

# BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE



Evaluierung neuer Löschverfahren bei  
Metallbränden

# 189

Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder,  
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten,  
Katastrophenschutz und zivile Verteidigung



## BERICHTS-KENNBLETT

Nummer des Berichtes: 189		Titel des Berichtes: Evaluierung neuer Löschverfahren bei Metallbränden		ISSN: 0170-0060	
Autoren: Dipl.-Phys. Karola Keutel,		durchführende Institution: Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge Abteilung Forschung - Institut der Feuerwehr - Biederitzer Straße 5 D-39175 Biederitz / OT Heyrothsberge Abteilungsleiter: Dr. rer. nat. Jan Voigt			
Nummer des Auftrages: 89 (3/2015)		auftraggebende Institution: Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien der Bundesländer, Arbeitskreis V – Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung			
Datum des Berichtes: November 2017					
Seitenzahl: 53	Bilder: *) 26	Tabellen: 5	Literaturverweise: 43		
<p><b>Kurzfassung:</b></p> <p>Der Einzug von Leichtmetallen in viele Lebensbereiche führt auch dazu, dass sich unterschiedlichste Industriezweige mit der Bearbeitung bis hin zur Entsorgung beschäftigen. Dabei kommt es immer wieder zu Metallbränden beispielsweise durch den Abrieb bei der Bearbeitung. Ebenso ist eine Zunahme an Bengalischen Feuerwerkskörpern, gefüllt mit Magnesium, in Stadien zu verzeichnen. Die Löschung von Metallbränden stellt hohe Anforderungen an das Löschmittel und damit an die Einsatzkräfte.</p> <p>Aus dem Bereich der Einsatzkräfte und Pyrotechnikhersteller erfolgte der Hinweis, dass Wassernebellöschsysteme ein effektives Löschverfahren seien, um Metallbrände zu bekämpfen. Metallbrände jedoch mit wasserhaltigen Löschmitteln zu bekämpfen, birgt in sich die Gefahr neben einer Brandforcierung auch eine Knallgasexplosion hervorzurufen. In Vorversuchen bei Einsatzkräften der Polizei wurde anhand der Löschung von Bengalischen Fackeln deutlich demonstriert, dass eine Brandbekämpfung mit Wassernebellöschsystemen scheinbar möglich ist. Deshalb gilt es diesen Hinweis zu überprüfen, um ggf. vermeidbaren Schaden abzuwenden.</p> <p>In diesem Bericht werden zwei Wassernebellöschsysteme und ihre Weiterentwicklungen anhand von Metallbränden hinsichtlich ihrer Wirksamkeit getestet. Als Metalle wurden hierfür Späne von Magnesium und Aluminium verwendet. Ebenso werden diese Wassernebellöschsysteme an zwei unterschiedlichen magnesiumhaltigen Bengalischen Feuerwerkskörpern getestet. Die hier dargestellten Ergebnisse sollen aufzeigen, ob die Wassernebellöschsysteme eine fundierte Alternative zu den bisherigen und altbewährten Metallbrandlöschmitteln darstellen.</p>					
<p><b>Schlagwörter:</b></p> <p>Metallbrand, Wassernebel, tragbare Feuerlöscher, Bengalisches Feuer, Magnesium, Aluminium, Späne, Pulver, Phasen-Doppler-Anemometer, Sprühstrahl</p>					

\*) Farbseiteninformationen des Forschungsberichtes auf CD-ROM können bei Kostenerstattung von 5 € beim IBK Heyrothsberge, Abteilung Forschung - IdF -, Biederitzer Str. 5, 39175 Biederitz / OT Heyrothsberge, abgefordert werden.

Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder,  
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten,  
Katastrophenschutz und zivile Verteidigung

Forschungsbericht Nr. 189

## **Evaluierung neuer Löschverfahren bei Metallbränden**

von

Dipl.-Phys. Karola Keutel

Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge  
Abteilung Forschung - Institut der Feuerwehr -

Heyrothsberge

November 2017

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>1</b>
Symbole	2
Tabellenverzeichnis	4
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>5</b>
<b>2 GRUNDLAGEN</b>	<b>7</b>
2.1 Metallbrände	7
2.2 Löschmittel für Metall- und Metalllegierungsbrände	9
2.3 Voruntersuchungen	12
<b>3 BRENNSTOFFE UND LÖSCHMITTEL</b>	<b>14</b>
3.1 Metallische Brennstoffe	14
3.2 Auswahl der wasserhaltigen Feuerlöscher	15
<b>4 EXPERIMENTELLER AUFBAU</b>	<b>18</b>
4.1 Versuchsaufbau für die Löschversuche	18
4.2 Versuchsdurchführung	21
4.3 Versuchsaufbau zur Bestimmung von Tröpfchengröße und –geschwindigkeit	22
<b>5 ERGEBNISSE DER LÖSCHVERSUCHE MITTELS WASSERNEBELFEUER- LÖSCHER</b>	<b>25</b>
5.1 Untersuchungen zur Metallbrandbekämpfung	25
5.2 Bestimmung der Grenzbrandfläche bei Metallbränden	29
5.3 Löschversuche von Bengalischen Feuerwerkskörpern	32
5.4 Verteilungen von Tröpfchendurchmesser und –geschwindigkeit	34
<b>6 FAZIT DER EVALUIERUNG NEUER LÖSCHVERFAHREN</b>	<b>39</b>
<b>7 AUSBLICK</b>	<b>41</b>
<b>LITERATUR</b>	<b>42</b>
<b>ANHANG</b>	<b>I</b>
A1: Eigenschaften Alkalimetalle und Erdalkalimetalle sowie Aluminium	i
A2: Datenblatt1 [35]	ii
A3: Datenblatt 2 [36]	iii
A4: Datenblatt 3 [37]	iv
A5: Tröpfchendurchmesser für die getesteten Feuerlöscher	v

## Abkürzungen

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
PDA	Phasen-Doppler-Anemometer
EU	Europäische Union
IR	infrarot
VIS	visuell

## Symbole

<b>Symbol</b>	<b>Bedeutung</b>
p	Druck
t, t <sub>Vorbrennen</sub>	Vorbrennzeit
t <sub>Lösch</sub>	Löschzeit
T	Temperatur
x	Achsbezeichnung
y	Achsbezeichnung
z	Achsbezeichnung

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bengalische Feuerwerkskörper im Fußballstadion [6]	5
Abbildung 2: Periodensystem der Elemente [17] unter Angabe der wichtigen Elemente (rot markiert)	9
Abbildung 3: Voruntersuchungen mit Bengalischen Feuerwerkskörpern und Poolfeuer	13
Abbildung 4: Magnesiumfackel	14
Abbildung 5: Seenot-Handfackel	14
Abbildung 6: Gegenüberstellung der beiden Ausbringeinheiten von Telesto Sp.zo.o	17
Abbildung 7: Brandwanne mit Brennstoff	18
Abbildung 8: Zündung des Brennstoffs	18
Abbildung 9: Aufbau für die Bestimmung der Grenzbrandfläche	20
Abbildung 10: Aufbau für den Abbrand von Bengalischen Feuerwerkskörpern	21
Abbildung 11: Einbau eines Feuerlöschers in die Einspannvorrichtung der PDA	23
Abbildung 12: Sprühlstrahlbilder der Wassernebel-Feuerlöscher	24
Abbildung 13: Momentaufnahmen eines Löschversuchs gemäß DIN EN 3 [26] von 3 Kameras	25
Abbildung 14: Exemplarischer Verlauf eines Löschversuchs von Magnesiumspänen (3 kg) mit Wassernebellöcher Telesto – EcoPack EP-WM13S (Spritzzeit: 72 s)	26
Abbildung 15: Exemplarischer Verlauf eines Löschversuchs von Aluminiumspänen (3 kg) mit Wassernebellöcher Telesto – EcoPack EP-WM13S (Spritzzeit: 90 s)	28
Abbildung 16: Löschangriff mit dem Wassernebel-Feuerlöscher FLN W 6 WNA am Zylinder 6	31
Abbildung 17: Magnesiumfackel im Wasserbad	32
Abbildung 18: Seenot-Fackel im Wasserbad	32
Abbildung 19: Löschversuch einer Magnesiumfackel mit Wassernebellöcher FLN W 6 WNA	33
Abbildung 20: Sprühbild mit Wassernebellöcher FLN W 6 WNA	35
Abbildung 21: Sprühbild mit Wassernebellöcher EP-WM13S	35
Abbildung 22: Sprühbild mit Wasserlöscher Ü 6 M-2/Ü 9 M-2	35
Abbildung 23: Gemessener korrigierter Sauterdurchmesser in Abhängigkeit von der Wurfweite	36

Abbildung 24: Gemessene korrigierte Verteilung der Tröpfchendurchmesser für FLN W6 WNA (Wurfweite: 1,5 m)	37
Abbildung 25: Gemessene korrigierte Verteilung der Tröpfchendurchmesser für EP-WM 13S (Wurfweite: 1,5 m)	37
Abbildung 26: Mittlere korrigierte Tröpfchengeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Wurfweite	38

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Allgemeine Reaktionsgleichungen für Alkali- und Erdalkalimetalle	8
Tabelle 2: Normen und Richtlinien zur Beurteilung von Löschmitteln für Metallbrände*	11
Tabelle 3: Eigenschaften der angewendeten Feuerlöscher laut Hersteller [35-37]	16
Tabelle 4: Zusammenstellung der Innendurchmesser und zugehörigen Brandflächen	19
Tabelle 5: Testergebnisse zur Bestimmung Grenzbrandfläche	30

# 1 Einleitung

Aus dem täglichen Leben sind Metalle und ihre Legierungen nicht wegzudenken. Ihre Einsatzfähigkeit aufgrund ihrer Eigenschaften ist vielfältig und damit bedingt, ist ebenso die Intention, sie so effektiv wie möglich einzusetzen. Dieses Bestreben verschiedener Industriezweige nach leichteren und kleineren Maschinenkonstruktionen jeglicher Art führt dazu, dass zunehmend relevante Metalle und Metalllegierungen hier ihren Einsatz finden, beispielsweise verdrängen Al-Mg-Legierungen in den letzten Jahrzehnten bei der Autoindustrie zunehmend Stähle aus der Produktion.

Grundsätzlich gelten Metallbrände als selten; jedoch revidiert sich dieser Tatbestand zunehmend. Hinlänglich bekannt sind Bilder aus den Medien von Fußballstadien (s. Abb. 1), in denen mit Bengalischen Feuern, welche auf der Verbrennung eines Metalls basierend eine farbige Lichtfontäne abgeben, hantiert wird und diese auf dem Spielrasen landen. Ebenso treten aufgrund der oben angedeuteten neuen Einsatzbreite sowohl in der verarbeitenden als auch in der entsorgenden Industrie vermehrt Brandereignisse durch eben solche brennenden Metalle auf [1-5]. Explizit soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Brandentstehung solcher Brandereignisse von metallischem Brennstoff in der Größenordnung von Spänen und Pulvern ausgeht und es sich nicht um Bulkmaterial handelt.



