



Forschungsprojekt

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

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

AP* 03	Brandszenarien mit ungewöhnlichen Brandstoffen
Testreihe	Brand- und Löschversuche an Autoreifenstapeln zur Erprobung verschiedener Löschmittel und Einsatztaktiken

*Arbeitspaket

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	3
1 Einleitung	1
2 Versuchsaufbau	2
3 Brandversuche	4
4 Versuchsberichte.....	6
4.1. Vorversuch V0.....	6
4.2. Versuch V1.....	7
4.3. Versuch V2.....	7
4.4. Versuch V3.....	7
4.5. Versuch V4.....	8
4.6. Versuch V5.....	8
4.7. Versuch V6.....	9
4.8. Versuch V7.....	9
4.9. Versuch V8.....	11
4.10. Versuch V9	11
5 Fazit	13
6 Anhang.....	15
Abbildungsverzeichnis:.....	20

Abkürzungsverzeichnis

AERIUS	Alternatives Löschmittel Druckluftschäum - 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. Druckluftschäum)
CAFS	Compressed Air Foam System (dt. Druckluftschäumanlage)
FTIR	Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer
LS	Luftschäum
l	klein „L“ für Liter
kg	Kilogramm
m	Meter
MJ	Megajoule
OvGU	Otto- von-Guericke- Universität Magdeburg, Institut für Apparate- und Umwelttechnik
RSD	Rundstrahldüse
S1	Schwertschäumrohr mit Nennvolumenstrom 100 L/min
S4	Schwertschäumrohr mit Nennvolumenstrom 400 L/min
TTS	Testgelände für Technische Sicherheit
UAP	Unterarbeitspaket
vfdb e.V.	Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes eingetragener Verein
VLM	Flüssigkeitsvolumenstrom (Wasser-/Schäumittelgemisch) Liter/Minute
Vol.%	Dosierung des Schäumittels in Abhängigkeit des Gesamtvolumens
VZ	Verschäumungszahl (Dimensionslos)
WBK	Wärmebildkamera

1 Einleitung

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojektes AERIUS fanden Brand- und Löschversuche an Kraftfahrzeug-Reifenstapeln statt. Diese wurden auf dem Testgelände für Technische Sicherheit des Projektpartners Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) in Horstwalde vom 07. November 2016 bis 14. November 2016 durchgeführt.

Das Löschen brennender Kraftfahrzeugreifenstapel stellt an die Feuerwehren besondere Herausforderungen. Die Reifen bestehen überwiegend aus Natur- und Synthetikgummi 47,0 %. Dazu kommen Ruß 21,5 %, Stahldrähte 16,5 %, Gewebe 5,5 % sowie Öle und Zuschlagsstoffe 9,5%.¹ Werden die Stahleinlagen durch die Brandeinwirkung erhitzt, kann dies zu Rückzündungen innerhalb der Reifen führen, da das Löschmittel nur die Oberfläche erreicht. Die Reifen selbst sind hydrophob und ihre Form begünstigt Brände in Hohlräumen². Es ist Stand der Technik, dass Brände größerer Reifenstapel nur mit Schaum wirksam zu bekämpfen sind. Aufgrund der Verfügbarkeit und des hohen Heizwertes (29 MJ/kg) finden die Altreifen auch Verwendung als Sekundärbrennstoff in der Zementfertigung.

Bei den Versuchen sollten verschiedene Löschmittel und Einsatztaktiken zur Anwendung kommen, um daraus Empfehlungen für die Bekämpfung großer Schadenslagen abzuleiten. Die Brandbekämpfung erfolgte mit Luftschäumung, d.h. die Verschäumung unmittelbar am Strahlrohr durch das Injektorprinzip, sowie mit Druckluftschäumung.

Für die 10 Brand- und Löschversuche standen je 58 Altreifen zur Verfügung.

Versuch	Löschmittel	Strahlrohr	Soll Verschäumungszahl
V1	Schwertschaum	S1	
V2	Schwertschaum	S1	
V3	CAF nass	Akron Rundstrahldüse	7
V4	CAF nass	Akron Rundstrahldüse	7
V5	CAF nass	Akron Rundstrahldüse	7
V6	CAF nass	Akron Rundstrahldüse	10
V7	CAF nass	Akron Rundstrahldüse	10
V8	CAF nass	Akron Rundstrahldüse	5
V9	CAF nass	Akron Rundstrahldüse	5

Tabelle 1: Konfigurationen Löschmittel und Strahlrohre

¹ Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Infoblätter Kreislaufwirtschaft, Gebraucht- und Altreifen, 2/2017

² Madrzykowski, D; Stroup, D.: Chapter 5, *Class A Fire Suppression Experiments*, Report NISTR 6191, Gaithersburg, 1998

Die nachstehende Aufstellung liefert einen Überblick über die, bei den Brandversuchen, verwendete Messtechnik sowie Datenerhebung:

- Temperaturmesssensoren
- Waage zur Ermittlung der Reifenmasse
- Wärmestrahlungssensoren
- Materialfeuchtemessung
- Druckmessungen am Strahlrohr und in der Druckluftschaumanlage
- Bestimmung der Verschäumungszahl des Löschmittels
- Refraktometer zur Bestimmung der Schaummitteldosierung
- Bestimmung des Volumenstroms des Löschmittels
- Wärmebild stationär
- FTIR zur Erfassung der Schadstoffe
- Highspeed Camera
- Video, stationär und mit Helmkamera

Die Brandbekämpfung führten Einsatzkräfte der Berliner Feuerwehr (BfW) zusammen mit Personal der Berufsfeuerwehr (BF) Ingolstadt (Unterauftragnehmer) in unterschiedlicher personeller Zusammensetzung durch. Der Aufbau und die Auswertung der Messtechnik erfolgte mit Unterstützung des Projektpartners BAM und der Otto von Guericke Universität (OvGU), die den Forschungsverbund koordiniert. Die Druckluftschaumanlage wurde durch One Seven of Germany GmbH zur Verfügung gestellt. Das Schaummittel lieferte Dr. Sthamer. Beide Firmen waren assoziierte Partner des Projektes. Die Firma U.S. Product Service wurde von der BfW beauftragt und wurde bei der Ermittlung der Verschäumungszahl (VZ) und der Überprüfung der tatsächlichen Dosierung des Schaummittels mit einem Refraktometer eingesetzt.

2 Versuchsaufbau

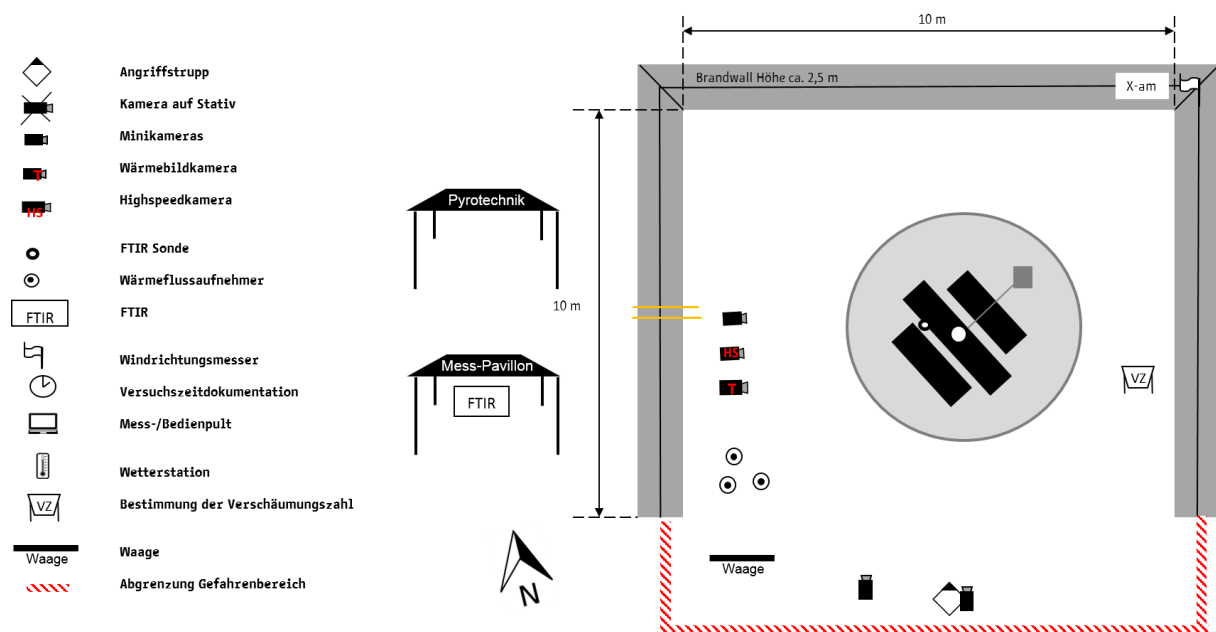


Abbildung 1: Versuchsanordnung. Berliner Feuerwehr, 2016.

