



# Forschungsprojekt

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

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

<b>AP* 05</b>	<b>Brände an Hochspannungsanlagen &amp; Öl-Transformatoren</b>
Testreihe	Brandbekämpfung an Transformatoren unter Anwendung verschiedener Löschmittel und Einsatztaktiken.

\*Arbeitspaket

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	3
1 Einleitung .....	1
2 Versuchsaufbau .....	3
3 Brandversuche .....	5
4 Versuchsberichte.....	7
4.1 Vorversuch V0.....	7
4.2 Versuch V1.1.....	8
4.3 Versuch V1.2.....	10
4.4 Versuch V2.1.....	11
4.5 Versuch V2.2.....	13
4.6 Versuch V3.1.....	14
4.7 Versuch V3.2.....	15
4.8 Versuch V4.1.....	16
4.9 Versuch V4.2.....	17
4.10 Versuch V5.1 .....	17
5 Fazit.....	19
6 Anhang.....	21
Abbildungsverzeichnis.....	24

## Abkürzungsverzeichnis

A	Ampere
AG	Aktiengesellschaft
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung, Fachbereich 7.5 Thermische Beständigkeit von Polymeren
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BF	Berufsfeuerwehr
CAF	Compressed Air Foam
CAFS	Compressed Air Foam System
DZA	Druckzumischanlage
HLF	Hilfeleistungslöschgruppenfahrzeugfahrzeug
IEC	International Electrotechnical Commission
kg	Kilogramm
kVA	Elektrische Scheinleistung von Transformatoren in Kilovoltampere
m	Meter
MVA	Elektrische Scheinleistung von Transformatoren in Megavoltampere
OvGU	Otto-von-Guericke-Universität-Magdeburg
TLF	Tanklöschfahrzeug
TTS	Testgelände für Technische Sicherheit
vfdb e.V.	Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes eingetragener Verein
VLM	Flüssigkeitsvolumenstrom (Wasser-/Schaummittelgemisch) in Liter/Minute
Vol.%	Dosierung des Schaummittels in Abhängigkeit des Gesamtvolumens
VZ	Verschäumungszahl (Dimensionslos)
WBK	Wärmebildkamera

# 1 Einleitung

Die Löschversuche an Leistungstransformatoren, des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsprojektes AERIUS, führte die Berliner Feuerwehr vom 29. Mai 2017 bis 01. Juni 2017 durch. Der Projektpartner, die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) stellte dafür ihr Testgelände für Technische Sicherheit (TTS) in Horstwalde zur Verfügung.

Das Löschen von Leistungstransformatoren ist komplex und kann mit einem hohen Zeitaufwand verbunden sein. Das zeigte insbesondere der Brand eines 500 Megavoltampere (MVA) Transformators in Abu Dhabi, am 17. April 2014. Aufgrund der Größe des Transformators und des brennend auslaufenden Transformatorenöls war die Einsatzstelle erst am 19. April 2014 vollständig unter Kontrolle.

Eines der häufigsten Ursachen für Transformatorenbrände ist der Verlust der dielektrischen Eigenschaften des Öls. Dadurch kann sich ein Lichtbogen bilden. Ein Teil der Ölfüllung verdampft innerhalb von Millisekunden. Der Druckanstieg zerstört das Transformatorgehäuse und das Öl tritt brennend aus. Dies wird auch als „thermisches Durchgehen“ bezeichnet.<sup>1</sup> Der Flammpunkt des Transformatorenöls ist mit > 135°C (IEC 60296) angegeben.

Die besonderen Herausforderungen für die Brandbekämpfung sind:

- Ausgedehnter Flüssigkeitsbrand in dem Auffangraum des Transformators
- Das Transformatorenöl läuft brennend nach
- Die Anlage steht noch unter Hochspannung
- Die erhitzten Metallteile und brennende feste Stoffe können zur Rückzündung des Flüssigkeitsbrandes führen
- Der Transformator ist in der Regel schwer zugänglich

Das Ziel der Versuche war die Erprobung wirkungsvoller Einsatztaktiken unter Anwendung von Druckluftschäum, Luftschäum und Netzwasser. Ergänzend dazu wurde auch Löschpulver eingesetzt.

Die Deutsche Bahn AG stellte gebrauchte 200 Kilovoltampere (kVA) Transformatoren für die Versuche zur Verfügung. Die Ölfüllung hatte eine Masse von 425 kg. Einem Vorversuch folgten neun weitere Transformatorenbrände.

---

<sup>1</sup> ETZ, Explosionsgefahr in Transformatoren durch thermisches Durchgehen, Öhlen / Werelius, Ausgabe 7, 2010

Versuch	Löschmittel	Strahlrohr	Verschäumungszahl
V1.1	Luftschaum	S1	7,4
V1.2	Luftschaum	S1	8,8
V2.1	CAF nass	Akron Hohlstrahlrohr 1720	3,9
V2.2	CAF nass	Akron Hohlstrahlrohr 1720	5,3
V3.1	CAF trocken	Akron Rundstrahldüse	10,7
V3.2	CAF trocken	Akron Rundstrahldüse	11,8
V4.2	CAF nass + Pulver	Akron Hohlstrahlrohr 1720	4,7
V4.2	CAF nass + Pulver	Akron Hohlstrahlrohr 1720	8,5
V5	Netzmittel	Akron Hohlstrahlrohr 1720	3,8

**Tabelle 1:** Konfigurationen Löschmittel und Strahlrohre. Die VZ wurde vor den Versuchen ermittelt.

Zur Aufzeichnung der Versuche standen nachstehende Geräte und Messverfahren zur Verfügung:

- Temperaturmesssensoren am und im Transformator
- Wärmestrahlungssensoren
- Bestimmung des Löschmittelvolumenstroms
- Eingangsdruck an der Feuerlöschkreiselpumpe
- Druckmessungen am Strahlrohr
- Bestimmung der Verschäumungszahl (VZ) des Löschmittels
- Refraktometer zur Bestimmung der Schaummitteldosierung
- Wärmebild stationär
- Video, stationär und mit Helmkamera

An den Löschversuchen beteiligte sich neben der Berliner Feuerwehr auch die Berufsfeuerwehr Ingolstadt als Unterauftragnehmer. Die Projektpartner BAM und der Koordinator des Forschungsverbundes, die Otto-von-Guericke-Universität-Magdeburg (OvGU) unterstützten mit ihrer Messtechnik die Versuchsaufzeichnungen. Ergänzend war von der Berliner Feuerwehr die Firma U.S. Product Service mit Messungen beauftragt. Außerdem waren neben dem Projektpartner Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdB e.V.) folgende assoziierte Partner des Projektes anwesend: Firma Rosenbauer, Firma Dr. Sthamer, Firma One Seven of Germany GmbH, sowie die Deutsche Bahn AG.