Abbildung 1: Bengalische Feuerwerkskörper im Fußballstadion [6]

Aus Feuerwehrsicht gelten brennende Metalle und auch ihre Legierungen als eigene Brandklasse gemäß der DIN EN 2 [7]. Charakteristisch für Metallbrände sind die signifikant hohen Temperaturen (Temperaturen für die meisten Metallbrände: ca. 1000 °C, für Leichtmetallbrände: ca. 2000-3000 °C, für unedle Schwermetalle wie Zirkonium > 3000 °C [8]).

Einem Metallbrand mit den bekannten Löschmitteln wie Wasser, Kohlendioxid oder Schaum zu entgegnen, gestaltet sich schwierig, welches sich eben auch durch die Einstufung in eine separate Brandklasse verdeutlicht wird. Durch die hohen Temperaturen erfolgt bei Aufbringen von kompakten Wassermengen oder Schaumteppichen eine 10 % Aufspaltung der verwendeten Wassermoleküle in die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff, gefolgt von der Knallgas-Reaktion. Eine Inertisierung der Verbrennungsreaktion mit Löschgasen wie Kohlendioxid oder Stickstoff scheitern ebenso. Bei den hohen Temperaturen wird Sauerstoff aus Kohlendioxid abgespalten und fördert die weitere Verbrennung, anstatt sie zu unterbrechen. Der Stickstoff hingegen wird aufgrund der hohen Temperaturen zur Reaktion mit dem brennenden Metall gezwungen, ohne zum Löscherfolg zu führen. Auch ABC-Pulver führt nicht zum Löscherfolg und kann durch ungünstige Umstände das toxische Monophosphan freisetzen [9].

Zurzeit sind die einzig geeigneten Löschmittel für Metallbrände speziell dafür entwickelte Metallbrandpulver, Graugussspäne, Zement oder trockener Sand. Die Wirkungsweise ist bei diesen Löschmitteln gleich. Sie erzielen durch Aufschmelzen bzw. Gleichverteilung auf der brennenden Metalloberfläche einen Luftabschluss derselben, so dass die Verbrennungsreaktion unterbrochen wird. Nachteilig bei der Verwendung dieser Löschmittel ist die gezielte Aufbringung der Substanzen. Zudem werden Metallbrandpulver größtenteils nur in Unternehmen vorgehalten, die ein entsprechend hohes Metallbrandrisiko aufweisen.

Für das Löschmittel Wasser wurden in den letzten Jahrzehnten verschiedene Lösungsverfahren wie Wassernebel-Löschverfahren entwickelt. Aus den Kreisen der Feuerwehren, der Polizei, der Hersteller von Feuerlöschern sowie der Hersteller und Lieferanten von pyrotechnischen Artikeln wird berichtet, dass ein auf Wasser basierendes Lösungsverfahren unter bestimmten Bedingungen ein geeignetes Löschmittel für Metallbrände sei [10-14] und zudem noch die Größe eines Feuerlöschers besitze. Inwieweit diese Berichte zutreffen, wurde am Institut für Brand- und Katastrophenschutz experimentell untersucht und wird in diesem Bericht dargestellt.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Metallbrände

Die Oxidationsreaktion und damit auch die Verbrennung kann unter bestimmten Randbedingungen für jedes chemische Element stattfinden. Demzufolge besitzt fast jedes Metall (auch Schwermetalle wie Eisen oder Uran) die Eigenschaft brennen zu können, wenn die grundsätzlichen Randbedingungen erfüllt sind. Zu diesen Randbedingungen zählen der Zerteilungsgrad (z. B. feine Späne, Pulver u. a.), die Temperatur des Materials und außerdem der Sauerstoffanteil sowie dessen Bindung in den Kontaktmedien/-materialien (wie Luft, Wasser usw.). Einige Metalllegierungen weisen gleichfalls diese Eigenschaften der Brennbarkeit auf, insbesondere sind Aluminiumlegierungen und Magnesiumlegierungen zu nennen [8, 15-16].

Eine besondere Stellung besitzen die Alkali- und Erdalkalimetalle. Die Alkalimetalle umfasst die Metalle der I. Hauptgruppe des Periodensystems, d.h. die chemischen Elemente Lithium, Natrium, Kalium, Rubidium, Caesium und Francium. Die Ausnahme ist Wasserstoff, da es weder den Aggregatzustand fest unter den Standardumgebungsbedingungen (SATP-Bedingungen:  $T = 293,15 \text{ K}$ ,  $p = 1013 \text{ hPa}$ ) besitzt noch metallische Eigenschaften aufweist. Diese Metalle zählen zu den Leichtmetallen, weil ihre Dichte geringer ist als die anderer Metalle. Die grundlegende Gemeinsamkeit dieser Elemente der I. Hauptgruppe ist, dass sie nur ein Valenzelektron besitzen, welches sie leicht an ihren Bindungspartner abgeben können (Erlangung einer vollen äußeren Elektronenhülle – sogenannte Edelgaskonfiguration) und somit die reaktivsten Metalle sind. Durch diese Eigenschaft können sie leicht oxidieren und sind in der Lage andere Elemente zu reduzieren (Reduktionsmittel). Ebenso ist dieses Valenzelektron verantwortlich für die Flammenfärbung beim Verbrennen des Metalls (vgl. Anhang 1).

Lithium und Natrium reagieren mit Wasser zwar heftig unter Wasserstoffentwicklung, aber ohne dass es zur Entzündung des Wasserstoffs kommt. Kalium und Rubidium reagieren unter spontaner Entzündung des Wasserstoffs, Caesium reagiert explosionsartig.

Als Erdalkalimetalle werden die Elemente der II. Hauptgruppe des Periodensystems bezeichnet. Dazu gehören Elemente Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, Barium und Radium. Sie sind alle Leichtmetalle. Ebenso wie die Alkalimetalle erlangen sie die Edelgaskonfiguration durch Abgabe von Valenzelektronen. Jedoch

müssen Erdalkalimetalle zwei Valenzelektronen abgeben. Die Reaktivität der Metalle nimmt wie auch bei den Alkalimetallen mit steigender Ordnungszahl zu.

Durch diese Reaktionsfreudigkeit oxidieren Erdalkalimetalle an Luft. Beryllium und Magnesium bilden stabile Oxidschichten aus und werden dadurch passiviert, d. h. nur ihre Oberfläche wird oxidiert. Diese Passivierung bewirkt auch, dass Wasser Beryllium und Magnesium nur langsam angreift. Calcium, Strontium und Barium hingegen reagieren mit Wasser zu den Hydroxiden, wobei Wasserstoff entsteht. Weiterhin reagieren Erdalkalimetalle sehr gut mit Nichtmetallen wie Sauerstoff oder Halogenen.

Die Reaktionsgleichung für Alkali- und Erdalkalimetalle mit Wasser sind in Tabelle 1 allgemein dargestellt. Bei der Reaktion mit Stickstoff ist Lithium aus der Alkaligruppe das einzige Element, das diesen ungehindert zu einem Nitrid binden kann. Magnesium aus der Erdalkaligruppe nimmt ebenso eine prädestinierte Rolle ein. Allerdings benötigen alle Metalle der Erdalkaligruppen eine Temperaturerhöhung, damit die Reaktion stattfindet. Speziell bei Magnesiumbränden an Luft und einer vorhandenen hohen Luftfeuchtigkeit oder aber dem Löschmittel Wasser ist eine weitere Reaktion des gebildeten Magnesiumnitrids zu Ammoniak gegeben.

Tabelle 1: Allgemeine Reaktionsgleichungen für Alkali- und Erdalkalimetalle

Reaktionspartner	Alkalimetalle (M)	Erdalkalimetalle (M)
Wasser (H <sub>2</sub> O)	$2 M + 2 H_2O \rightarrow 2 MOH + H_2$	$M + 2 H_2O \rightarrow 2 M(OH)_2 + H_2$

Das Element Aluminium gehört weder der I. noch der II. Hauptgruppe an. Es zählt zur sogenannten Borgruppe (III. Hauptgruppe). Es ist jedoch das erste Metall in dieser Gruppe und besitzt dadurch eine ähnliche Sonderrolle wie das Lithium der I. Hauptgruppe bzw. das Magnesium der 2. Hauptgruppe. Durch seine ausgeprägte Affinität zu Sauerstoff ist Aluminium in seiner reinen Form immer mit einer Oxidschicht bedeckt (Passivisierung). Darunter ist es jedoch nicht oxidiert.

Auch Aluminium reagiert mit Sauerstoff:  $4 Al + 3 O_2 \rightarrow 2 Al_2O_3$

und Wasserstoff (nicht spontan):  $2 Al + 3 H_2 \rightarrow 2 AlH_3$  .

Die Reaktion von Aluminium mit Wasser:  $2 Al + 6 H_2O \rightarrow 2 Al(OH)_3 + 3 H_2$  .

Bei dieser Reaktion setzt Aluminium nicht nur Wasserstoff frei sondern bildet gleichzeitig eine Passivierungsschicht. Jedoch setzt diese Reaktion Wärme frei, so dass es die Gefahr einer Knallgasexplosion besteht. Eine Reaktion mit Stickstoff kann vom Aluminium nur bei hohen Temperaturen stattfinden.

Neben den hier aufgeführten Reaktionen der Alkali-, Erdalkalimetalle und des Aluminiums können weitere Reaktionen dieser Elemente mit Kohlendioxid und Halogenen stattfinden. Diese Reaktionen sind wesentlich für den Ausschluss von Löschmitteln.

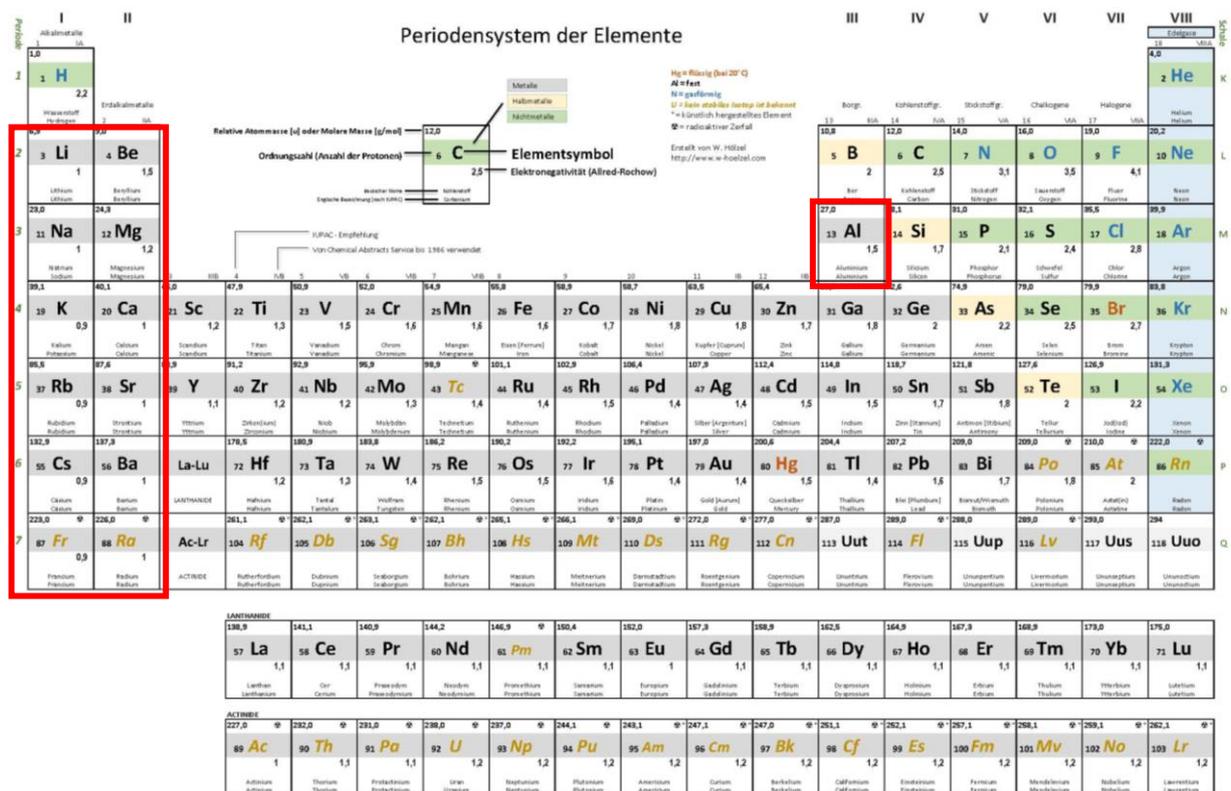


Abbildung 2: Periodensystem der Elemente [17] unter Angabe der wichtigen Elemente (rot markiert)