Die Stapelung der Reifen erfolgte nach der Fischgrätenmethode. Diese Methode ist die dichtest mögliche Packung von Reifen. Sie wird in der Produktion und Lagerung eingesetzt, da sie besonders platzsparend ist. Zusätzlich ist diese Stapelmethode gut reproduzierbar. Es wurden jeweils ca. 490 kg Reifen in Form von 3 „Riegeln“ aufgebaut, wobei der „Innere Riegel“ aus fünf Etagen, die beiden äußeren Riegel aus vier Etagen bestanden. Der „Innere Riegel“ bestand in der ersten Etage aus vier geneigten Reifen, die äußeren jeweils aus drei geneigten Reifen. Insgesamt wurden $17+24+17=58$ Stück Reifen verbaut. Mit dieser Stapeltechnik können verschiedene Reifengrößen stabil angeordnet werden. Die Kompaktheit erzeugt darüber hinaus eine hohe Anforderung an das Löschmittel. Alternative Lagermethoden waren nur schwer reproduzierbar oder von der Belüftung her nicht geeignet.



Abbildung 2: Anordnung der Reifen vor der Zündung. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.

Daten zur Brandlast Reifen³

- Brandmasse ca. 490 kg, somit ergeben sich im Mittel 8,5 kg pro Reifen
- Wärmefreisetzung bei 58 Reifen: 11-26 MW, pro Reifen: 200-450 kW
- Wärmestrahlung: 10-35 kW/m²
- Zündtemperatur Reifen: 371 °C – 425 °C
- Branddauer eines einzelnen stehenden Reifens: 16,5-47,5 min
- Flammtemperatur (stöch.) von Kerosin: 2.200 °C
- Volumetrische Energiedichte Kerosin: 9,5 kWh/L

³ Mark T. Gratkowski, United States Department of Justice, Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives (ATF), Fire Research Laboratory (FRL), 6000 Ammendale Road, Beltsville, MD 20705, USA

3 Brandversuche

Insgesamt sollten 10 Brandversuche erfolgen, um einsatztaktisch auswertbare Ergebnisse zu erzielen. Der erste Versuch, durchgeführt mit einem Löschmittelvolumenstrom von $VLM=150$ l/min, war ein Vorversuch und wurde deshalb nicht gewertet. Bei den folgenden Versuchen lag dann der Löschmittelvolumenstrom konstant bei $VLM = 135$ l/min. Mit Pyrotechnik und Kerosin erfolgte eine synchrone Zündung der Brandlast. Der Löschangriff begann einheitlich nach einer Vorbrennzeit von > 300 Sekunden. Bis zu dieser Zeit hatte der brennende Reifenstapel konstante Temperaturen entwickelt. Eine brandbedingte Veränderung der Reifengeometrie (Zusammensacken) konnte in diesem Zeitraum nicht beobachtet werden.

Löschtechnik

Die Druckluftschaumanlage (One Seven) konnte bei konstantem Volumenstrom Druckluftschaum mit unterschiedlichen Verschäumungszahlen herstellen. Die Berliner Feuerwehr versorgte über ein Löschfahrzeug das Druckluftschaummodul mit Wasser, da es über keine integrierte Feuerlöschkreiselpumpe verfügte. Die Dosierung des Schaummittels Sthamex Class A erfolgte mit 0,5 Vol.%. Zur Erzeugung des Luftschlums kam ein S1 nach DIN 14366 zum Einsatz. Die Applikation des Druckluftschlums erfolgte über Rundstrahlldüsen mit einem Düsendurchmesser von 25 mm und 19 mm (nur Versuche 8 und 9).

Löschtechnischer Aufbau ab der Druckluftschlumanlage: 1 x B75-20m – Verteiler – Schauglas – C42-3m – Schauglas – 2 x C42-15m – Strahlrohr

Unterschiedliche Strahlrohre: – Schaumstrahlrohr S1
– Rundstrahlldüsen

Ein weiteres Löschfahrzeug stand für eine unterbrechungsfreie Wasserversorgung in Bereitschaft. Die Absicherung der Versuche übernahm ein Sicherungstrupp mit einem zusätzlichen Druckluftschlumrohr.

Temperaturmessensensoren

Die Thermosensoren befanden sich an unterschiedlichen Stellen im Reifenstapel. Maximal waren 10 thermische Sensoren in Betrieb (siehe Anhang).

Wärmestrahlungssensoren

Es wurden 3 Wärmestromdichtesensoren mit einem Messbereich bis 20 bis 50 kW/m^2 im Abstand von 3 m vor den Reifen montiert.

Materialfeuchtemessung

Um feststellen zu können, ob die als hydrophob geltenden Reifen durch das Löschmittel Flüssigkeit aufnehmen können, fanden nach der Brandbekämpfung Messungen der Materialfeuchte statt. Die Stichproben ergaben Werte im Bereich von 60 - 100 %. Daraus folgt, dass die Reifen das Wasser-/Schaummittelgemisch absorbieren konnten. Die Reifen waren teilweise so nass, dass eine schmierige Masse entstand. Das Penetrationsvermögen des Löschmittels ist auf das anteilige Schaumlöschmittel zurückzuführen.

Druckmessung an der Mischkammer und am Strahlrohr

Die Ergebnisse wurden aufgezeichnet und zeigten den technischen Zustand der Anlage. Eine taktische Verwertung war möglich.

Bestimmung der Verschäumungszahl (VZ)

Die VZ beschreibt die Vergrößerung des Flüssigkeitsvolumens durch Verwirbelung mit der Luft. Die VZ wird mit einer Messapparatur nach EN 1568 bestimmt. Die Erhebung der Daten erfolgte vor dem Löschvorgang und unmittelbar danach. Aus den gemessenen VZ wurde der Mittelwert bestimmt.

Messung mit dem Refraktometer

Zur Bestimmung der Schaummitteldosierung kam ein Refraktometer zur Anwendung. Auch hier erfolgten, analog der Bestimmung der VZ, zwei Messungen. In den Versuchsberichten ist der Mittelwert angegeben. Das Refraktometer wurde ab Versuch Nummer 3 eingesetzt. Die geforderte Zumischrate von mindestens 0,5 % wurde bei allen folgenden Messungen erreicht.

Bestimmung des Volumenstroms

Die Druckluftschaumanlage verfügte über eine Messeinrichtung, die den aktuellen Flüssigkeitsvolumenstrom anzeigte und speicherte.

Wärmebild

Eine Wärmebildkamera (WBK) zeichnete die Versuche auf.

Fourier-Transform-Infrarotspektrometers (FTIR)

Im Anhang ist eine Vorstellung der Zusammensetzung und des zeitlichen Verlaufs der Volumenkonzentrationen der Schadgase zu finden. Anzumerken ist, dass die Konzentrationen der Schadgase durch die Aufnahme im Freien nicht zu reproduzieren sind. Ein Bezug auf die Löschmittel ist ebenso nicht möglich. In den zeitlichen Verläufen der Schadgase ist zu sehen, dass die gemessenen Gase überwiegend nach Zündung eine hohe Konzentration aufweisen. Zum Zeitpunkt des Vollbrands nimmt die aufgezeichnete Konzentration ab. Nach dem Löschbeginn steigt die Konzentration wieder an.

t _{vs}	CO ₂ [Vol-%]	CO [ppm]	NO [ppm]	NH ₃ [ppm]	SO ₂ [ppm]	HCN [ppm]	CH ₄ [ppm]	Acetylen [ppm]	Ethen [ppm]	Benzol [ppm]	HCHO [ppm]	HCl [ppm]
5 min	7,96	36490	53	50	524	561	7413	2183	14648	8465	31	49
10 min	9,06	30804	125	88	596	1230	4741	2107	12803	5296	29	43

Abbildung 3: Gemessene Brandgase in der Plume. Messungen der BAM und OvGU, 2016.

Highspeed Kamera

Die Kamera sollte bei den Schaugläsern den Flüssigkeitsvolumenstrom aufzeichnen. Da die Gläser eine zylindrische Form aufwiesen war dies technisch nicht durchführbar. Die Kamera benötigt für diese Aufnahmen eine ebene Glasfläche. Der in den Schläuchen befindliche Flüssigkeitsvolumenstrom konnten deshalb mit der Highspeed Kamera nicht aufgezeichnet werden.