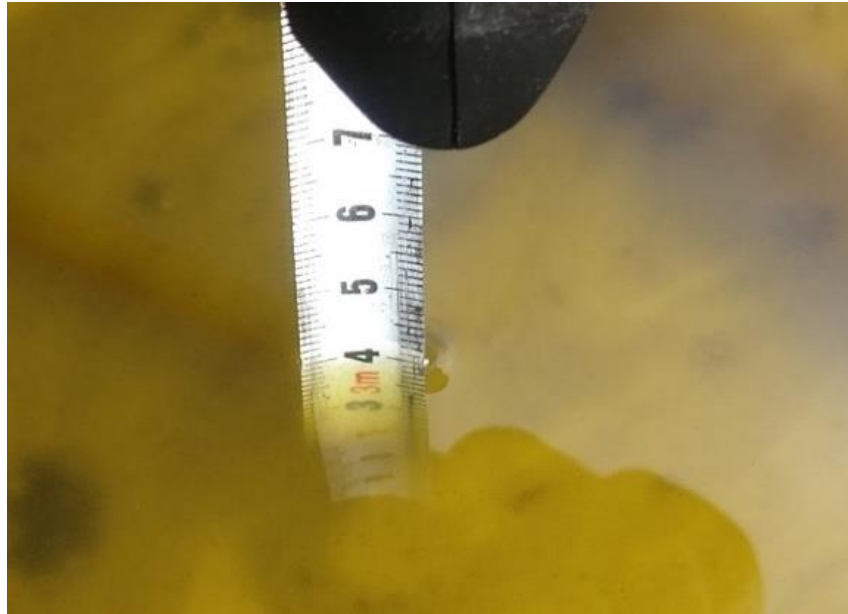
## 2 Versuchsaufbau



**Abbildung 1:** Transformator mit dem Ausdehnungsbehälter an der Oberseite in der Brandwanne. Die Brandwanne ist durch eine Auffangwanne abgesichert. Die Rohrkonstruktion (roter Pfeil) diente zur Simulation des austretenden Transformatoröls. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

Für die Brandversuche waren die Transformatoren mit einer betriebsüblichen Füllung Transformatoröl versehen. Sämtliche Hohlräume blieben für die Versuche geöffnet. Eine mit Gipskarton-Platten beplankte Holzkonstruktion sollte die in der Realität eingeschränkte Zugänglichkeit von elektrischen Betriebsstätten darstellen. Die an eine Fasspumpe mit Reduzierstück und Ventil angeschlossene Rohrkonstruktion simulierte den Austritt von zirka zwei Litern Transformatoröl je Minute auf die Oberseite des Transformators.

Die Brandwanne hatte einen Durchmesser von 2,40 m. In der Brandwanne befanden sich 60 Liter Transformatoröl auf einer Wasservorlage. Das Öl hatte dadurch eine Schichthöhe von zirka 13 mm. Auffangwannen gelten als eine technische Variante zur Bereitstellung des erforderlichen Rückhaltevolumens für Niederschlagswasser und den wassergefährdenden Stoff. Das Transformatoröl ist wassergefährdend.



**Abbildung 2:** Transformatoröl auf einer Wasservorlage. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.



**Abbildung 3:** Rückbrandsituation. Ein Reifen befindet sich hinter dem Trafo. Der Trafo steht in der Brandwanne mit dem Prallblech. Bild: Berliner Feuerwehr. 2017.

Ein zwischen der Rückseite des Transformators und dem Prallblech der Wanne deponierter Reifen sollte eine realistische Rückbrandsituation darstellen. In der Realität sind bei den meisten Flüssigkeitsbränden zusätzlich auch brennbare feste Stoffe in das Brandgeschehen involviert.

Bei den Versuchen 4.1 und 4.2 (Löschtaktik: Kombination Schaum und Pulver) verhinderte zusätzlich ein aufgeschnittenes Blechfass den direkten Kontakt zwischen dem brennenden Reifen und dem flüssigen Löschmittel.



**Abbildung 4:** Ein halbiertes Ölfass diente bei den Versuchen 4.1 und 4.2 als zusätzliche Abschirmung des brennenden Reifens vor dem direkten Kontakt mit dem flüssigen Löschmittel. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

### 3 Brandversuche

Um realistische Bedingungen zu erhalten, war es erforderlich den Transformator zunächst auf Betriebstemperatur zu erwärmen. Die Betriebstemperatur von Transformatoren ist mit maximal 80°C angegeben. Diese Vorgabe konnte mit zwei Flüssiggasbrennern, die eine Maximalleistung von je 100 Kilowatt (kW) hatten, erfüllt werden.

Als Trigger für die Entzündung wählte man eine oberflächennahe Öltemperatur von mindestens 70°C (Mittelwert 78,1°C). Die Zündung erfolgte elektrisch mit Flares (Bengalos) an der Lache unter dem Transformator und gleichzeitig auf seiner Oberseite.

#### Löschfahrzeuge

Für die Löscheversuche standen zwei mit Druckluftschaumanlagen nach DIN EN 16327 800/2400 ausgerüstete Löschfahrzeuge zur Verfügung. Ein Tanklöschfahrzeug (TLF 24/50) der Firma Rosenbauer (B-2213) und ein Hilfeleistungslöschgruppenfahrzeug (HLF 20) der Firma Lentner (IN-FW 1403).



Löschtechnischer Aufbau: 2 x B75-20m – Kugelhahn-Verteiler – 3 x C42-15m und einem Strahlrohr.

Unterschiedliche Strahlrohre:

- Schaumstrahlrohr S1
- Hohlstrahlrohr
- Rundstrahldüse 25 mm

Die Löschfahrzeuge speisten sich gegenseitig, um den Wasservolumenstrom exakt bestimmen zu können. Ein zusätzlich eingebautes Druckreduzierungsventil verhinderte einen zu hohen Eingangsdruck. Das zusätzliche Sicherheitsrohr stellte das speisende Löschfahrzeug. Die Druckzumischanlage (DZA) des Berliner Löschfahrzeugs war auf 0,3 Vol.% eingestellt. Das Schaummittel kam von One Seven. Das Schaummittel des Löschfahrzeugs von der BF Ingolstadt stammte von der Firma Dr. Sthamer. Die DZA-Einstellung lag hier bei 0,5 Vol. %.

### **Temperaturmesssensoren**

Zwei Messfühler befanden sich in der Lache unter dem Transformator. Ein Messfühler war an der rechten Transformatoreseite angebracht und ein Messfühler oben an dem Ausgleichsbehälter. Im Transformatorgehäuse zeichneten insgesamt fünf Messsensoren die Temperaturen auf, wobei der oberste Messfühler die oberflächennahe Temperatur des Ölspiegels aufnahm.

### **Wärmestrahlungssensoren**

Wärmestrahlungssensoren sollten die Wärmestrahlung in zirka 3m Höhe mit 20 und 50 kW aufzeichnen. Die aufgezeichneten Daten waren, aufgrund der zu geringen Abtastrate, nicht brauchbar.

### **Löschmittelvolumenstrom, Pumpeneingangsdruck und Strahlrohrdruck**

Der Volumenstrom des flüssigen Löschmittels wurde kombiniert mit dem Pumpeneingangsdruck und dem Strahlrohrdruck aufgezeichnet. Die Messungen dienten der Qualitätssicherung.

