



# Forschungsprojekt

**AERIUS: Alternatives Löschmittel Druckluftschaum  
– komplexe Großschadenslagen vermeiden**

**Teilvorhaben: Erprobung des Druckluftschaumverfahrens und  
Erstellung von Handlungskonzepten (Förderkennzeichen: 13N13631)**

<b>AP* 03</b>	<b>Brandszenarien mit ungewöhnlichen Brandstoffen</b>
Testreihe	Raumbrandversuche zur Untersuchung der Löscheffekte des Druckluftschaumverfahrens und zur Verdrängung des Sauerstoffs

\*Arbeitspaket

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	3
1 Einleitung .....	1
2 Versuchsaufbau .....	2
2.1 Aufbau des Brandcontainers inklusive Messpunkte .....	2
2.2 Messreihe .....	4
2.3 Löschaufbau .....	4
2.4 Anmerkungen zur Versuchsdurchführung .....	4
3 Ergebnisse .....	5
3.1 Löschmittelabgabe auf die Tür der Brennkammer, V1.1-1.3 & V2.1-2.3.....	5
3.2 Löschmittelabgabe in die Brennkammer, V1.4-1.6 & V2.6-2.8 .....	9
3.3 Handgeführte Löschmittelabgabe in die Brennkammer, V1.7-1.9 & 2.9-2.11 .....	13
4 Vergleich der Löschmittel .....	16
4.1 Indirekte Brandbekämpfung .....	16
4.2 Direkte Brandbekämpfung .....	17
4.3 Brandbekämpfung mit handgeführtem Strahlrohr.....	18
4.4 Indirekte und direkte Brandbekämpfung im Vergleich .....	20
4.4.1 Löschmittel Wasser .....	20
4.4.2 Löschmittel CAF .....	21
5 Fazit .....	21
Abbildungsverzeichnis.....	23

## Abkürzungsverzeichnis

AERIUS	Alternatives Löschmittel Druckluftschaum - komplexe Großschadenslagen vermeiden
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung Fachbereich 7.5 Thermische Beständigkeit von Polymeren
BF	Berufsfeuerwehr
Bfw	Berliner Feuerwehr
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAF	Compressed Air Foam (dt. Druckluftschaum)
FTIR	Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer
l	Liter
OvGU	Otto- von-Guericke- Universität Magdeburg, Institut für Apparate- und Umwelt- technik
Pa	Pascal (Einheit für Druck)
vfdb e.V.	Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes eingetragener Verein
VZ	Verschäumungszahl
WBK	Wärmebildkamera

# 1 Einleitung

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungsprojekt AERIUS untersucht die Anwendung von Druckluftschäum. Im Projekt sollen die unzureichend bekannten Wirkmechanismen von Druckluftschäumen untersucht, eine wissenschaftliche Anwendung des Löschmittels etabliert und dadurch komplexe Großschadenslagen besser beherrschbar werden. Druckluftschäum hat im Vergleich zu konventionellem Schäum einen breiteren Anwendungsbereich, da konventioneller Löschschäum unter anderem nicht im Innenangriff verwendet werden kann. Das Forschungsprojekt wurde initiiert, um Wissen in der Anwendung von Druckluftschäum zu generieren, das den Schutz von Einsatzkräften und die Reduzierung von Umweltbelastungen durch Brände unterstützt. Die Berliner Feuerwehr (BFW) beteiligt sich mit dem Teilprojekt „Erprobung des Druckluftschäumverfahrens und Erstellung von Handlungskonzepten“ am Gesamtvorhaben. Darin stehen unter anderem die Gewinnung neuer Erkenntnisse über Einsatzmöglichkeiten von Druckluftschäum in ungewöhnlichen Brandszenarien und die Formulierung von Handlungsempfehlungen im Fokus der Untersuchungen.

In den Wohnungsbrandversuchen von 2016 im Rahmen des Arbeitspaketes 3 (AP) „Brandszenarien mit ungewöhnlichen Stoffen“ wurde festgestellt, dass Feststoffbrände im Innenraum durch eine sparsame Applikation von Compressed Air Foam (CAF) schnell unterdrückt werden können. Aufbauend auf diesen Versuchen sollen die gewonnenen Erkenntnisse präzisiert und validiert werden.

In der 49. Kalenderwoche 2018 fanden deshalb im Rahmen des AP 03 weitere Brandversuche statt. Neben der BFW waren die Partner Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdB) und die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OvGU, Verbundkoordinator) und assoziierte Partner anwesend.

Ziel war es, den Wirkmechanismus der Sauerstoffverdrängung bei der Brandbekämpfung mit verschiedenen Löschmethoden zu untersuchen. Der Luftsauerstoff wird dabei durch die Wasserdampfbildung verdrängt. Die unterschiedliche Wirkung von Löschmitteln und direkter bzw. indirekter Löschmittelapplikation soll anhand des Druckverlaufs, der chemischen Zusammensetzung der Rauchgase und der Temperatur dargestellt werden. Hierfür wurden entsprechende Messgeräte in einem Brandcontainer, in dem die Versuche stattfanden, platziert.

## 2 Versuchsaufbau

In den folgenden Abschnitten sind der Versuchsaufbau und Messwerte dargestellt.

### 2.1 Aufbau des Brandcontainers inklusive Messpunkte

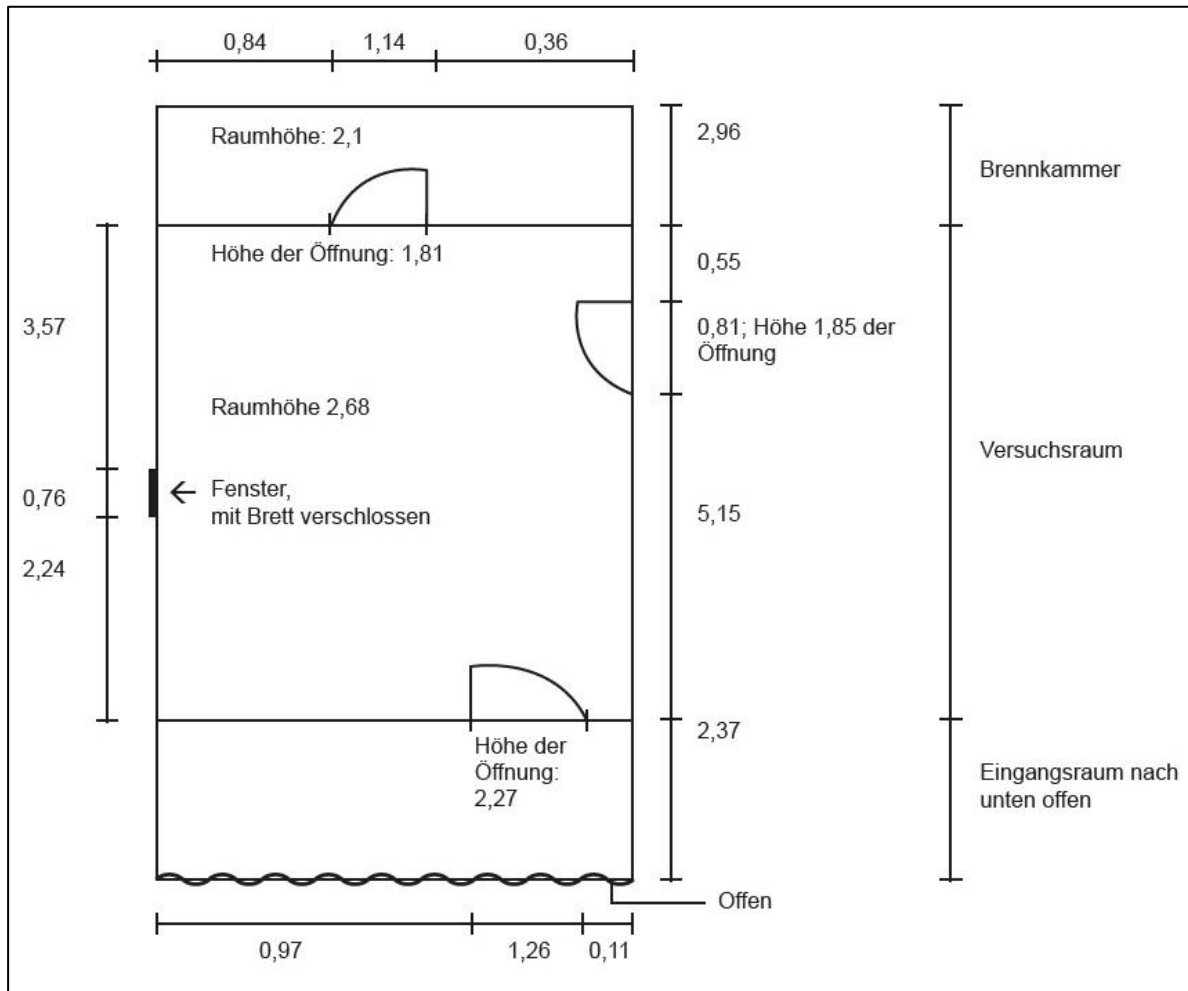
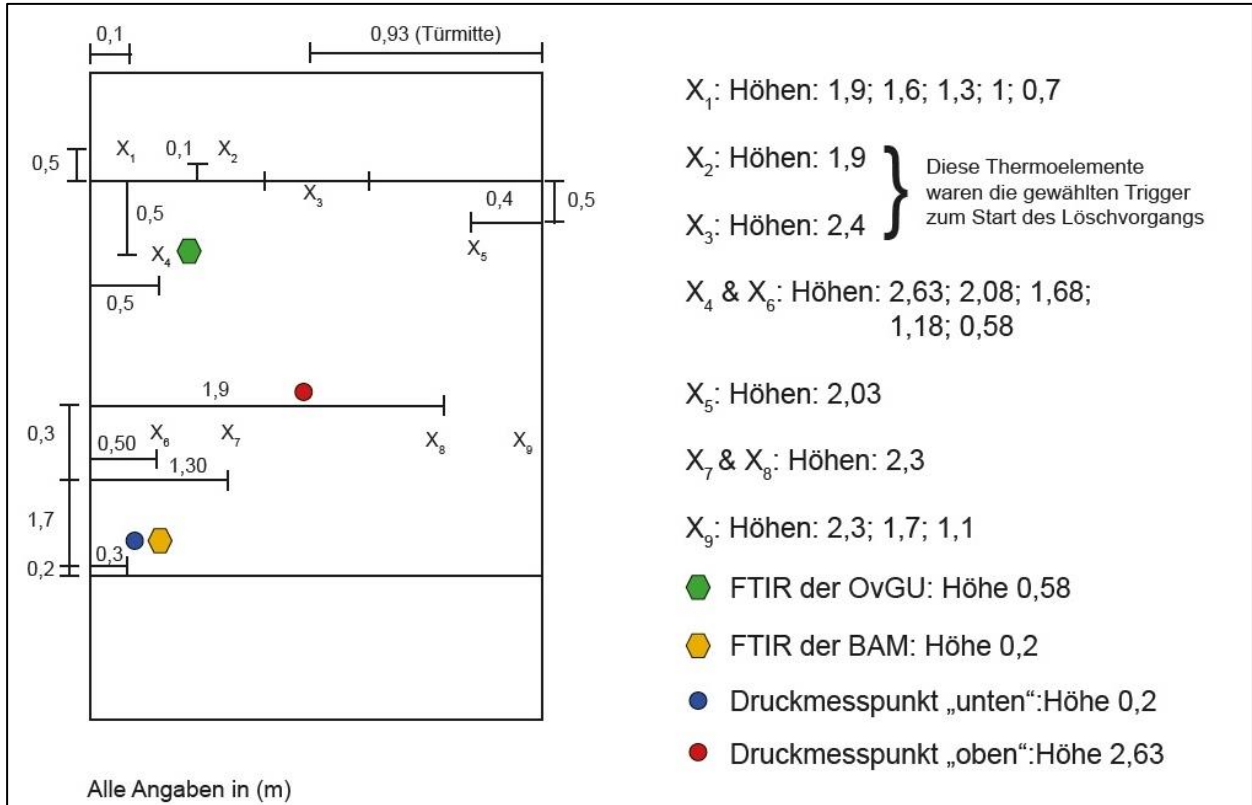
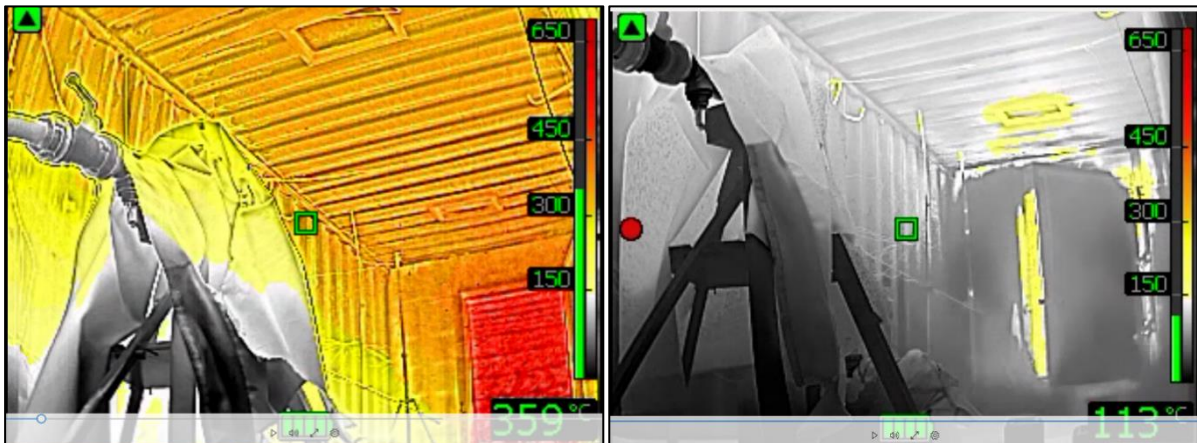