## 2.2 Löschmittel für Metall- und Metalllegierungsbrände

Die Grundprinzipien der Brandbekämpfung basieren auf verschiedenen Effekten. Diese Effekte sind

- Kühleffekt/Wärmereduktion des Brennstoffs:  
Kühlung der Brennstoffoberfläche bzw. Wärmeableitung vom Brennstoff durch das Löschmittel;

- Trenneffekt von Brennstoff und Reaktionsmedium:  
Ausbildung einer Trennschicht durch das Löschmittel, die den Brennstoff vom Reaktionsmedium (häufig Sauerstoff) trennt;
- Stick-/Verdrängungseffekt von Brennstoff und/oder Reaktionsmedium:  
Verdrängung von gas- und dampfförmigen Brennstoff und/oder seines Reaktionspartner (häufig Sauerstoff) in begrenzten räumlichen Geometrien;
- Deckeffekt auf dem Brennstoff:  
Unterbindung der Diffusion einer entstehenden gasförmigen Brennstoffphase
- Dämmeffekt:  
Einschränkung des Wärmeaustausches durch das Löschmittel (Unterbindung der thermischen Aufbereitung von Brennstoff und Reaktionsmedium);
- Inertisierungseffekt:  
Bindung der reaktiven Teilchen (meistens Radikale) in eine stabile chemische Bindung, so dass diese dem Brennstoff nicht mehr zur Verfügung stehen;
- Verdünnungseffekt:  
Verdünnung des flüssigen/gasförmigen Brennstoffs durch das Löschmittel.

Die unterschiedlichen Löschmittel wirken dabei auf der Grundlage eines einzelnen oder mehrerer Effekte und führen zum Löscherfolg.

Für Brandbekämpfung von Metall- und Metalllegierungsbränden sind die gängigen Löschmittel durch die hohe Reaktivität dieser, speziell die Vertreter der Alkali- und Erdalkaligruppe sowie Aluminium, mit Wasser als auch mit Sauerstoff ungeeignet. Nicht zuletzt existiert aus diesem Grund die eigene Brandklasse D – Metallbrände.

Aber es bedarf durchaus einer Unterscheidung nach dem Zerteilungsgrad und des Aggregatzustandes bzw. der Temperatur des Brandgutes. So ist durchaus kompaktes Brandgut wie ein brennender Motorblock aus einer Mg/Al-Legierung, der nicht ursächlich für einen Brand ist (z.B. Verkehrsunfall) mit Wasser beaufschlagbar [1, 18]. Feine Mg/AL-Späne oder -Pulver sowie –Schmelzen sollten dagegen nicht mit Wasser oder wasserhaltigen Löschmitteln in Kontakt gelangen.

Unterschiedlichste Autoren [8, 19-25] befassten sich mit den Möglichkeiten, Metallbrände zu löschen. Prinzipiell gilt für alle Metallbrände, dass der Einsatz von wasserhaltigen und ebenso sauerstoffhaltigen (z. B. CO<sub>2</sub>) Löschmitteln nicht für die Brandbekämpfung geeignet ist aufgrund der hohen Reaktivität der ausgewählter Metalle und deren Legierungen (s. Abschnitt 2.1). Des Weiteren ist ebenso wenig Stickstoff als Löschmittel zielführend, da einige der Metalle durch ihre Affinität mit diesem Element ebenfalls in Reaktion treten und dabei beispielsweise Ammoniak entstehen kann.

Zur Löschung von Metallbränden werden folgende trockene Löschmittel eingesetzt:

- Abdecksalze,
- rostfreie Graugussspäne,
- Sand,
- Zement,
- Löschpulver der Brandklasse D und
- Sonderlöschmittel mit nachgewiesener Löschwirksamkeit.

Bei begrenzten räumlichen und möglichst hermetisch dichten Objekten wie Behältern oder technischen Anlagen ist eine Flutung mit dem Löschgas Argon durchführbar, wenn eine ausreichend hohe löschwirksame Konzentration des Gases ausreichend lange Zeit aufrechterhalten werden kann. Gleiches gilt auch für eine Evakuierung des Objektes (Herstellung eines Vakuums innerhalb des Objektes).

Tabelle 2: Normen und Richtlinien zur Beurteilung von Löschmitteln für Metallbrände\*

Norm	Titel	Anwendungsbereich
DIN EN 3 [26]	Tragbare Feuerlöscher	Prüfungsvorschrift für tragbare Feuerlöscher der Brandklasse D
ISO 7202:2012 [27]	Fire protection - Fire extinguishing media - Powder	Prüfungsvorschrift für tragbare Feuerlöscher der Brandklasse D
NFPA 10 [28]		Prüfungsvorschrift für tragbare Feuerlöscher der Brandklasse D
NFPA 484 [29]	Standard for Combustible Metals, Metal Powders, and Metal Dusts	Allgemeine Standards für brennbare Metalle, Metallpulver und Metallstäube
VdS 3537 : 2015-05 (01) [30]	Umgang mit Magnesium – Gefahren und Schutzkonzepte	Richtlinie für den Umgang mit Magnesium

\* Einige Normen wie die UL 299 [31] beziehen sich auf die hier angegebenen.

Die Löschpulver der Brandklasse D und die Sonderlöschmittel müssen nach entsprechenden Normen und Richtlinien von zertifizierten Stellen geprüft sein. Relevante Normen und Richtlinien sind in Tabelle 1 (nicht vollständig) angegeben.

Die Hauptlöschwirkung dieser Löschpulver ist eine sogenannte Krustenbildung, die durch ein Aufschmelzen oder Sintern des Pulvers durch das brennende Metall hervorgerufen wird und dadurch einen Luftabschluss nach sich zieht. Weiterhin wird die Oberfläche gekühlt. Bei einigen Pulvern der Brandklasse D kann eine zusätzliche

Löschwirkung durch die chemische Reaktion des Pulvers mit dem brennenden Metall erfolgen. Dadurch findet eine chemische Umsetzung des Metalls statt und somit eine Brennstoffreduktion. Dies ist jedoch von der Art des Löschpulvers abhängig und tritt nicht bei allen Metall/-legierungen auf.

In der Literaturrecherche zu diesem Projekt wurde keine Quelle identifiziert, die sich mit der erfolgreichen Anwendung von Wasser oder Wasserdampf als Löschmittel beschäftigt. Lediglich die Masterarbeit von Lämmerhirt [14] befasst sich mit der Beaufschlagung von Natrium mit Wasserdampf. Diese Versuche verliefen nicht erfolgreich, sondern waren heftige Reaktionen (Explosion, Durchzündung, hohe Mobilität des Natriums) während der Versuchsdurchführung begleitet.

Eine relativ junge Brandbekämpfungslösung stellen das Hohlglasgranulat (PyroBubbles) dar [32-33]. Dieses wurde bisher erfolgreich auf Magnesiumbänder angewendet. Seine Wirkungsweise ist aber ähnlich den oben genannten Löschmitteln für Metallbrände.

## **2.3 Voruntersuchungen**

Im Rahmen einer Zusammenarbeit mit dem Technischen Polizeiamt Sachsen-Anhalt wurde auf dem Gelände der Liegenschaft Schönebeck ein technisches Einsatzmittel eines Löschmittelerfinders erprobt. Ziel dieser Erprobung war es, die Einsatztauglichkeit und Effektivität dieses Löschmittelgerätes zu testen und ggf. Hinweise zur Verbesserung für den Polizeieinsatz zu geben.

Das Löschmittelgerät wurde hierzu auf ein Poolfeuer angewendet, wobei es sich bei dem Brennstoff um konventionellen Kraftstoff E10 handelte. Weiterhin wurde nach erneuter Befüllung mit Löschmittel das Löschmittelgerät auf so genannte Bengalische Feuerwerkskörper angewendet, welche bei verschiedenen polizeilichen Kontrollen sichergestellt wurden und der Entsorgung zugeführt werden sollten. Der anwesende Entwickler dieses Löschmittelgerätes gab an, dass es sich bei dem Löschmittel um reines Wasser handelt und nur die Düse des Löschmittelgerätes so konzipiert wurde, dass ein Wasserdampf bei der Ausbringung des Löschmittels entsteht. Das Grundgerät des Löschmittelgerätes entspricht einem tragbaren Handfeuerlöscher, der mit einer Trageeinrichtung versehen wurde, um diesen auf dem Rücken mit sich führen zu können. Weitere Modifikationen des Löschmittelgerätes wurden nicht mitgeteilt. Konkretere Informationen zu den

Bengalischen Feuerwerkskörpern wie Inhaltsstoffe und Gesamtabbrandzeit wurden nicht bekannt gegeben.

Die jeweilige Anwendung des Löschmittels auf die bengalischen Feuerwerkskörper und auf das Poolfeuer war erfolgreich, so dass diese gelöscht wurden. In der Abbildung 2 sind diese Tests dokumentiert.



Bengalischer Feuerwerkskörper 1



Bengalischer Feuerwerkskörper 2



Poolfeuer

Abbildung 3: Voruntersuchungen mit Bengalischen Feuerwerkskörpern und Poolfeuer

### 3 Brennstoffe und Löschmittel

#### 3.1 Metallische Brennstoffe

Die DIN EN 3 – Teil 7 [26] ist der Teil der Norm für tragbare Feuerlöscher, welcher die Prüfobjekte für Metallbrand-Feuerlöscher beschreibt. Grundsätzlich wird hier davon ausgegangen, dass das Löschmedium entweder in Pulverform (Metallbrandpulver) oder in flüssiger, nicht wässriger Form auf das Prüfobjekt gebracht wird.