Bildauswertung in Normalgeschwindigkeit

Der Fokus der Bewertung lag auf dem Beginn der Brandbekämpfung und damit dem Zeitbedarf für das Erreichen eines nachhaltigen Löscheffektes. Die primäre Brandbekämpfung endete, wenn keine Flammen mehr zu sehen waren. Nach einer Beobachtungszeit von mehreren Minuten traten dann meist eine oder mehrere Rückzündungen auf. Im Median lag das Zeitintervall zwischen Abschluss der Hauptlöscharbeiten und der ersten Rückzündung bei 290 sec. Die Zeiten der Brandbekämpfung und Nachlöscharbeiten wurden anhand der Videoaufnahmen überprüft.



Abbildung 4: Brennender Reifenstapel des Vorversuches. Die Brandstelle ist an 3 Seiten mit einem Sandwall umgeben. In Abbildung 1 als Brandwall bezeichnet. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.

4 Versuchsberichte

4.1 Vorversuch V0

TTS Horstwalde

07. November 2016	Luftschaum
-------------------	------------

Die Applikationsrate des flüssigen Volumenstroms lag bei 150 l/min. Der Vorversuch hatte eine längere Branddauer und zum Zeitpunkt des Beginns der Löschmaßnahmen war der Brand bereits deutlich abgeklungen. Die Reifen fielen bereits zum Teil in sich zusammen. Die ermittelte VZ lag bei 8,4. Die Messungen mit dem Refraktometer begannen erst bei Versuch 3. Nach 47 Sekunden konnte die Schaumapplikation eingestellt werden. Die Beobachtungszeit gab keinen Hinweis auf eine Rückzündung.

Anmerkung: Die Temperaturmessdaten eigneten sich nicht als Abbruchkriterium der Brandbekämpfung. Die Sensoren zeigten zum Teil Temperaturen an, die deutlich über der Zündtemperatur bzw. der Mindestverbrennungstemperatur lagen und daher eigentlich noch hätten brennen müssen. Es kam aber zu keiner sichtbaren Brandentwicklung. Es wird

vermutet, dass sich die Sensoren in stark erhitzten und vom Löschmittel abgeschirmten Bereichen befanden.

4.2 Versuch V1

TTS Horstwalde	
<i>08. November 2016</i>	Luftschaum
<i>Zündung</i>	11:04:20 Uhr
<i>Wind</i>	Schwach aus Süd

Die VZ lag bei 8,0. Nach einer Vorbrennzeit von 302 Sekunden führte der Angriffstrupp der BF Ingolstadt mit dem S1 die Brandbekämpfung durch. Der Schaumangriff endete nach 125 Sekunden. 263 Sekunden danach trat noch eine Rückzündung auf. Der Zeitbedarf für die Nachlöscharbeiten lag bei 83 sec. Der Versuch endete um 11:40:30 Uhr.

Anmerkung: Der Angriffstrupp bemängelte die zum Teil schlechte Qualität des Löschschaumes. Vermutlich war die Luftzufuhr am Schaumstrahlrohr durch den Strahlrohrführer verdeckt. Das Zeitintervall zwischen dem Ende der Brandbekämpfung und dem erneuten Aufflammen der Reifen wird im folgenden Text Beobachtungszeit genannt.

4.3 Versuch V2

TTS Horstwalde	
<i>08. November 2016</i>	Luftschaum
<i>Zündung</i>	13:34:10 Uhr
<i>Wind</i>	Schwach aus Süd

Es wurde eine VZ von 10,3 gemessen. 340 Sekunden nach der Zündung startete der Angriffstrupp der Berliner Feuerwehr den Löschangriff. 180 Sekunden dauerte die Brandbekämpfung. Zwei Rückzündungen erforderten weitere Löschmaßnahmen. Die Löscharbeiten für die erste Rückzündung, nach einer Beobachtungszeit von 340 sec, dauerten 120 Sekunden. Nach weiteren 250 sec flammten einige Reifen erneut auf. Diese Nachlöschmaßnahme konnte innerhalb von 70 Sekunden abgeschlossen werden. Der Versuch endete um 14:13:00 Uhr.

4.4 Versuch V3

TTS Horstwalde	
<i>08. November 2016</i>	Druckluftschaum
<i>Zündung</i>	10:34:20 Uhr
<i>Wind</i>	Schwach aus Süd

Die VZ erreichte den Wert 7,5. Das vorgegebene Soll der VZ lag bei 7. Die Brandbekämpfung startete der Angriffstrupp (BF Ingolstadt/ Berliner Feuerwehr) nach einer Vorbrennzeit von 345 Sekunden. Die Abgabe des Druckluftschlums mit der Rundstrahldüse endete nach 75 sec. Auch hier kam es zu zwei Rückzündungen. Die Nachlöscharbeiten für die erste Rückzündung dauerten 120 Sekunden, nach einer 370 sec dauernden Beobachtungszeit. Für die zweite Rückzündung dauerten die Löscharbeiten 70 Sekunden, nach weiteren 250 sec Beobachtungszeit. Die Messungen mit dem Refraktometer ergab eine Schaummitteldosierung von 0,75 Vol.%, bei einem eingestellten Wert von 0,5%.

Ein Stromausfall der Druckluftschlumanlage unterbrach die Löscharbeiten der zweiten Rückzündung. Um 11:11:00 Uhr endete dieser Versuch.

Anmerkung:

Die Druckluftschlumanlage konnte den Druck nicht halten. Die Folge war ein Knicken des Schlauches mit Unterbrechung des Löschmittelstrahls.

4.5 Versuch V4

TTS Horstwalde	
<i>09. November 2016</i>	Druckluftschlume
<i>Zündung</i>	12:34:45 Uhr
<i>Wind</i>	Schwach aus Süd

Die vor der Brandbekämpfung gemessene VZ erreichte 7,5 (Soll VZ=7). Der Löschangriff startete 320 Sekunden nach der Zündung. Die Durchführung der Löscharbeiten übernahm ein gemischter Trupp (Berliner Feuerwehr/BF Ingolstadt). 60 Sekunden später endete die Schlumabgabe. Es folgten 3 Rückzündungen. Die Nachlöscharbeiten dauerten bei ersten Rückzündung 72 Sekunden (Beobachtungszeit 80 sec), bei der zweiten 30 Sekunden (Beobachtungszeit 218 sec) und bei der dritten Rückzündung 35 Sekunden (Beobachtungszeit 600 sec). Die Schlummitteldosierung lag bei 0,63 Vol.%. Das Versuchsende war 13:13:00 Uhr.

4.6 Versuch V5

TTS Horstwalde	
<i>09. November 2016</i>	Druckluftschlume
<i>Zündung</i>	14:34:10 Uhr
<i>Wind</i>	Schwach aus Süd

Die VZ lag bei 7,5 (Soll 7). 340 Sekunden nach der Zündung erfolgte der Löschangriff. Ein gemischter Trupp, bestehend aus Berliner Feuerwehr und BF Ingolstadt, beendete die Schlumabgabe nach 60 Sekunden. Insgesamt 3 Rückzündungen erforderten Nachlöscharbeiten, allerdings mit relativ kurzer Dauer. Rückzündung 1: Beobachtungszeit 290 sec, Dauer 37 Sekunden, Rückzündung 2: Beobachtungszeit 163 sec, Dauer 5 Sekunden und

Rückzündung 3 nach einer Beobachtungszeit von 595 sec für eine Dauer von 10 Sekunden. Die Messung mit dem Refraktometer ergab 0,5 Vol.%. Der Versuch endete um 15:10:00 Uhr.

4.7 Versuch V6

TTS Horstwalde	
<i>10. November 2016</i>	Druckluftschäum
<i>Zündung</i>	10:55:58 Uhr
<i>Wind</i>	Sehr schwach aus Nord-Ost

Die VZ lag bei 6,9 bei einem Sollwert von 10. Der gemischte Angriffstrupp (BF Ingolstadt/Berliner Feuerwehr) startete den Löschangriff nach 347 Sekunden. Die Durchführung der Schaumabgabe endete nach 105 Sekunden. Es folgten zwei Rückzündungen nach einer Beobachtungszeit von 690 sec und 440 sec. Die Nachlöscharbeiten dauerten für beide Rückzündungen gleich lang: Jeweils 40 Sekunden. Das Ergebnis der Messung mit dem Refraktometer ergab 0,69 Vol.%. Um 11:28:00 Uhr endete der Versuch.

