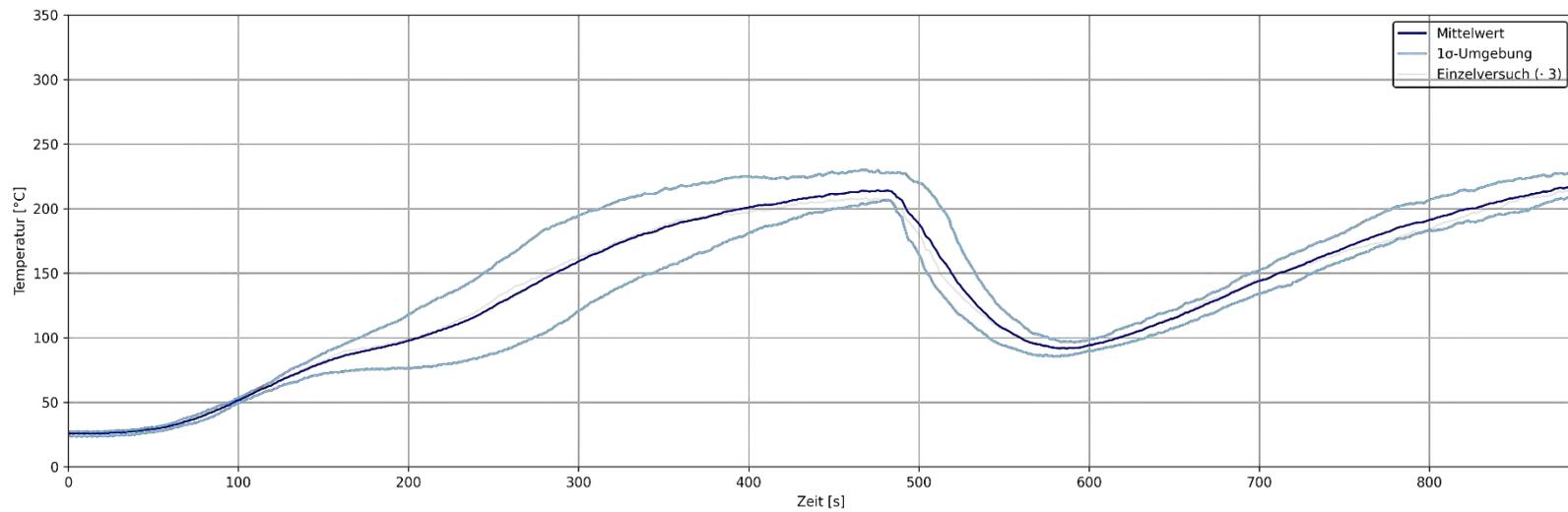
**Abbildung 58** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an der Brust eines Löschversuchs mit einem Feuerlöscher für eine Holzkippe in Anlehnung an UL 1715



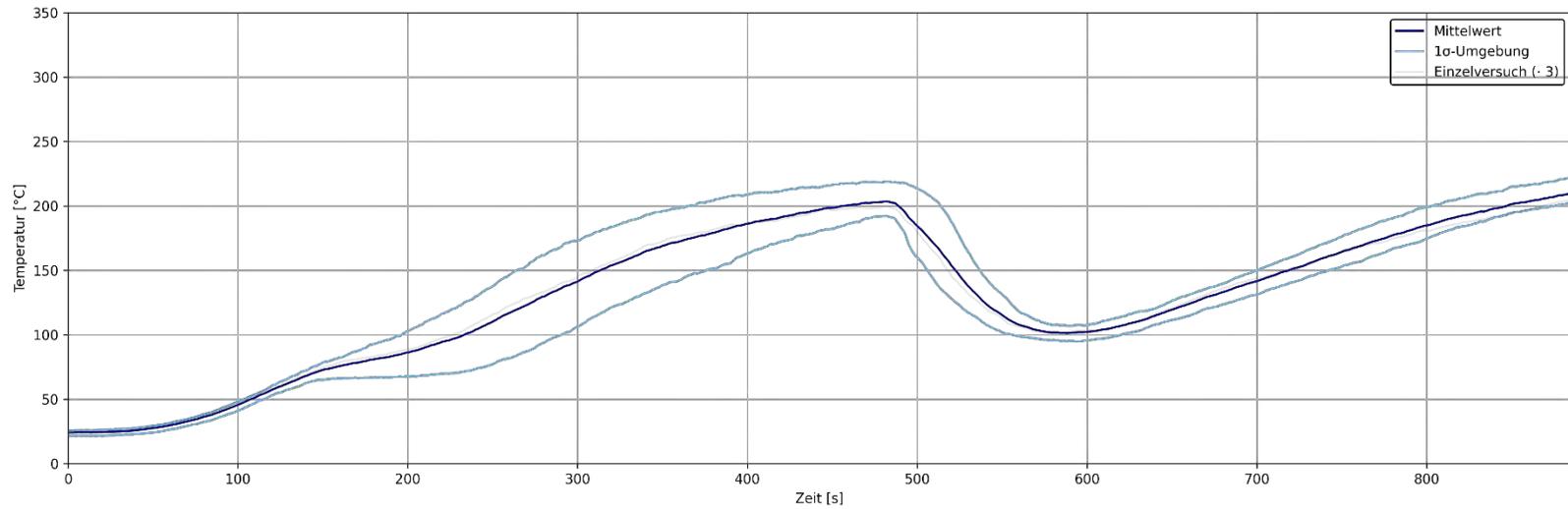
**Abbildung 59** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Helm eines Löschversuchs mit einem Feuerlöscher für eine Holzkippe in Anlehnung an UL 1715



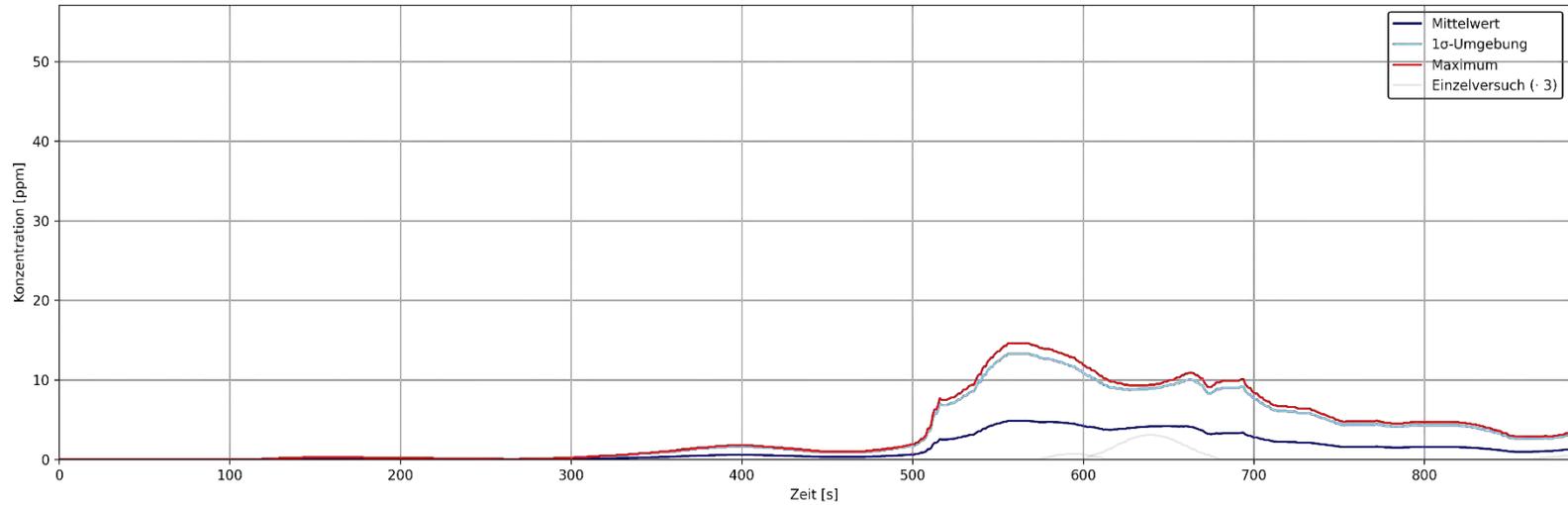
**Abbildung 60** Temperaturverläufe am Messpunkt A der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



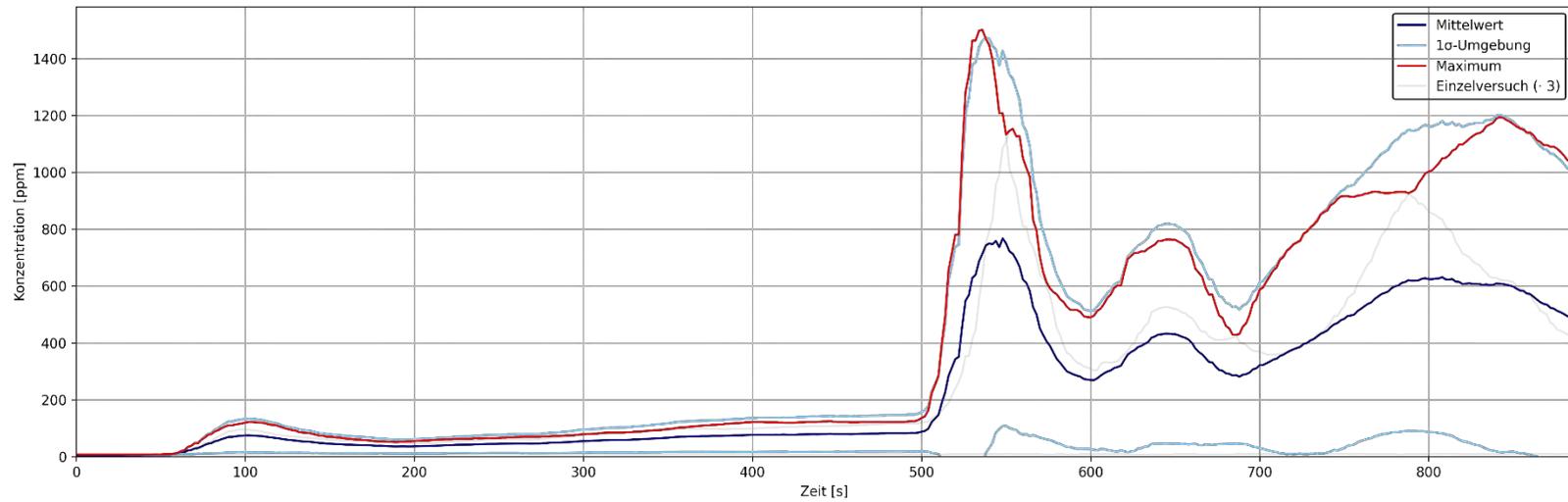
**Abbildung 61** Temperaturverläufe am Messpunkt B der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



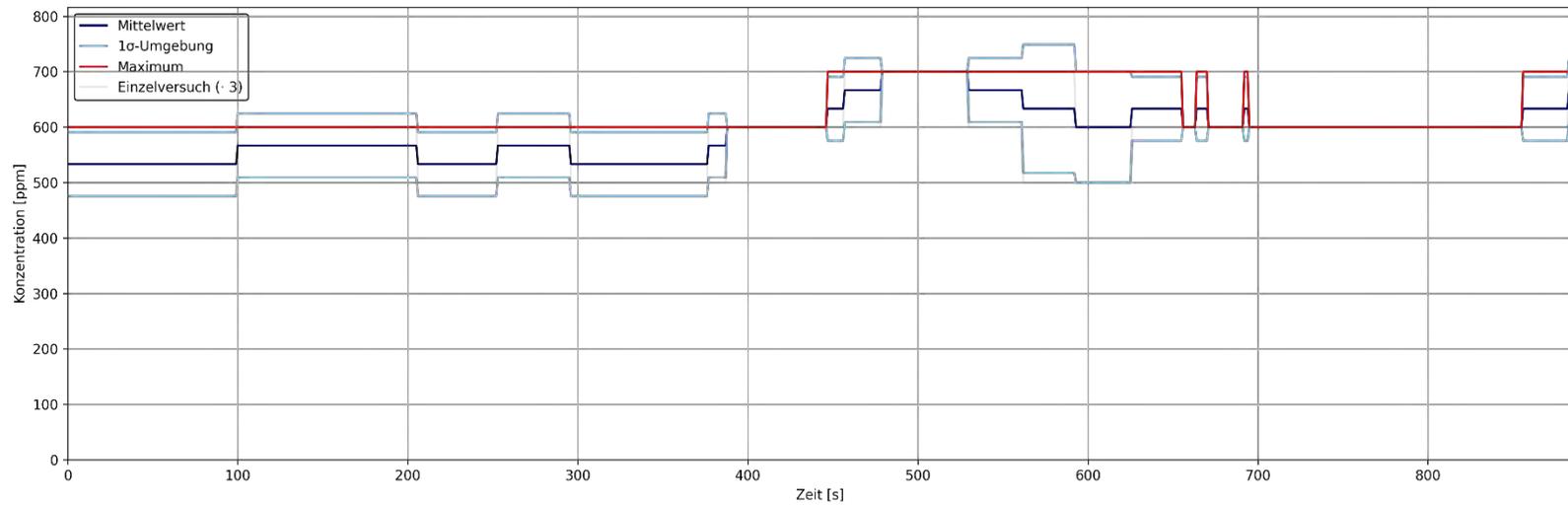
**Abbildung 62** Temperaturverläufe am Messpunkt C der Lösversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



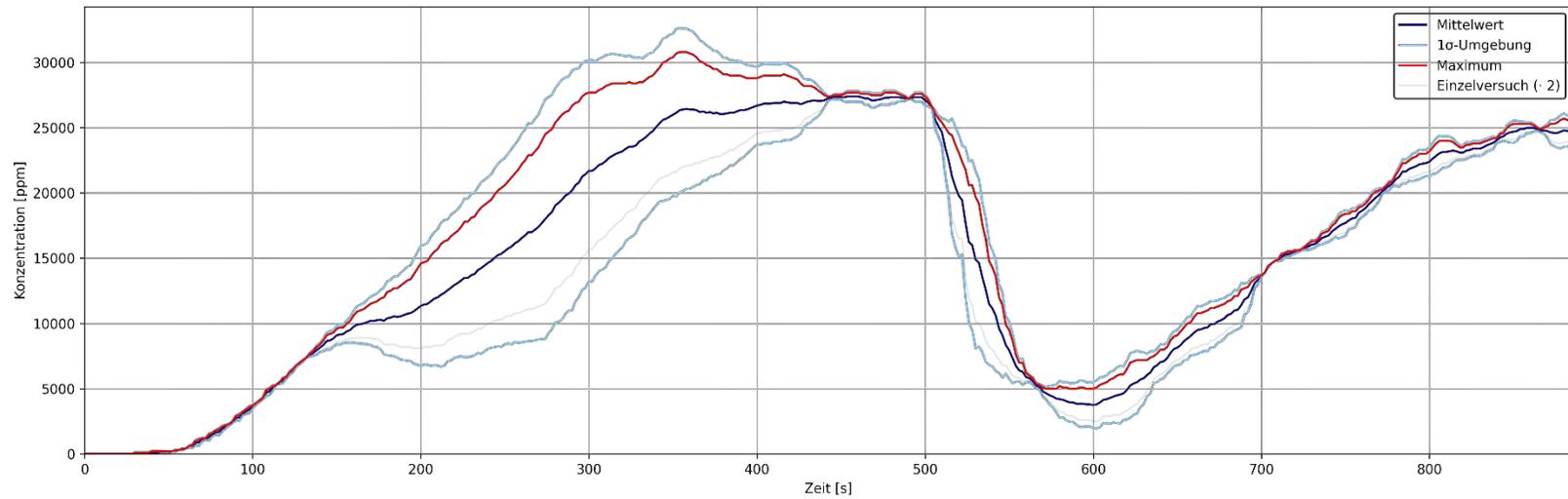
**Abbildung 63** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Lösversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



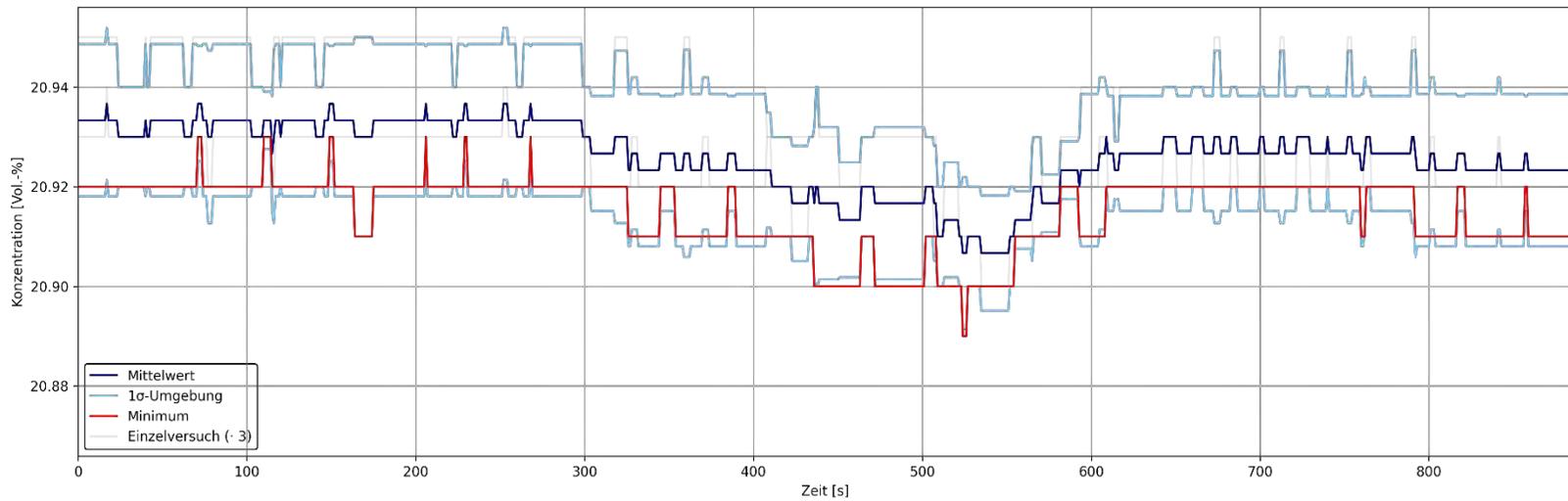
**Abbildung 64** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m



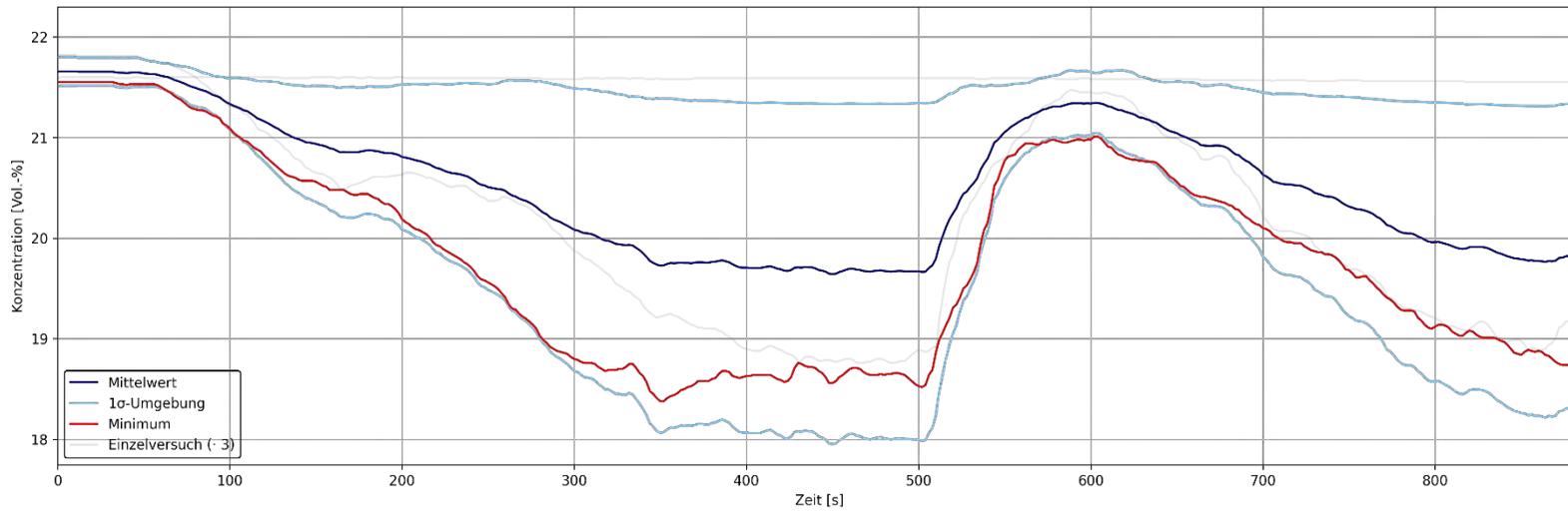
**Abbildung 65** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



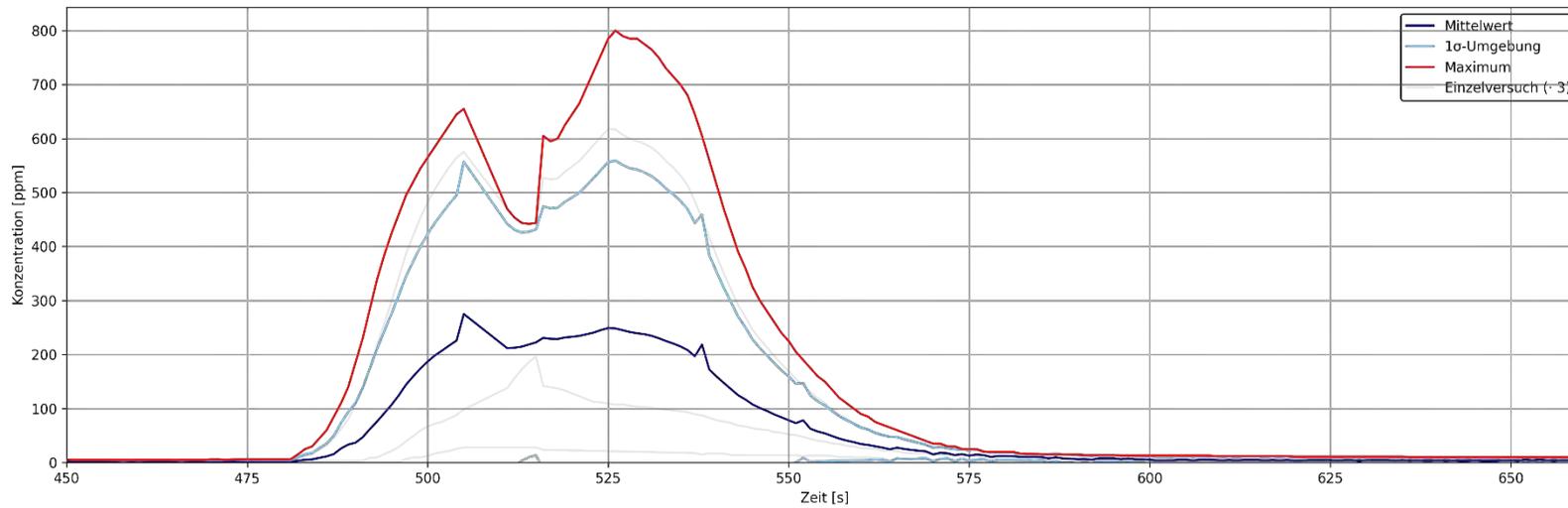
**Abbildung 66** Verläufe der Konzentrationen von  $\text{CO}_2$  über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m



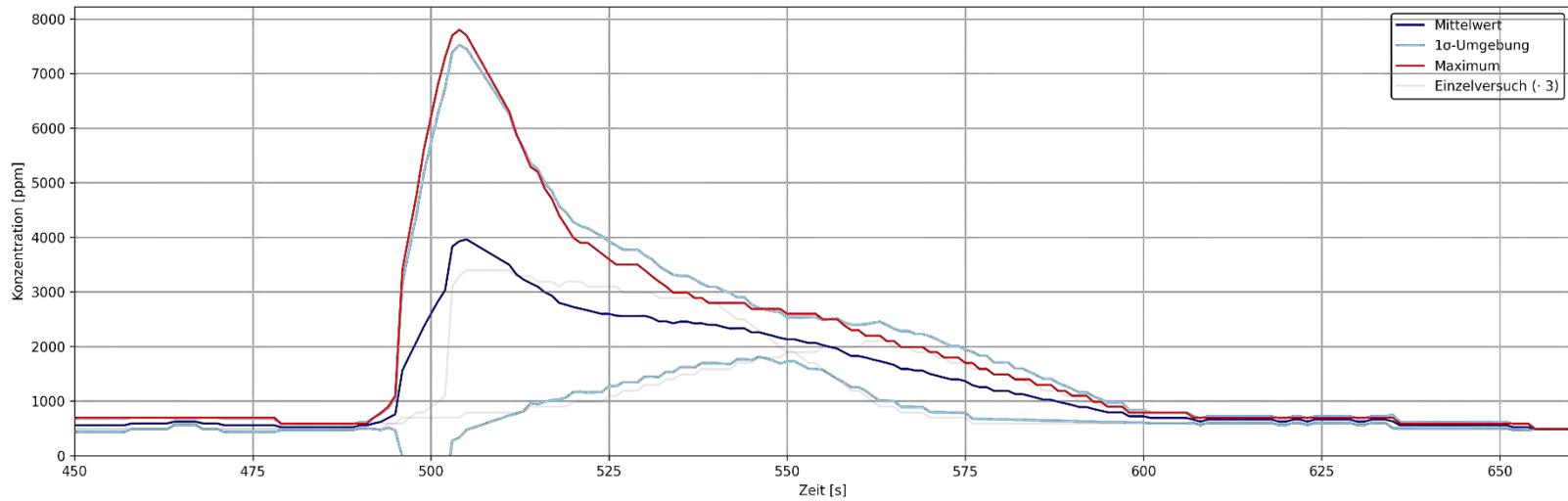
**Abbildung 67** Verläufe der Konzentrationen von  $\text{O}_2$  über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



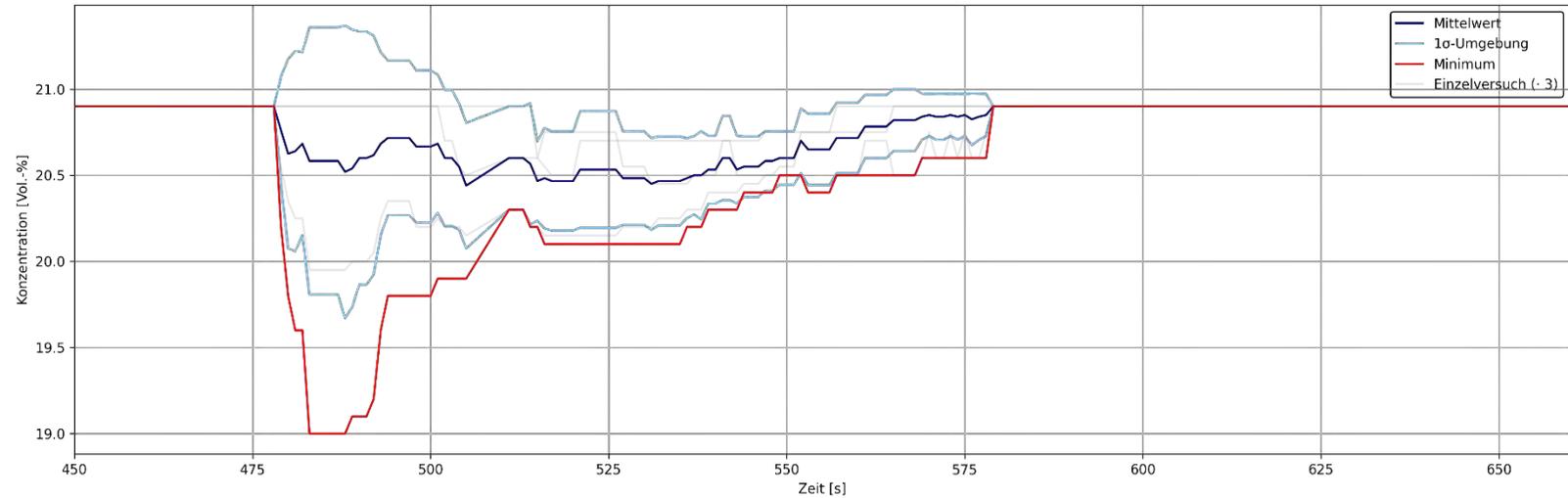
**Abbildung 68** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Lösversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m



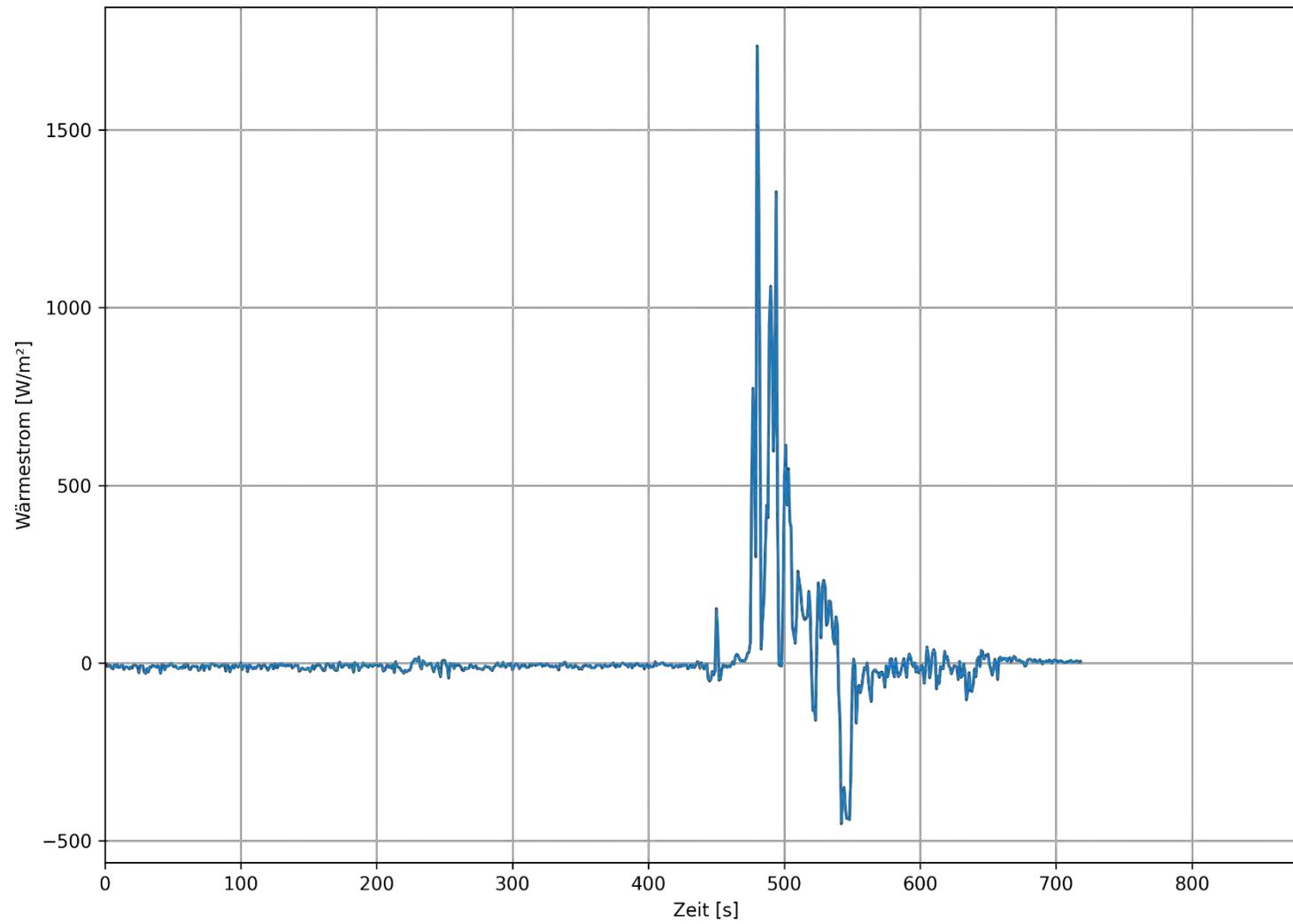
**Abbildung 69** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Lösversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



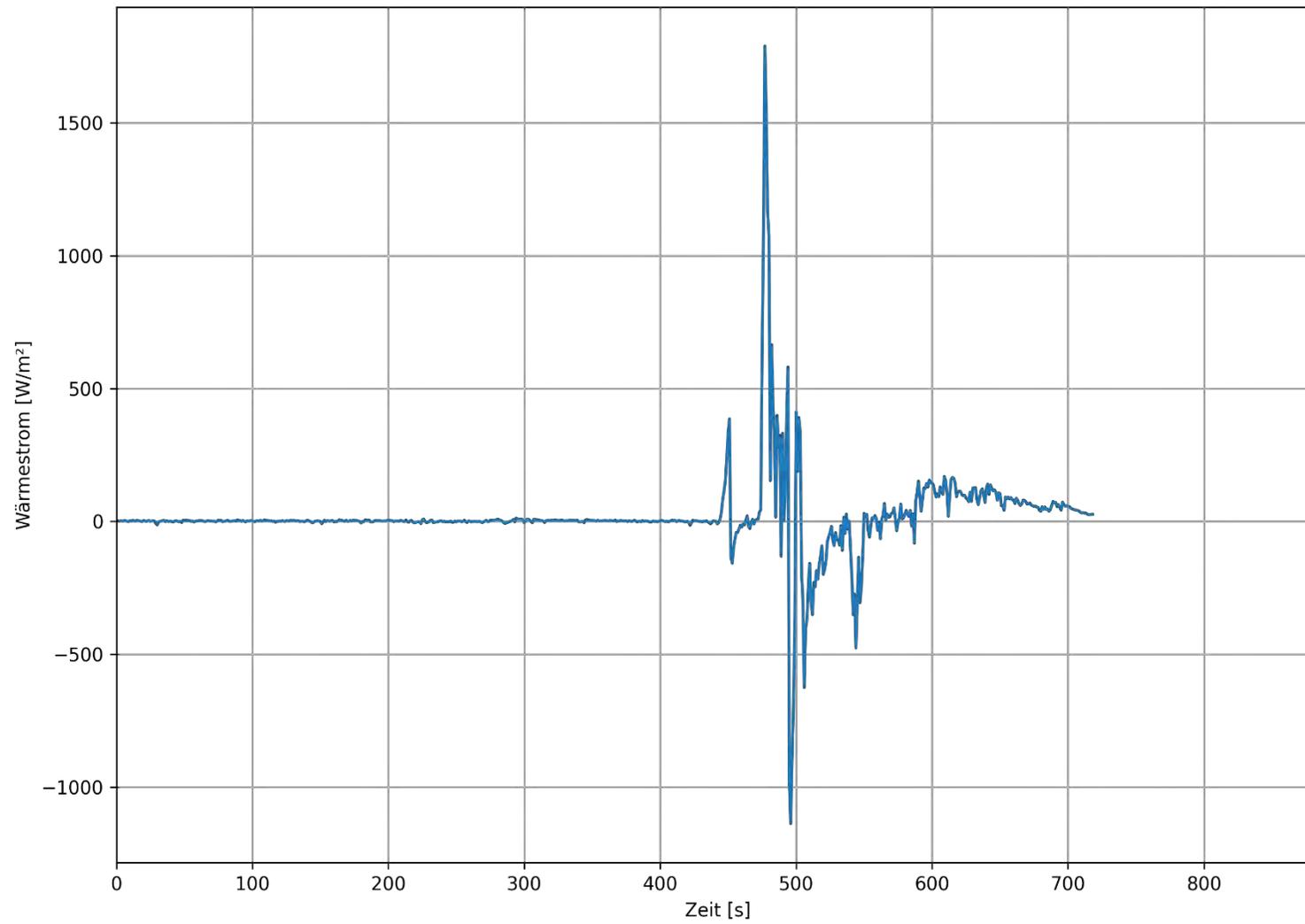
**Abbildung 70** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



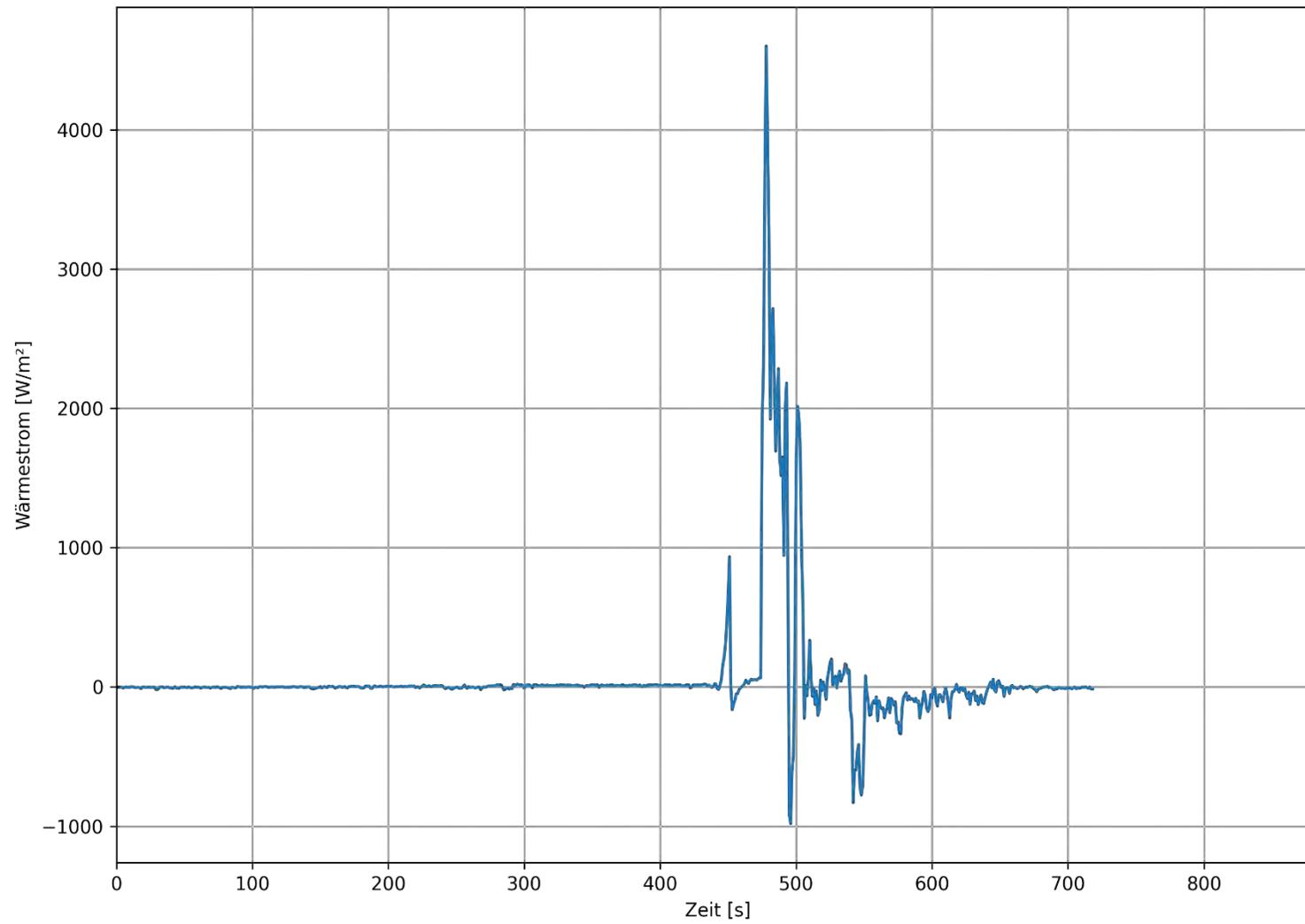
**Abbildung 71** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



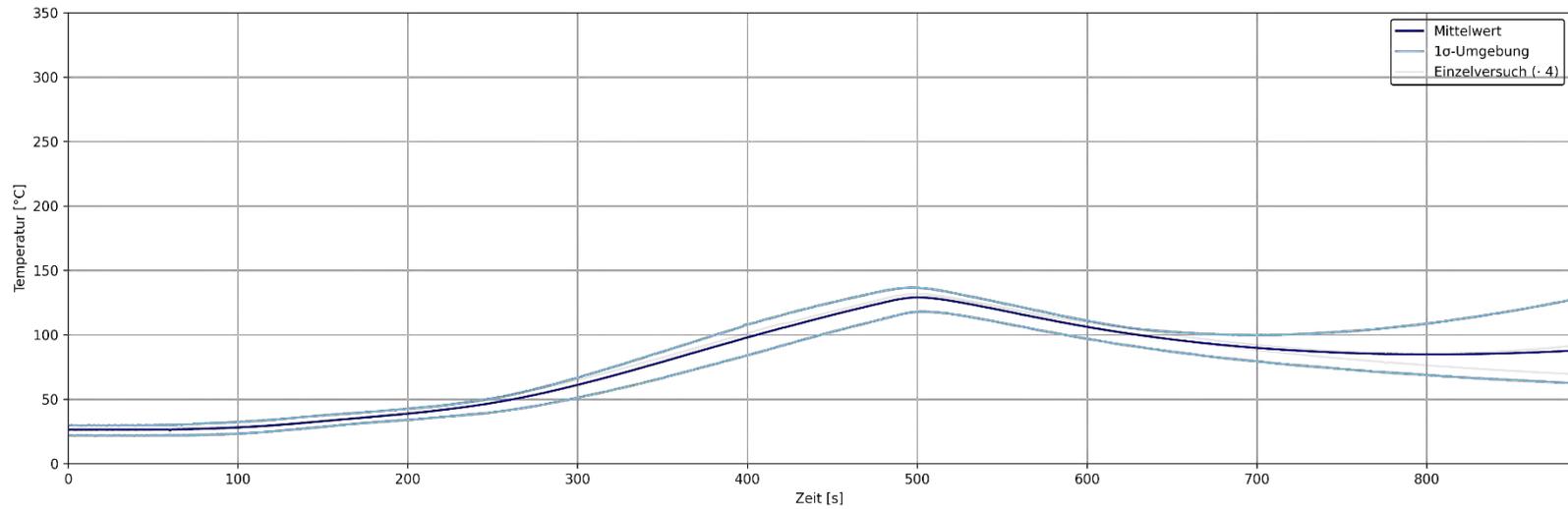
**Abbildung 72** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Handschuh eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkippe in Anlehnung an UL 1715



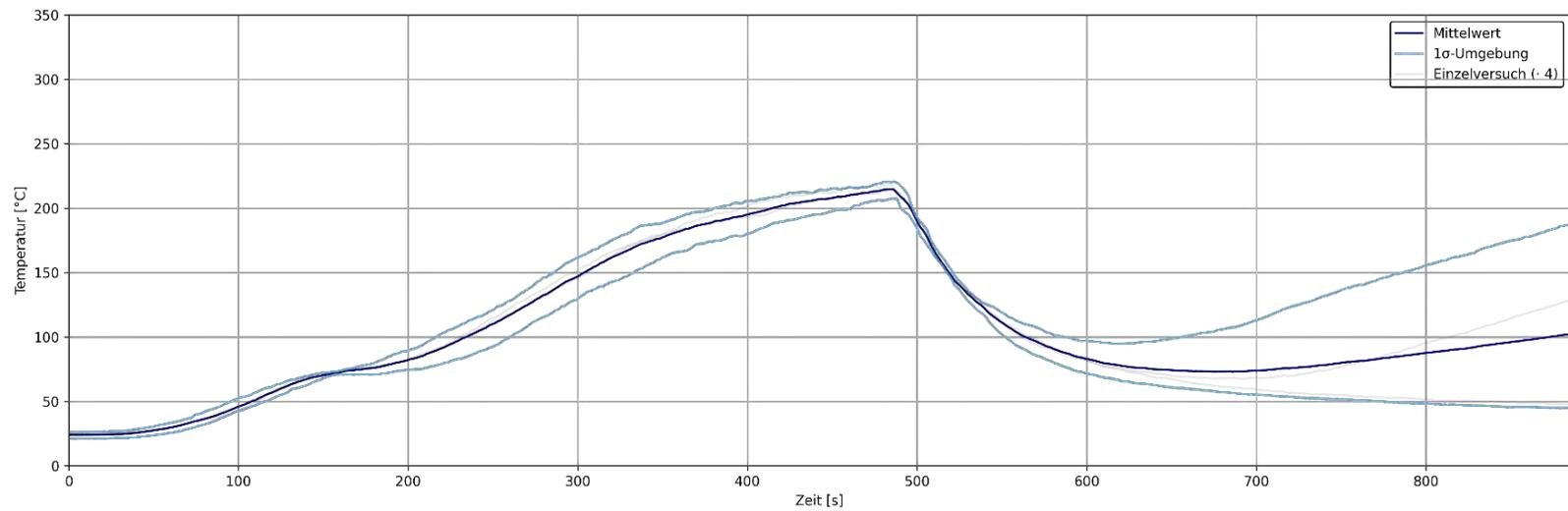
**Abbildung 73** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an der Brust eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für eine Holzrippe in Anlehnung an UL 1715



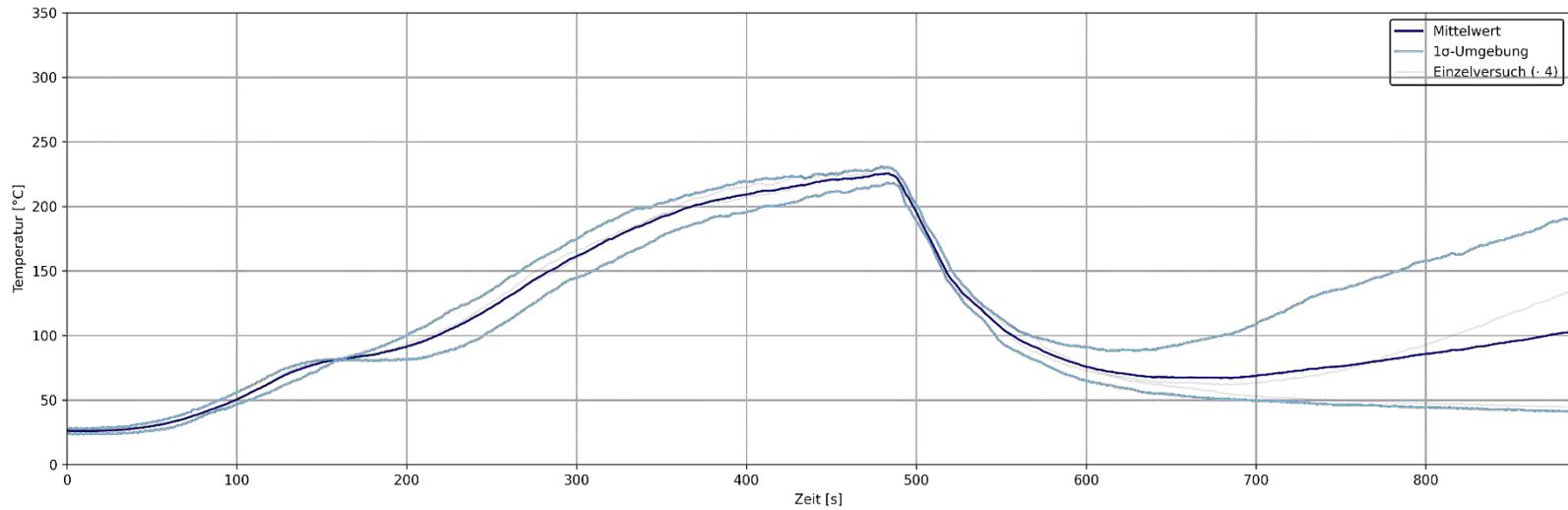
**Abbildung 74** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Helm eines Lösversuchs mit einem Feuerlöschspray für eine Holzkippe in Anlehnung an UL 1715



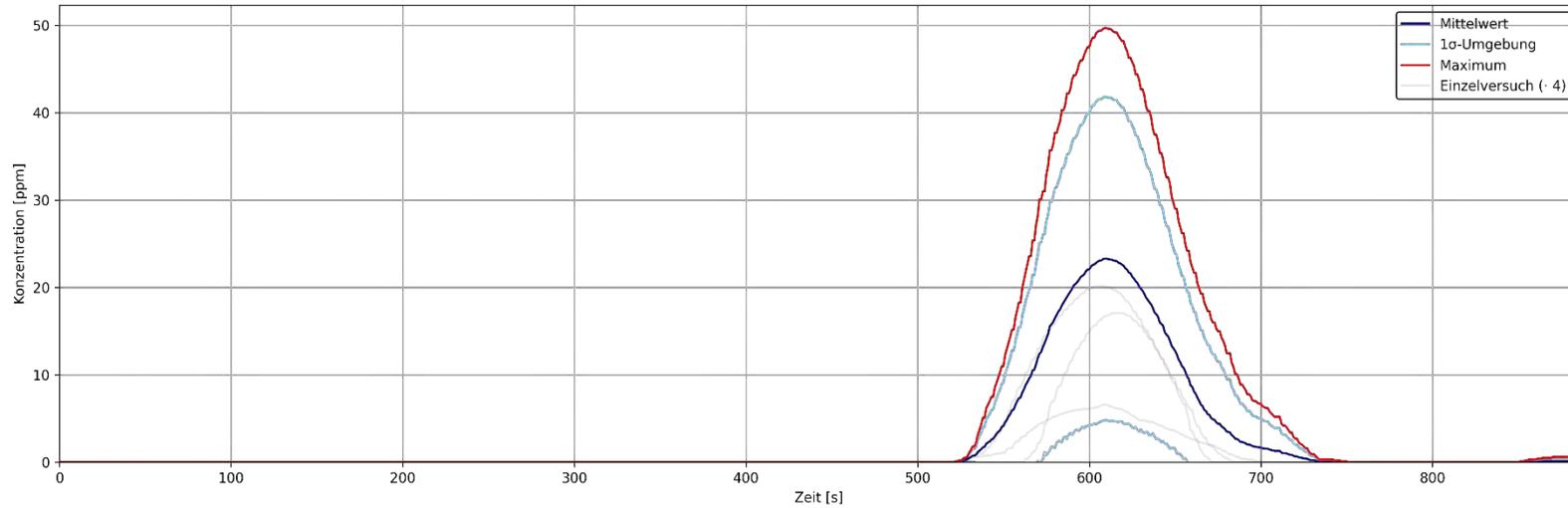
**Abbildung 75** Temperaturverläufe am Messpunkt A der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



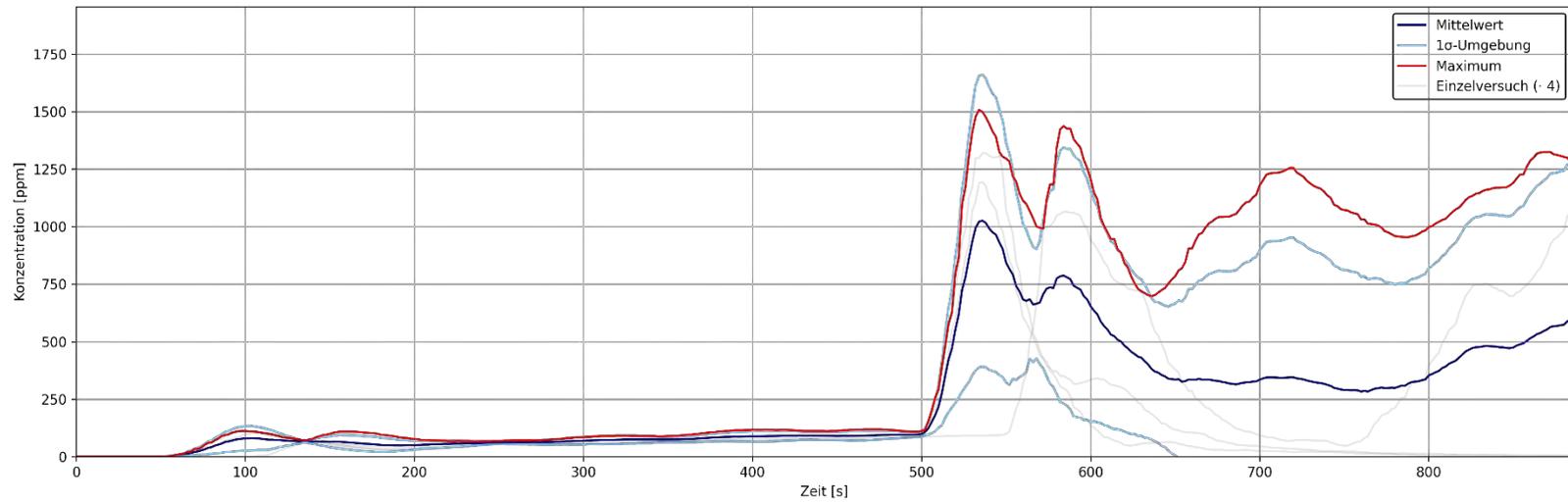
**Abbildung 76** Temperaturverläufe am Messpunkt B der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



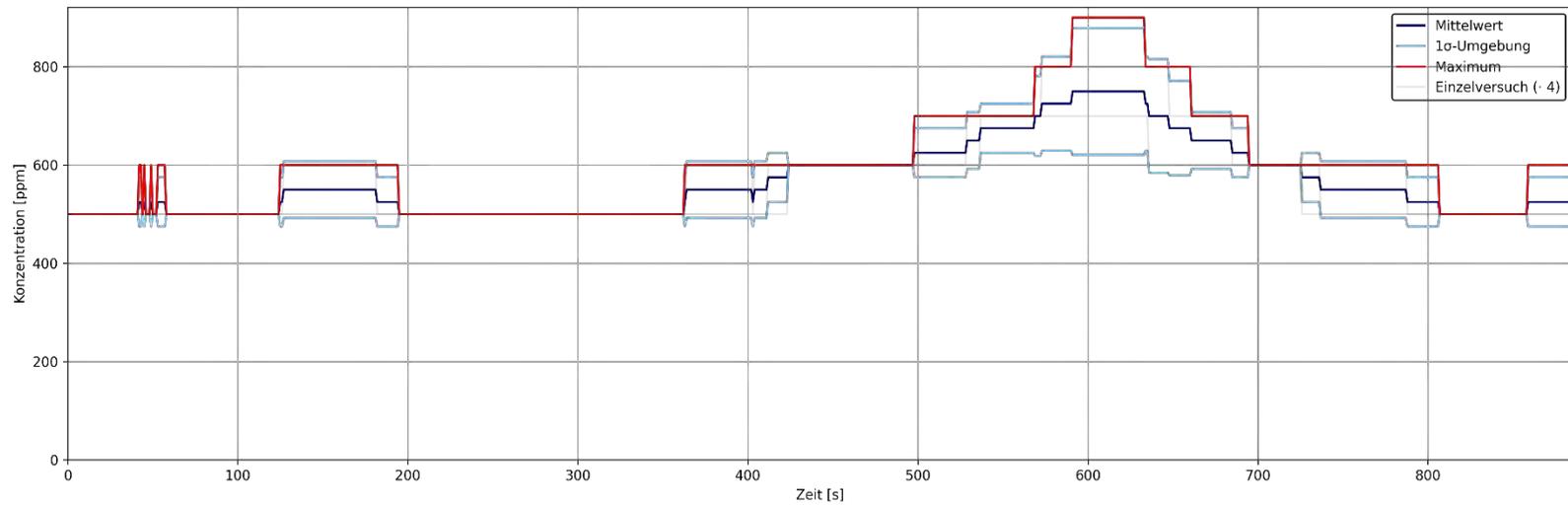
**Abbildung 77** Temperaturverläufe am Messpunkt C der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,80 m



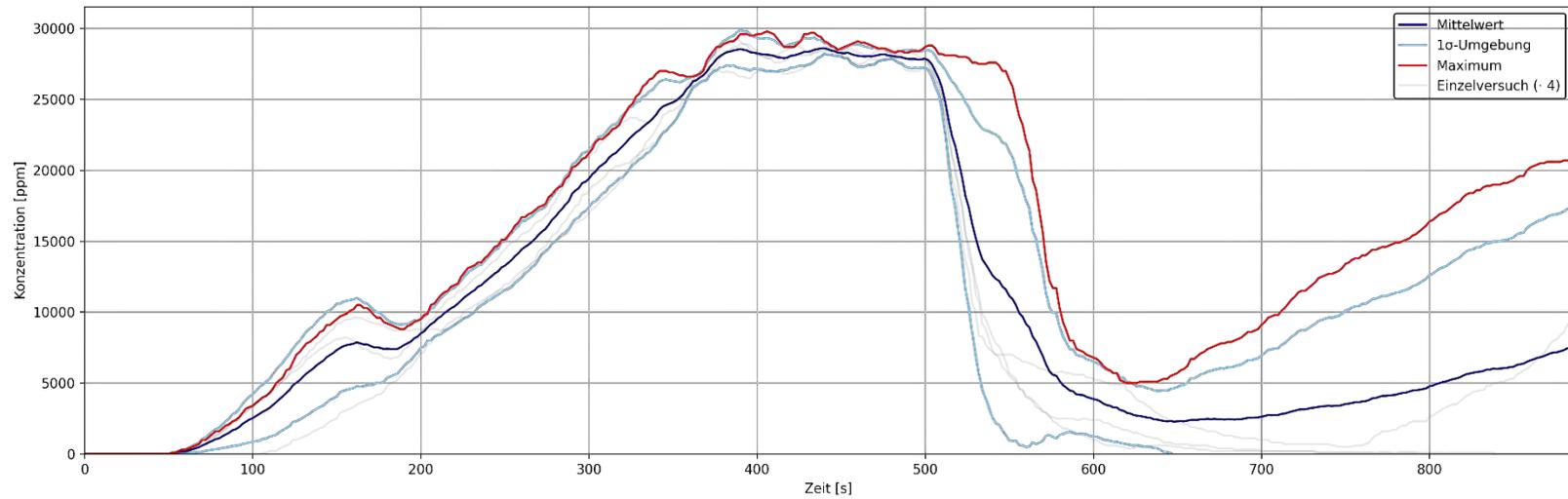
**Abbildung 78** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



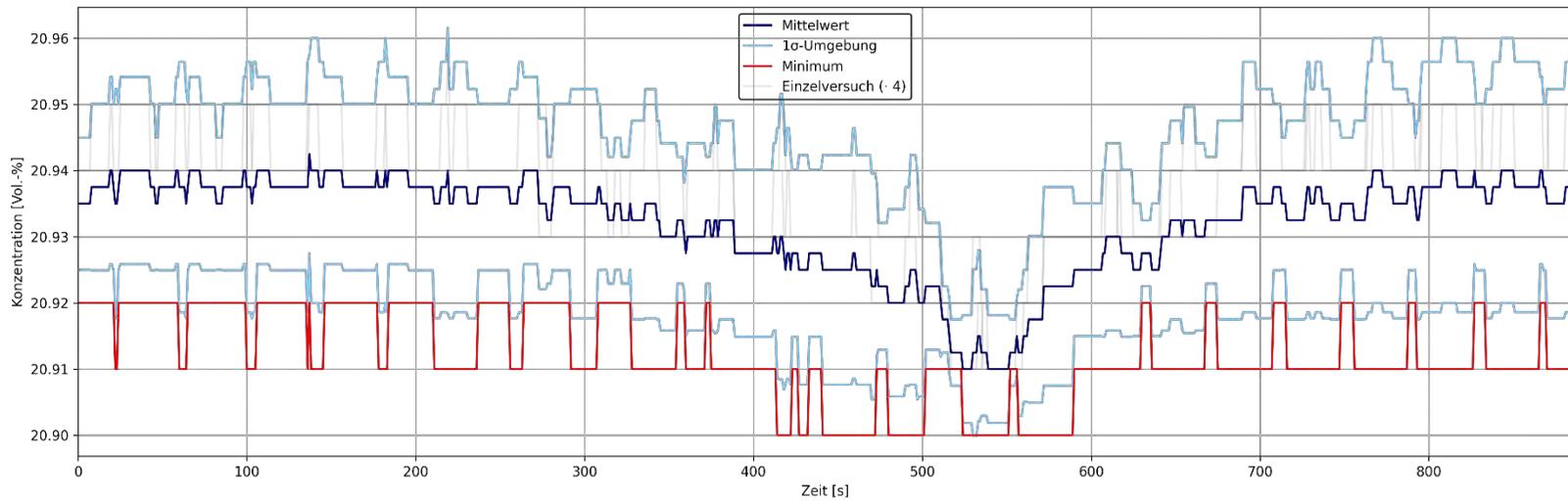
**Abbildung 79** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m



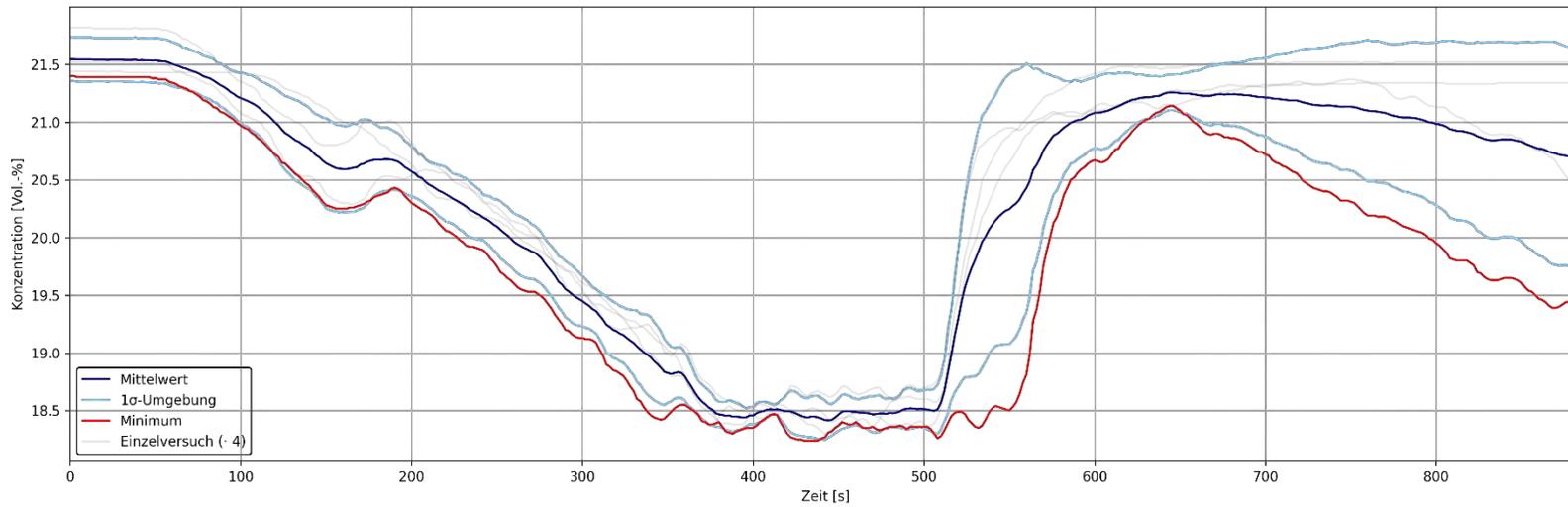
**Abbildung 80** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



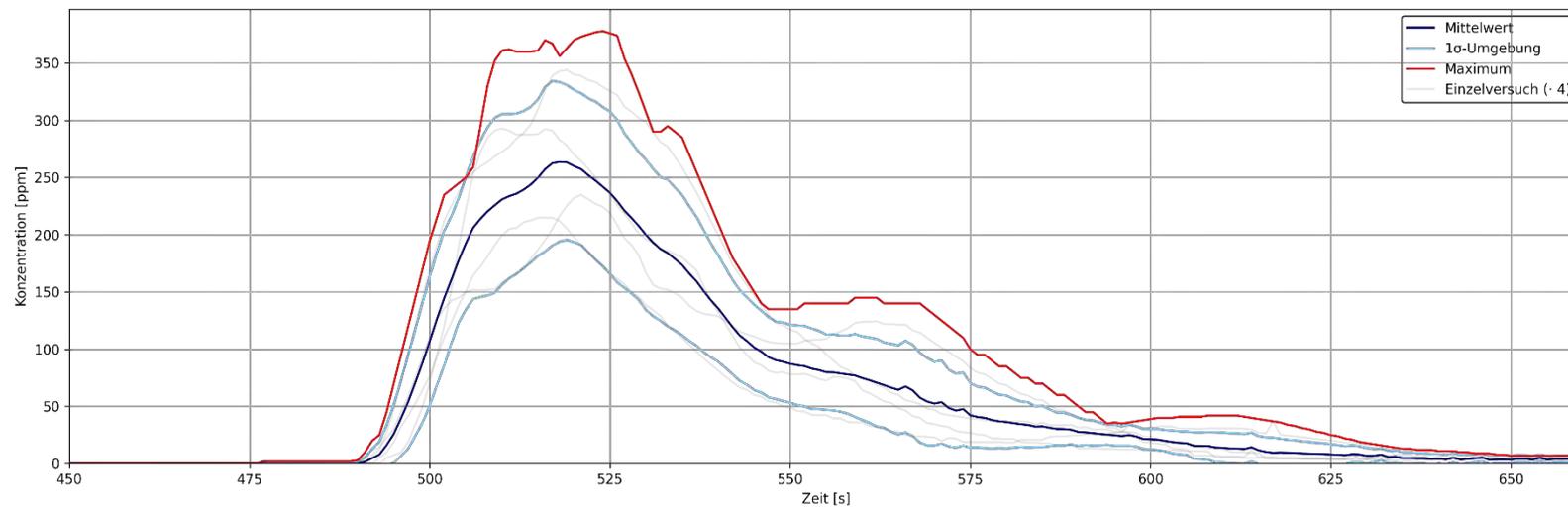
**Abbildung 81** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m



