



## Forschungsprojekt

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

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

<b>AP* 02</b> <b>AP* 03</b>	<b>Brand- und Löschversuche an Bemessungsbränden</b> <b>Brandszenarien mit ungewöhnlichen Brandstoffen</b>
Testreihe	Dokumentation von Löschversuchen mit einer Highspeed Kamera

\*Arbeitspaket

## Inhaltsverzeichnis

### Abkürzungsverzeichnis<sup>3</sup>

1	Einleitung.....	1
2	Ziel .....	1
3	Versuchsbeschreibung .....	2
3.1	Aufgabenverteilung .....	2
3.2	Messtechnik.....	2
3.3	Versuchsportfolio .....	3
3.3.1	Versuchsaufbau „Löschen eines Reifenbrandes“ .....	3
3.3.2	Versuchsaufbau „Applikation an temperierter Glasscheibe“ .....	4
4	Durchführung.....	4
4.1	Löschtechnik.....	4
4.2	Strahlrohre .....	5
4.3	Highspeed Kamera .....	5
4.4	Temperaturmesssensoren .....	6
4.5	Ermittlung der VZ.....	6
4.6	Wärmebild und optische Kamera .....	6
5	Versuchsberichte.....	6
5.1	Versuch 1.....	6
5.2	Versuch 2.....	8
5.3	Versuch 3.....	9
5.4	Versuch 4.....	10
5.5	Versuch 5.....	12
5.6	Versuch 6.....	13
5.7	Versuch 7.....	15
5.8	Versuch 8.....	16
5.9	Versuch 9.....	19
6	Fazit .....	21
	Abbildungsverzeichnis.....	22

## Abkürzungsverzeichnis

AERIUS	Alternatives Löschmittel Druckluftschaum - komplexe Großschadenslagen vermeiden
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, -Fachbereich 7.5 Thermische Beständigkeit von Polymeren-
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
°C	Grad Celsius (Temperatur)
CAF	Compressed Air Foam (dt. Druckluftschaum)
CAFS	Compressed Air Foam System (dt. Druckluftschaumanlage)
DLS	Druckluftschaum
Dr. Sthamer	Dr. Richard Sthamer GmbH & Co. KG
LS	Luftschaum
mm	Millimeter
OvGU	Otto-von-Guericke-Universität-Magdeburg, -Institut für Apparate- und Umwelttechnik-
Sec	Sekunde
U.S. PS	Ulrich Schumann Product Service
VLM	Flüssigkeitsvolumenstrom (Wasser-/Schaummittelgemisch) in Liter / Minute
Vol.%	Volumen Prozent (Dosierung des Schaummittels in Abhängigkeit des Gesamtvolumens)
VZ	Verschäumungszahl (dimensionslos)

## 1 Einleitung

Im November 2016 fanden im Rahmen des Projektes AERIUS auf dem Testgelände für Technische Sicherheit, der Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung (BAM), in Horstwalde die Brand- und Löschversuche an Kfz-Reifenstapeln statt. Nachdem eindrucksvolle Aufnahmen mit der Highspeed Kamera vom Austritt des Löschmittels aus dem Strahlrohr und dem Auftreffen der Dispersion auf einer Fläche gelangen, entstand die Überlegung, auch die Brand- und Löschversuche mit dieser Kamera aufzunehmen. Durch die Wärmefreisetzung der brennenden Reifen bestand allerdings die Gefahr einer Schädigung der Kamera. Außerdem standen die Witterungsbedingungen den Anforderungen an die Präzisionsaufnahmen entgegen. Die Highspeed-Aufnahmen hätten zudem die zeitlichen Planungen der Versuchsdurchführung erheblich gestört. Deshalb entschied man sich gemeinsam, die Brand- und Löschversuche zu einem späteren Zeitpunkt im Labormaßstab durchzuführen.

Vom 27. bis 28. März 2017 fanden dann im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojektes AERIUS die Aufnahmen mit der Highspeed Kamera in einem Labor in Hamburg statt.

Neben der Berliner Feuerwehr waren an den Versuchen die Projektpartner Otto-von-Guericke-Universität (OvGU) mit dem Institut für Apparate- und Umwelttechnik als Verbundkoordinator, die BAM mit dem Fachbereich 7.5 Thermische Beständigkeit von Polymeren beteiligt. Die Firma Dr. Richard Sthamer GmbH & Co. KG (Dr. Sthamer) war assoziierter Partner in dem Projekt und stellte für die Versuche ein Labor und Ausstattung zur Verfügung und beteiligte sich an den Versuchen.

## 2 Ziel

Die bisher durchgeführten Versuche des AERIUS-Forschungsprojektes zeigten Abstufung bezüglich der Löschleistung zwischen Wasser, Netzwasser, Luftschaum und Druckluftschaum. Auch bei den Einstellungen Vollstrahl und Sprühstrahl waren Unterschiede festzustellen.

Mit den Hochgeschwindigkeits-Aufnahmen sollte ein brennender Reifen und das Verhalten unterschiedlicher Löschmittel und Einstellungen bei Auftreffen auf der brennenden Reifenoberfläche visualisiert werden. Bei den Reifenbränden war allerdings nur eine Seitenansicht möglich. Mit einer temperierten Glasplatte konnte eine weitere Perspektive geschaffen werden. Die Frage stellte sich dabei nach dem Verhalten der Löschmittel und Einstellungen bezüglich des Auftreffens und der Verteilung auf der temperierten Glasoberfläche. Eine Oberflächentemperatur von  $>130^{\circ}\text{C}$  sollte den Wärmeübergang zwischen dem Löschmittel und der Glasoberfläche visualisieren.

### 3 Versuchsbeschreibung

#### 3.1 Aufgabenverteilung

- Die Berliner Feuerwehr hatte die Versuche in Abstimmung mit den Partnern entwickelt und beteiligte sich an deren Durchführung.
- Die OvGU zeichnete die Versuche mit der Highspeed Kamera auf.
- Die Firma Dr. Stahmer stellte außerdem eine CAFS und das Schaummittel zur Verfügung.
- Die zweite genutzte CAFS kam von der Firma U.S. Product Service (U.S.PS), die auch die Ermittlung der VZ übernahm.

#### 3.2 Messtechnik und -erhebung

Eingesetzte Messtechnik, Messhandlungen und Geräte zur Dokumentation der Versuche:

- Highspeed Kamera
- Temperaturmesssensor
- Bestimmung der VZ des Löschmittels
- Wärmebild stationär
- Video, gebräuchliche Wiedergabe-Bildfrequenz und Fotoapparat



**Abbildung 1:** Das Bild zeigt die Versuchsanordnung für die Aufnahmen mit dem Reifenteil. Berliner Feuerwehr, 2017.

### 3.3 Versuchsportfolio

Nicht alle Versuche konnten auswertbar mit der Highspeed-Kamera dokumentiert werden. Die Tabelle zeigt ausschließlich eine Übersicht der Versuche, bei denen eine erfolgreiche Aufzeichnung mit der Highspeed Kamera gelang. Insgesamt wurden 20 Versuche durchgeführt. Neun davon wurden mit der Highspeed Kamera aufgezeichnet und ausgewertet.