4.8 Versuch V7

TTS Horstwalde	
<i>10. November 2016</i>	Druckluftschäum
<i>Zündung</i>	13:04:05 Uhr
<i>Wind</i>	Sehr schwach aus Nord

Die VZ betrug 8,9 (Soll 10). 363 sec nach der Zündung führte wieder ein gemischter Trupp (BF Ingolstadt/Berliner Feuerwehr) die Brandbekämpfung durch. Der Angriffstrupp benötigte 57 Sekunden für die primäre Schaumabgabe. Hier kam es nur zu einer Rückzündung, die 1.660 sec nach dem Ende der ersten Löscharbeiten auftrat. Die Nachlöscharbeiten dauerten hier 50 sec. Die Schaummitteldosierung lag bei 0,51 Vol.%. Dieser Versuch endete um 13:42:00 Uhr.



Abbildung 5: Versuch 7. Der gemischte Angriffstrupp startet die Brandbekämpfung mit Druckluftschäum. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.



Abbildung 6: Zeigt die Lage 30 Sekunden später. Die Wärmefreisetzung konnte deutlich reduziert werden. Das Feuer flammte noch einige male kurz auf. Nach insgesamt 57 Sekunden endete die primäre Brandbekämpfung. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.

4.9 Versuch V8

TTS Horstwalde	
<i>14. November 2016</i>	Druckluftschaum
<i>Zündung</i>	12:35:23 Uhr
<i>Wind</i>	Schwach aus Süd und Süd-West

Das Ergebnis der VZ-Messung brachte den Wert 5,1 (Soll 5). Die Vorbrennzeit dauerte 332 Sekunden, dann startete der Angriffstrupp der Berliner Feuerwehr die Brandbekämpfung für eine Dauer von 70 Sekunden. Es kam zu 3 Rückzündungen. Der Zeitbedarf für die ersten Nachlöscharbeiten lag bei 10 Sekunden (Beobachtungszeit 115 sec). Die zweite Rückzündung erforderte für 31 Sekunden Nachlöscharbeiten (Beobachtungszeit 345 sec). Die Nachlöscharbeiten für die dritte Rückzündung dauerten 36 Sekunden (Beobachtungszeit 375 sec). Der Versuch wurde um 13:20:00 Uhr beendet.

4.10 Versuch V9

TTS Horstwalde	
<i>14. November 2016</i>	Druckluftschaum
<i>Zündung</i>	14:32:13 Uhr
<i>Wind</i>	Schwach aus Süd-West

Die Druckluftschaumanlage lieferte eine VZ von 5,1 (Soll 5). Die Berliner Feuerwehr stellte den Angriffstrupp, der die Brandbekämpfung 359 Sekunden nach der Zündung begann. Die Abgabe des Druckluftschaumes endete nach 58 Sekunden. Bei diesem Versuch waren in zwei Fällen Nachlöscharbeiten erforderlich. Die erste Rückzündung (Beobachtungszeit 110 sec) forderte Löscharbeiten für 14 Sekunden. Die Löscharbeiten für die zweite Rückzündung (Beobachtungszeit 352 sec) dauerten 48 Sekunden. Das Ende des Versuches ist mit 15:08:00 Uhr dokumentiert.



Abbildung 7: Versuch 9. Der Angriffstrupp der Berliner Feuerwehr startet die Brandbekämpfung mit Druckluftschäum aus sicherer Entfernung. Bild, Berliner Feuerwehr, 2016.

5 Fazit

Verschäumungszahlen

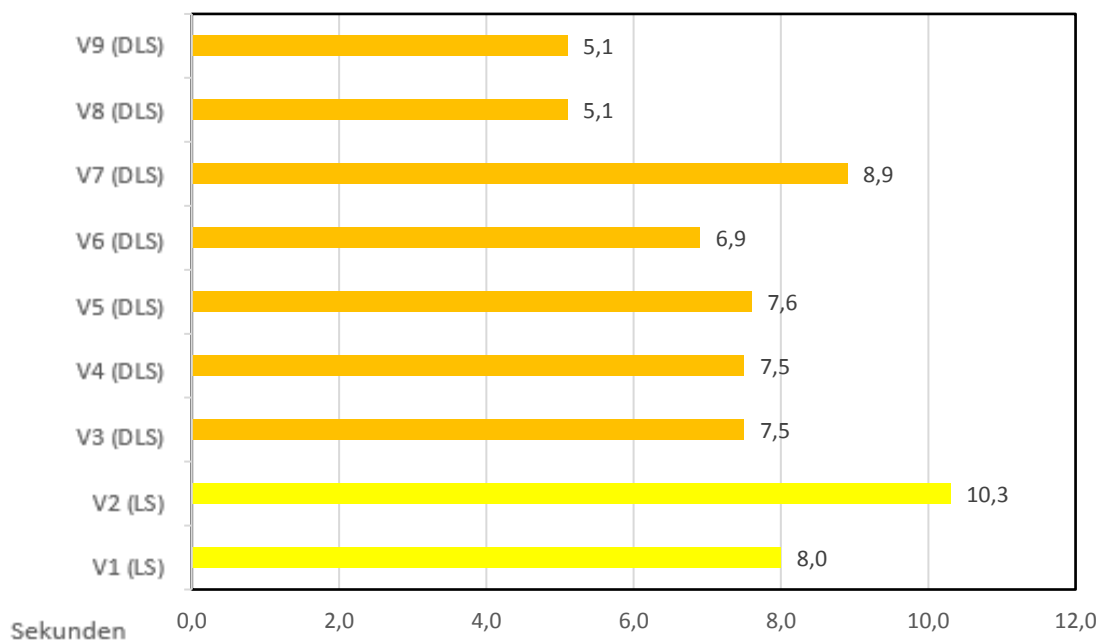
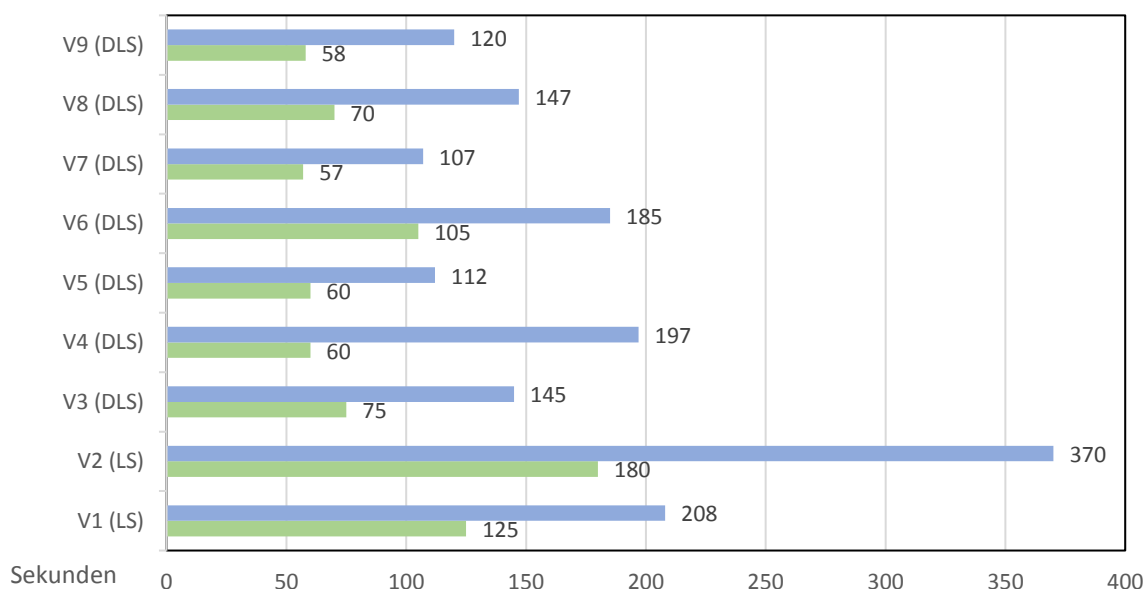


Abbildung 8: Die gemessenen Verschäumungszahlen. In Gelb dargestellt: Versuche V1 und V2, Luftschaum (LS) mit Schaumstrahlrohr S1. In Orange dargestellt: Versuche V3-V9, Druckluftschaum mit Rundstrahldüse

Gesamtlöschzeiten und Primärlöschzeiten



	V1 (LS)	V2 (LS)	V3 (DLS)	V4 (DLS)	V5 (DLS)	V6 (DLS)	V7 (DLS)	V8 (DLS)	V9 (DLS)
■ Gesamtlöschzeiten	208	370	145	197	112	185	107	147	120
■ Primärlöschzeiten	125	180	75	60	60	105	57	70	58

Abbildung 9: Diese Grafik zeigt die Gesamtlöschzeiten (bestehend aus den Primärlöschzeiten und den Nachlöscharbeiten für die Rückzündungen) und die Primärlöschzeiten. Die Mittelwertbildung ergibt für Druckluftschaum 144,7 sec und für die Versuche mit Luftschaum 289,0 sec.