Abbildung 1: Maße des Brandcontainers in Metern.



**Abbildung 2:** Lage der Messpunkte, X: Thermoelemente.

Anhand Abbildung 3 ist links der Versuchsaufbau mit Applikator zu erkennen. Dieser wurde zum Schutz vor thermischer Einwirkung mit einer Löschdecke geschützt. Zudem ist im linken Bild der Zustand vor Löschmittelabgabe mit offener Tür abgebildet. Im rechten Bild ist der Zustand nach Löschmittelabgabe auf die angelehnte Tür abgebildet. Die Tür war bei den Versuchen der indirekten Brandbekämpfung ca. 20 cm geöffnet, um einen Austausch von Sauerstoff und Wasserdampf zwischen Brennkammer und dem Versuchsraum zu gewährleisten. Der Löschstrahl wurde bei der direkten Brandbekämpfung in die Brennkammer appliziert. Bei der indirekten Brandbekämpfung wurde der Löschstrahl nicht in die Brennkammer, sondern auf die angelehnte Türe appliziert.



**Abbildung 3:** Applikator im Versuchsraum. Links: offene Tür zur Brennkammer, rechts: angelehnte Tür zur Brennkammer. Bild: Berliner Feuerwehr, 2018.

**Hinweise zu den Aufnahmen der Wärmebildkamera (WBK):** Da die Bewertung von Bildmaterial nie vollständig objektiv sein kann, wurde auf eine Beurteilung der Versuche auf Grundlage der WBK-Bilder bewusst verzichtet. Die Aufnahmen wurden lediglich zur Visualisierung des Versuchsverlaufs ergänzt. Die Screenshots der WBK-Aufnahmen wurden nicht zu gleichen Zeitpunkten vor/nach der Löschmittelabgabe aufgenommen.

## 2.2 Messreihe

Es wurden folgende Versuche durchgeführt:

Versuch	Erläuterung
V1.1 – 1.3	Wasser mit Applikator auf die Tür der Brennkammer (indirekt)
V1.4 – 1.6	Wasser mit Applikator in die Brennkammer (direkt)
V1.7 – 1.9	Wasser handgeführtes Strahlrohr in die Brennkammer
V2.1 – 2.3	CAF mit Applikator auf die Tür der Brennkammer (indirekt)
V2.6 – 2.8	CAF mit Applikator in die Brennkammer (direkt)
V2.9 – 2.11	CAF handgeführtes Strahlrohr in die Brennkammer

Es wurden weitere Versuche (V2.4 und 2.5) zur Validierung von Einsatztaktiken durchgeführt, die aber aufgrund einer einmaligen Versuchsdurchführung nicht in diesem Bericht beachtet werden.

Auf Grundlage der zuvor stattgefundenen Kalibrierungsversuche wurden als Start-Werte für den Beginn der Löschmaßnahmen die Temperaturwerte der Brennkammer (ca. 700°C) und die Temperatur im Versuchsraum (zwischen 500-600°C) festgelegt. Die Wetterbedingungen außerhalb des Brandcontainers waren trocken bei Temperaturen zwischen 3 °C und 8°C.

## 2.3 Löschaufbau

Von der BFW wurde ein Löschfahrzeug der Firma „US Product Service“, welches die abgegebene Löschmittelmenge erfassen kann, eingesetzt. Das Löschmittel wurde durch DIN-Feuerwehrschräume zur Applikationsvorrichtung weitergeleitet. Die Applikationsvorrichtung wurde durch den assoziierten Partner, die Firma Rosenbauer, gebaut und kann automatisiert Löschmittel abgeben. Als Hohlstrahlrohr wurde das G-Force der Firma TFT eingesetzt. Die Durchflussmenge (Q) betrug  $Q=235 \text{ l/min}$  und es wurde ein leicht aufgefächertes Strahlbild (Sprühwinkel ca. 20°) gewählt. Als Schaummittel wurde „Sthamex class“ verwendet. Die Zumischrate bei den Versuchen mit CAF betrug 0,5% und die Verschäumungszahl (VZ) lag im Durchschnitt bei  $VZ=5,7$ . Das Löschmittel wurde für eine Dauer von 8 Sekunden appliziert. Der Pumpendruck betrug bei der Verwendung von Wasser 5,5 bar und bei der Verwendung von CAF 7 bar.

## 2.4 Anmerkungen zur Versuchsdurchführung

Die durchgeführte Versuchsreihe kann nicht als repräsentativ betrachtet werden. Hierfür war die Anzahl der Versuche zu gering und die Durchführung fehleranfällig, wie die folgenden Ausführungen aufzeigen. Die Versuche sollten jedoch mögliche Unterschiede in der Löschwirkung der beiden Löschmittel CAF und Wasser aufzeigen.



Durch die verschiedenen Löschmittel wurden auch unterschiedliche Mengen an Wasser in das System eingebracht. Bei der Verwendung von Wasser mit Netzmittel ergibt sich aus der Durchflussmenge  $Q=235 \text{ l/min}$  und einer Applikationsdauer von  $t=8\text{s}$  ein Wasser-Volumen von  $V_{W, \text{Wasser}}=Q \cdot t=31,3\text{l}$ . Bei der Verwendung von CAF beträgt  $V_{W, \text{CAF}}=Q \cdot t / \text{VZ}=5,49\text{l}^1$ . Die Zumischung von Schaummittel betrug bei den Versuchen mit CAF bei 0,5%, weshalb die korrigierte Wassermenge  $V_{W, \text{CAF, korrigiert}}$  bei 5,46l lag.

Es gibt Hinweise, dass die Zeit nach Löschmittelabgabe nicht ausgereicht hat, um das Wasser/CAF vollständig zu verdampfen. Hierfür sprechen einerseits die Messergebnisse, die keine Tendenzen hinsichtlich der Verdampfung von Wasser zeigten, andererseits aber auch die Beobachtungen während der Versuchsreihe. Nach Öffnen der Türen zum Versuchsraum war stets noch Wasser/CAF mindestens am Boden noch sichtbar.

Beim Vergleich zwischen der Löschmittelabgabe mit handgeführtem Strahlrohr und der Löschmittelabgabe mit Applikator ist die unterschiedliche Art der Einbringung von Löschmitteln in das System (Verwirbelungen durch die dynamische handgeführte Strahlrohrführung vs. Statische Strahlrohrführung durch den Applikator) zu beachten

Es war nie eine definierte oder gleichbleibende Brandlast in der Brennkammer vorhanden. Die Brandlast war gegen Ende eines Versuchstages immer am höchsten, da kontinuierlich unterschiedliche Mengen von Paletten nachgelegt wurden. Zudem hatten die Paletten unterschiedliche Feuchtegehalte. Um diesen Umstand zu relativieren wurde auf gleiche Anfangswerte der Temperatur zu Beginn der Löschmittelabgabe geachtet.

Die aufgenommenen Messwerte des Fourier-Transform-Infrarotspektrometers (FTIR) der BAM im hinteren Bereich des Versuchsraumes lagen teilweise oberhalb der Kalibriergrenze. Zudem wichen die Ergebnisse der beiden FTIR stark voneinander ab, was möglicherweise in den unterschiedlichen Standorten begründet liegt. Ein direkter Vergleich beider Messergebnisse ist deshalb nicht möglich.

Bei den Druckmessungen wurden sehr geringe Werte gemessen (zum Vergleich:  $10 \text{ Pa}=0,0001 \text{ bar}$ ), die leicht durch die fehlende Dichtigkeit des Brandcontainers sowie das Öffnen und Schließen der Tür bei der handgeführten Löschmittelabgabe beeinflusst werden konnten.

## 3 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Bild- und Messaufnahmen abgebildet. Zur besseren Darstellung werden die Versuchsreihen nicht chronologisch, sondern jeweils gleiche „Set-Ups“ mit den jeweils unterschiedlichen Löschmitteln aufgeführt.

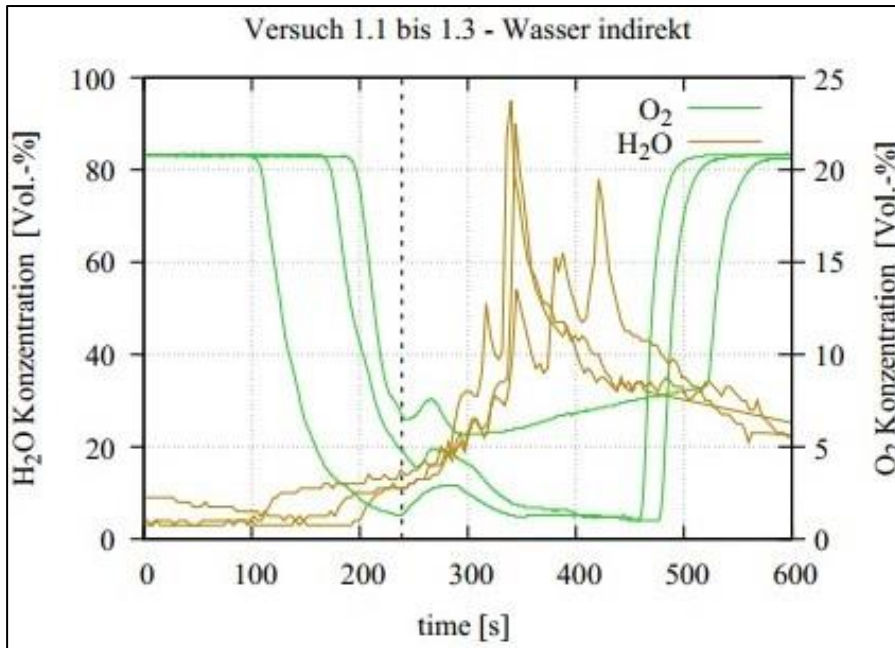
### 3.1 Löschmittelabgabe auf die Tür der Brennkammer, V1.1-1.3 & V2.1-2.3

Die Messergebnisse und Bildaufnahmen zu oben genannten Versuchen. Das Löschmittel wurde auf die Tür der Brennkammer abgegeben, um so einen Löscherfolg der indirekten Brandbekämpfung durch die Verdrängung von Sauerstoff durch den entstehenden Wasserdampf zu erforschen.