Versuch	Löschmittel	Einstellung	Strahlrohr	Objekt
1.	Wasser	Vollstrahl	Hohlstrahlrohr	Reifen
2.	Wasser	Vollstrahl	Hohlstrahlrohr	Glasscheibe
3.	Wasser	Sprühstrahl	Hohlstrahlrohr	Glasscheibe
4.	Netzwasser	Vollstrahl	Hohlstrahlrohr	Reifen
5.	Netzwasser	Sprühstrahl	Hohlstrahlrohr	Glasscheibe
6.	Luftschaum		Luftschaumrohr	Reifen
7.	Luftschaum		Luftschaumrohr	Glasscheibe
8.	Druckluftschaum	Vollstrahl	Rundstrahlrohr	Reifen
9.	Druckluftschaum	Vollstrahl	Rundstrahlrohr	Glasscheibe

Die Kinematik nachstehender Anwendungen konnten visualisiert werden:

- Wasser Vollstrahl
- Wasser Sprühstrahl
- Netzwasser Vollstrahl
- Netzwasser Sprühstrahl
- Luftschaum mit Verschäumungszahl (VZ) 8

Druckluftschaum nass mit VZ 7

#### 3.3.1 Versuchsaufbau „Löschen eines Reifenbrandes“

Die Dokumentation des Löschvorganges eines brennenden Reifens mit der Highspeed Kamera fand in einem mit einer Absauganlage ausgestatteten Labor statt. Zirka ein Achtel der Lauffläche eines Altreifens genügte für die Versuchsdarstellung. Die Entzündung des Reifens erfolgte mit Heptan. Nachdem der Reifen augenscheinlich ein Maximum bei der Verbrennung erreicht hatte, begann die Applikation des Löschmittels und die Aufzeichnung des Löschvorgangs mit der Highspeed Kamera.



**Abbildung 2:** Im Vordergrund ist die die Highspeed Kamera zu sehen. Dahinter befindet sich die Glasscheibe mit dem Heizstrahler. Nach Erreichen von  $> 135^{\circ}\text{C}$  entfernte ein Mitarbeiter den Heizstrahler. Applikation und Bildaufzeichnung starteten. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

### 3.3.2 Versuchsaufbau „Applikation an temperierter Glasscheibe“

Der Versuchsaufbau bestand aus einem wärmeschockstabilen Flachglas mit den Maßen 400 x 400 mm und einer Stärke von 5 mm. Die Fixierung eines thermischen Sensors an der Glasoberfläche ermöglichte die Aufzeichnung des Temperaturverlaufs. Die Erwärmung der Glasscheibe erfolgte mit einem 2 kW Heizstrahler. Die Vorderseite des Glases diente als Applikationsfläche für das Löschmittel. Auf der Rückseite war die Highspeed Kamera in einem gläsernen Schutzgehäuse untergebracht. Eine Wärmebildkamera verfolgte die qualitative Wärmeverteilung auf der Glasscheibe. Eine herkömmliche Kamera zeichnete die Versuche in Echtzeit auf. Nach Erreichen einer Glasoberflächentemperatur von  $> 135^{\circ}\text{C}$  wurde der Heizstrahler entfernt und das Löschmittel auf den von der Highspeed Kamera fokussierten Bereich appliziert.

## 4 Durchführung

### 4.1 Löschtechnik

Für die Versuchsdurchführung standen zwei verschiedene CAFS zur Verfügung. Eine „Micro CAFS Unit“ mit VLM 1,6 L/min und eine zweite CAFS (U.S.PS) mit einem VLM 5,0 L/min. Das erfolgreiche Löschen des Reifenteils gelang nur mit der höheren Applikationsrate.

## 4.2 Strahlrohre

Für die Löscharbeiten wurden drei unterschiedliche Strahlrohre verwendet.

- Hohlstrahlrohr
- Rundstrahlrohr
- Schaumstrahlrohr



**Abbildung 3:** Hohlstrahlrohr. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.



**Abbildung 4:** Rundstrahlrohr. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.



**Abbildung 5:** Schaumstrahlrohr. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

## 4.3 Highspeed Kamera

Die Highspeed Kamera filmte Details vom Aufprall unterschiedlicher Löschmittel auf einen brennenden Reifen und einer erwärmten Glasplatte mit einer Wiedergabe-Bildfrequenz von bis zu 4.365 Bildern pro Sekunde.

## 4.4 Temperaturmesssensoren

Für den Versuchsaufbau des Reifenbrandes war kein Messsensor erforderlich. Nur die Glasscheibe war mit einem Messfühler ausgestattet. Bei Erreichen der  $> 135^{\circ}\text{C}$  startete die Löschmittelapplikation.

## 4.5 Ermittlung der VZ

Die VZ wurde mit einer Messapparatur nach EN 1568 bestimmt.

## 4.6 Wärmebild und optische Kamera

Eine stationäre Wärmebildkamera lieferte Bildmaterial von den Versuchen, die in Bezug auf die thermischen Gegebenheiten ausgewertet werden konnten. Eine gebräuchliche stationäre Kamera und ein Fotoapparat dokumentierten den Ablauf der Versuche aus unterschiedlichen Winkeln.