- Die Löscharbeiten mit dem Schaumstrahlrohr dauerten am längsten.
- Die Löschzeiten mit Druckluftschaum sind im Mittel um die Hälfte kürzer als die mit Luftschaum.
- Die Anzahl der Versuche mit dem Schaumstrahlrohr war zu gering.
- Der Wind hatte keinen negativen Einfluss auf die Brandbekämpfung.
- Dispersionen mit hohen VZ verfügen aufgrund des niedrigen Wasseranteils über eine geringere Kühlkapazität als Dispersionen mit niedrigen VZ. Bei einer VZ > 11 wird Druckluftschaum nach EN 16327 als trocken definiert. Die Brandbekämpfung ist daher mit Druckluftschaum „nass“ durchzuführen.
- Das Haftungsvermögen von Druckluftschaum ermöglicht eine vollständige Verdampfung beim Kontakt mit dem Brennstoff. Die gegenüber Schwertschaum stärkeren Adhäsionskräfte sind auf die kleineren und homogeneren Schaumblasenstrukturen von Druckluftschaum zurückzuführen.⁴
- Rückzündungen sind bei Reifenbränden, die in diesem Stadium gelöscht werden, unvermeidlich.
- Die Schaummittellösung dringt in die Reifenoberfläche ein und bewirkt einen nachhaltigen Löscheffekt.
- Der Strahlrohrführer bestimmt maßgeblich den Löscherfolg. Eine bewegliche Brandbekämpfung ist obligatorisch. Die Normfahrzeuge der öffentlichen Feuerwehren sind in der Regel mit einem Schaumstrahlrohr S4 mit B-Kupplung ausgerüstet. Mit B-Schläuchen ist keine bewegliche Brandbekämpfung möglich. Ein mit Wasser gefüllter B75-20m hat eine Masse von zirka 97 kg. Ein mit nassem Druckluftschaum gefüllter C42-15 wiegt nur zirka 13 kg.
- Eine maximale Nutzung der Wurfweite des Löschmittelstrahles schützt die Einsatzkräfte vor der Wärmestrahlung.
- Hochkonzentrierte Schaummittel vereinfachen die logistischen Herausforderungen an großen Einsatzstellen.
- Brennen größere Reifenstapel sind mehrere Rohre gleichzeitig einzusetzen. Der Flüssigkeitsvolumenstrom sollte je Strahlrohr mindestens 200 L/min betragen.
- Die Schaumbrandbekämpfung mit Druckluftschaum kann ohne Zeitverzug begonnen werden.

⁴ Rappsilber, Below, Krüger: Influence of extinguishing Media and Jet Type on Extinguishing Performance; Fire Safety Journal 106; 2019

6 Anhang

Verteilung der thermischen Sensoren

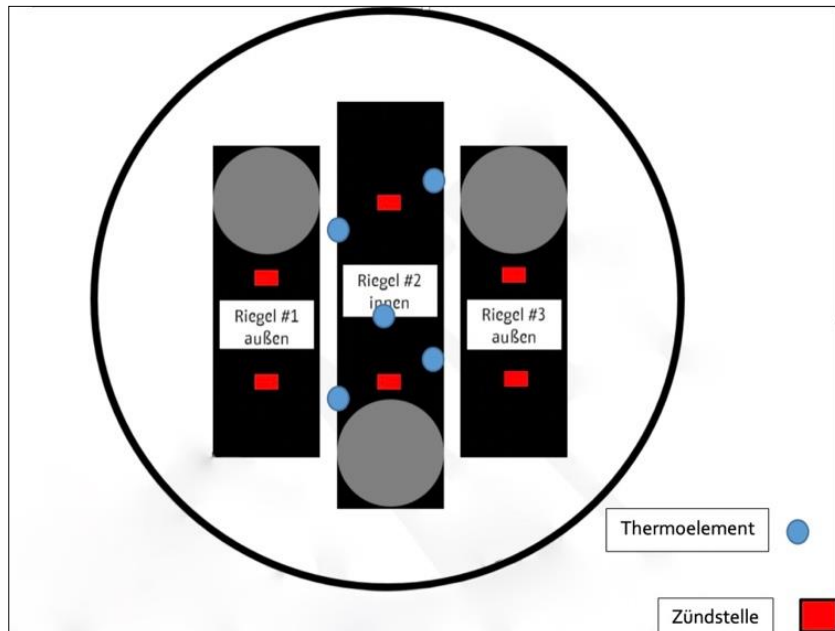


Abbildung 10: Riegel mit Reifen in Fischgrätenanordnung. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.

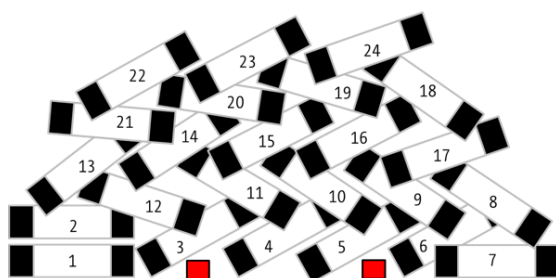


Abbildung 11: Stapelprinzip mittlerer Riegel.
Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.

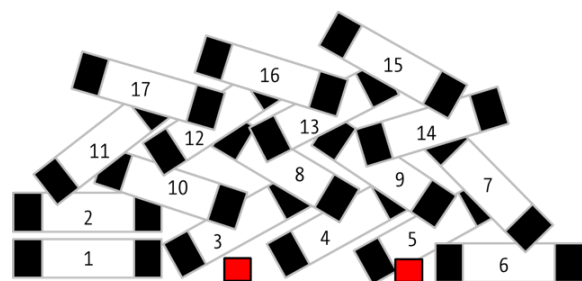


Abbildung 12: Stapelprinzip äußerer Riegel.
Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.

Temperaturverlauf der Versuche

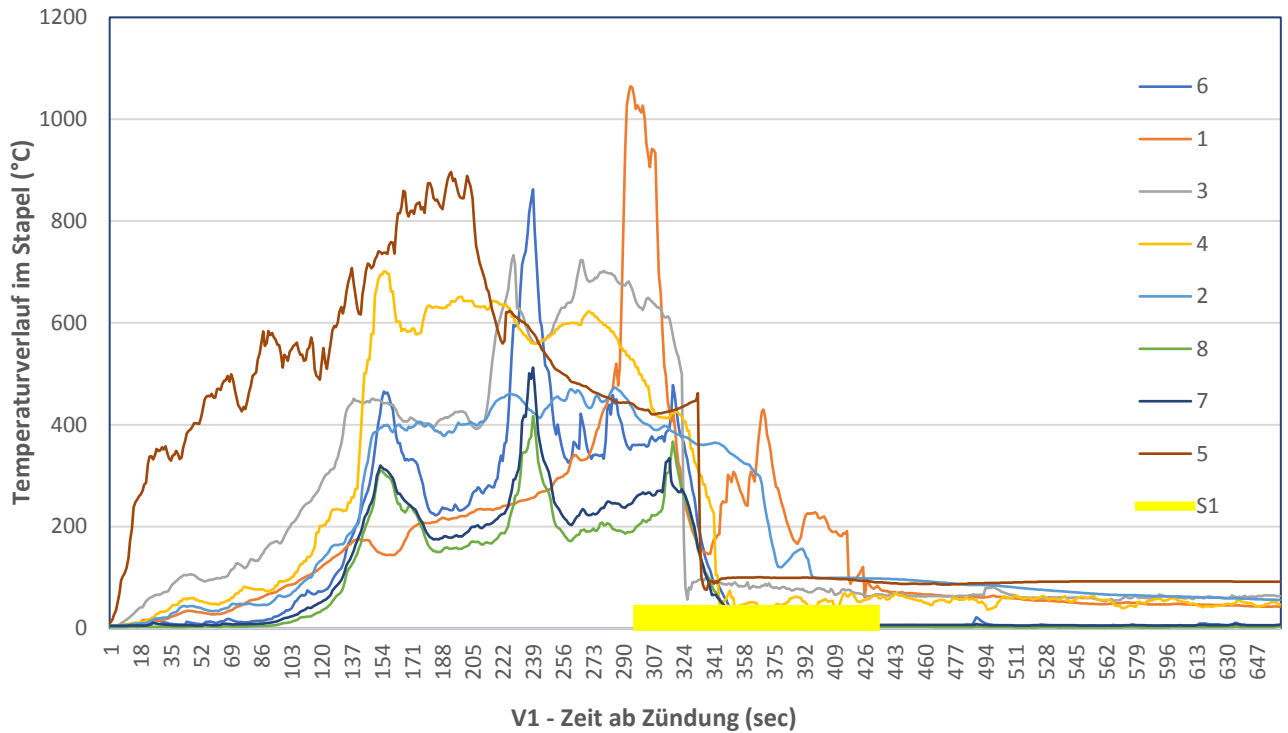


Abbildung 13: Temperaturverlauf im Reifenstapel. Der gelbe Balken entlang der Ordinate zeigt die Dauer der Löscharbeiten mit dem Schwerschamrohr S1; VZ=8,0.