### **Bestimmung der Verschäumungszahl (VZ)**

Die VZ wurde mit einer Messapparatur nach EN 1568 bestimmt. Von den gemessenen VZ (je 3 Messungen) wurde der Mittelwert bestimmt.

### **Refraktometer**

Die Überprüfung der exakten Schaummitteldosierung erfolgte mit einem Refraktometer.

### **Wärmebild**

Eine stationäre Wärmebildkamera (WBK) lieferte Bildmaterial von den Versuchen.

### **Bildauswertung in Normalgeschwindigkeit**

Stationäre Kameras und Helmkameras dokumentierten den Ablauf der Versuche aus unterschiedlichen Richtungen. Zusätzlich ermöglichten die Aufzeichnungen den zeitlichen Ablauf der Brandbekämpfung nachzuvollziehen.



**Abbildung 5:** Versuchsanordnung in Vollbrand. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

## 4 Versuchsberichte

### 4.1 Vorversuch V0

TTS Horstwalde	
29. Mai 2017	Druckluftschäum nass
Zündung:	14:37:38 Uhr
Wind:	Mäßig bis stark aus Nord West

Nach einer Vorwärmzeit von sechs Minuten und einer Öltemperatur von 70°C erfolgte die Zündung. Der simulierte Ölaustritt startete 02:22 Minuten danach. 03:26 Minuten nach der Zündung begann der Löschangriff mit CAF nass und dem Akron Hohlstrahlrohr 1720. Das TLF 24/50 der Berliner Feuerwehr lieferte den Druckluftschäum. Der Löschmittelvolumenstrom lag hier bei  $VLM = 230$  L/min und die VZ bei 6,4. Die Messung mit dem Refraktometer ergab den Wert 0,7 Vol.%.

Nach 16 Sekunden war die Unterfeuerung des Trafos gestoppt und 10 Sekunden später der Flüssigkeitsbrand des Ölaustritts an der Oberseite des Transformators gelöscht. Danach mussten noch heiße Oberflächen gekühlt und insbesondere der Reifen abgelöscht werden. Das Versuchsende ist mit 14:54:30 Uhr angegeben.

Erkenntnisse aus dem Vorversuch: Es traten Probleme beim Zünden auf. Diese wurden durch eine geringe Zugabe von Heptan verbessert. Der Ölaustritt war nicht optimal. Maßnahme: Änderung der Verrohrung durch Verengung des Querschnittes. Der VLM sollte für alle weiteren Versuche auf 130 L/min reduziert werden. In der Realität lag dann VLM bei 130 – 150 L/min.

## 4.2 Versuch V1.1

TTS Horstwalde	
30. Mai 2017	Luftschaum
Zündung:	10:28:42 Uhr
Wind:	Mäßig bis böig aus Süd West

Ein Trupp der Berliner Feuerwehr startete den Löschangriff 3:36 Minuten nach der Zündung. Die Messung der VZ ergab 7,4 bei einer tatsächlichen Schaummittelzumischrate von 0,62 Vol%. Die Brandbekämpfung mit einem S1 Schaumstrahlrohr erfolgte vom TLF 24/50 der Berliner Feuerwehr. Nach einer Löschzeit von 23 Sekunden war das Feuer gelöscht. 26 Sekunden danach musste noch eine kurze Nachkühlung erhitzter Oberflächen durchgeführt werden. Die Windrichtung behinderte die Löscharbeiten nicht. Der Versuch endete um 10:34:15 Uhr.

Anmerkung: Die Schaumqualität war während der Brandbekämpfung unzureichend. Vermutlich war die Luftzufuhr am Schaumstrahlrohr verdeckt. Die Einsatzkräfte standen sehr nahe am Versuchsbrand. Die Wurfweite des Strahlrohres war zu gering (Abbildung 7).



**Abbildung 6:** Beginn des Löschangriffs mit dem S1. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.



**Abbildung 7:** Der Abstand der Einsatzkräfte ist zu gering. Rechts am Bildrand ist das Strahlrohr zu sehen. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.



**Abbildung 8:** 23 Sekunden nach dem Beginn des Löschangriffs ist der Transformatorbrand gelöscht. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

### 4.3 Versuch V1.2

TTS Horstwalde	
01. Juni 2017	Luftschaum
Zündung:	09:45:42 Uhr
Wind:	Schwach aus West bis Südwest

Die VZ war hier mit 8,8 geringfügig höher. Die Zumischrate wurde mit 0,7 Vol.% festgestellt. Der Löschangriff startete wieder mit einem S1 vom Löschfahrzeug der Berliner Feuerwehr, nach einer Vorbrennzeit von 4:36 Minuten.

Der Brand konnte von dem Trupp der BF Ingolstadt erst nach 72 Sekunden gelöscht werden. Nach einem Positionswechsel musste der Angriffstrupp zum Teil gegen den Wind arbeiten. Die Rauch- und Dampfwolken schränkten die Sicht auf das Brandobjekt ein. Die Brandbekämpfung wurde dadurch nur geringfügig behindert. Der Angriffstrupp führte 220 Sekunden nach dem Ende des Löschangriffs eine abschließende Nachkühlung des Transformators durch. Das Versuchsende war um 09:54:50 Uhr.



**Abbildung 9:** Der Löschangriff gegen den Wind verlängerte geringfügig die Brandbekämpfung.  
Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.



**Abbildung 10:** Der Reifen führt zur Rückzündung. Lösch- und Kühlmaßnahmen sind erneut erforderlich. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

#### 4.4 Versuch V2.1

TTS Horstwalde	
30. Mai 2017	Druckluftschaum nass
Zündung:	12:15:20 Uhr
Wind:	Mäßig bis böig aus Südwest

Das HLF der BF Ingolstadt lieferte bei diesem Versuch Druckluftschaum nass. Die Durchführung des Löschangriffs übernahmen Einsatzkräfte der BF Ingolstadt mit einem Hohlstrahlrohr Akron 1720. Die Messung der VZ brachte einen Wert von 3,9. Die Zumischrate des Schaummittels lag bei 0,97 Vol.%. Nach 3 Minuten 33 Sekunden startete der Löschangriff. 24 Sekunden später erloschen die Flammen in der Auffangwanne. Auch der Fließbrand ließ sich schnell löschen. Probleme gab es mit dem brennenden Reifen, der sich hinter dem Transformator befand. Der Angriffstrupp benötigte deshalb insgesamt 1 Minute und 19 Sekunden, um auch die Nachlöscharbeiten beenden zu können. Durch den Wind kam es zu keiner Behinderung der Brandbekämpfung. Das Versuchsende war um 12:21:20 Uhr.



**Abbildung 11:** Der Löschangriff beginnt. Bei diesem Versuch ist der Sicherheitsabstand deutlich größer. Der Druckluftschaum nass verfügt, im Vergleich zu dem Luftschaumrohr, über eine größere Wurfweite. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.