Die in dem Teil der Norm beschriebenen zwei Prüfobjekte müssen beide durch den zu prüfenden Feuerlöscher für Brandklasse D abgelöscht werden. Das erste Brandobjekt ist eine Schüttung von Spänen aus Aluminium und Magnesium oder einer ihrer Legierungen, wobei ein Magnesiumgehalt von 83 bis 88 Massenanteilen gewährleistet sein muss. Detaillierte Ausführungen zur Größe der Späne werden nicht angegeben. Das zweite Brandobjekt ist gleichfalls eine Schüttung, welche entweder aus Natrium oder Kalium besteht, die über Wärmezufuhr verflüssigt wird bis zum Zeitpunkt der Selbstentzündung. Beide Prüfbrandobjekte besitzen eine Masse von 3 kg. In der weiteren Beschreibung der Prüfvorschrift wird jedoch nur die Vorgehensweise bei der Löschrprüfung von Natrium dargestellt. Des Weiteren wird weder über den Reinheitsgrad des Natriums oder Kaliums noch über die Verwendung von Legierungen mit Natrium und/oder Kaliumanteil eine Aussage getroffen.

Die Auswahl der metallischen Brennstoffe für die Versuchsdurchführung beschränkte sich damit auf zwei Arten. Der erste Brennstoff besteht Frässpäne aus 99,93 % Magnesium verwendet, welche Spuren von Eisen, Silizium, Nickel, Aluminium, Mangan, Kupfer und Zink enthielten. Der zweite Brennstoff besteht aus mindestens 97,85 % Aluminium und enthielt Spuren von Silizium, Eisen, Kupfer, Mangan, Magnesium, Chrom, Zink, Titan und Zirkonium. Diese Späne sind Abfallprodukte von Schredder-, Fräs- und Drehmaschinen. Von weiteren metallischen Brennstoffen wie Kalium und Natrium wurde Abstand genommen (vgl. Masterarbeit der Universität Magdeburg [14]).



Abbildung 4: Magnesiumfackel



Abbildung 5: Seenot-Handfackel

Neben den metallischen Brennstoffen, die in dieser Form in der industriellen Produktion auftreten und zu Bränden führen können, wurden zwei weitere brennstoffhaltige Brandobjekte ausgewählt. Diese aus der Gruppe der Bengalischen Feuer stammenden Brandobjekte waren zum einen Magnesiumfackeln mit der Farbe Weiß Kat. T1 und zum anderen Seenot-Handfackeln vom Typ P1 mit der Farbe Rot ausgewählt. Die Brenndauer der beiden Fackelarten lag bei ca. 60 s. Der Verwendungszweck beider Fackelarten ist der Einsatz als Signalmittel (auch unter Wasser). Jedoch werden sie oft zweckentfremdet, indem sie bei Fußballspielen als Stilmittel für die Fanunterstützung eines Fußballvereins unerlaubt eingesetzt werden [34].

### **3.2 Auswahl der wasserhaltigen Feuerlöscher**

Aus der Literatur bekannt, führt das Löschen von Metallbränden mit wasserhaltigen Löschmitteln nicht zum Erfolg, wie im Abschnitt 2.2 dargestellt. Nichtsdestotrotz wurde vermehrt bei der Recherche darauf hingewiesen, dass Wassernebellöcher Bengalische Feuerwerkskörper löschen. Diese Behauptung wurde durch die Voruntersuchungen (vgl. Abschnitt 2.4) unterstützt. Aus diesem Grunde wurde eine Marktanalyse durchgeführt, welche Anbieter existieren, die entsprechend Wassernebel-Feuerlöscher herstellen und vertreiben.

Im Ergebnis wurden zwei Arten von tragbaren Feuerlöschern identifiziert, die bei Auslösung Wassernebel zur Brandbekämpfung freisetzen. Diese beiden Arten sind der Aufladelöcher der Firma FLN Feuerlöschgeräte Neuruppin Vertriebs-GmbH mit der Bezeichnung Wassernebel-Feuerlöscher vom Typ FLN W 6 WNA [35] und der Dauerdrucklöcher der Firma Telesto Sp.zo.o mit der Bezeichnung Wassernebel-Feuerlöscher vom Typ EcoPack EP-WM13S [36]. Zusätzlich wurden Dauerdrucklöcher der Firma Brandschutz Heimlich GmbH mit der Bezeichnung Wasser-Übungs-Feuerlöscher Typ Ü 6 M-2/Ü 9 M-2 [37] für die Untersuchung hinzugezogen, um eine Vergleichbarkeit zu gewöhnlichen, tragbaren Wasserfeuerlöschern zu erlangen. Die Eigenschaften der drei Feuerlöscher sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Weiterhin wurde von beiden Arten tragbarer Feuerlöscher die jeweilige Weiterentwicklung ebenfalls zur Untersuchung hinzugezogen. Diese Entwicklung bestand darin, dass dem Wassernebel-Aufladelöcher der Firma FLN Feuerlöschgeräte Neuruppin Vertriebs-GmbH das Additiv F-500 Encapsulator Agent

SP 83/08 dem Wasser einer 3 % Konzentration zugemischt wurde [38]. Dieses Produkt wird von dem Unternehmen als Wassernebel-Löscher mit F-500 mit der Bezeichnung W 6 WNA F-500 vertrieben. Im Fall des Dauerdrucklöschers der Firma Telesto Sp.zo.o erfolgten zwei Veränderungen. Bei Weiterentwicklung mit der Kennzeichnung EcoPack EP-FM13S wird zum einen dem Wasser des Feuerlöschers ebenfalls ein Additiv namens Telesolv Schaummittel in einer Konzentration von 1 % zu gemischt und zum anderen wurde die Ausbringeinheit „Löschpistole“ des Wassernebels modifiziert, so dass sowohl ein Wassernebel als auch ein Wassernebelstrahl durch Umlegen eines Hebels ausgebracht werden kann [39].

Tabelle 3: Eigenschaften der angewendeten Feuerlöscher laut Hersteller [35-37]

Kurzname	<b>FLN W 6 WNA</b>	<b>EP-WM13S</b>	<b>Ü 6 M-2/Ü 9 M-2</b>
Löschverfahren	Wassernebel	Wassernebel	Wasser
Löscherart	Aufladelöscher	Dauerdrucklöscher	Dauerdrucklöscher
Wassermenge	6 l	13 l	6 l und 9 l
Druck	ca. 15 bar	ca. 16 bar	ca. 15 bar
Spritzzeit	ca. 50 s	100 s	ca. 35 s
Wurfweite	3-5 m	max. 3,5 m	2- 2,5 m
Bild			

Beide Weiterentwicklungen unterscheiden sich in ihren Eigenschaften von den Vorgängern nur geringfügig. So wird für den Wassernebellöscher vom Typ W 6 WNA F-500 lediglich eine geringere Wurfweite von ca. 2 m angegeben [38]. Alle weiteren Eigenschaften sind unverändert. Der Wassernebellöscher vom Typ EcoPack EP-FM13S unterscheidet sich hinsichtlich seiner Eigenschaften im Betriebsmodus

Wassernebel nicht vom Vorgängermodell, im Betriebsmodus Wassernebelstrahl jedoch verkürzt sich die Ausbringezeit aus 45 s und erhöht sich die Wurfweite auf 8 m [39]. Die Abbildung 6 zeigt die beiden unterschiedlichen Ausbringeinheiten der Firma Telesto Sp.zo.o.

Alle in diesem Abschnitt dargestellten tragbaren Feuerlöscher weisen keine Zulassung im Geltungsbereich der BRD für die Brandklasse D, Brände von Metall auf.



Löschpistole des Typs EcoPack EP-WM13S [36]    Löschpistole des Typs EcoPack EP-FM13S [39]

Abbildung 6: Gegenüberstellung der beiden Ausbringeinheiten von Telesto Sp.zo.o

## 4 Experimenteller Aufbau

### 4.1 Versuchsaufbau für die Löschversuche

#### *Versuchsaufbau nach DIN EN 3*

Gemäß der DIN EN 3 – 7 [26] wurde entsprechend der Vorschrift ein Versuchsstand aufgebaut. Hierzu wurde aus 2 mm dickem Edelstahlblech eine Brandwanne mit einer quadratischen Grundfläche vom 0,5 m und einer Wandhöhe von 0,1 m verwendet. Unterhalb und innerhalb der Brandwanne wurde jeweils eine Promatplatte mit einer Dicke von 15 mm als Wärmeschutz positioniert.

Zur Dokumentation der Versuche wurden sowohl eine Brandraumkamera, welche sowohl ein visuelles und ein infrarotes Videobild zeitgleich liefert, als auch eine Digitalkamera im Brandraum so angeordnet, dass die Brandwanne mittig im Bild sich befand und damit der Löschangriff aufgezeichnet werden konnte. Die Digitalkamera war dabei in einem Blickwinkel von 90 ° zur Brandraumkamera versetzt aufgestellt. Bei Bedarf wurden mit der Digitalkamera vereinzelte Besonderheiten fotografisch dokumentiert.

Eine Menge von 3 kg des jeweiligen Brennstoffs wurde vor jedem Versuch abgewogen. Danach wurde die Brennstoffmenge in Aceton gereinigt. Nach der Verdampfung von geringfügigen Aceton-Anhaftungen am Brennstoff wurde dieser gleichmäßig in die Brandwanne geschüttet und verteilt (s. Abbildung 7). Ein Verfestigen der Brennstoffmenge durch Andrücken oder ähnlichem fand nicht statt.



Abbildung 7: Brandwanne mit Brennstoff



Abbildung 8: Zündung des Brennstoffs

Die Zündung erfolgte mittig an zwei angrenzenden Seiten der Brandwanne. Hierfür wurden zwei Magnesiumbandstücken (99,8 % Mg) im Vorfeld angezündet und an den beiden Punkten der Zündung mit dem Brennstoff in Kontakt gebracht (vgl. Abbildung 8). Ab diesem Zeitpunkt wurde mittels einer Stoppuhr die Zeit erfasst.

Aus Sicherheitsgründen stand im Brandraum ein Container mit ca. 15 kg trockenem, feinem Sand und einer Schaufel bereit, um damit die Brandwanne samt brennendem Metall abdecken zu können. Die Brandreste wurden nach Beendigung des Experiments und Abkühlung der Brandreste separat in einer Entsorgungstonne sichergestellt.

### *Versuchsaufbau zur Bestimmung der Grenzbrandfläche*

Zur Bestimmung der Grenzbrandfläche wurden Zylinder (Wanddicke  $\geq 2$  mm) mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet. Die Innendurchmesser dieser Zylinder sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 4: Zusammenstellung der Innendurchmesser und zugehörigen Brandflächen

Name	Innendurchmesser in [mm]	maximale Brandfläche in [mm <sup>2</sup> ]
Zylinder 1	26,6	556
Zylinder 2	41,0	1320
Zylinder 3	52,6	2173
Zylinder 4	68,2	3653
Zylinder 5	108,0	9161
Zylinder 6	150,0	17672
Zylinder 7	200,0	31416

Diese Zylinder standen auf einer ebenen Platte aus Promat (Dicke = 15 mm, Wärmeschutz). In Abbildung 9 ist beispielhaft der Zylinder 6 abgebildet. Vom Boden aus wurden die Zylinder zuerst mit trockenem Sand und nachfolgend mit dem Brennstoff bis zur Oberkante des Zylinders gefüllt. Die Brennstofffläche wurde jeweils mit brennendem Magnesiumband (99,8 % Mg) gezündet. Dabei wurde dieses in der Mitte der Brennstoffoberfläche mit demselben in Kontakt gebracht. Die Brandraumkamera und die Digitalkamera waren ebenso angeordnet, wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben. Gleichfalls wurde trockener, feiner Sand im

Container und eine Schaufel aus Sicherheitsgründen vorgehalten. Die Brandrestentsorgung erfolgte desgleichen wie im Abschnitt 4.1 beschrieben.