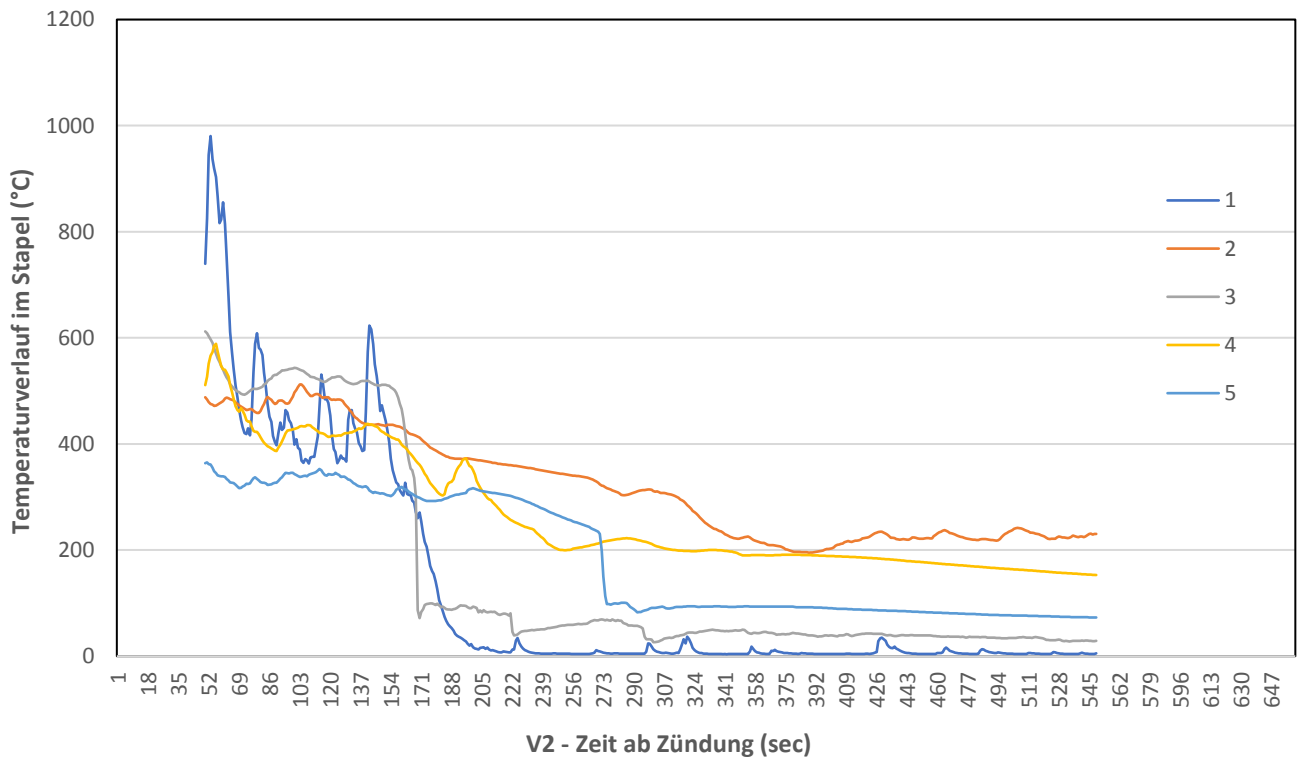


Abbildung 14: Die Aufzeichnung der Daten war teilweise unterbrochen und war lückenhaft. Die Kurven zeigen wahrscheinlich den Temperaturverlauf während des Löschvorgangs. Schaumstrahlrohr S1 bei einer VZ=10,3.

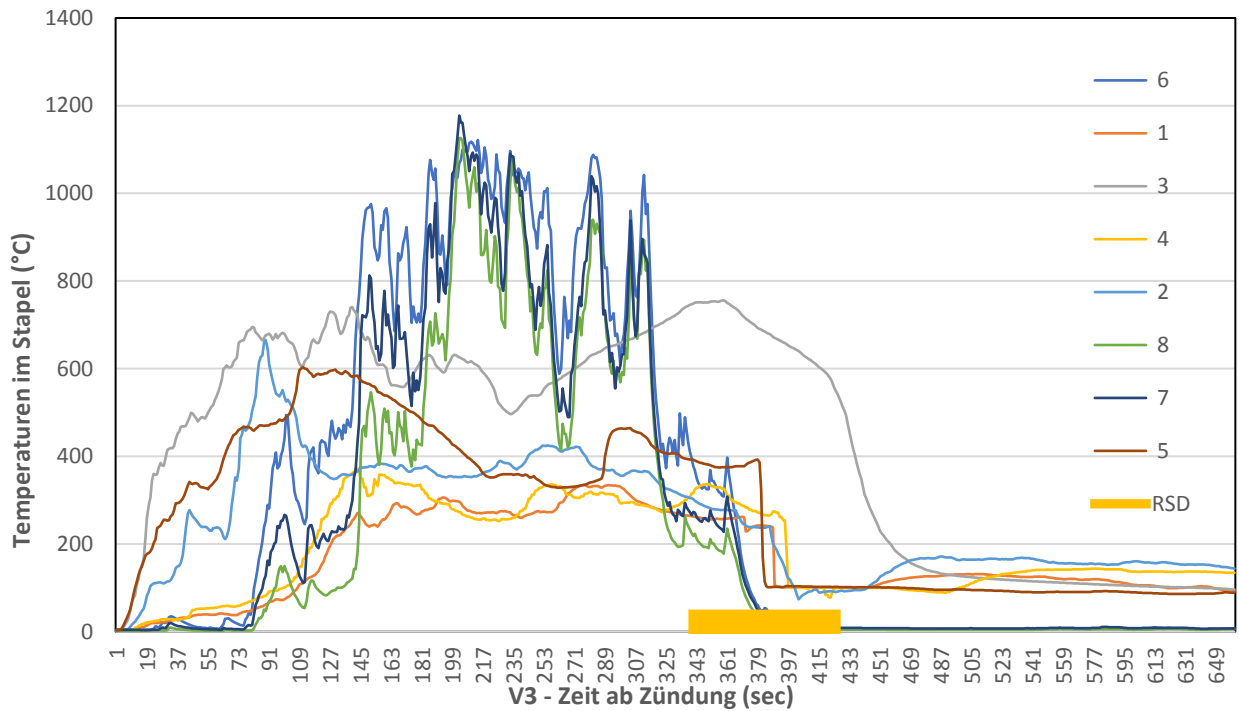


Abbildung 15: Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschaum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 3 mit Druckluftschaum und einer $VZ=7,5$.