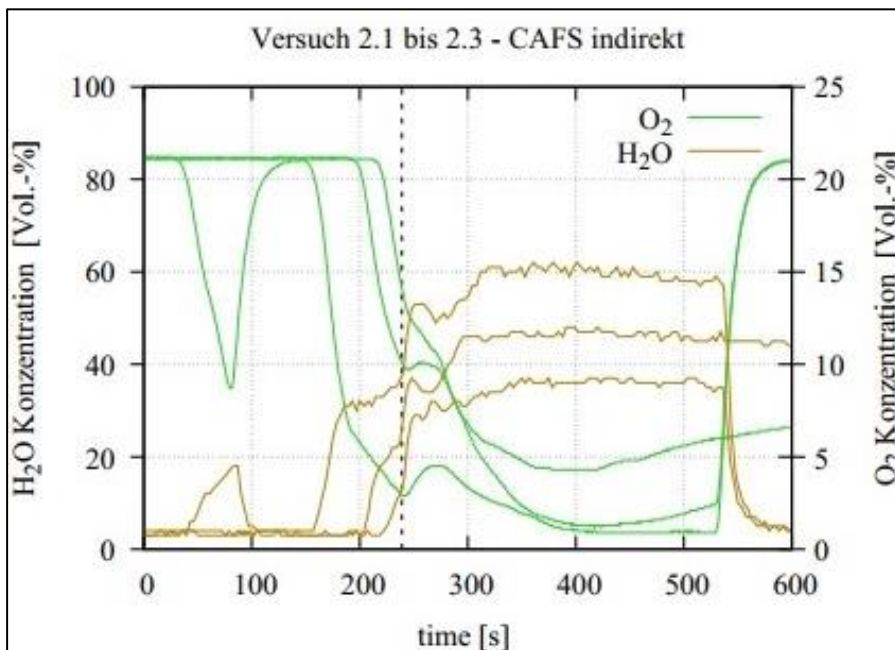
---

<sup>1</sup> <https://wiki.einsatzleiterwiki.de/doku.php?id=brand:allgemein:schaum> (zuletzt aufgerufen 14.05.19)

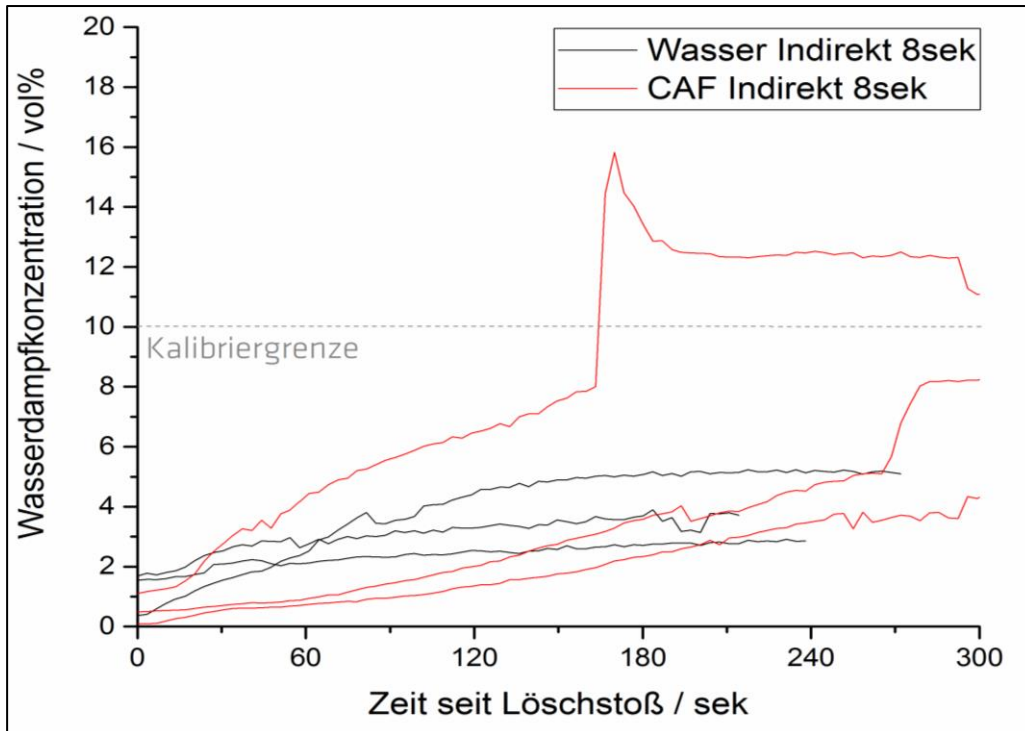




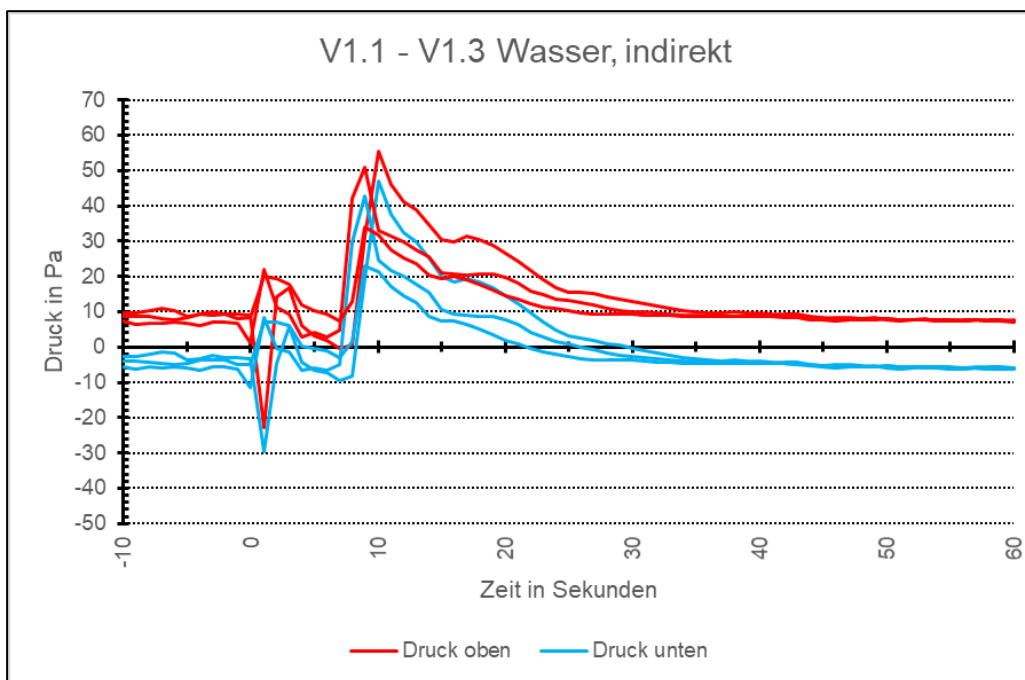
**Abbildung 4:** V1.1-1.3, Konzentration von Wasser ( $H_2O$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe auf die Tür wieder; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU



**Abbildung 5:** V2.1-2.3, Konzentration von Wasser ( $H_2O$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe auf die Tür wieder; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU



**Abbildung 6:** V1.1-1.3 und V2.1-2.3, Konzentration von Wasserdampf ( $H_2O$ ) aufgetragen über die Zeit; Löschmittelabgabe auf die Tür. Messergebnisse der BAM.



**Abbildung 7:** V1.1-1.3, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel Wasser, Messergebnisse der BAM.

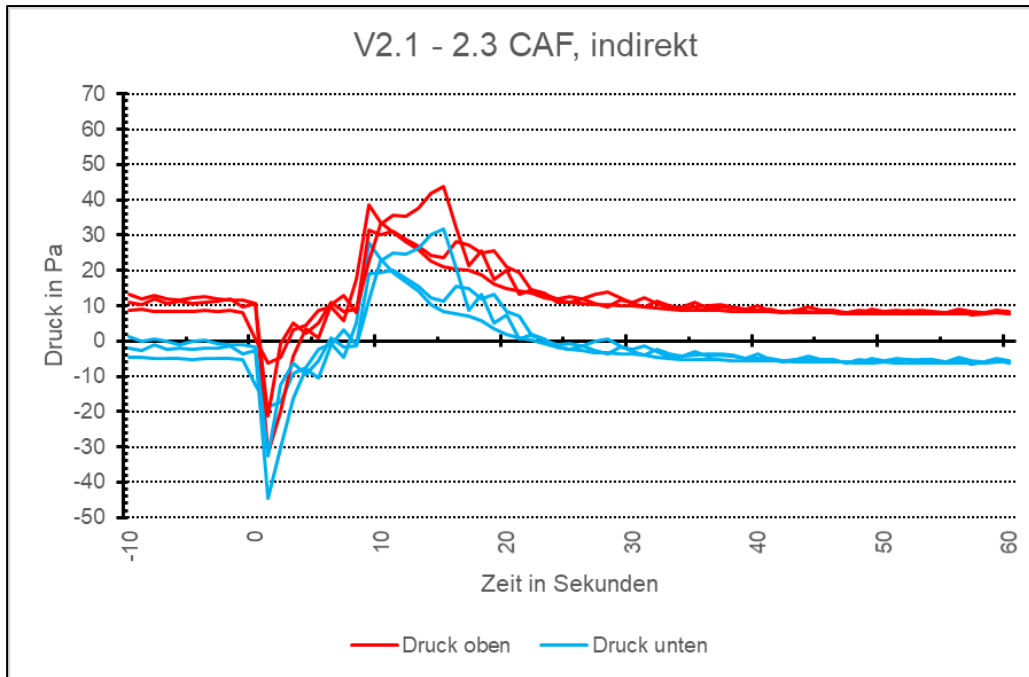


Abbildung 8: V2.1-2.3, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel CAF. Messergebnisse der BAM.