# 5 Versuchsberichte

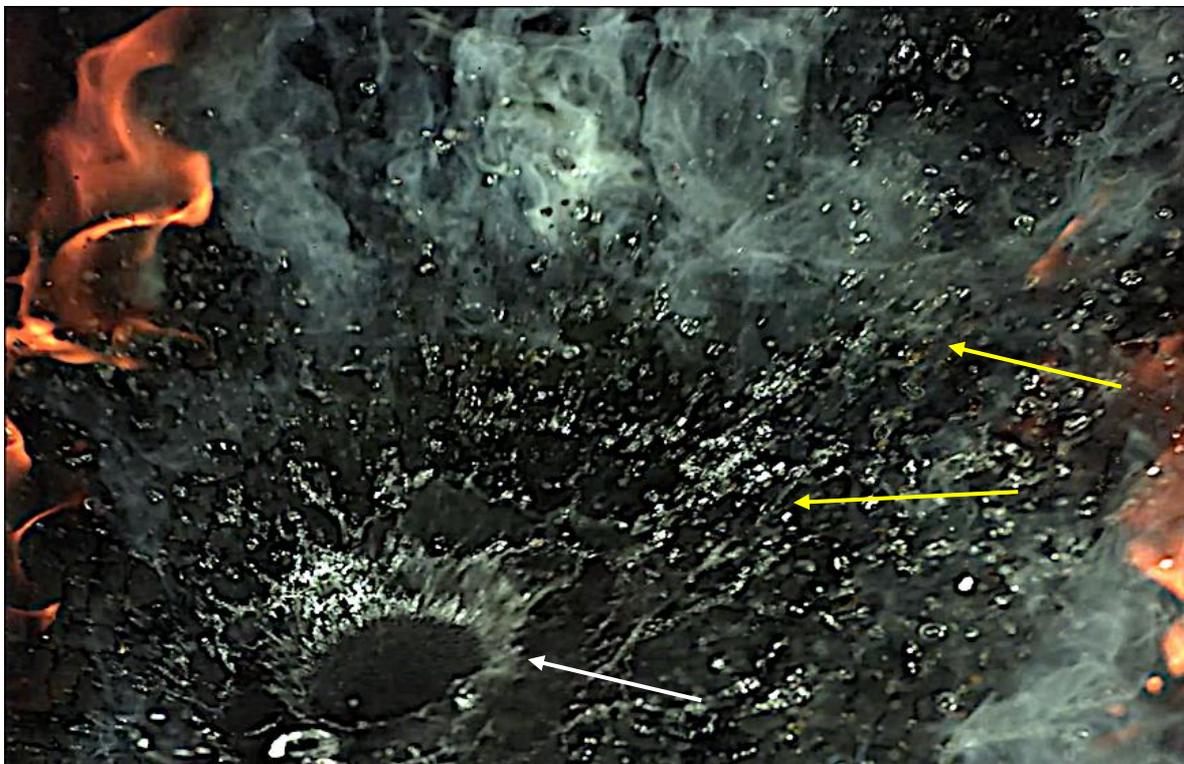
## 5.1 Versuch 1

Reifenbrand	
27.03.2017	
Verwendete Strahlrohre	Wasser-Vollstrahl Hohlstrahlrohr

Ein Schwarm von Wassertropfen erreichte kurz nacheinander die brennende Reifenoberfläche (Abbildung 6). Die Wassertropfen des Vollstrahles zersprangen beim Auftreffen auf der Oberfläche. Um den Aufschlagpunkt bildete sich eine Wasserkrone (Abbildung 7). Ein erheblicher Teil des Wassers wurde dabei reflektiert. Eine Haftung des Wassers auf der Reifenoberfläche konnte nicht beobachtet werden. Bei den Filmaufnahmen in gebräuchlicher Wiedergabe-Bildfrequenz ist zu sehen, wie die Reifenoberfläche das Löschwasser abweist. Durch eine kontinuierliche Applikation gelang trotzdem ein Löscheffekt. Bei der Nebelbildung (Abbildung 7) dürfte es sich um Wasserdampf handeln.



**Abbildung 6:** Die Pfeile zeigen einen Schwarm Wassertropfen, der sich auf die Reifenoberfläche zu bewegt.  
Bild: OvUG, 2017.



**Abbildung 7:** Der Aufprall eines Wassertropfens erzeugt eine Wasserkrone (weißer Pfeil). Ein relativ großer Teil des Wassertropfens wird reflektiert und springt weg (gelbe Pfeile). Am oberen Bildrand ist Nebelbildung erkennbar. Bild: OvUG, 2017.

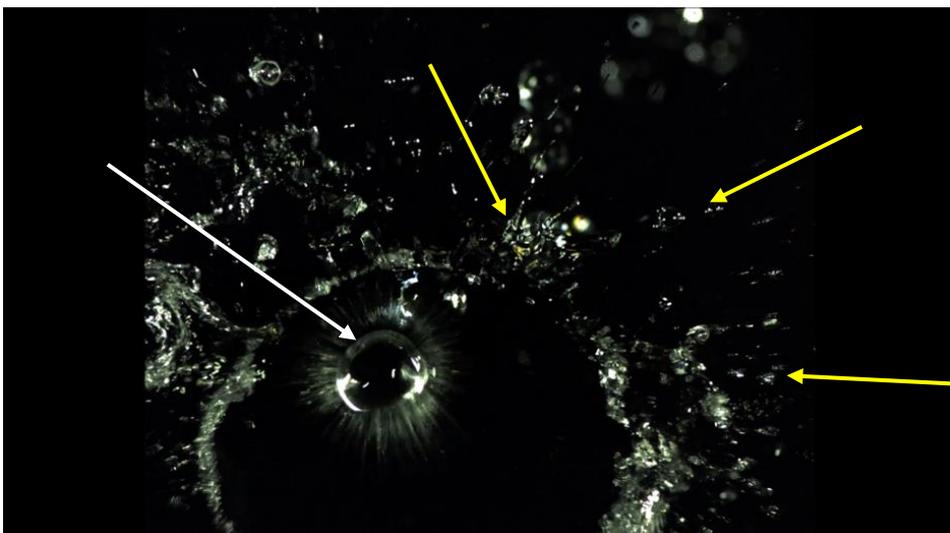


**Abbildung 8:** Der Wasservollstrahl trifft auf die Wasser abweisende Reifenoberfläche. Es entsteht Wasserdampf. Die Video-Aufnahme erfolgte mit der gebräuchlichen Wiedergabe-Bildfrequenz. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

## 5.2 Versuch 2.

Temperierte Glasscheibe	
28.03.2017	
Verwendete Strahlrohre	Wasser-Vollstrahl Hohlstrahlrohr

Ein Schwarm kurz nacheinander auf der Glasoberfläche auftreffender großer Wassertropfen mit unterschiedlichen Durchmessern erreichte die Glasoberfläche. Sie zerplatzen und wurden weitgehend reflektiert. Die Tropfenverteilung war ungleichmäßig. Nach dem Auftreffen bildeten die Tropfen eine Wasserkrone aus. Das Wasser zeigte kein Haftungsvermögen auf der Glasoberfläche.



**Abbildung 9:** Der weiße Pfeil zeigt einen gerade auftreffenden Wassertropfen vor dem Zerplatzen. Um den Tropfen herum breitet sich die Krone des zuvor zerplatzten Tropfens aus. Die gelben Pfeile zeigen die reflektierten Wasserfragmente des ersten Tropfens. Bild: OvGU, 2017.

### 5.3 Versuch 3.

Temperierte Glasscheibe	
27.03.2017	
Verwendete Strahlrohre	Wasser-Sprühstrahl
	Hohlstrahlrohr

Die auf der Glasscheibe auftreffenden Wassertropfen des Sprühstrahls wiesen deutlich kleinere Durchmesser auf als die Tropfen des Wasservollstrahles. Auch hier zerteilten sich die Tropfen beim Aufprall in viele kleine Tropfen. Die sich dabei bildenden Wasserkronen waren schwach ausgeprägt und zeigten im Vergleich zu den Wassertropfen des Vollstrahls deutlich kleinere Durchmesser. Das Reflexionsverhalten der Sprühstrahltröpfchen war deutlich geringer als der Tropfen des Vollstrahls. Der Großteil des Wassers schien an der Glasscheibe zu haften. Die Verteilung der Tropfen war gleichmäßig. Die fragmentierten Wassertropfen bedeckten in der Folge die gesamte Glasoberfläche. Bei einem geringen Teil der Tropfen kam es zur Reflexion.

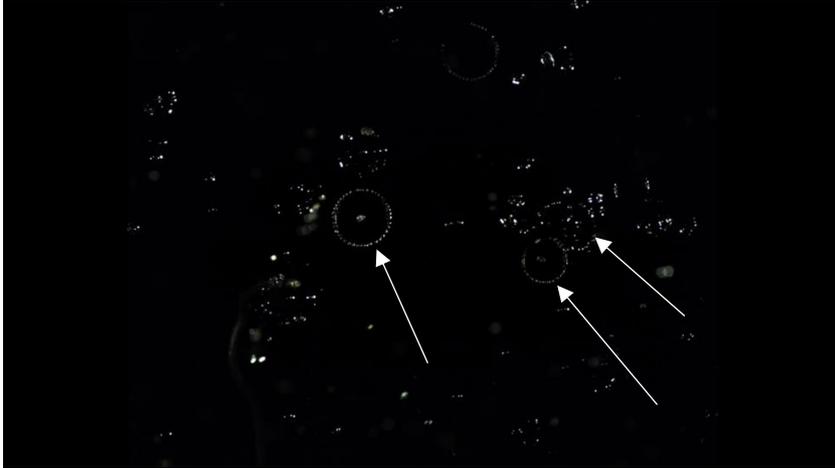
Es kam im Verlauf der Aufnahmen zu einem geringen Aufschäumen der haftenden Wasserfragmente, was auf Tensidreste eines Scheibenreinigungsmittels hinweisen könnte.