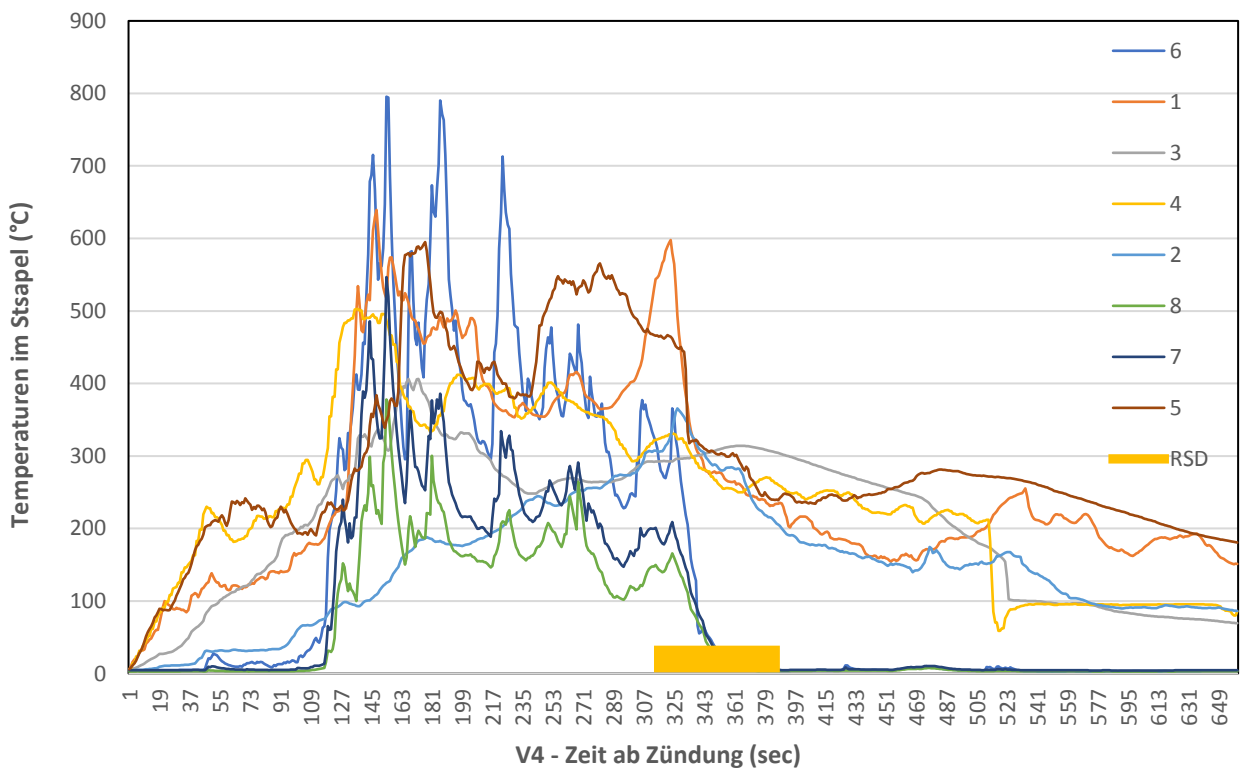


Abbildung 16: Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschaum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 4 mit Druckluftschaum und einer $VZ=7,5$.

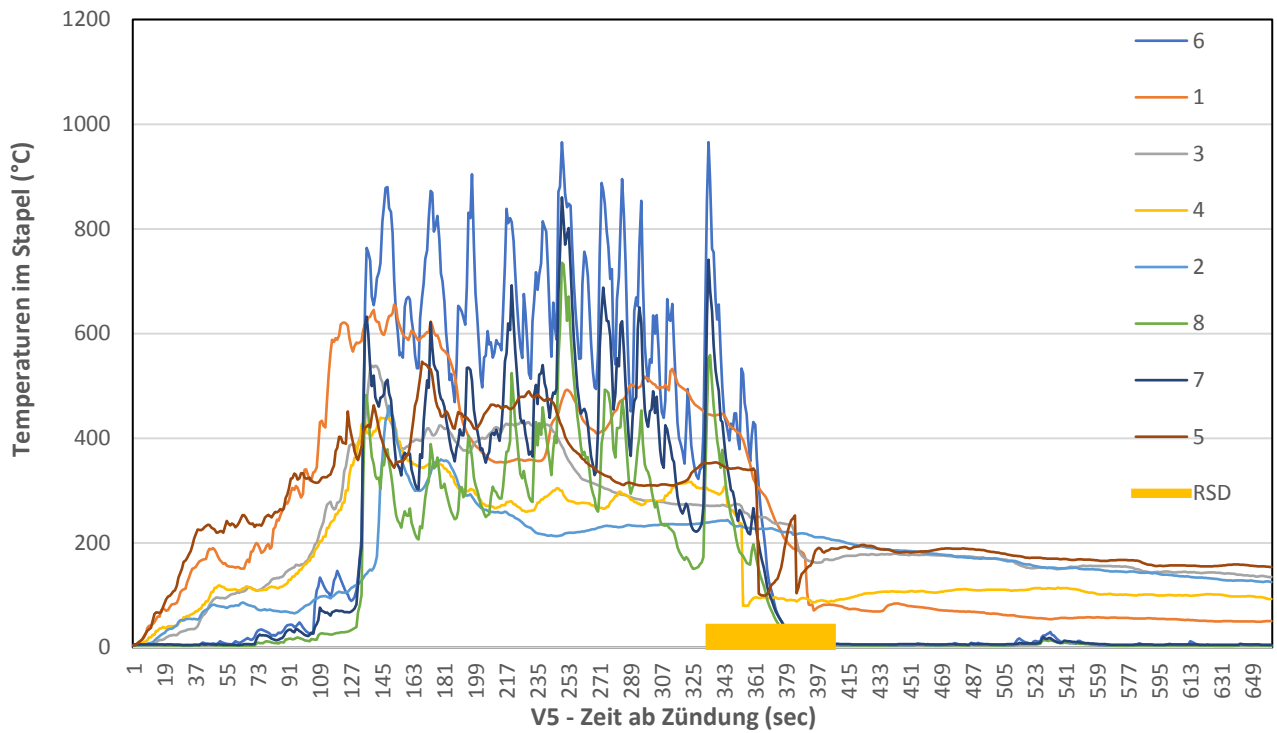


Abbildung 17: Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschaum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 5 und Druckluftschaum. VZ=7,6.

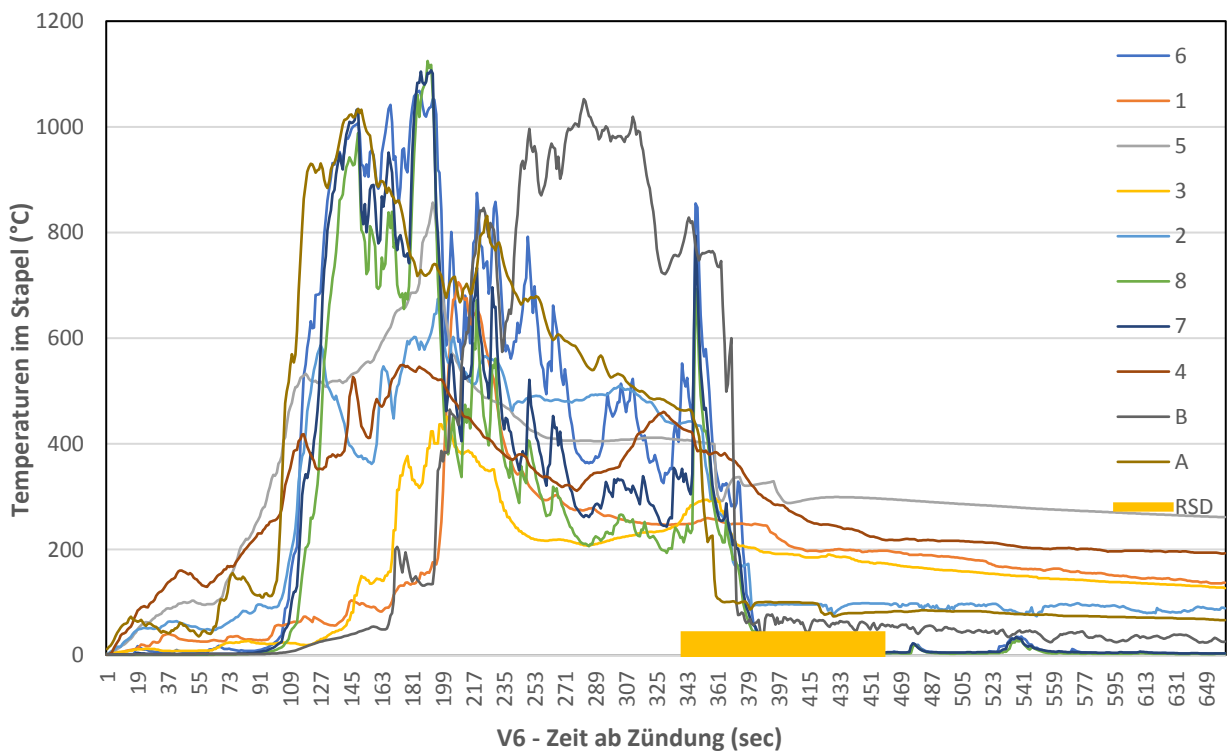


Abbildung 18: Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschaum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 6 mit Druckluftschaum bei VZ=6,9.