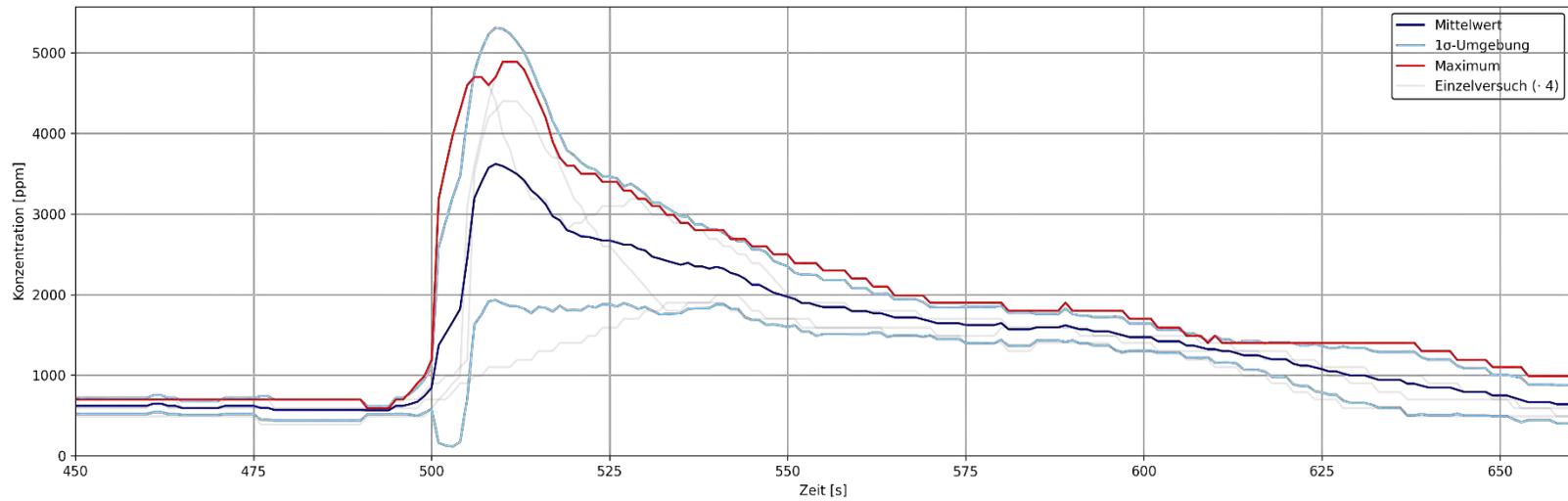
**Abbildung 82** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,20 m



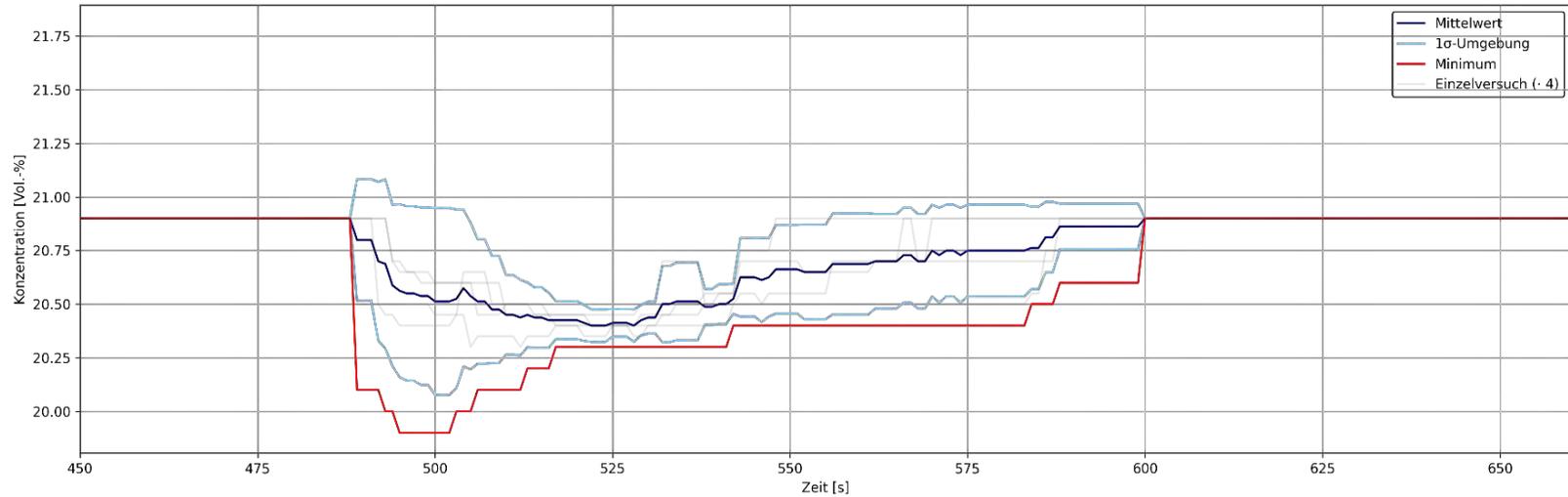
**Abbildung 83** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschsversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 auf einer Höhe von 1,73 m



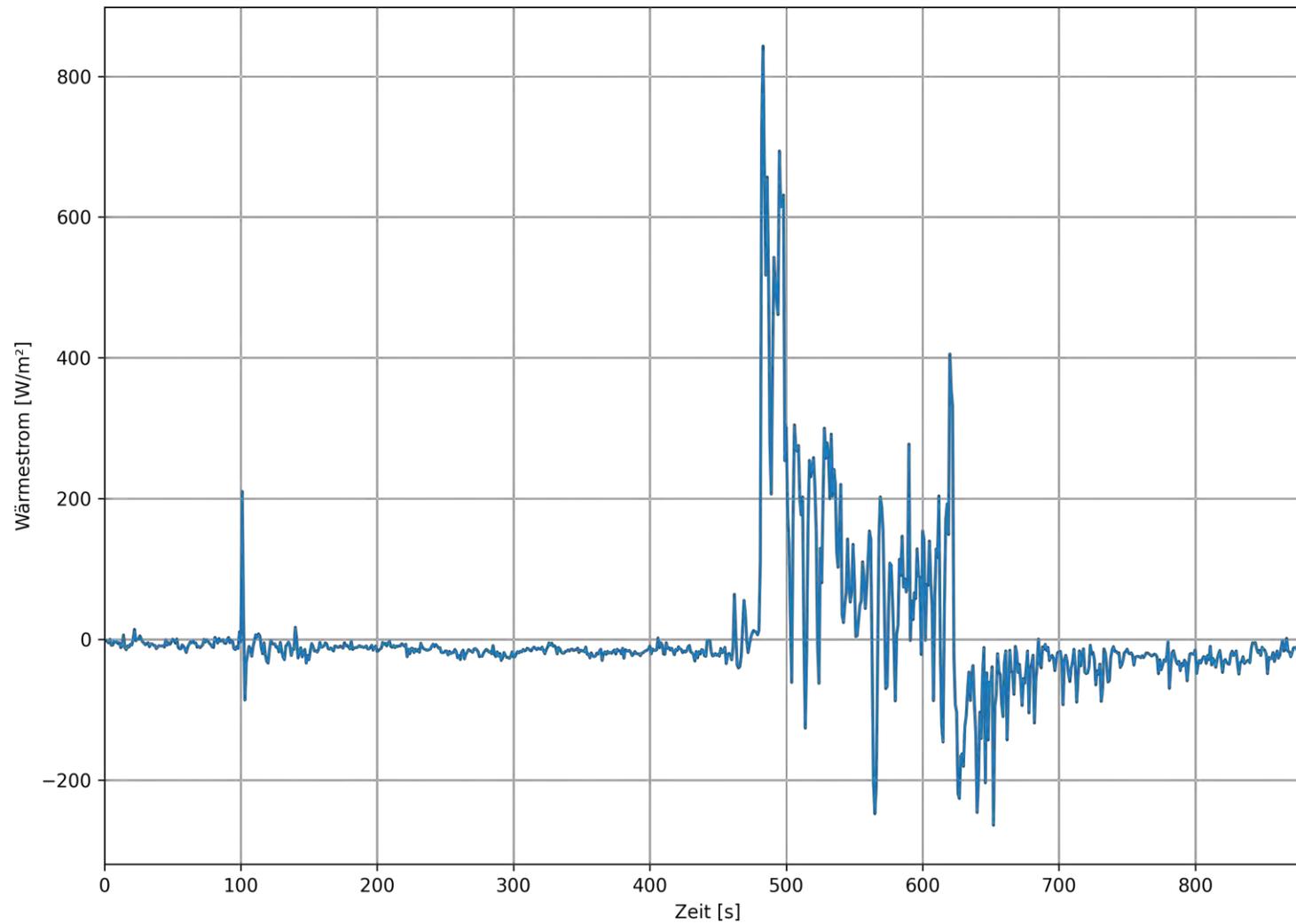
**Abbildung 84** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschsversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



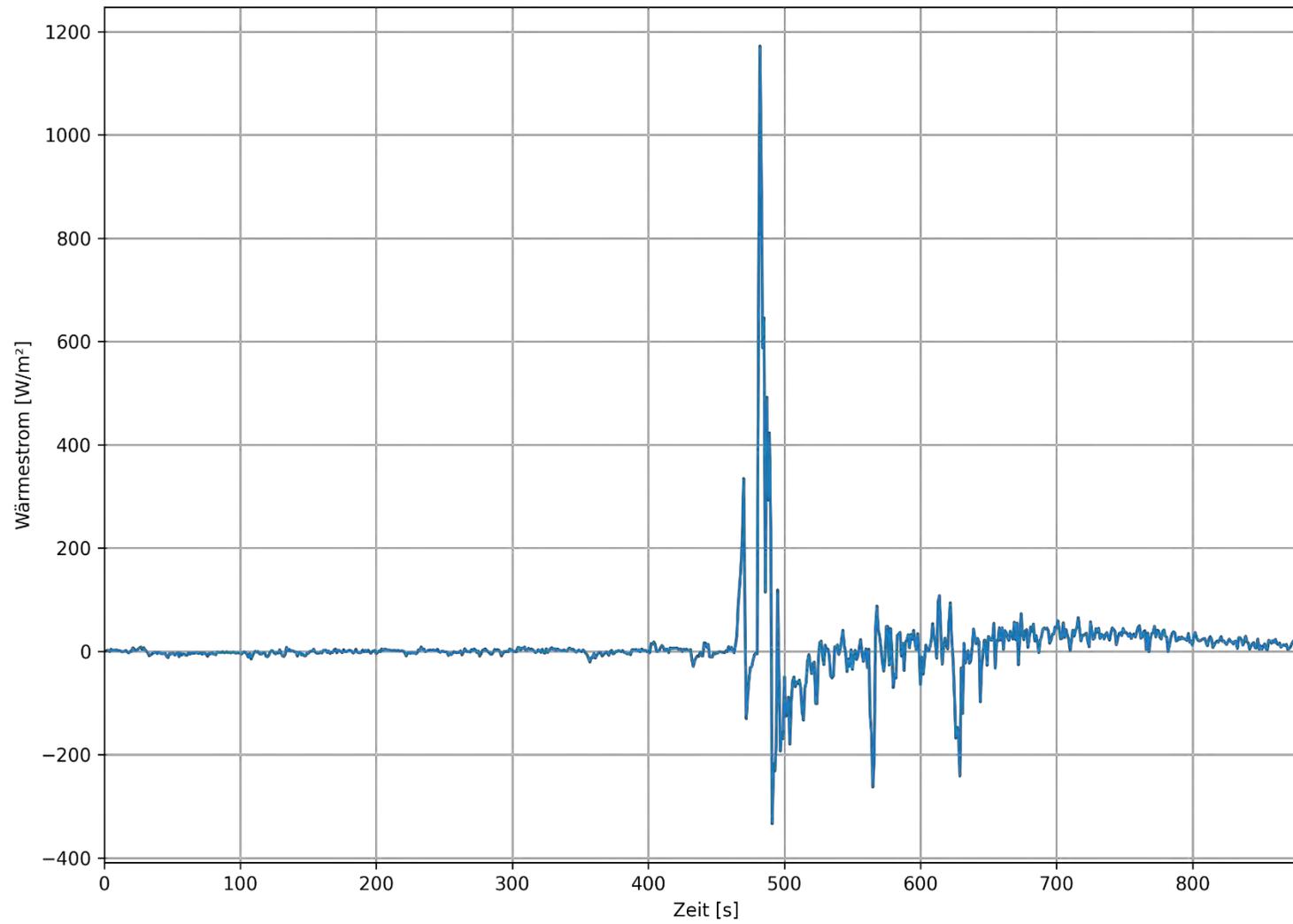
**Abbildung 85** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



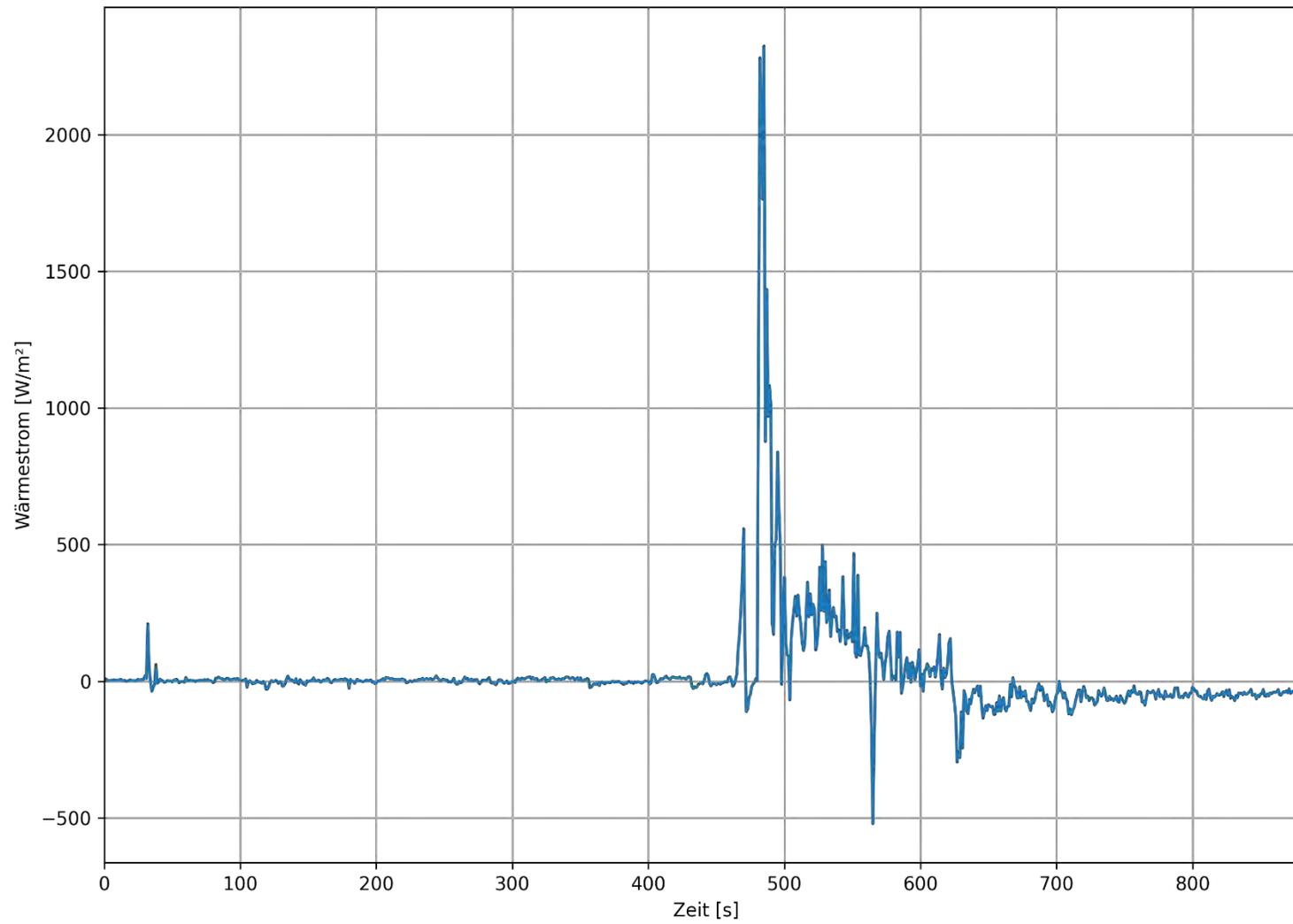
**Abbildung 86** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



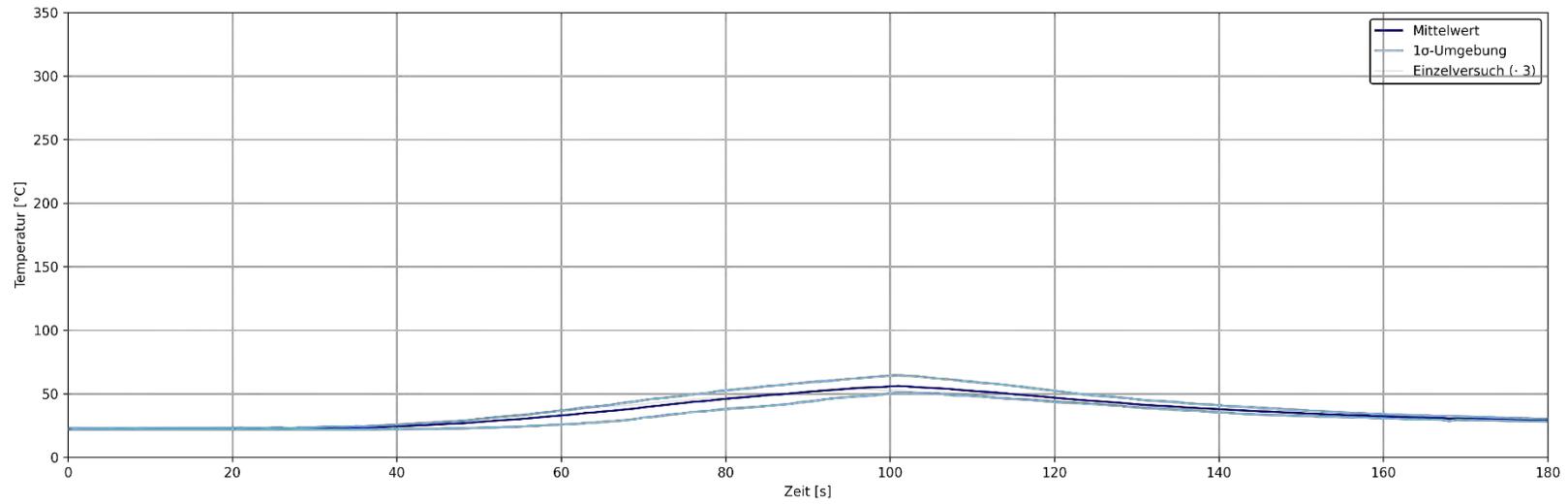
**Abbildung 87** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Handschuh eines Löschversuchs mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



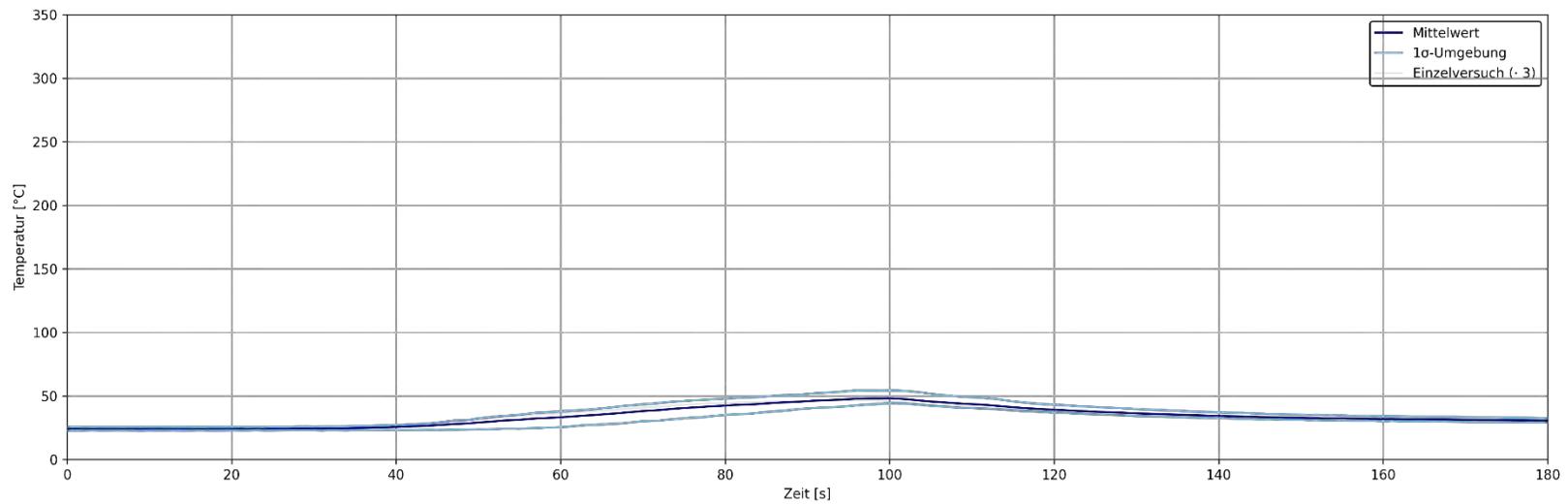
**Abbildung 88** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an der Brust eines Löschversuchs mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkruppe in Anlehnung an UL 1715



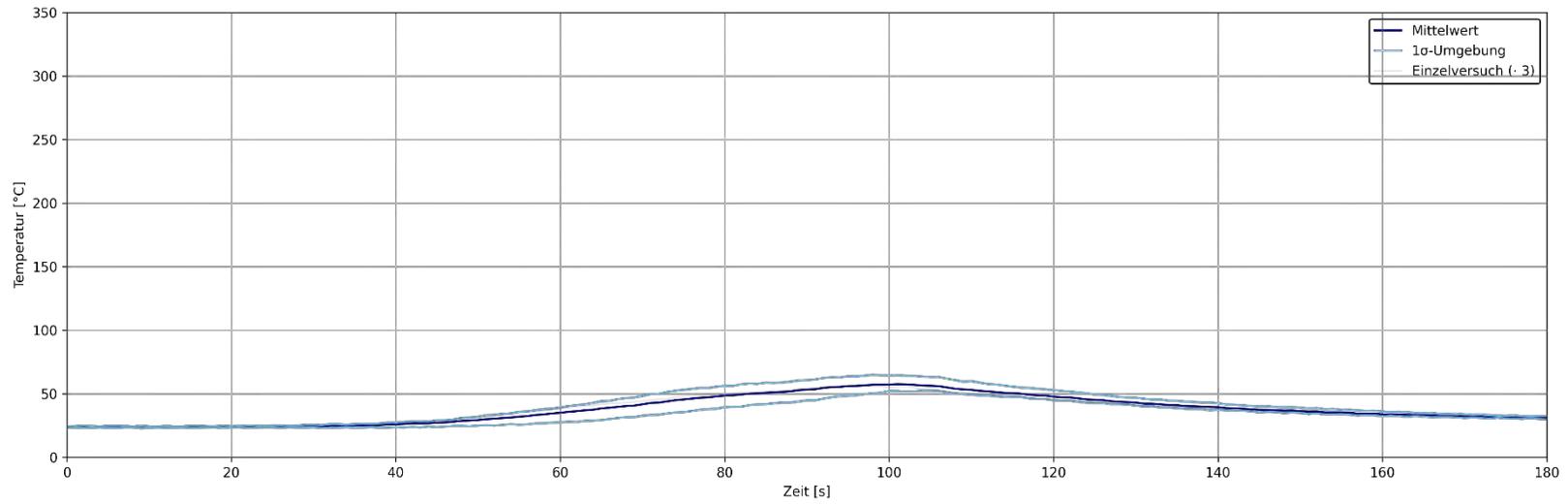
**Abbildung 89** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Helm eines Löschversuchs mit zwei Feuerlöschsprays für eine Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715



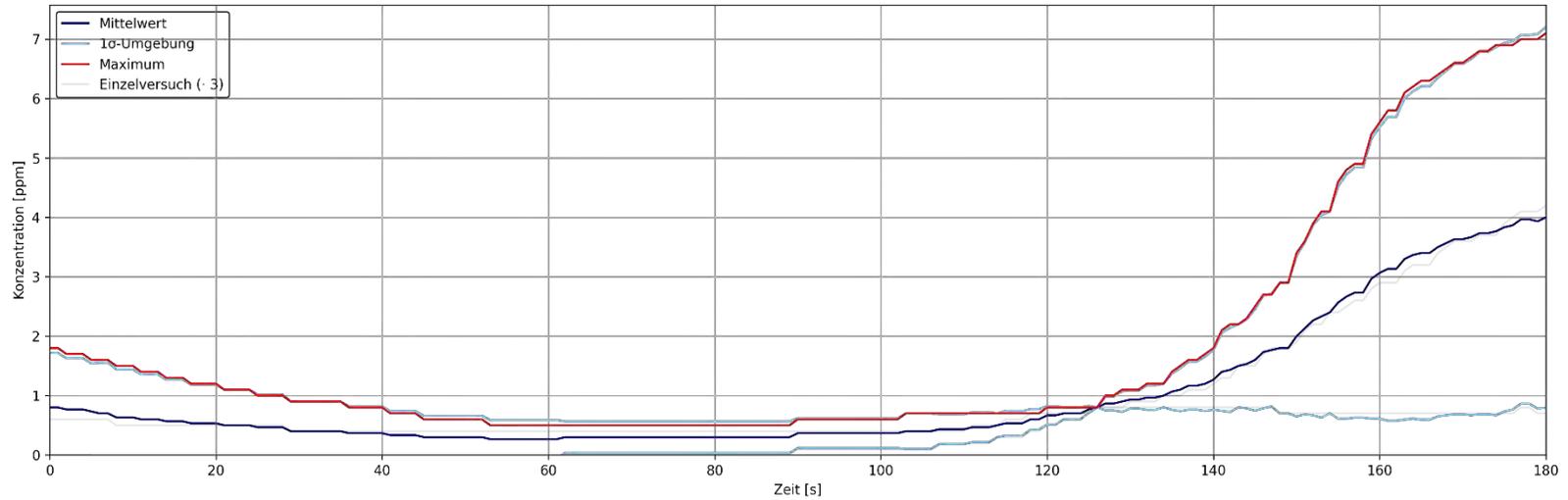
**Abbildung 90** Temperaturverläufe am Messpunkt A der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,80 m



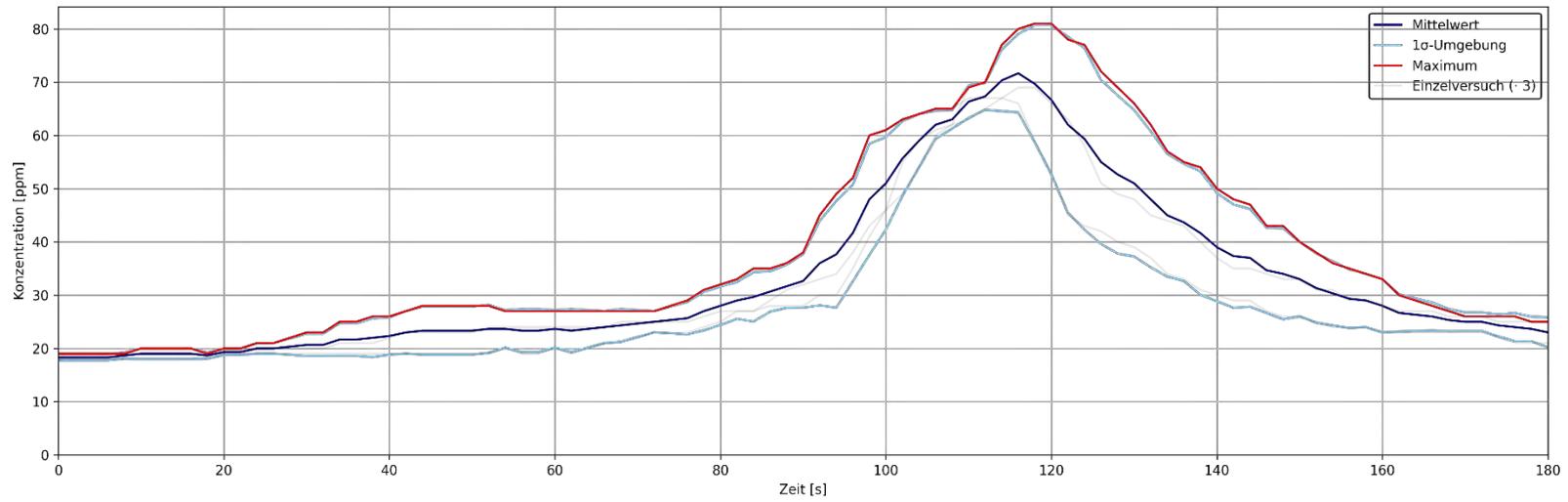
**Abbildung 91** Temperaturverläufe am Messpunkt B der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,80 m



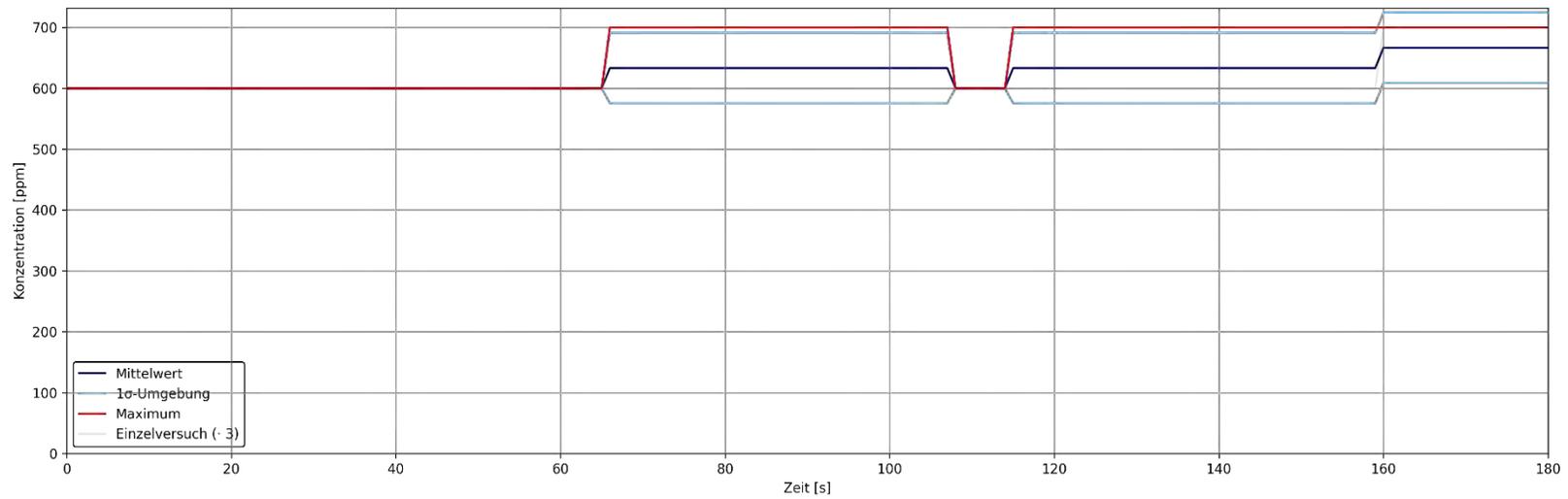
**Abbildung 92** Temperaturverläufe am Messpunkt C der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,80 m



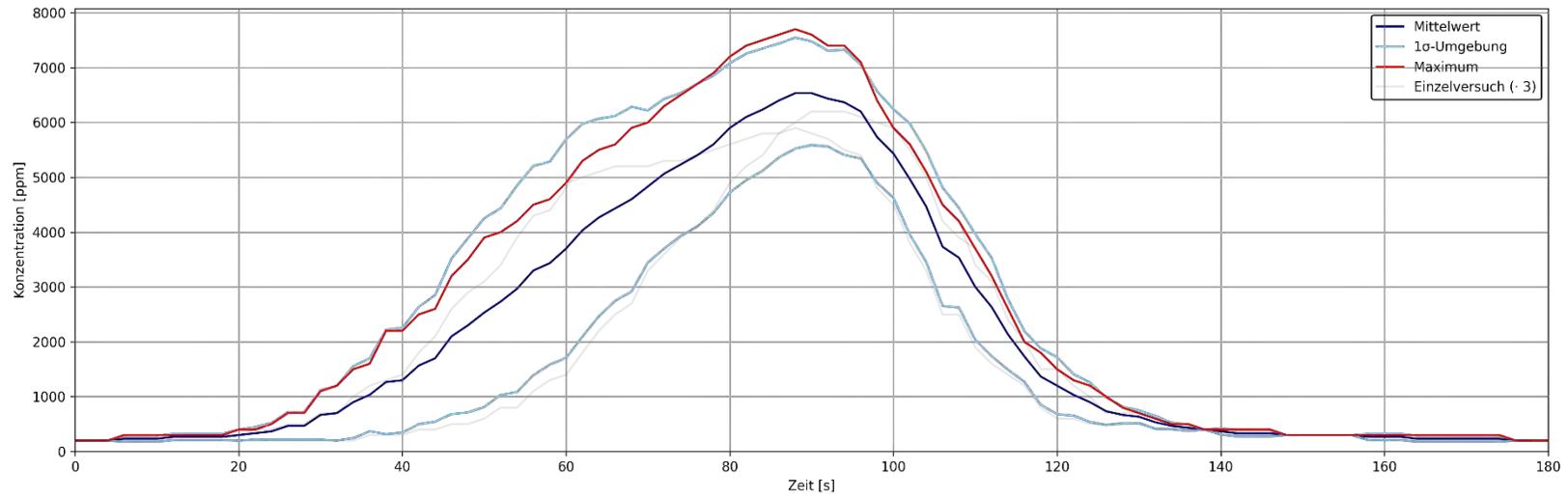
**Abbildung 93** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,20 m



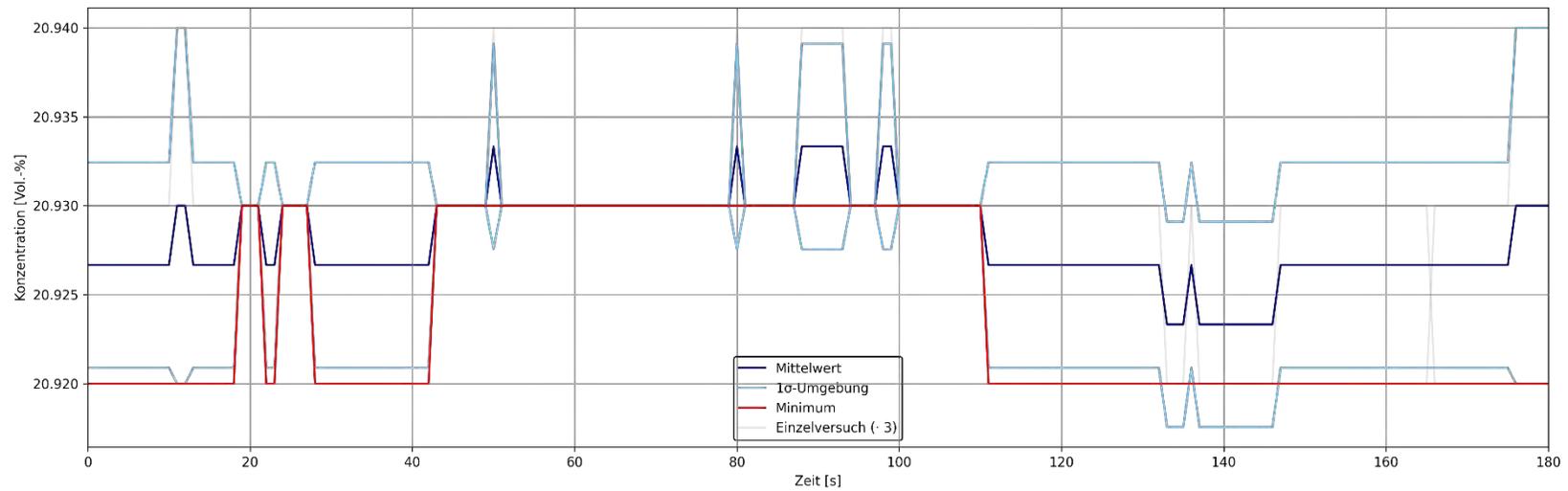
**Abbildung 94** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,73 m



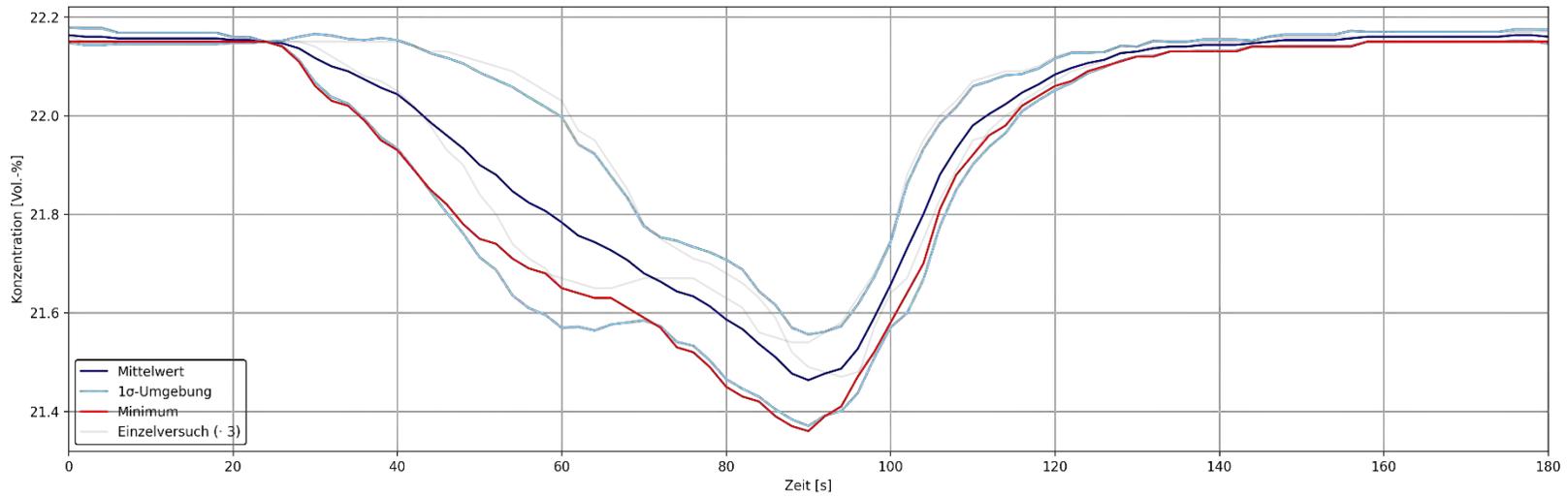
**Abbildung 95** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,20 m



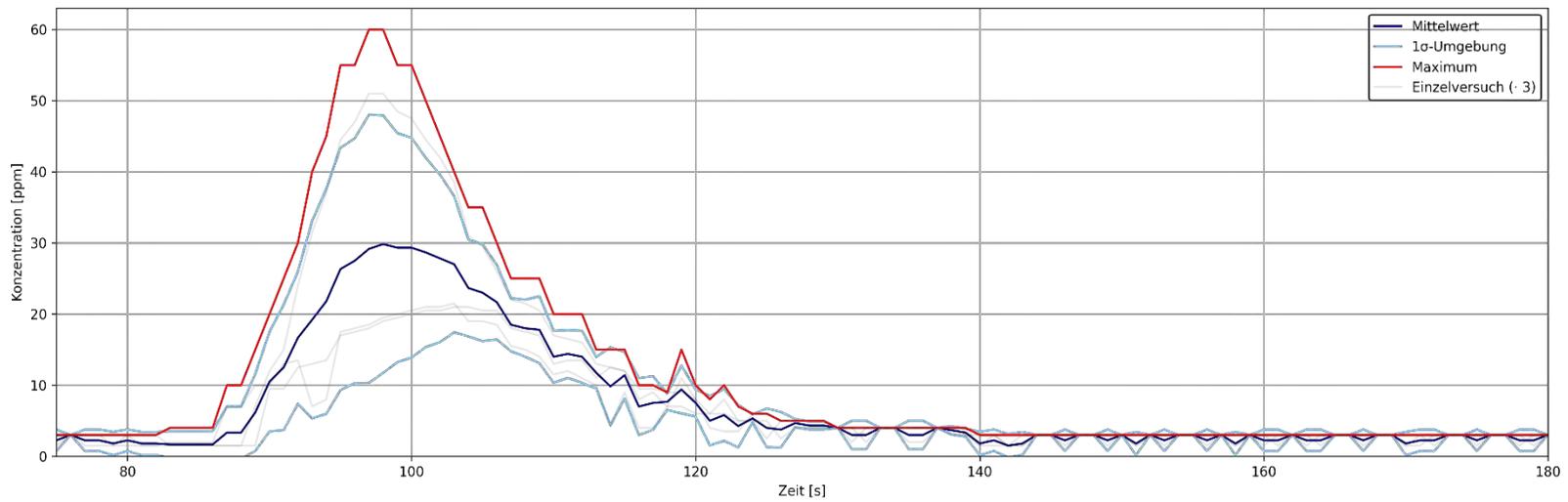
**Abbildung 96** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,73 m



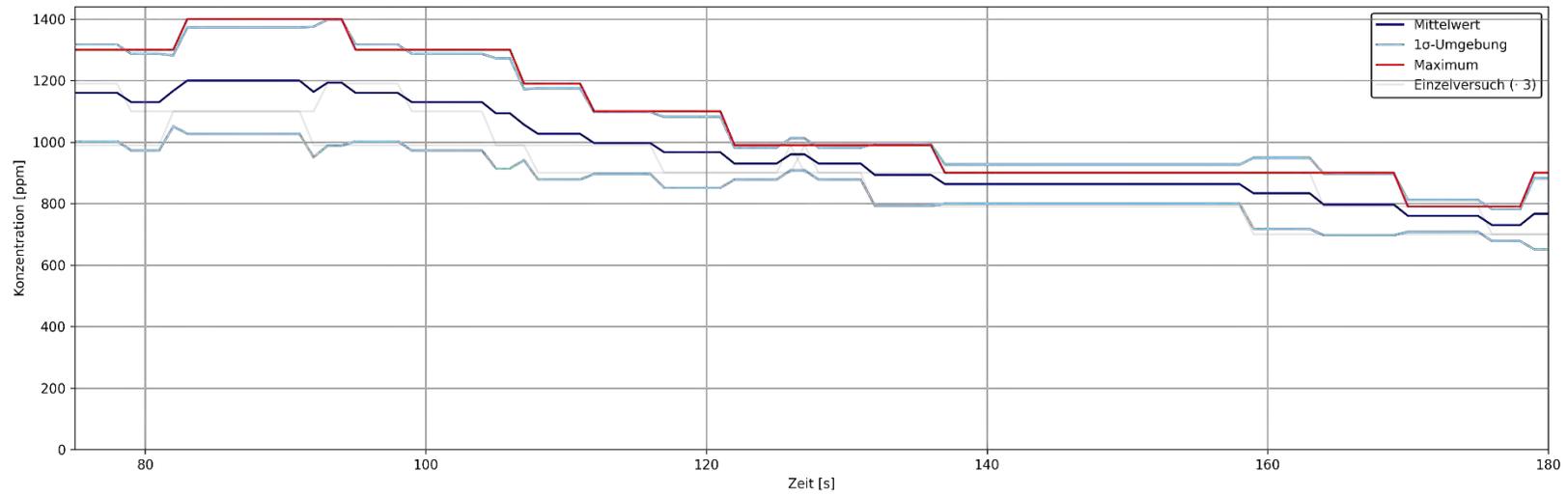
**Abbildung 97** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,20 m



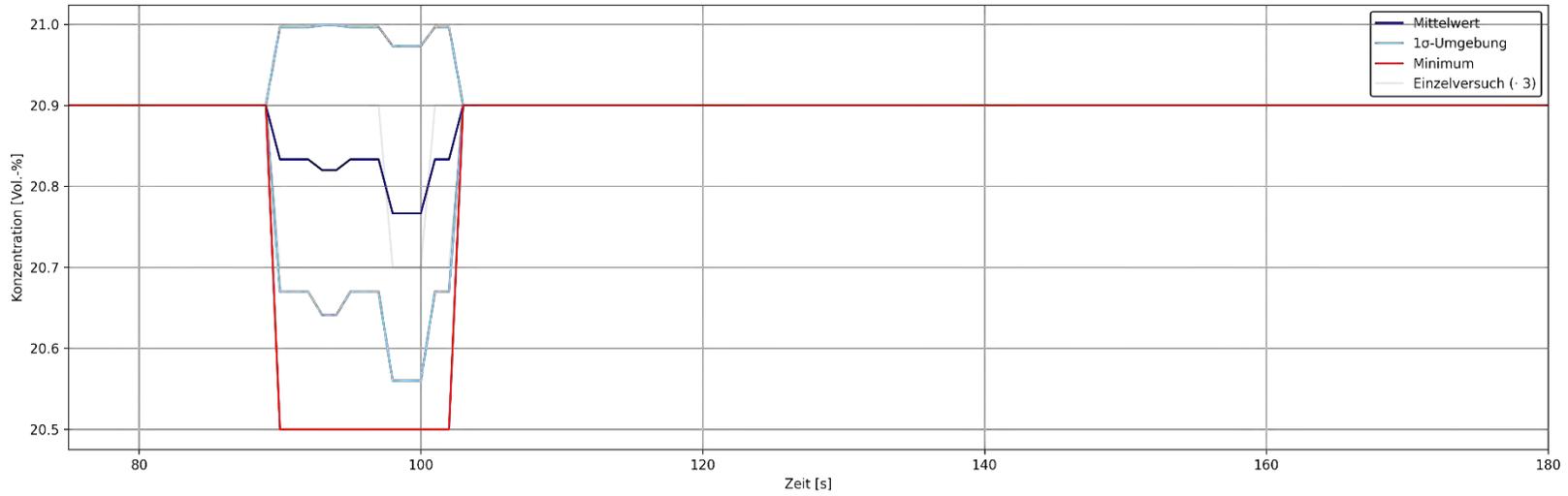
**Abbildung 98** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb auf einer Höhe von 1,73 m



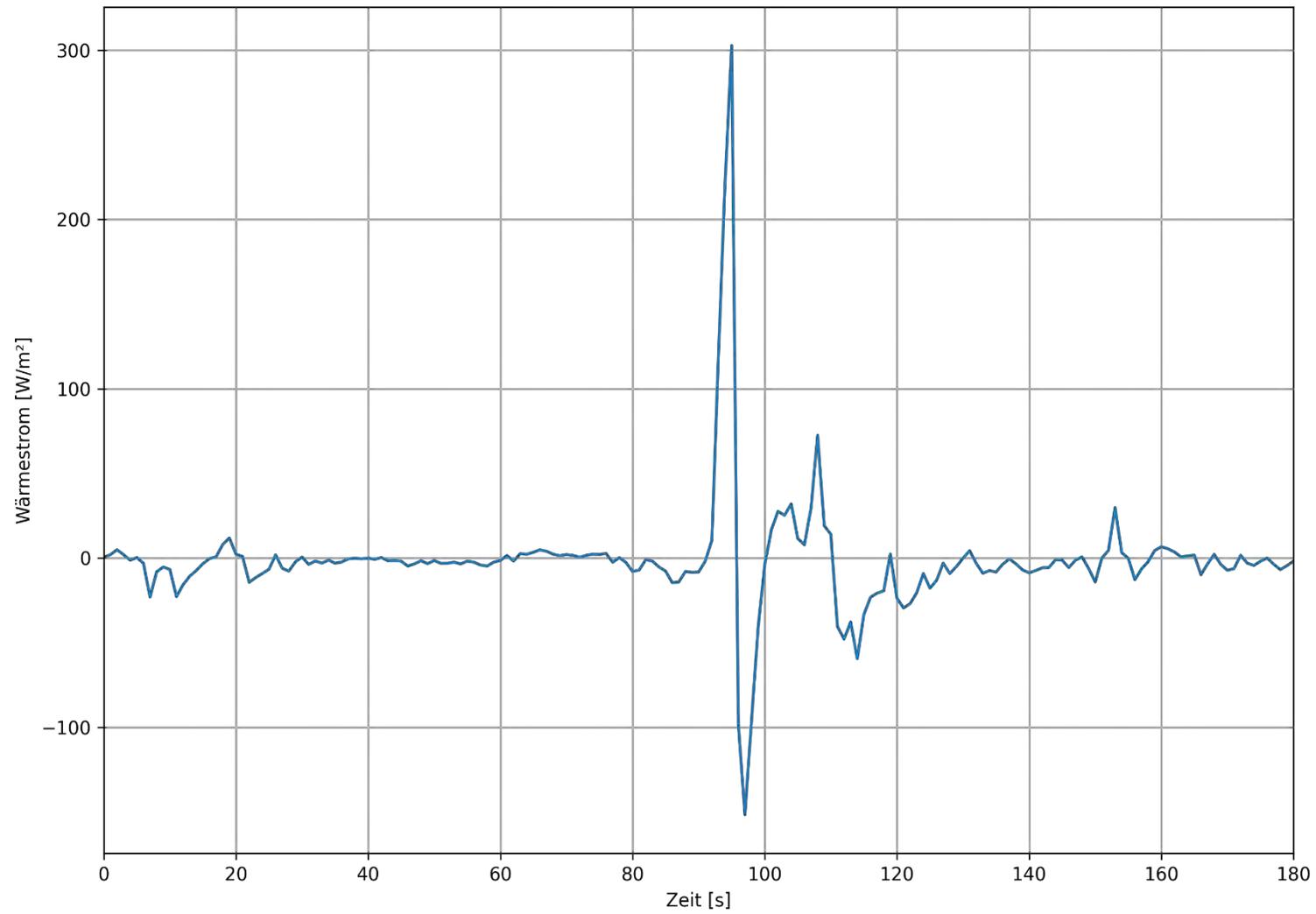
**Abbildung 99** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb



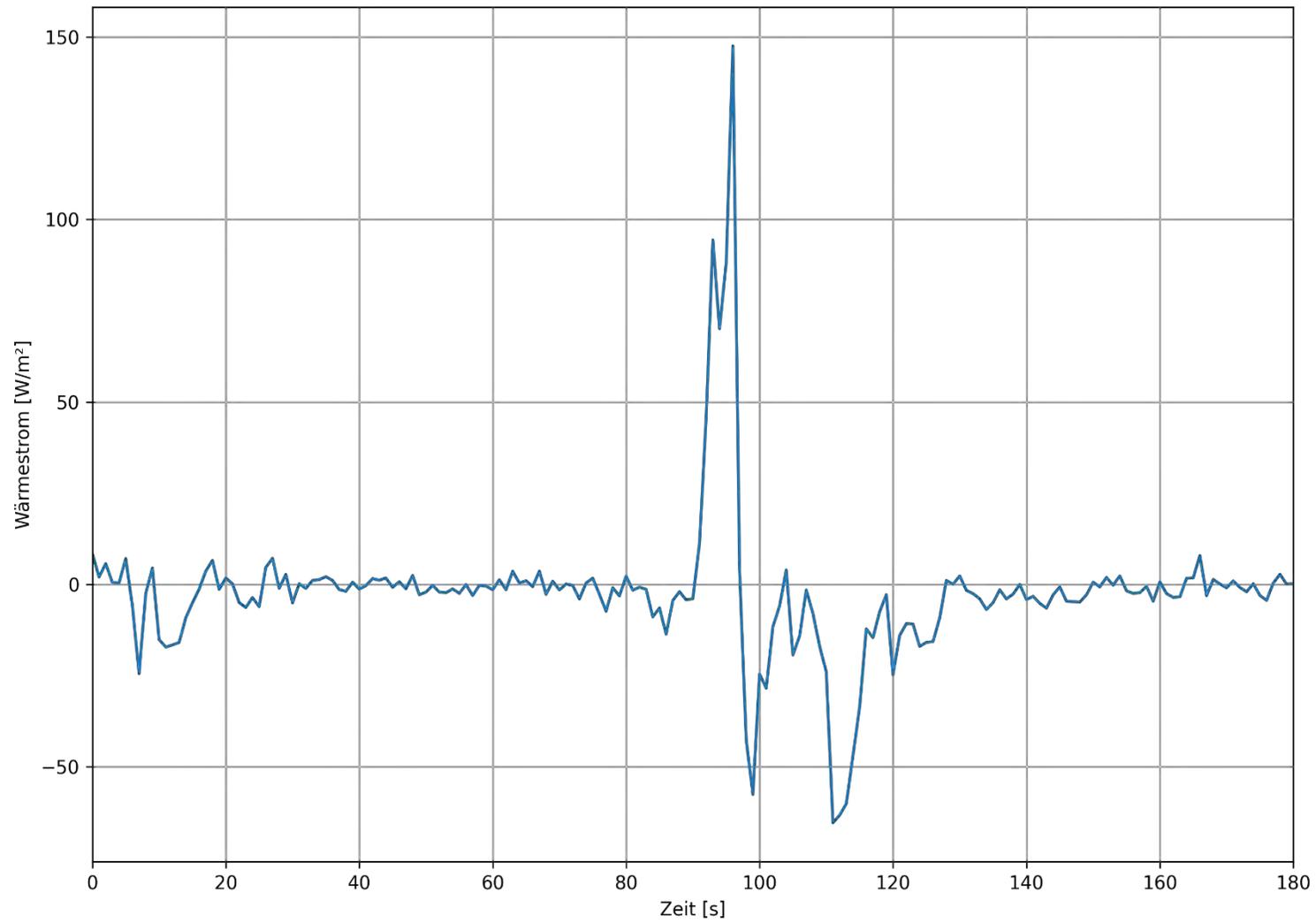
**Abbildung 100** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb



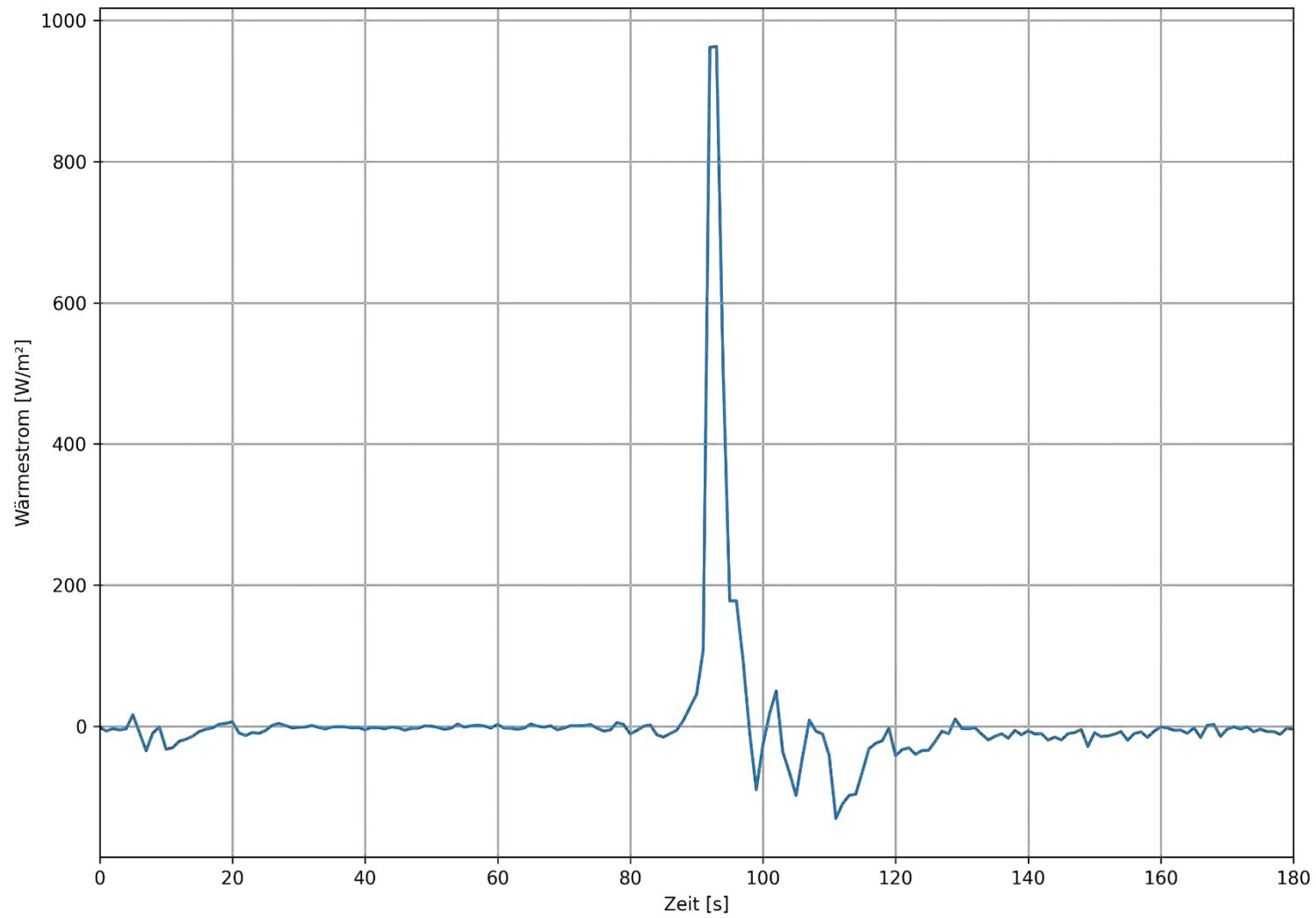
**Abbildung 101** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb



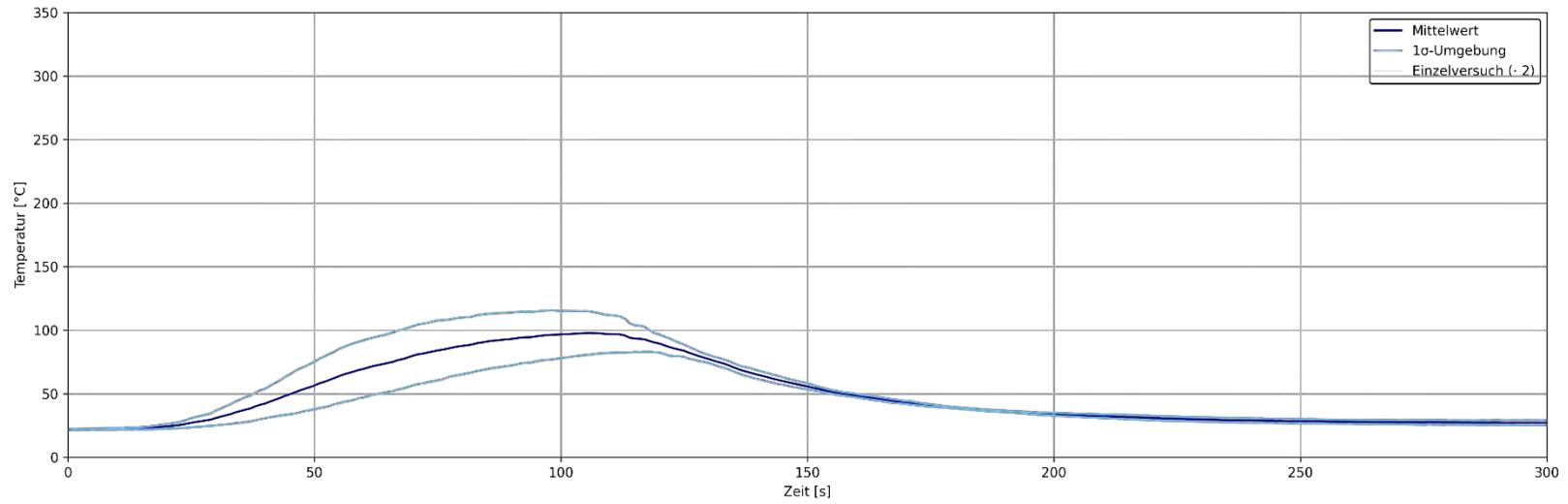
**Abbildung 102** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Handschuh eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb



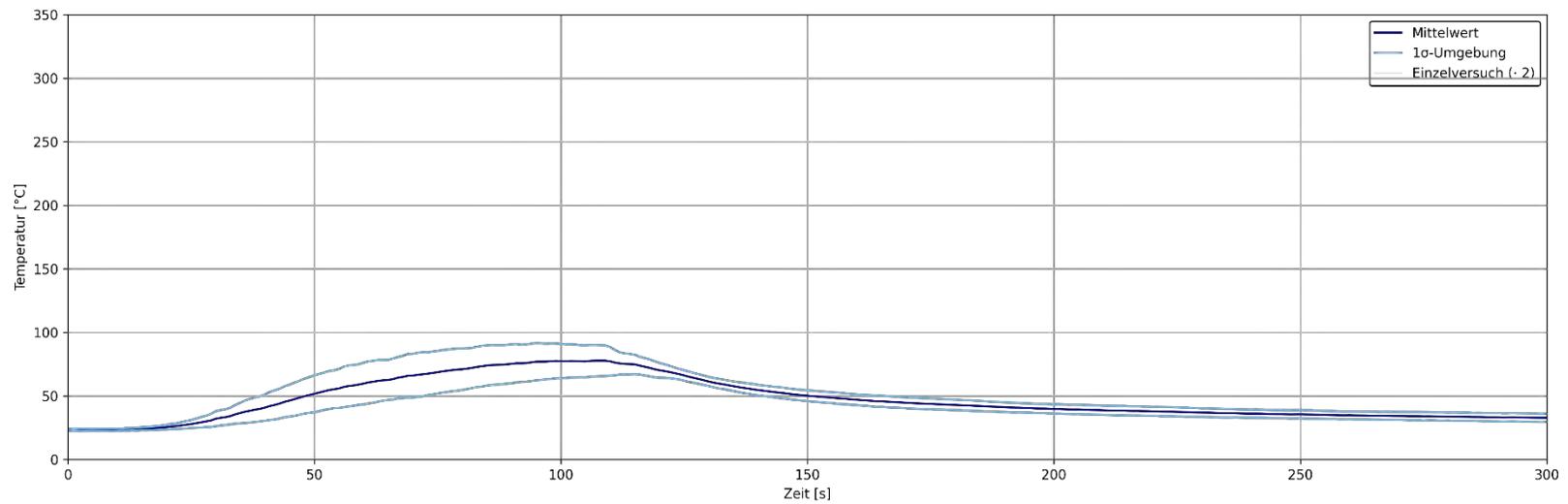
**Abbildung 103** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an der Brust eines Löschers mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb



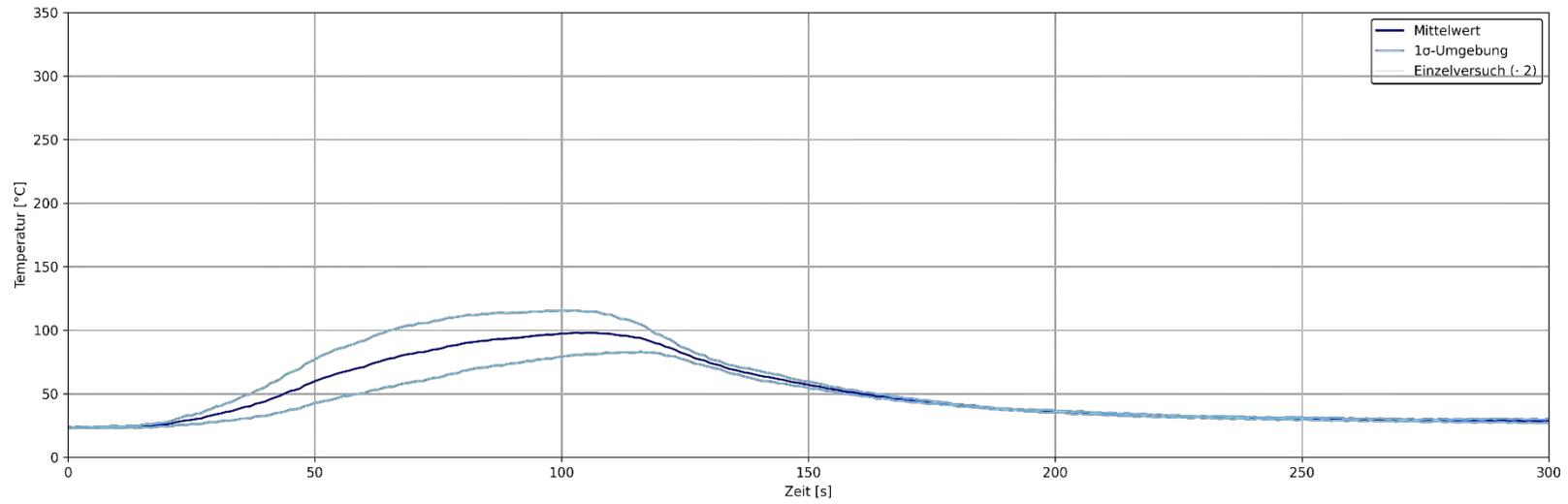
**Abbildung 104** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Helm eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Papierkorb



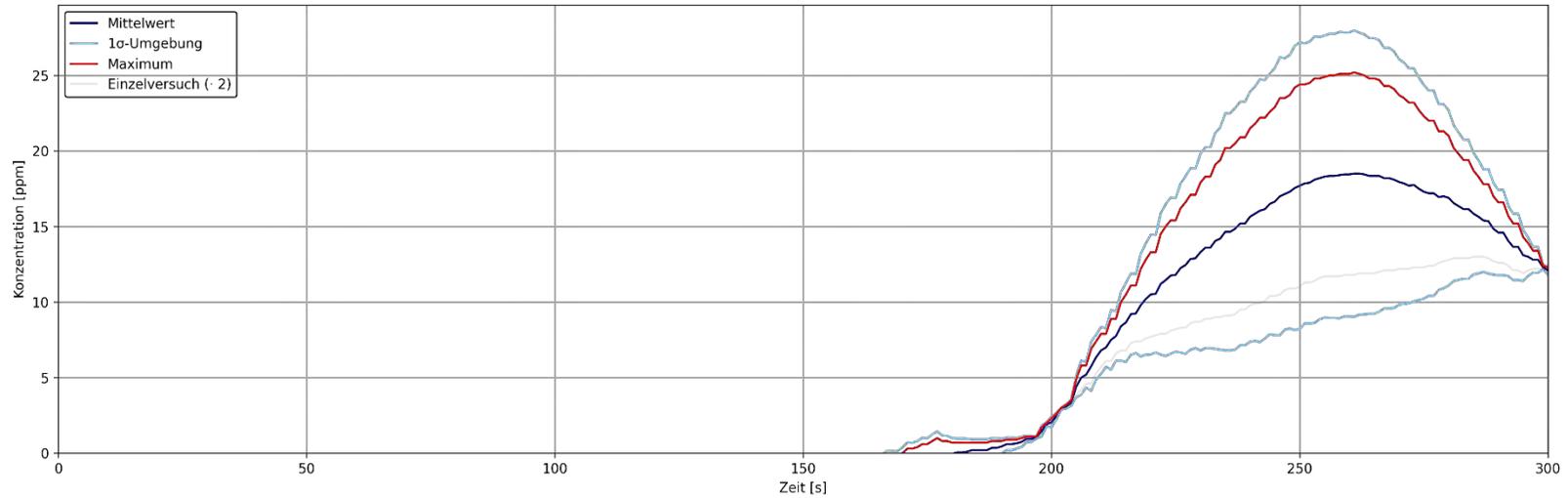
**Abbildung 105** Temperaturverläufe am Messpunkt A der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,80 m



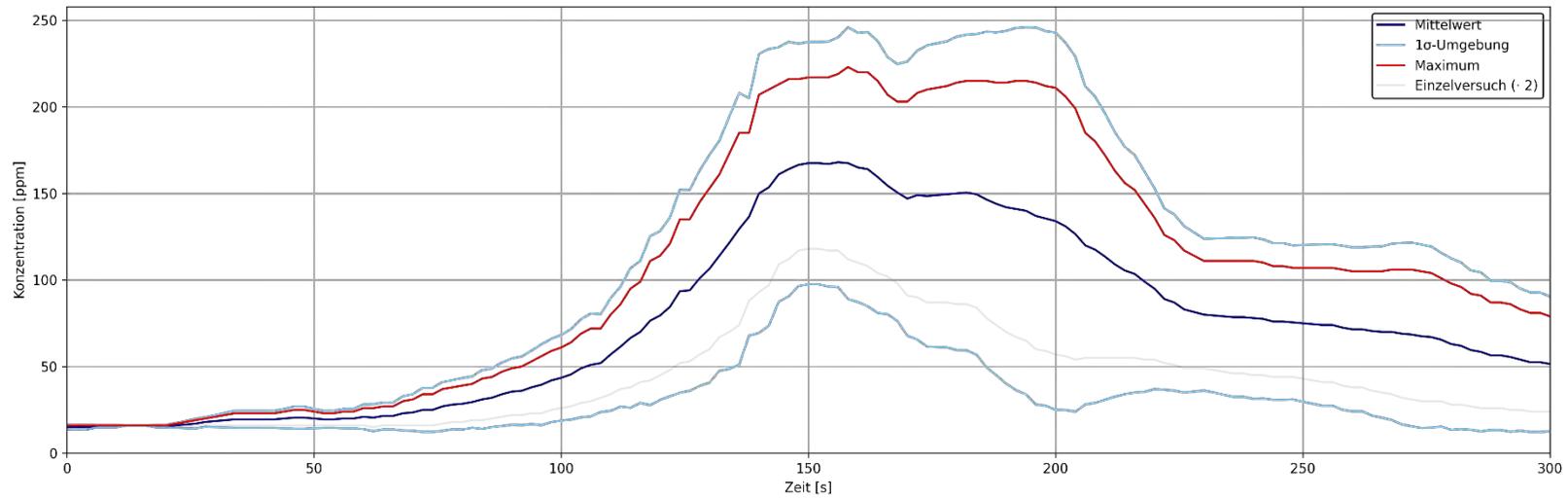
**Abbildung 106** Temperaturverläufe am Messpunkt B der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,80 m



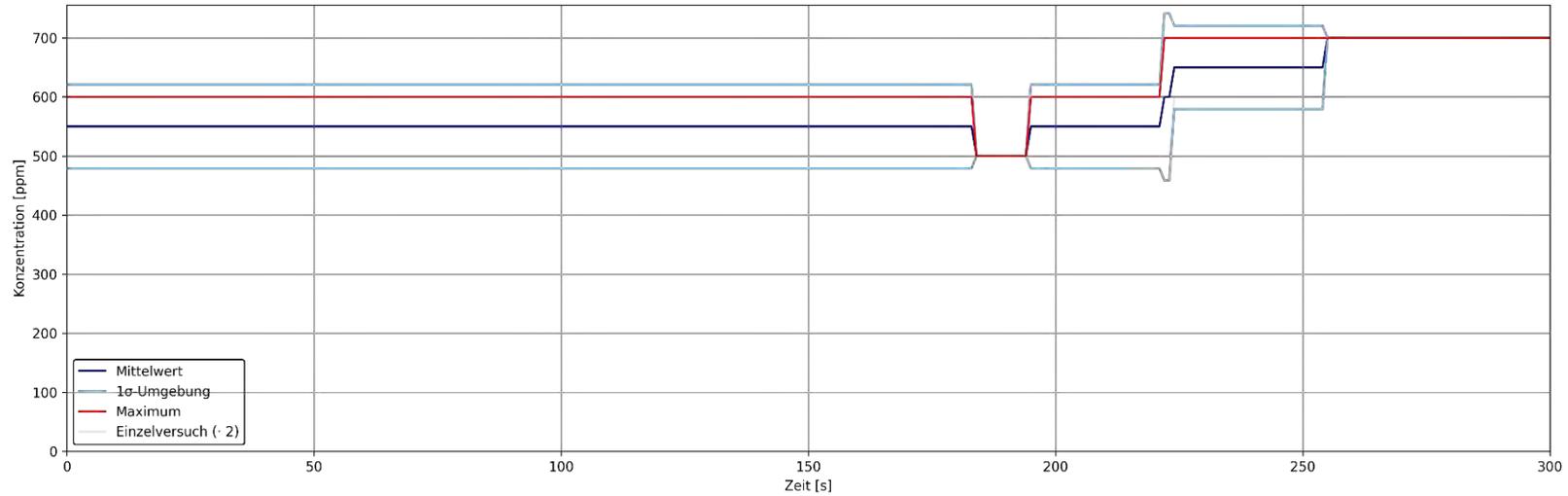
**Abbildung 107** Temperaturverläufe am Messpunkt C der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,80 m



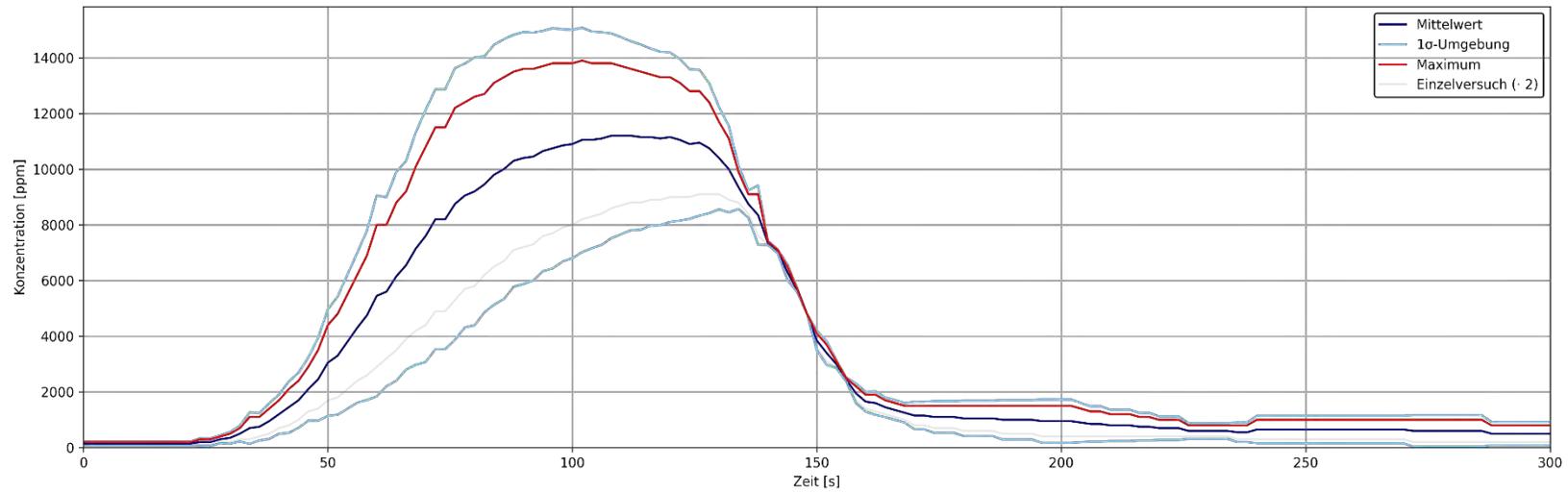
**Abbildung 108** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,20 m



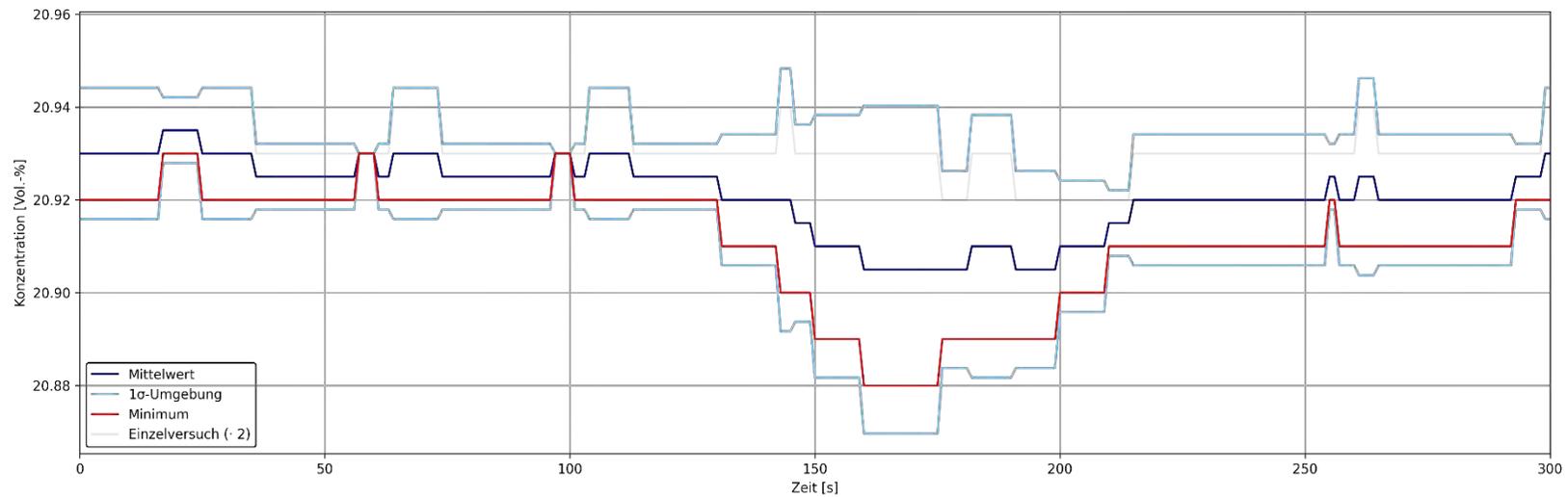
**Abbildung 109** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,73 m



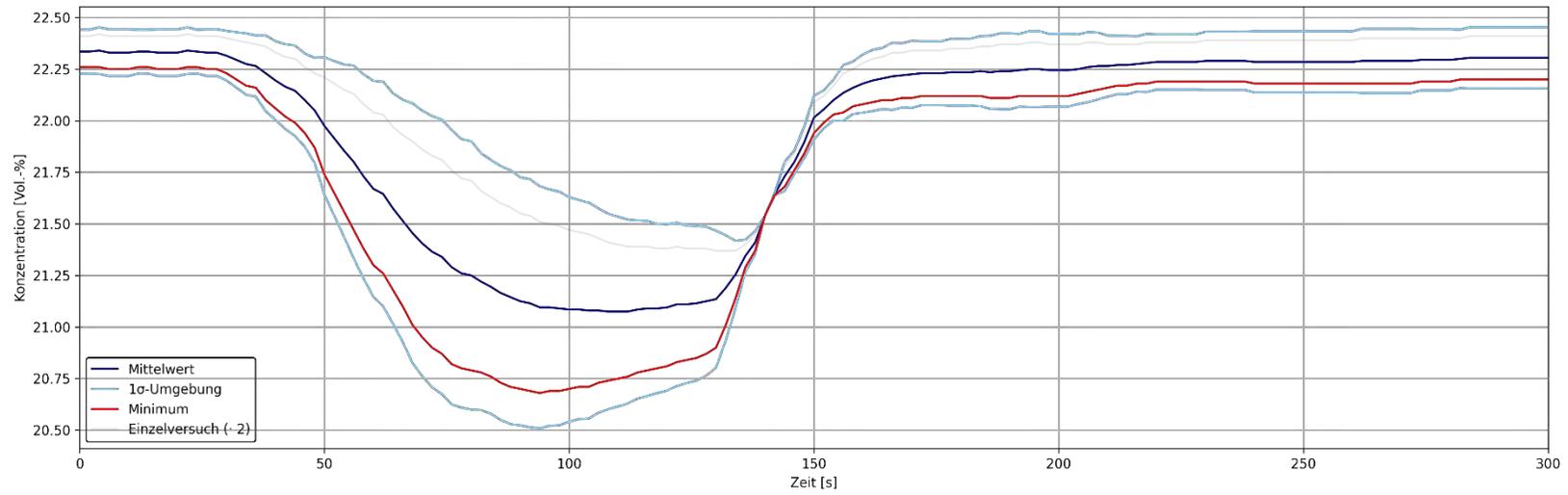
**Abbildung 110** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,20 m



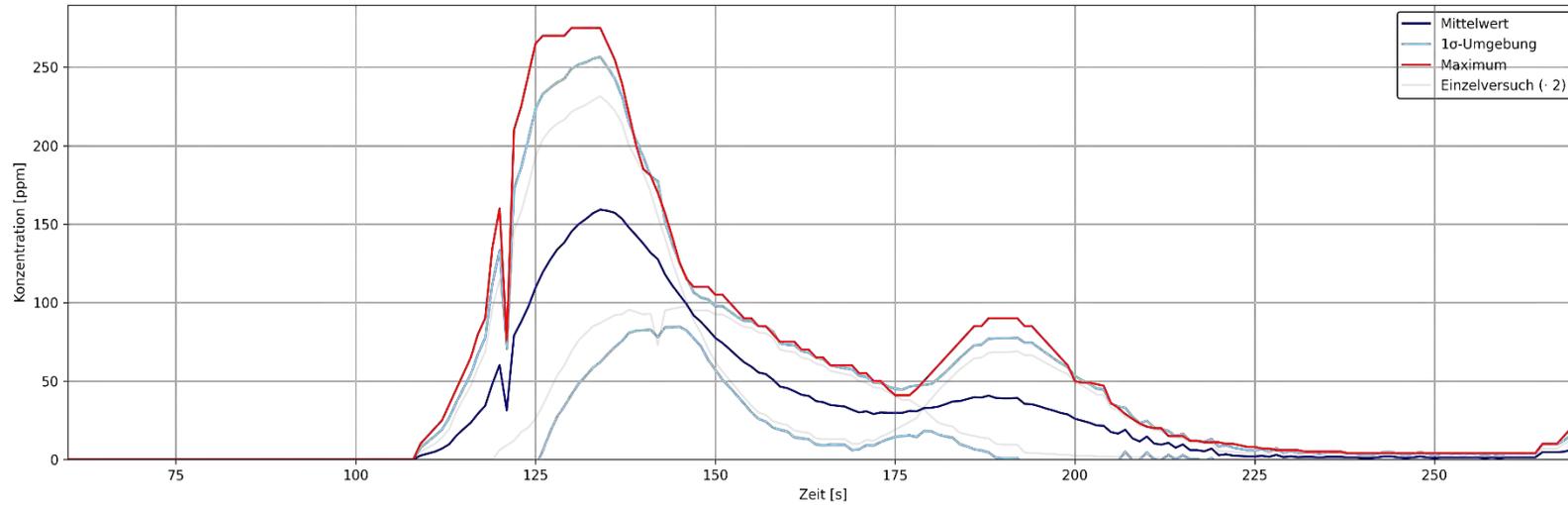
**Abbildung 111** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,73 m



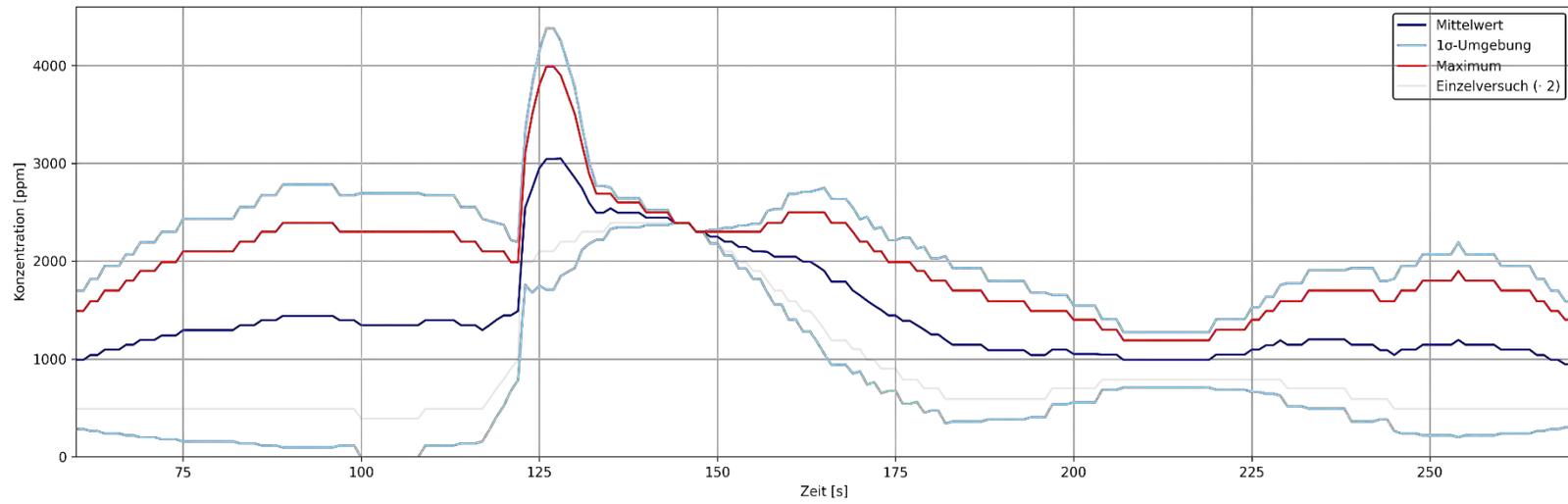
**Abbildung 112** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,20 m



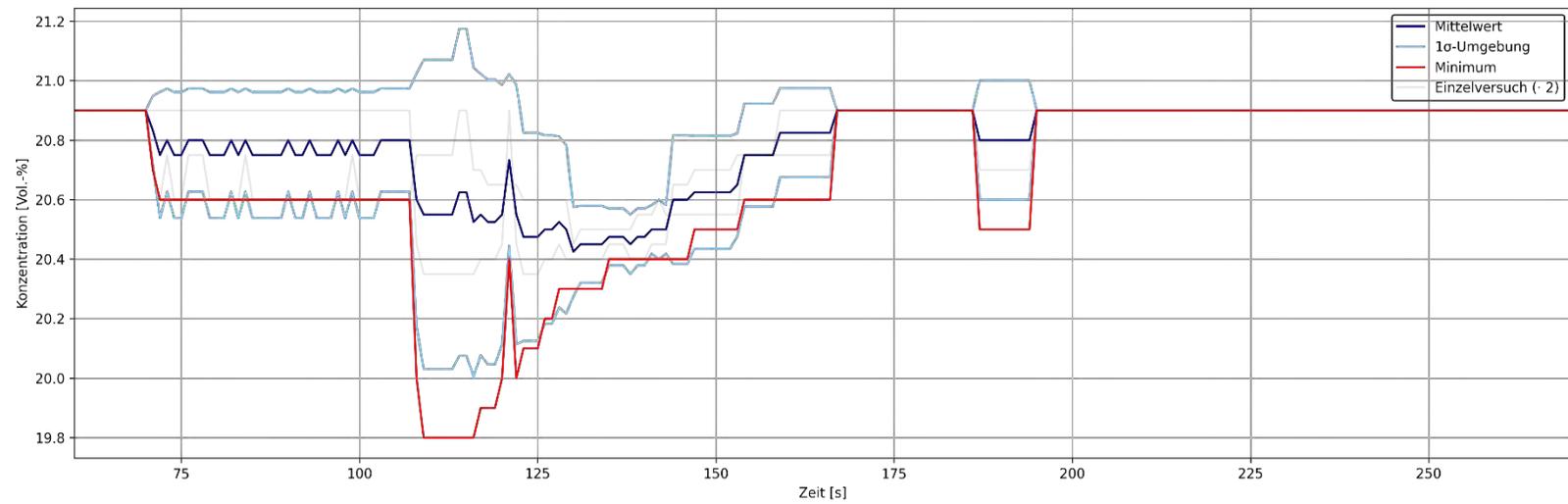
**Abbildung 113** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit am Messpunkt G der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz auf einer Höhe von 1,73 m



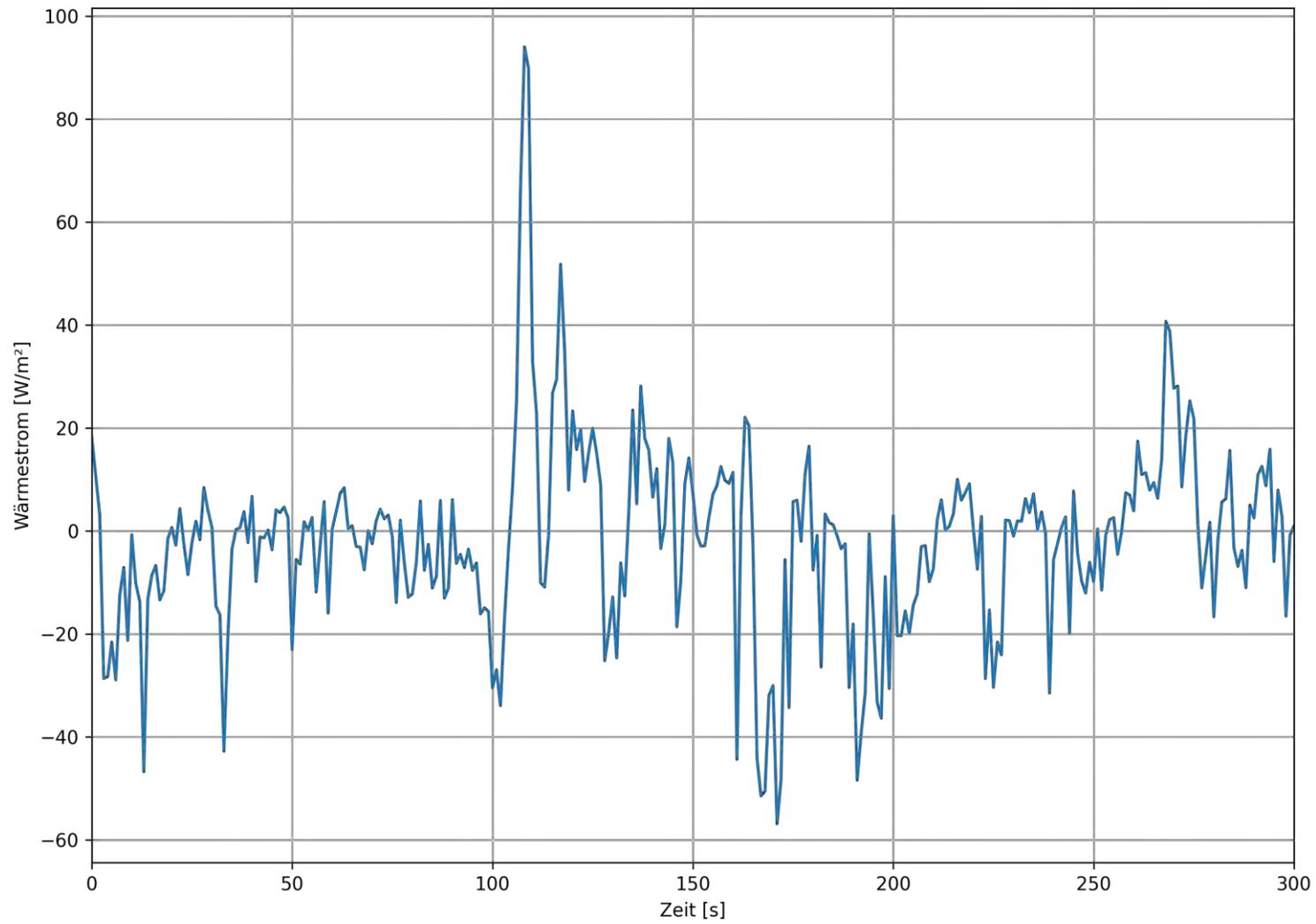
**Abbildung 114** Verläufe der Konzentrationen von CO über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz



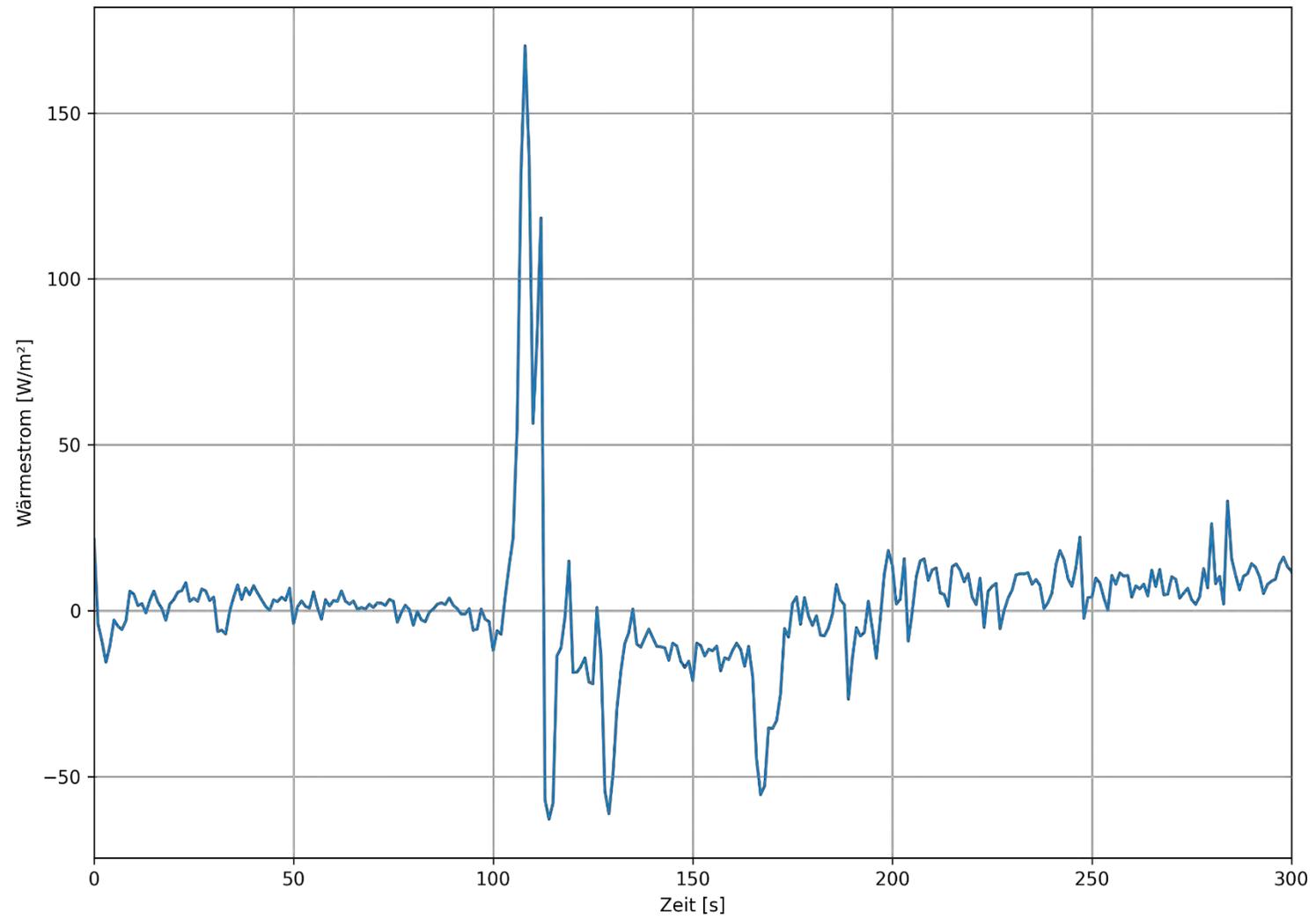
**Abbildung 115** Verläufe der Konzentrationen von CO<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz



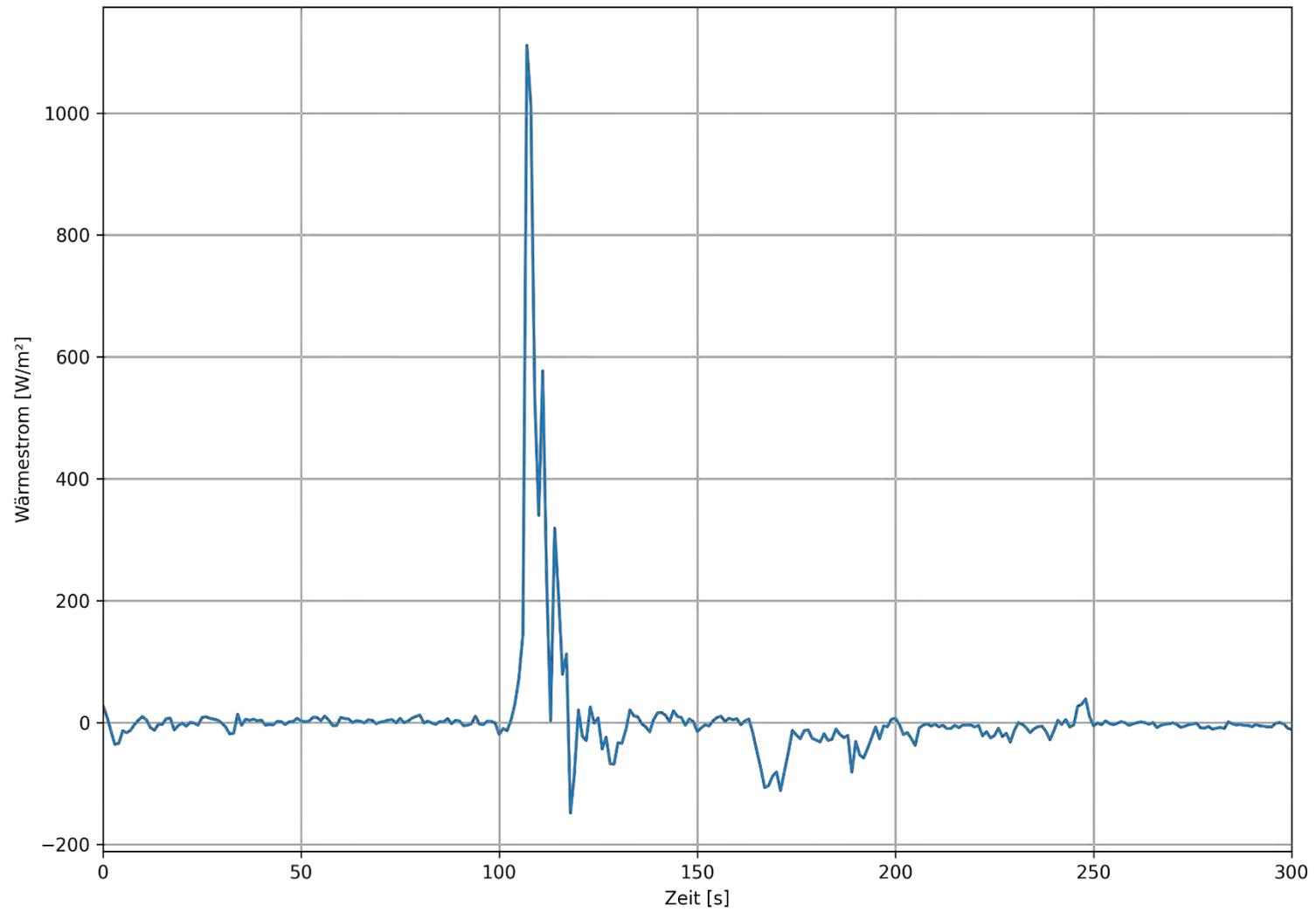
**Abbildung 116** Verläufe der Konzentrationen von O<sub>2</sub> über die Zeit der personengetragenen Messtechnik der Löschversuche mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz



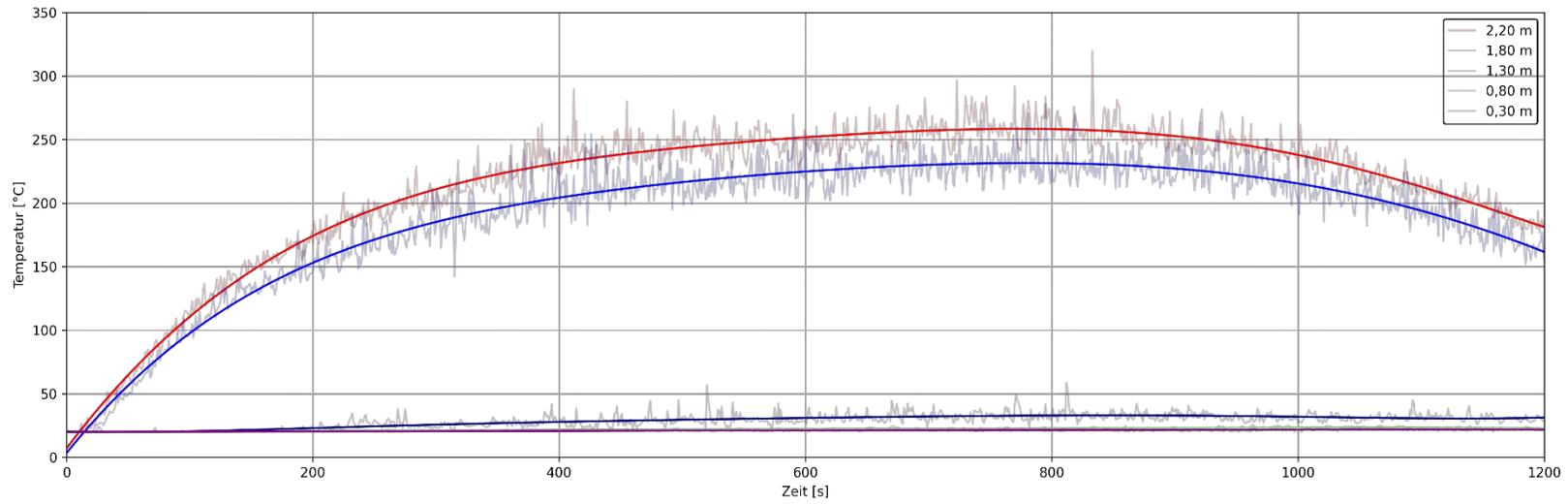
**Abbildung 117** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Handschuh eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz



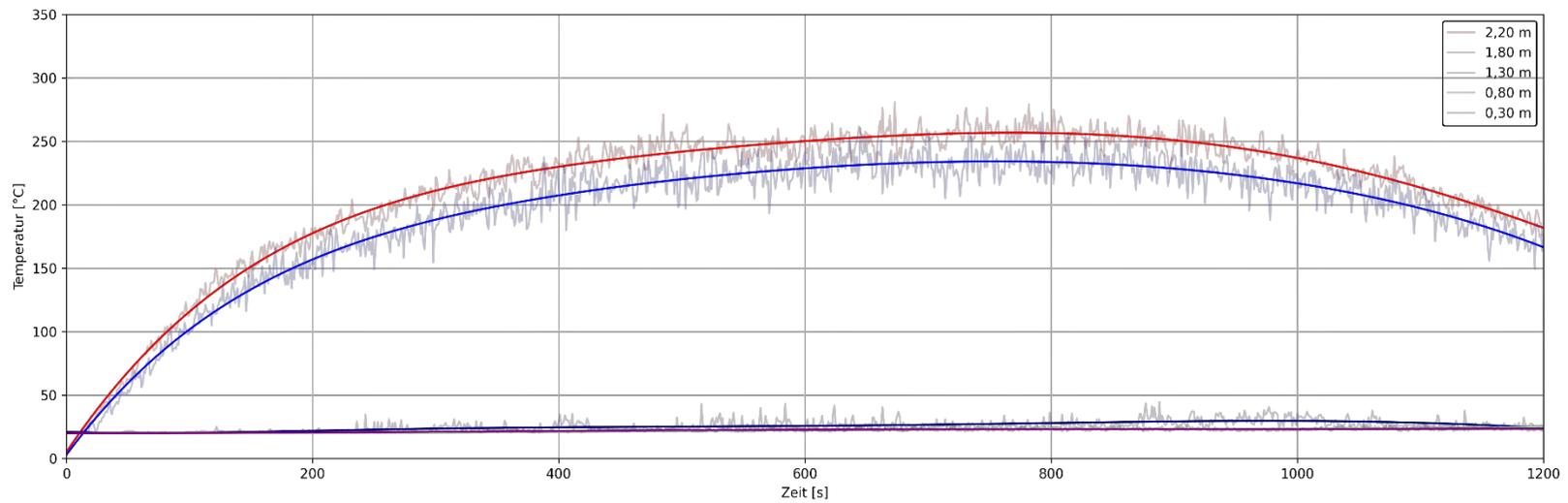
**Abbildung 118** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit an der Brust eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz



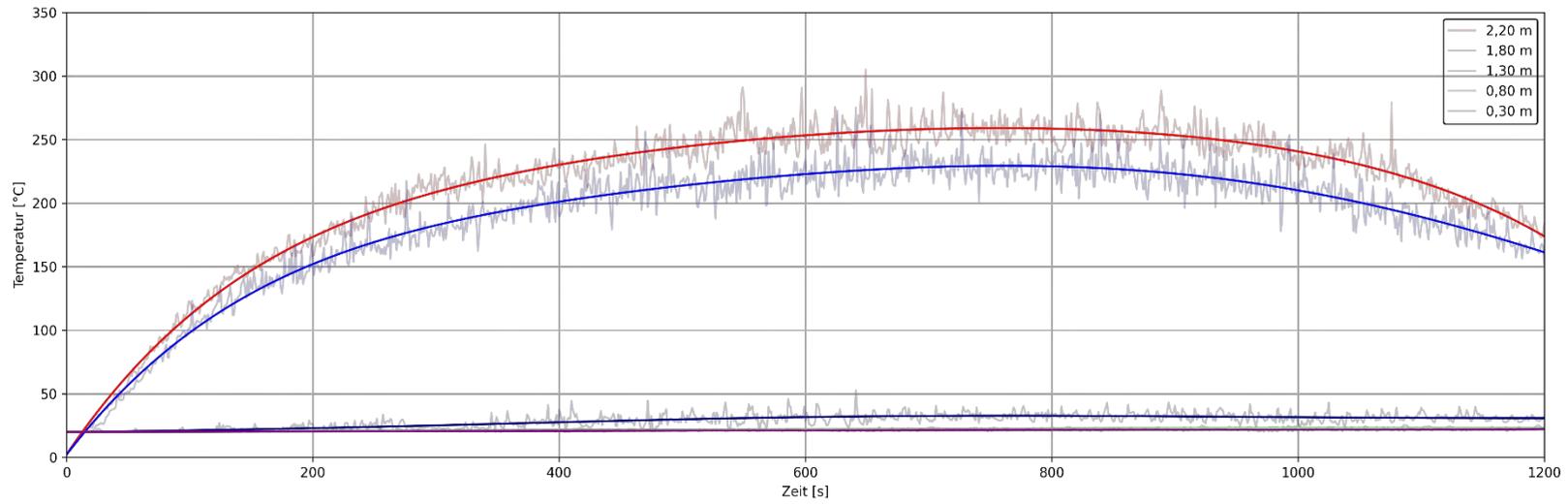
**Abbildung 119** Verlauf des Wärmestroms über die Zeit am Helm eines Löschversuchs mit einem Feuerlöschspray für einen Adventskranz



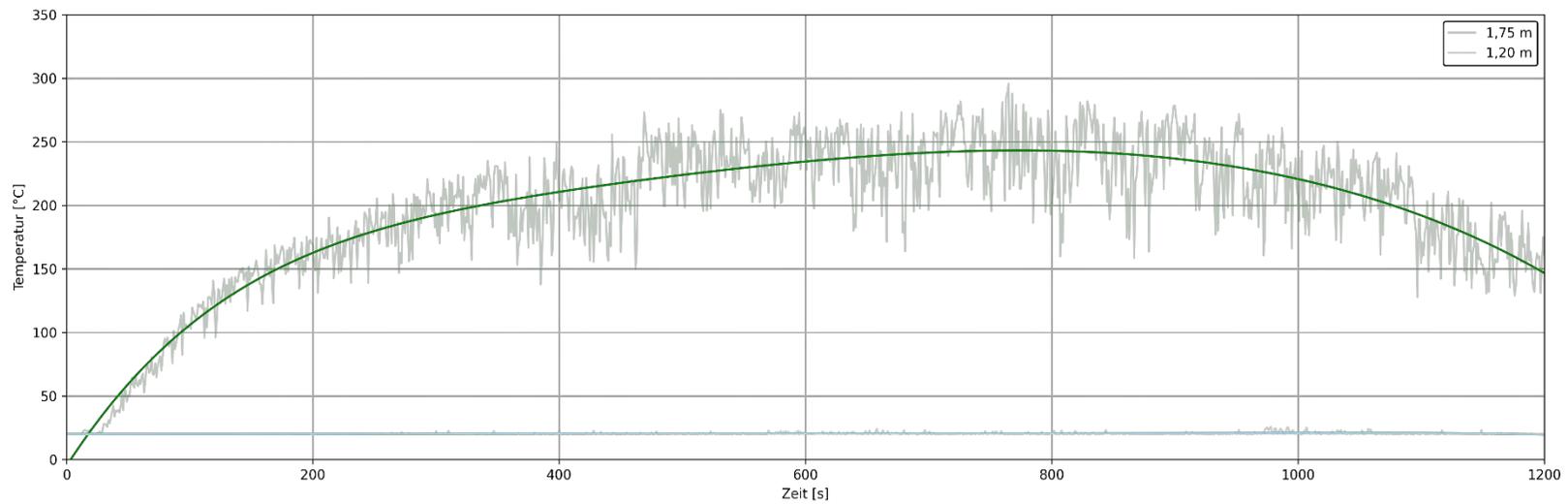
**Abbildung 120** Temperaturverläufe am Messpunkt A der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



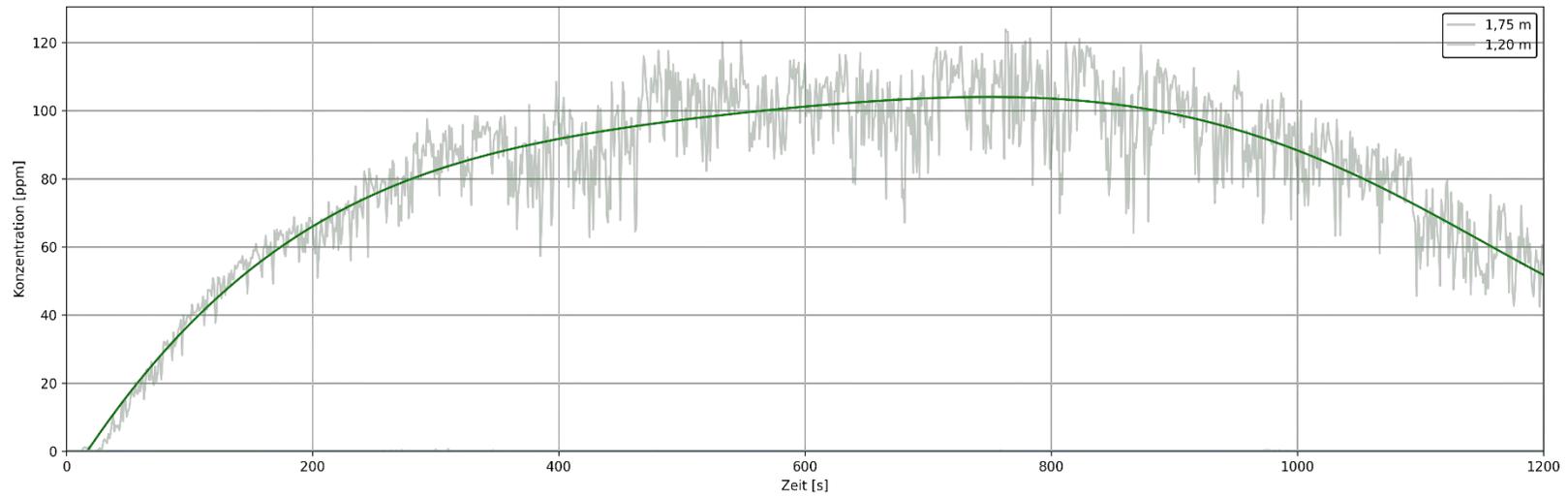
**Abbildung 121** Temperaturverläufe am Messpunkt B der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



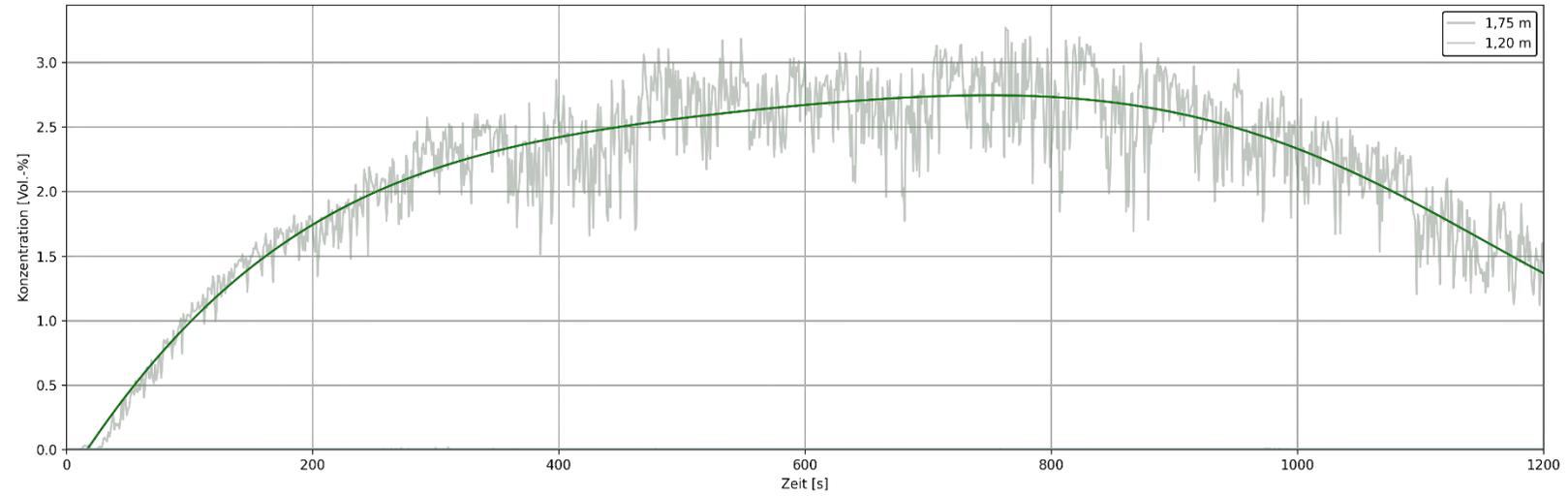
**Abbildung 122** Temperaturverläufe am Messpunkt C der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



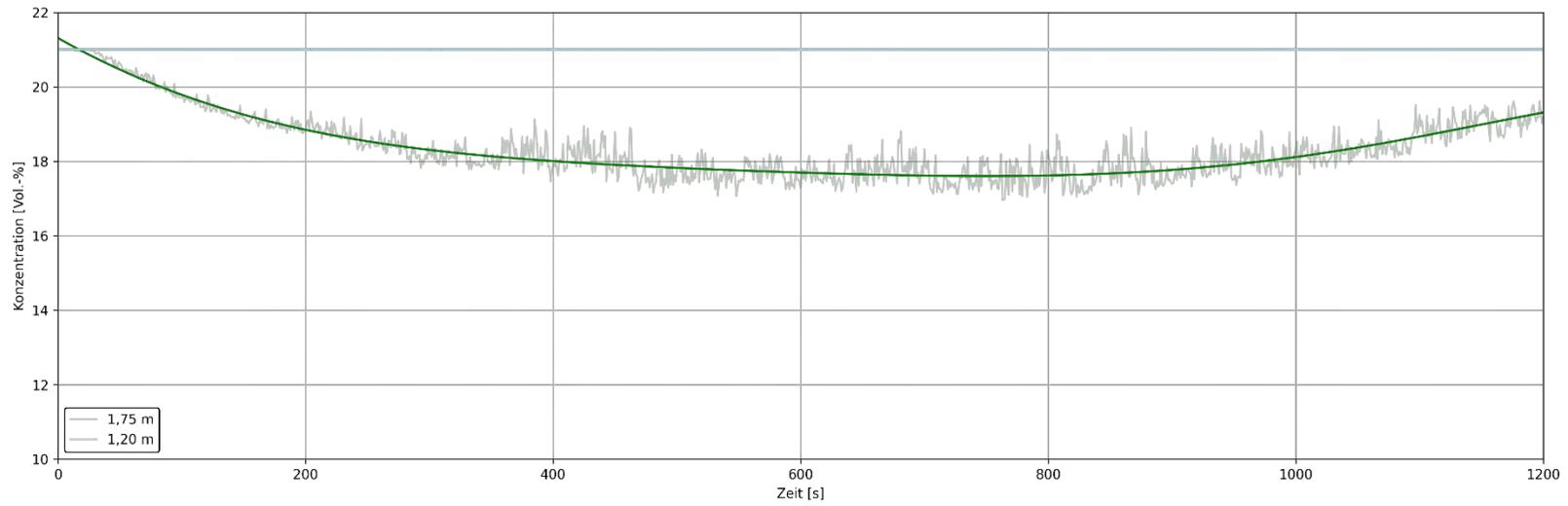
**Abbildung 123** Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



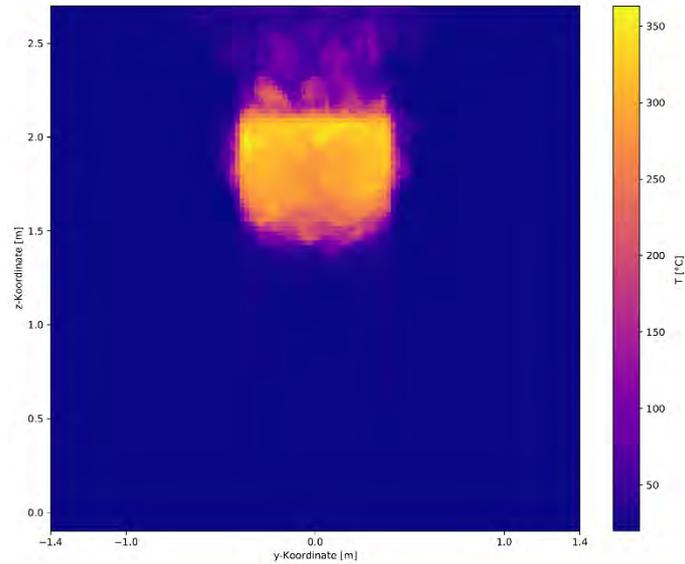
**Abbildung 124** Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



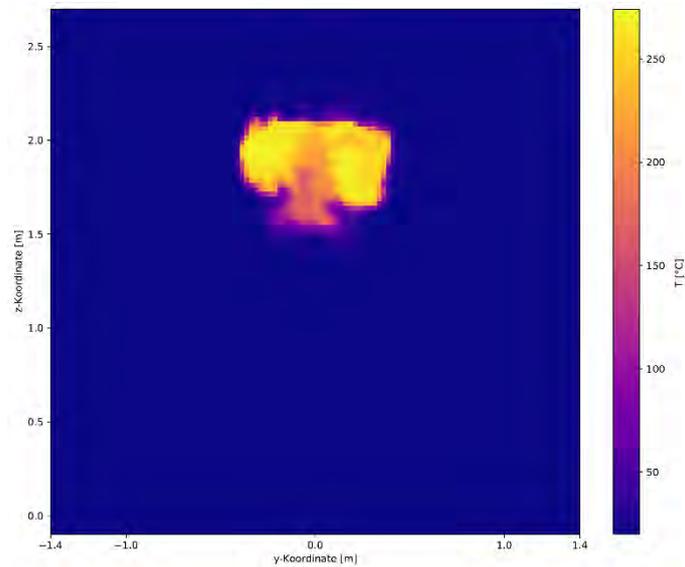
**Abbildung 125** Verläufe der CO<sub>2</sub>-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



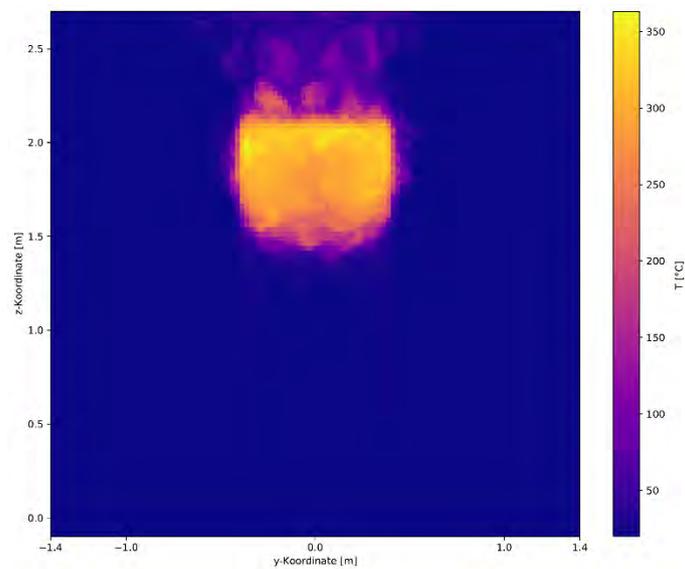
**Abbildung 126** Verläufe der O<sub>2</sub>-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



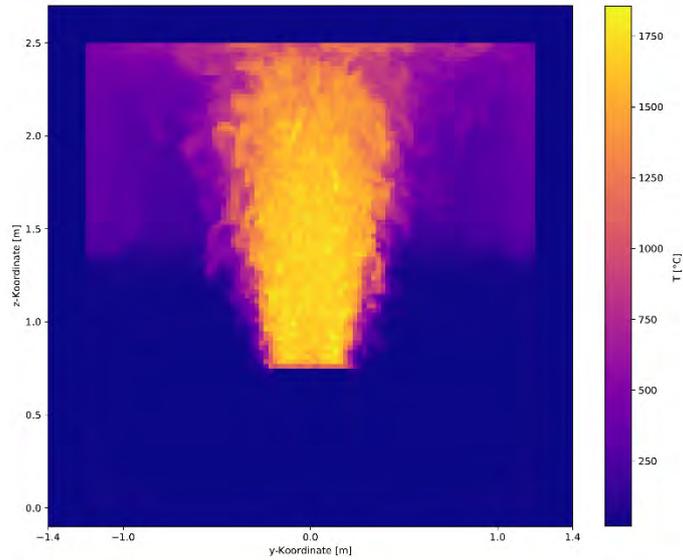
**Abbildung 127** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



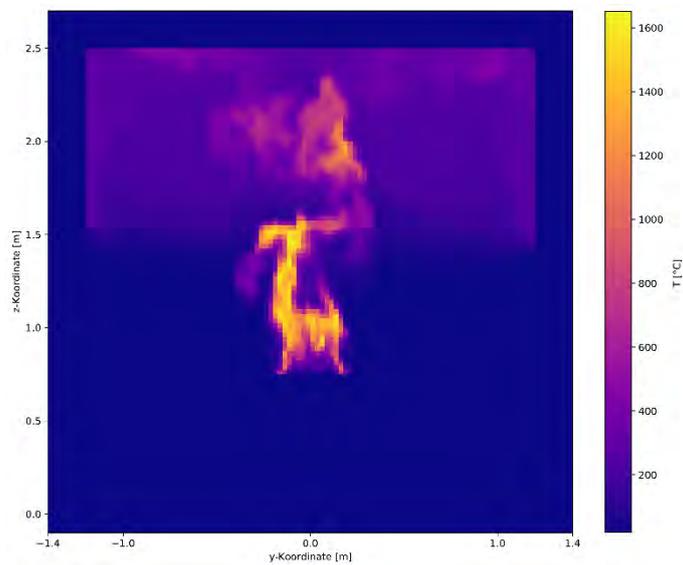
**Abbildung 128** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



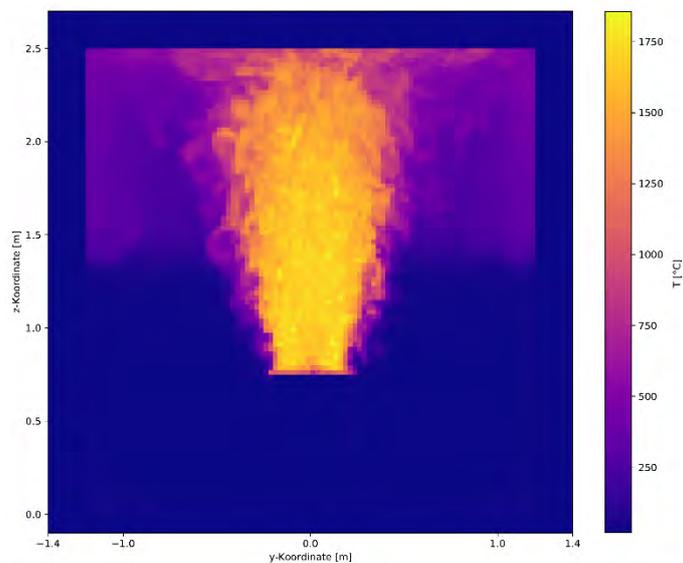
**Abbildung 129** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



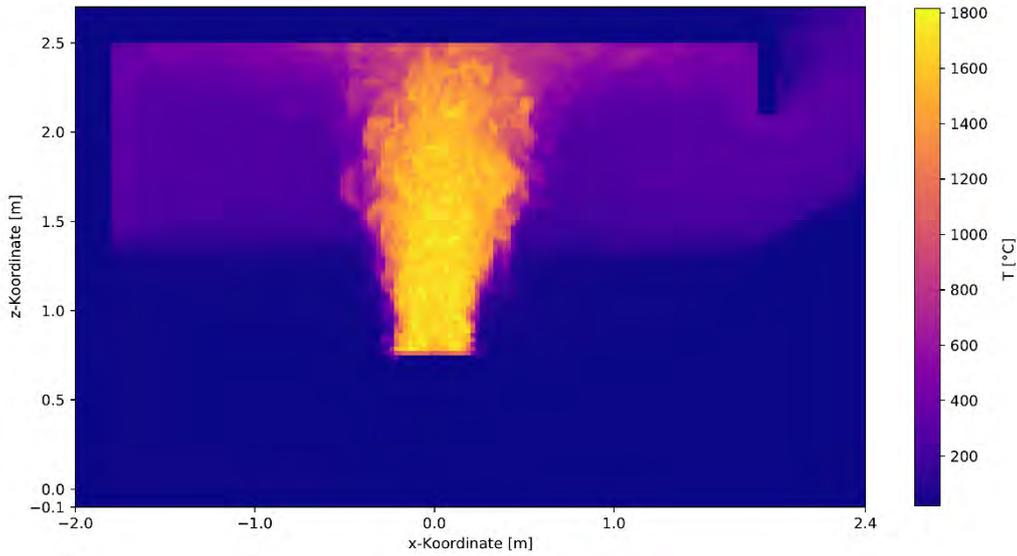
**Abbildung 130** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



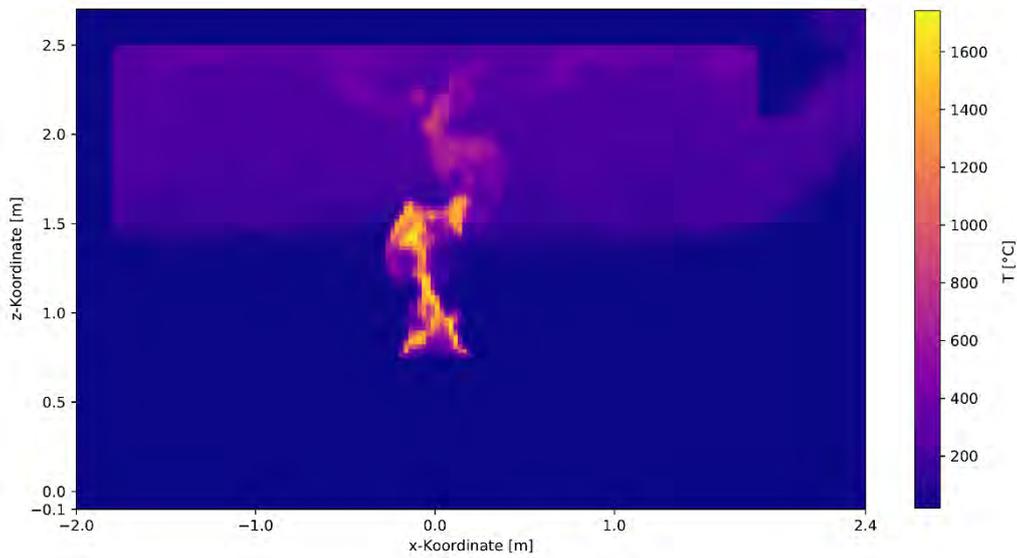
**Abbildung 131** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