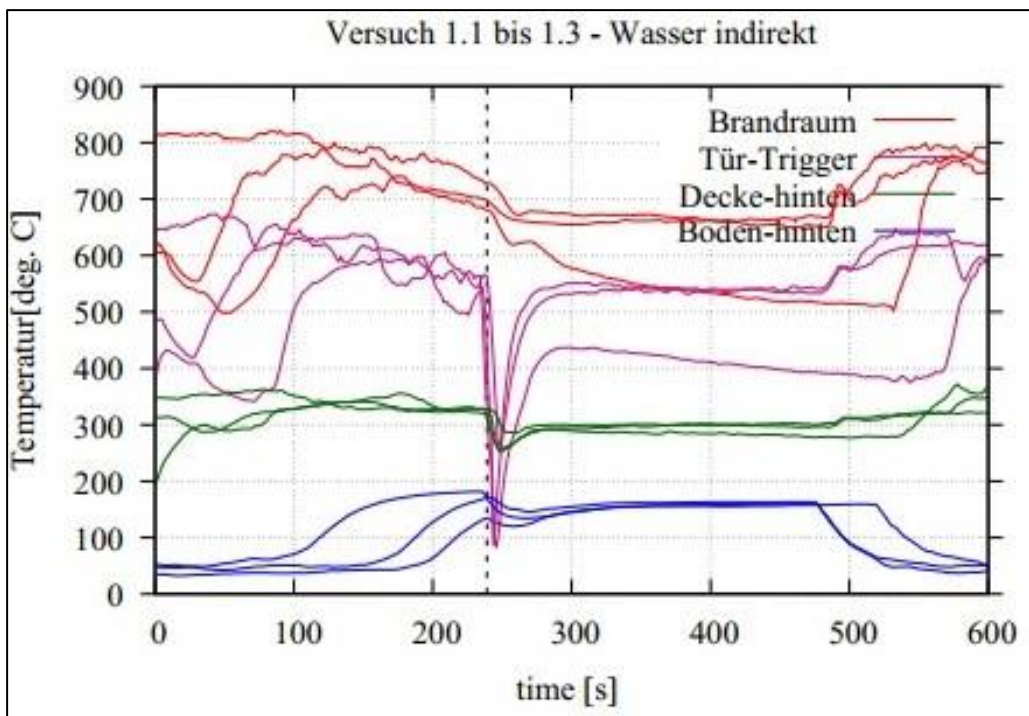
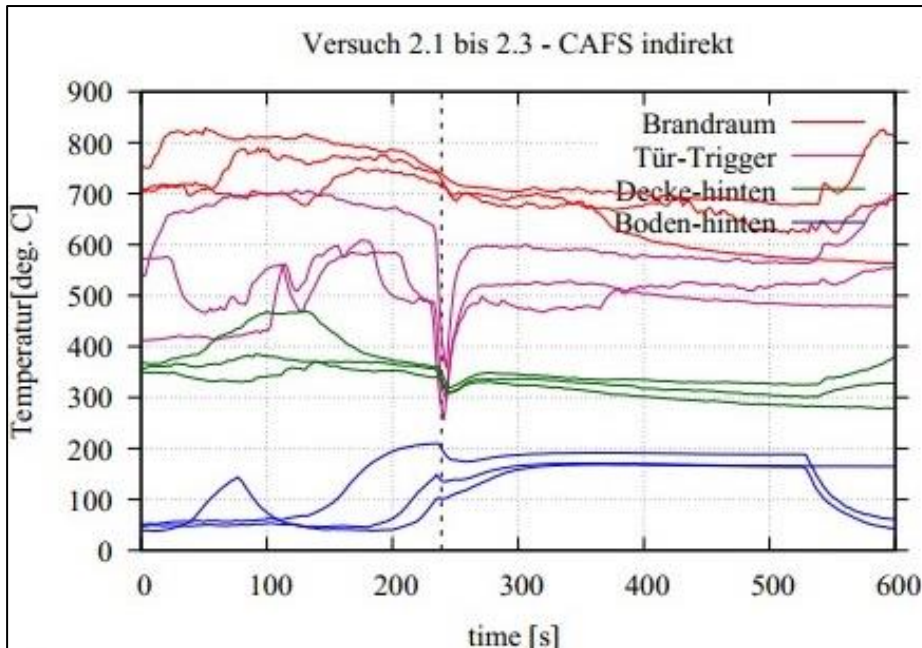


Abbildung 9: V1.1-1.3, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe auf die Tür wieder; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU.

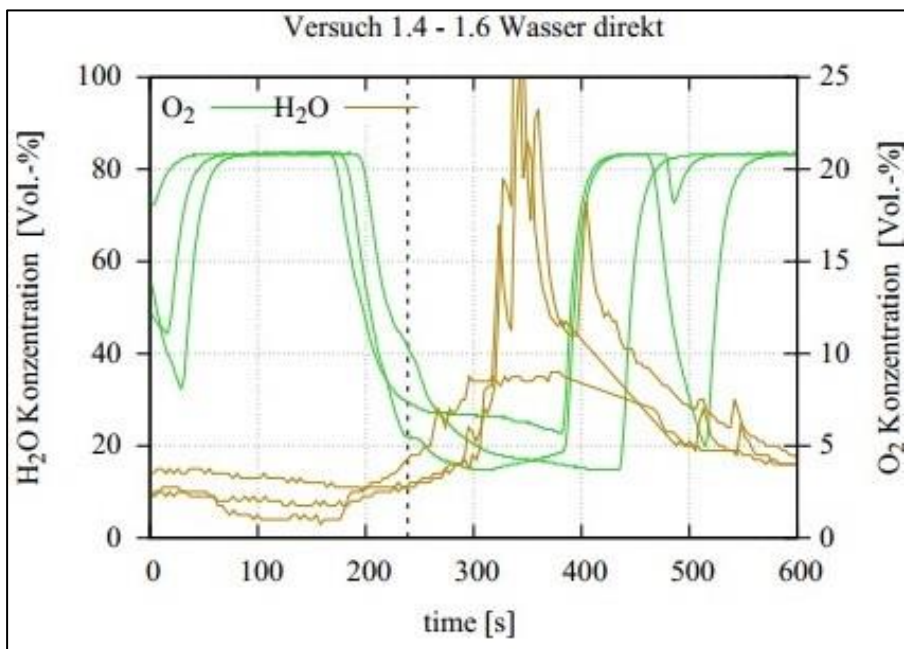


**Abbildung 10:** V2.1-2.3, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe auf die Tür wieder; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU

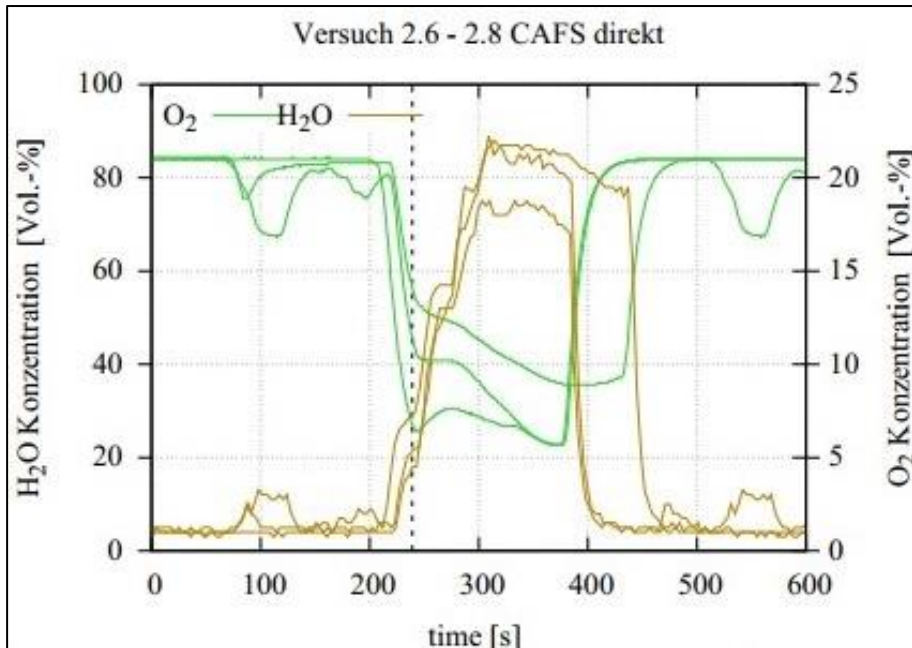
### 3.2 Löschmittelabgabe in die Brennkammer, V1.4-1.6 & V2.6-2.8

Die Messergebnisse und Bildaufnahmen zu den Versuchen.

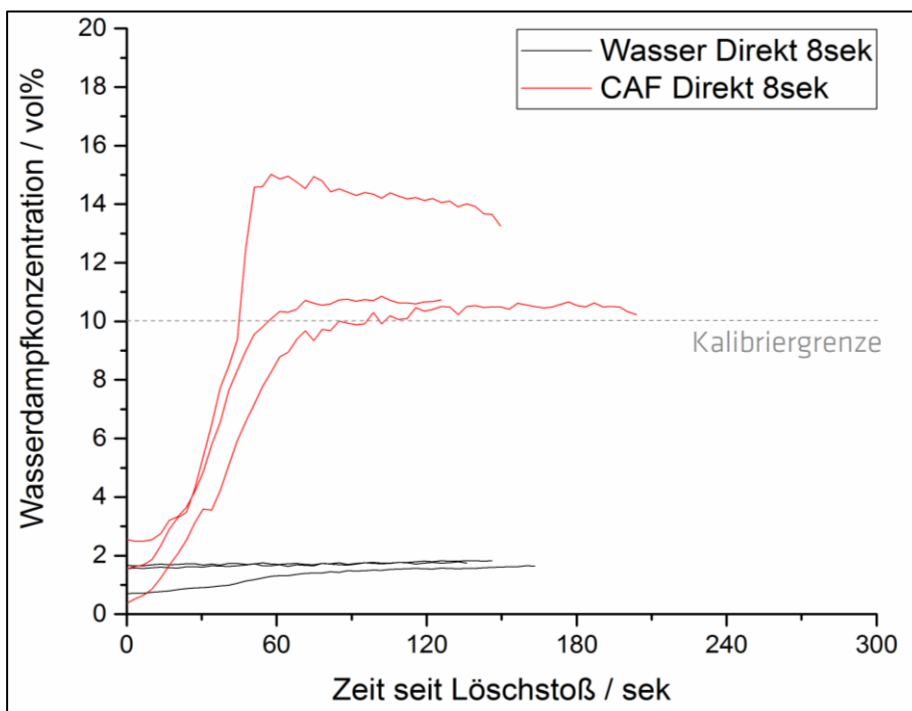
Das Löschmittel wurde in die Brennkammer abgegeben, um so einen Löscherefolg bei der direkten Brandbekämpfung durch die Verdrängung von Sauerstoff zu erforschen.



**Abbildung 11:** V1.4-1.6, Konzentration von Wasser ( $H_2O$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe wieder; Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU.



**Abbildung 12:** V2.6-2.8, Konzentration von Wasser ( $H_2O$ ) und Sauerstoff ( $O_2$ ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe wieder; Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Löschmittel CAF Messergebnisse der OvGU.



**Abbildung 13:** V1.4-1.6 und V2.6-2.8, Konzentration von Wasserdampf ( $H_2O$ ) aufgetragen über die Zeit; Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Messergebnisse der BAM



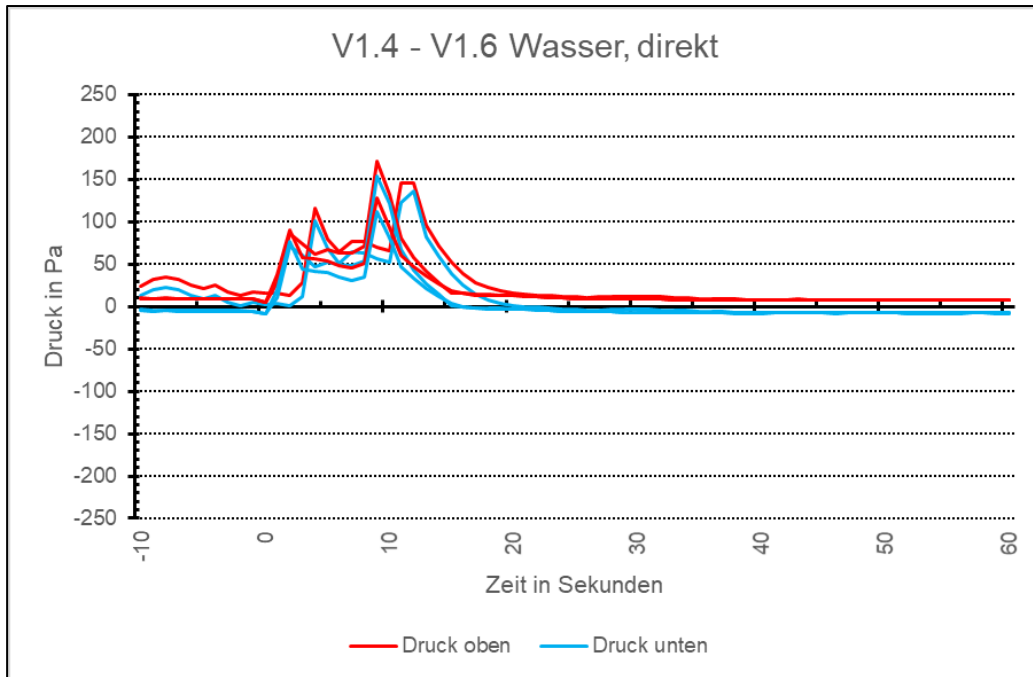


Abbildung 14: V1.4-1.6, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der BAM.