**Abbildung 10:** Ein einzelner Tropfen im Anflug auf die erwärmte Glasscheibe. Bild: OvGU, 2017.



**Abbildung 11:** Der Tropfen zerspringt beim Aufprall und bildet eine Wasserkrone um den Aufprallpunkt. Bild: OuVG, 2017.



**Abbildung 12:** Drei Tropfen bilden Wasserkronen kurz nach dem Auftreffen. Bild: OvUG, 2017.

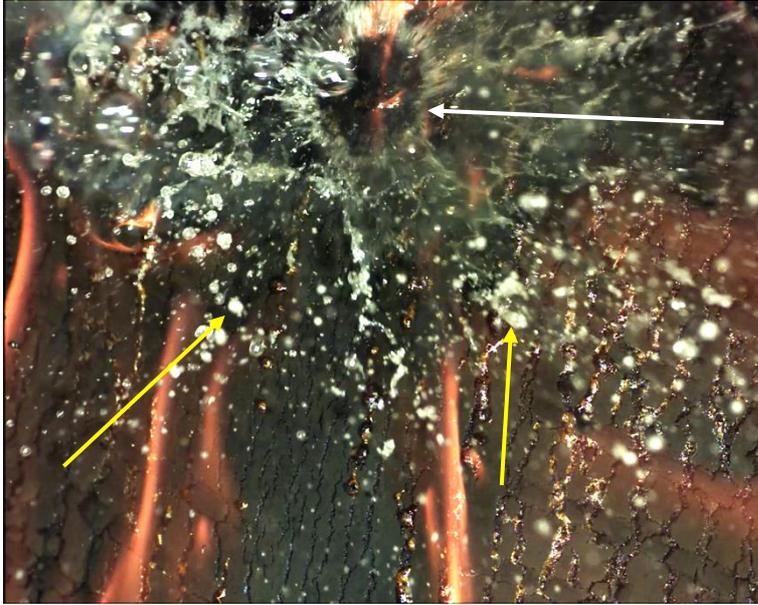


**Abbildung 13:** Die Oberfläche ist gleichmäßig benetzt. Eine leichte Schaumblasenbildung deutet auf Tensid-Rückstände hin. Bild: OvGU, 2017.

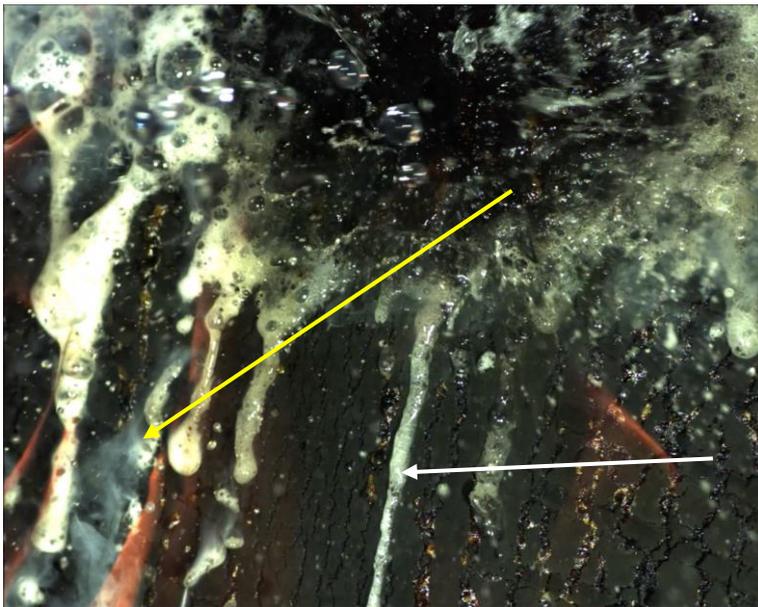
## 5.4 Versuch 4.

Reifenbrand	
27.03.2017	
Verwendete Strahlrohre	Netzwasser-Vollstrahl Hohlstrahlrohr

Eine Vielzahl von Wassertropfen traf auf der Reifenoberfläche auf und zerplatzte. Aus großen Tropfen entstand eine Vielzahl von kleinen Tropfen. Ein Teil dieser Tropfen wurde reflektiert und sprang weg. Der andere Teil des Wassers verblieb auf der Oberfläche, schäumte auf und floss in die Vertiefungen des Reifens. Der erst nach dem Auftreffen erzeugte Schaum folgte dann der Schwerkraft und lief ab. Es bildete sich Wasserdampf. Das Netzwasser konnte keine flächendeckende Schaumschicht bilden. Die Durchmesser der Netzwassertropfen sind den Wassertropfen des Vollstrahles ähnlich. Auch das Reflexionsverhalten der Netzwassertropfen ist mit den Wassertropfen vergleichbar.



**Abbildung 14:** Am oberen Bildrand treffen Netzwassertropfen auf die Reifenoberfläche. Die Tropfen zerspringen und bilden eine Krone (weißer Pfeil). Ein Teil des Netzwassers wird dabei reflektiert (gelbe Pfeile). Bild: OvGU, 2017.



**Abbildung 15:** Ein Teil des Netzwassers verbleibt auf der Reifenoberfläche und beginnt aufzuschäumen. Der weiße Pfeil zeigt, wie der Schaum in das Reifenprofil und der Schwerkraft folgend nach unten abfließt. Am linken Bildrand bildet sich Wasserdampf (gelber Pfeil). Bild: OvGU, 2017.