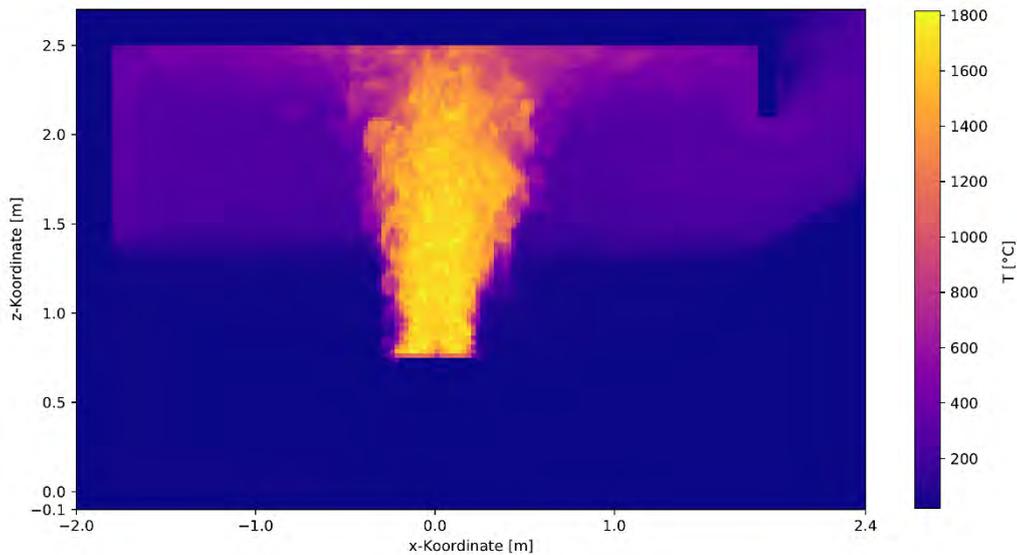
**Abbildung 132** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



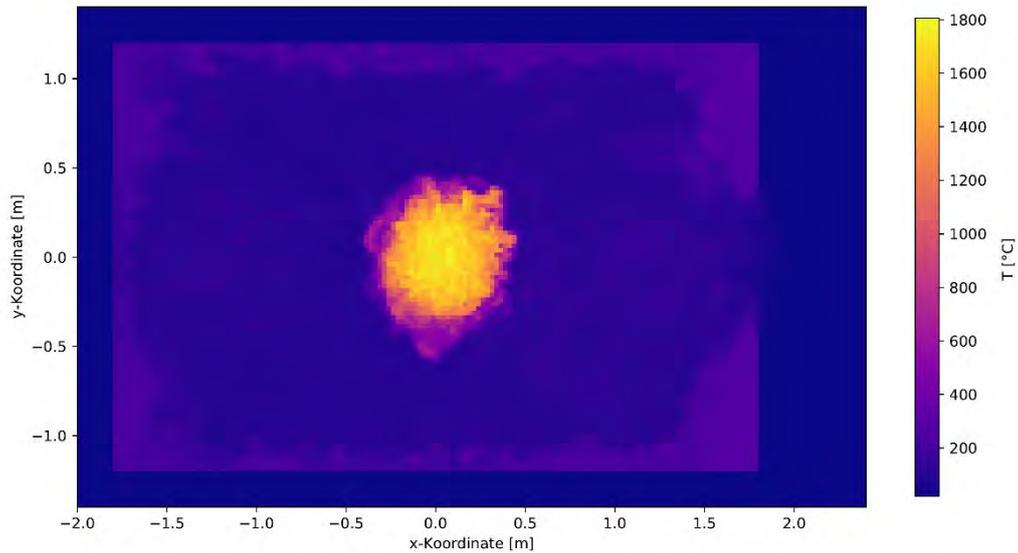
**Abbildung 133** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



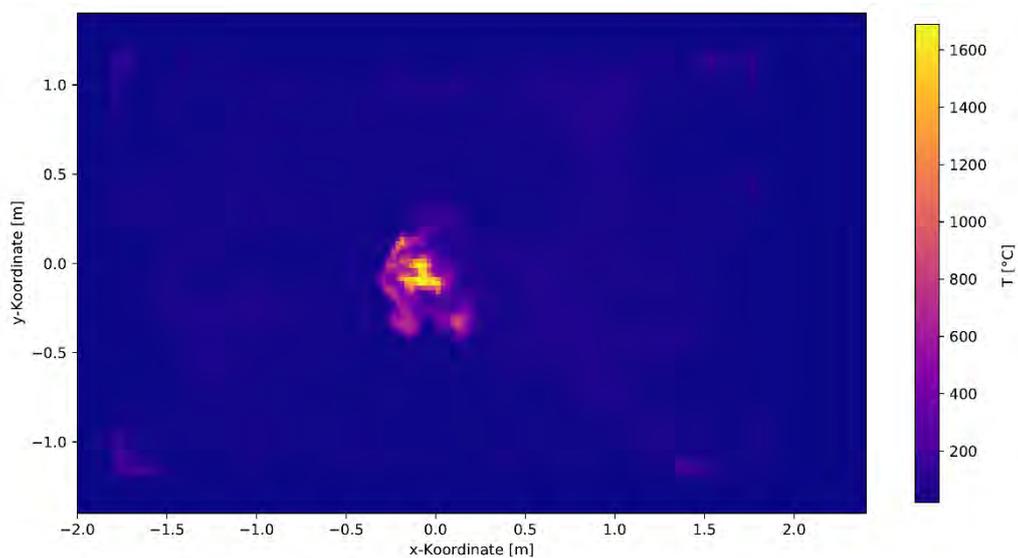
**Abbildung 134** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



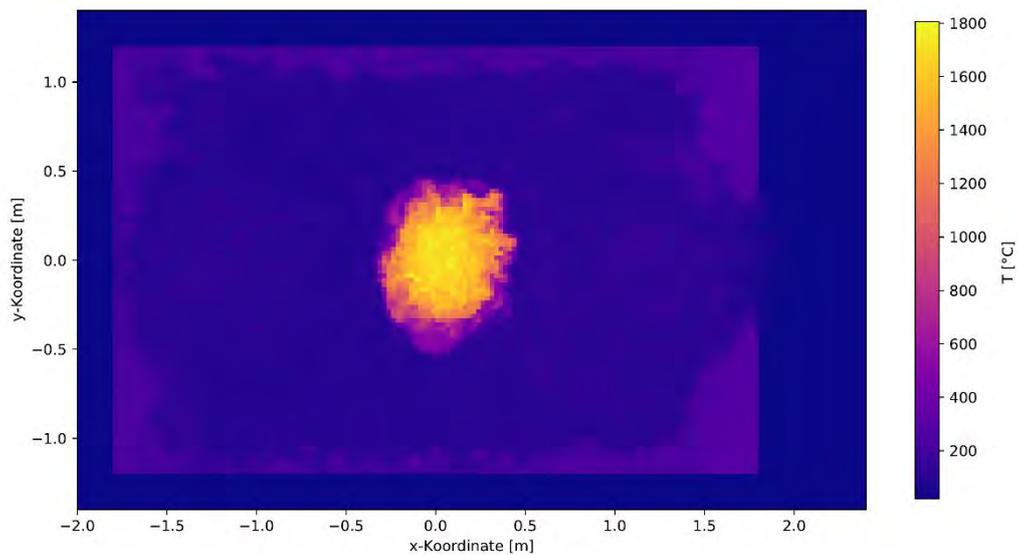
**Abbildung 135** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



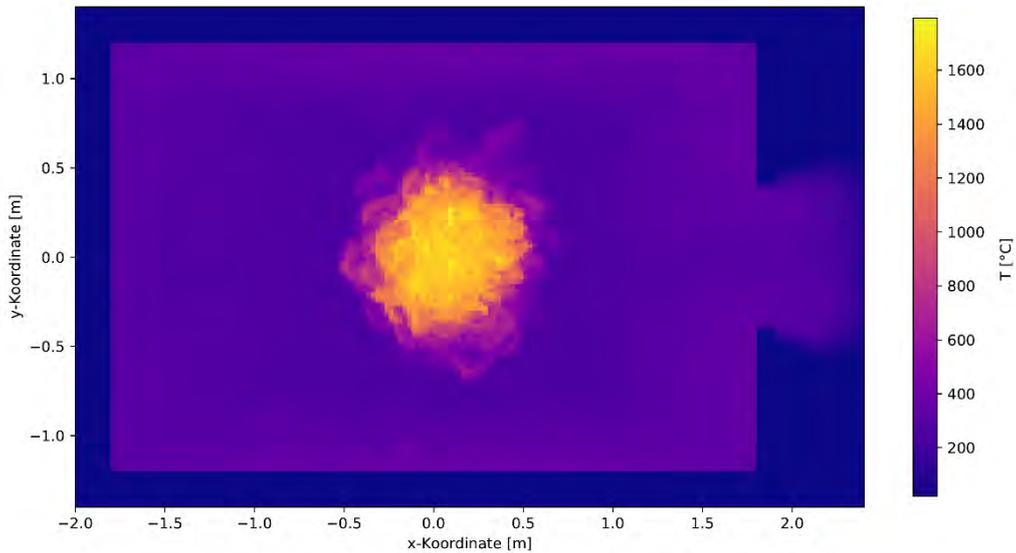
**Abbildung 136** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



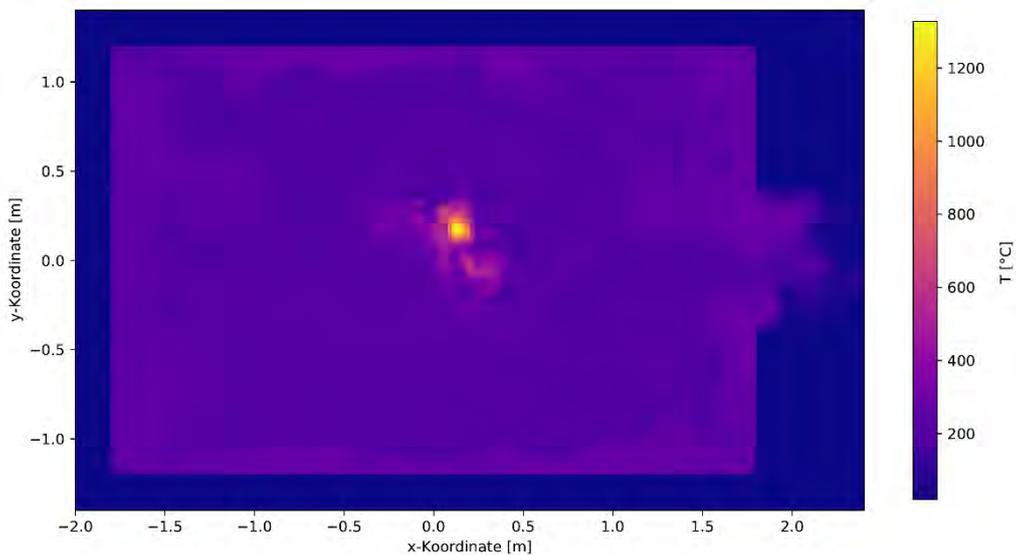
**Abbildung 137** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



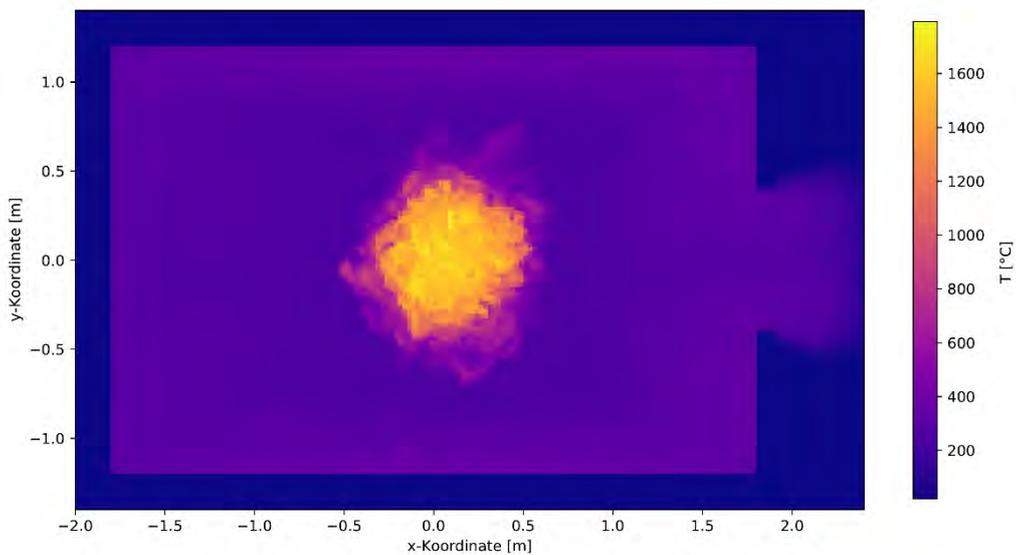
**Abbildung 138** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



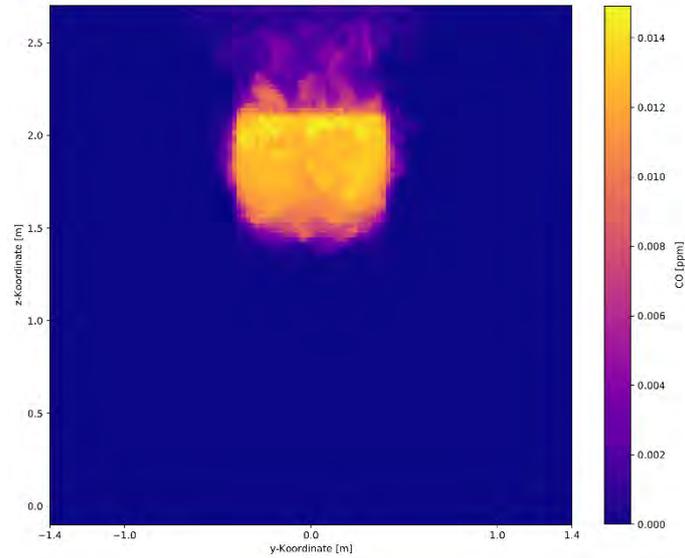
**Abbildung 139** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



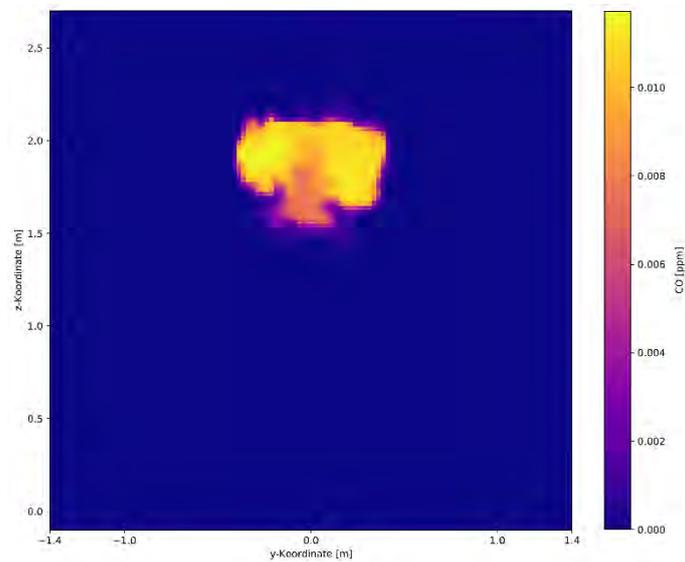
**Abbildung 140** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



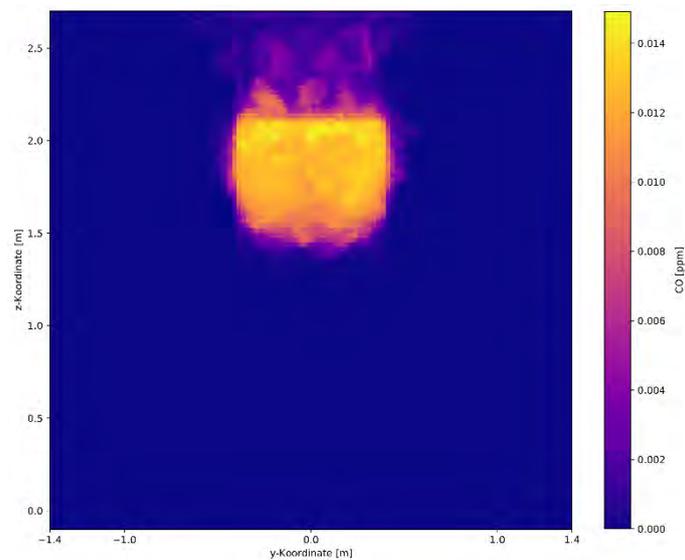
**Abbildung 141** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



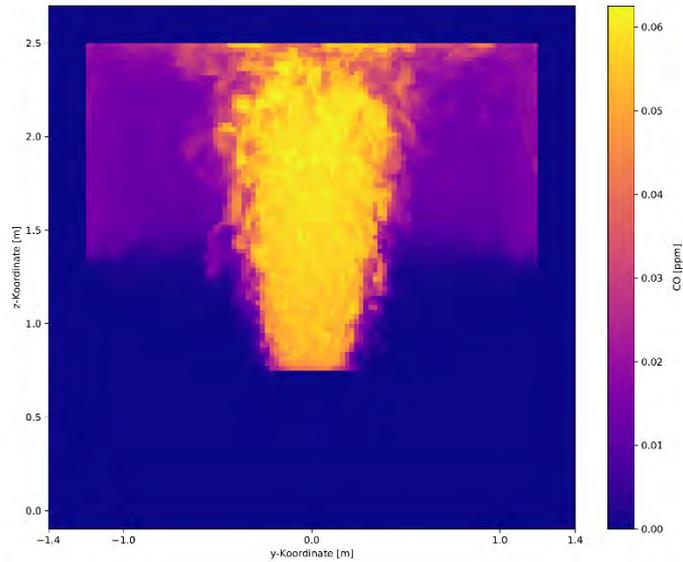
**Abbildung 142** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



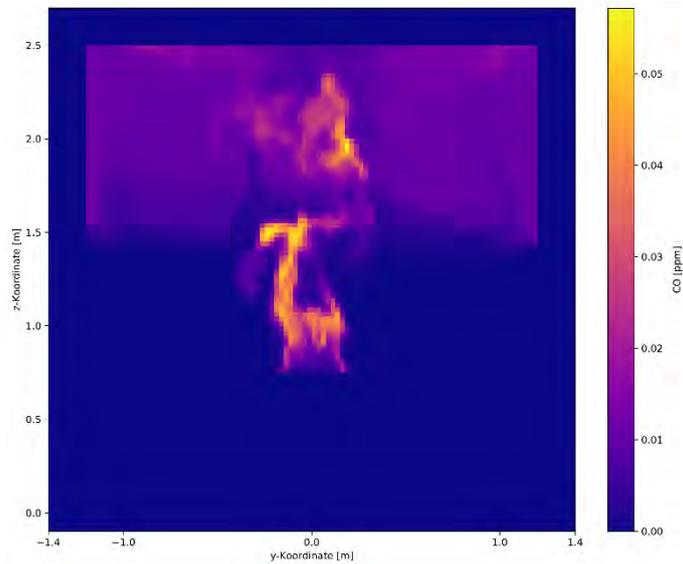
**Abbildung 143** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



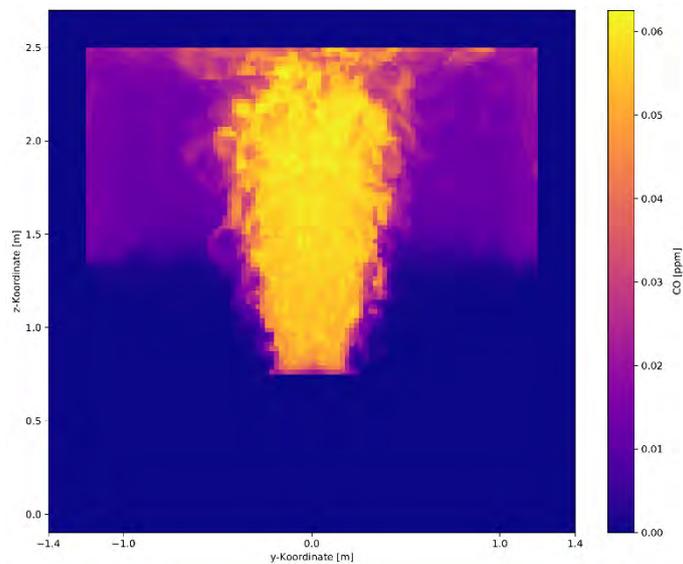
**Abbildung 144** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



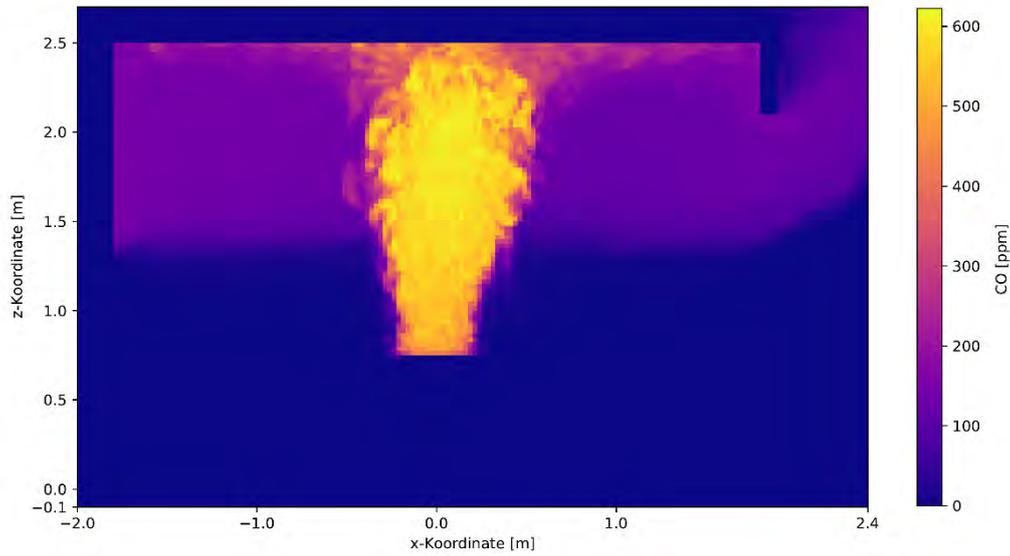
**Abbildung 145** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



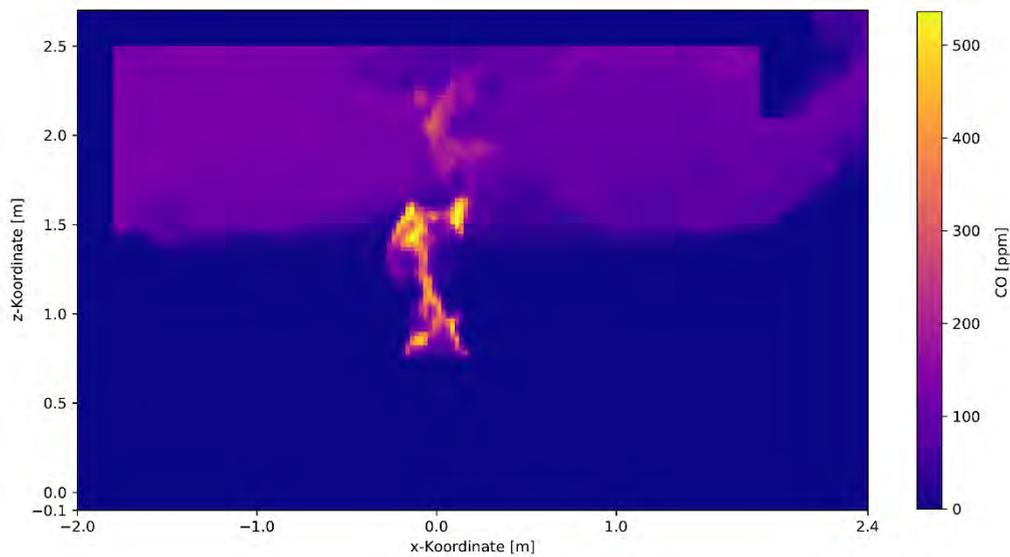
**Abbildung 146** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



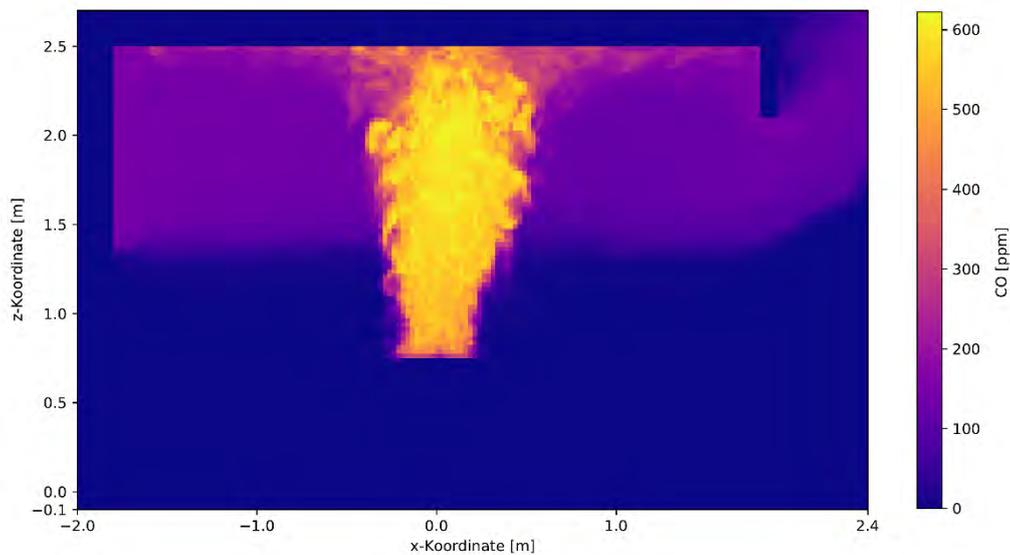
**Abbildung 147** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



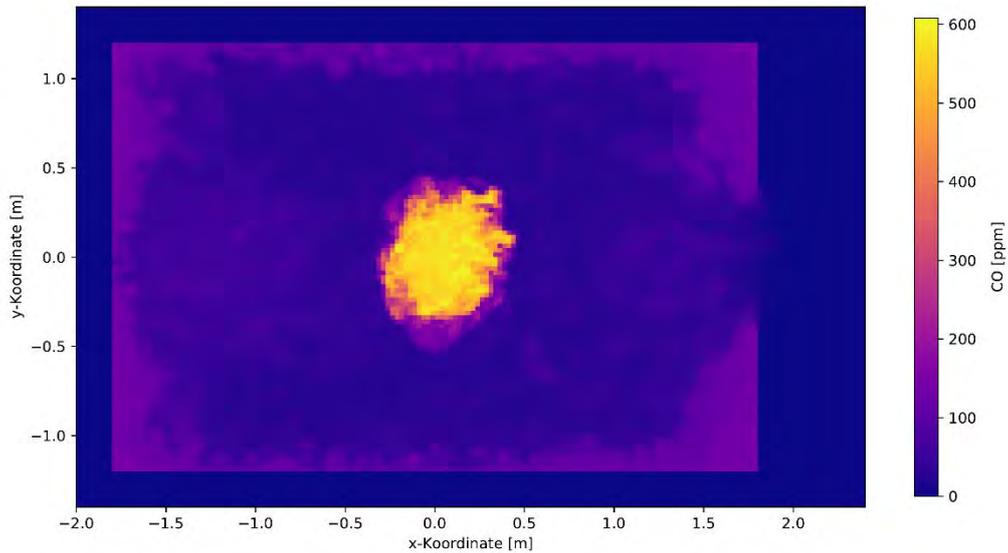
**Abbildung 148** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



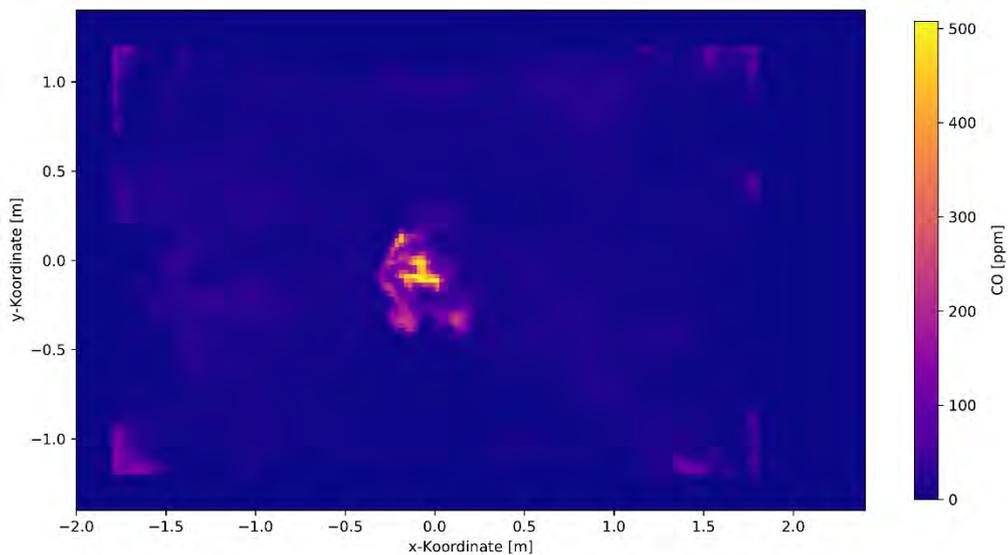
**Abbildung 149** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



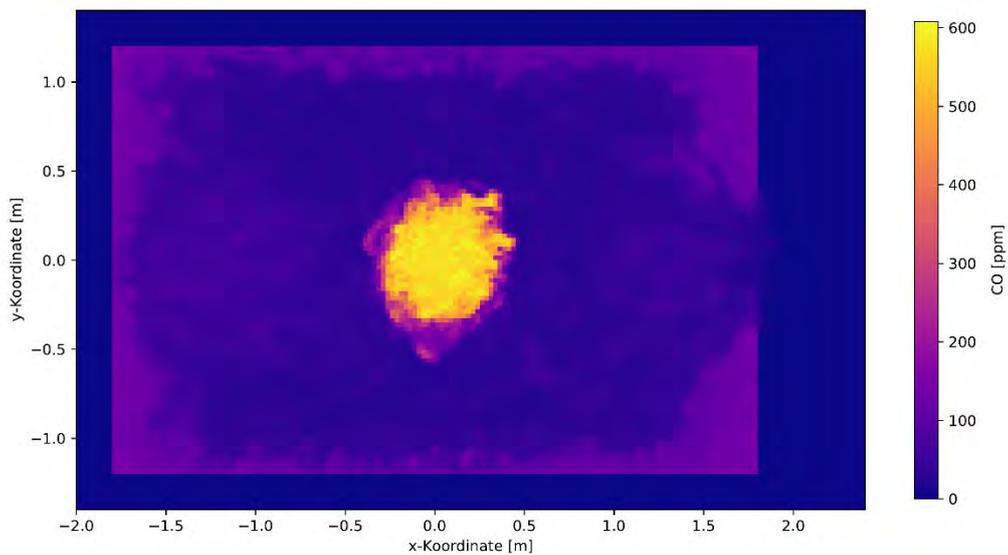
**Abbildung 150** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



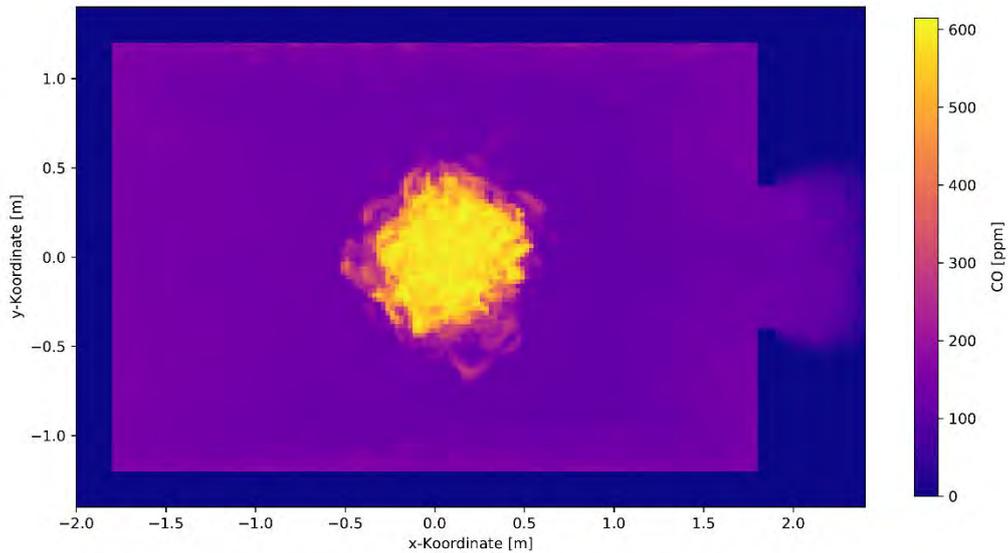
**Abbildung 151** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



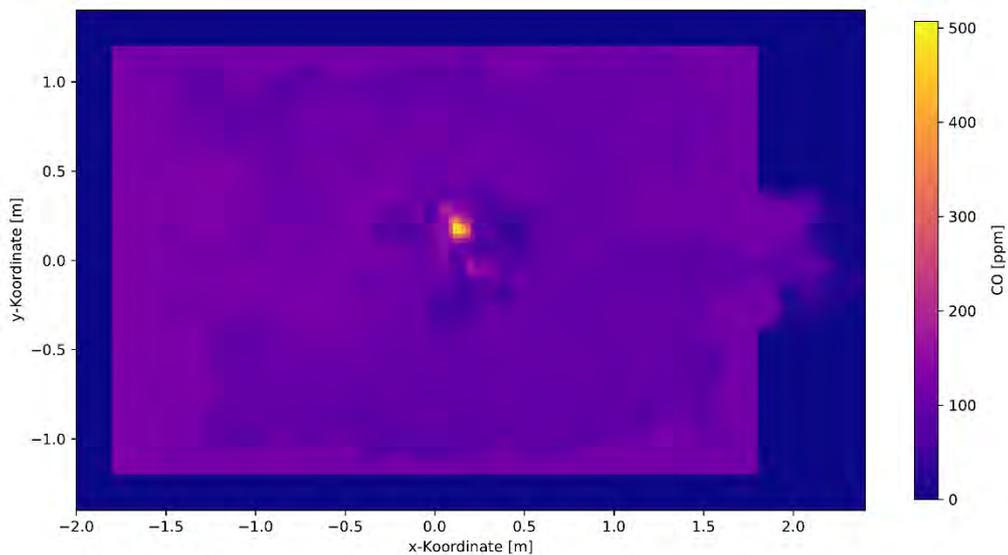
**Abbildung 152** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



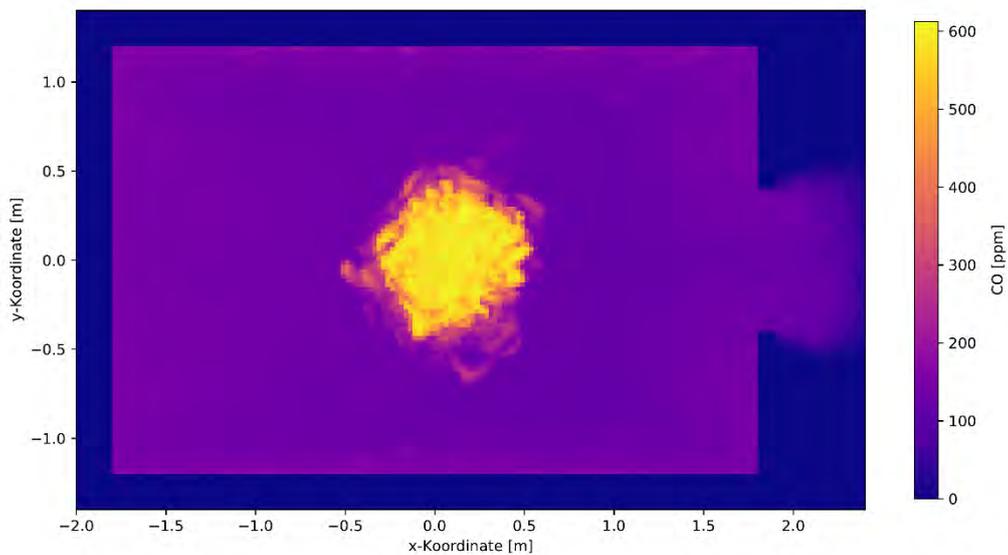
**Abbildung 153** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



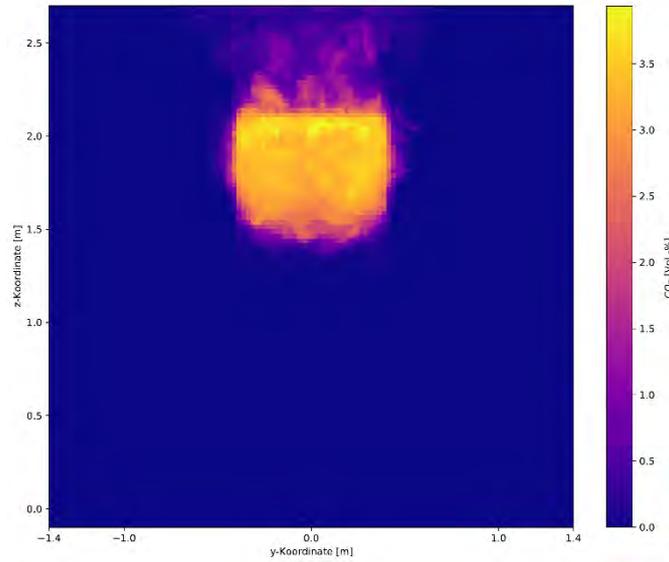
**Abbildung 154** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



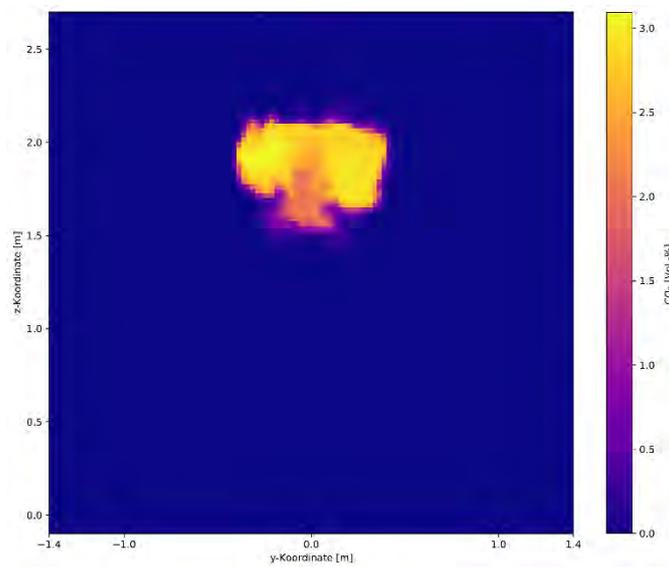
**Abbildung 155** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



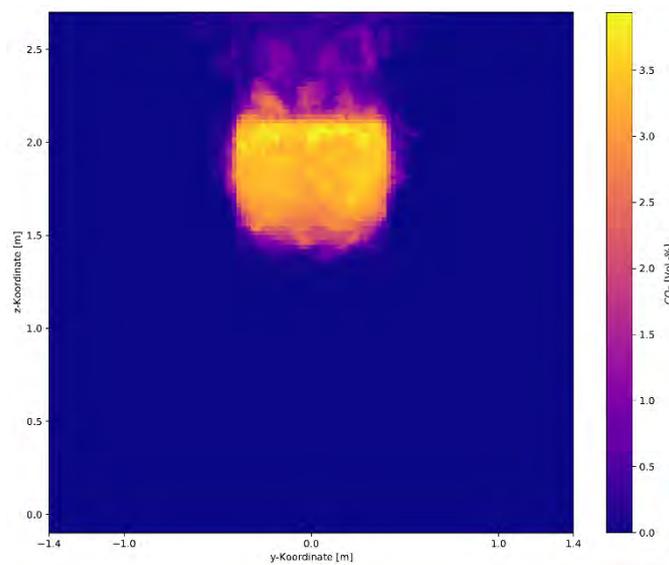
**Abbildung 156** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



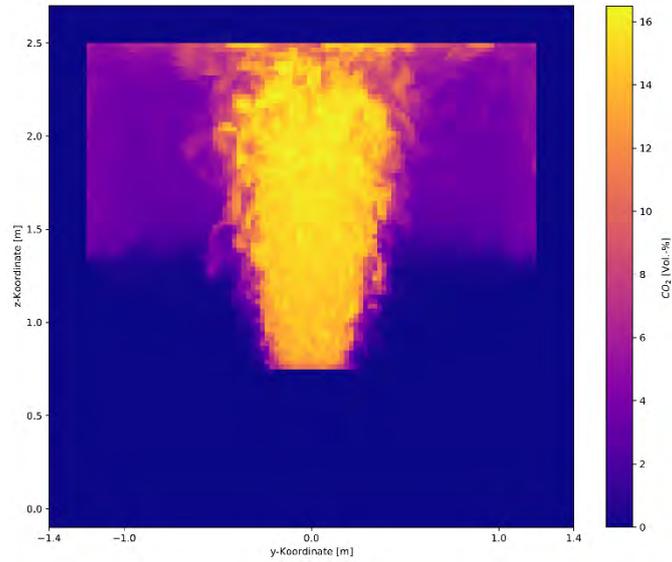
**Abbildung 157** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



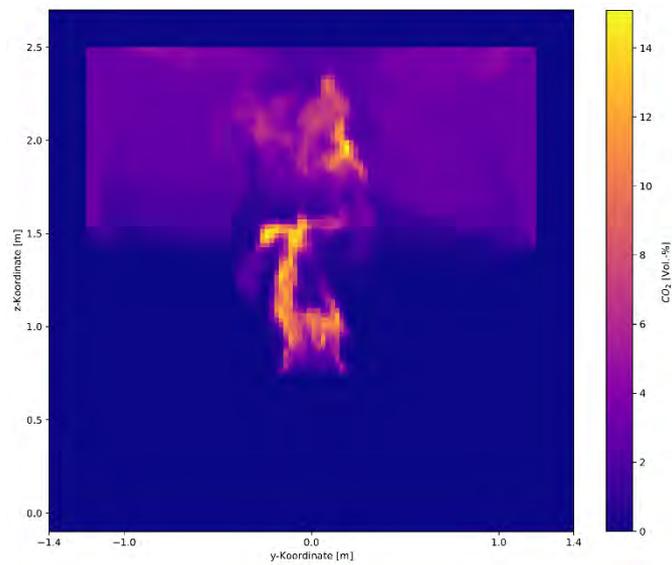
**Abbildung 158** Verteilung der Konzentration von CO<sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



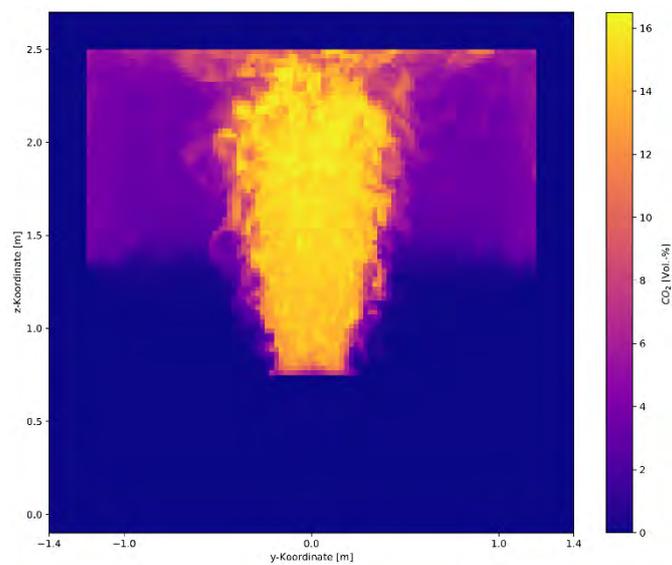
**Abbildung 159** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



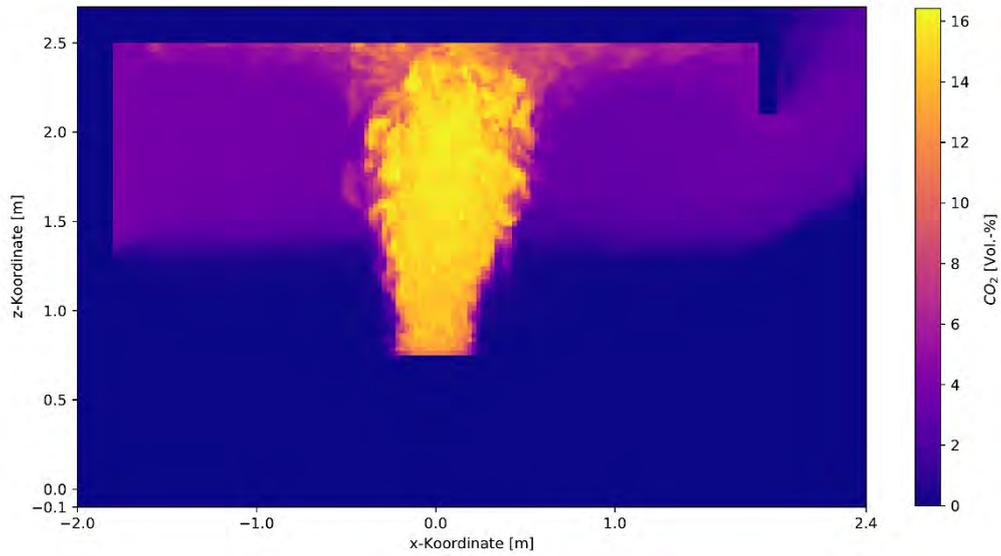
**Abbildung 160** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



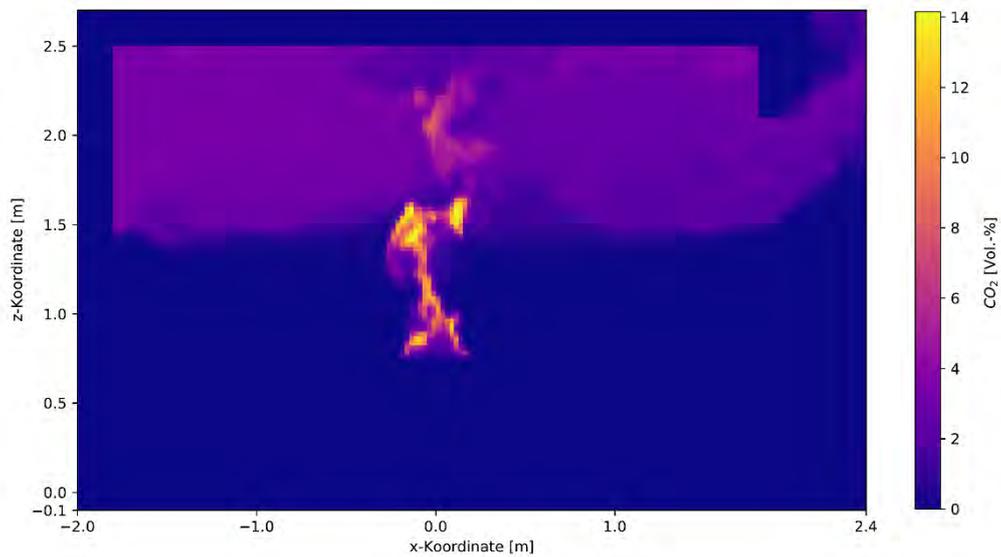
**Abbildung 161** Verteilung der Konzentration von  $\text{CO}_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



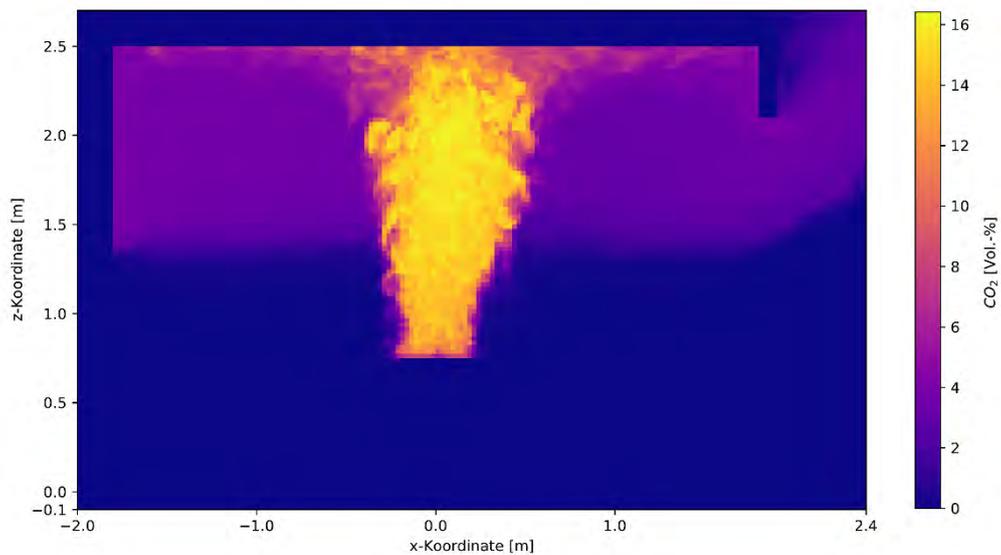
**Abbildung 162** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



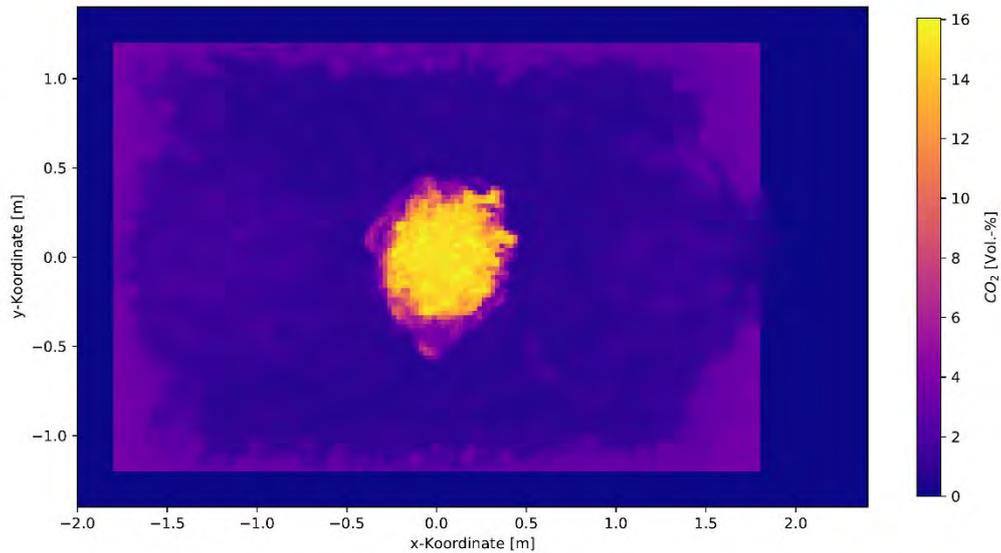
**Abbildung 163** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



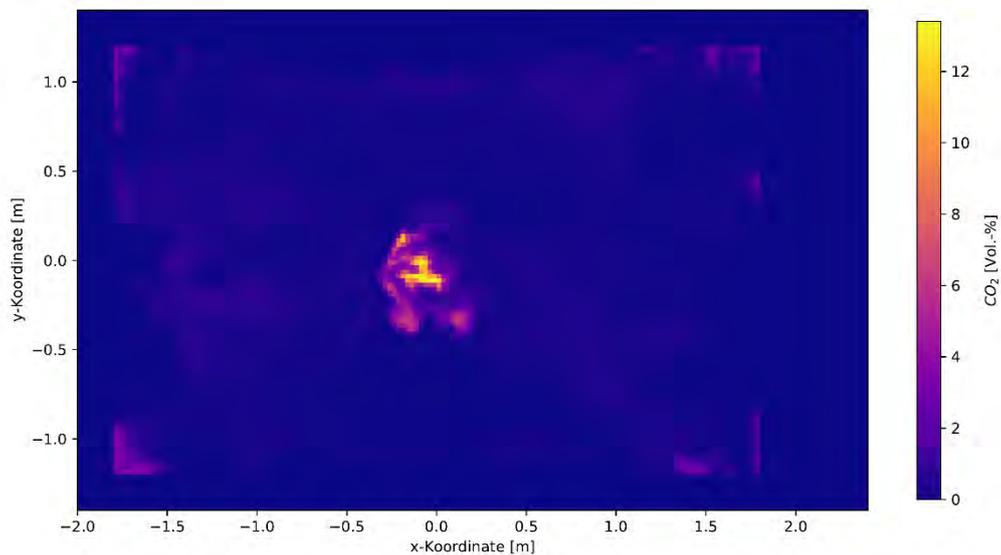
**Abbildung 164** Verteilung der Konzentration von  $\text{CO}_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



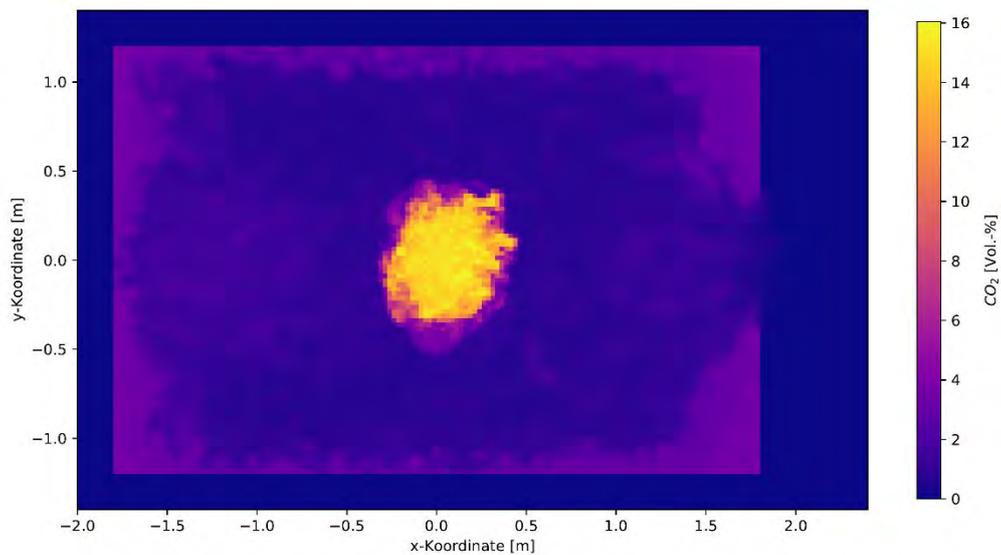
**Abbildung 165** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



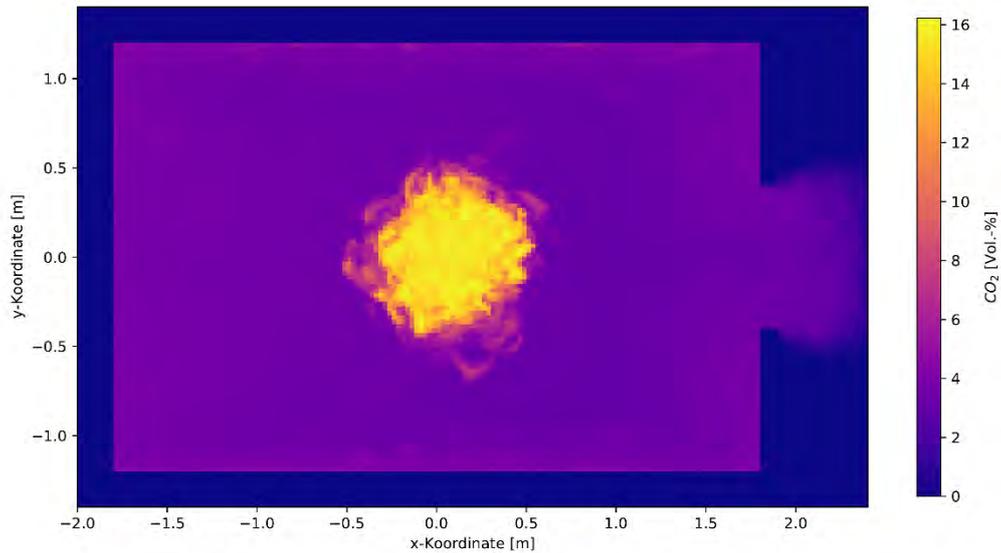
**Abbildung 166** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



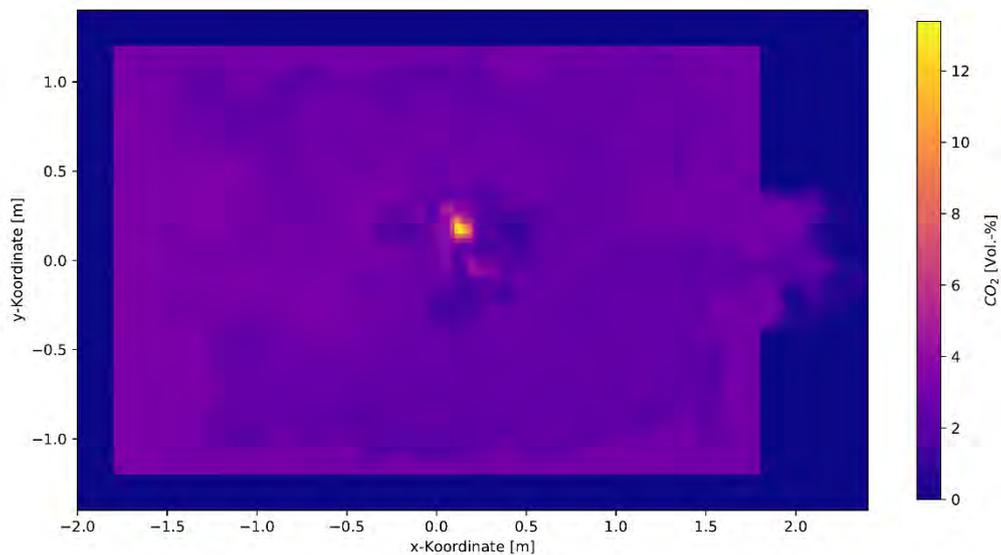
**Abbildung 167** Verteilung der Konzentration von  $\text{CO}_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



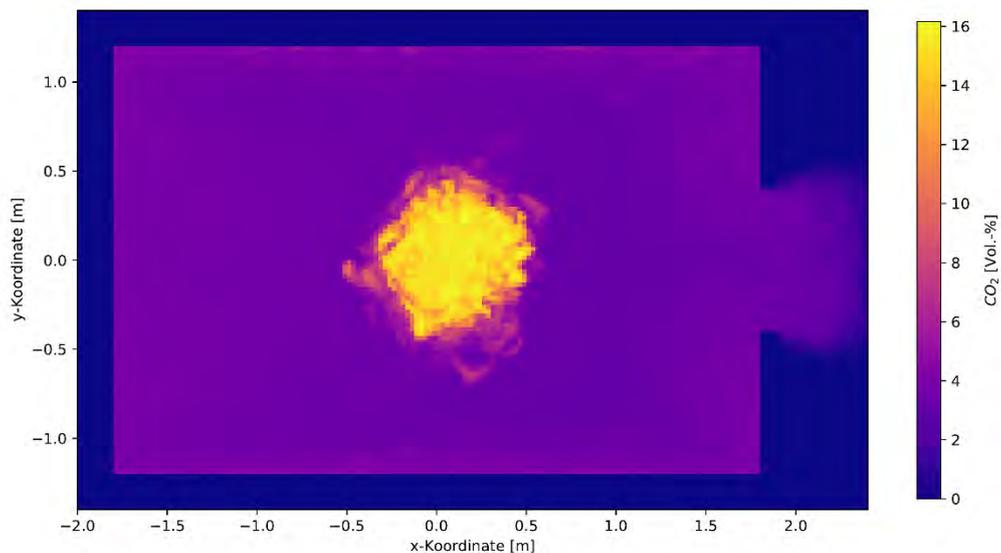
**Abbildung 168** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



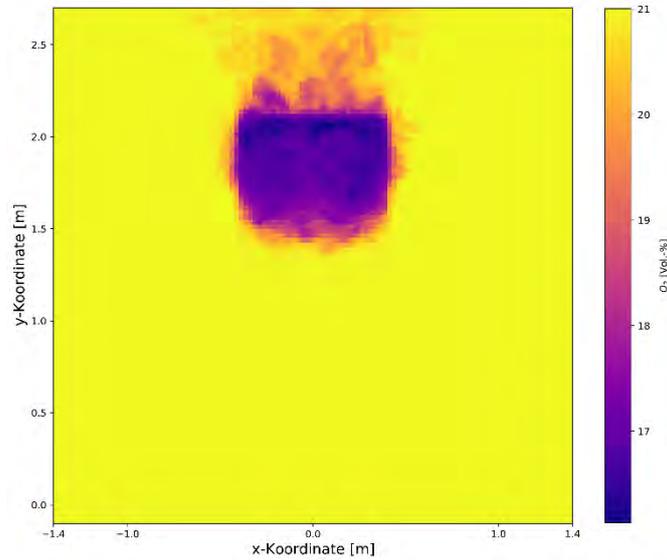
**Abbildung 169** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



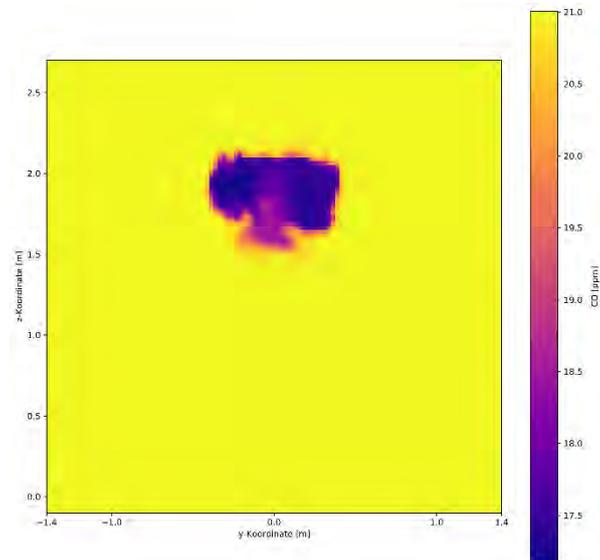
**Abbildung 170** Verteilung der Konzentration von CO<sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



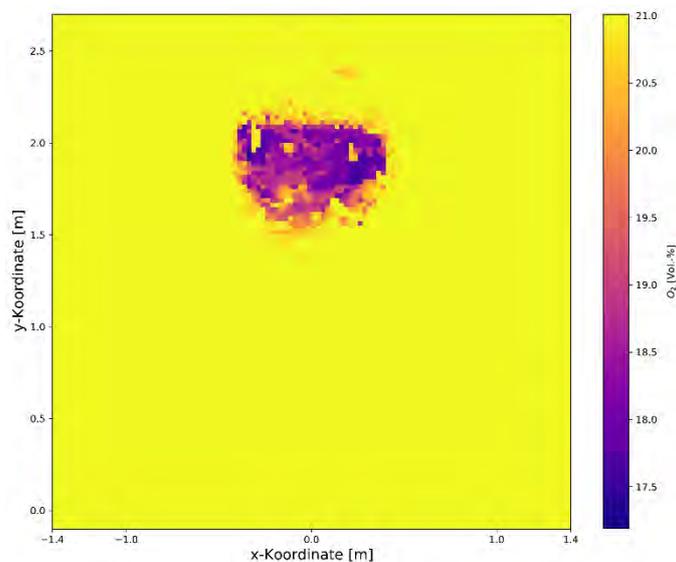
**Abbildung 171** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