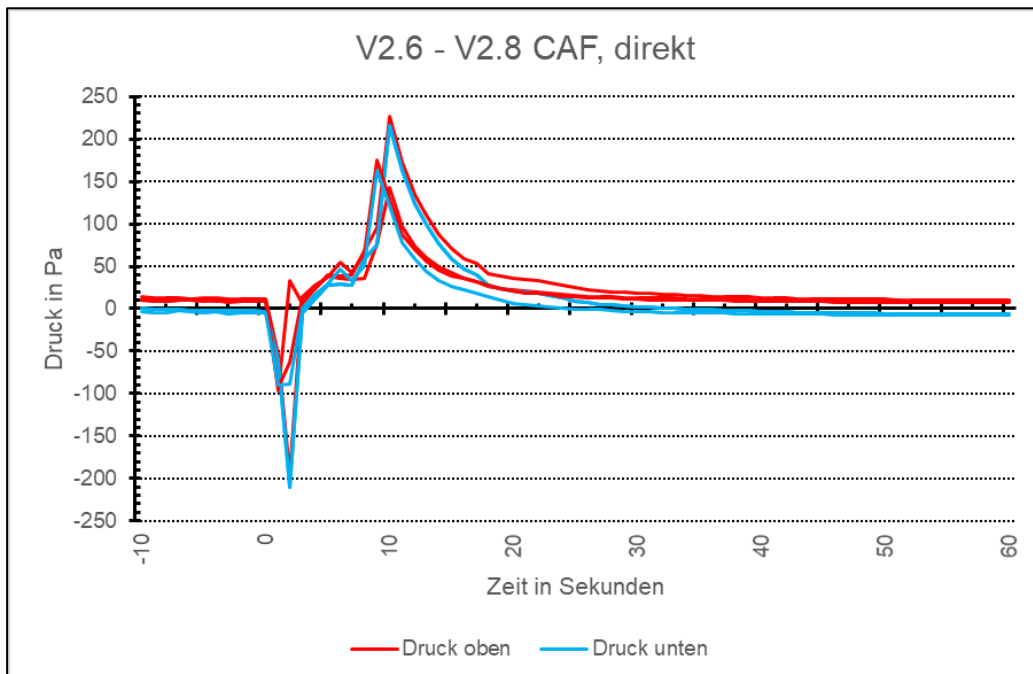
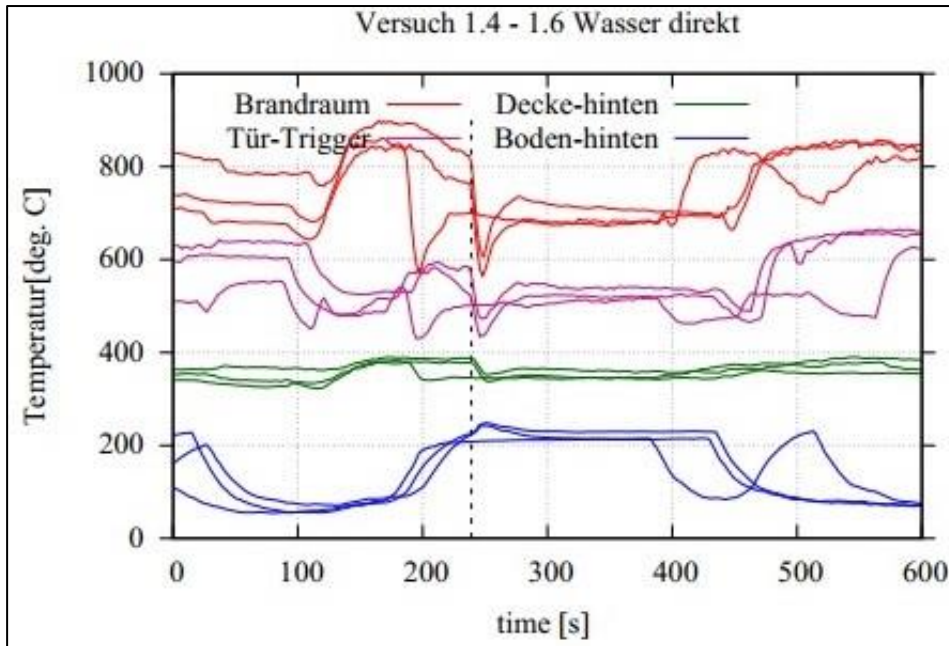
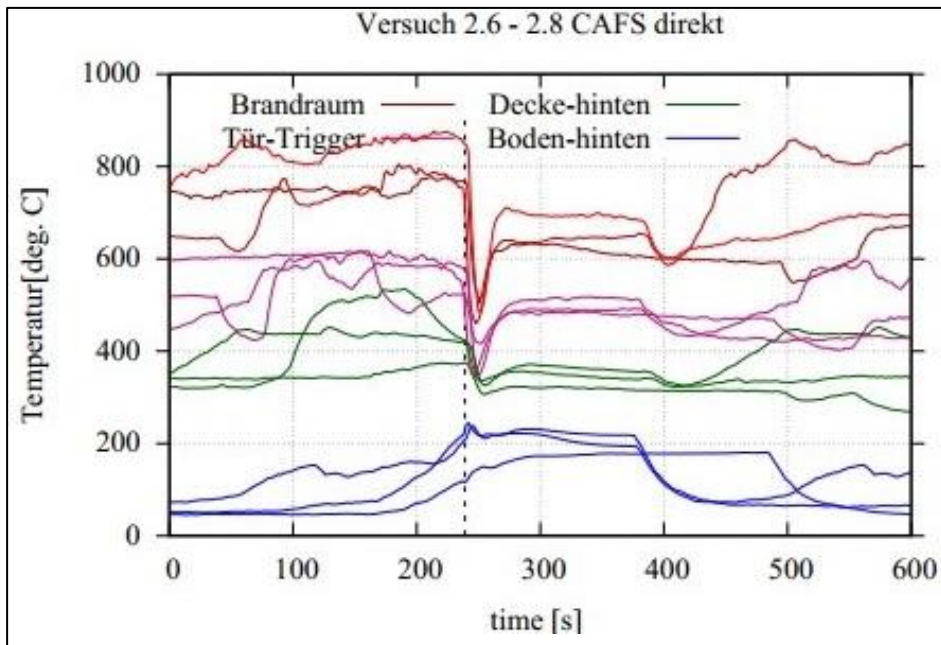


Abbildung 15: V2.6-2.8, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel CAF. Messergebnisse der BAM.



**Abbildung 16:** V1.4-1.6, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe in die Brennkammer wieder; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU.



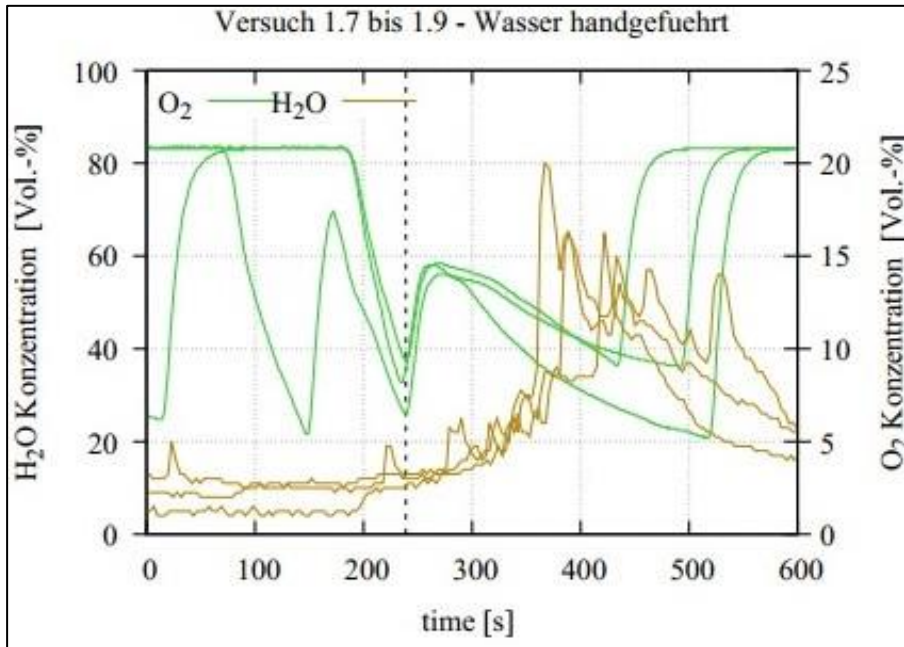
**Abbildung 17:** V2.6-2.8, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe in die Brennkammer wieder; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU.



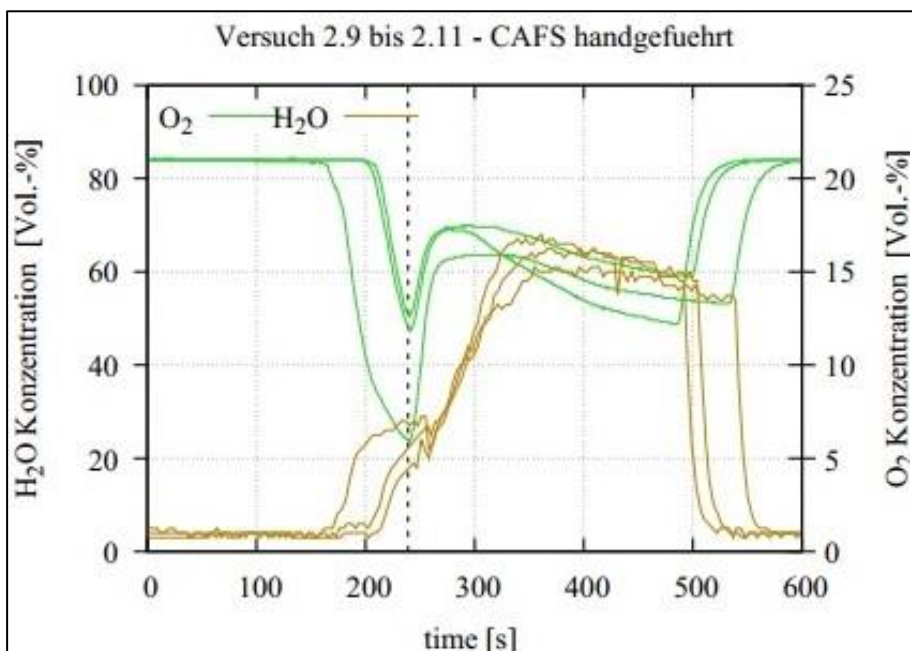
### 3.3 Handgeführte Löschmittelabgabe in die Brennkammer, V1.7-1.9 & 2.9-2.11

Die Messergebnisse und Bildaufnahmen zu den Versuchen.