Abbildung 9: Aufbau für die Bestimmung der Grenzbrandfläche

### *Versuchsaufbau für den Abbrand von Bengalischen Feuerwerkskörpern*

Um die Bengalischen Feuerwerkskörper ungehindert abbrennen zu lassen, ist es notwendig, dass diese sich möglichst in einer aufrechten Position befinden bzw. befestigt sind. D. h., die auftretende Brennfantäne sollte möglichst senkrecht nach oben aus dem Feuerwerkskörper gerichtet sein. Dies resultiert ursächlich aus dem Verwendungszweck dieser Bengalischen Feuerwerkskörper. Die Seenot-Fackel wird üblicher Weise in der Hand und vom eigenen Körper sowie der Kleidung, respektive brennbarer Materialien, gehalten. Die Magnesiumfackel, welche primär für technische Showeffekte bei Produktionen und Veranstaltungen für Film, Foto, Musik, Show und Bühnen genutzt wird, sollte am Boden und ebenso fern brennbarer Materialien befestigt ggf. eingegraben werden.

Aufgrund dieser Verwendungsanweisung und dem möglichen realen Szenario in beispielsweise einem Stadion wurde keine fixierende Befestigung gewählt, sondern ein im Vergleich zur Fackel schwereres Rohr, in dem die Fackel hineingestellt wurde. Dadurch konnte der Feuerwerkskörper sich im Bereich des Innendurchmessers noch bewegen und trotzdem nahezu senkrecht die Fontäne ausbringen. Die Zündung erfolgte bei der Signalnot-Fackel per Reißleine und bei der Magnesiumfackel per Anzünden der Zündschnur mit einem Feuerzeug. In der Abbildung 10 ist dieser Aufbau abgebildet. Unterhalb des Rohres befand sich eine Promatplatte. Die Brandraumkamera und die Digitalkamera befanden sich an den identischen Positionen wie bei den zuvor beschriebenen Versuchsaufbauten. Da die Abbrandzeit der Bengalischen Feuerwerkskörper begrenzt war, wurde kein weiteres Löschmittel vorgehalten, um ggf. bei Versagen des zu testenden Löschmittels gegen das Feuer

vorzugehen. Nach dem vollständigen Verlöschen der Brennfantäne wurden die zurückbleibenden und abgekühlten Hülsen der Feuerwerkskörper entsorgt.



Abbildung 10: Aufbau für den Abbrand von Bengalischen Feuerwerkskörpern

## 4.2 Versuchsdurchführung

Vor jedem Löschversuch wurden die unterschiedlichen Feuerlöscher hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit geprüft. Hierzu wurden gemäß der Herstellerangaben vorgegangen. Bei den beiden Fabrikaten von Feuerlöschern der Firma FLN Feuerlöschgeräte Neuruppin Vertriebs-GmbH handelte es um Aufladelöschler. Diese sind nicht nachfüllbar und nur zum einmaligen Gebrauch zu gelassen. Um die Einsatzfähigkeit dieser Feuerlöscher herzustellen, wurde unmittelbar vor der Versuchsdurchführung die Sicherung des Ladehebels entfernt und der Ladehebel anschließend heruntergedrückt, so dass sich der Arbeitsdruck innerhalb des Feuerlöschers aufbauen konnte. Während des Löschangriffs wurde der Freigabehebel an der Ausbringeinheit niedergedrückt, um die Löschmittelfreigabe zu erhalten.

In den Fällen der beiden Feuerlöscher von Telesto wurden diese mit dem entsprechenden Löschmittel befüllt: Das Volumen dieser beiden Feuerlöscher betrug 13 l. Im Anschluss wurde mittels Druckluft ein Druck von 15 bar innerhalb der Feuerlöscher erzeugt und die beiden Flaschen durch das Umlegen eines Hahns gesichert. Dadurch konnte der zugehörige Schlauch mit der Löschpistole angekoppelt werden. Direkt vor der Versuchsdurchführung wurde dieser Hahn wieder geöffnet, so dass bis zur Austrittsöffnung der Löschpistole das Löschmittel anlag. Während des Löschangriffs wurde zur Löschmittelfreigabe der Hebelgriff an der Löschpistole betätigt.

Im Fall der Übungsfeuerlöscher des Unternehmens Heimlich wurden diese von dem zuständigen und dafür ausgebildeten Techniker am IBK geprüft und befüllt. Das

Wasservolumen dieser Feuerlöscher betrug für einen 6 l und für zwei weitere 8,55-9,0 l. Alle Übungsfeuerlöscher wiesen einen Druck von ca. 15 bar auf. Die Sicherung des Löschmittelfreigabehebels wurde zeitnah vor der Versuchsdurchführung entfernt. Zur Löschmittelfreigabe wurde dieser Hebel am Kopf des Feuerlöschers betätigt, um den Löschangriff zu starten.

Nach Beendigung der Versuchsdurchführung wurden die Aufladefeueralöscher entsorgt und die Dauerdruckfeuerlöscher zur Nachfüllung gegeben.

Vor jeder Versuchsdurchführung wurden die Kamerasysteme hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit überprüft und die digitale Aufzeichnung begonnen. Je nach Versuchsaufbau wurden die Brennstoffe gezündet (vgl. Abschnitt 4.1).

Im Fall der Versuchsdurchführung nach der DIN EN 3 – 7 [26] soll die Hälfte der Brennstoffoberfläche brennen, bevor der Löschangriff gestartet wird. Eine sogenannte Vorbrennzeit war nicht definiert. Im Rahmen der Versuchsdurchführung erfolgte diesbezüglich eine Anpassung, so dass Vorbrennzeiten definiert wurden und nach Beendigung des Vorbrennens der Löschangriff begann. Die Art und Weise wie der Löschangriff gestaltet wurde, war ebenso wenig vorgegeben. Weiterhin wurden alle Versuche durch ein und dieselbe Person durchgeführt.

Bei einem Löscherfolg wurde geprüft, ob der Brennstoff vollständig abgelöscht wurde. Anschließend wurde die Brandwanne (ggf. der Zylinder bzw. die Hülse des Feuerwerkskörpers) mit dem Löschmittel-Brennstoffgemisch aus dem Brandraum entfernt und zu einem späteren Zeitpunkt der Entsorgung zugeführt. Konnte kein Löscherfolg herbeigeführt werden, wurde der Brennstoff mit Sand vollständig abgedeckt bis zu dem Zeitpunkt, da der Brennstoff durch dieses Löschmittel gelöscht wurde. Danach und ausreichender Abkühlung wurde der Inhalt der Brandwanne ebenfalls entsorgt. Lediglich im Fall der Feuerwerkskörper wurden diese komplett abgebrannt und dann entsorgt.

Nach Beendigung des Löschversuchs wurden die digitalen Aufzeichnungssysteme angehalten. Weitere Messsensoren wurden aufgrund der hohen Brandtemperaturen bei diesen Versuchen nicht in den Versuchsaufbau implementiert.

### **4.3 Versuchsaufbau zur Bestimmung von Tröpfchengröße und –geschwindigkeit**

Bei der Auswahl der wasserhaltigen Feuerlöscher handelt es sich in der Ausgangsvariante um Wassernebel-Feuerlöscher. Um Aussagen über die Qualität

der ausgebrachten Wassernebel treffen zu können, wurden die drei Feuerlöschgeräte, welche in Tabelle 2 charakterisiert sind, mit dem Phasen-Doppler-Anemometer (PDA) analysiert. Eine ausführliche Beschreibung des Messsystems enthält der IMK-Bericht Nr. 98 [40].

Hierzu wurden die Feuerlöcher der Firmen Telesto und Heimlich mit ihrer Ausbringeinheit/Löschpistole in einer Einspannvorrichtung fest fixiert (vgl. Abbildung 11), so dass für diese Untersuchung lediglich Löschmittelbehälter pro durchgeführter Messung getauscht werden musste. Im Fall des Aufladefeuerslöchers der Firma FLN Feuerlöschgeräte Neuruppin Vertriebs-GmbH musste pro Messung der komplette Feuerlöscher gewechselt werden.



Abbildung 11: Einbau eines Feuerlöschers in die Einspannvorrichtung der PDA

Das Messsystem wurde so ausgerichtet, dass das zu vermessende Volumen des ausgebrachten Wassernebels mittig zur horizontal strömenden Sprühstrahlachse (z-Achse) lag. D. h., die Messpunkte lagen entlang der Sprühstrahlachse (entspricht der Wurfweite) und wurden mit einer Schrittweite von 0,5 m aufgrund der geringen Wurfweiten der Feuerlöcher vermessen. Das Messsystem wurde in seiner Höhe (y-Achse) an die Parabel des sich ausbildenden Sprühstrahls angepasst (mittige Messung der Sprühstrahlachse). Eine Vermessung der vertikalen Sprühstrahlachse (x-Achse) wurde nicht vorgenommen, da eine gleichmäßige Verteilung über die Ausbringeinheit angenommen wurde. Während der Messung mit dem PDA wurde der gesamte Inhalt der Feuerlöcher freigesetzt. Jede Messung in Kombination von Feuerlöscher/Wurfweite wurde mindestens zwei Mal wiederholt. Anhand der erfassten Tropfenspektren wurden die mittleren korrigierten Tröpfchendurchmesser

und die mittleren Tröpfchengeschwindigkeiten ermittelt. In der Abbildung 12 sind die sich ausprägenden Sprühstrahlbilder abgebildet.



FLN W 6 WNA

EP-WM13S

Abbildung 12: Sprühlstrahlbilder der Wassernebel-Feuerlöscher

## 5 Ergebnisse der Löschversuche mittels Wassernebelfeuerlöcher

### 5.1 Untersuchungen zur Metallbrandbekämpfung

Auf der Grundlage des in der DIN EN 3 [26] dargestellten Prüfvorschrift für Feuerlöscher der Brandklasse D (Pulverlöscher für Metallbrände) wurden mittels des im Abschnitt 4 beschriebenen Versuchsaufbaus und -durchführung die zur Verfügung stehenden Feuerlöscher ohne Additive an den Brennstoffen Magnesium und Aluminium getestet. Entsprechend der Durchführungsvorschrift in der Norm [26], welche besagt, dass die Hälfte der aufgeschütteten Metallspäne brennen muss, wurde der Zeitpunkt für den Löschangriff dementsprechend gewählt.

IR-Bild



VIS-Bild 1



VIS-Bild 2 ( $\Delta$ Blickwinkel 90 °)



Beginn des Löschangriffs



Ende des Löschangriffs (Feuerlöscher FLN W 6 WNA leer)

Abbildung 13: Momentaufnahmen eines Löschversuchs gemäß DIN EN 3 [26] von 3 Kameras

Bei der Wassernebelapplikation auf das Brandgut wurde eine Forcierung des Brandes erreicht, so dass von weiteren Versuchen dieser Art Abstand genommen wurde. In der Abbildung 13 sind Momentaufnahmen von einem dieser Experimente unmittelbar zu Beginn und nach dem Löschangriff gegenübergestellt. Zu erkennen ist die starke Reaktion des Brandgutes mit dem Wassernebel. Nachdem der Löschangriff infolge der Entleerung des Feuerlöschers beendet war, ist deutlich zu

sehen, dass das Brandgut vollständig am Brennen ist und weitere Reaktionen mit dem noch vorhandenen Wasser stattfinden. Diese Experimente mussten alle mit Sand gelöscht werden.