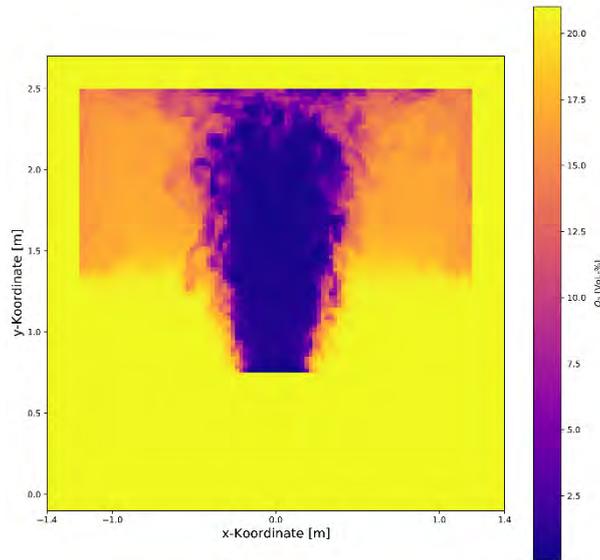
**Abbildung 172** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



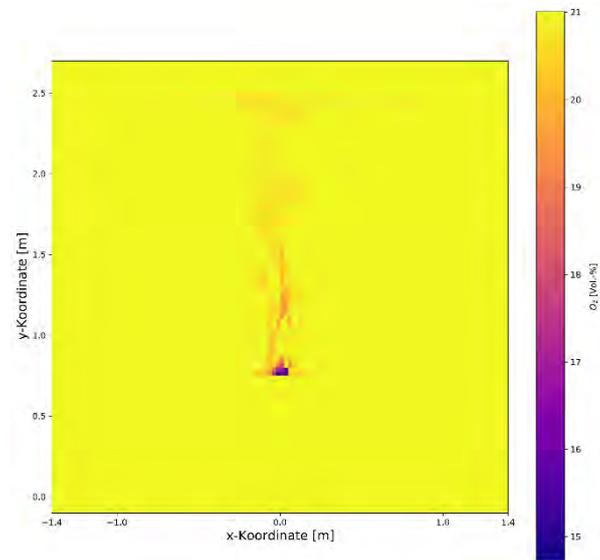
**Abbildung 173** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



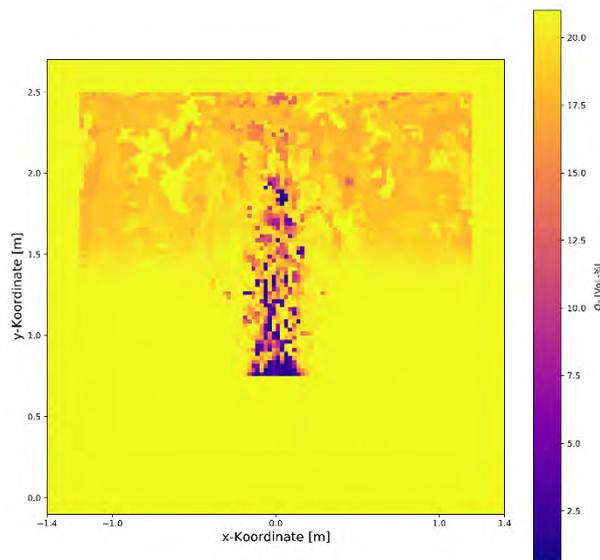
**Abbildung 174** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



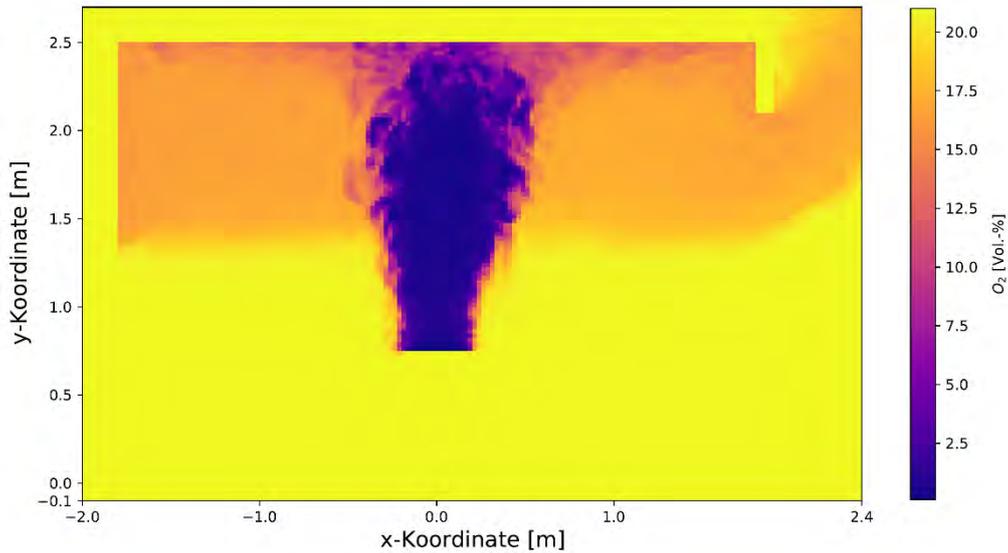
**Abbildung 175** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



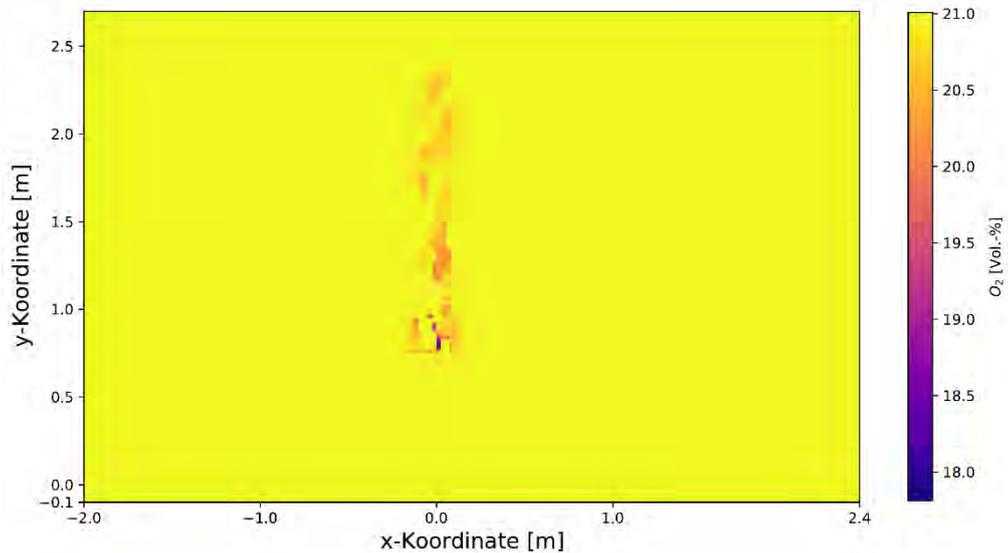
**Abbildung 176** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



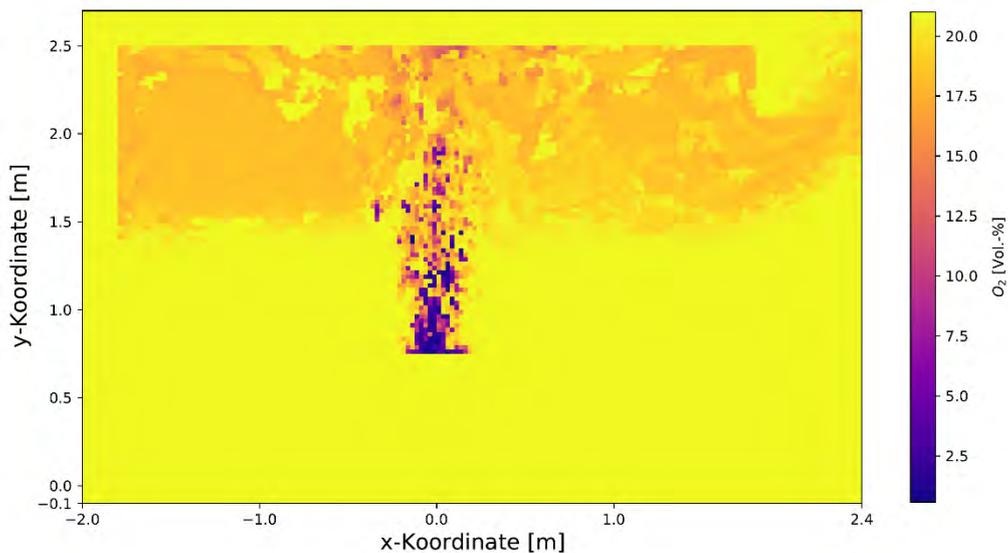
**Abbildung 177** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



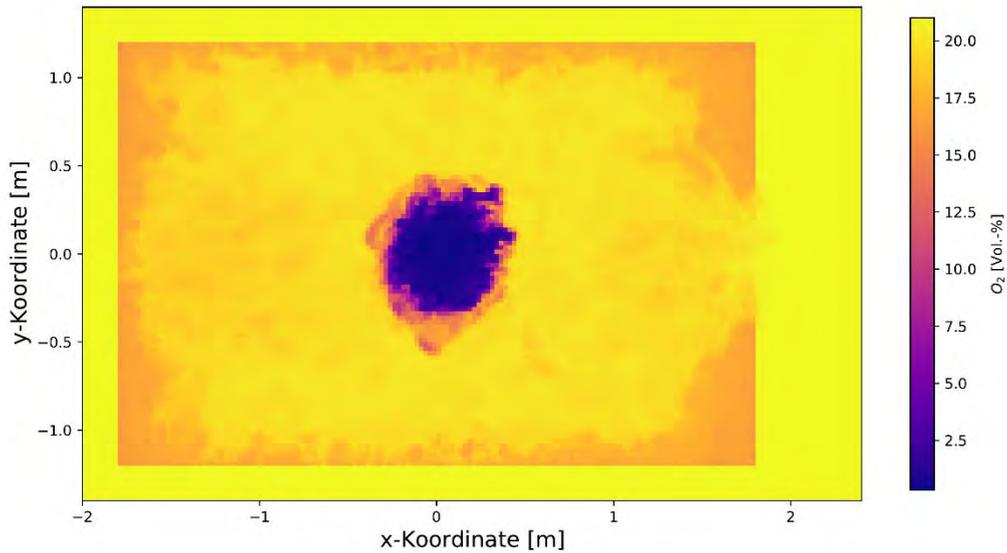
**Abbildung 178** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



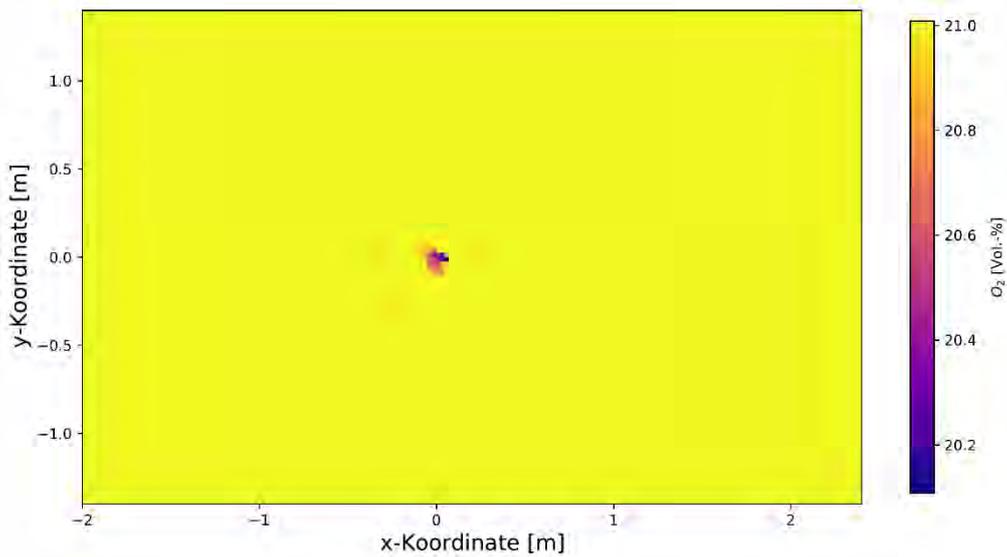
**Abbildung 179** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



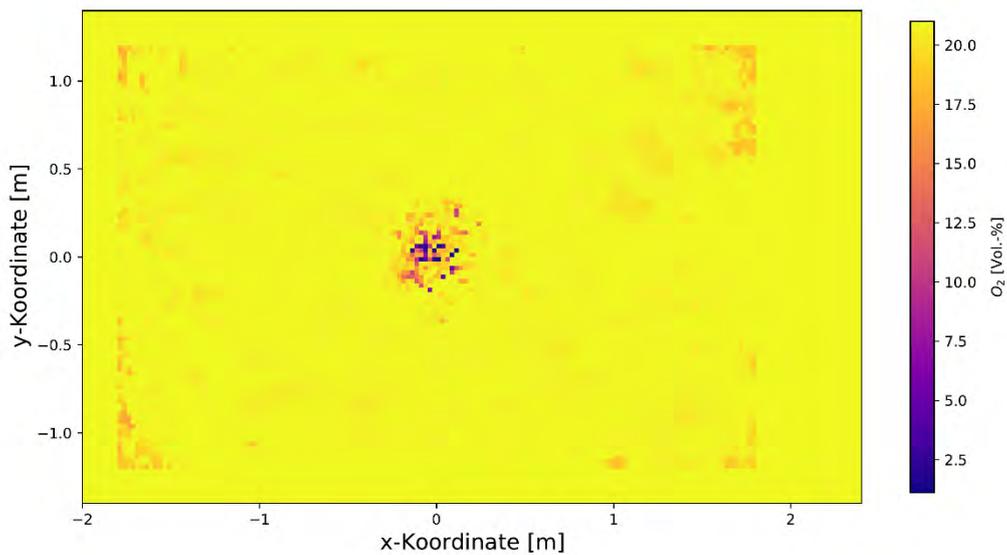
**Abbildung 180** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



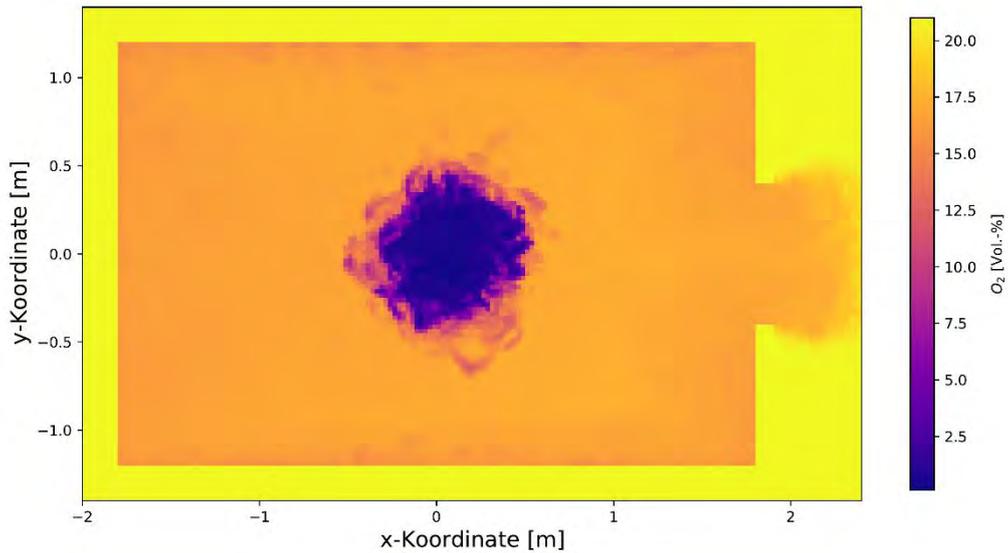
**Abbildung 181** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



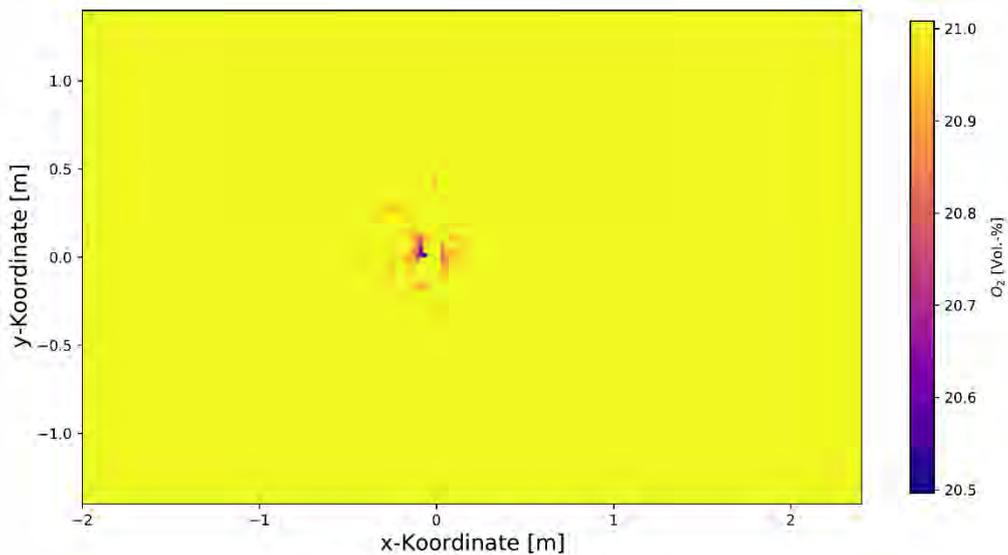
**Abbildung 182** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



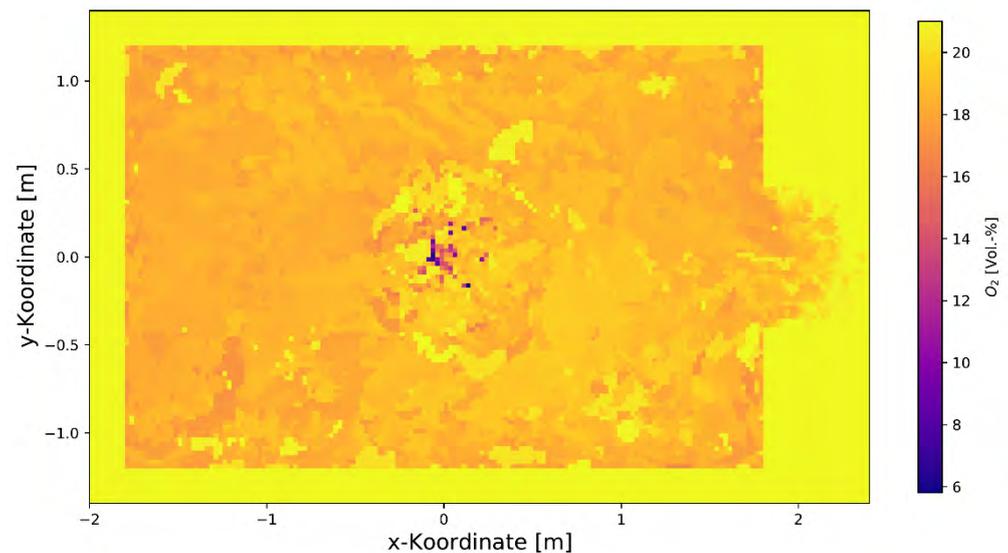
**Abbildung 183** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



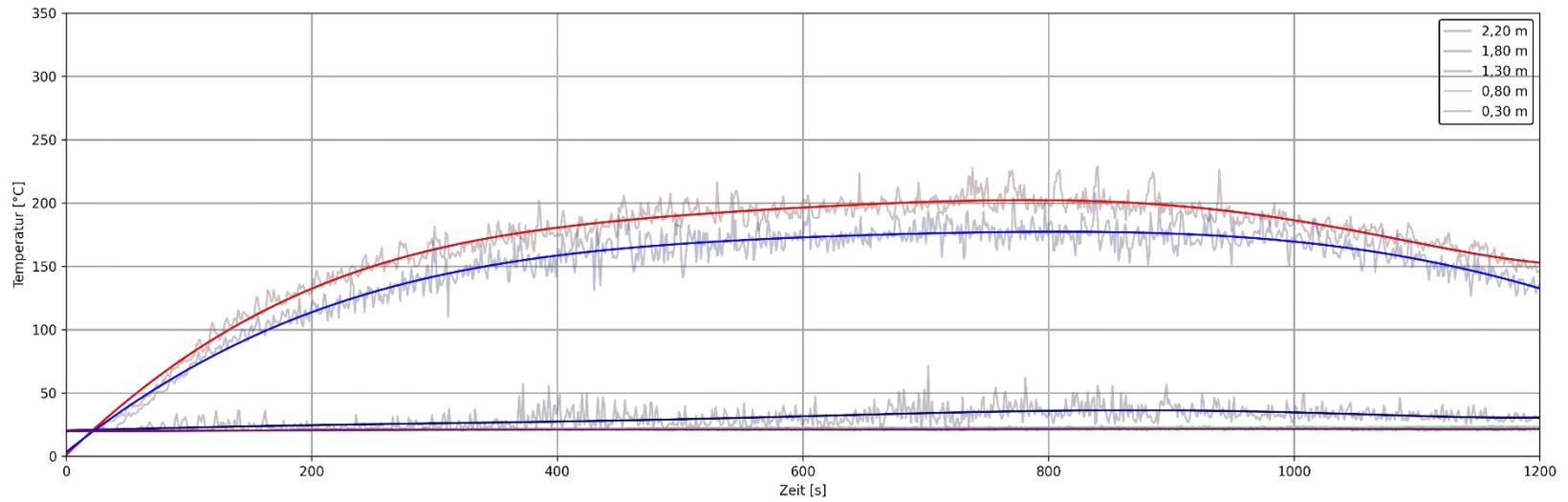
**Abbildung 184** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



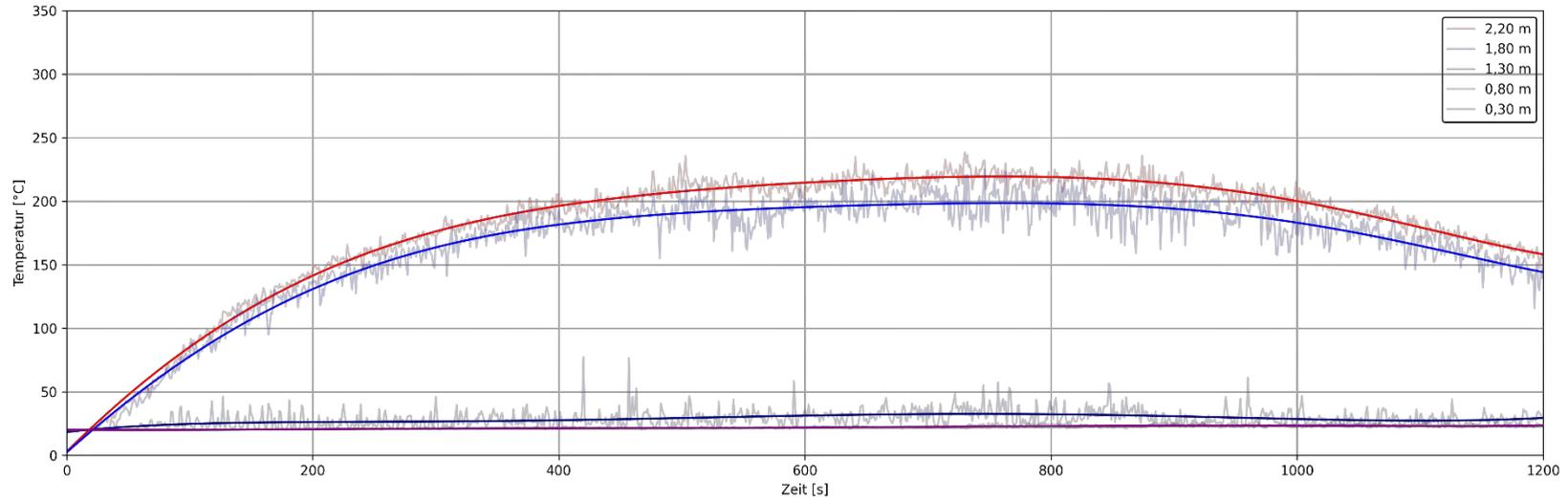
**Abbildung 185** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



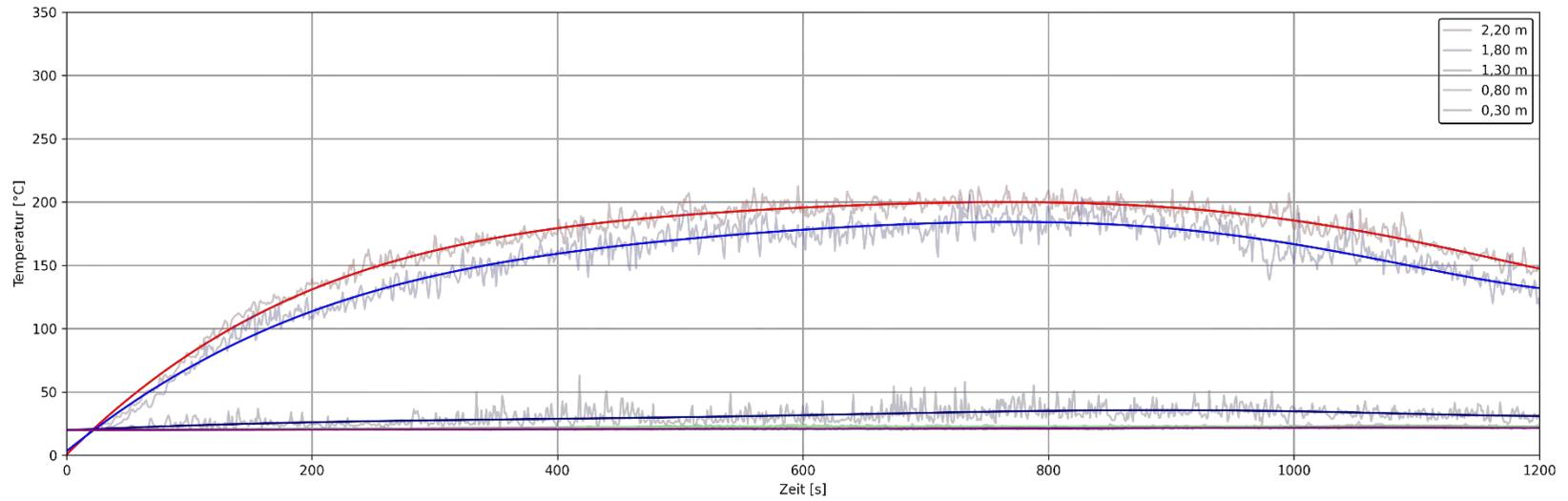
**Abbildung 186** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 2,5 m



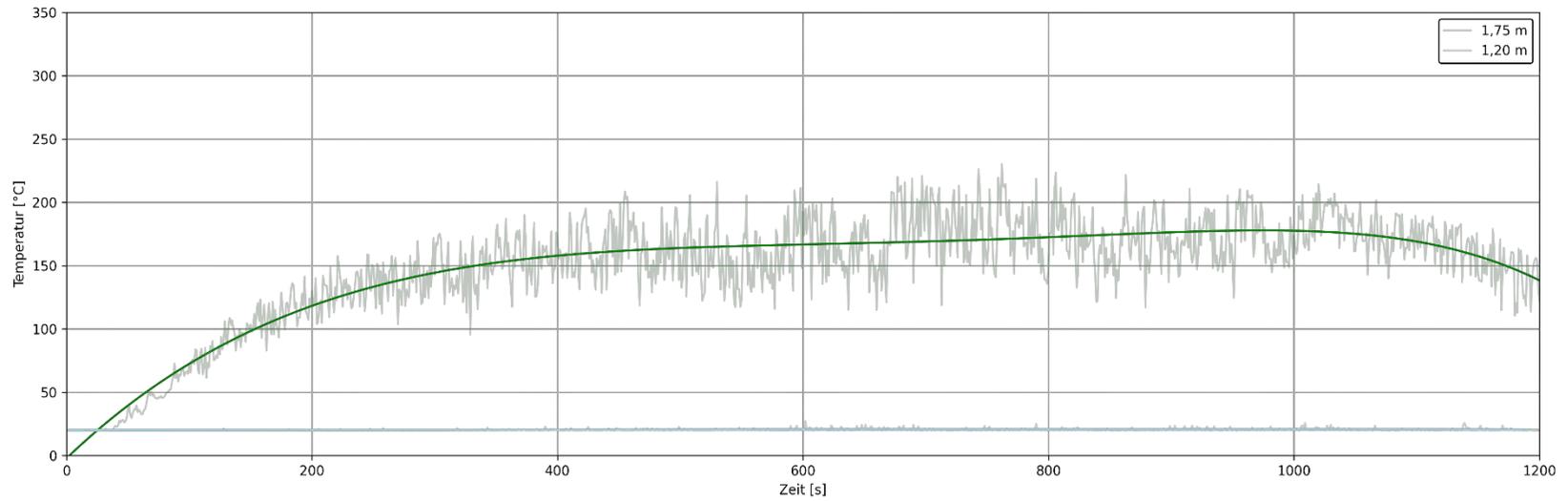
**Abbildung 187** Temperaturverläufe am Messpunkt A der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



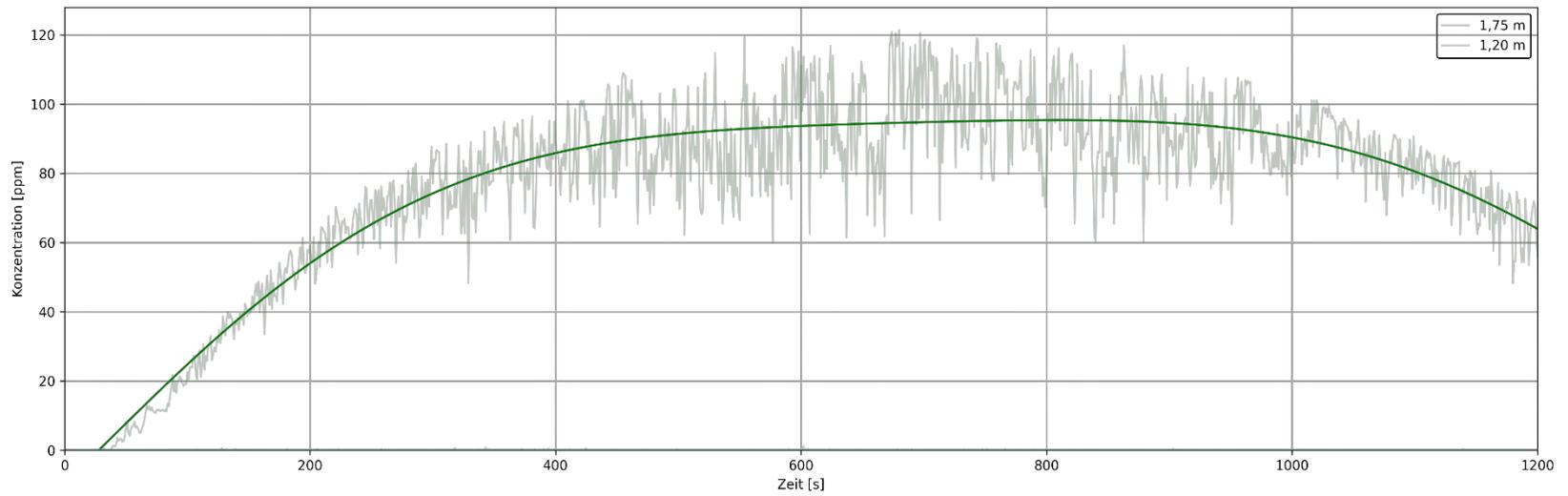
**Abbildung 188** Temperaturverläufe am Messpunkt B der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



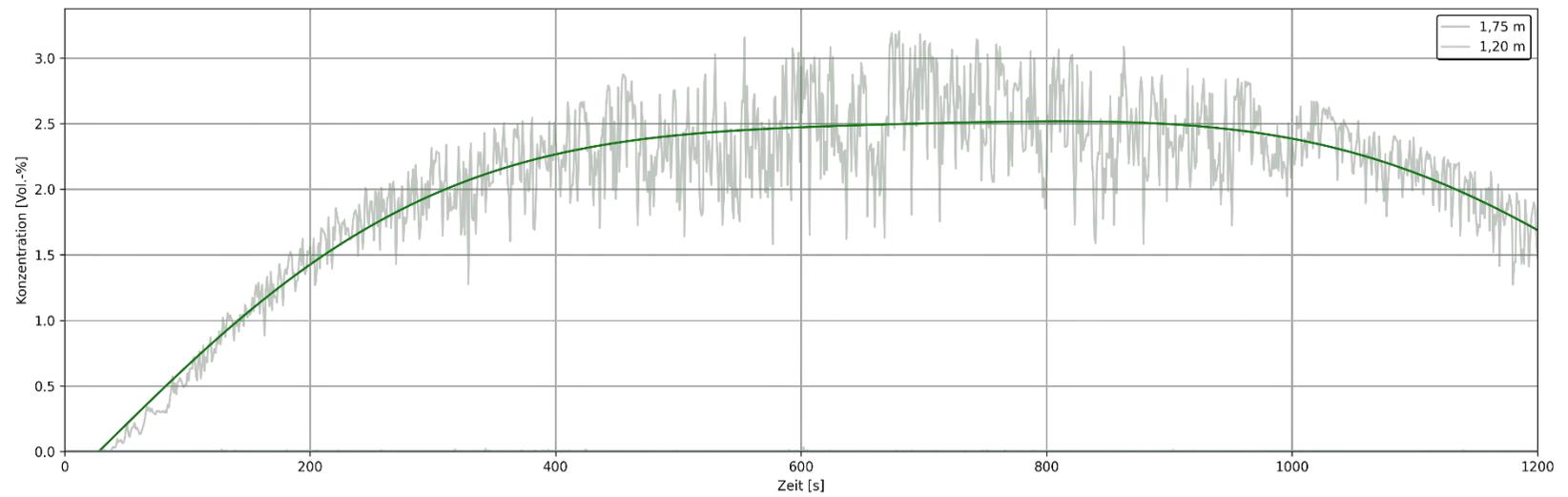
**Abbildung 189** Temperaturverläufe am Messpunkt C der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



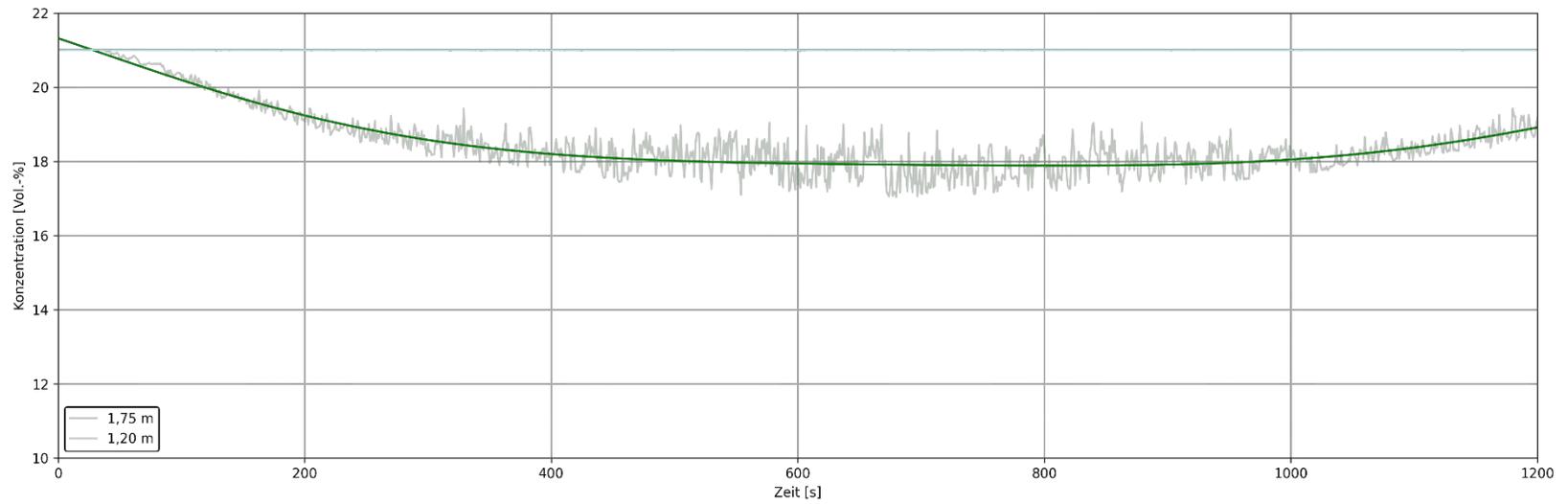
**Abbildung 190** Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



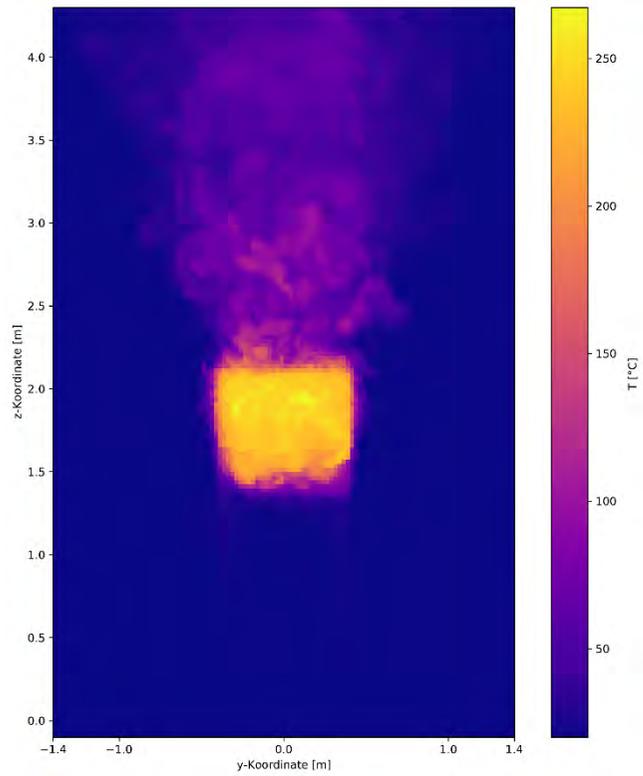
**Abbildung 191** Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



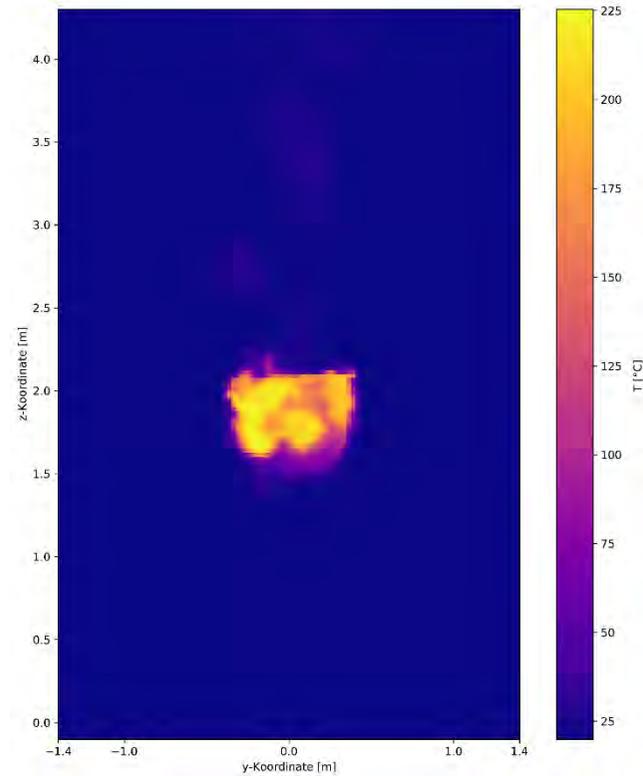
**Abbildung 192** Verläufe der CO<sub>2</sub>-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



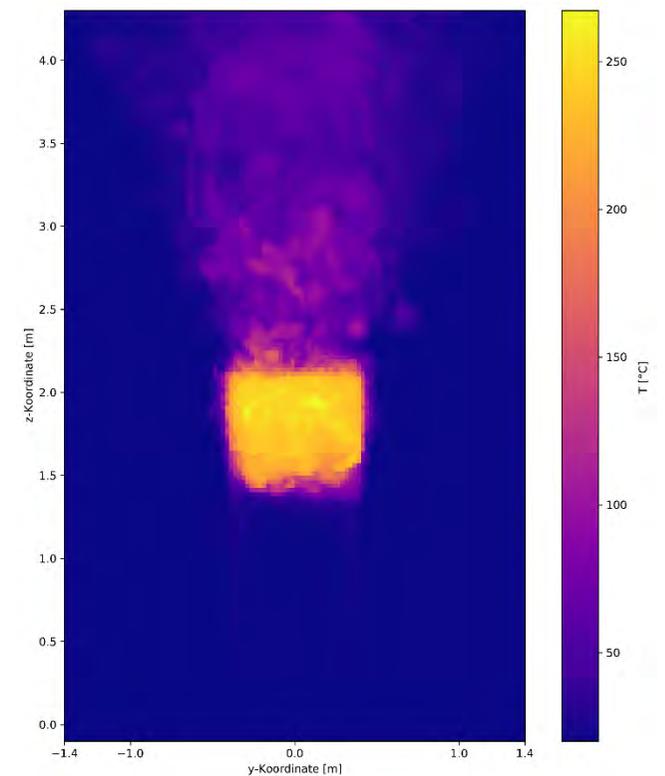
**Abbildung 193** Verläufe der O<sub>2</sub>-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



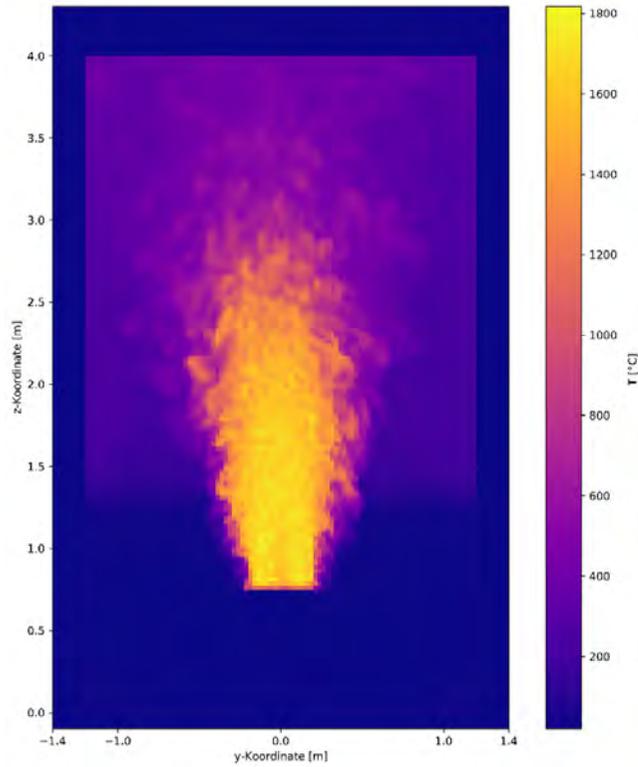
**Abbildung 194** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



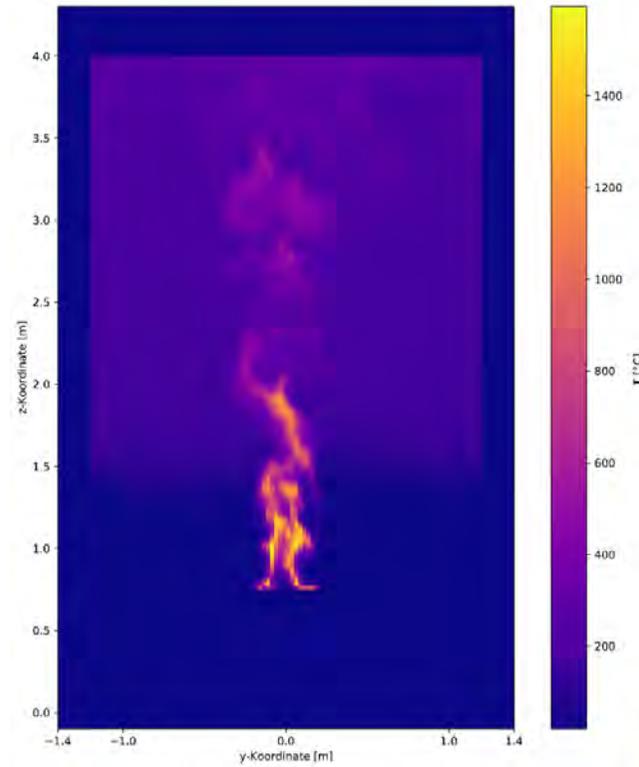
**Abbildung 195** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



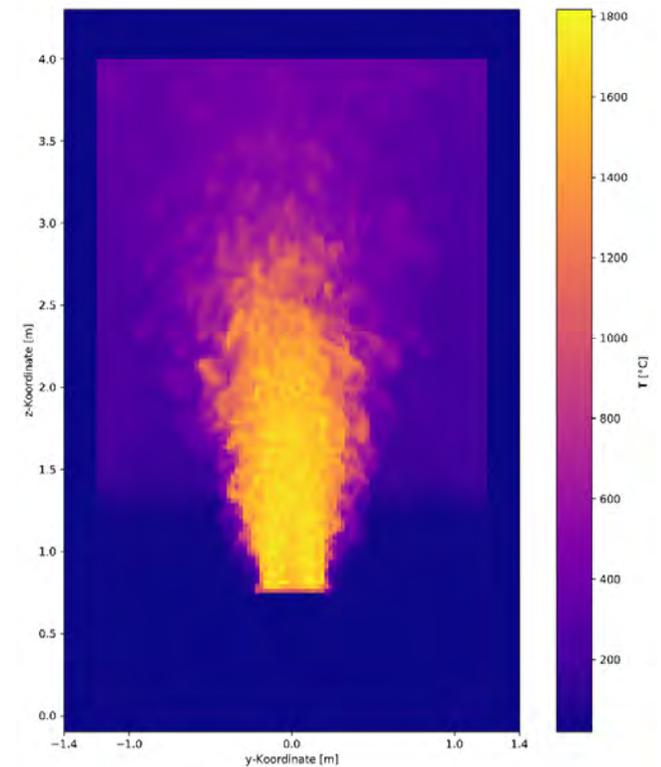
**Abbildung 196** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



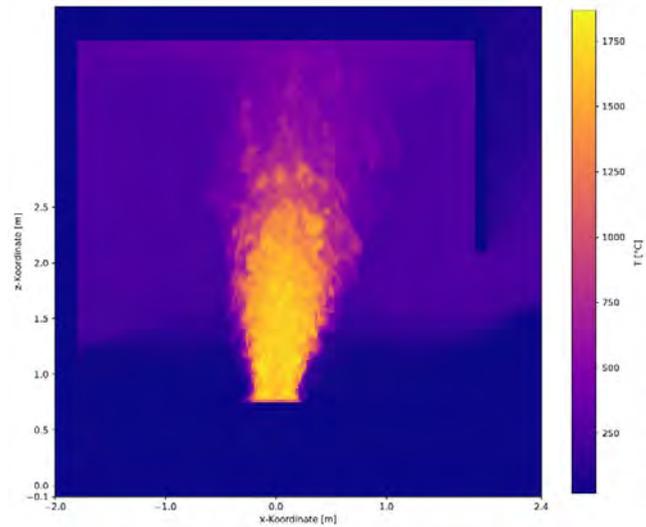
**Abbildung 197** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



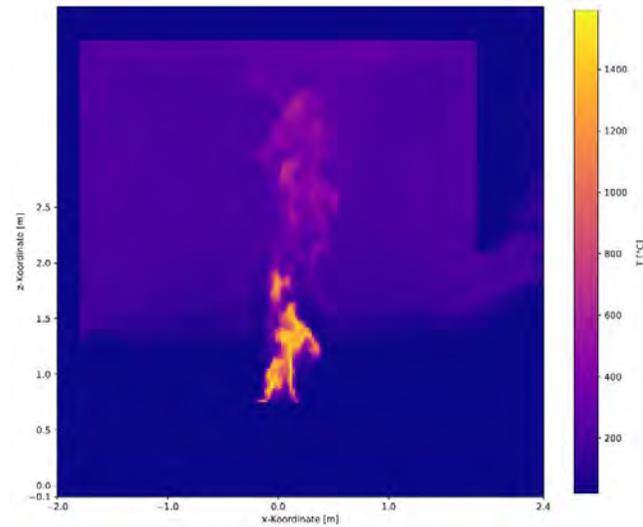
**Abbildung 198** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



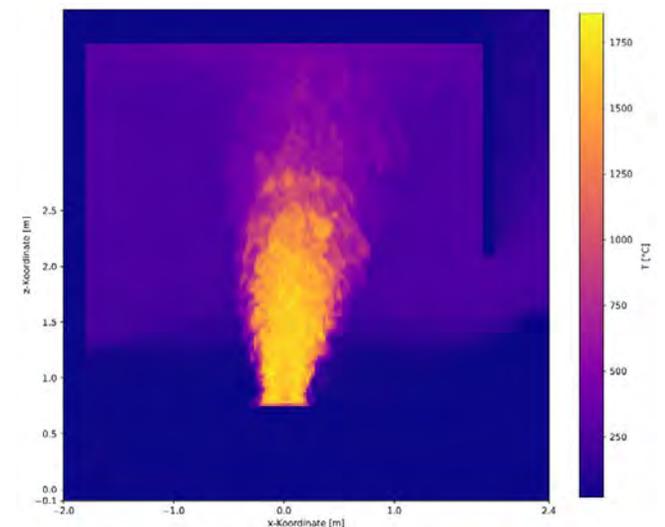
**Abbildung 199** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



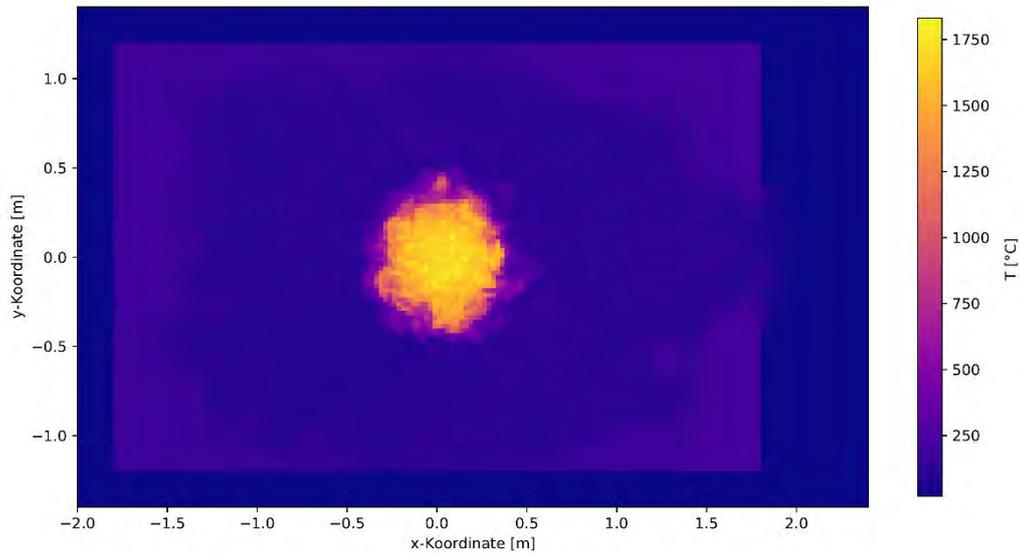
**Abbildung 200** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



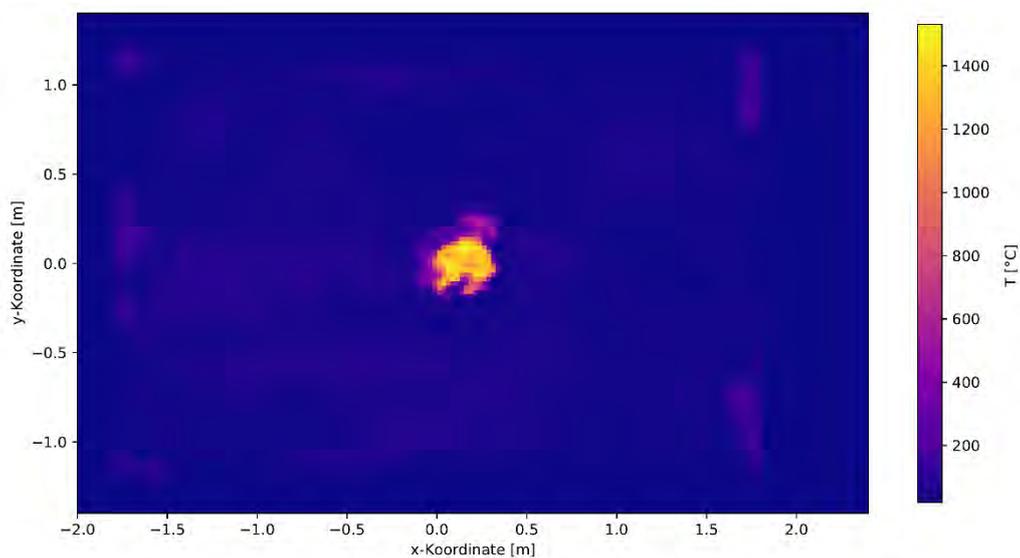
**Abbildung 201** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



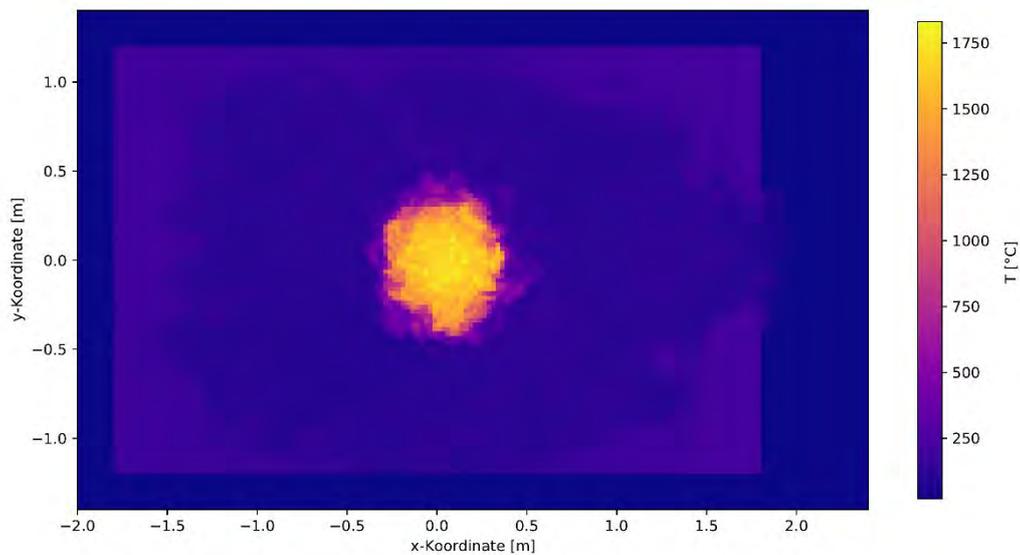
**Abbildung 202** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



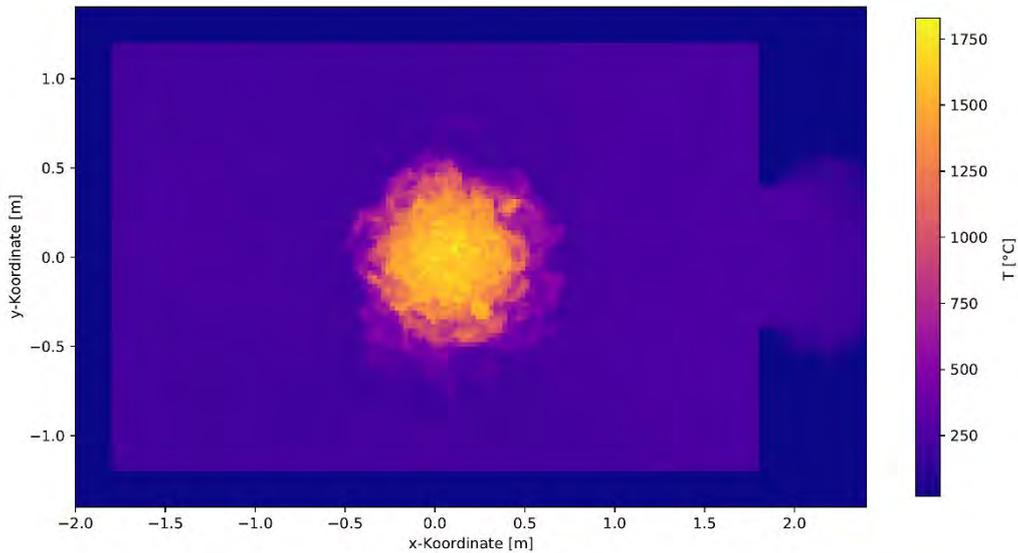
**Abbildung 203** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



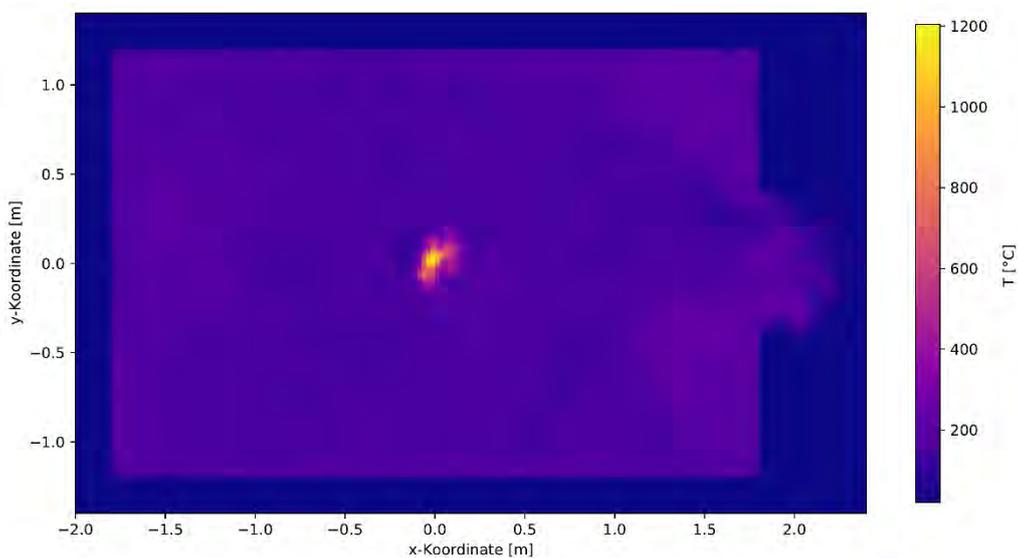
**Abbildung 204** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



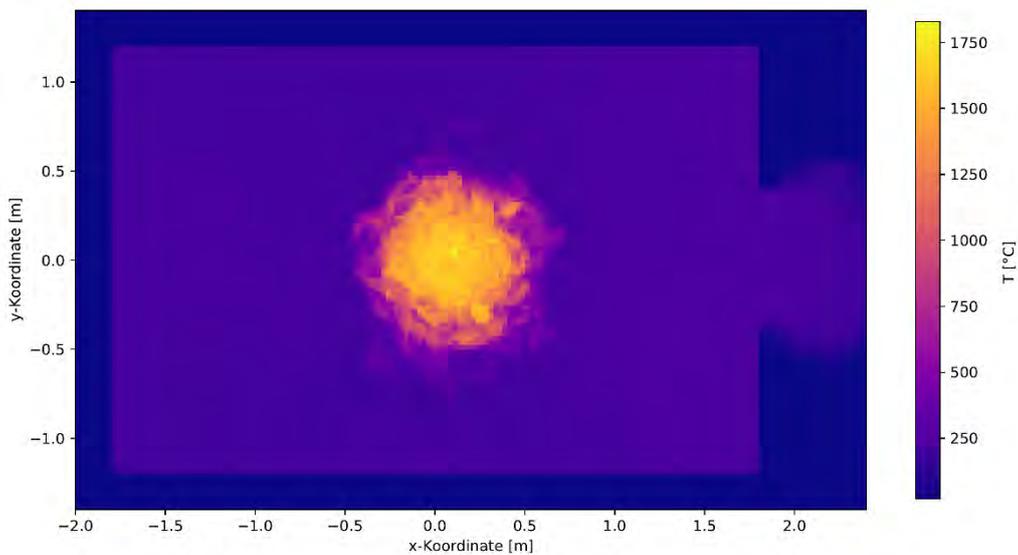
**Abbildung 205** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



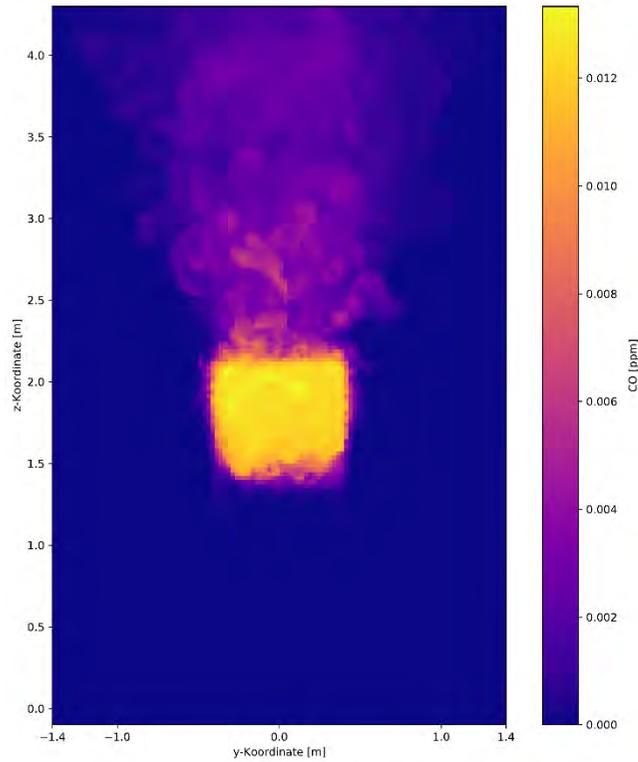
**Abbildung 206** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



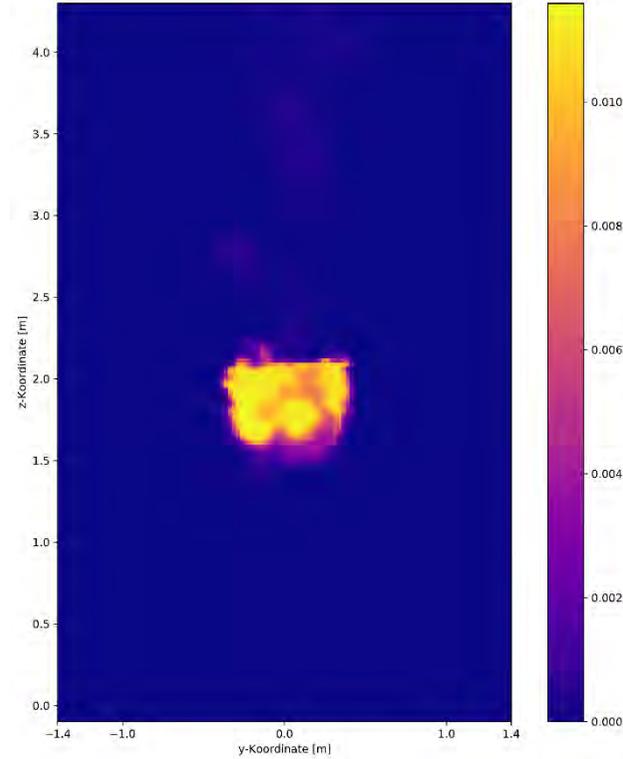
**Abbildung 207** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



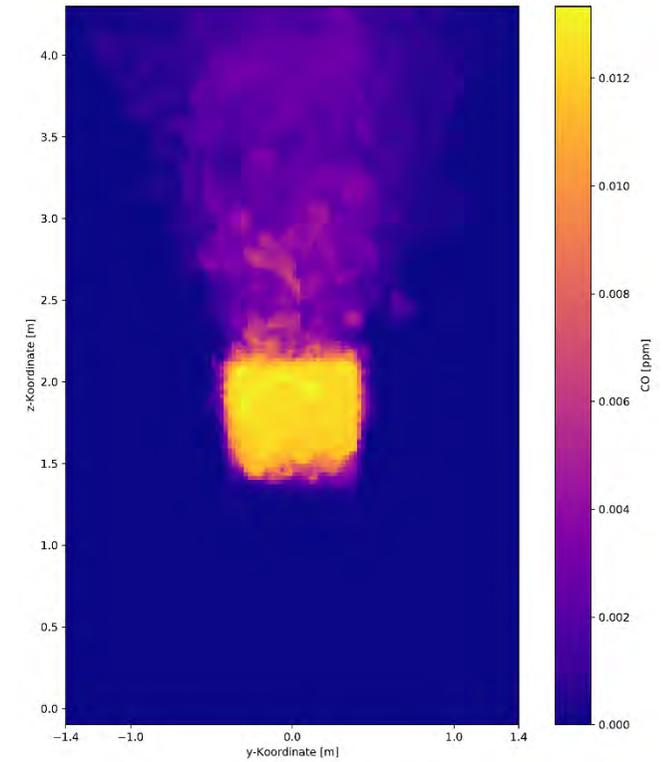
**Abbildung 208** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