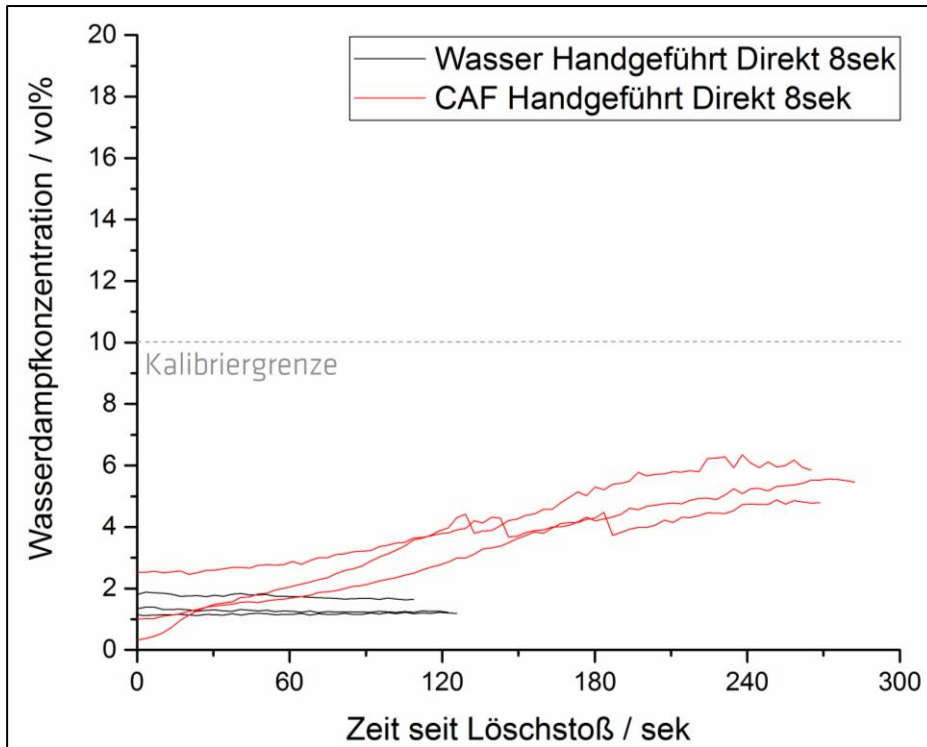
Das Löschmittel wurde händisch in die Brennkammer abgegeben, um so eine realitätsnahe direkte Brandbekämpfung darzustellen.



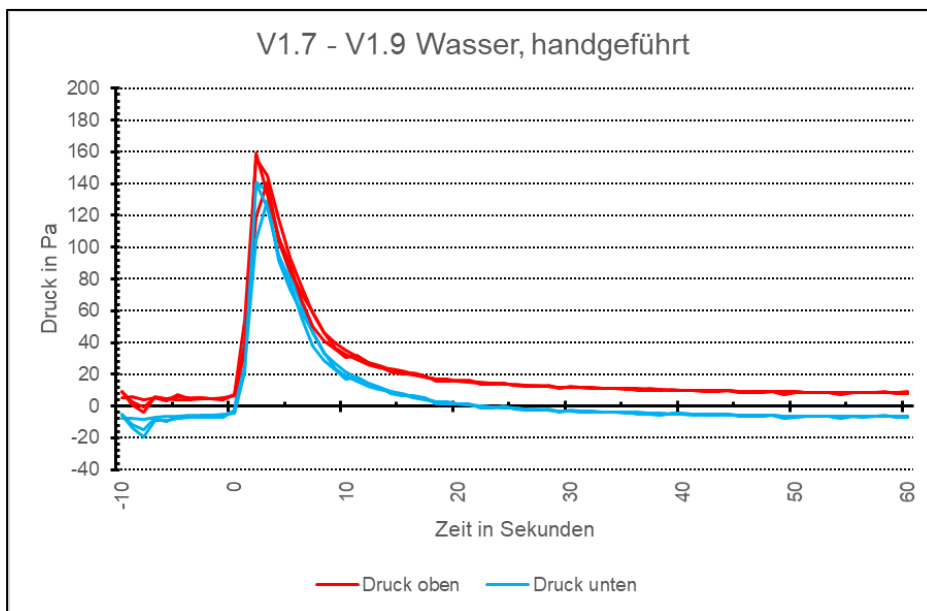
**Abbildung 18:** V1.7-1.9, Konzentration von Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe wieder; händische Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU.



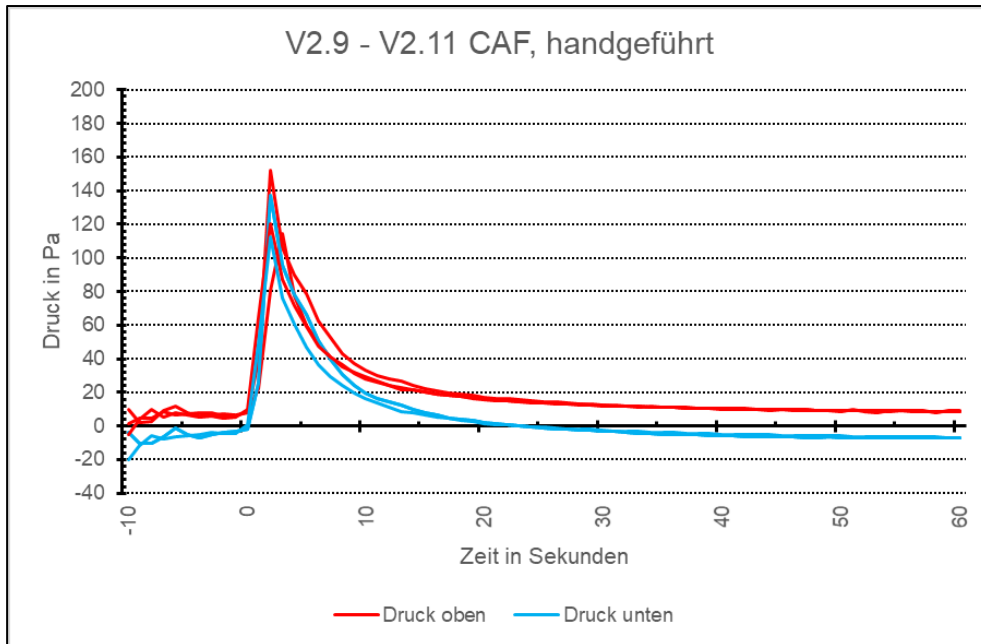
**Abbildung 19:** V2.9-2.11, Konzentration von Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe wieder; händische Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU.



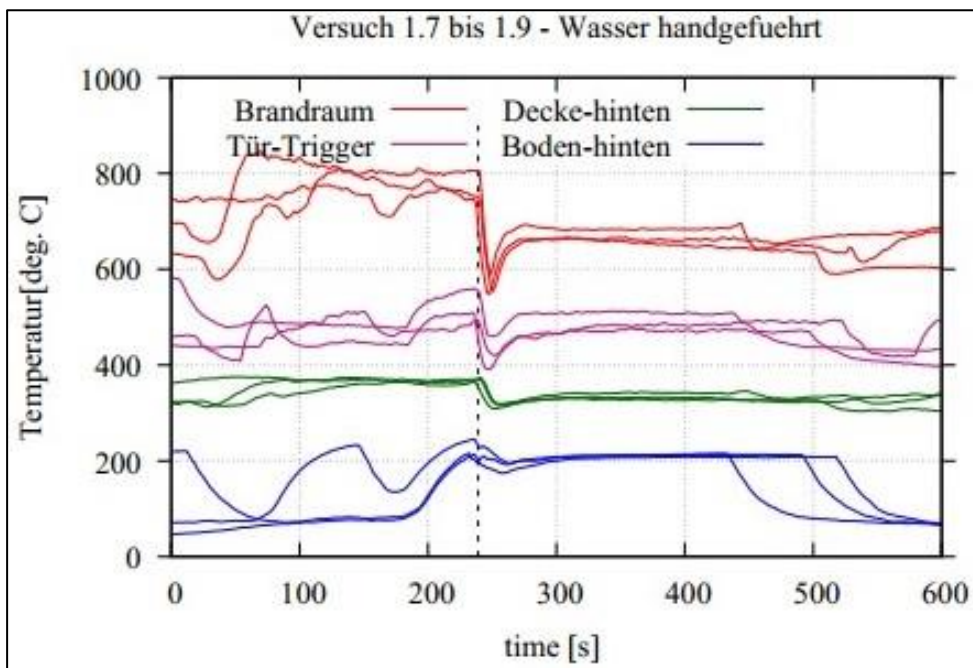
**Abbildung 20:** V1.7-1.9 und V2.9-2.11, Konzentration von Wasserdampf ( $H_2O$ ) aufgetragen über die Zeit; handgeführte Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Messergebnisse der BAM.



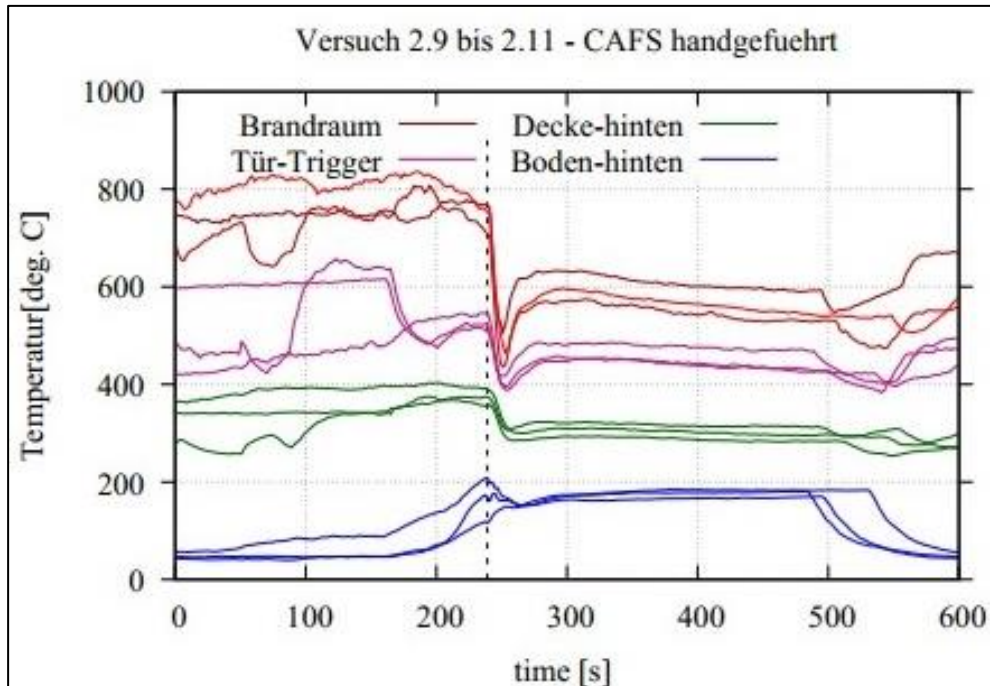
**Abbildung 21:** V1.7-1.9, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der BAM.



**Abbildung 22:** V2.9-2.11, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel CAF. Messergebnisse der BAM.



**Abbildung 23:** V1.7-1.9, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe in die Brennkammer wieder; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU.



**Abbildung 24:** V2.9-2.11, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe in die Brennkammer wieder; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU.