**Abbildung 12:** Der haftende Schaum zeigt, dass die Trafo-Oberfläche an dieser Stelle bereits erfolgreich gekühlt werden konnte. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

## 4.5 Versuch V2.2

TTS Horstwalde	
01. Juni 2017	Druckluftschäum nass
Zündung:	10:45:37 Uhr
Wind:	Leicht bis mäßig aus Südwest bis Nordwest

Da die Pyrotechnik ausfiel, musste ein Flüssigkeitsbrenner eingesetzt werden. Der löschtechnische Aufbau war mit dem Versuch V2.1 annähernd identisch. Statt dem HLF lieferte das TLF 24/50 der Berliner Feuerwehr den Druckluftschäum nass. Die VZ wurde mit 5,3 gemessen. Bezüglich der Refraktometermessung lag hier kein Wert vor. Nach einer Vorbrennzeit von 3 Minuten und 27 Sekunden begann der Löschangriff. Den Transformatorbrand konnte der Angriffstrupp der Berliner Feuerwehr in 21 Sekunden löschen. Auch hier kam es durch den Gegenwind zu geringfügigen Einschränkungen der Sichtverhältnisse. Erhebliche Schwierigkeiten bereitete der durch den Ölaustritt verursachte Fließbrand auf der Oberseite des Transformators. Auch der brennende Reifen verhinderte einen schnellen Löscherfolg. Erst nach weiteren 1 Minuten und 43 Sekunden konnte der Trupp die Nachlöscharbeiten abschließen. Um 10:53:40 Uhr endete der Versuch.



**Abbildung 13:** Das wäre der mögliche Abstand gewesen. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.





**Abbildung 14:** Der mögliche Abstand wird nicht genutzt. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

#### 4.6 Versuch V3.1

TTS Horstwalde	
30. Mai 2017	Druckluftschaum trocken
Zündung:	14:04:20 Uhr
Wind:	Mäßig bis leicht aus Nordwest

Das HLF 20 lieferte Druckluftschaum trocken, der über eine Rundstrahldüse ausgebracht wurde. Die Messung der VZ ergab den Wert 10,7. Die tatsächliche Zumischrate lag bei 1,5 Vol.%. Das Feuer konnte 4 Minuten 10 Sekunden vobrennen. Das Ablöschen des Transformatorbrands durch den Trupp der BF Ingolstadt dauerte 34 Sekunden. Nach weiteren 4 Minuten und 8 Sekunden endeten auch die Kühlmaßnahmen. Der Wind behinderte nur geringfügig die Sicht der Einsatzkräfte. Das Versuchende war um 14:13:23 Uhr.



**Abbildung 15:** Druckluftschaum trocken hat eine geringere Wurfweite als Druckluftschaum nass.  
Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

Anmerkung: Mehr Bewegung führt schneller zum Erfolg. CAF trocken verkürzt die Wurfweite erheblich und stellt somit eine Gefahr für die Einsatzkräfte dar.

#### 4.7 Versuch V3.2

TTS Horstwalde	
31. Mai 2017	Druckluftschaum trocken
Zündung	10:14:17 Uhr
Wind	Mäßig aus wechselnden Richtungen (Südwest → Nordwest)

Der löschtechnische Aufbau, die Konsistenz des Druckluftschaums, das Druckluftschaum fördernde Fahrzeug und das Personal blieben unverändert. Die VZ lag bei 11,8 und die Zuzugsrate bei 0,53 Vol.%.

Die Brandbekämpfung startete nach einer Vorbrennzeit von 4 Minuten und 1 Sekunde. Der Löschmittelstrahl war nach 16 Sekunden Applikation für 18 Sekunden unterbrochen. Die Ursache dafür konnte nicht ermittelt werden. Nach dem Aussetzer setzte der Rohrführer die Löscharbeiten fort. Dem Angriffstrupp gelang es, den Transformatorenbrand nach 118 Sekunden zu löschen. Die Windrichtung hatte nur eine geringe Sichtbehinderung zur Folge. Die Lösch- und Kühlmaßnahmen dauerten insgesamt 2 Minuten und 20 Sekunden. Um 10:24:00 Uhr endete der Versuch.

## 4.8 Versuch V4.1

TTS Horstwalde	
31. Mai 2017	Druckluftschäum nass + Pulver
Zündung:	12:36:59 Uhr
Wind:	Mäßig aus West

Eine Änderung des Versuchsaufbaus sollte den Schwierigkeitsgrad beim Ablöschen des Reifens erhöhen. Die Brandlast wurde auf 1,5 Reifen erhöht und mit einem halben Metallfass gegen Löschmitteltreffer geschützt (Abbildung 4). Das TLF 24/50 lieferte Druckluftschäum nass mit dem Hohlstrahlrohr Akron 1720. Die VZ wurde mit 4,7 bestimmt und die Dosierung des Schaummittels lag bei 0,71 Vol.%. Der Löschangriff mit einem „gemischten“ Trupp begann nach einer Vorbrennzeit von 3 Minuten und 24 Sekunden. Nachdem der Flüssigkeitsbrand gelöscht war, startete der Löschangriff mit Pulver. Über 75 Sekunden setzte der Trupp ausschließlich Pulver für den Hohlraum ein, um abschließend noch Druckluftschäum zu applizieren. Die gesamte Löszeit betrug hier 132 Sekunden. Um eine Rückzündung ausschließen zu können, waren 6 Minuten nach der ersten Applikation noch Kühlmaßnahmen im Bereich des Hohlraumes erforderlich. Auch hier kam es nur zu einer leichten Sichtbehinderung durch den Wind. Das Versuchsende ist mit 12:59:00 Uhr angegeben.



**Abbildung 16:** CAF nass verfügt über eine deutlich größere Wurfweite als CAF trocken (vgl. Abb. 14).  
Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

#### 4.9 Versuch V4.2

TTS Horstwalde	
31. Mai 2017	Druckluftschäum nass + Pulver
Zündung:	14:18:48 Uhr
Wind:	Mäßig wechselnd aus West / Nordwest

Der Versuchsaufbau, das Strahlrohr, das Fahrzeug und das Personal blieben, analog V4.1, unverändert. Die Messung der VZ ergab einen Wert von 8,5. Die Dosierung des Schaummittels lag bei 1,14 Vol.%. 2:47 Minuten brannte das Feuer, dann löschte der „gemischte“ Angriffstrupp den Flüssigkeitsbrand in der Auffangwanne unter dem Transformator. Der Einsatz des Löschpulvers dauerte 53 Sekunden. Nach insgesamt 98 Sekunden war das Feuer gelöscht. Ein Nachbeschäumen nach 265 sec sollte eventuelle Rückzündungen verhindern. Die Windverhältnisse erschwerten die Brandbekämpfung, vor allem bei der Pulverbrandbekämpfung. Der Versuch endete um 14:26:48 Uhr.