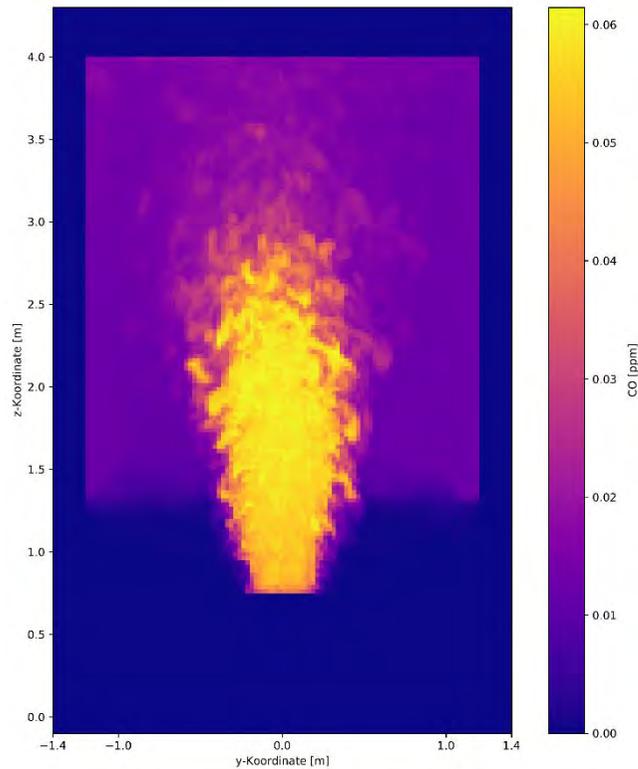
**Abbildung 209** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



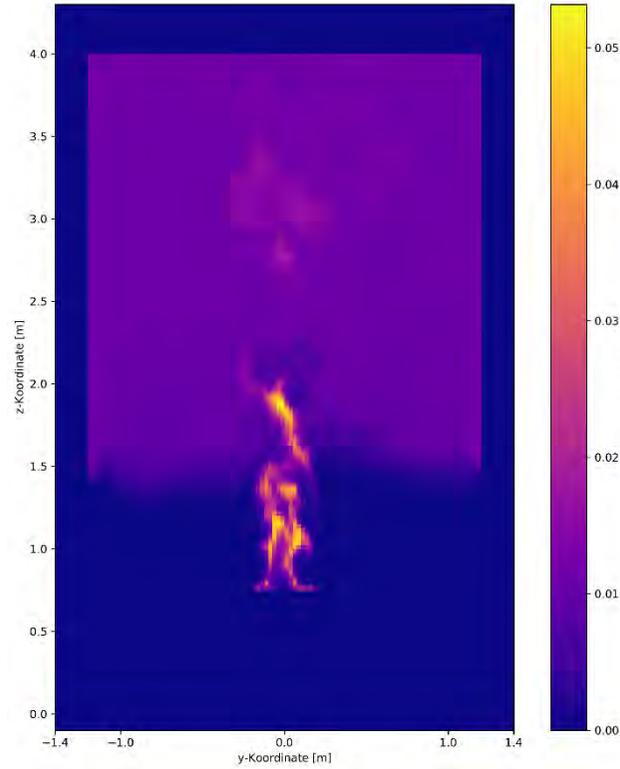
**Abbildung 210** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



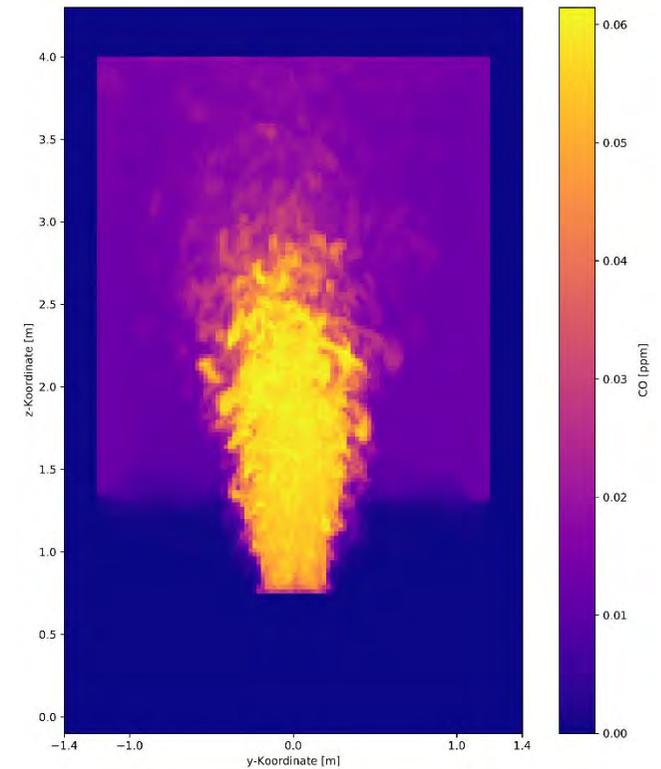
**Abbildung 211** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



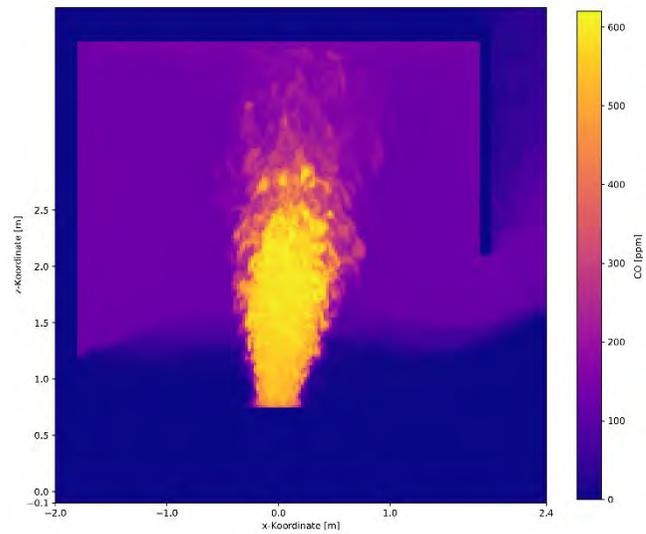
**Abbildung 212** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



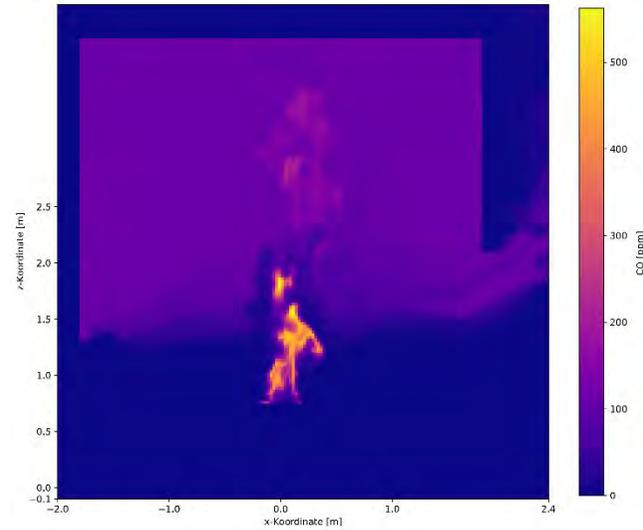
**Abbildung 213** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



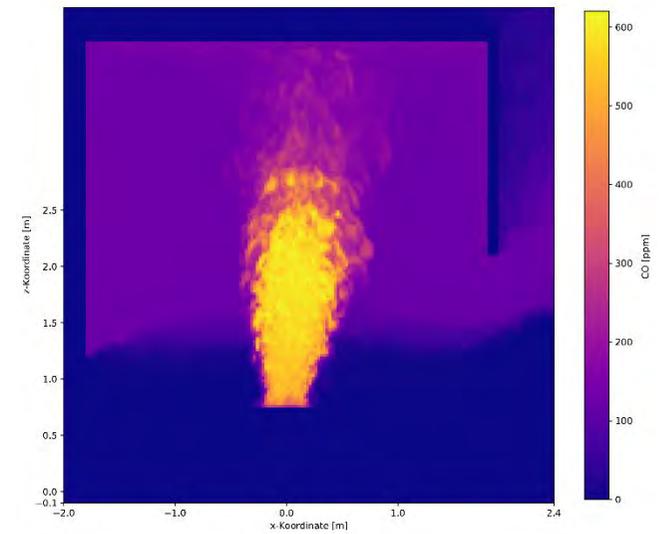
**Abbildung 214** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



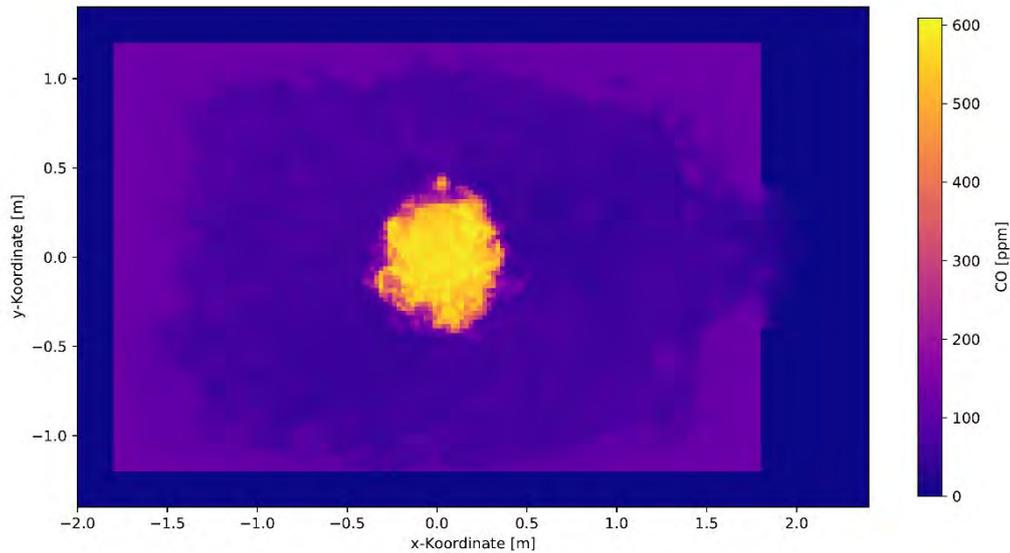
**Abbildung 215** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



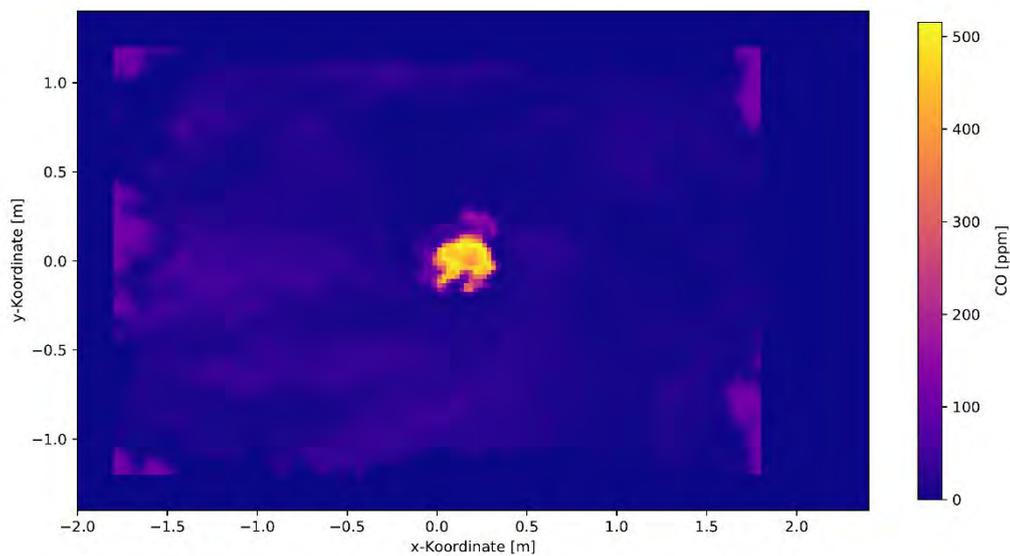
**Abbildung 216** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



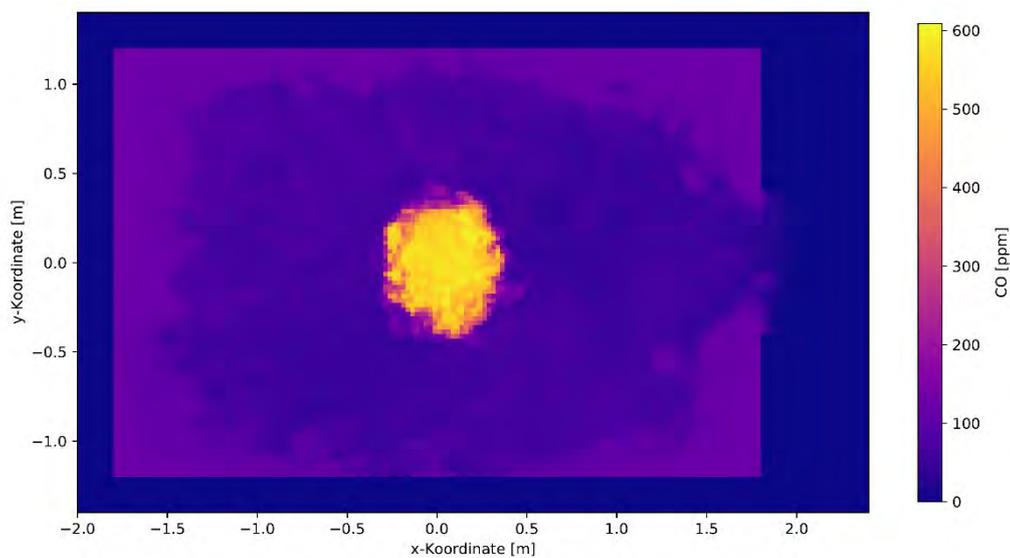
**Abbildung 217** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



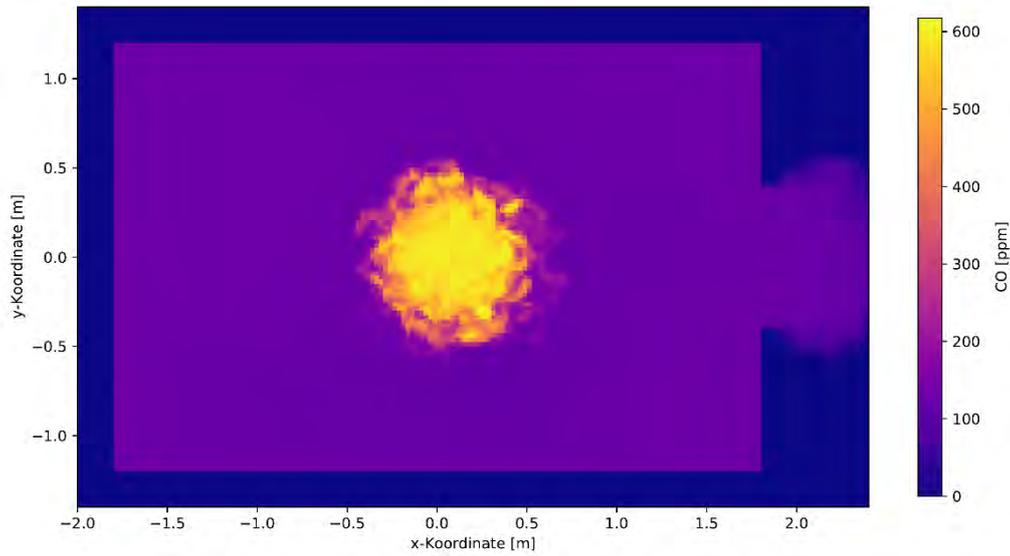
**Abbildung 218** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



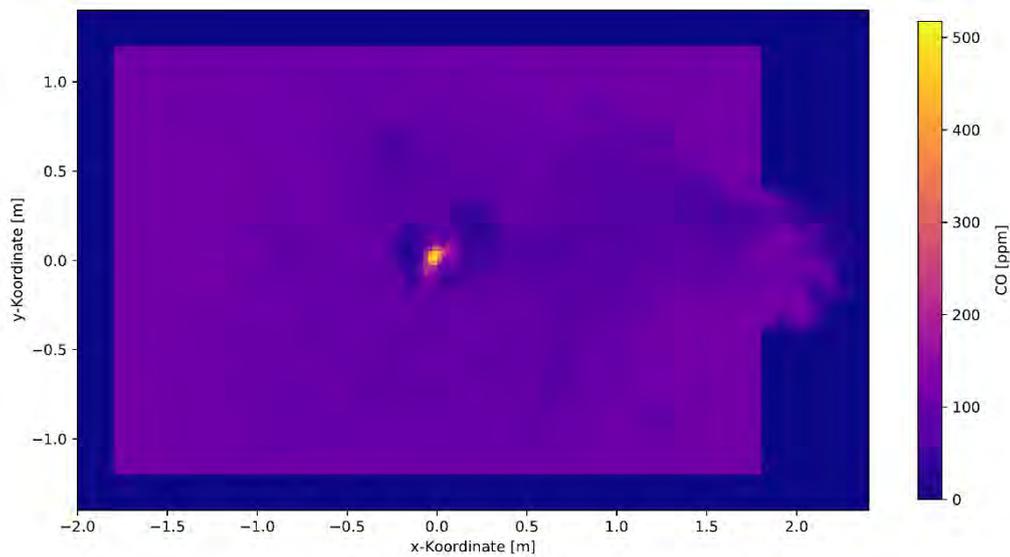
**Abbildung 219** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



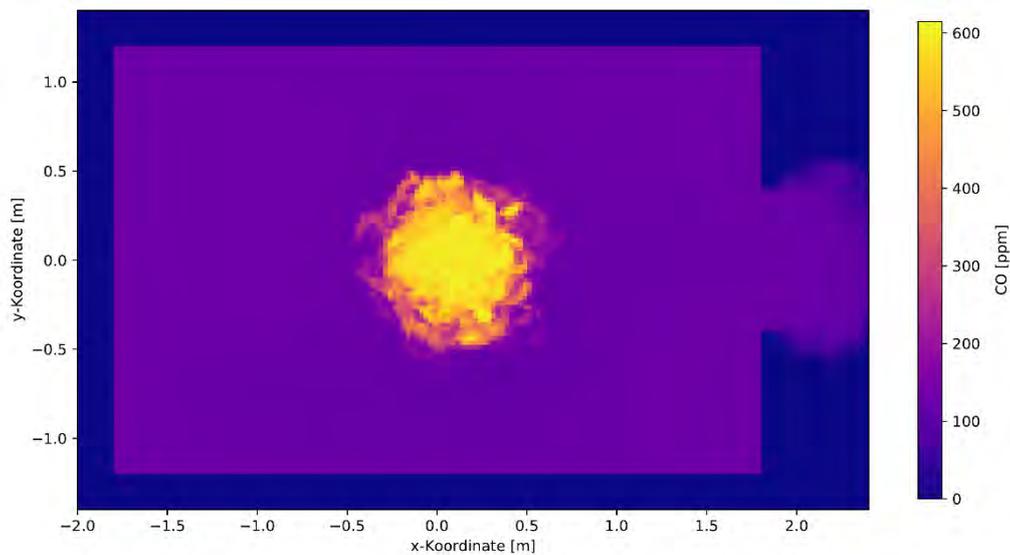
**Abbildung 220** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



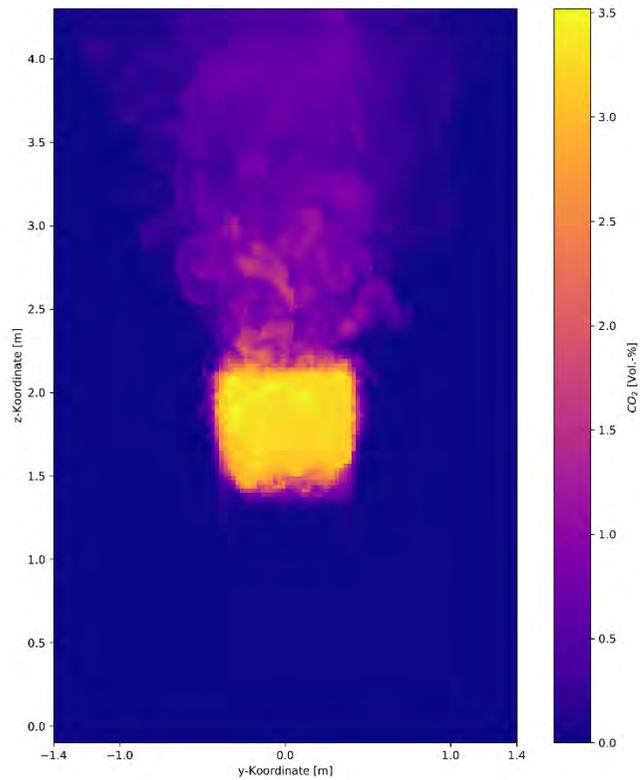
**Abbildung 221** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



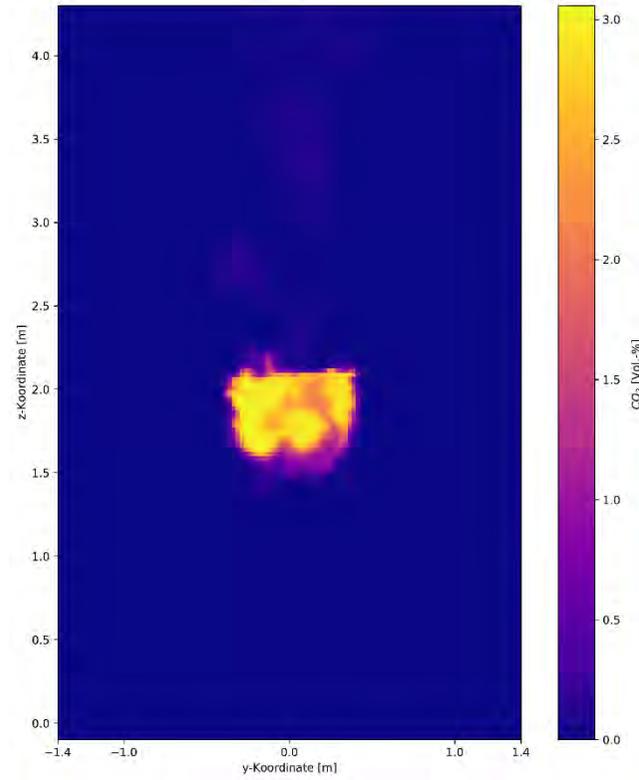
**Abbildung 222** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



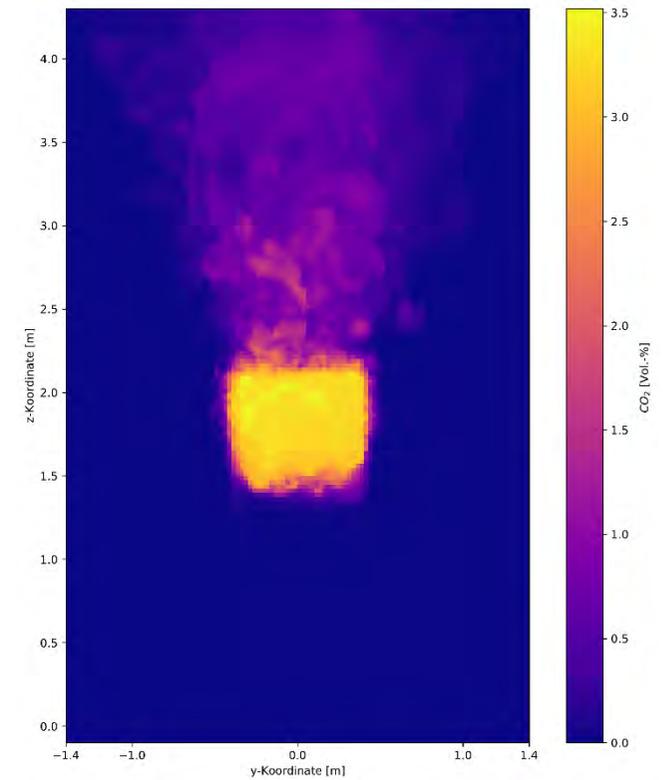
**Abbildung 223** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



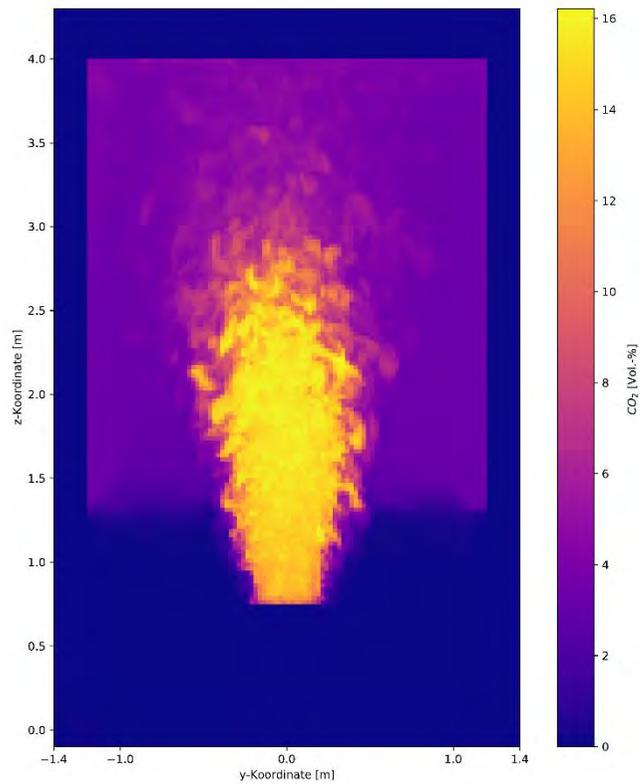
**Abbildung 224** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



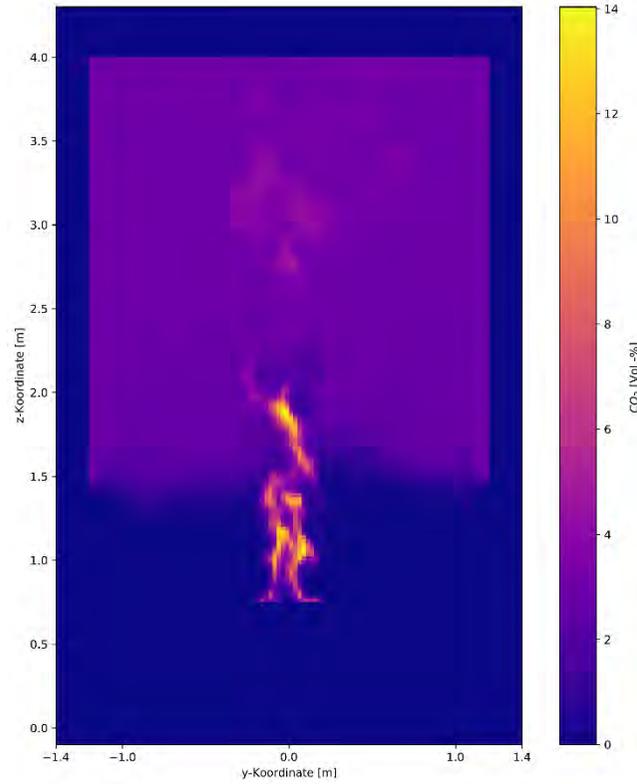
**Abbildung 225** Verteilung der Konzentration von CO<sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



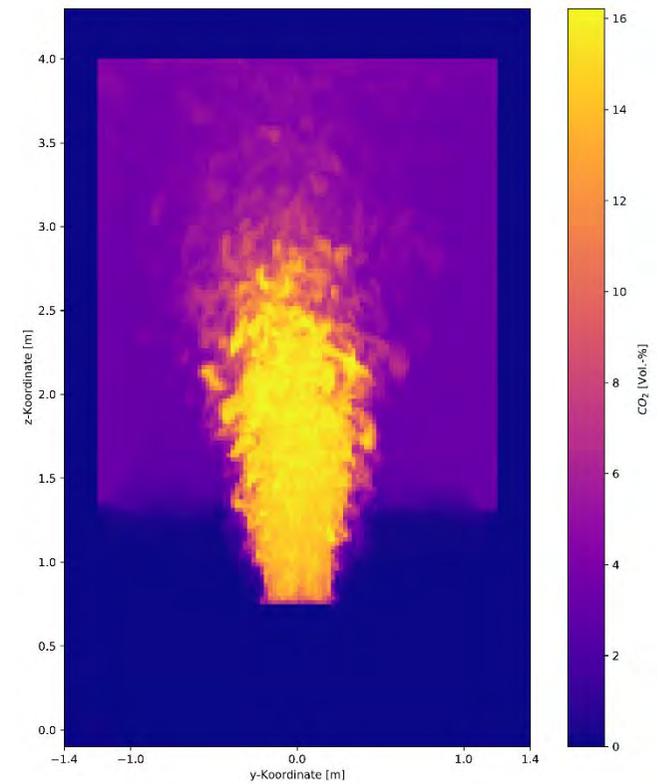
**Abbildung 226** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



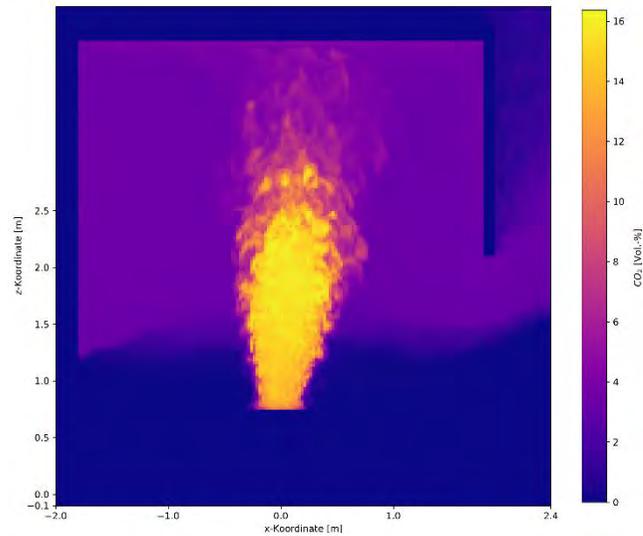
**Abbildung 227** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



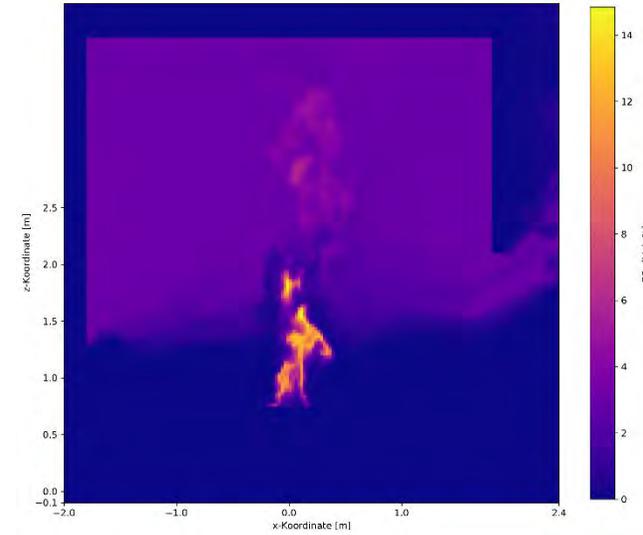
**Abbildung 228** Verteilung der Konzentration von CO<sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



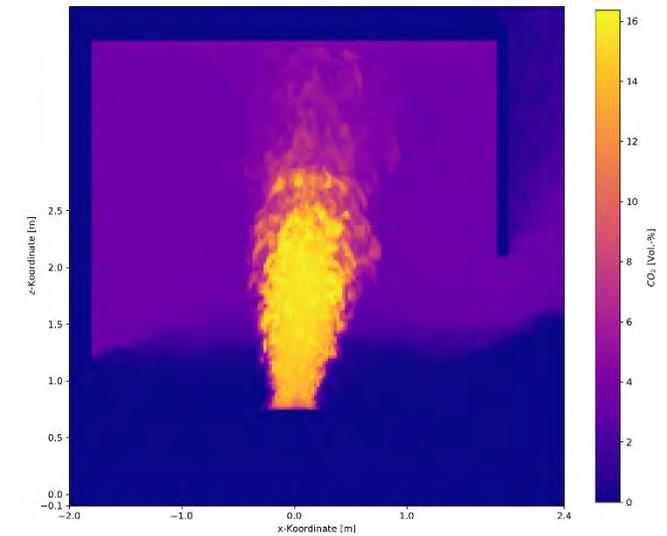
**Abbildung 229** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



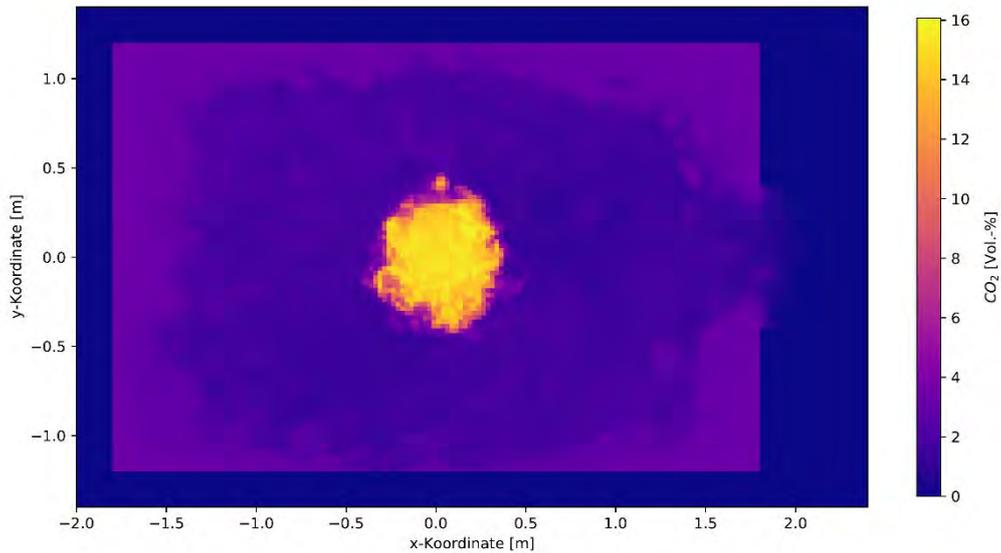
**Abbildung 230** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



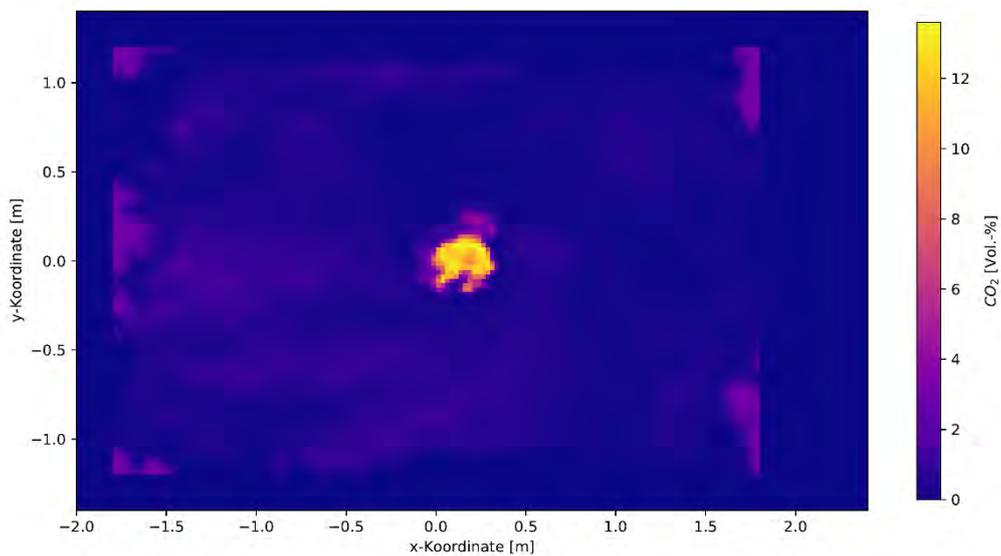
**Abbildung 231** Verteilung der Konzentration von  $\text{CO}_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



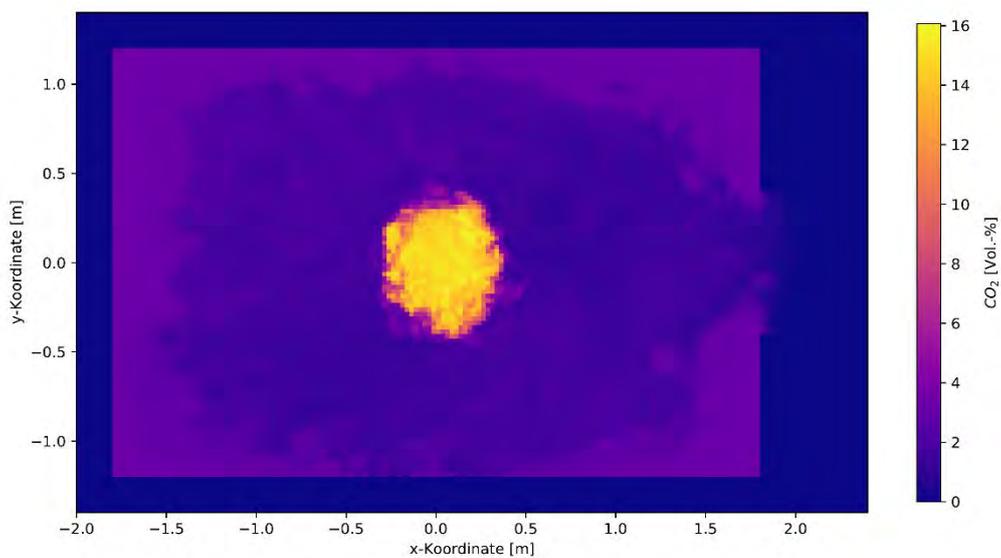
**Abbildung 232** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



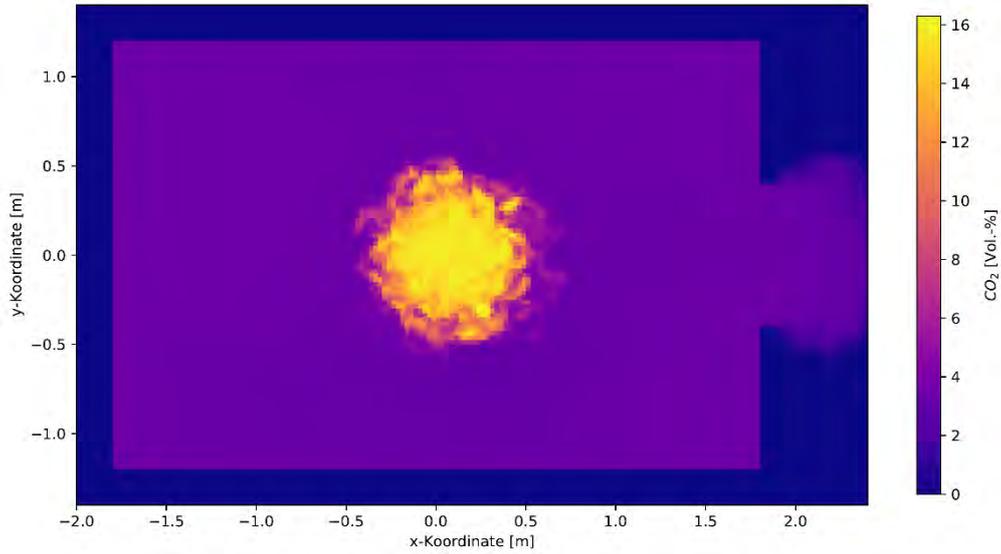
**Abbildung 233** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



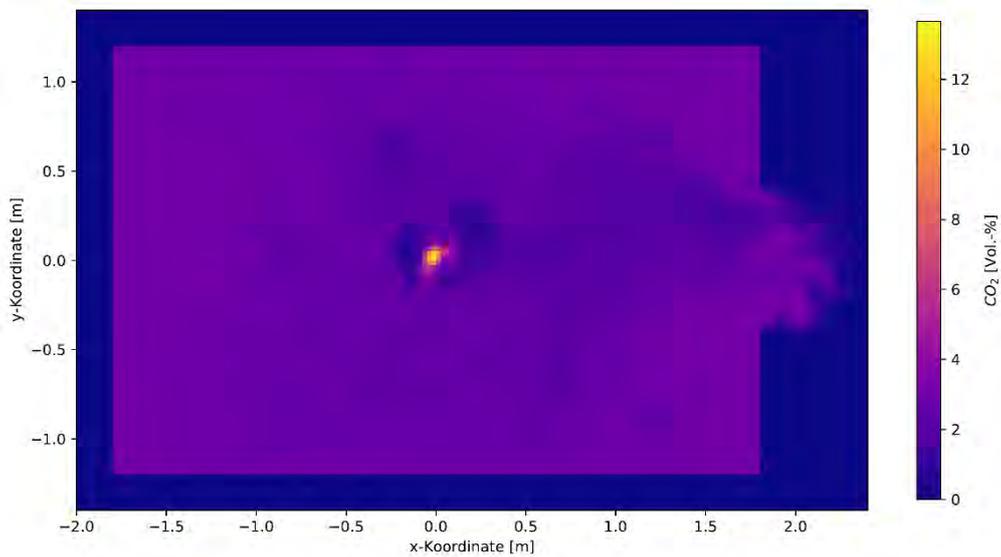
**Abbildung 234** Verteilung der Konzentration von CO<sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



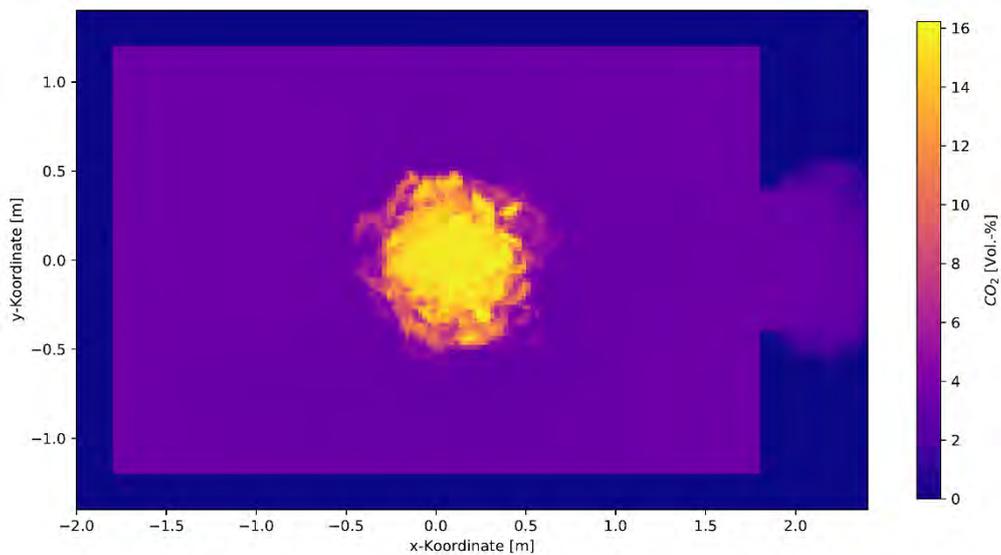
**Abbildung 235** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,35 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



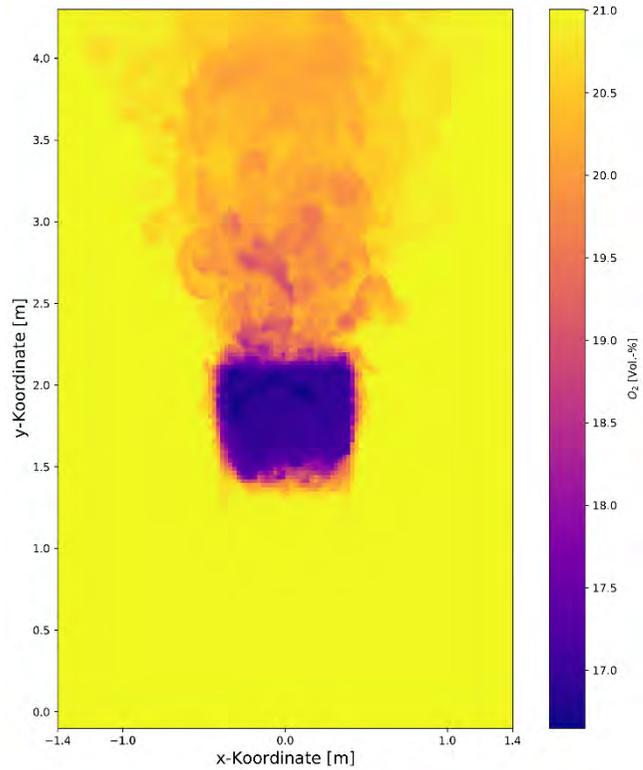
**Abbildung 236** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



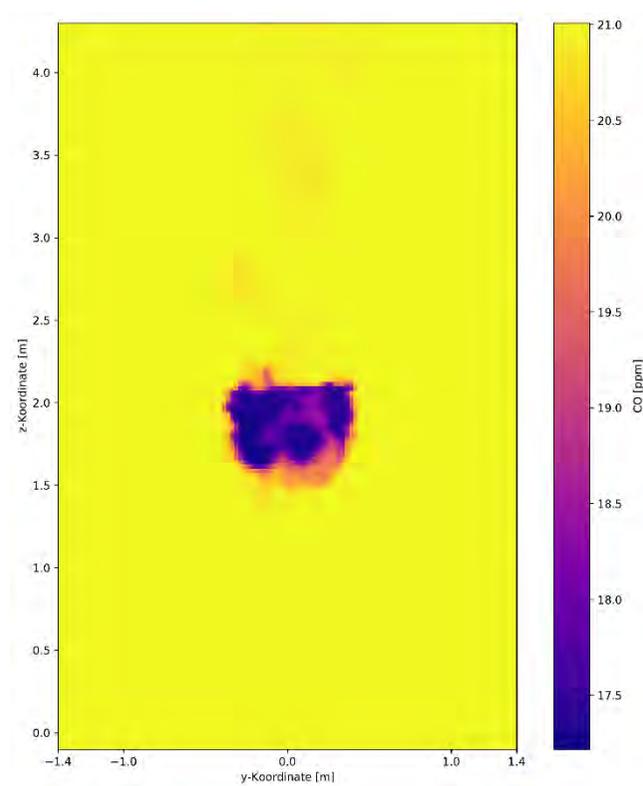
**Abbildung 237** Verteilung der Konzentration von CO<sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



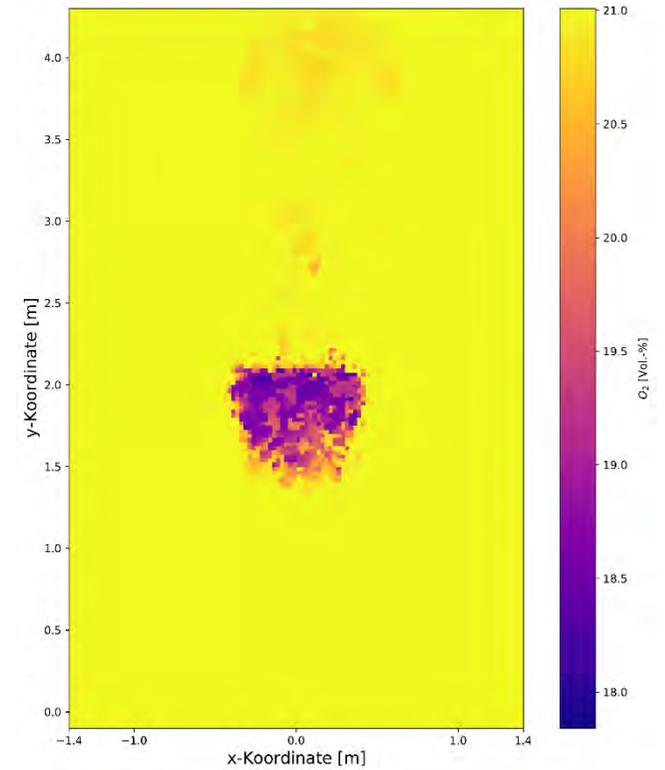
**Abbildung 238** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



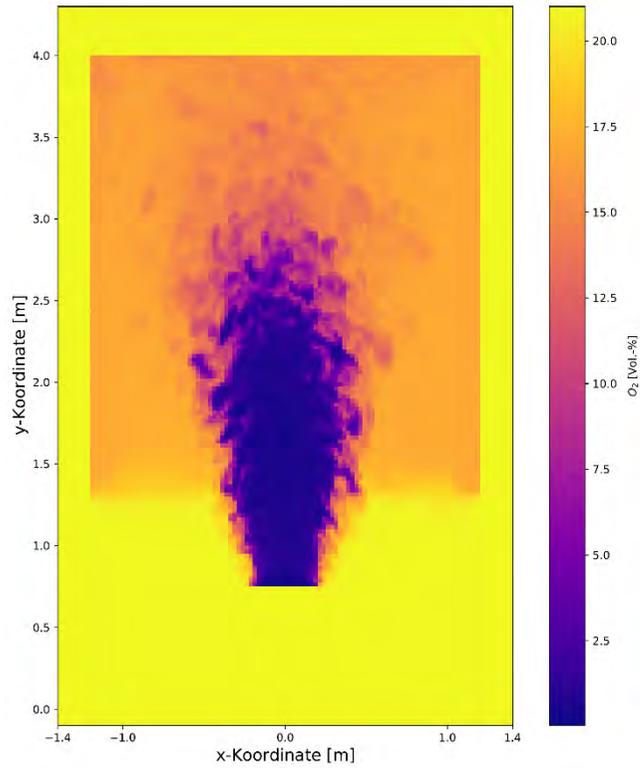
**Abbildung 239** Verteilung der minimalen Konzentration von O2 über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



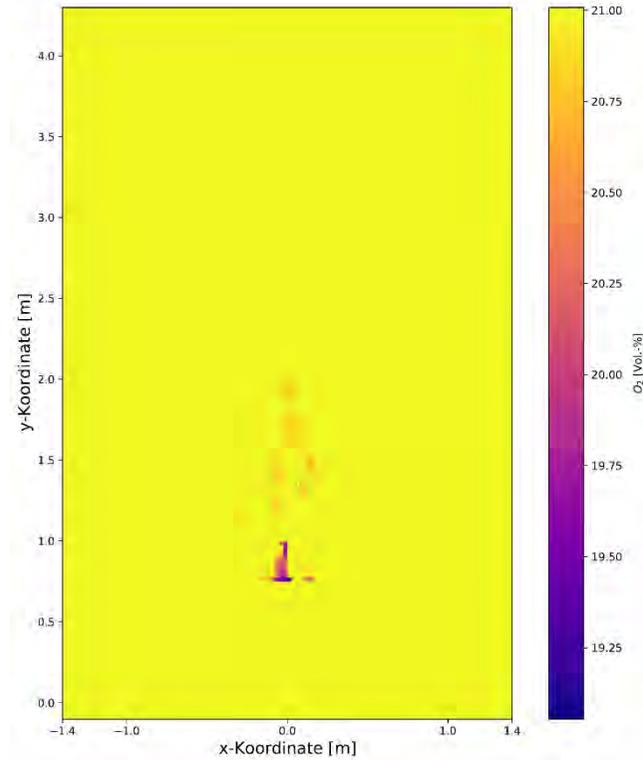
**Abbildung 240** Verteilung der Konzentration von O2 nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



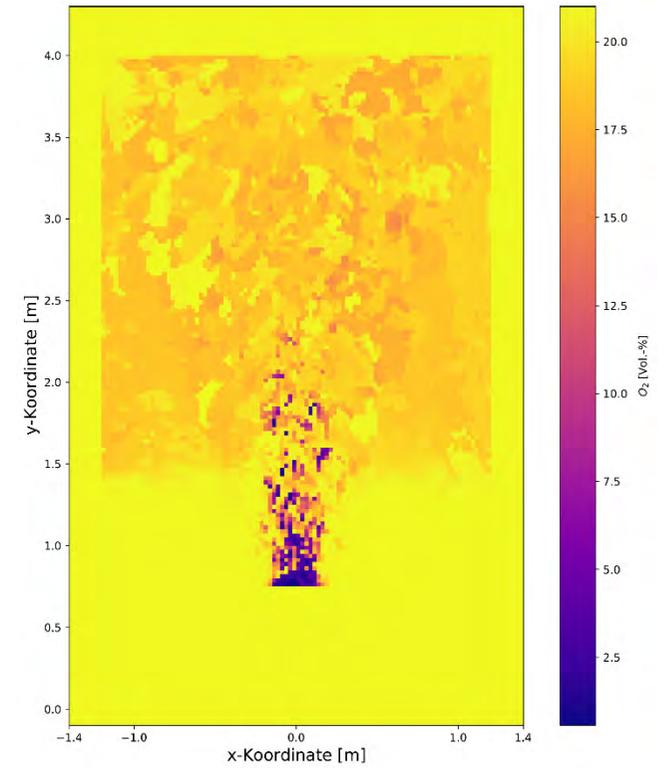
**Abbildung 241** Verteilung der minimalen Konzentration von O2 im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



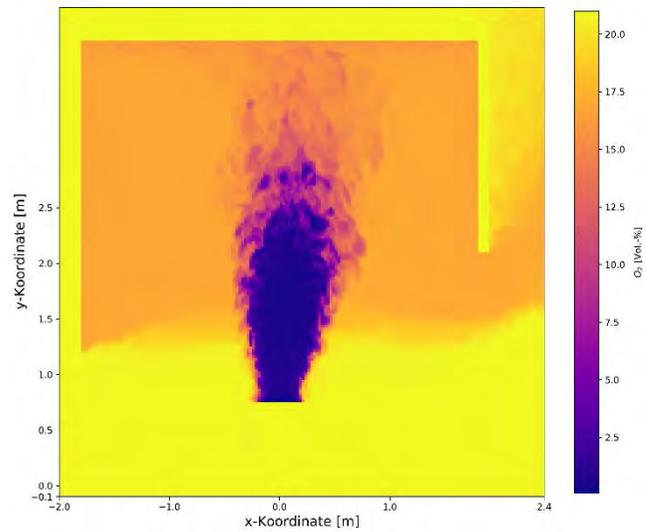
**Abbildung 242** Verteilung der minimalen Konzentration von O<sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



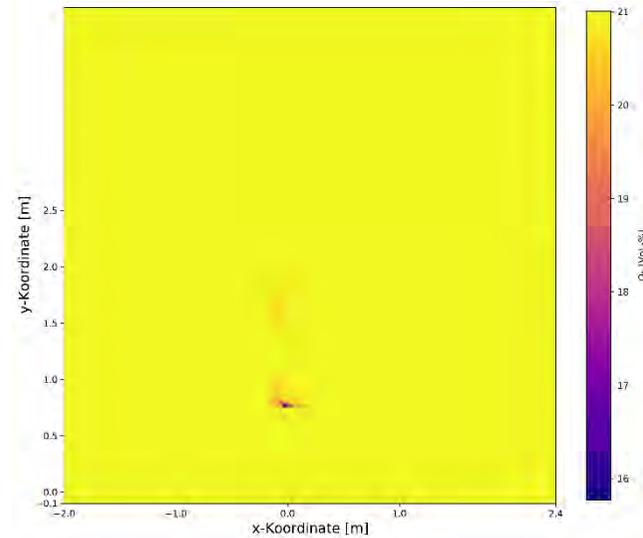
**Abbildung 243** Verteilung der Konzentration von O<sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



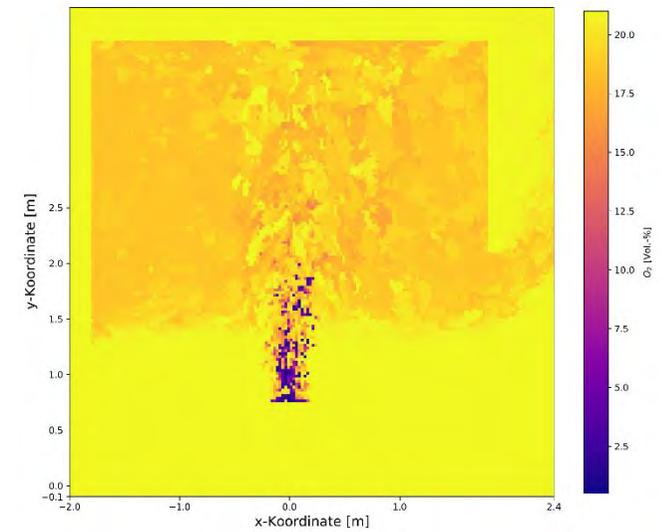
**Abbildung 244** Verteilung der minimalen Konzentration von O<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



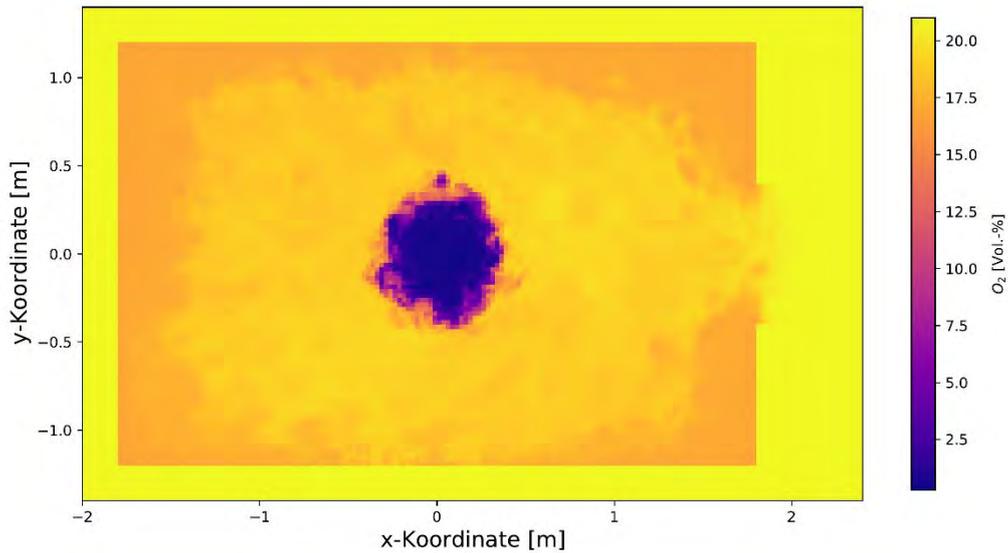
**Abbildung 245** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



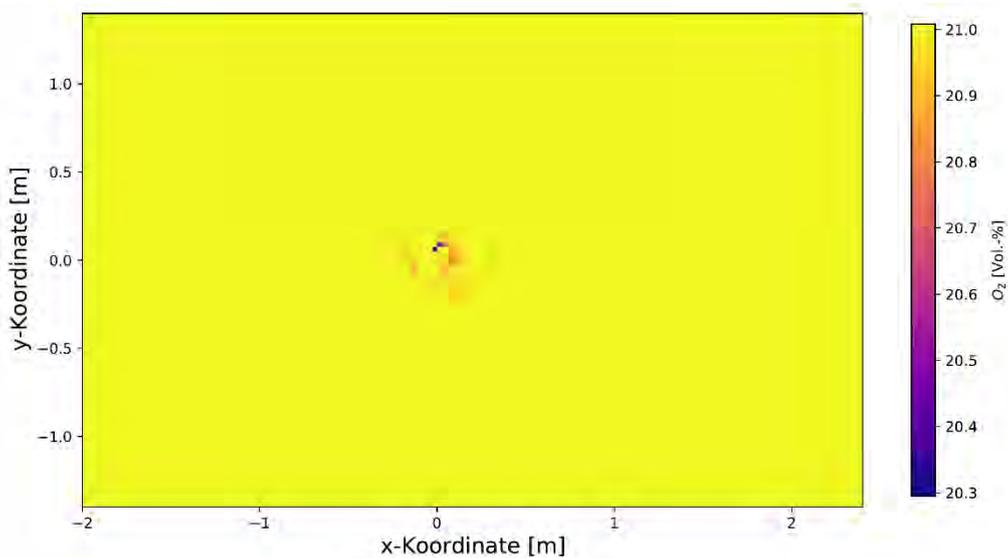
**Abbildung 246** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



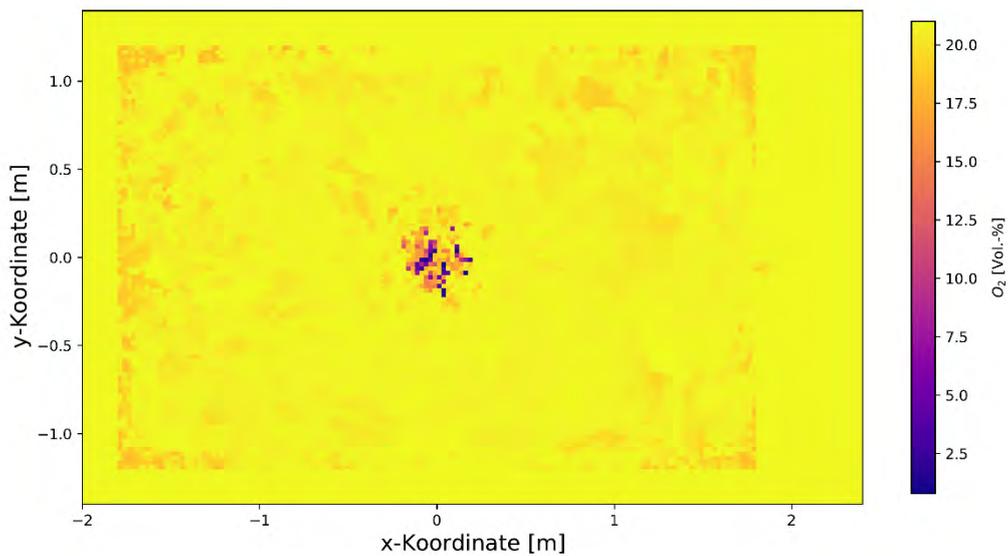
**Abbildung 247** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



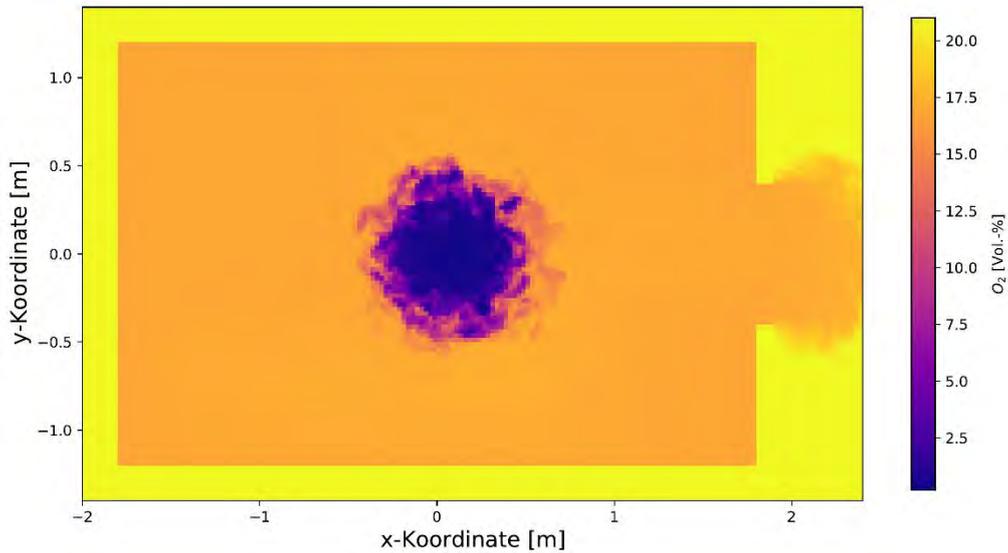
**Abbildung 248** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