Aufgrund dieser Erkenntnis wurde eine Vorbrennzeit definiert. Die Vorbrennzeiten betragen: 2 min, 4 min, 6 min, 8 min, 10 min. Die nach der Vorbrennzeit erzielte brennende Brandgutoberfläche war in allen Fällen kleiner als  $0,125 \text{ m}^2$ . Die Versuche wurden pro Vorbrennzeit mindestens 3 Mal wiederholt.

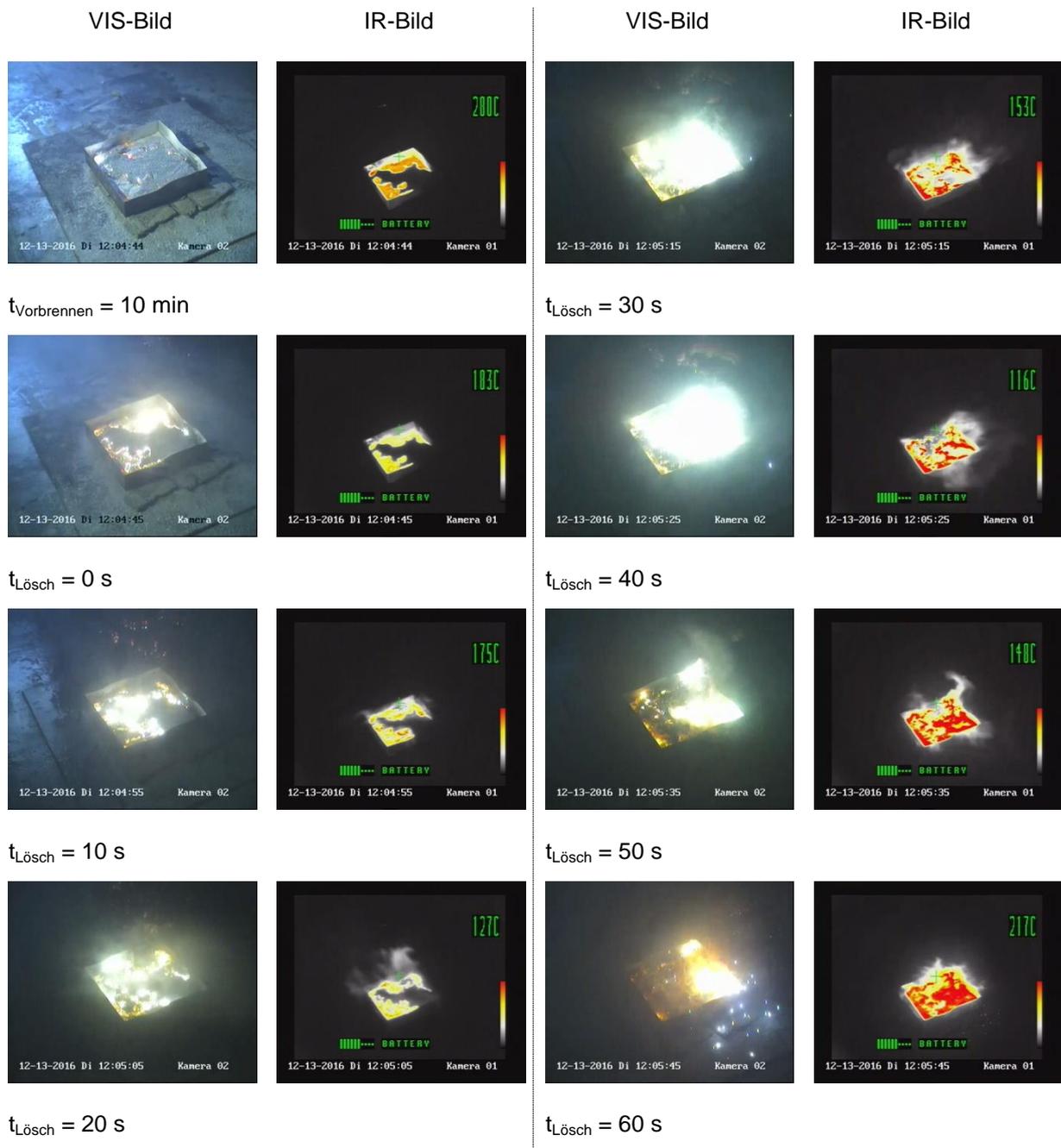


Abbildung 14: Exemplarischer Verlauf eines Löschversuchs von Magnesiumspänen (3 kg) mit Wassernebellöcher Telesto – EcoPack EP-WM13S (Spritzzeit: 72 s)

Mit allen vorhandenen Feuerlöschern ohne Additive wurde diese Versuchsserie an den Magnesiumspänen durchgeführt. Im Ergebnis dieser Versuchsserie wurde festgestellt, dass Metallbrände mit einer Vorbrennzeit oberhalb von  $t = 2$  min nicht mehr durch ein Wassernebel-Feuerlöcher zu löschen ist, sondern infolge der Beaufschlagung mit Wasser eine Beschleunigung des Abbrandes einhergehend mit heftigen Reaktionen stattfindet. In der Abbildung 14 ist ein Beispiel eines solchen Versuchs mit dem Brennstoff Magnesium und der Anwendung des Wassernebel-Feuerlöschers vom Typ Telesto – EcoPack EP-WM13S abgebildet. Ähnlich wie in der Abbildung 13 ist ersichtlich, dass der Metallbrand entfacht wird anstatt gelöscht wird. In einigen Fällen wurde zu Beginn des Löschangriffs eine Temperatursenkung der Brandoberfläche von ein bis zwei Sekunden registriert, die jedoch hatte diese Temperatursenkung keinen dauerhaften Bestand und schlug im Nachgang in das Gegenteil um.

Bei den Versuchen mit einer Vorbrennzeit von 2 min wurden prozentual 28 % der Brände mit dem Telesto – EcoPack EP-WM13S gelöscht. Bei den beiden anderen Feuerlöcher-Systemen (Wassernebel-Feuerlöcher vom Typ FLN W6 WNA und dem Wasser-Feuerlöcher Ü 6 M-2) war die Spritzzeit jeweils zu kurz, so dass sich kein Löscherfolg einstellte. Weiterhin wurde festgestellt, dass die Art der Vorgehensweise während des Löschangriffs einen maßgeblichen Einfluss auf den Löscherfolg aufwies. Der Löscherfolg wurde nicht durch die dem Wasser zugeschriebenen Eigenschaften wie dem Kühlen hervorgerufen, sondern durch das mechanische Abreißen und Wegspülen der Verbrennungsfront von dem unverbrannten Material.

Die Löschesperimente mit 3 kg Brennstoff Aluminium stellten eine Herausforderung dar, da dieser Brennstoff schwer entzündbar war, als der Brennstoff Magnesium. Ursächlich hierfür war unter anderem die Spangröße des Brennstoffs. Versuche das Aluminium mittels Magnesiumband oder aber Magnesiumfackel zu zünden scheiterten. Ebenso war eine Einbringung von größeren brennenden Magnesiumschmelzen nicht zielführend. Erst die Vermischung der Späne mit Aluminiumpulver und Verwendung einer Magnesiumfackel als Zündquelle führte zur Zündung eines Aluminiumbrandes. Infolgedessen wurde nicht das Gesamtspektrum der Versuchsserie wie für Magnesium durchgeführt, sondern lediglich die Experimente mit einer Vorbrennzeit von 2 min. Diese wurden ebenfalls mindestens dreifach wiederholt. Größeren Vorbrennzeiten wurden stichprobenartig mit den

Feuerlöschern getestet. Die Brandgutflächen, die sich nach diesen Vorbrennzeit einstellen, waren durch die Zündung mit der Magnesiumfackel nicht mit denen der Magnesiumbrände vergleichbar.

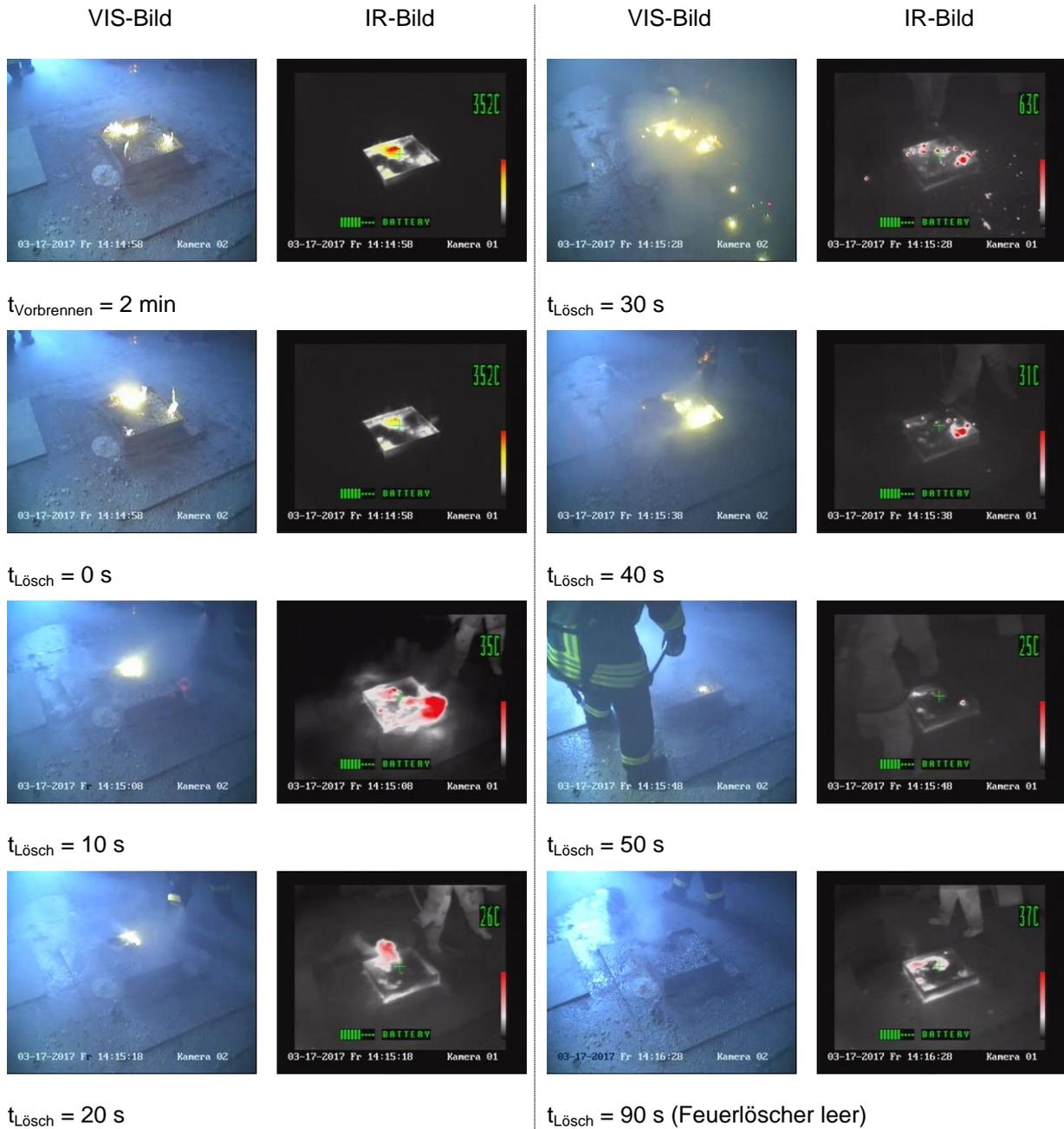


Abbildung 15: Exemplarischer Verlauf eines Löschversuchs von Aluminiumspänen (3 kg) mit Wassernebellöschers Telesto – EcoPack EP-WM13S (Spritzzeit: 90 s)

Im Ergebnis konnten alle Aluminiumbrände bei Versuchen mit einer Vorbrennzeit von 2 min erfolgreich mit dem Wassernebel-Feuerlöscher Telesto EP-WM13S gelöscht werden. Jedoch war nach dem „Löschen“ weiterhin eine Reaktion des Brandguts mit dem Wasser ersichtlich. Dies äußerte sich in der Art, dass kleine Blasen im

Löschwasser deutlich sichtbar aufstiegen und diese Reaktion auch hörbar war. In der Abbildung 15 ist beispielhaft ein Experiment dieser Versuchsreihe dargestellt. Die Versuchsserie mit einer Vorbrennzeit von 2 min und den Wassernebellöschern FLN W 6 WNA waren nicht erfolgreich. Der Wasser-Feuerlöscher Heimlich Ü 6 M-2/Ü 9 M-2 und die Wassernebel-Feuerlöscher mit Additiven wurden nicht bei Aluminiumbränden angewendet.