## 5.5 Versuch 5.

### Temperierte Glasscheibe

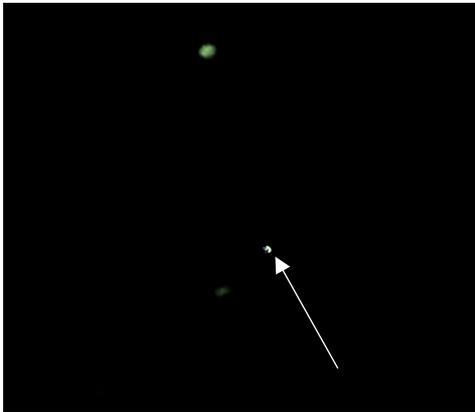
28.03.2017

Verwendete Strahlrohre

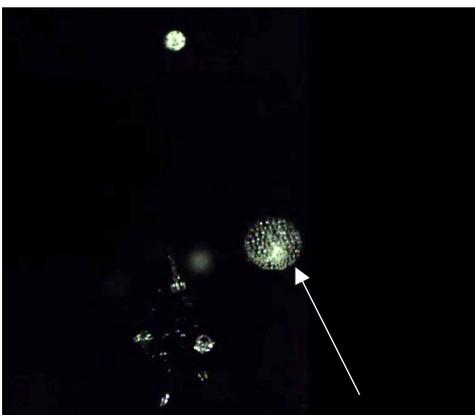
Netzwasser-Sprühstrahl

Hohlstrahlrohr

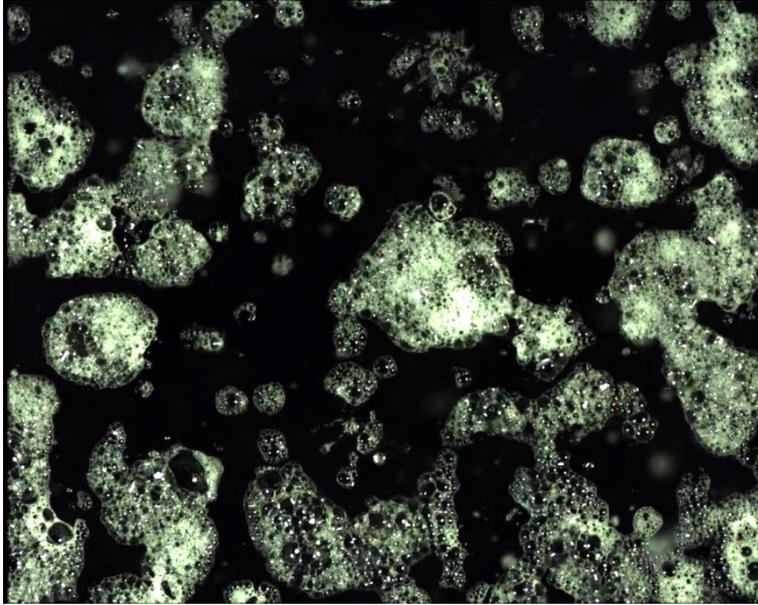
Die Sprühstrahltröpfchen des Wasser-/Schaummittelgemisches reicherten sich beim Verlassen des Strahlrohres und während des Fluges mit der Umgebungsluft an. Noch vor dem Auftreffen auf der Glasscheibe war bereits eine geringe Schaumblasenstruktur erkennbar. Nach dem Auftreffen breiteten sich die Netzwassertropfen auf der Oberfläche aus. Der Wärmeübergang führte zur Ausdehnung der Luft in den Schaumblasen. Dabei vergrößerten sich die Schaumblasen und platzten. Die Schaumblasen waren relativ groß und uneinheitlich. Das Reflexionsverhalten des Netzwasser-Sprühstrahles beim Aufprall auf die Glasscheibe war gering.



**Abbildung 16:** Ein Netzwassertropfen vor dem Auftreffen auf der Glasoberfläche. Bild: OvGU, 2017.



**Abbildung 17:** Der gleiche Netzwassertropfen breitet sich nach dem Aufprall auf der Glasoberfläche aus und bildet eine Schaumblasenstruktur. Bild: OvGU, 2017.

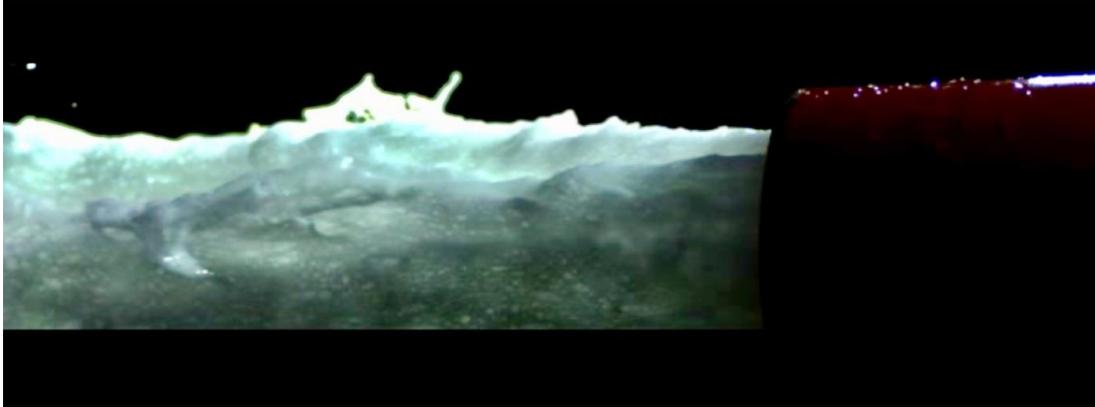


**Abbildung 18:** Die Schaumblasen des Netzmittels sind unregelmäßig und relativ groß. Durch den Wärmeübergang dehnt sich die Luft in den Schaumblasen aus. Dadurch vergrößern sich die Schaumblasen bis sie platzen. Bild: OvGU, 2017.

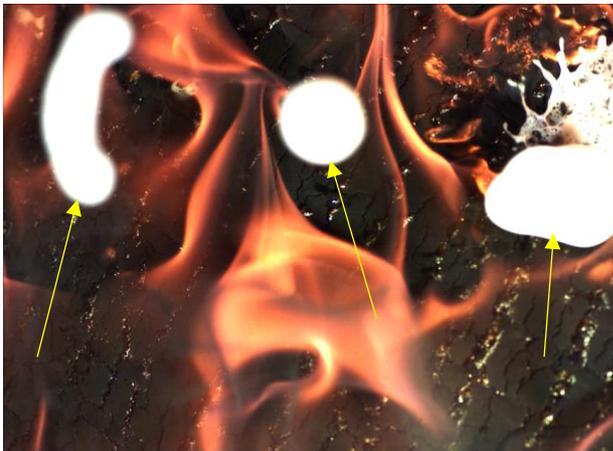
## 5.6 Versuch 6.

Reifenbrand	
27.03.2017	
Verwendetes Strahlrohr	Luftschaumrohr
Verwendetes Schaummittel	Luftschaum VZ 8

Nachdem der Schaum das Luftschaumrohr verlassen hat zerfällt der kompakte Schaumstrahl nach einer bestimmten Länge. Es bildete sich ein Schwarm von Schaumteilen. Diese Schaumteile nahmen dabei unregelmäßige Formen an. Nach dem Aufprall auf dem brennenden Reifen verteilte sich der Schaum auf seiner Oberfläche. Das Reflexionsverhalten der Dispersion war gering ausgeprägt. Die Schaumblasen nahmen Bestandteile der Reifenoberfläche auf. Der Luftschaum bildete relativ große Schaumblasendurchmesser. Die Wasserdampfbildung war bei diesen Aufnahmen nur gering ausgeprägt.



**Abbildung 19:** Der Luftschaum verlässt ein S1 Luftschaumrohr. Diese Aufnahme entstand auf dem TTS der BAM in Horstwalde bei den Brand- und Löschversuchen an Kfz-Reifenstapeln im November 2016. Das Bild ist zur Verdeutlichung aufgeführt und wurde nicht im Zuge der hier beschriebenen Versuchsreihe angefertigt. Bild: OvGU, 2016.



**Abbildung 20:** Die Schaumteile nehmen unregelmäßige Formen an (gelber Pfeil). Nach dem Aufprall verteilt sich die Dispersion auf der Reifenoberfläche. Bild: OvGU, 2017.



**Abbildung 21:** Die kontinuierliche Beaufschlagung mit den Schaumteilen führt zum Löscheffekt. Bild: OvGU, 2017.

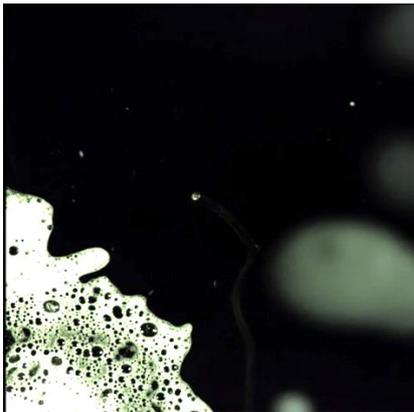
## 5.7 Versuch 7.