**Abbildung 17:** Pulverwolke für den abgeschirmten brennenden Kfz-Reifen. Nach den Kühl- und Löschmaßnahmen kommt der PG12 zum Einsatz. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

#### 4.10 Versuch V5.1

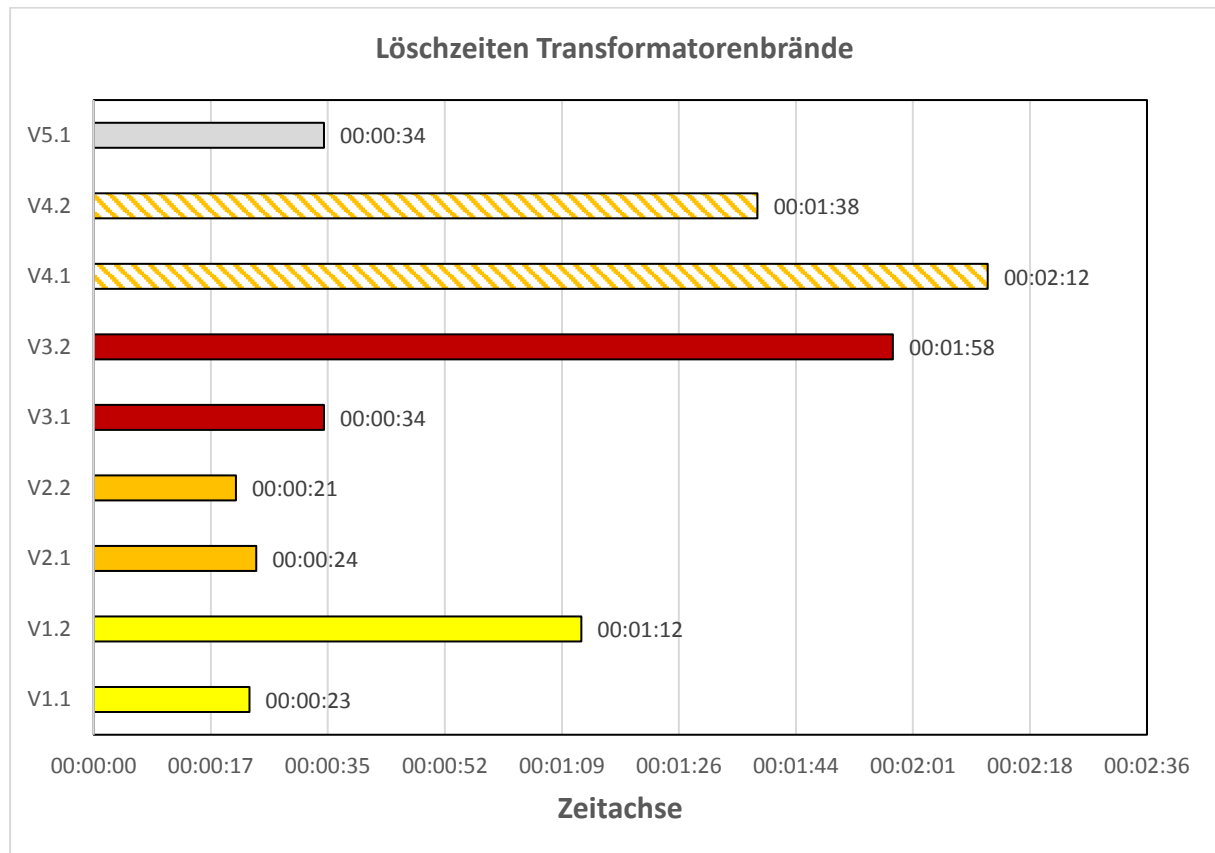
TTS Horstwalde	
01. Juni 2017	Netzmittel
Zündung:	14:49:00 Uhr
Wind:	Leicht bis mäßig aus Nordwest

Ergänzend wurde ein Löschversuch mit Netzwasser durchgeführt. Das HLF der Berufsfeuerwehr Ingolstadt lieferte das Netzwasser. Für die Brandbekämpfung verwendete der Angriffstrupp der BF Ingolstadt das Hohlstrahlrohr Akron 1720. Das Wasser-/Schaummittelgemisch erzeugte eine VZ von 3,8. Die Verschäumung des Netzwassers dürfte durch die Verwirbelung mit der Umgebungsluft beim Verlassen des Strahlrohres und während des Transports durch die Luft zustande gekommen sein. Die Messung der tatsächlichen Zumischrate lag bei 1,47 Vol.%. Der Löschangriff startete 4:35 Minuten nach der Zündung. Der Transformatorbrand war in 34 Sekunden gelöscht. Der hinter dem Transformator deponierte Reifen führte zu einer Rückzündung. Die anschließenden Lösch- und Kühlmaßnahmen dauerten 77 Sekunden. Der Wind hatte keinen wesentlichen Einfluss auf die Dauer der Brandbekämpfung. Der Versuch endete um 11:58:25 Uhr.



**Abbildung 18:** Das Netzmittel verfügt im Gegensatz zu Druckluftschäum über keine Haftwirkung an der Außenseite des Transformators. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.