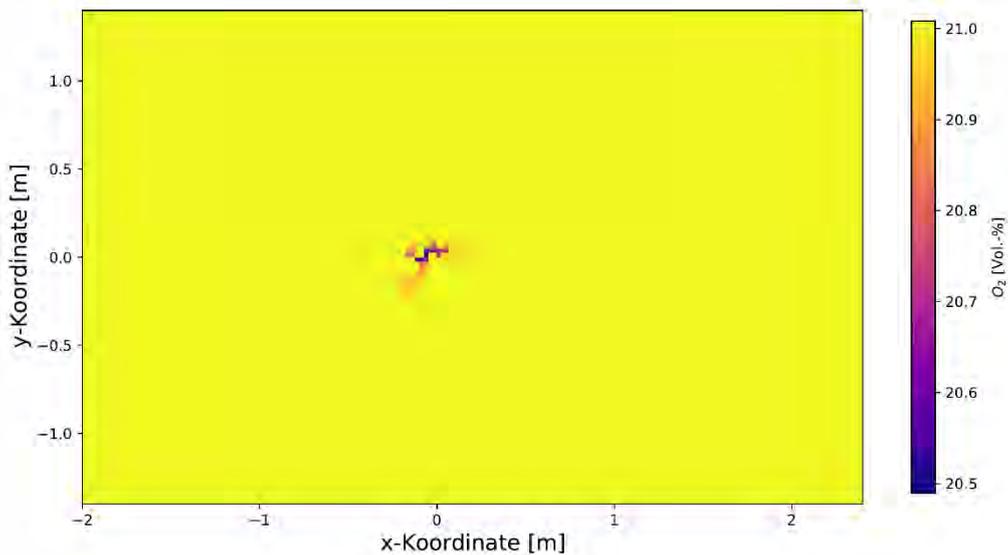
**Abbildung 249** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



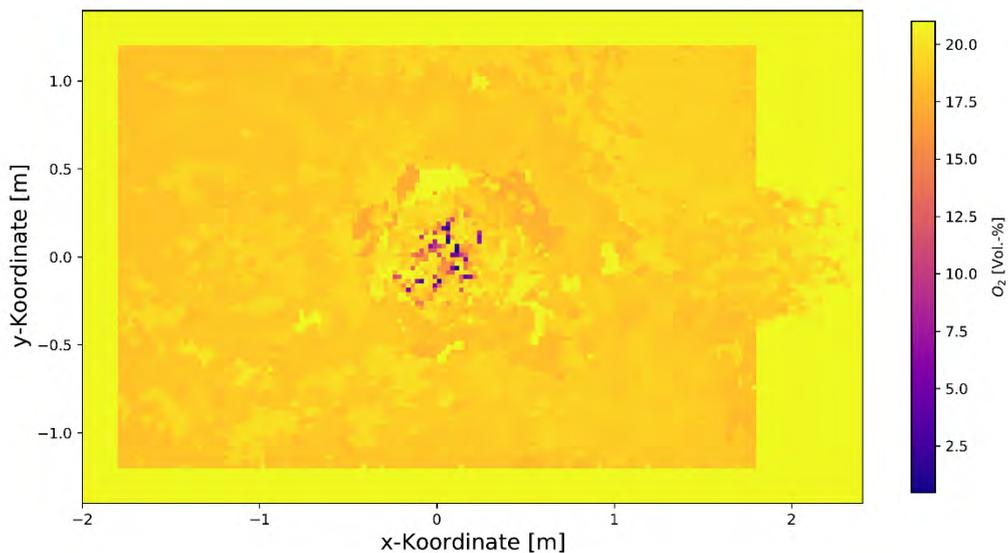
**Abbildung 250** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



**Abbildung 251** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



**Abbildung 252** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m



**Abbildung 253** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 4 m

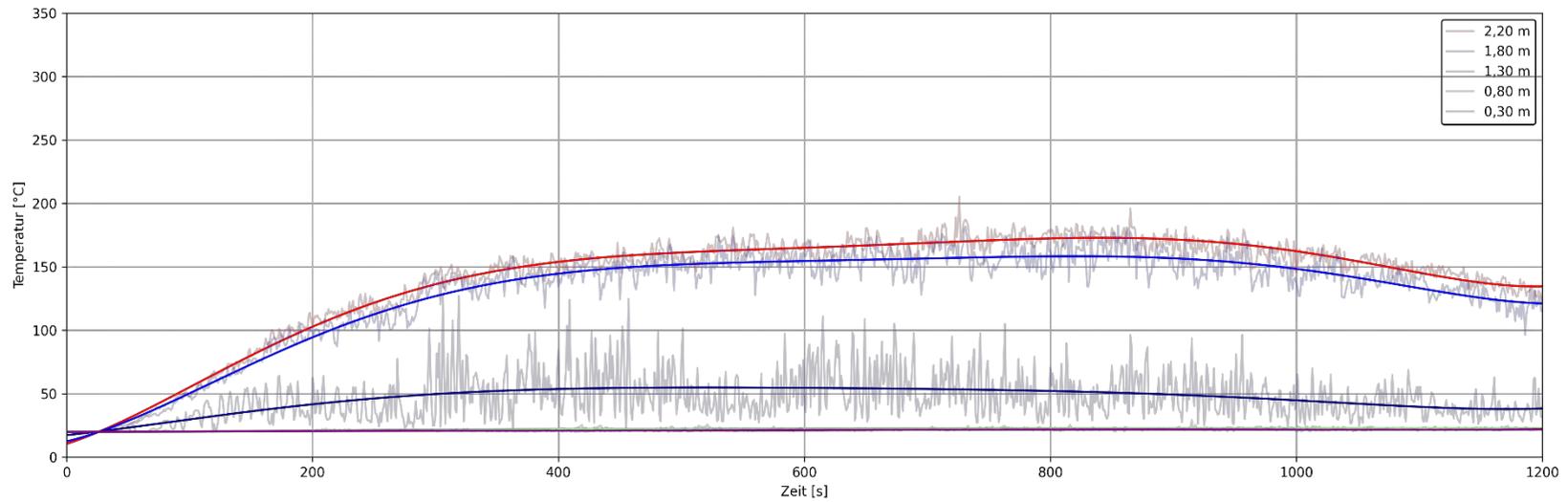


Abbildung 254 Temperaturverläufe am Messpunkt A der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m

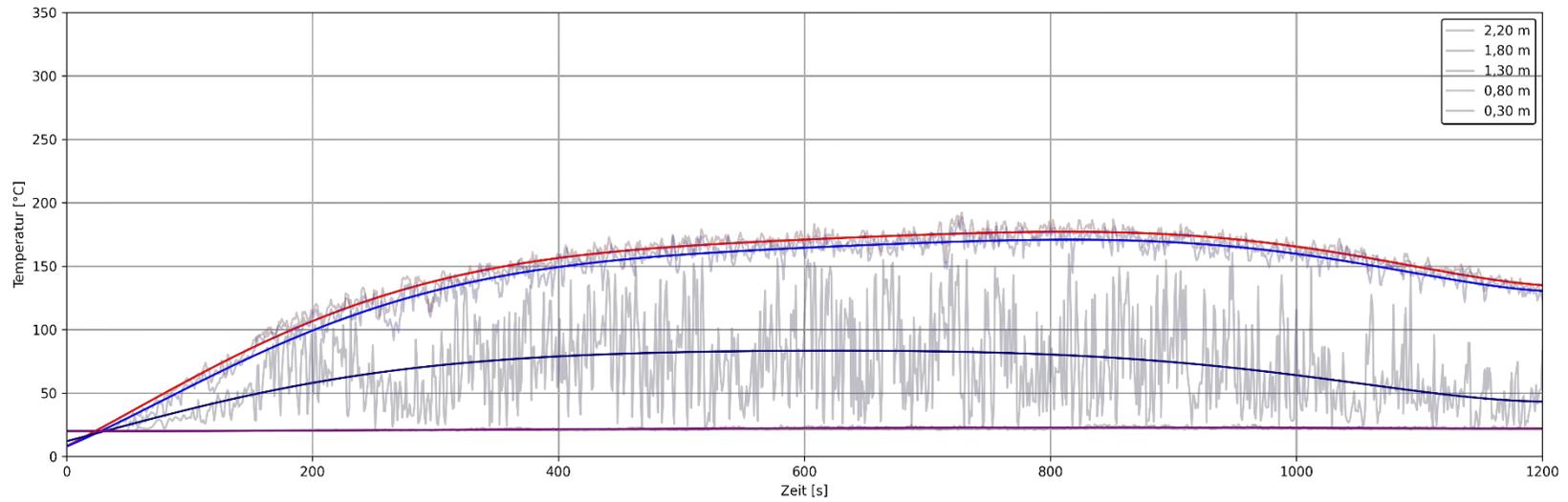
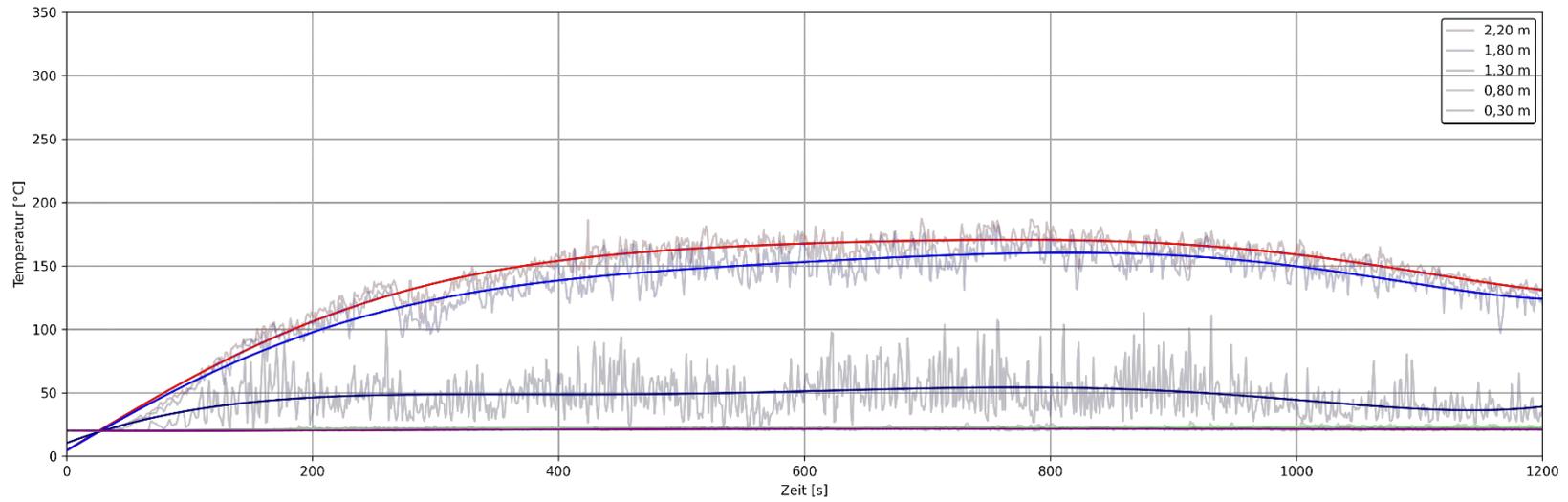
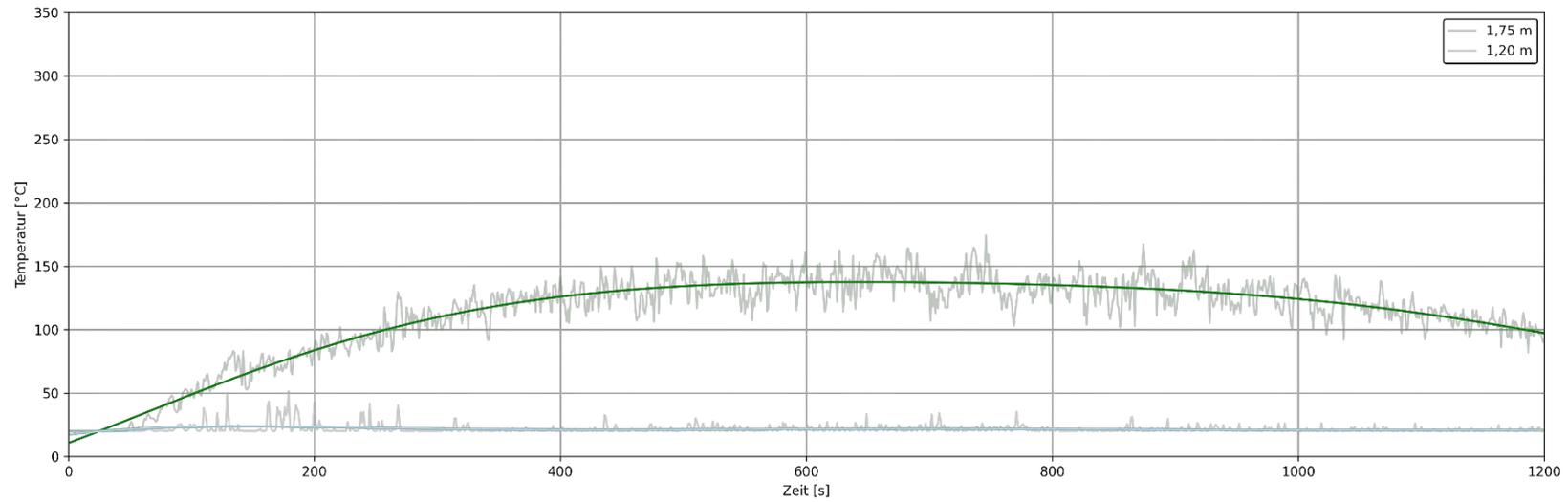


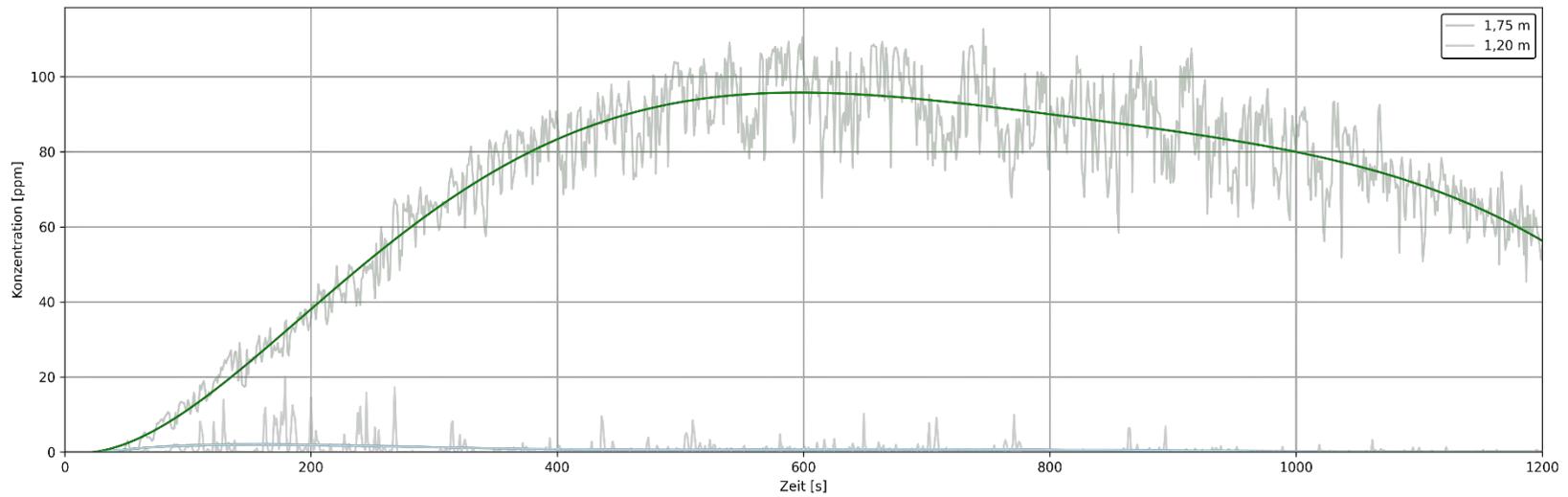
Abbildung 255 Temperaturverläufe am Messpunkt B der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



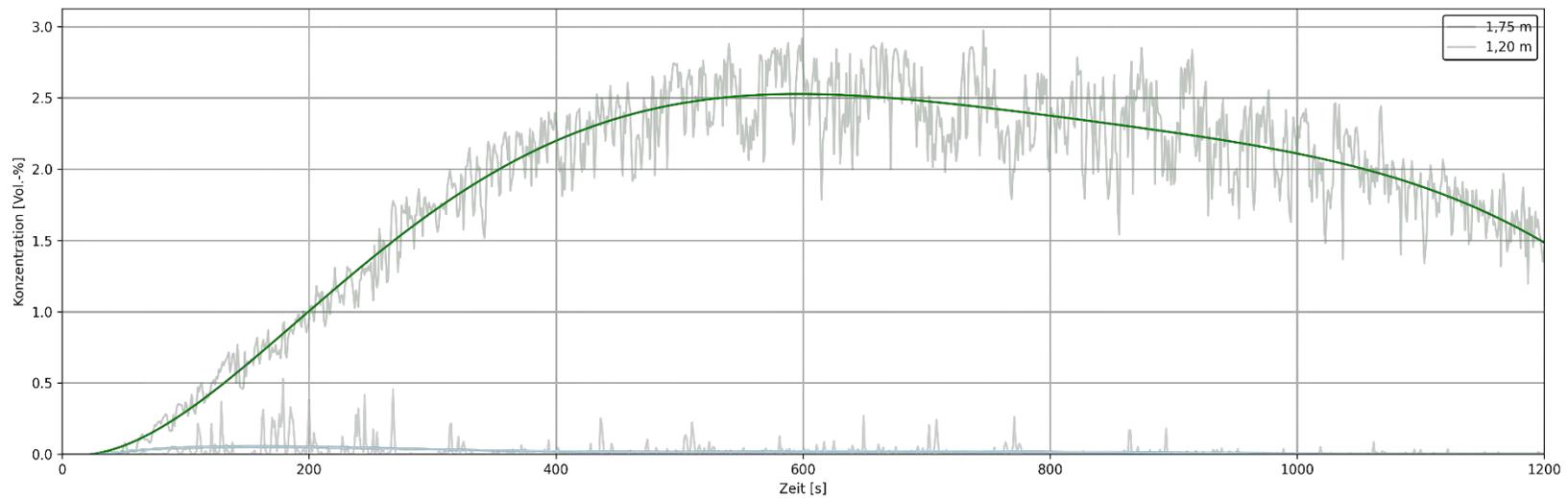
**Abbildung 256** Temperaturverläufe am Messpunkt C der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



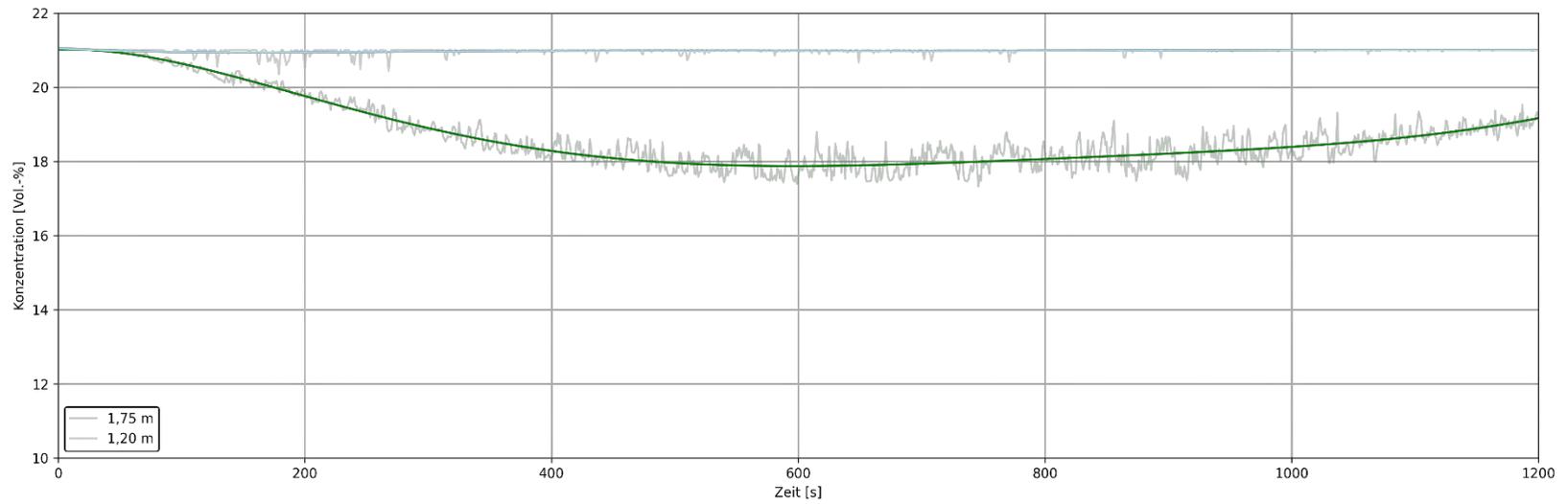
**Abbildung 257** Temperaturverläufe am Messpunkt G der Simulation einer Holzkippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



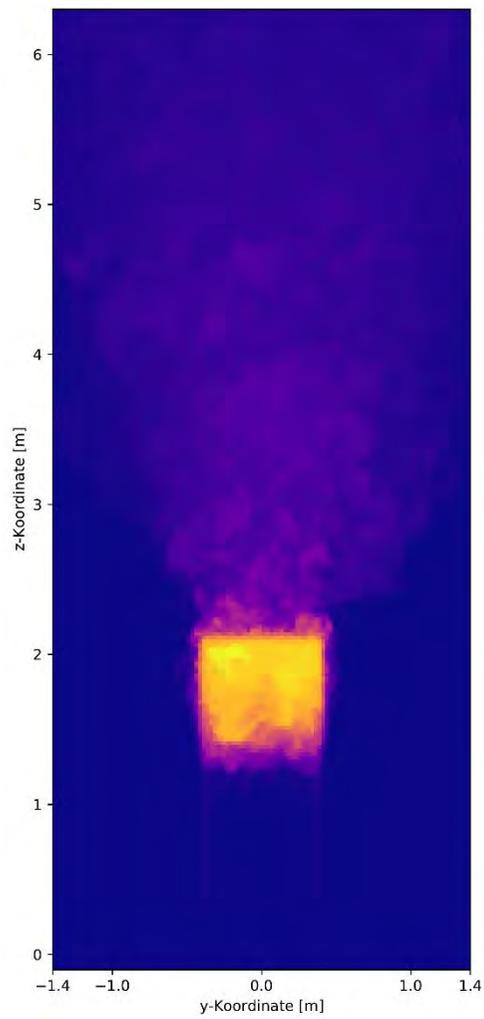
**Abbildung 258** Verläufe der CO-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



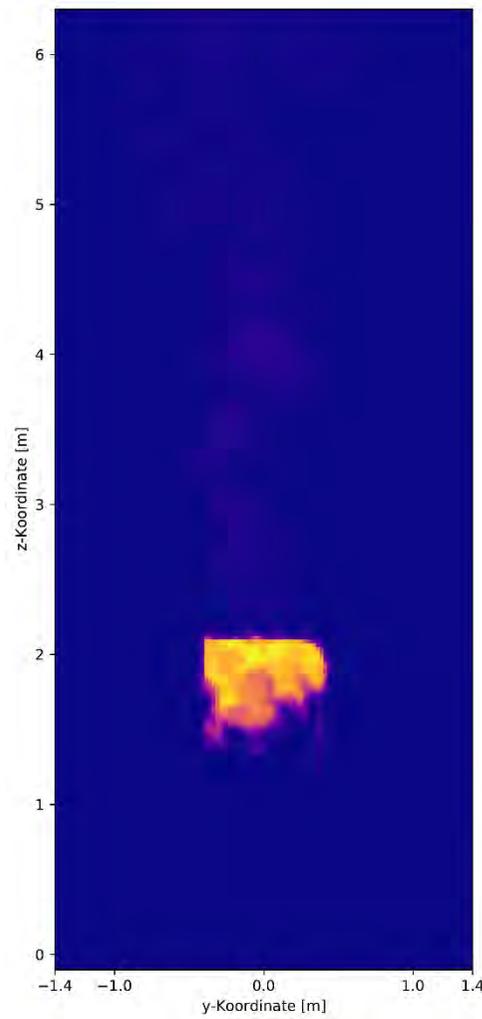
**Abbildung 259** Verläufe der CO<sub>2</sub>-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



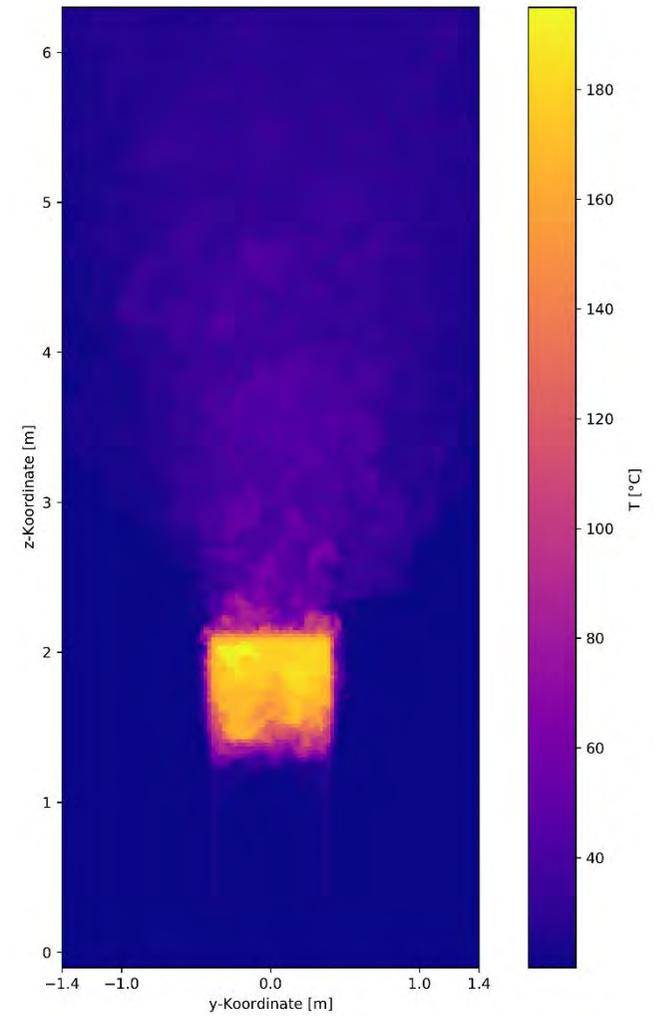
**Abbildung 260** Verläufe der O<sub>2</sub>-Konzentration am Messpunkt G der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



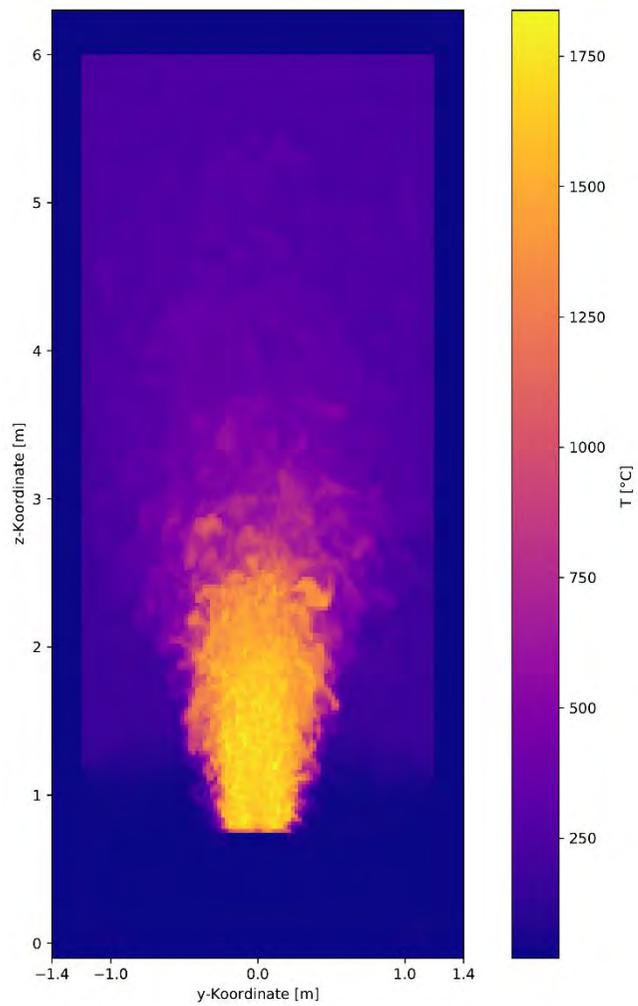
**Abbildung 261** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



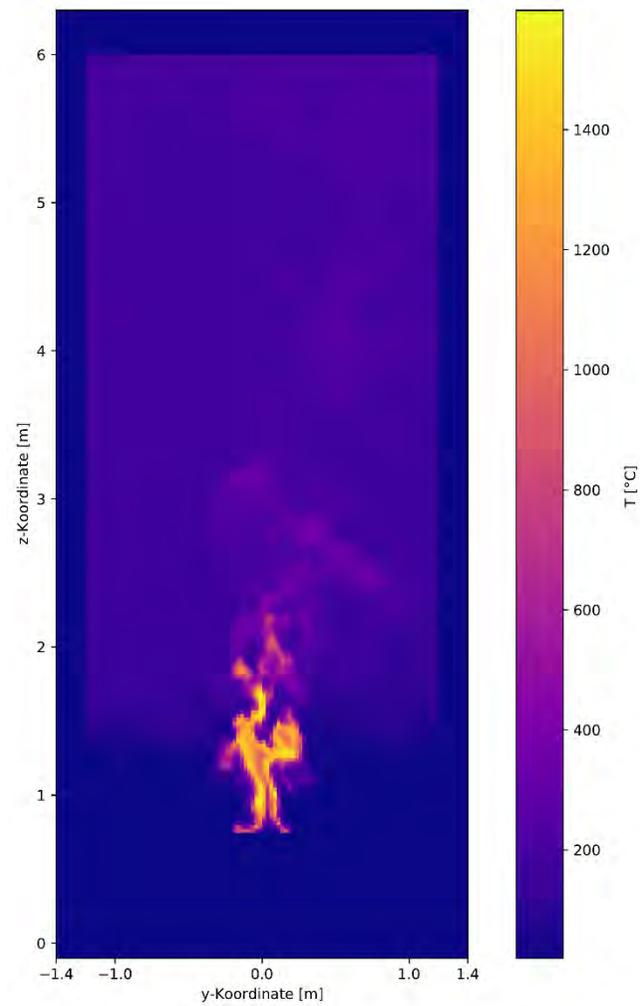
**Abbildung 262** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



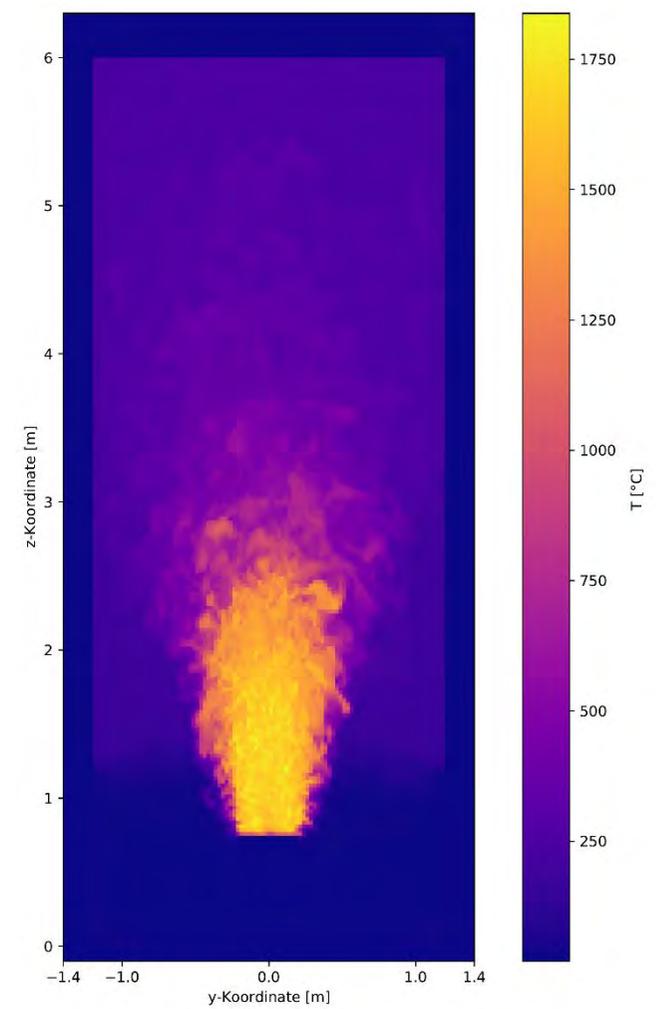
**Abbildung 263** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



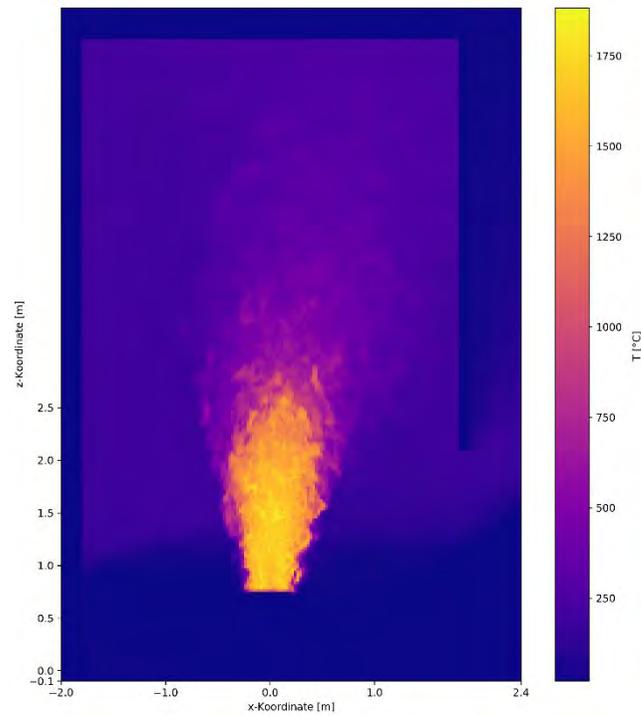
**Abbildung 264** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



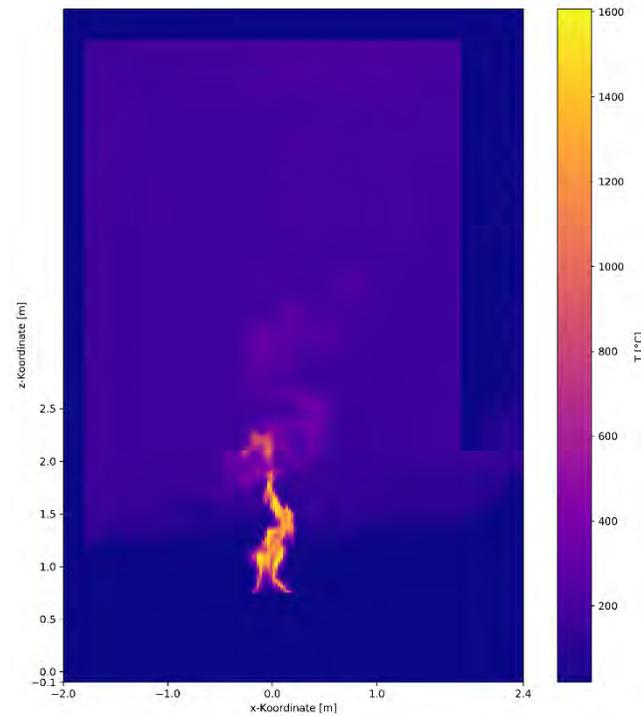
**Abbildung 265** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



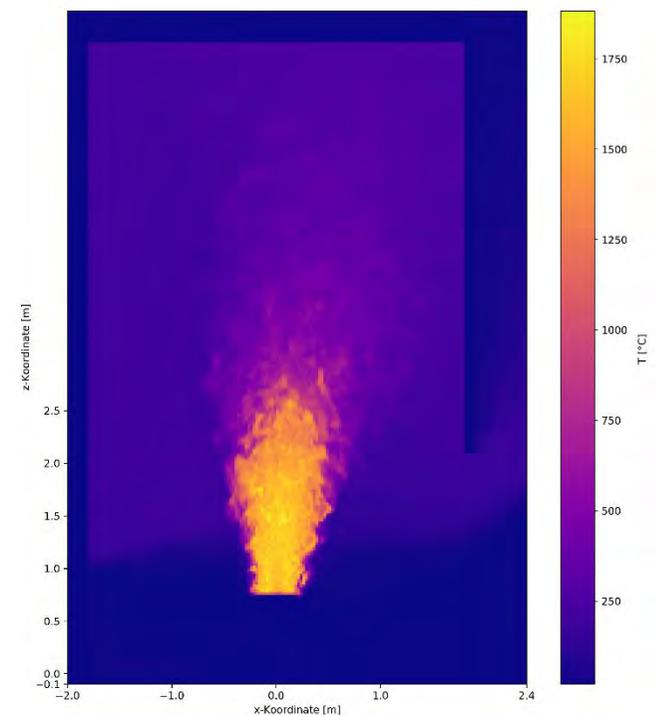
**Abbildung 266** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



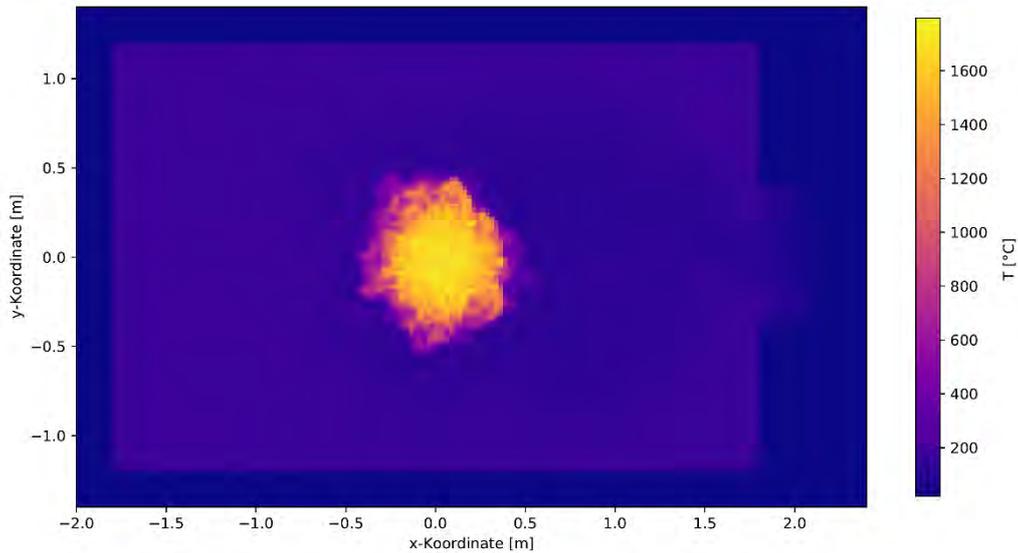
**Abbildung 267** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



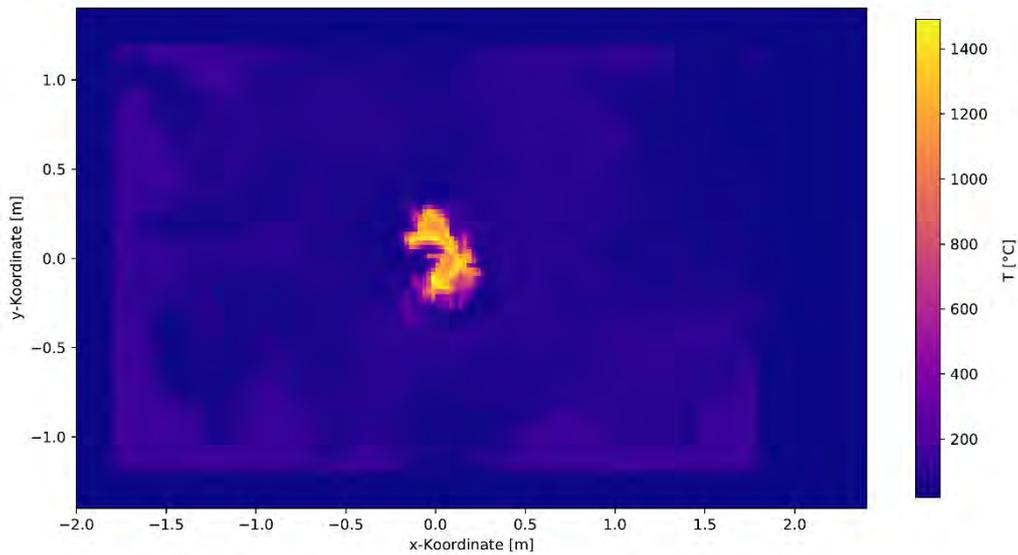
**Abbildung 268** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



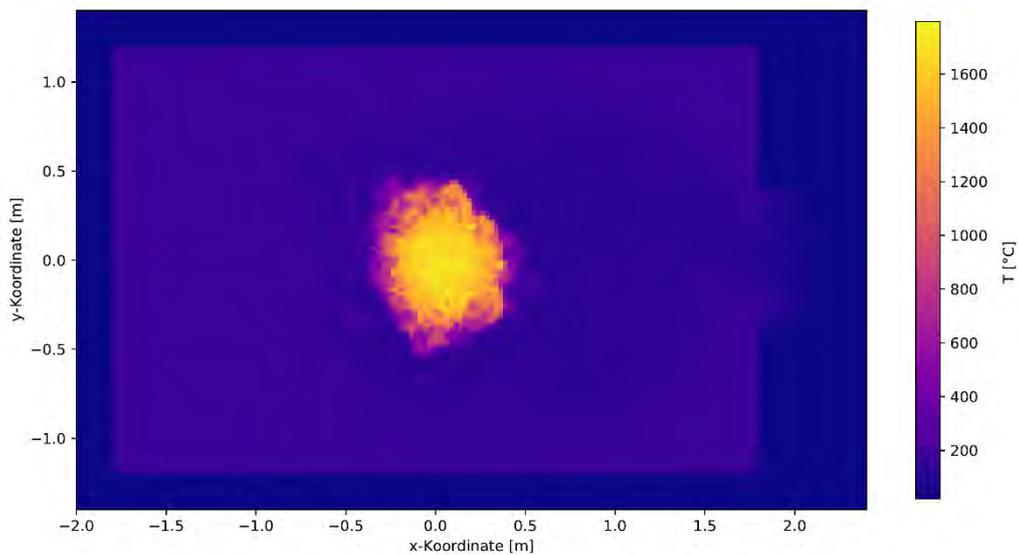
**Abbildung 269** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



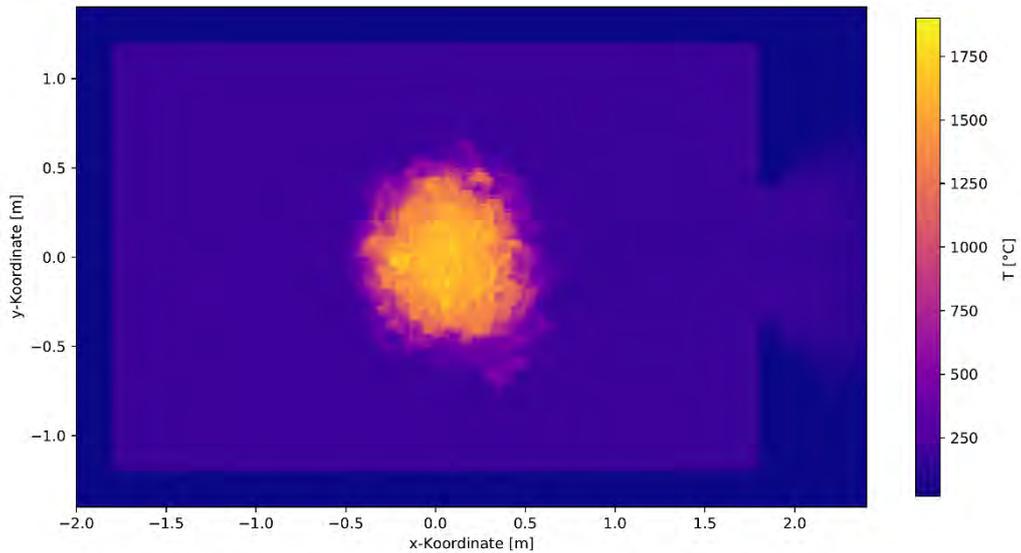
**Abbildung 270** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



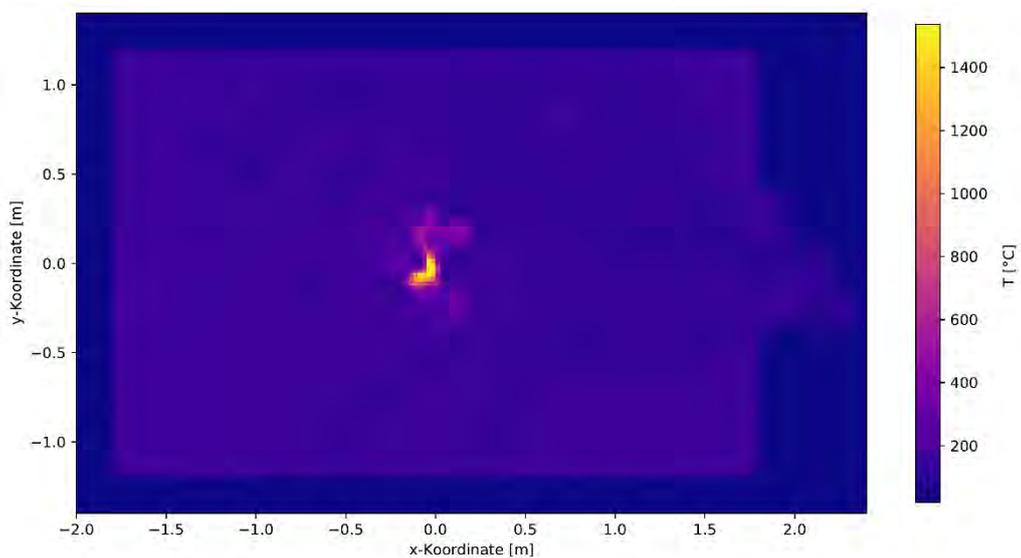
**Abbildung 271** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



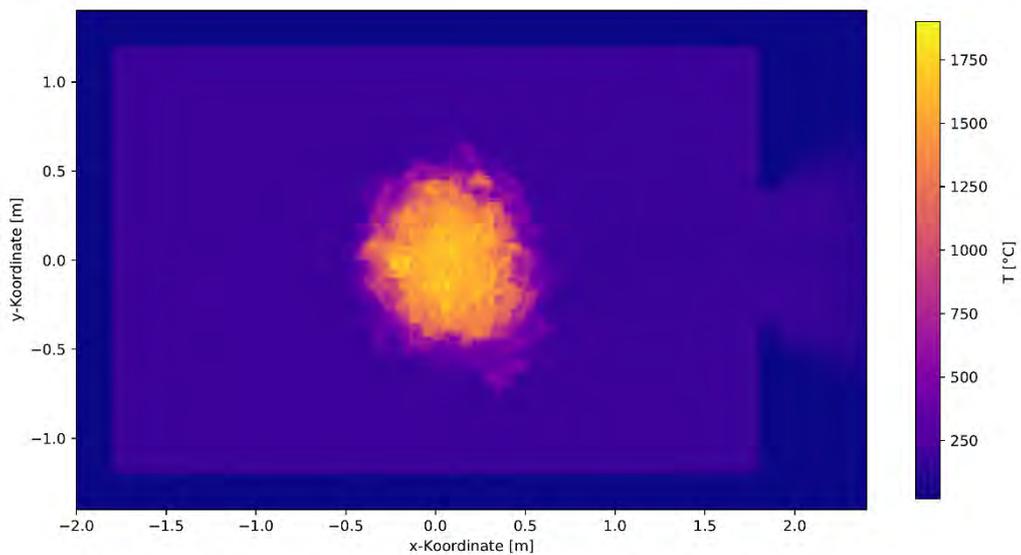
**Abbildung 272** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



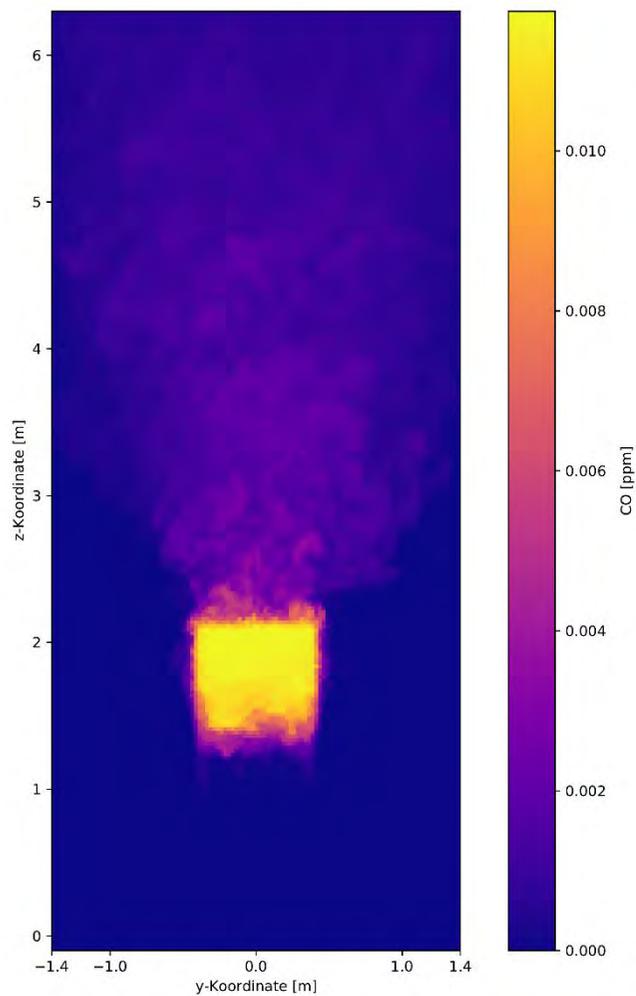
**Abbildung 273** Verteilung der Maximaltemperatur über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



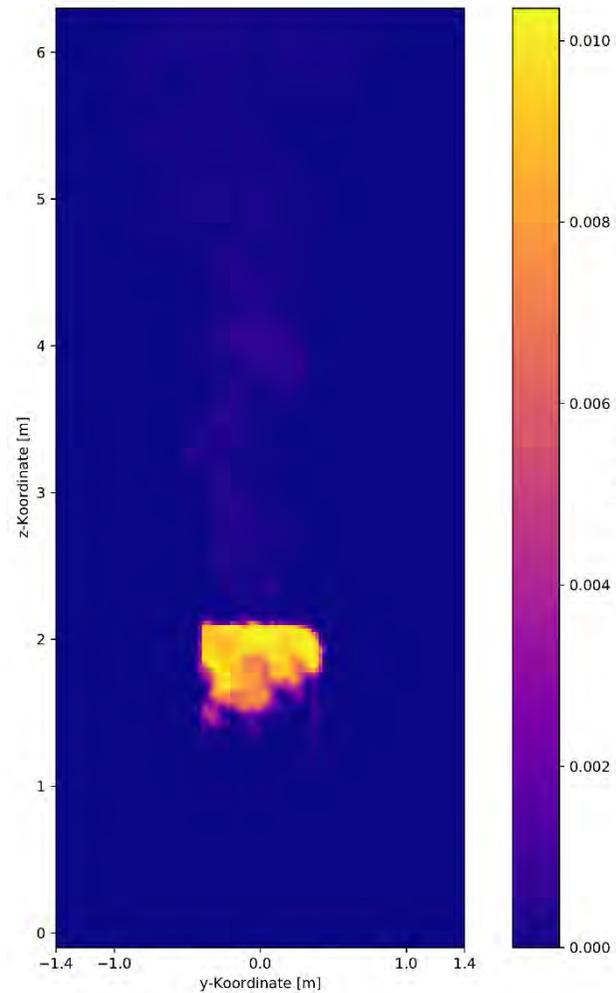
**Abbildung 274** Verteilung der Temperatur nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



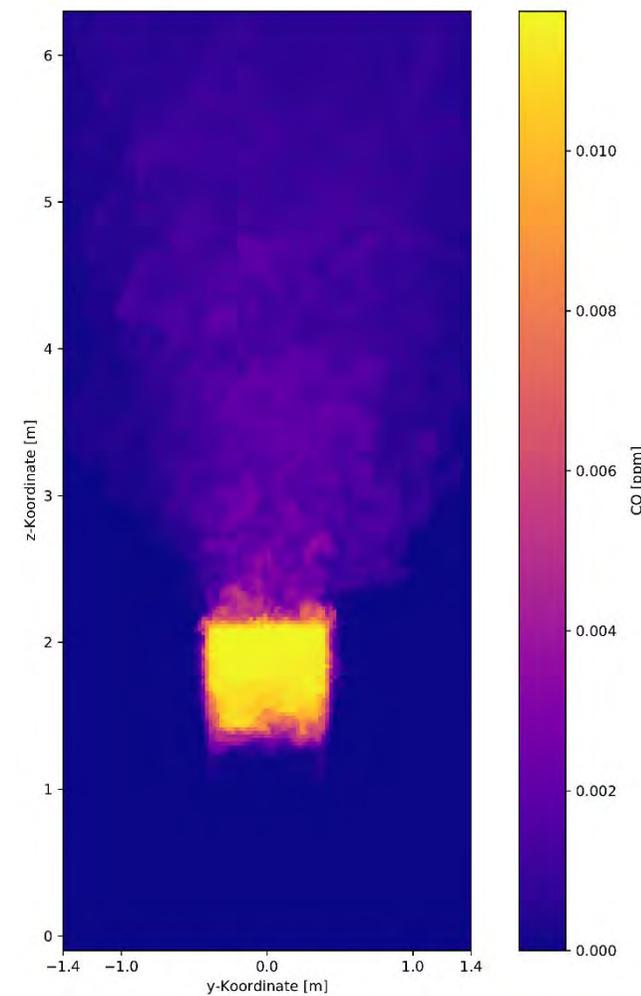
**Abbildung 275** Verteilung der Maximaltemperatur im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



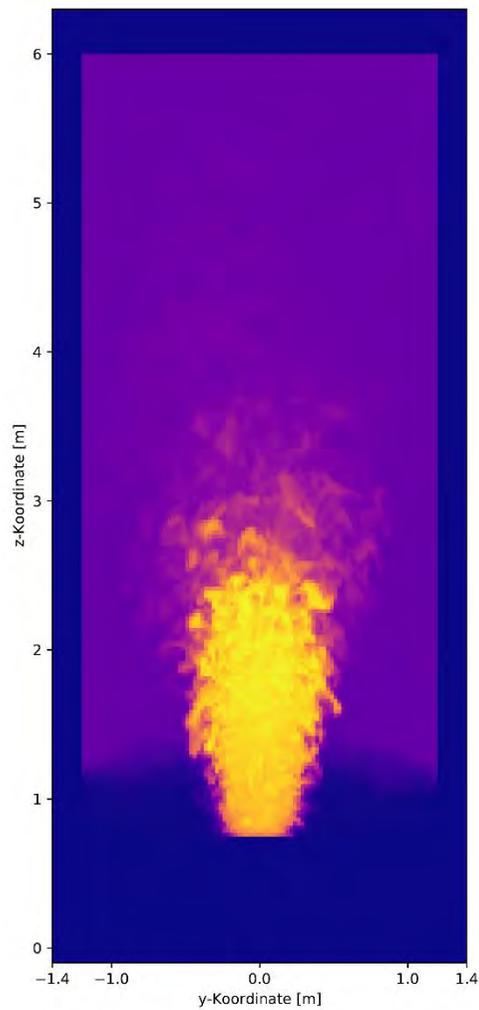
**Abbildung 276** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



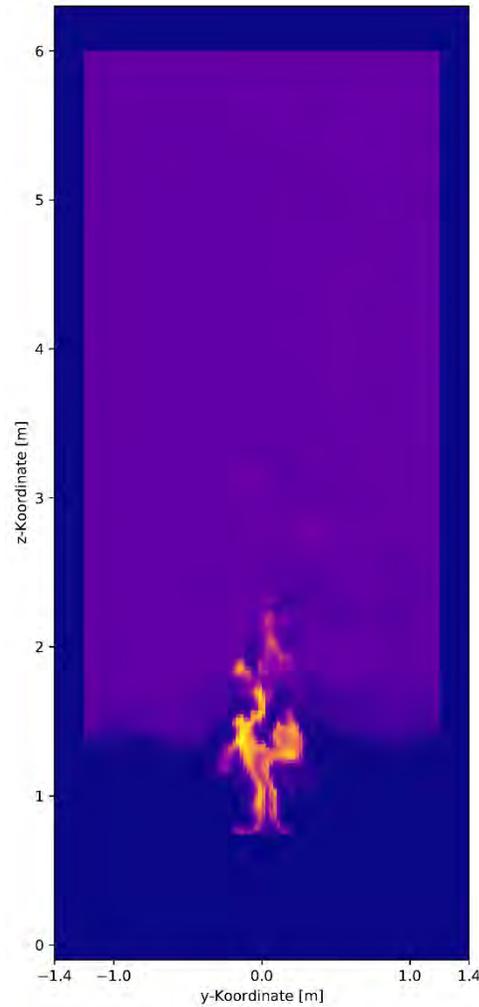
**Abbildung 277** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



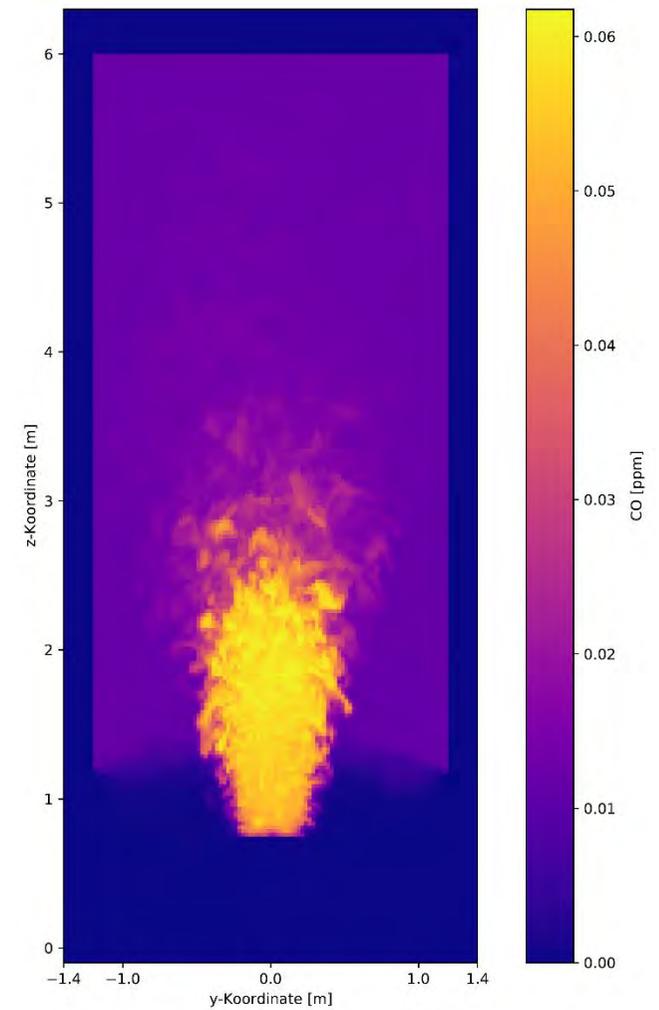
**Abbildung 278** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



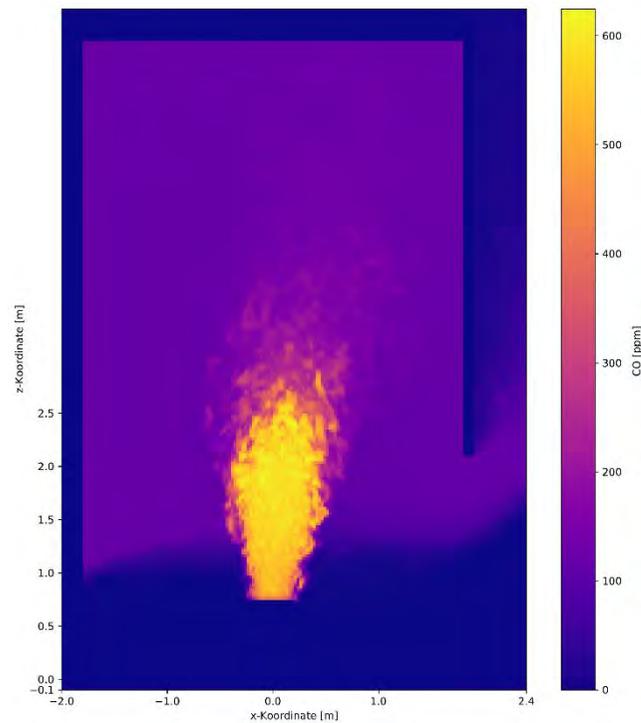
**Abbildung 279** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



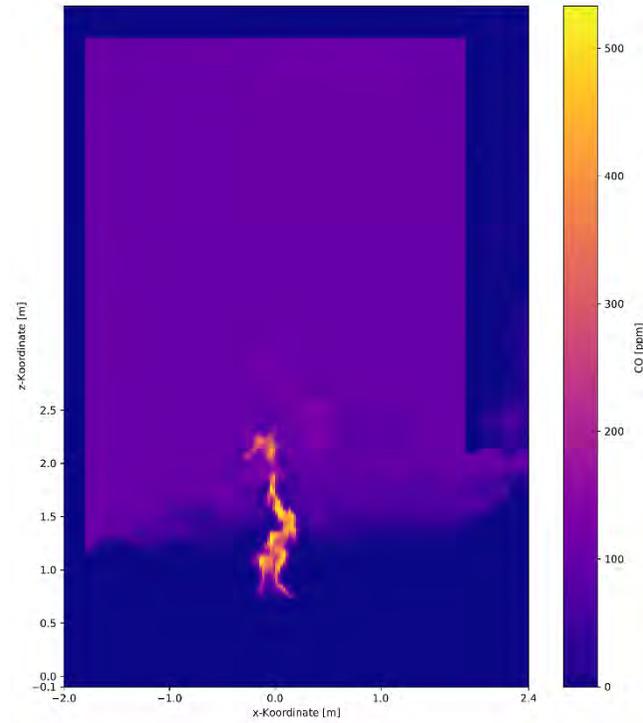
**Abbildung 280** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



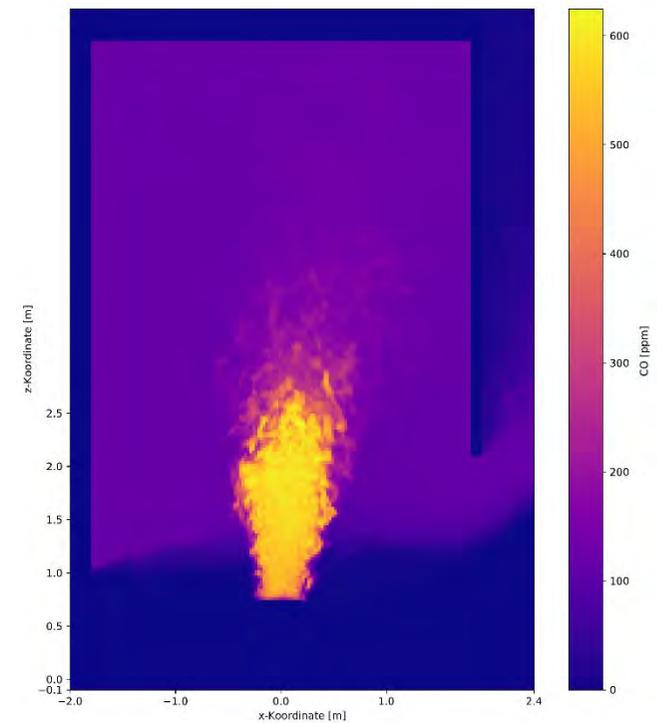
**Abbildung 281** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



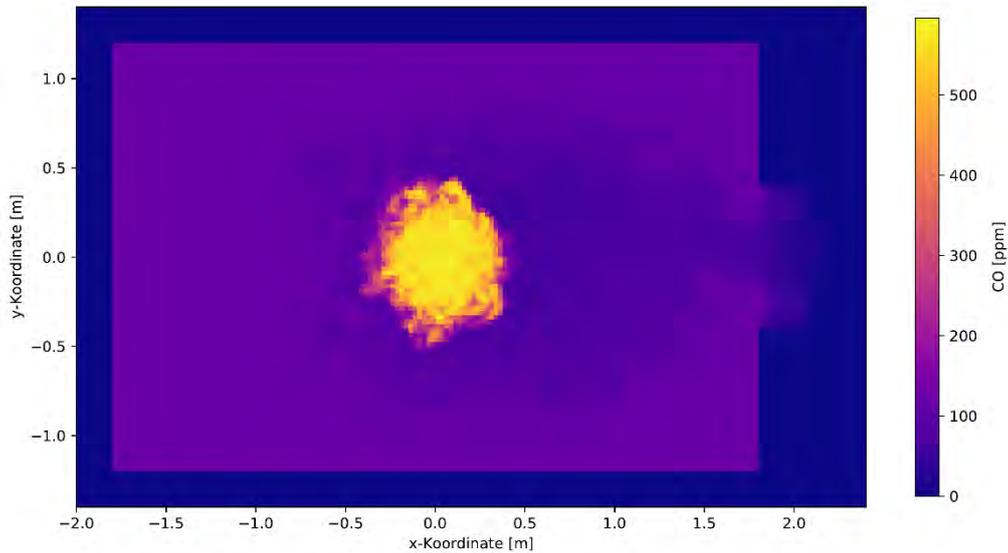
**Abbildung 282** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