Temperierte Glasscheibe	
28.03.2017	
Verwendete Strahlrohre	Luftschaumrohr
Verwendetes Schaummittel	Luftschaum VZ 8

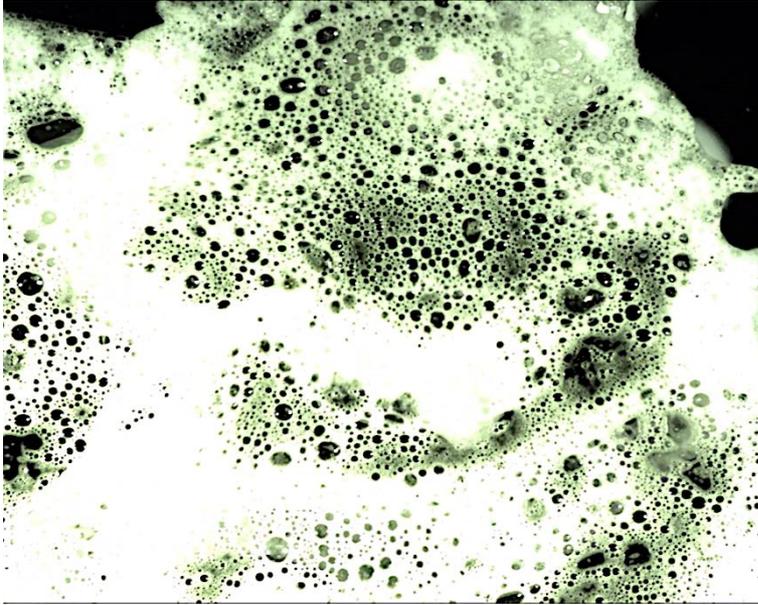
Die Schaumteile waren wesentlich größer als die Tropfen des Wasservollstrahles. Beim Aufprall breiteten sich diese Schaumteile auf der Glasoberfläche aus. Die Schaumblasendurchmesser waren relativ groß. Durch die Temperatur der Glasoberfläche dehnten sich die Schaumblasen aus, bis diese platzten. Dieser Effekt war besonders an den Rändern deutlich erkennbar.



**Abbildung 22:** Ein Schaumteil bewegt sich auf die Scheibe zu. Davor ist der Thermosensor zu sehen, der die Oberflächentemperatur der Glasscheibe erfasste. Bild: OvGU, 2017.



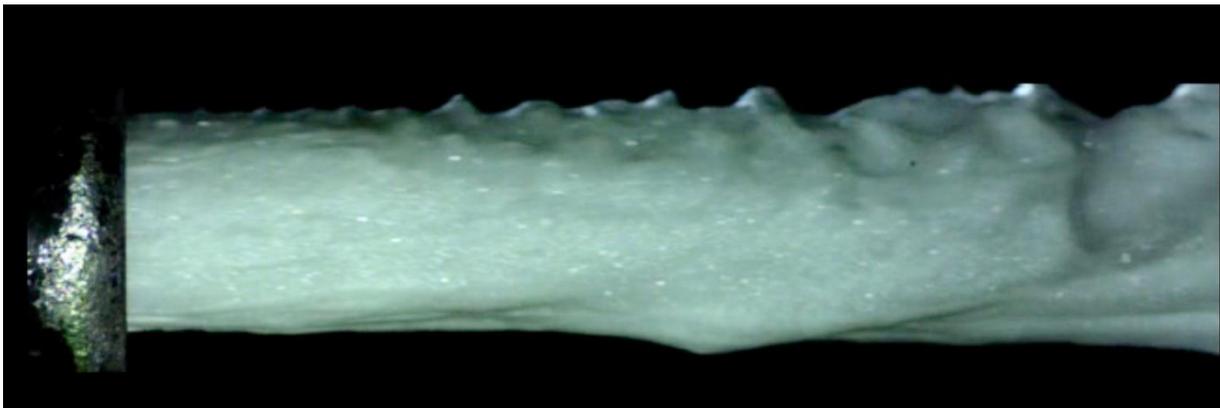
**Abbildung 23:** Das Schaumteil hat sich nach dem Aufprall auf der Glasscheibe ausgebreitet. Bild: OvGU, 2017.



**Abbildung 24:** Die Schaumblasen des Luftschaums haben sich auf der Glasoberfläche ausgebreitet. Bild: OvGU, 2017.

## 5.8 Versuch 8.

Reifenbrand	
27.03.2017	
Verwendetes Strahlrohr	Rundstrahlrohr
Verwendetes Schaummittel	Vollstrahl-Druckluftschaum VZ 7



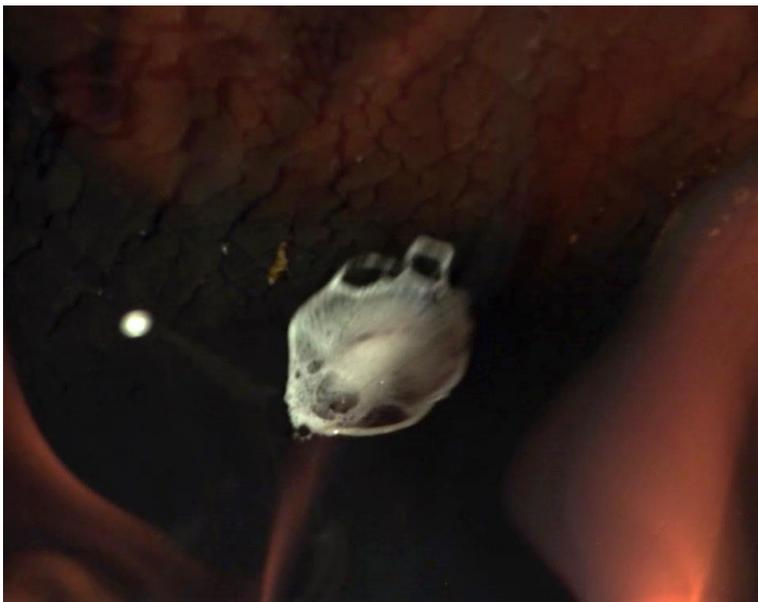
**Abbildung 25:** Druckluftschaum tritt aus einem Rundstrahlrohr aus. Diese Aufnahme entstand auf dem TTS der BAM in Horstwalde bei den Brand- und Löschversuchen an Kfz-Reifenstapeln im November 2016. Bild: OvGU, 2016.