## 5 Fazit

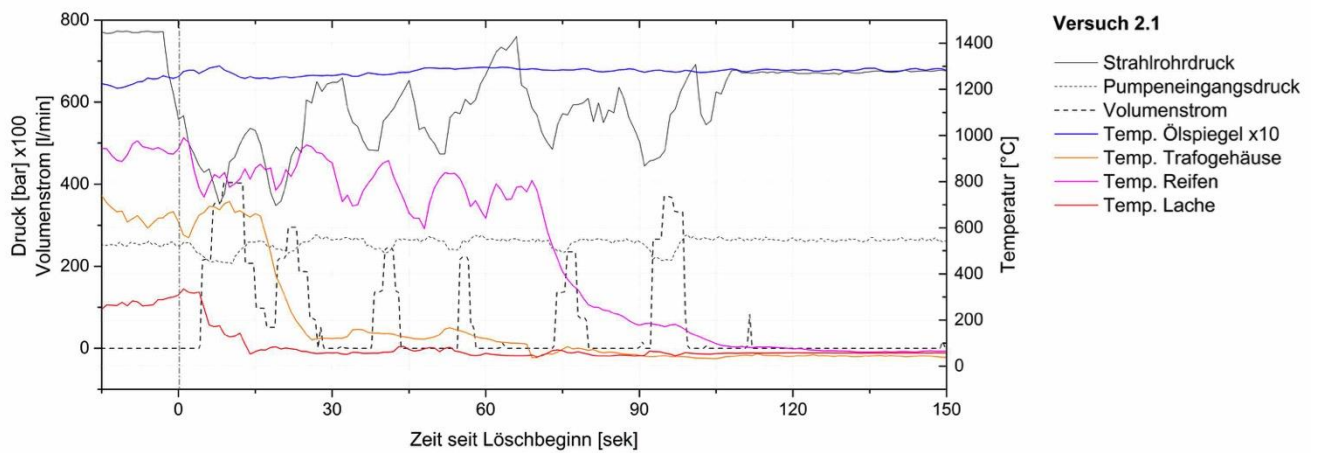
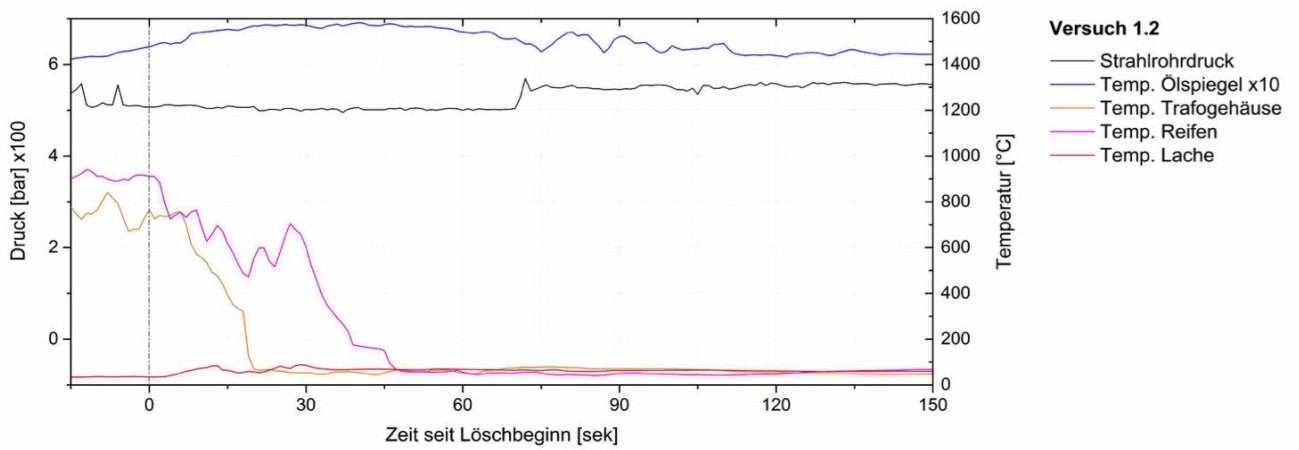
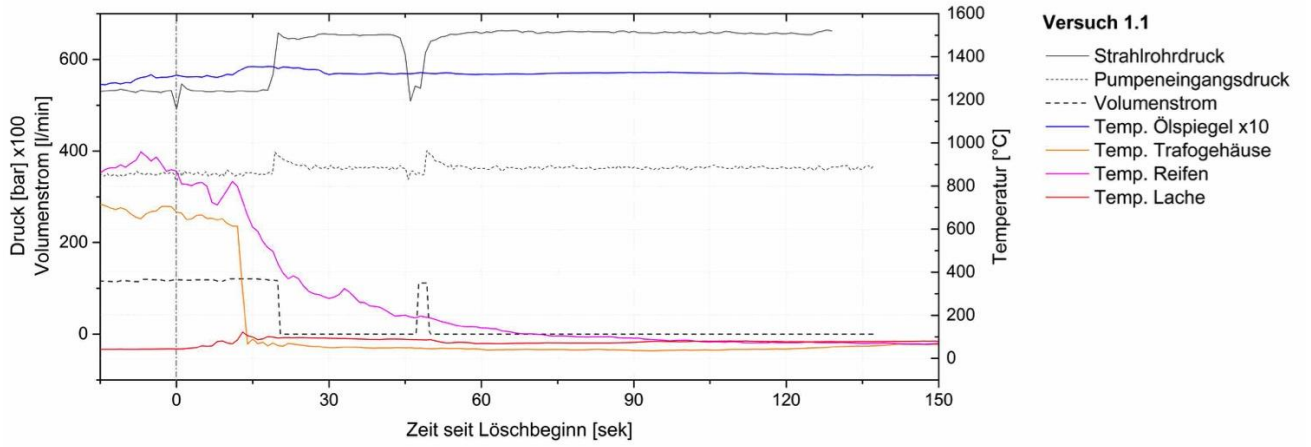