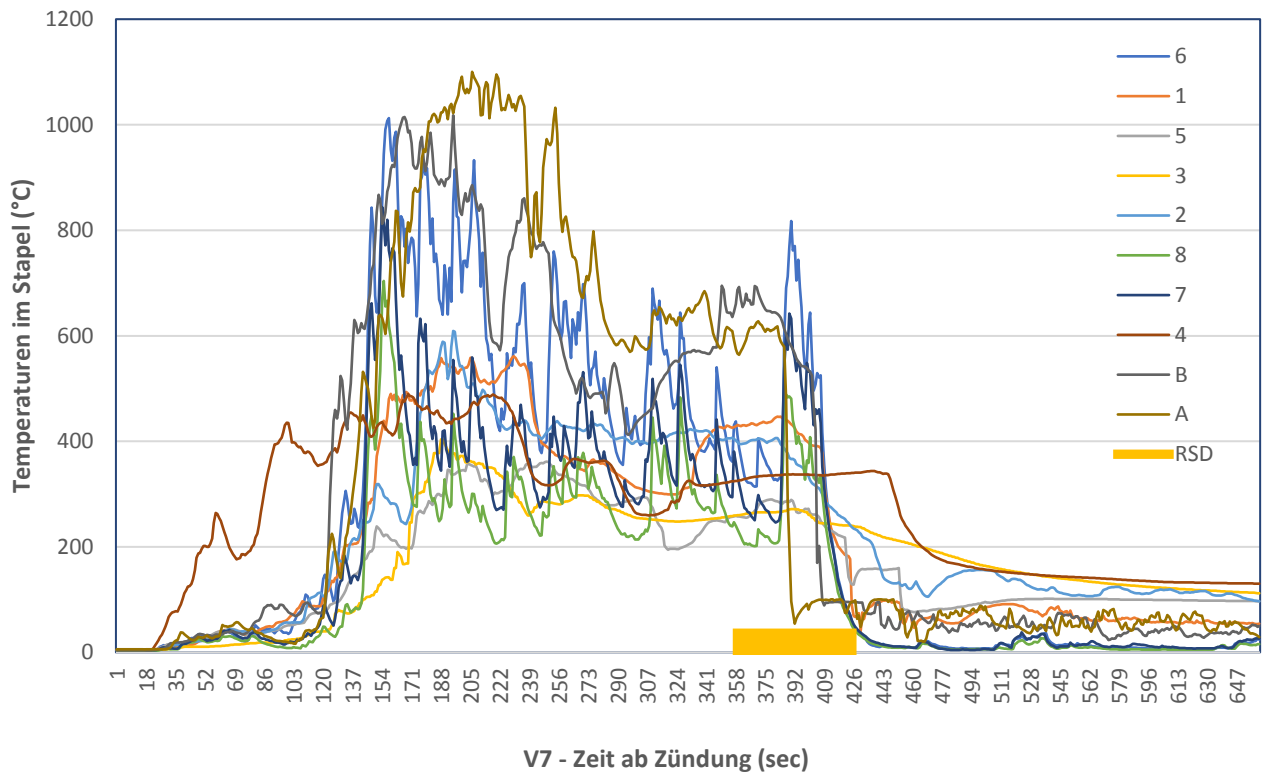


Abbildung 19: Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschaum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 7 mit CAF bei VZ 8,9.

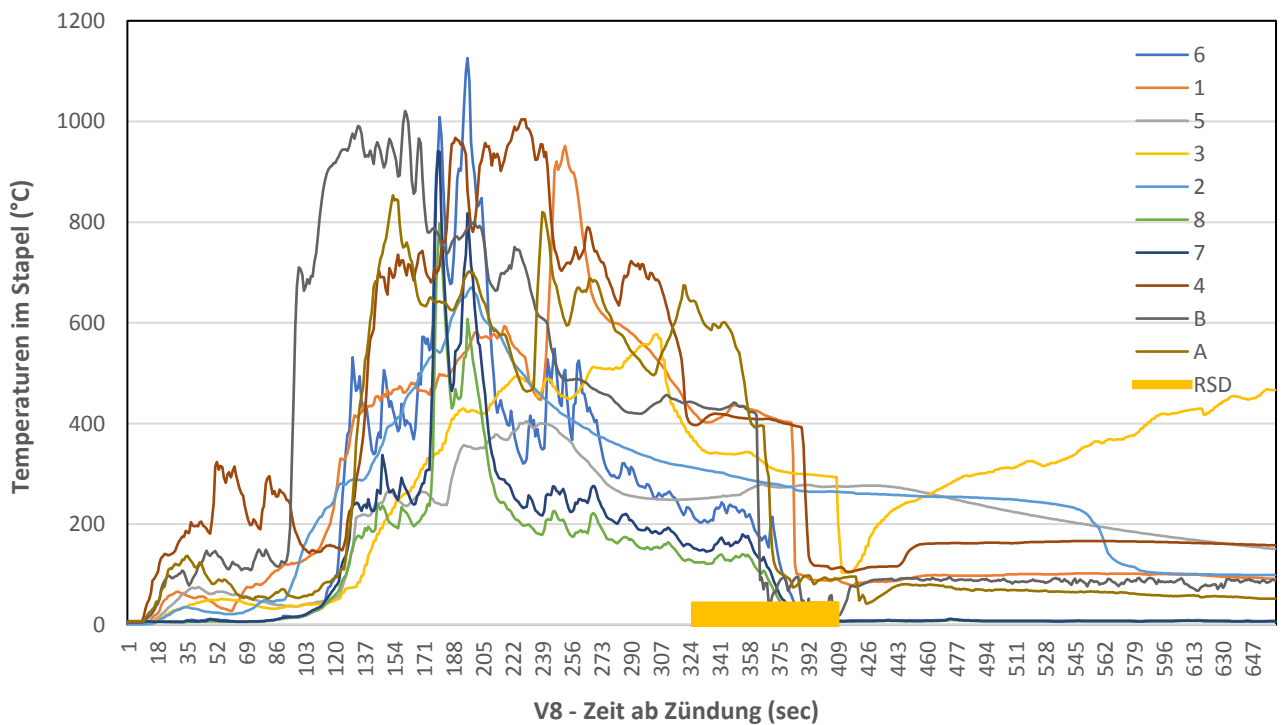


Abbildung 20: Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschaum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 8 mit CAF bei VZ 5,1.

Abbildungsverzeichnis:

Tabelle 1	Konfigurationen Löschmittel und Strahlrohre.	1
Abbildung 1	Versuchsanordnung. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.	2
Abbildung 2	Anordnung der Reifen vor der Zündung. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.	3
Abbildung 3	Gemessene Brandgase in der Plume. Messungen der BAM und OvGU, 2016.	4
Abbildung 4	Brennender Reifenstapel des Vorversuches. Die Brandstelle ist an 3 Seiten mit einem Sandwall umgeben. In Abbildung 1 als Brandwall bezeichnet. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.	6
Abbildung 5	Versuch 7. Der gemischte Angriffstrupp startet die Brandbekämpfung mit Druckluftschäum. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.	10
Abbildung 6	Zeigt die Lage 30 Sekunden später. Die Wärmefreisetzung konnte deutlich reduziert werden. Das Feuer flammte noch einige Male kurz auf. Nach insgesamt 57 Sekunden endete die primäre Brandbekämpfung. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.	10
Abbildung 7	Versuch 9. Der Angriffstrupp der Berliner Feuerwehr startet die Brandbekämpfung mit Druckluftschäum aus sicherer Entfernung. Bild: Berliner Feuerwehr, 2016.	12
Abbildung 8	Die gemessenen Verschäumungszahlen der Versuche V1 und V2 sind die Versuche mit dem Schaumstrahlrohr S1.	13
Abbildung 9	Diese Grafik zeigt die Gesamtlöschzeiten (bestehend aus den Primärlöschzeiten und den Nachlöscharbeiten für die Rückzündungen) und die Primärlöschzeiten. Die Mittelwertbildung ergibt für Druckluftschäum 144,7 sec und für die Versuche mit Luftschäum 289,0 sec.	13
Abbildung 10	Riegel mit Reifen in Fischgrätenanordnung.	15
Abbildung 11	Stapelprinzip mittlerer Riegel.	15
Abbildung 12	Stapelprinzip äußerer Riegel.	15
Abbildung 13	Temperaturverlauf im Reifenstapel. Der gelbe Balken entlang der Ordinate zeigt die Dauer der Löscharbeiten mit dem Schwertschaumrohr S1; VZ=8,0.	16
Abbildung 14	Die Aufzeichnung der Daten war teilweise unterbrochen und war lückenhaft. Die Kurven zeigen wahrscheinlich den Temperaturverlauf während des Löschvorgangs. Schaumstrahlrohr S1 bei einer VZ=10,3.	16

- Abbildung 15 Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschäum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 3 mit Druckluftschäum und einer VZ=7,5. 17
- Abbildung 16 Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschäum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 4 mit Druckluftschäum und einer VZ=7,5. 17
- Abbildung 17 Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschäum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 5 und Druckluftschäum. VZ=7,6. 18
- Abbildung 18 Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschäum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 6 mit Druckluftschäum bei VZ=6,9. 18
- Abbildung 19 Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschäum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 7 mit CAF bei VZ 8,9. 19
- Abbildung 20 Der orange Balken zeigt den Löschvorgang mit Druckluftschäum und der Rundstrahldüse. Temperaturverlauf Versuch 8 mit CAF bei VZ 5,1. 19