Auch der kompakte Druckluftschaumstrahl zerfällt nach dem Austreten aus dem Rundstrahlrohr. Die Schaumteile nehmen dabei gleichermaßen unregelmäßige Formen an. Die Reifenoberfläche wurde kontinuierlich mit den Schaumteilen beaufschlagt. Die

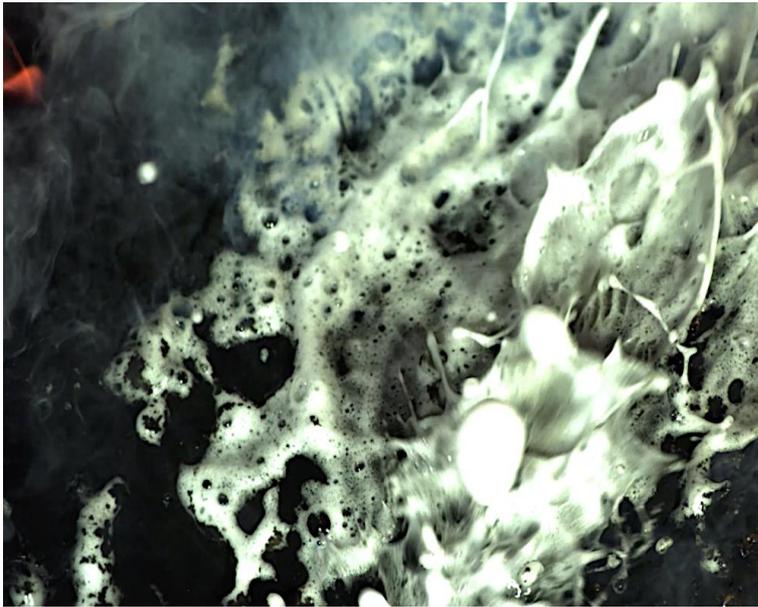
Dispersion breitete sich beim Auftreffen auf den heißen Oberflächen aus. Ein Teil des Schaumes sammelte sich in den Vertiefungen des Reifenprofils. Sichtbar war eine signifikante Bildung von Wasserdampf. Der Druckluftschaum nahm auch Partikel der Reifenoberfläche auf, die dann im Schaum eingelagert wurden. Ein Abrutschen bzw. Abfließen des Schaums konnte nicht beobachtet werden. Das Reflexionsverhalten der auftreffenden Schaumteile war gering. Die Schaumblasen wiesen regelmäßige und kleine Durchmesser auf.



**Abbildung 26:** Ein irregulär geformtes Druckluftschaumteil fliegt auf den brennenden Reifen zu. Bild: OvGU, 2017.



**Abbildung 27:** Durch den Aufprall breitet sich das Schaumteil auf der Reifenoberfläche aus. Die Schaumblasen sind durch relativ kleine Durchmesser gekennzeichnet. Bild: OvGU, 2017.



**Abbildung 28:** Eine kontinuierliche Beaufschlagung der Reifenoberfläche bringt den Löscherfolg. Links oben ist die Bildung von Wasserdampf erkennbar. Bild: OvGU, 2017.



**Abbildung 29:** Das Bild zeigt die mit DLS bedeckte Reifenoberfläche (gebräuchliche Fotoaufnahme). Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

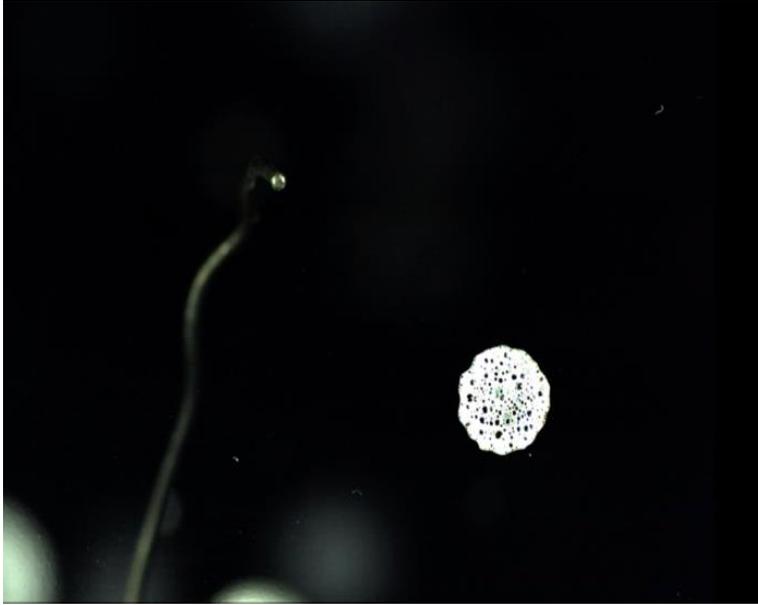
## 5.9 Versuch 9.

Temperierte Glasscheibe	
27.03.2017	
Verwendetes Strahlrohr	Rundstrahlrohr
Verwendetes Schaummittel	Druckluftschäum VZ 7

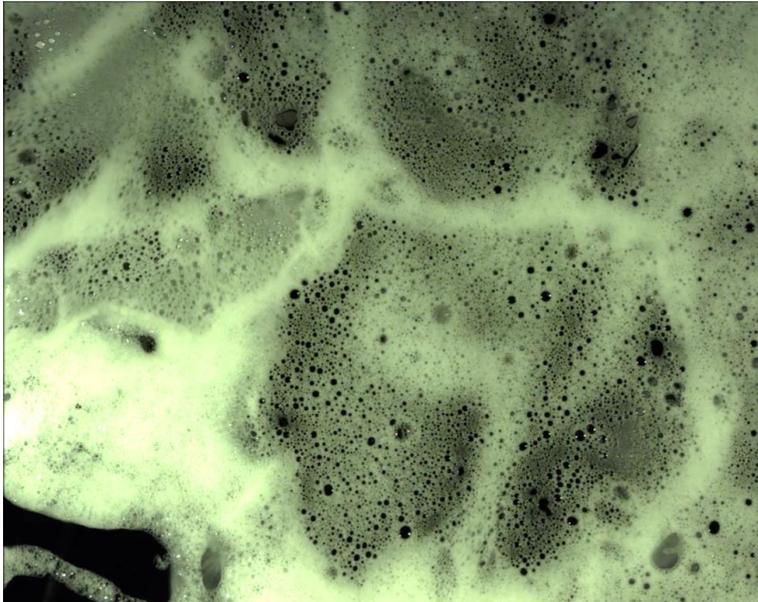
Ein Schaumteil in Kugelform flog auf die erwärmte Glasscheibe zu. Durch die Kollision verteilte sich die Dispersion annähernd kreisförmig auf der Fläche und konnte haften. Die erwärmten Oberflächen wurden kontinuierlich mit einem Schwarm aus irregulär geformten Schaumteilen beaufschlagt. Im Vergleich zu Luftschäum wiesen die Schaumblasen des Druckluftschäums gleichmäßigere Strukturen und geringere Schaumblasendurchmesser auf. Einige Druckluftschäumteile schienen sich mit einer deutlich höheren Geschwindigkeit zu bewegen.



**Abbildung 30:** Ein kugelförmiges Schaumteil bewegt sich auf die Glasscheibe zu. Links daneben ist der Thermosensor erkennbar. Bild: OvGU, 2017.