**Abbildung 19:** Die Löschzeiten der Brandversuche im Vergleich.

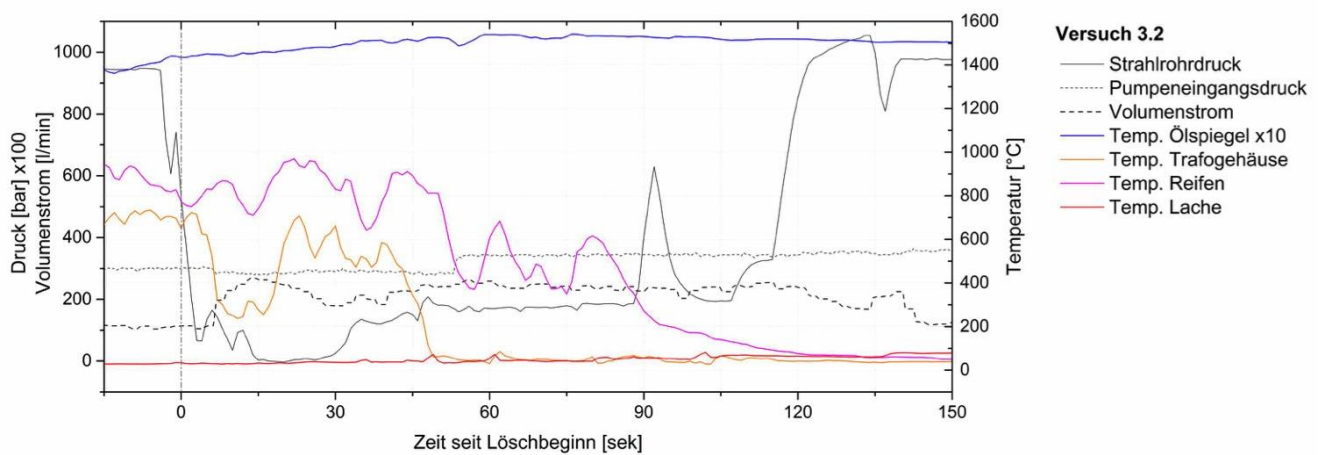
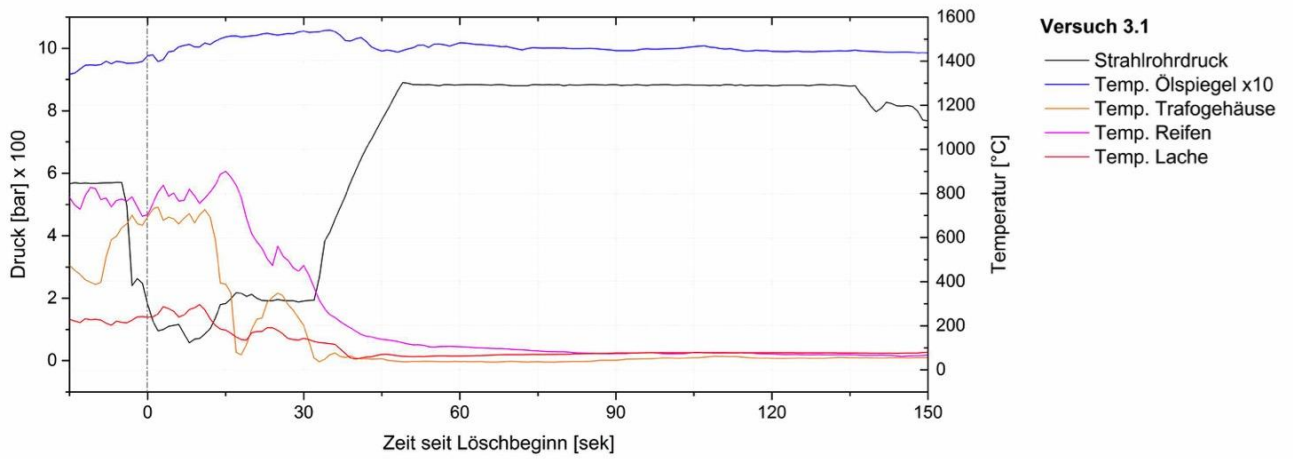
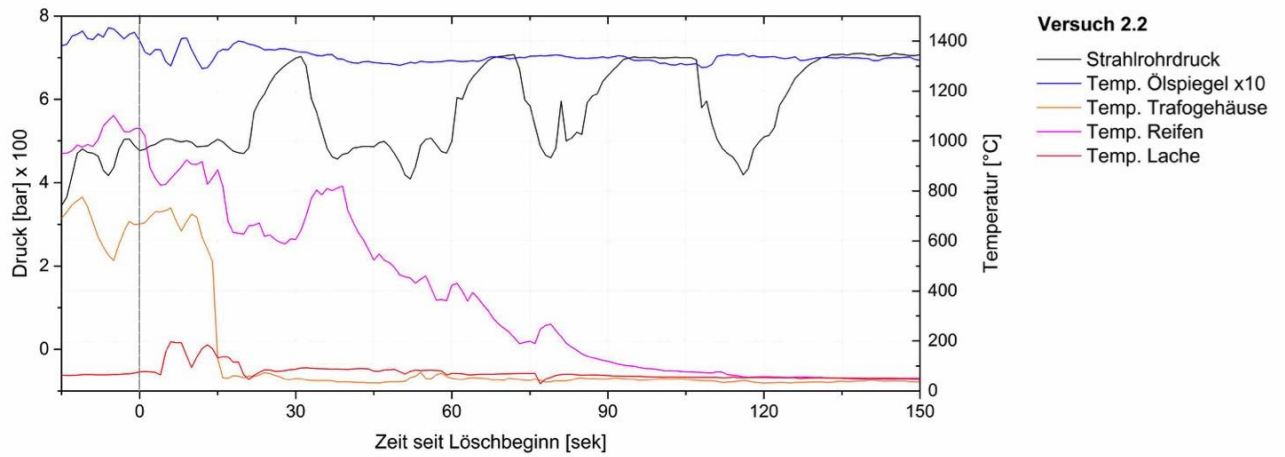
- Eine Betrachtung des Zeitbedarfs, der für das Löschen des Transformatorbrandes benötigt wurde, zeigt kein eindeutiges Ergebnis.
- In Abhängigkeit des Schwierigkeitsgrades (Reifen mit und ohne Abschirmung) kam es nach dem ersten Ablöschen zu partiellen Rückzündungen. Die Rückzündungen traten bereits nach 10 bis 20 sec auf.
- Bei den vorausgegangenen Flüssigkeitsbrandversuchen (UAP 2.3), die im Rahmen des AERIUS-Projektes durchgeführt wurden, diente die gleiche Brandwanne als Versuchsobjekt. Die Applikationsrate lag hier bei maximal 2,7 Liter/min\*m<sup>2</sup>. Die Wanne weist eine Fläche von 4,5 m<sup>2</sup> auf. Der erforderliche Volumenstrom für ein erfolgreiches Löschen eines Flüssigkeitsbrandes würde somit 12 Liter/min betragen. Mit einem Volumenstrom von zirka VLM =130 L/min beträgt die Applikationsrate 28,8 Liter/min\*m<sup>2</sup>. Bei dieser Größenordnung ist, bezüglich der einzelnen Löschverfahren, kein signifikanter Unterschied zu erwarten. Eine geringere Applikationsrate wäre aus Sicherheitsgründen nicht vertretbar gewesen.
- Brennendes Transformatoröl ließ sich mit den Class-A Schaumlöschmitteln löschen. Bei diesen Schaumlöschmitteln handelt es sich um fluorfreie, hochkonzentrierte synthetische Mehrbereichsschaummittel.
- Die relativ großen Wurfweiten des Druckluftschäumstrahls sind nass zu nutzen. Der Abstand zur Wärmequelle schützt die Einsatzkräfte vor der hohen Wärmebelastung eines Flüssigkeitsbrandes.