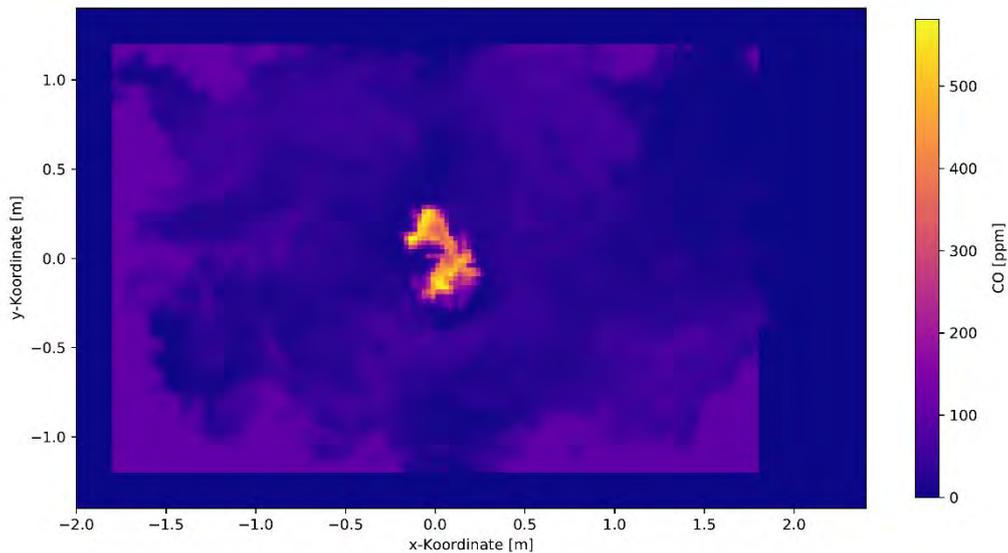
**Abbildung 283** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



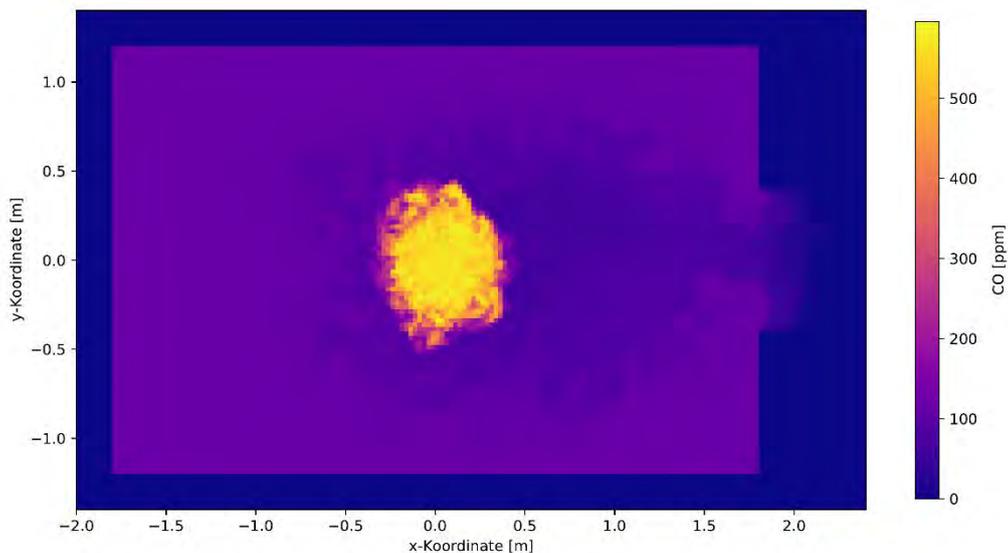
**Abbildung 284** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



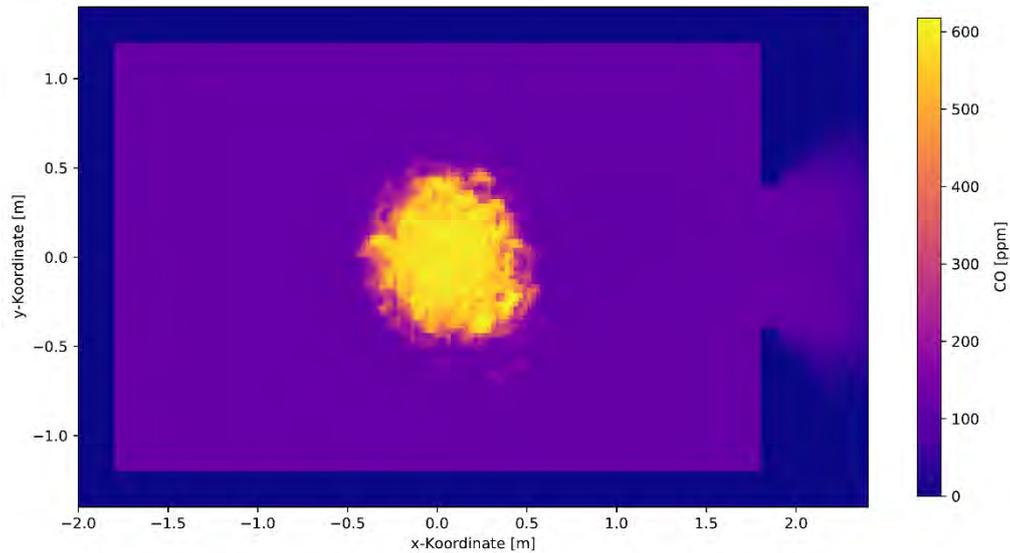
**Abbildung 285** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



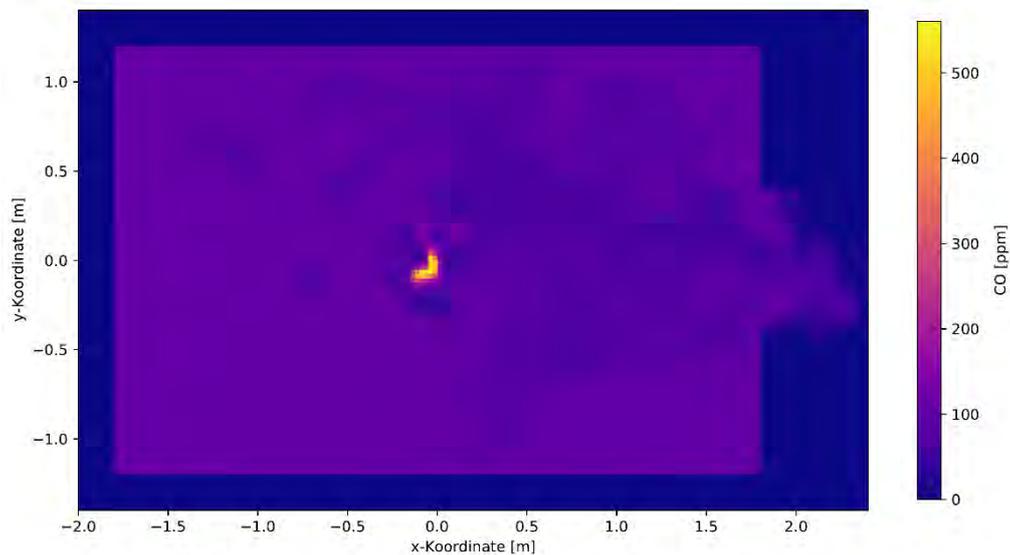
**Abbildung 286** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



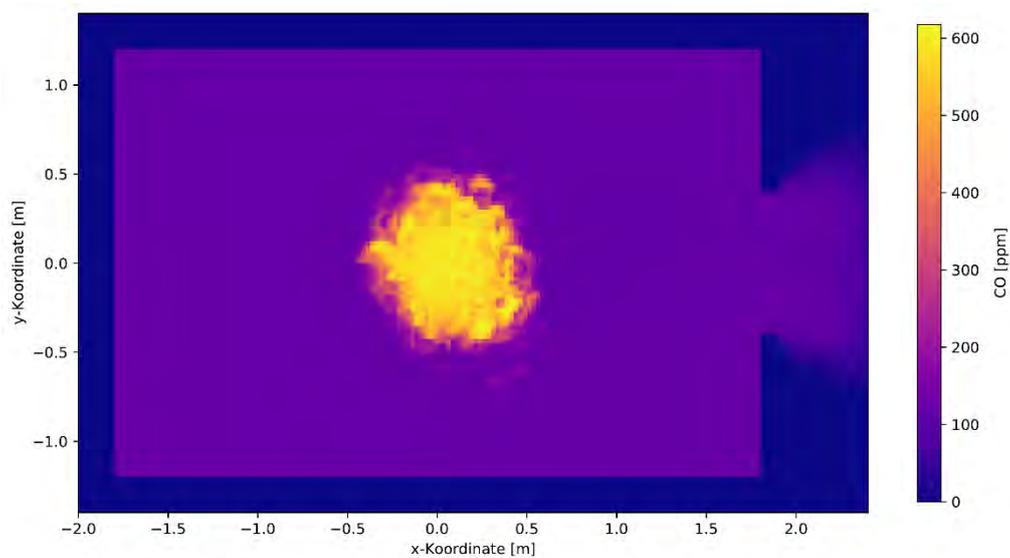
**Abbildung 287** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



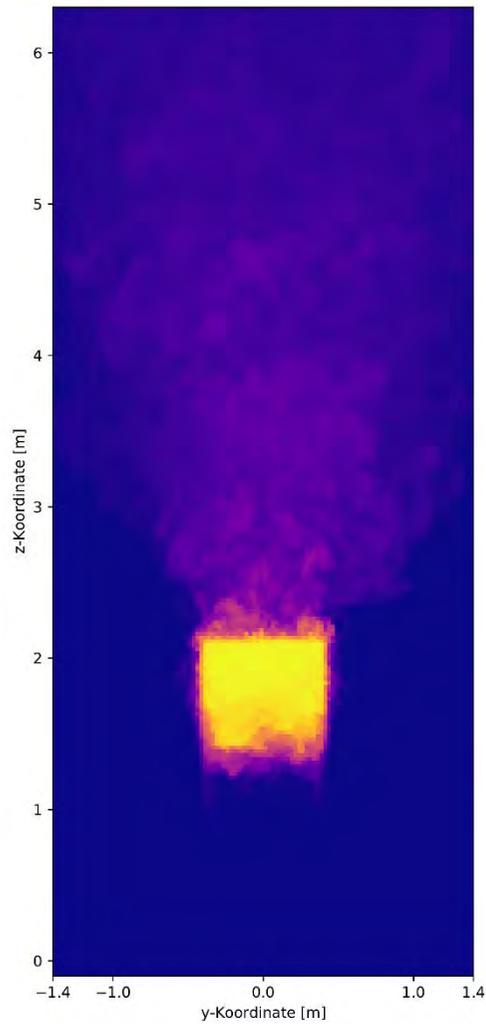
**Abbildung 288** Verteilung der maximalen Konzentration von CO über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



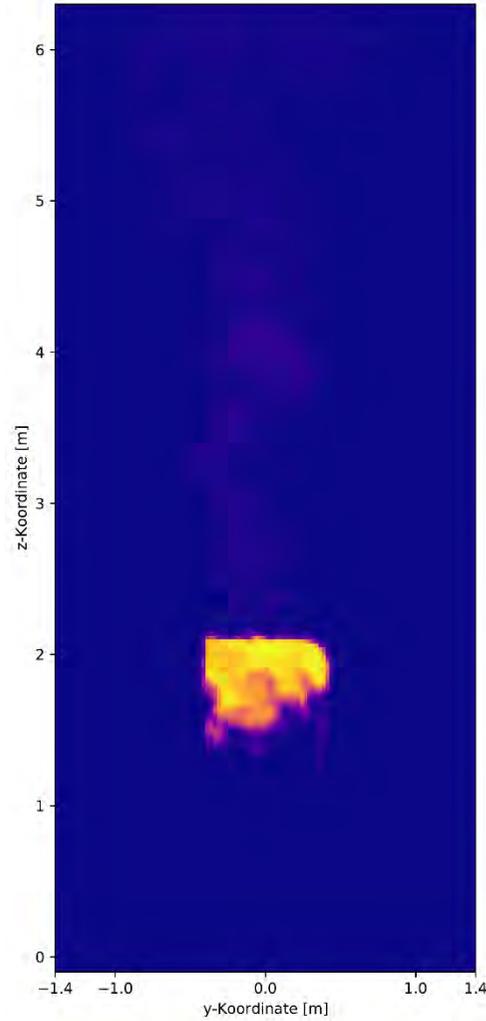
**Abbildung 289** Verteilung der Konzentration von CO nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



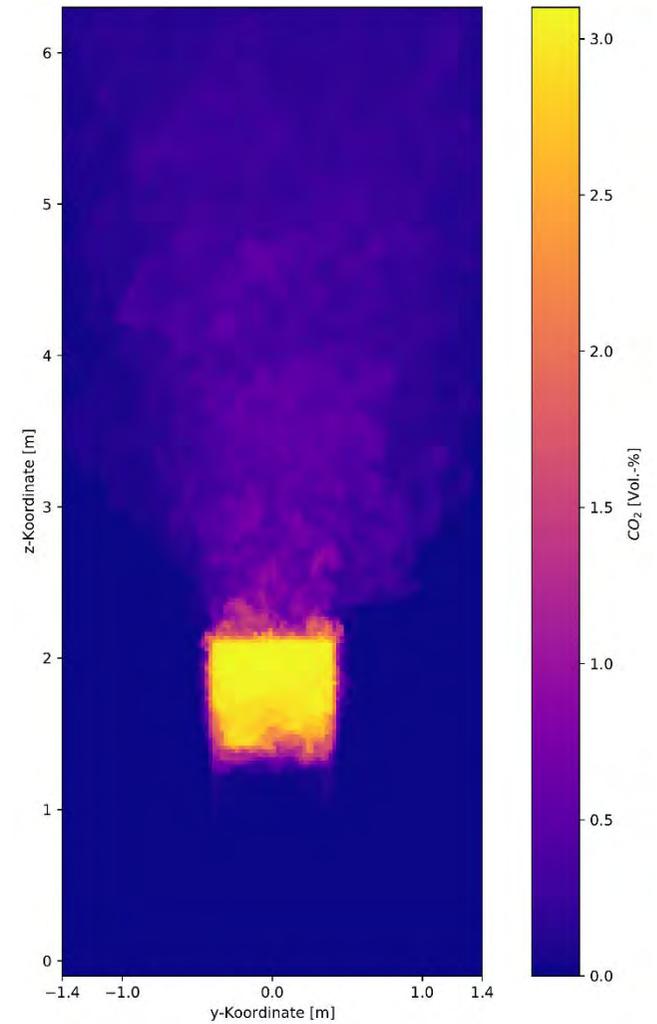
**Abbildung 290** Verteilung der maximalen Konzentration von CO im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



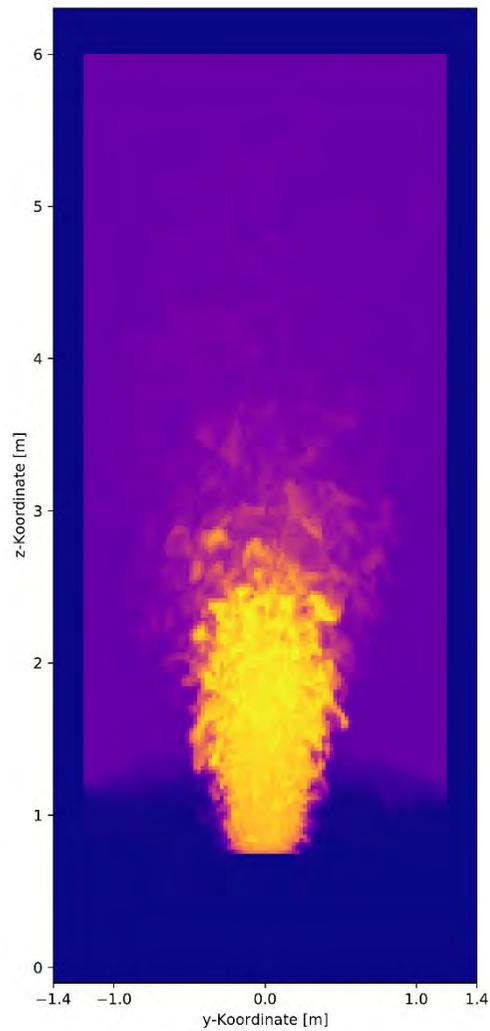
**Abbildung 291** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



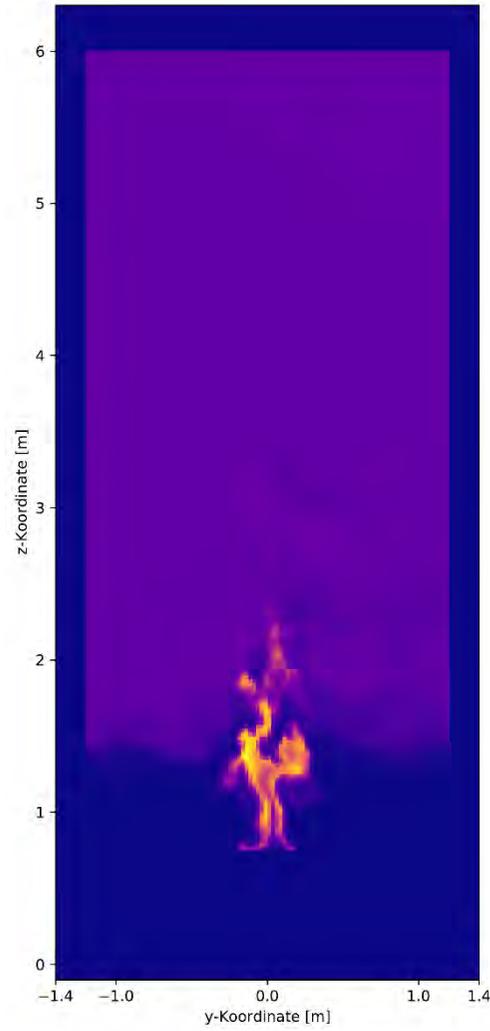
**Abbildung 292** Verteilung der Konzentration von CO<sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



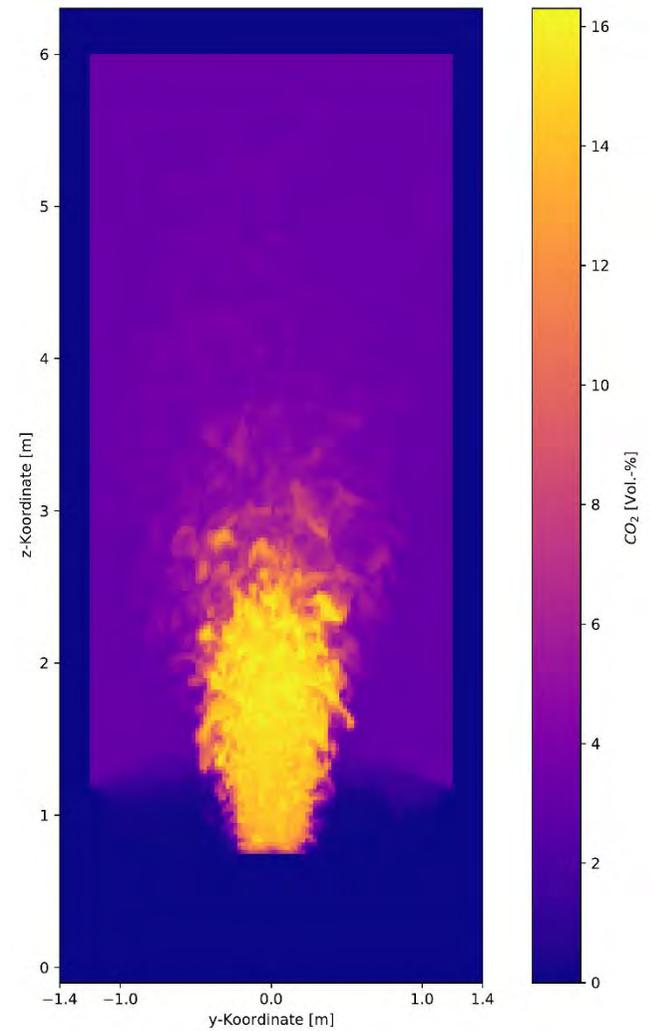
**Abbildung 293** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=1,9 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



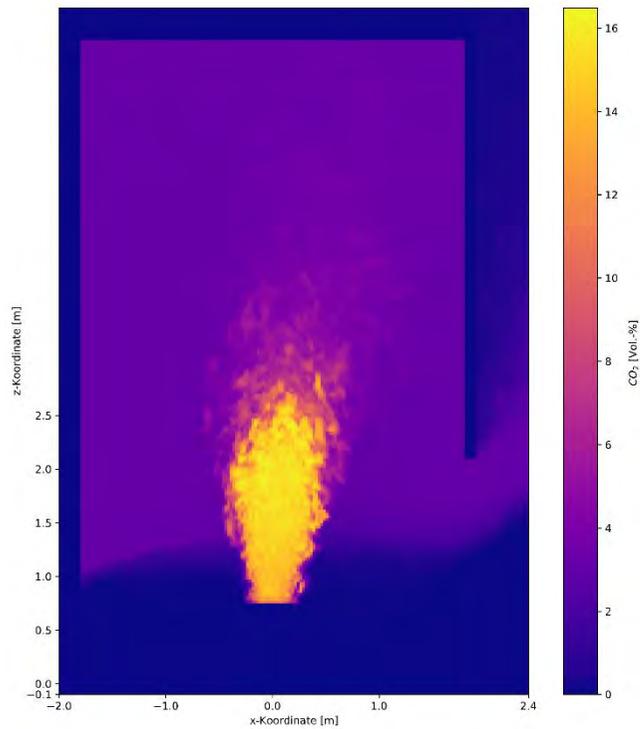
**Abbildung 294** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



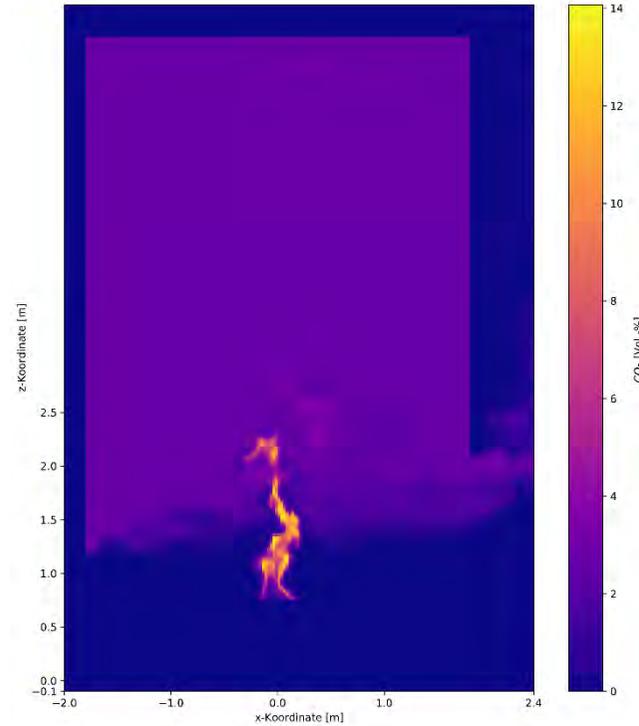
**Abbildung 295** Verteilung der Konzentration von CO<sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



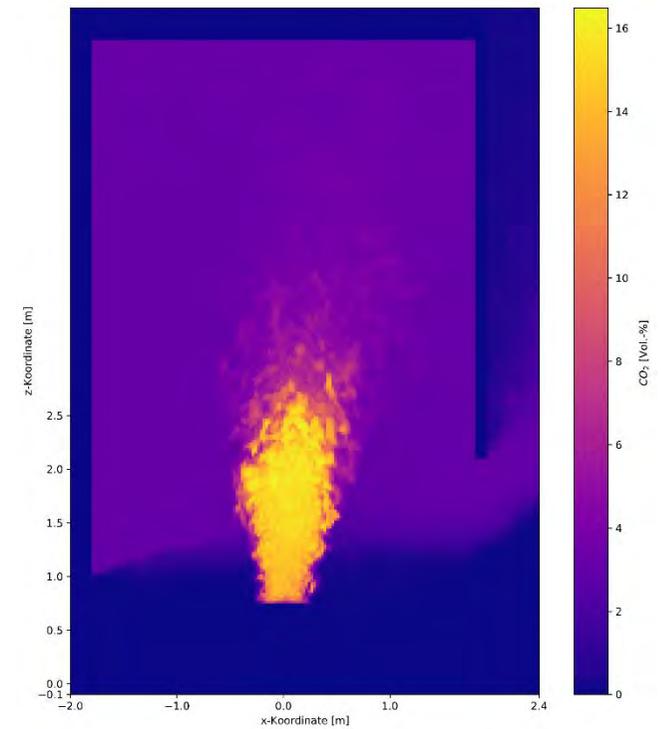
**Abbildung 296** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene x=0 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



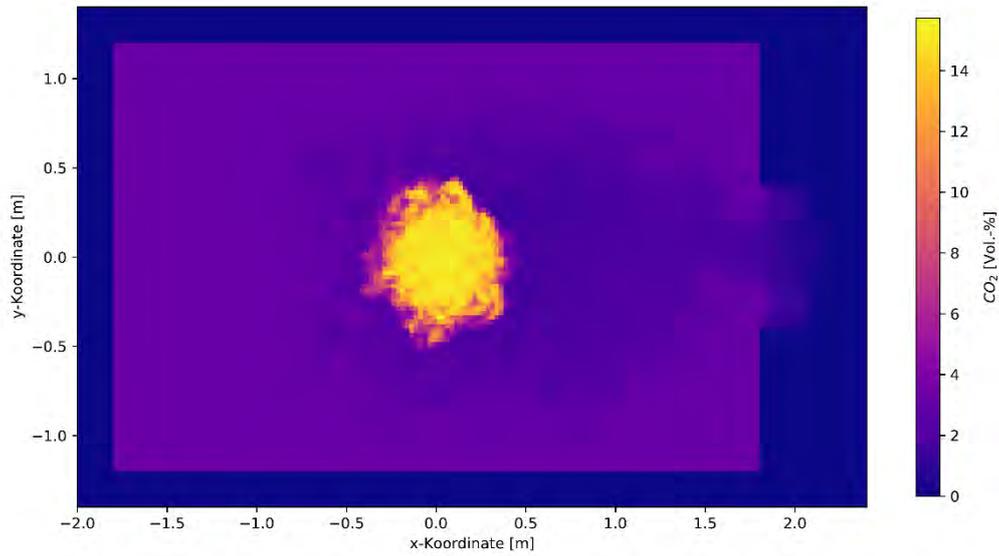
**Abbildung 297** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



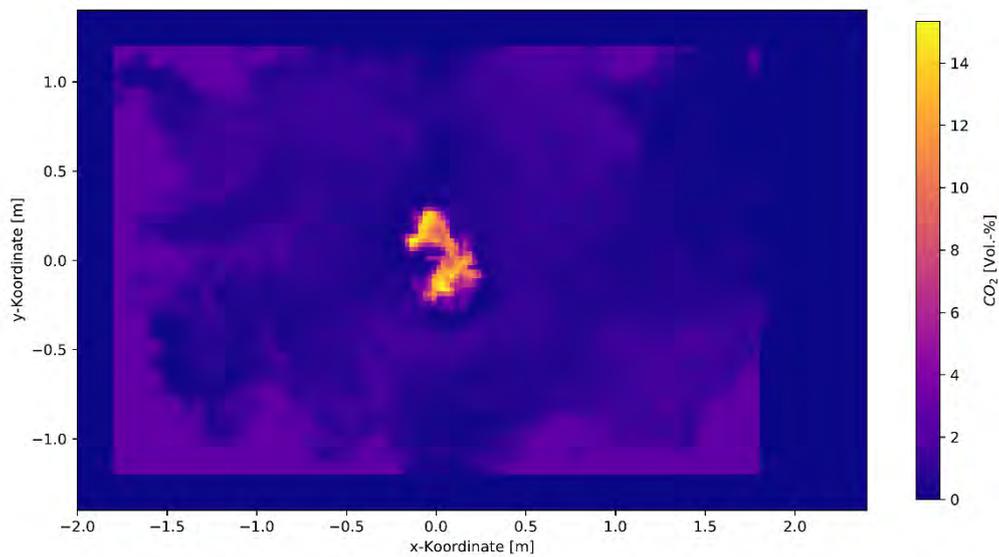
**Abbildung 298** Verteilung der Konzentration von  $\text{CO}_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



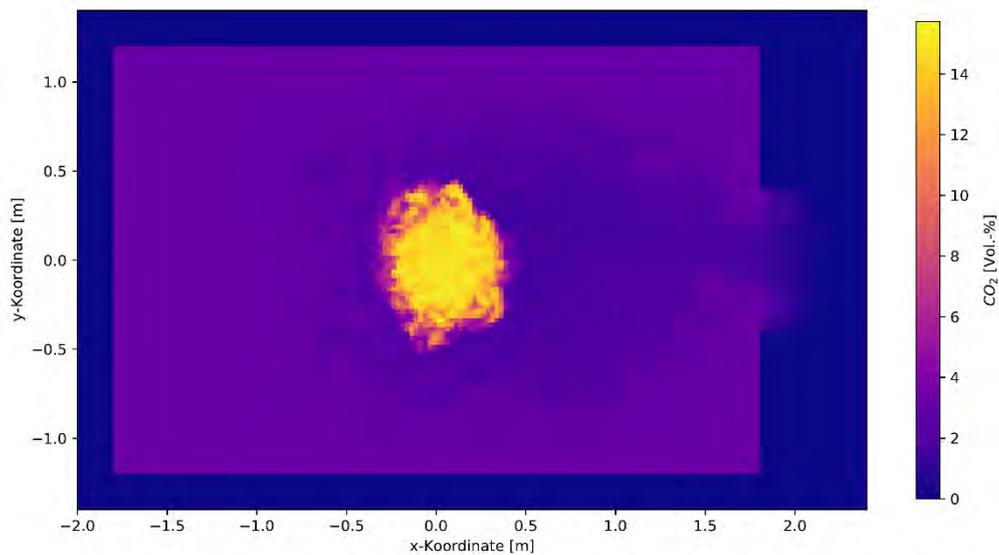
**Abbildung 299** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



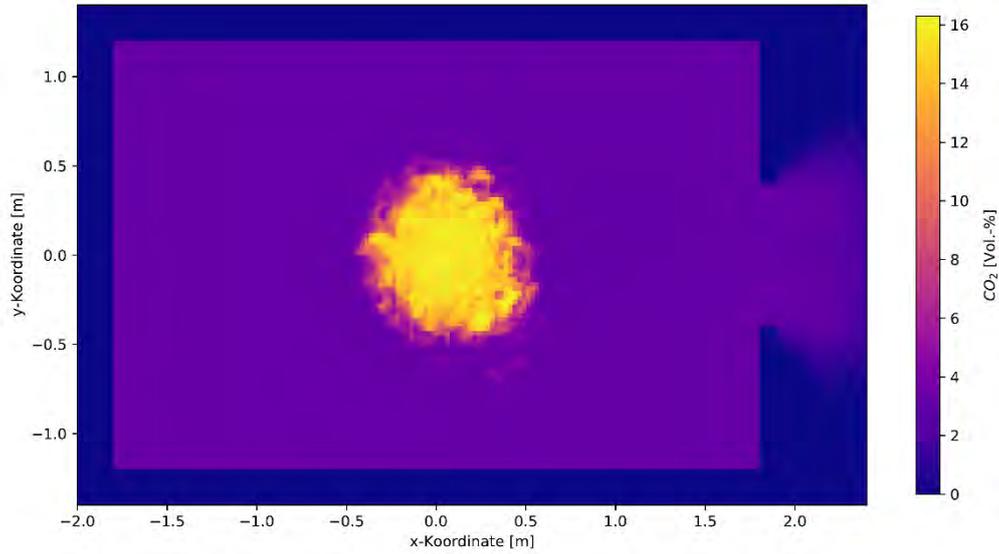
**Abbildung 300** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



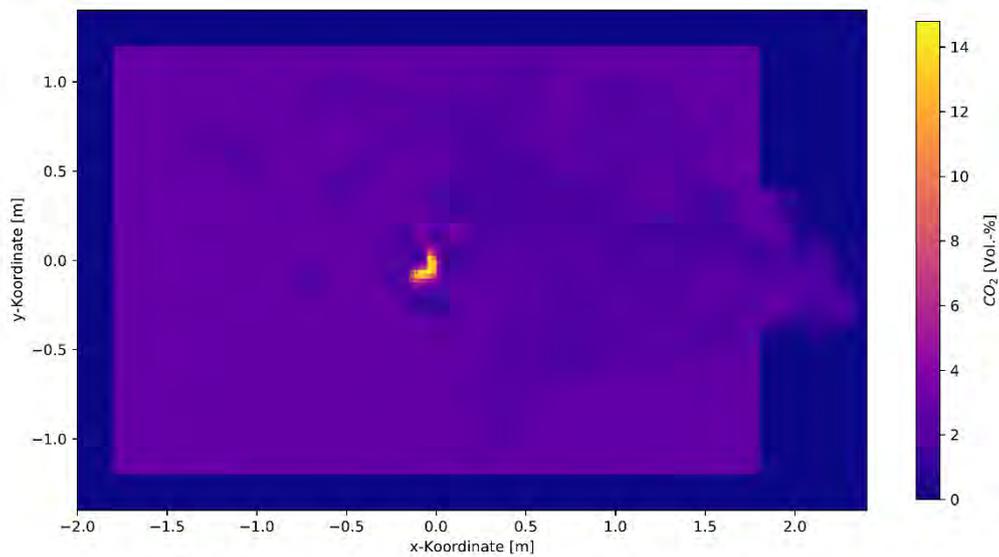
**Abbildung 301** Verteilung der Konzentration von  $\text{CO}_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



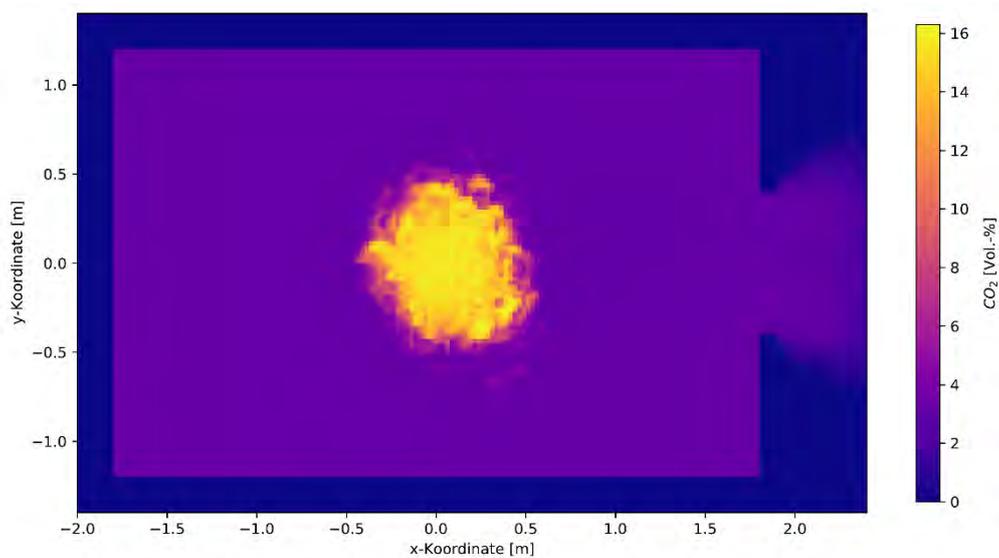
**Abbildung 302** Verteilung der maximalen Konzentration von  $\text{CO}_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



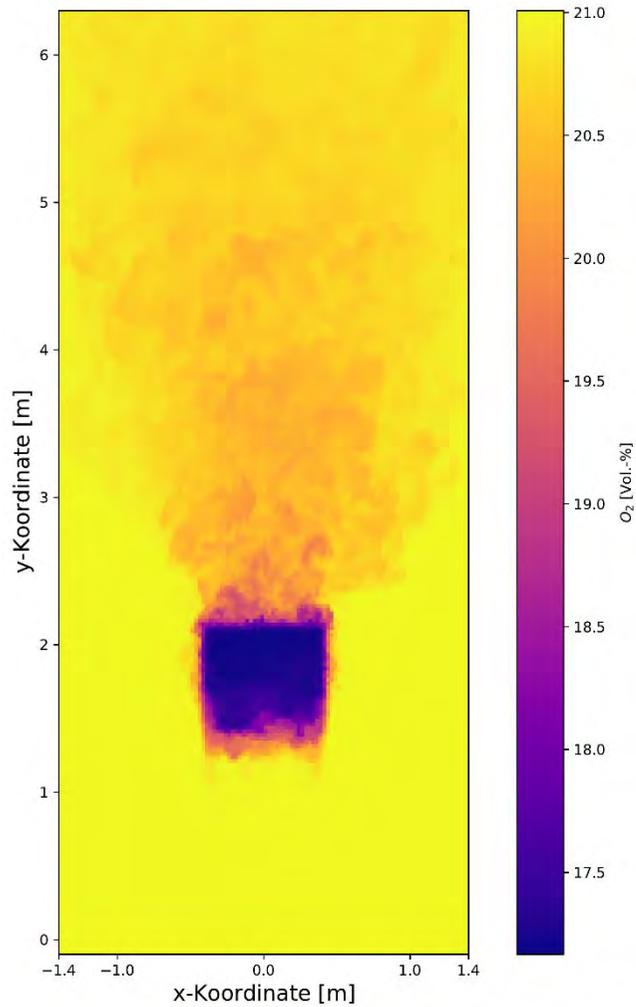
**Abbildung 303** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



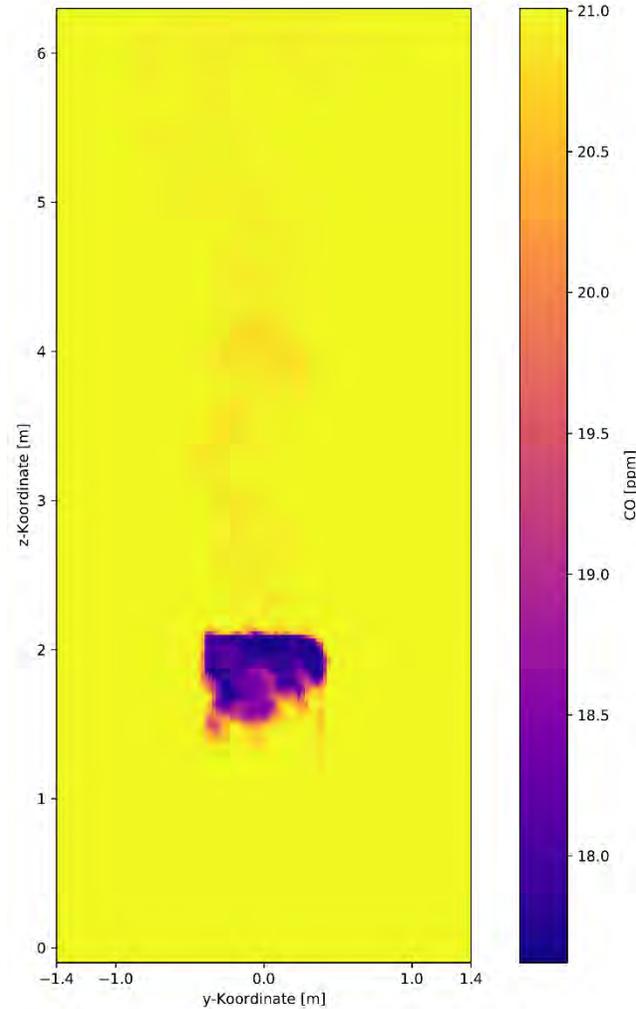
**Abbildung 304** Verteilung der Konzentration von CO<sub>2</sub> nach 480 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



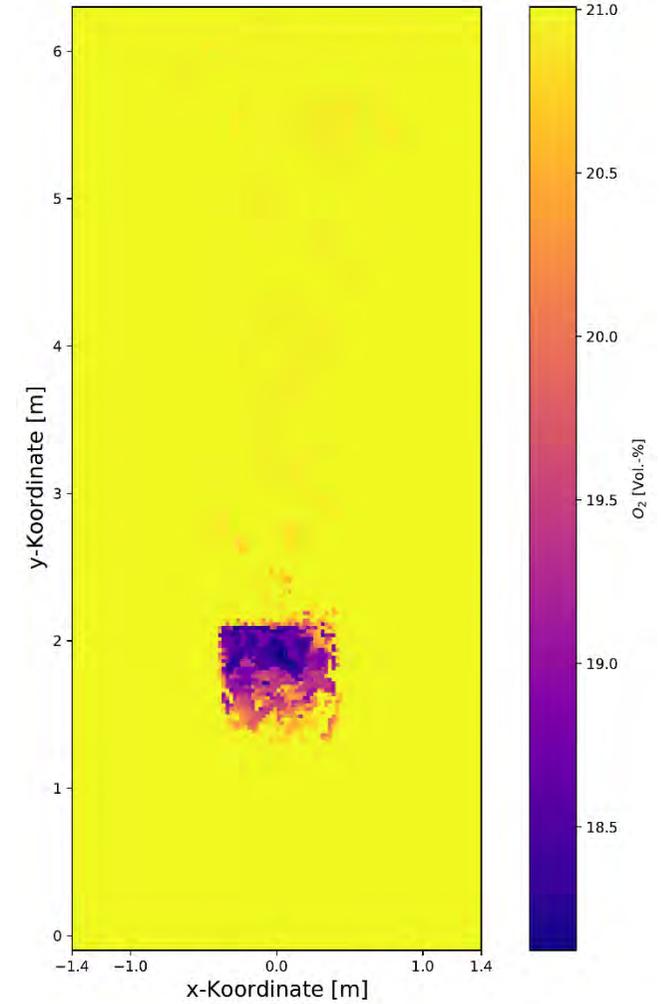
**Abbildung 305** Verteilung der maximalen Konzentration von CO<sub>2</sub> im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene z=1,75 der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



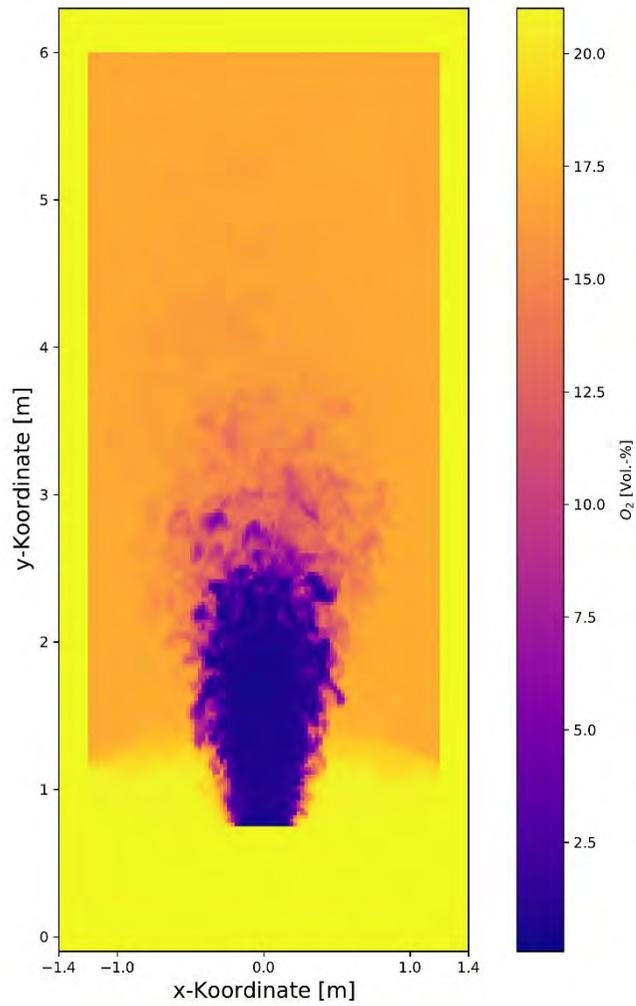
**Abbildung 306** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



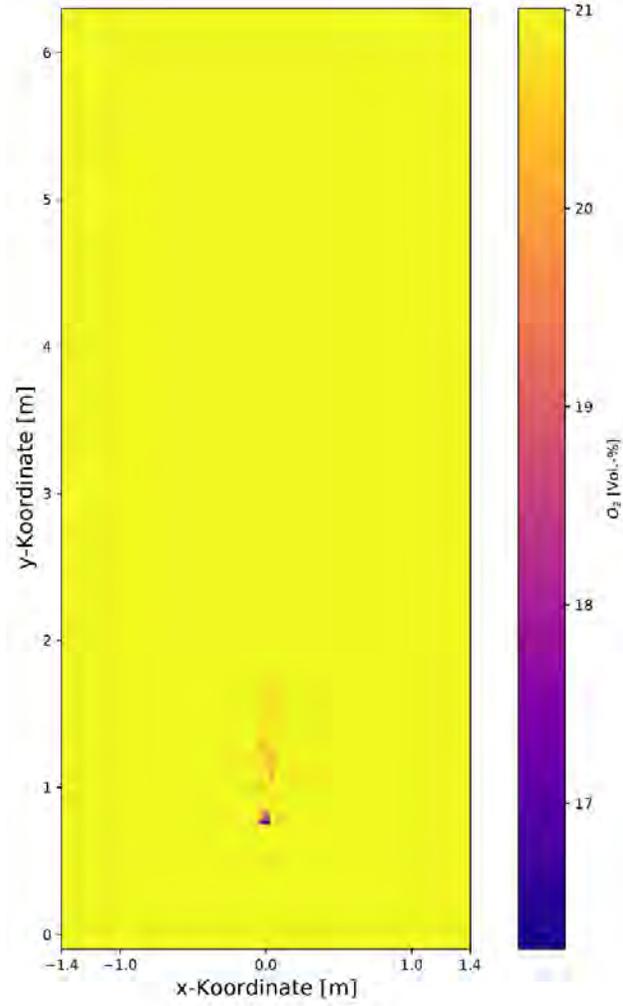
**Abbildung 307** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



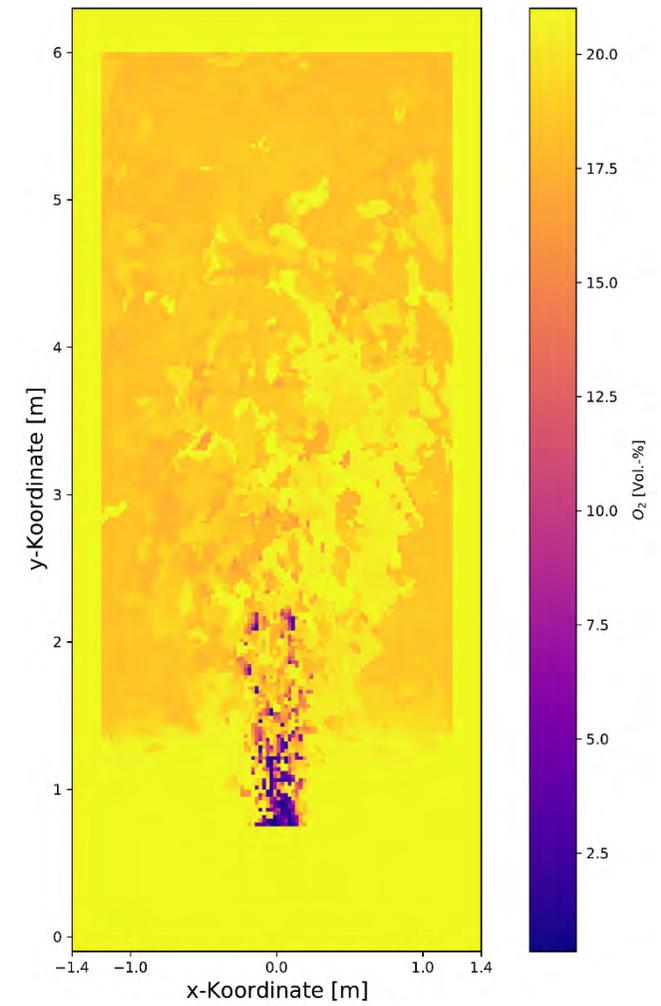
**Abbildung 308** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=1,9$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



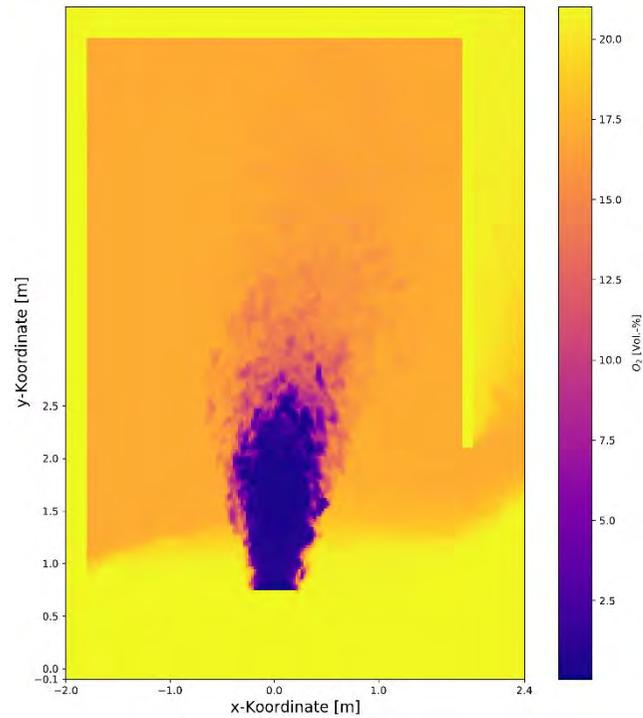
**Abbildung 309** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



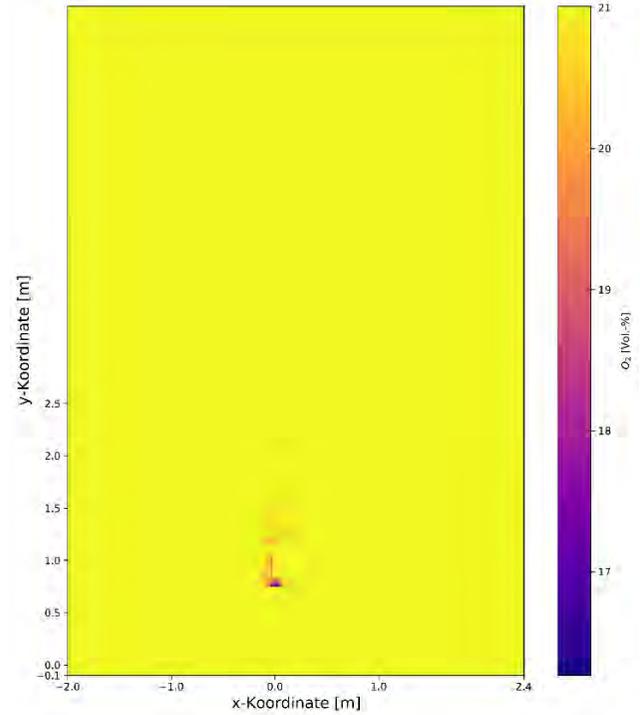
**Abbildung 310** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



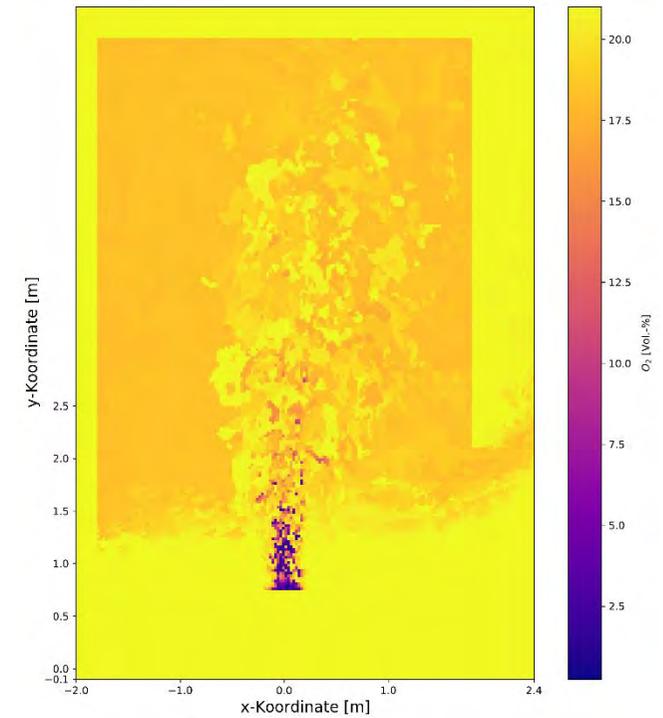
**Abbildung 311** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $x=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



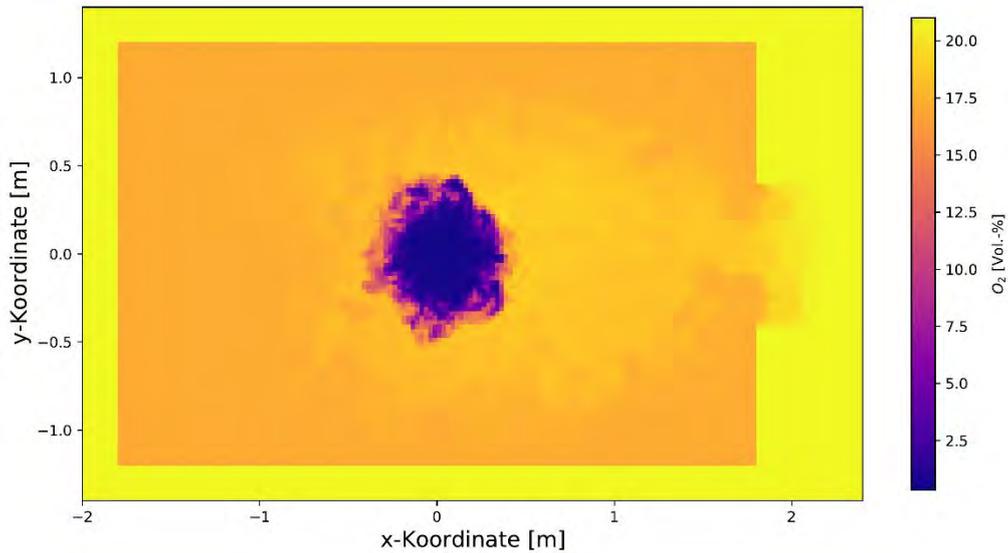
**Abbildung 312** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



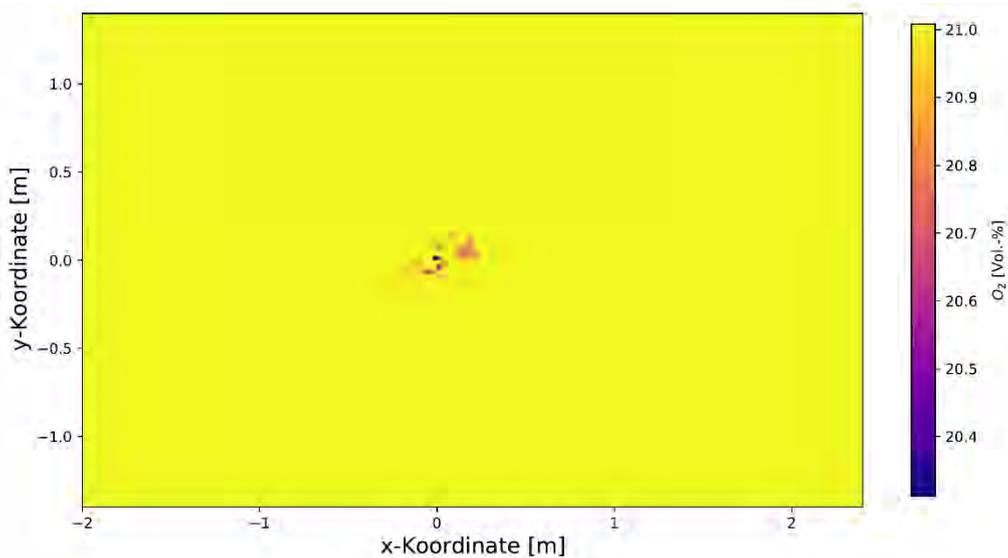
**Abbildung 313** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



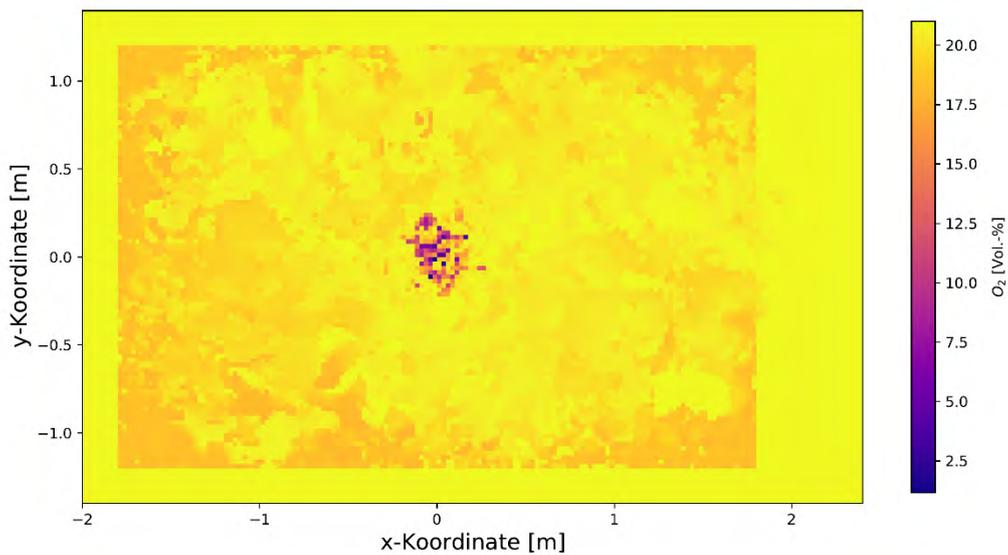
**Abbildung 314** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $y=0$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



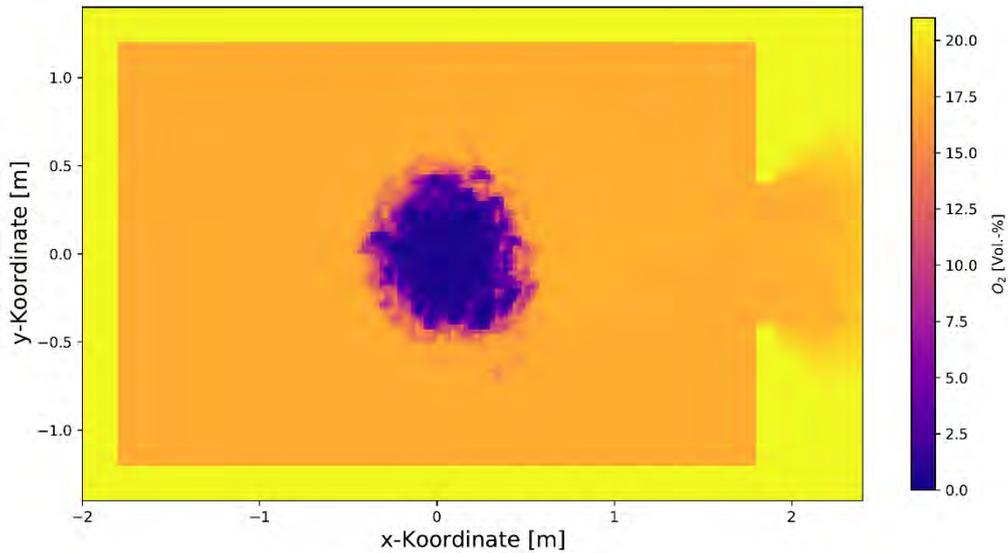
**Abbildung 315** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



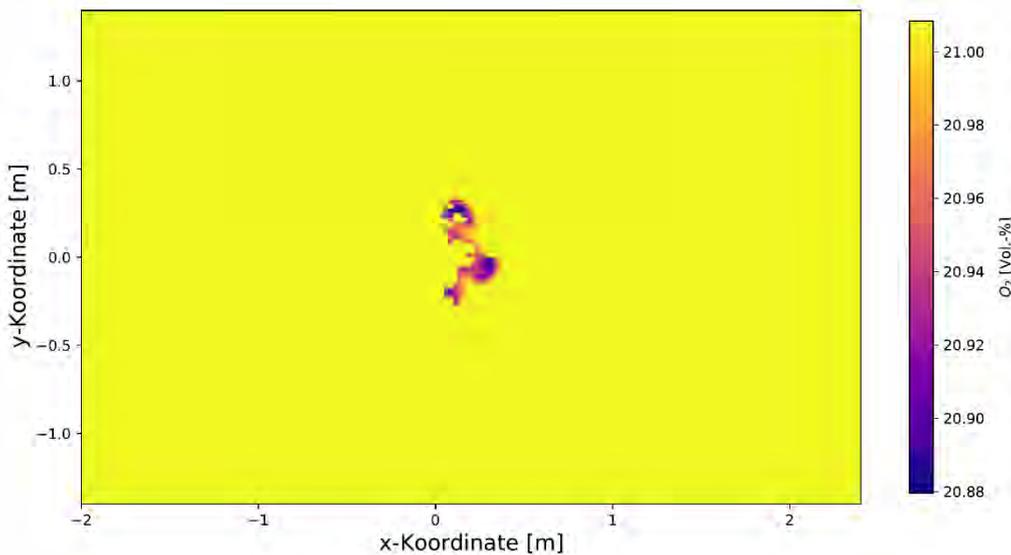
**Abbildung 316** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



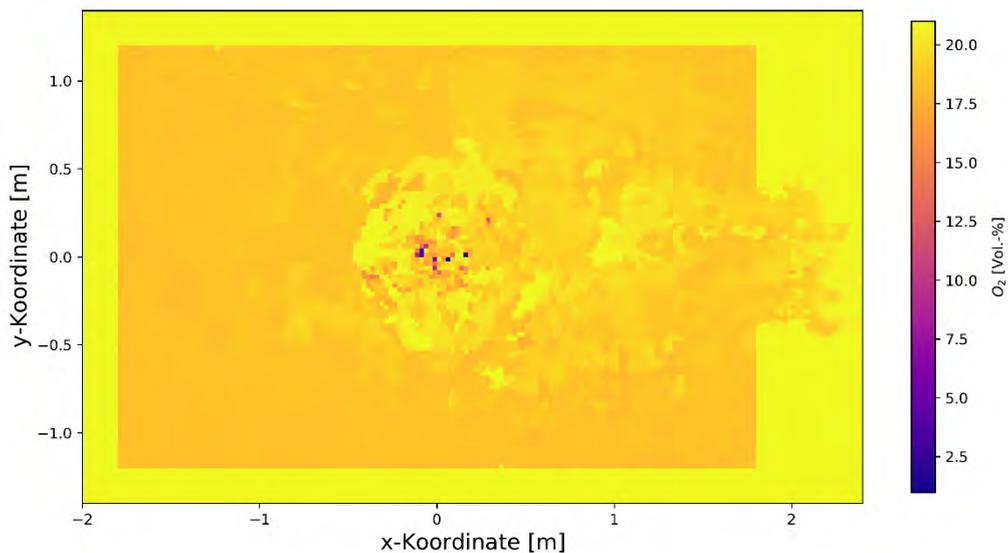
**Abbildung 317** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,35$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



**Abbildung 318** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  über die vollständige Simulationsdauer in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



**Abbildung 319** Verteilung der Konzentration von  $O_2$  nach 480 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m



**Abbildung 320** Verteilung der minimalen Konzentration von  $O_2$  im Zeitraum 480 Sekunden bis 1200 Sekunden in der Ebene  $z=1,75$  der Simulation einer Holzkrippe in Anlehnung an UL 1715 bei einer Deckenhöhe von 6 m