## 4 Vergleich der Löschmittel

Im folgenden Abschnitt erfolgt ein Vergleich der durchgeführten Versuche unter Betrachtung der unter Kapitel 3 aufgeführten Ergebnisse.

### 4.1 Indirekte Brandbekämpfung

#### Sauerstoffkonzentration:

Sowohl bei der Verwendung von Wasser als auch bei der Verwendung von CAF als Löschmittel fällt die Sauerstoffkonzentration nach der Löschmittelabgabe nach einem geringen Anstieg auf durchschnittlich <5 % ab (Abbildung 4 und Abbildung 5). Der Abfall der Sauerstoffkonzentration tritt bei der Benutzung von Wasser tendenziell schneller ein als bei der Verwendung von CAF. Die Konzentration bleibt bis zum erneuten Öffnen der Tür zur Brennkammer nahezu stabil. Der Verlauf der Sauerstoffkonzentration zeigt beim Vergleich der benutzten Löschmittel einen nahezu gleichen Verlauf.

Tendenziell fiel die Sauerstoffkonzentration bei der Verwendung von Wasser schneller ab, jedoch wurden letztendlich ähnliche Sauerstoffkonzentrationen bei der Verwendung von CAF erreicht.

#### Wasserdampfkonzentration:

Die Wasserdampfkonzentration steigt bei der Verwendung von Wasser als Löschmittel langsam an, ehe sie in mehreren Peaks zeitweise einen Maximalwert von ca. 95 % erreicht (Abbildung 4 und Abbildung 5). Bei Verwendung von CAF zeigt sich hingegen ein dauerhaftes Plateau mit einer Wasserdampfkonzentration von ca. 50 %. Die Werte der BAM weichen stark

von den aufgezeichneten Werten der OvGU ab (Abbildung 6). Gründe hierfür wurden unter 2.4 erläutert.

Bei der Verwendung von Wasser als Löschmittel war im Vergleich zu CAF eine höhere Wasserdampfkonzentration zu beobachten. Bei Wasser war der Verlauf von kurzzeitig hohen Wasserdampfkonzentrationen geprägt, wohingegen sich bei CAF ein länger anhaltendes Plateau auf niedrigerem Niveau als bei Wasser einstellte.

#### Druck:

Beim Vergleich beider Löschmittel zeigten sich ähnliche Druckverläufe (Abbildung 7 und Abbildung 8) jedoch ist der Druckverlauf von CAF von Unregelmäßigkeiten im Verlauf geprägt, wohingegen die Verlaufskurve des Wassers kontinuierlich verläuft. Nach Löschmittelabgabe kam es kurzzeitig zu einem Unterdruck, ehe es schlagartig zu einem Überdruck kam. Die Differenz zwischen Minimum und Maximum betrug bei beiden Löschmitteln ca. 80 Pa, was 0,0008 bar entspricht. Der Messwert, welcher in Deckenhöhe angezeigt wurde, wies stets einen um ca. 15 Pa höheren Wert auf als der Messwert in Bodennähe.

Beide Löschmittel zeigten ähnliche Druckverlaufskurven.

#### Temperatur:

Der Temperaturverlauf bei den Versuchen war bei beiden Löschmitteln nahezu gleich, lediglich der Messwert an der Tür zur Brennkammer fiel bei der Verwendung von Wasser auf einen geringeren Wert ab (Abbildung 9 und Abbildung 10). Bei der Verwendung von CAF zeigte sich unmittelbar nach Löschmittelabgabe ein Minimum von ca. 300°C, bei Wasser von ca. 100°C. Danach zeigten beide Löschmittel ein ähnliches Temperaturverhalten dieses Messpunktes mit einem Plateau von ca. 500 °C.

Beide Löschmittel zeigten einen nahezu gleichen Temperaturverlauf. Unmittelbar nach Löschmittelabgabe von Wasser war bei einem Messwert ein stärkerer Temperaturabfall zu registrieren, letztendlich nahm dieser Messwert bei beiden Löschmittel im weiteren Verlauf ähnliche Werte an.

## **4.2 Direkte Brandbekämpfung**

#### Sauerstoffkonzentration:

Bei der Verwendung von Wasser als Löschmittel fiel die Sauerstoffkonzentration in kurzer Zeit nach Abgabe des Löschmittels auf ein Plateau mit einer durchschnittlichen Sauerstoffkonzentration von ca. 5 % ab (Abbildung 11). Bei der Verwendung von CAF wurde, nach einem anfänglichen Absinken der Sauerstoffkonzentration nach Abgabe des Löschmittels auf durchschnittlich ca. 10%, erst nach einem 90 Sekunden dauerndem, kontinuierlichem Abfall ein Wert von ca. 7,5% erreicht (Abbildung 12).

Die Sauerstoffkonzentration wurde durch den Einsatz von Wasser bei der direkten Brandbekämpfung in kürzerer Zeit nachhaltig erniedrigt. Bei der Verwendung von CAF als Löschmittel war die Erniedrigung der Sauerstoffkonzentration nicht so deutlich ausgeprägt und dauerte zudem länger.



#### Wasserdampfkonzentration:

Die Wasserdampfkonzentration stieg bei der Verwendung von Wasser als Löschmittel langsam an, ehe sie in mehreren Peaks zeitweise einen Maximalwert von über 95 % erreicht (Abbildung 11). Bei Verwendung von CAF zeigte sich hingegen ein dauerhaftes Plateau mit einer Wasserdampfkonzentration von ca. 80 % (Abbildung 12). Ein ähnlicher Verlauf war bereits bei der indirekten Brandbekämpfung mit Löschmittelabgabe auf die Tür zu beobachten.

Am Messpunkt der BAM wurde bei der Verwendung von CAF nach einem steilen Anstieg ein Plateau der Wasserdampfkonzentration von ca. 12 % gemessen, wohingegen sich die Wasserdampfkonzentration bei der Verwendung von Wasser kaum gegenüber dem Ausgangswert von ca. 2 % änderte (Abbildung 13).

Bei der Verwendung von Wasser als Löschmittel war im Vergleich zu CAF eine höhere Wasserdampfkonzentration zu beobachten. Bei Wasser war der Verlauf von mehreren Peaks geprägt, wohingegen sich bei CAF ein Plateau einstellte. Dieses Verhalten wurde bereits bei den Versuchen der indirekten Brandbekämpfung beobachtet.

#### Druck:

Nach Abgabe von Wasser stieg der Druck in mehreren Peaks mit zwischenzeitlichen Plateaus auf ca. 160 Pa an (Abbildung 14). Bei der Abgabe von CAF zeigte sich ein Druckabfall auf -150 Pa, ehe der Druck nach einem zwischenzeitlichen Plateau auf durchschnittlich ca. 180 Pa (Abbildung 15) ansteigt. Der Messwert, welcher in Deckenhöhe aufgenommen wurde, wies bei beiden Löschmitteln stets einen um ca. 15 Pa höheren Wert auf als der Messwert, welcher in Bodennähe aufgenommen wurde.

Es zeigten sich unterschiedliche Druckverläufe, jedoch lagen die Maximalwerte mit ca. 20 Pa (0,0002 bar) relativ nah beieinander. Es entstand ein kurzzeitiger Unterdruck bei der CAF-Abgabe.

#### Temperatur:

Der Temperaturverlauf bei den Versuchen war bei beiden Löschmitteln ähnlich. Die Messwerte in der Nähe der Brennkammer fielen bei der Verwendung von CAF kurzzeitig stärker ab. Der Messwert in der Brennkammer und an der Tür zur Brennkammer nahm nach der Löschmittelabgabe ein Plateau auf einer ca. 50 °C niedrigeren Temperatur an. Bei der Verwendung von CAF sind die Temperaturen nach Löschmittelabgabe tendenziell niedriger als bei der Verwendung von Wasser (Abbildung 16 und Abbildung 17).

Tendenziell sind bei der Verwendung von CAF nach Löschmittelabgabe bei der direkten Brandbekämpfung niedrigere Temperaturen zu verzeichnen.

### **4.3 Brandbekämpfung mit handgeführtem Strahlrohr**

Bei der Brandbekämpfung mit handgeführtem Strahlrohr wurde der Container zunächst, wie bei allen anderen abgelaufenen Versuchen, auf die zum Start der Löschmaßnahmen festgelegten Temperaturwerte aufgeheizt. Waren diese Werte erreicht, wurde die Tür zwischen Eingangsraum und Versuchsraum geöffnet und Einsatzkräfte gaben das Löschmittel handgeführt für 8 Sekunden in die Brennkammer ab. Anschließend wurde die Tür zum Versuchsraum wieder verschlossen.

#### Sauerstoffkonzentration:

Bei der Verwendung von Wasser als Löschmittel fiel die Sauerstoffkonzentration nach einem anfänglichen Anstieg unmittelbar nach Abgabe des Löschmittels auf ein Minimum mit einer durchschnittlichen Sauerstoffkonzentration von ca. 8% ab, ehe die Sauerstoffkonzentration auf ca. 14 % erneut anstieg. Danach war ein Absinken auf ca. 8% innerhalb von ca. 180 Sekunden erkennbar (Abbildung 18). Bei der Verwendung von CAF wurde nach einem anfänglichen starken Absinken der Sauerstoffkonzentration nach Löschmittelabgabe auf ca. 10% und einem erneuten Anstieg auf ca. 16% nach ca. 270 Sekunden ein Wert von ca. 14% erreicht (Abbildung 19). Der anfängliche Anstieg der Sauerstoffkonzentration kann auf die geöffnete Tür zum Versuchsraum zurückgeführt werden.

Die Sauerstoffkonzentration wurde durch den Einsatz von Wasser bei der handgeführten Brandbekämpfung in kürzerer Zeit nachhaltig erniedrigt, bei CAF war dieser Effekt nicht so deutlich ausgeprägt.

#### Wasserdampfkonzentration:

Die Wasserdampfkonzentration stieg bei beiden verwendeten Löschmitteln nach ca. 90 Sekunden auf ca. 60% an und nahm dann bis zum Belüften des Brandcontainers ab (Abbildung 18 und Abbildung 19). Auffällig war ein unregelmäßiger Verlauf der Wasserdampfkonzentration mit mehreren Peaks bei der Verwendung von Wasser. Bei der Verwendung von CAF war ein kontinuierlicher Verlauf erkennbar.

Am Messpunkt der BAM war bei der Verwendung von CAF ein Anstieg auf ca. 5% erkennbar, wohingegen sich die Wasserdampfkonzentration bei der Verwendung von Wasser kaum gegenüber dem Ausgangswert von ca. 2 % änderte (Abbildung 20).

Bei beiden Löschmitteln stieg die Wasserdampfkonzentration auf einen ähnlichen Wert an. Hierbei zeigte sich bei der Verwendung von Wasser eine unregelmäßige Verlaufskurve, wohingegen die Verlaufskurve bei der Verwendung von CAF eine im Vergleich zu Wasser kontinuierlichere Verlaufskurve zeigt.

#### Druck:

Nach der Löschmittelabgabe steigt der Druck sowohl bei der Verwendung von Wasser, als auch bei der Verwendung von CAF, schlagartig auf ca. 150 Pa an (möglicherweise durch das Schließen der Türe) und fällt dann kontinuierlich wieder auf die Ausgangswerte zurück (Abbildung 21 und Abbildung 22). Beide Löschmittel zeigten einen nahezu identischen Druckverlauf. Der Messwert, welcher in Deckenhöhe aufgenommen wurde, wies bei beiden Löschmitteln stets einen um ca. 15 Pa höheren Wert auf als der Messwert, welcher in Bodennähe aufgenommen wurde.