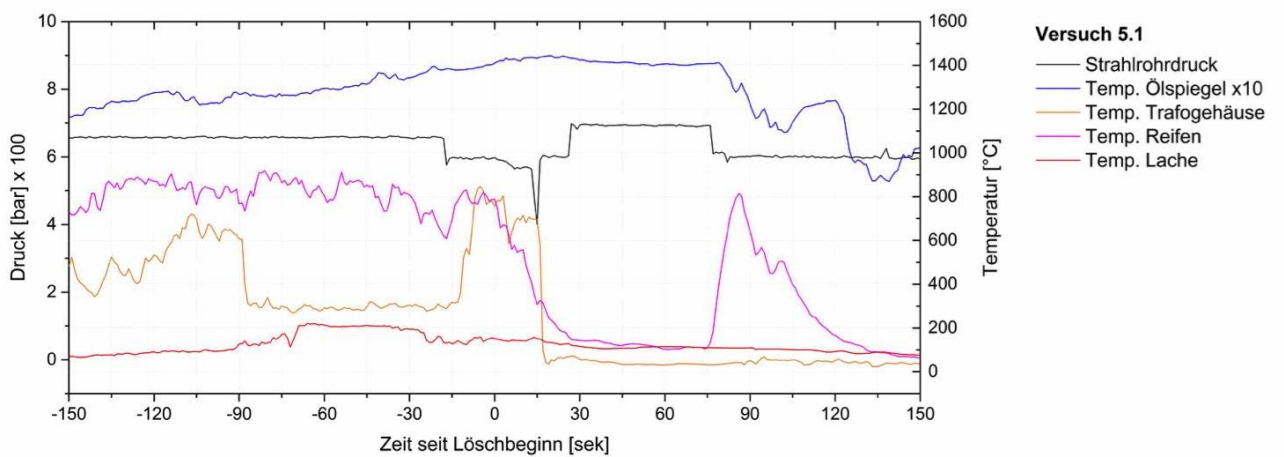
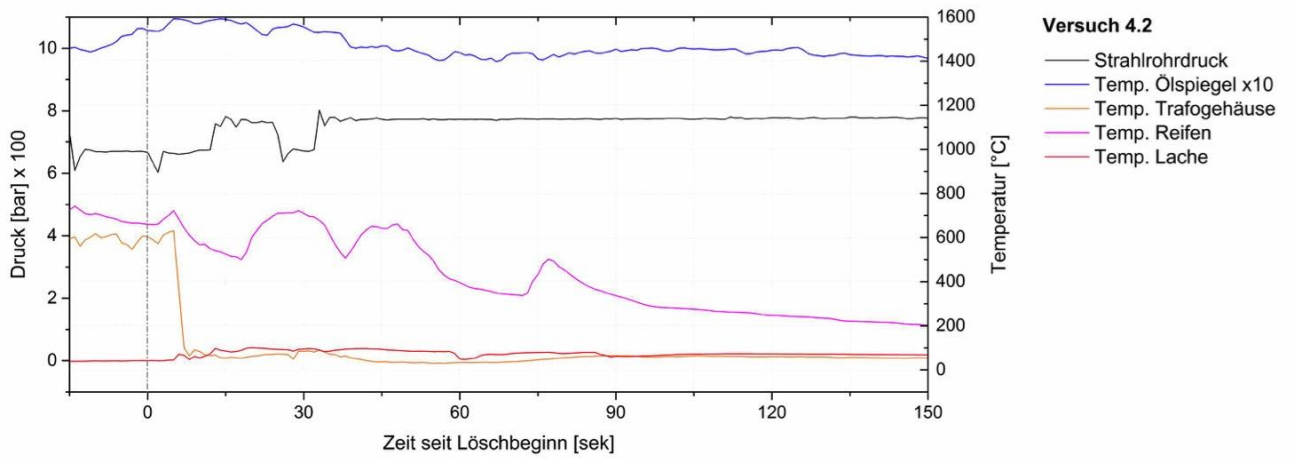
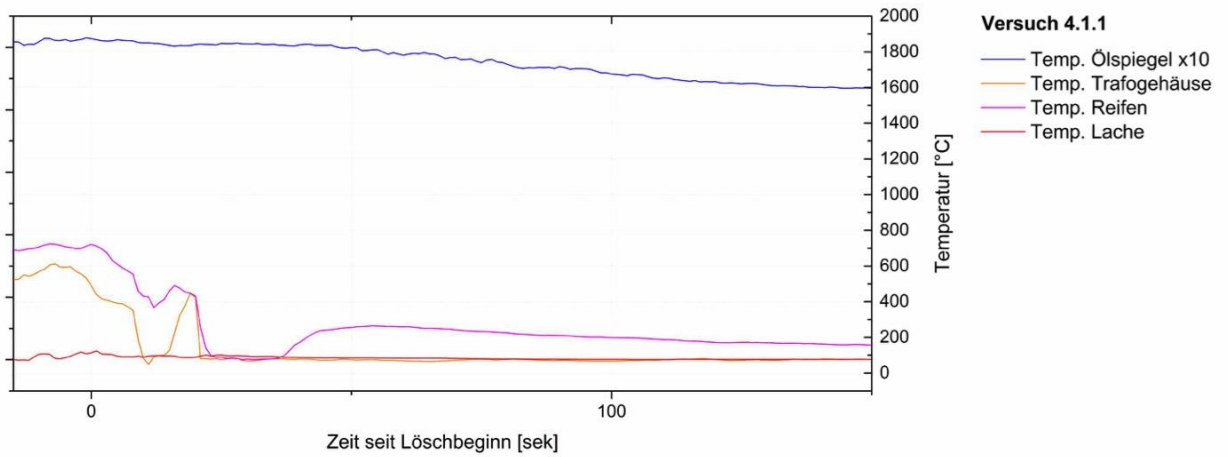
- Eine bewegliche Strahlrohrführung ist effizient und damit Ressourcen schonend. Das gilt auch für die Brandbekämpfung von brennbaren flüssigen Stoffen. Dazu ist die Position des Strahlrohrführers bei Bedarf zu wechseln, vor allem dann, wenn vom bisherigen Standort kein Löscherfolg zu erzielen ist. Die Unterstützung von beteiligten Einsatzkräften durch Einweisung des Strahlrohrführers optimiert und verkürzt die Brandbekämpfung.
- Der haftende Druckluftschaum zeigt den eingetretenen Kühlerfolg an der Metalloberfläche des Transformators. An dieser Stelle sind dann zunächst keine weiteren Kühlmaßnahmen erforderlich.
- Brände in Hohlräumen stellen für die Einsatzkräfte eine besondere Herausforderung dar. Bei der Brandbekämpfung von verdeckten Feuern eignet sich, nach einer ausreichenden Kühlung erhitzter Teile, der Einsatz von Löschpulver.
- Druckluftschaum trocken eignet sich nicht für die Brandbekämpfung. Der geringe Flüssigkeitsanteil im Schaumvolumen reduziert das Wärmeabsorptionsvermögen und verringert die Wurfweite des Löschmittelstrahles.

## 6 Anhang









## Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1	Konfigurationen Löschmittel und Strahlrohre. Die VZ wurde vor den Versuchen ermittelt. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	2
Abbildung 1	Transformator mit dem Ausdehnungsbehälter an der Oberseite in der Brandwanne. Die Brandwanne ist durch eine Auffangwanne abgesichert. Die Rohrkonstruktion (roter Pfeil) diente zur Simulation des austretenden Transformatorenöls. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	3
Abbildung 2	Transformatorenöl auf einer Wasservorlage. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	4
Abbildung 3	Rückbrandsituation. Ein Reifen befindet sich hinter dem Trafo. Der Trafo steht in der Brandwanne mit dem Prallblech. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	4
Abbildung 4	Ein halbiertes Ölfass diente bei den Versuchen 4.1 und 4.2 als zusätzliche Abschirmung des brennenden Reifens vor dem direkten Kontakt mit dem flüssigen Löschmittel. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	5
Abbildung 5	Versuchsanordnung in Vollbrand. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	7
Abbildung 6	Beginn des Löschangriffs mit dem S1. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	8
Abbildung 7	Der Abstand der Einsatzkräfte ist zu gering. Rechts am Bildrand ist das Strahlrohr zu sehen. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	9
Abbildung 8	23 Sekunden nach dem Beginn des Löschangriffs ist der Transformatorenbrand gelöscht. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	9
Abbildung 9	Der Löschangriff gegen den Wind verlängerte geringfügig die Brandbekämpfung. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	10
Abbildung 10	Der Reifen führt zur Rückzündung. Lösch- und Kühlmaßnahmen sind erneut erforderlich. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	11
Abbildung 11	Der Löschangriff beginnt. Bei diesem Versuch ist der Sicherheitsabstand deutlich größer. Der Druckluftschaum nass verfügt, im Vergleich zu dem Luftschaumrohr, über eine größere Wurfweite. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	12
Abbildung 12	Der haftende Schaum zeigt, dass die Trafo-Oberfläche an dieser Stelle bereits erfolgreich gekühlt werden konnte. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	12
Abbildung 13	Das wäre der mögliche Abstand gewesen. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	13
Abbildung 14	Der mögliche Abstand wird nicht genutzt. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	14
Abbildung 15	Druckluftschaum trocken hat eine geringere Wurfweite als Druckluftschaum nass. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017.	15

- Abbildung 16 CAF nass verfügt über eine deutlich größere Wurfweite als CAF trocken (vgl. Abb. 15). Bild: Berliner Feuerwehr, 2017. 16
- Abbildung 17 Pulverwolke für den abgeschirmten brennenden Kfz-Reifen. Nach den Kühl- und Löschmaßnahmen kommt der PG12 zum Einsatz. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017. 17
- Abbildung 18 Das Netzmittel verfügt im Gegensatz zu Druckluftschaum über keine Haftwirkung an der Außen-seite des Transformators. Bild: Berliner Feuerwehr, 2017. 18
- Abbildung 19 Die Löschzeiten der Brandversuche im Vergleich. 19