## **5.2 Bestimmung der Grenzbrandfläche bei Metallbränden**

Auf der Grundlage der Untersuchung von Metallbränden in der Größenordnung von 3 kg auf einer Fläche von 0,25 m<sup>2</sup> (Brandfläche 0,125 m<sup>2</sup>) wurde geschlossen, dass eine Brandbekämpfung mit Wassernebel-Feuerlöschern nicht durchzuführen ist. Nichtsdestotrotz war erkennbar, dass insbesondere bei verhältnismäßig kleinen Flächen des Metallbrandes von Magnesium eine Brandbekämpfung möglich ist. In diesem Punkt werden die Ergebnisse dargestellt, welche die maximal größtmögliche Fläche eines Metallbrandes ermitteln soll, die mit einem im Rahmen des Projektes vorhandenen Feuerlöscher bekämpft werden kann.

Im Abschnitt 4.1 wurde hierfür der Versuchsaufbau beschrieben. Der Löschangriff erfolgt bei allen sieben Größen der Metallbrandfläche, wenn diese vollständig brannte. Eine Vorbrennzeit wurde nicht definiert und variierte entsprechend der Brandfläche. Eine Aussage über Brandausbreitung in die Tiefe der Metallspansschüttung kann nicht getroffen werden. Lediglich wird an dieser Stelle vermutet, dass durch die gleichmäßige Brandausbreitung eine größere Tiefe mit Zunahme der Brandfläche sich einstellen müsste. Dem entgegen wirkt das geringere Sauerstoffangebot mit zunehmender Tiefe. Dies konnte anhand der Beobachtungen während des Löschangriffs bestätigt werden.

In der Tabelle 4 sind die Ergebnisse gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass die Feuerlöscher mit einem Wasservolumen von 6 l eine Brandfläche von  $17,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$  erfolgreich bekämpfen können. Im Fall der Brandflächengröße von  $31,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$  sind diese Feuerlöscher nur bedingt erfolgreich.

Der Begriff „Löschung“ ist in diesem Fall irreführend, da der Metallbrand in allen Versuchen zur Bestimmung der Grenzbrandfläche nicht in diesem Sinne gelöscht wurde. Das Wirkprinzip des Löschangriffs basierte auf der mechanischen Trennung des brennenden Metalls von dem ungebrannten Metall. D.h., durch den Druck des Wassernebels mit und ohne Additiv bzw. des Wassers wurden die brennenden

Metallspäne und –klumpen herausgespült. Dies wird in hier als Brandunterdrückung bezeichnet und bezieht sich ausschließlich auf die getestete Brandfläche. In einigen Fällen brannte das ausgetriebene Material nach. Dies war abhängig von der Größe der Vorbrennzeit (je höher die Vorbrennzeit, desto größer die ausgetriebenen Magnesiumverschmelzungen). In Abbildung 16 wurden Momentaufnahmen für den Löschangriff mit einem Wassernebel Feuerlöscher vom Typ FLN W 6 WNA beim Zylinder 6 für die infrarote und visuelle Aufzeichnung gegenübergestellt.

Tabelle 5: Testergebnisse zur Bestimmung Grenzbrandfläche

Name / Brandfläche [·10 <sup>-3</sup> m <sup>2</sup> ]	FLN Wassernebel	FLN Wassernebel mit F500	Telesto Wassernebel	Telesto Wassernebel mit Telesolv	Heimlich Wasser
Zylinder 1 / 0,56	x	x	x	x	x
Zylinder 2 / 1,32	x	x	x	x	x
Zylinder 3 / 2,17	x	x	x	x	x
Zylinder 4 / 3,65	x	x	x	x	x
Zylinder 5 / 9,61	x	x	x	x	x
Zylinder 6 / 17,67	x	x	x	x	x
Zylinder 7 / 31,42	-	-	x	x	- (6 l) x (9 l)

Dadurch ist gleichfalls erklärbar, dass die beiden Telesto Feuerlöscher die Brandfläche von  $31,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$  löschen konnten. Beide Löscher besitzen mehr als die doppelte Menge an Löschmittel wie die anderen Feuerlöscher. Infolgedessen konnten auch die großen brennenden Metallklumpen herausgespült werden. Verdeutlicht wird dies auch beim Ergebnis des Übungsfeuerlöschers mit Wasser. Das Modell dieses Feuerlöschers mit einem Wasservolumen von 6 l konnte den Metallbrand nicht erfolgreich unterbinden, wohingegen das Modell mit einem Wasservolumen von 9 l dieses eine „Löschung“ herbeiführte.

Diese herausgespülten Metallspäne/-klumpen brennen auch außerhalb des Zylinders weiter und lassen sich nicht zwingend durch weiteres Beaufschlagen mit Wasser löschen. In der Praxis würde dies bedeuten, dass eine mögliche Brandausweitung durch noch brennendes Material stattfindet und damit neue Metallbrandherde

entstehen (vgl. hierzu auch Abbildung 16). In der Konsequenz ist dies keine Löschung des Metallbrandes.

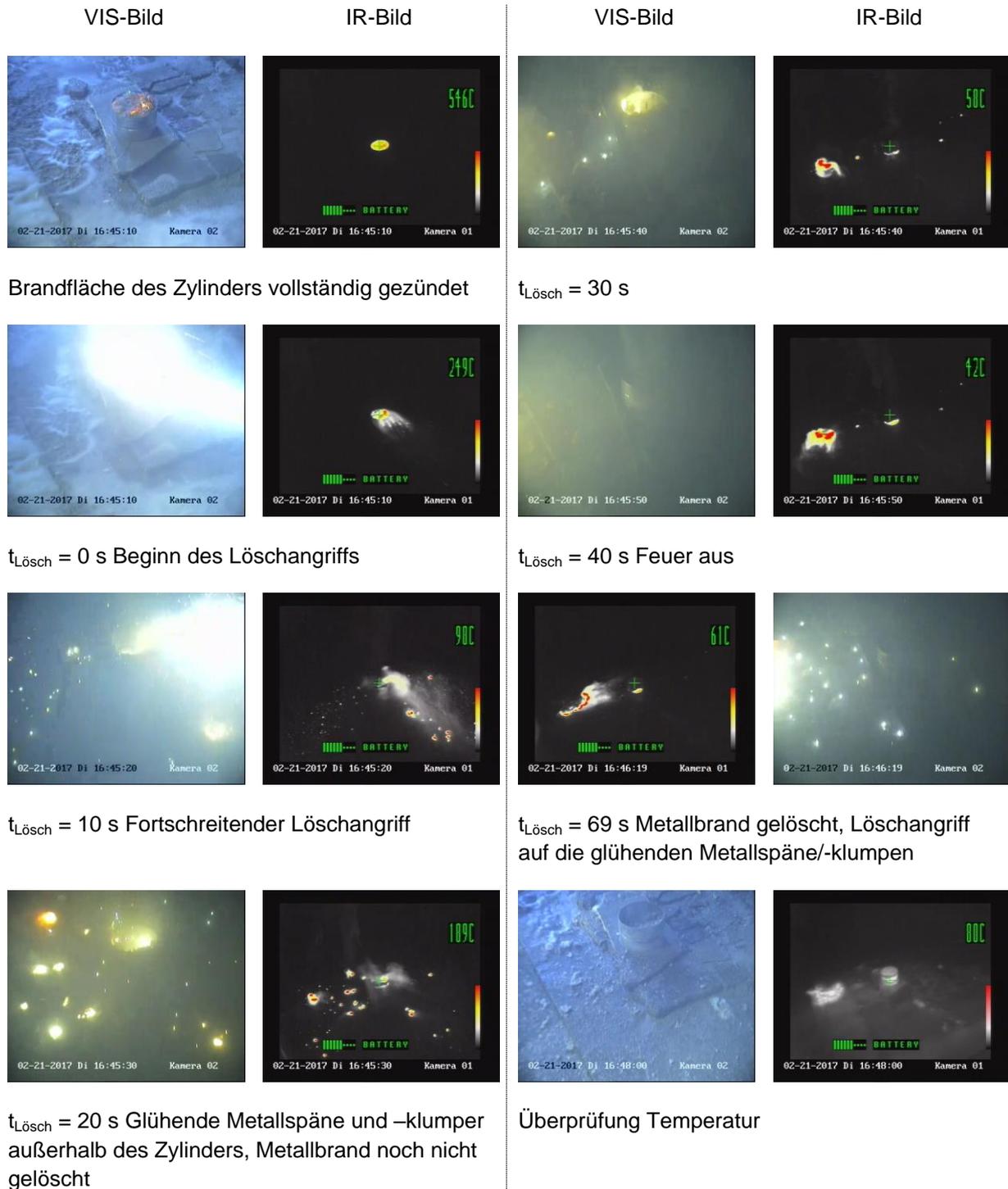


Abbildung 16: Löschangriff mit dem Wassernebel-Feuerlöscher FLN W 6 WNA am Zylinder 6

Es wird festgestellt, dass mit Wasser- oder Wassernebel-Feuerlöschern die Entstehungsphase von kleinen Metallbränden bekämpft werden können. Von einem

generellen Einsatz dieser Feuerlöscher in Bereichen, in den solche Metallbrände entstehen können, wird vehement abgeraten.