Beide Löschmittel zeigten einen nahezu identischen Druckverlauf.

#### Temperatur:

Der Temperaturverlauf bei den Versuchen war bei beiden Löschmitteln ähnlich (Abbildung 23 und Abbildung 24). Insgesamt zeigten sich bei der Verwendung von CAF etwas niedrigere Temperaturen. Diese lagen etwa 25°C-50°C unterhalb der gemessenen Werte bei der Verwendung von Wasser als Löschmittel.

Tendenziell sind bei der Verwendung von CAF nach Löschmittelabgabe bei der direkten Brandbekämpfung mit handgeführtem Strahlrohr niedrigere Temperaturen zu verzeichnen.



## 4.4 Indirekte und direkte Brandbekämpfung im Vergleich

In diesem Abschnitt werden die Löschmittel auf ihre Unterschiede bei der indirekten und direkten Brandbekämpfung verglichen.

### 4.4.1 Löschmittel Wasser

#### Sauerstoffkonzentration:

Bei der indirekten Brandbekämpfung war nach Wasserabgabe ein Anstieg der Sauerstoffkonzentration von etwa 1-2% zu beobachten, ehe die Konzentration auf ein Plateau von (durchschnittlich) unter 5% abfällt (Abbildung 4). Bei der direkten Brandbekämpfung war nach Löschmittelabgabe ein Abfall der Sauerstoffkonzentration auf ein Plateau von ca. 5% (Abbildung 11).

Im Vergleich zur direkten Brandbekämpfung mit Wasser wurden bei der indirekten Brandbekämpfung mit Wasser geringere Sauerstoffkonzentrationen erreicht.

#### Wasserdampfkonzentration:

Bei der indirekten Brandbekämpfung waren Peaks mit Maximalwerten von ca. 95% zu beobachten (Abbildung 4). Bei der direkten Brandbekämpfung wurden Peaks mit über 95% gemessen (Abbildung 11). Zudem wurden insgesamt höhere Werte der Wasserdampfkonzentration bei der direkten Brandbekämpfung erreicht.

Im Vergleich beider Arten der Brandbekämpfung wurden bei der direkten Brandbekämpfung höhere Werte der Wasserdampfkonzentration erreicht als bei der indirekten Brandbekämpfung.

#### Temperatur:

Bei der indirekten Brandbekämpfung war nach Wasserabgabe ein ausgeprägter Abfall der Temperatur an der Tür zur Brennkammer festzustellen (Abbildung 9). Bei der direkten Brandbekämpfung war nach Wasserabgabe ein deutlicher Temperaturabfall in der Brennkammer und an der Tür zur Brennkammer messbar (Abbildung 16). Darüber hinaus war bei beiden Arten der Brandbekämpfung nach Löschmittelabgabe an den übrigen Messpunkten ein Temperaturabfall messbar. Nach ca. 30 Sekunden stiegen die Temperaturwerte wieder auf ein Plateau unterhalb der Ausgangstemperatur.

Eine Tendenz, welche Art der Brandbekämpfung mit Wasser einen insgesamt stärkeren und langfristigen Temperaturabfall aller Messwerte herbeiführt, konnte nicht erkannt werden.

#### Druck:

Bei der indirekten Brandbekämpfung war zunächst ein Abfall des Drucks zu beobachten, ehe ein Maximalwert von ca. 50 Pa erreicht wurde (Abbildung 7). Bei der direkten Brandbekämpfung wurde nach mehreren Peaks ein Maximalwert von ca. 150 Pa erreicht (Abbildung 14).

Bei der direkten Brandbekämpfung mit Wasser wurden im Vergleich zur indirekten Brandbekämpfung mit Wasser höhere Werte des Drucks erreicht.

#### **4.4.2 Löschmittel CAF**

##### Sauerstoffkonzentration:

Bei der indirekten Brandbekämpfung war nach Löschmittelabgabe ein schnellerer Abfall der Sauerstoffkonzentration im Vergleich zur direkten Brandbekämpfung zu beobachten (Abbildung 5 und Abbildung 12). Zudem wurde durch die indirekte Brandbekämpfung eine niedrigere Sauerstoffkonzentration mit durchschnittlich unter 5% im Vergleich zur direkten Brandbekämpfung mit Werten um 8% erreicht.

Bei der Verwendung von CAF wurden bei der indirekten Brandbekämpfung niedrigere Sauerstoffkonzentrationen als bei der zur direkten Brandbekämpfung erreicht.

##### Wasserdampfkonzentration:

Bei der indirekten Brandbekämpfung stellte sich nach Löschmittelabgabe ein Wasserdampfkonzentration auf einem Plateau von durchschnittlich ca. 80% ein (Abbildung 5). Bei der direkten Brandbekämpfung stellte sich die Wasserdampfkonzentration auf einem Plateau von ca. 95% ein (Abbildung 12).

Im Vergleich beider Arten der Brandbekämpfung wurde bei der direkten Brandbekämpfung eine höhere Wasserdampfkonzentration erreicht.

##### Temperatur:

Bei der indirekten Brandbekämpfung war nach Löschmittelabgabe von CAF ein ausgeprägter Abfall der Temperatur an der Tür zur Brennkammer festzustellen (Abbildung 10). Bei der direkten Brandbekämpfung war nach Löschmittelabgabe ein deutlicher Temperaturabfall in der Brennkammer und an der Tür zur Brennkammer messbar (Abbildung 17). Darüber hinaus wurden bei beiden Arten der Brandbekämpfung nach Löschmittelabgabe an den übrigen Messpunkten ein Temperaturabfall gemessen. Nach ca. 30 Sekunden stiegen die Temperaturwerte wieder auf ein Plateau unterhalb der Ausgangstemperatur.

Tendenziell war bei CAF eine langfristige Temperaturabsenkung bei der indirekten Brandbekämpfung im Vergleich zur direkten Brandbekämpfung zu beobachten.

##### Druck:

Bei der indirekten Brandbekämpfung war zunächst ein Abfall des Drucks auf ca. -50 Pa zu beobachten, ehe ein Maximalwert von ca. 40 Pa erreicht wurde (Abbildung 8). Bei der direkten Brandbekämpfung nach einem Druckabfall auf bis zu -200 Pa ein Maximalwert von durchschnittlich ca. 180 Pa erreicht (Abbildung 15).

Bei der direkten Brandbekämpfung mit CAF wurden im Vergleich zur indirekten Brandbekämpfung mit Wasser höhere Druckwerte erreicht.

## **5 Fazit**

Aus Sicht der BFW war ein, im Vergleich mit dem Löschmittel Wasser, besserer Löscherfolg durch Sauerstoffverdrängung beim Löscheinsatz von CAF mit diesem Versuchsaufbau nicht nachweisbar. Im Gegensatz zu Wasser bildet sich zwar ein länger anhaltendes Wasserdampf-Tableau, dies hat jedoch keine Auswirkungen auf den schnelleren bzw. effektiveren Löscherfolg.

Beim Einsatz von Wasser oder CAF konnten keine deutlichen Unterschiede bei der Verdrängung von Sauerstoff festgestellt werden. Deshalb ist anzunehmen, dass bei beiden Löschmitteln eine vergleichbare Menge Wasser in die Gasphase umgesetzt wurde.

Die tendenziell niedrigeren Temperaturen beim Einsatz von CAF sprechen für einen höheren Energieentzug bei der Verdampfung des Wassers. Dafür spricht auch der häufig beobachtete schlagartige Löscherfolg beim Einsatz von CAF. Der direkte Zusammenhang konnte in den Versuchen jedoch nicht nachgewiesen werden und bedarf einer näheren Betrachtung, die im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht mehr durchgeführt werden konnte.

Vergleicht man die absolut eingesetzten Wassermengen wird deutlich, dass der Einsatz von CAF das effizientere Verfahren darstellt. Bei deutlich geringerem Wasserverbrauch wird durch das Löschmittel CAF eine vergleichbare, wenn nicht sogar bessere Löschwirkung erreicht.

In der Zukunft werden Einschränkungen bei der abhängigen Löschwasserversorgung aufgrund der hygienischen Anforderungen und damit geringeren Leitungsquerschnitte immer stärker zum Tragen kommen. Deshalb stellt der Einsatz von CAF eine sehr gute Alternative bei geringerem Ressourcenbedarf dar. Darüber hinaus ist aufgrund der geringeren Wassermengen auch ein Rückgang der durch Löschwasser verursachten Schäden zu erwarten.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Maße des Brandcontainers in Metern	2
Abbildung 2	Lage der Messpunkte, X: Thermoelemente	3
Abbildung 3	Applikator im Versuchsraum. Links: offene Tür zur Brennkammer, rechts: angelehnte Tür zur Brennkammer.	3
Abbildung 4	V1.1-1.3, Konzentration von Wasser (H <sub>2</sub> O) und Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe auf die Tür wieder; Löschmittel Wasser Messergebnisse der OvGU.	6
Abbildung 5	V2.1-2.3, Konzentration von Wasser (H <sub>2</sub> O) und Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe auf die Tür wieder; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU.	6
Abbildung 6	V1.1-1.3 und V2.1-2.3, Konzentration von Wasserdampf (H <sub>2</sub> O) aufgetragen über die Zeit; Löschmittelabgabe auf die Tür; Messergebnisse der BAM	7
Abbildung 7	V1.1-1.3, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der BAM.	7
Abbildung 8	V2.1-2.3, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel CAF. Messergebnisse der BAM	8
Abbildung 9	V1.1-1.3, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe auf die Tür wieder; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU.	8
Abbildung 10	V2.1-2.3, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe auf die Tür wieder; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU.	9
Abbildung 11	V1.4-1.6, Konzentration von Wasser (H <sub>2</sub> O) und Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe wieder; Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU.	9
Abbildung 12	V2.6-2.8, Konzentration von Wasser (H <sub>2</sub> O) und Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe wieder; Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU.	10
Abbildung 13	V1.4-1.6 und V2.6-2.8, Konzentration von Wasserdampf (H <sub>2</sub> O) aufgetragen über die Zeit; Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Messergebnisse der BAM.	10
Abbildung 14	V1.4-1.6, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel Wasser	11

Abbildung 15	V2.6-2.8, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel CAF. Messergebnisse der BAM.	11
Abbildung 16	V1.4-1.6, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe in die Brennkammer wieder; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU.	12
Abbildung 17	V2.6-2.8, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe in die Brennkammer wieder; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU	12
Abbildung 18	V1.7-1.9, Konzentration von Wasser (H <sub>2</sub> O) und Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe wieder; händische Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU.	13
Abbildung 19	V2.9-2.11, Konzentration von Wasser (H <sub>2</sub> O) und Sauerstoff (O <sub>2</sub> ) aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe wieder; händische Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU.	13
Abbildung 20	V1.7-1.9 und V2.9-2.11, Konzentration von Wasserdampf (H <sub>2</sub> O) aufgetragen über die Zeit; handgeführte Löschmittelabgabe in die Brennkammer; Messergebnisse der BAM.	14
Abbildung 21	V1.7-1.9, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der BAM.	14
Abbildung 22	V2.9-2.11, Druck aufgetragen über die Zeit; Löschmittel CAF. Messergebnisse der BAM.	15
Abbildung 23	V1.7-1.9, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe in die Brennkammer wieder; Löschmittel Wasser. Messergebnisse der OvGU.	15
Abbildung 24	V2.9-2.11, Temperatur aufgetragen über die Zeit, die gestrichelte Linie gibt den Zeitpunkt der Löschmittelabgabe in die Brennkammer wieder; Löschmittel CAF. Messergebnisse der OvGU.	16