**Abbildung 31:** Das Schaumteil hat sich nach der Kollision auf der Glasoberfläche ausgebreitet. Bild: OvGU, 2017.



**Abbildung 32:** Die Schaumblasenstruktur ist homogen und die Schaumblasendurchmesser sind relativ klein. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

## 6 Fazit

Die Aufnahmen mit der Highspeed Kamera lassen folgende Feststellungen zu:

- Die Tropfen des Vollstrahles von Wasser und Netzwasser zeigen ein starkes Reflexionsverhalten.
- Sprühstrahleinstellungen zeigen ein geringeres Reflexionsverhalten als die Vollstrahlanwendungen. Der Verteilungsgrad des Sprühstrahls auf der Glasoberfläche ist deutlich höher als mit dem Vollstrahl.
- Das Netzmittel verschäumt im Vollstrahlmodus auf erwärmten Oberflächen und im Sprühstrahlmodus bereits während des Fluges durch die Luft. Die Schaumblasenstruktur ist unregelmäßig. Der Schaum bedeckt nur einen Teil der Oberflächen und fließt ab.
- Luftschaum erzeugt eine flächige Schaumblasenstruktur. Der Luftschaum wird kaum reflektiert und haftet gut auf den Oberflächen.
- Druckluftschaum verfügt grundsätzlich über die gleichen Eigenschaften wie der Luftschaum. Druckluftschaum zeigte aber im Vergleich zu Luftschaum kleinere Schaumblasendurchmesser und schien mit einer höheren Geschwindigkeit auf die Oberflächen aufzutreffen.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Das Bild zeigt die Versuchsanordnung für die Aufnahmen mit dem Reifenteil. Berliner Feuerwehr, 2017	2
Abbildung 2	Im Vordergrund ist die die Highspeed Kamera zu sehen. Dahinter befindet sich die Glasscheibe mit dem Heizstrahler. Nach Erreichen von > 135°C entfernte ein Mitarbeiter den Heizstrahler. Applikation und Bildaufzeichnung starteten. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017	4
Abbildung 3	Hohlstrahlrohr. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017	5
Abbildung 4	Rundstrahlrohr. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017	5
Abbildung 5	Schaumstrahlrohr. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017	5
Abbildung 6	Die Pfeile zeigen einen Schwarm Wassertropfen, der sich auf die Reifenoberfläche zu bewegt. Bild: OvUG, 2017	7
Abbildung 7	Der Aufprall eines Wassertropfens erzeugt eine Wasserkrone (weißer Pfeil). Ein relativ großer Teil des Wassertropfens wird reflektiert und springt weg (gelbe Pfeile). Am oberen Bildrand ist Nebelbildung erkennbar. Bild: OvUG, 2017	7
Abbildung 8	Der Wasservollstrahl trifft auf die Wasser abweisende Reifenoberfläche. Es entsteht Wasserdampf. Die Video-Aufnahme erfolgte mit der gebräuchlichen Wiedergabe-Bildfrequenz. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017	8
Abbildung 9	Der weiße Pfeil zeigt einen gerade auftreffenden Wassertropfen vor dem Zerplatzen. Um den Tropfen herum breitet sich die Krone des zuvor zerplatzten Tropfens aus. Die gelben Pfeile zeigen die reflektierten Wasserfragmente des ersten Tropfens. Bild: OvGU, 2017	8
Abbildung 10	Ein einzelner Tropfen im Anflug auf die erwärmte Glasschreibe. Bild: OvGU, 2017	9
Abbildung 11	Der Tropfen zerspringt beim Aufprall und bildet eine Wasserkrone um den Aufprallpunkt. Bild: OvUG, 2017	9
Abbildung 12	Drei Tropfen bilden Wasserkronen kurz nach dem Auftreffen. Bild: OvUG, 2017	10
Abbildung 13	Die Oberfläche ist gleichmäßig benetzt. Eine leichte Schaumblasenbildung deutet auf Tensid-Rückstände hin. Bild: OvGU, 2017	10
Abbildung 14	Am oberen Bildrand treffen Netzwassertropfen auf die Reifenoberfläche. Die Tropfen zerspringen und bilden eine Krone (weißer Pfeil). Ein Teil des Netzwassers wird dabei reflektiert (gelbe Pfeile). Bild: OvGU, 2017	11
Abbildung 15	Ein Teil des Netzwassers verbleibt auf der Reifenoberfläche und beginnt aufzuschäumen. Der weiße Pfeil zeigt, wie der Schaum in das Reifenprofil und der Schwerkraft folgend nach unten abfließt. Am linken Bildrand bildet sich Wasserdampf (gelber Pfeil). Bild: OvGU, 2017	11
Abbildung 16	Ein Netzwassertropfen vor dem Auftreffen auf der Glasoberfläche. Bild: OvGU, 2017	12
Abbildung 17	Der gleiche Netzwassertropfen breitet sich nach dem Aufprall auf der Glasoberfläche aus und bildet eine Schaumblasenstruktur. Bild: OvGU, 2017	12

Abbildung 18	Die Schaumblasen des Netzmittels sind unregelmäßig und relativ groß. Durch den Wärmeübergang dehnt sich die Luft in den Schaumblasen aus. Dadurch vergrößern sich die Schaumblasen bis sie platzen. Bild: OvGU, 2017	13
Abbildung 19	Der Luftschaum verlässt ein S1 Luftschaumrohr. Diese Aufnahme entstand auf dem TTS der BAM in Horstwalde bei den Brand- und Löschversuchen an Kfz-Reifenstapeln im November 2016. Das Bild ist zur Verdeutlichung aufgeführt und wurde nicht im Zuge der hier beschriebenen Versuchsreihe angefertigt. Bild: OvGU, 2017	14
Abbildung 20	Die Schaumteile nehmen unregelmäßige Formen an (gelber Pfeil). Nach dem Aufprall verteilt sich die Dispersion auf der Reifenoberfläche. Bild: OvGU, 2017	14
Abbildung 21	Die kontinuierliche Beaufschlagung mit den Schaumteilen führt zum Löscheffekt. Bild: OvGU, 2017	14
Abbildung 22	Ein Schaumteil bewegt sich auf die Scheibe zu. Davor ist der Thermosensor zu sehen, der die Oberflächentemperatur der Glasscheibe erfasste. Bild: OvGU, 2017	15
Abbildung 23	Das Schaumteil hat sich nach dem Aufprall auf der Glasscheibe ausgebreitet. Bild: OvGU, 2017	15
Abbildung 24	Die Schaumblasen des Luftschaums haben sich auf der Glasoberfläche ausgebreitet. Bild: OvGU, 2017	16
Abbildung 25	Druckluftschaum tritt aus einem Rundstrahlrohr aus. Diese Aufnahme entstand auf dem TTS der BAM in Horstwalde bei den Brand- und Löschversuchen an Kfz-Reifenstapeln im November 2016. Bild: OvGU, 2017	16
Abbildung 26	Ein irregulär geformtes Druckluftschaumteil fliegt auf den brennenden Reifen zu. Bild: OvGU, 2017	17
Abbildung 27	Durch den Aufprall breitet sich das Schaumteil auf der Reifenoberfläche aus. Die Schaumblasen sind durch relativ kleine Durchmesser gekennzeichnet. Bild: OvGU, 2017	17
Abbildung 28	Eine kontinuierliche Beaufschlagung der Reifenoberfläche bringt den Löscherfolg. Links oben ist die Bildung von Wasserdampf erkennbar. Bild: OvGU, 2017	18
Abbildung 29	Das Bild zeigt die mit DLS bedeckte Reifenoberfläche (gebräuchliche Fotoaufnahme). Bild: Berliner Feuerwehr, 2017	18
Abbildung 30	Ein kugelförmiges Schaumteil bewegt sich auf die Glasscheibe zu. Links daneben ist der Thermosensor erkennbar. Bild: OvGU, 2017	19
Abbildung 31	Das Schaumteil hat sich nach der Kollision auf der Glasoberfläche ausgebreitet. Bild: OvGU, 2017	20
Abbildung 32	Die Schaumblasenstruktur ist homogen und die Schaumblasendurchmesser sind relativ klein. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017	20