### 5.3 Löschversuche von Bengalischen Feuerwerkskörpern

Zu Beginn dieser Löschversuche wurden die beiden vorhandenen Sorten aus der Gruppe der Bengalischen Feuerwerkskörper auf ihre Brennbarkeit in Wasser getestet. Dafür wurde ein Behältnis mit Wasser gefüllt und jeweils nach der Zündung des Feuerwerkskörpers dieser in das Behältnis verbracht. Die Seenot-Fackel sank brennend zum Boden des Behältnisses, wohingegen die Magnesiumfackel an der Oberfläche schwamm und mechanisch unter die Wasseroberfläche gedrückt werden musste. Im Ergebnis dieser beiden Tests, die zwei Mal wiederholt wurden, wurde die Eigenschaft dieser Fackel bestätigt, dass die Bengalischen Feuerwerkskörper im Wasser weiterbrennen (vgl. Abbildung 17 und 18).

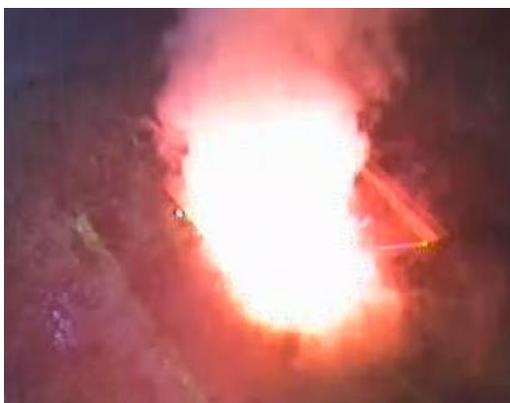


Schwimmende Fackel nach Zündung



Niedergedrückte Fackel am Ende des Abbrands

Abbildung 17: Magnesiumfackel im Wasserbad



Fackel nach Zündung



Fackel am Ende des Abbrands

Abbildung 18: Seenot-Fackel im Wasserbad



Gezündete Bengalfackel



Start des Löschangriffs



Abstandsverkürzung zum Brandobjekt



Direkte Beaufschlagung mit Wassernebel



Gelöschte Bengalfackel

Abbildung 19: Löschangriff einer Magnesiumfackel mit Wassernebellöcher FLN W 6 WNA

Im nächsten Schritt wurde versucht die brennenden Bengalischen Feuerwerkskörper zuerst mit den Wassernebel-Feuerlöschern (FLN W 6 WNA, EP-WM13S) der Firmen FLN Feuerlöschgeräte Neuruppin Vertriebs-GmbH und Telesto zu löschen. Danach wurden versucht die brennenden Bengalischen Feuerwerkskörper mit den Weiterentwicklungen der Wassernebel-Feuerlöcher (W 6 WNA F-500, EP-FM13S) beider Unternehmen zu löschen. In einer abschließenden Untersuchung wurde versucht die brennenden Bengalischen Feuerwerkskörper mit dem Wasser-Übungsfeuerlöscher Ü 6 M-2/Ü 9 M-2 zu löschen.

Im Ergebnis dieser Untersuchung wurden alle Bengalischen Feuerwerkskörper, d. h. sowohl die Magnesiumfackeln als auch die Seenot-Fackeln, durch die durchgeführten Löschangriffe mit allen zur Verfügung stehenden Feuerlöschern vor dem Ende der Brenndauer der Fackeln gelöscht. Die durchschnittliche Löschanzeit lag innerhalb von 20 s nach der Zündung der Fackel. In der Abbildung 19 ist der Löschangriff für eine brennende Magnesiumfackel zu sehen.

#### **5.4 Verteilungen von Tröpfendurchmesser und –geschwindigkeit**

Die Verteilungen von Tröpfchendurchmessern und –geschwindigkeiten charakterisieren einen erzeugten Wassernebel. Die Charakterisierung der Wassernebel soll Aufschluss geben über die mögliche Wirkungsweise des Löschanverfahrens. Hierzu wurden die beiden grundlegenden Wassernebel-Feuerlöcher und der Wasser-Feuerlöscher mit der PDA untersucht.

Aus anderen Anwendungen von Wassernebellöschanverfahren und auch Wasserlöschanverfahren ist bekannt, dass sowohl die Tröpfchengröße als auch die Tröpfchengeschwindigkeit ein Indiz dafür ist, welche Mechanismen zum Löschanerfolg führen können. Die beiden primären Wirkungsmechanismen sind

1. Kühlung der Rauchfahne und der Brennstoffoberfläche
2. Verdrängung von gasförmigen Reaktionspartnern [41].

Daneben existieren noch sekundäre Wirkmechanismen wie Reduktion der Wärmestrahlung und kinetische Effekte [41].

Erwartungsgemäß sollten bei Wassernebel die Tröpfchendurchmesser in einem Bereich von 10 µm bis 100 µm liegen [41-42]. Die zugehörigen Geschwindigkeiten können in einem Bereich 0,5 bis 100 m/s liegen, wobei diese abhängig vom Systemdruck und der Wasserdüse sind.



Abbildung 20: Sprühbild mit Wassernebellöcher FLN W 6 WNA



Abbildung 21: Sprühbild mit Wassernebellöcher EP-WM13S

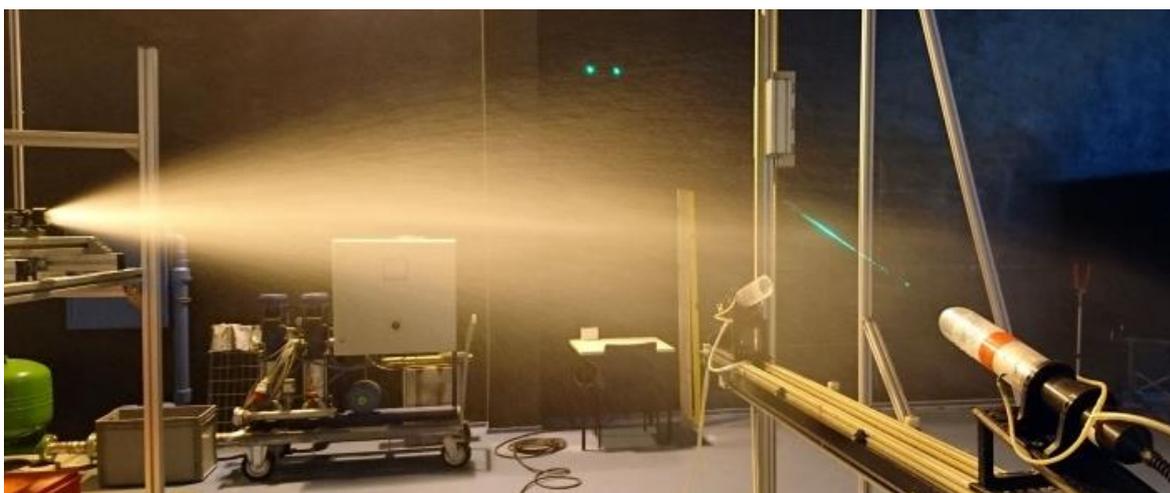


Abbildung 22: Sprühbild mit Wasserlöcher Ü 6 M-2/Ü 9 M-2

Es werden Tröpfchendurchmesser gemäß Herstellerangaben [35, 43] für die Wassernebel-Feuerlöscher FLN W 6 WNA im Bereich von 60 – 80  $\mu\text{m}$  und EP-WM12S im Bereich von 10 – 120  $\mu\text{m}$  erwartet.

Zum Beginn der Untersuchung wurde das Sprühbild entlang der Wurfweite ermittelt. Dies ist zwingend notwendig, um die Schrittweite für die Messung mittels PDA durchführen zu können. In den Abbildungen 20-22 sind die Sprühbilder der drei untersuchten Feuerlöschertypen dokumentiert.

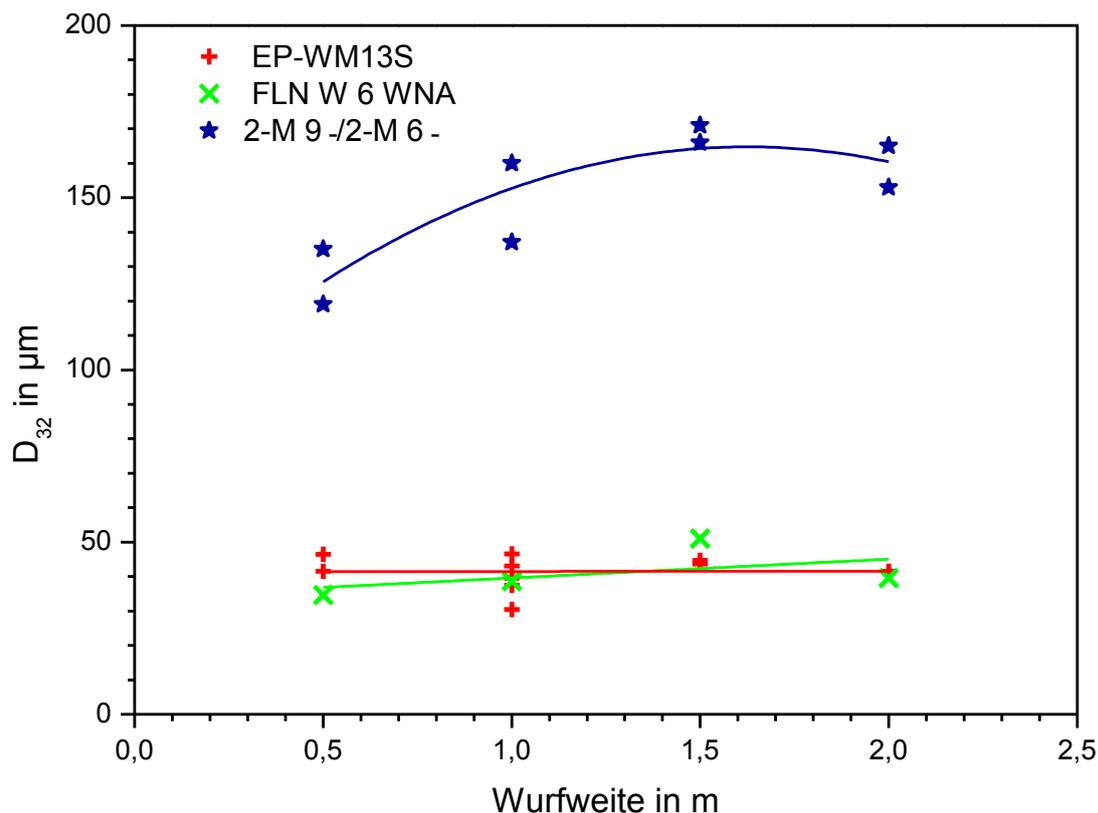


Abbildung 23: Gemessener korrigierter Sauterdurchmesser in Abhängigkeit von der Wurfweite

Die Ausbildung eines Wassernebels ist anhand der Sprühbilder (Abbildung 20 und 21) deutlich erkennbar. Weiterhin ist ersichtlich, dass die Wurfweite des Wassernebel-Feuerlöschers EP-WM13S im Vergleich zum Wassernebel-Feuerlöscher FLN W 6 WNA scheinbar weiter ist. Dies entspricht den Angaben der Hersteller in ihren Produkt-Datenblättern [35-36]. Aufgrund dieser Bestätigung und der noch kürzeren Reichweite für den Wasser-Feuerlöscher, welche in der Abbildung 22 gleichfalls deutlich ersichtlich ist, wurde nachfolgend eine Schrittweite zu Ermittlung der Tröpfchendurchmesser und –geschwindigkeiten von 0,5 m gewählt. Um vergleichbare Ergebnisse zu erlangen wurde bis zu einer Wurfweite von 2 m gemessen.

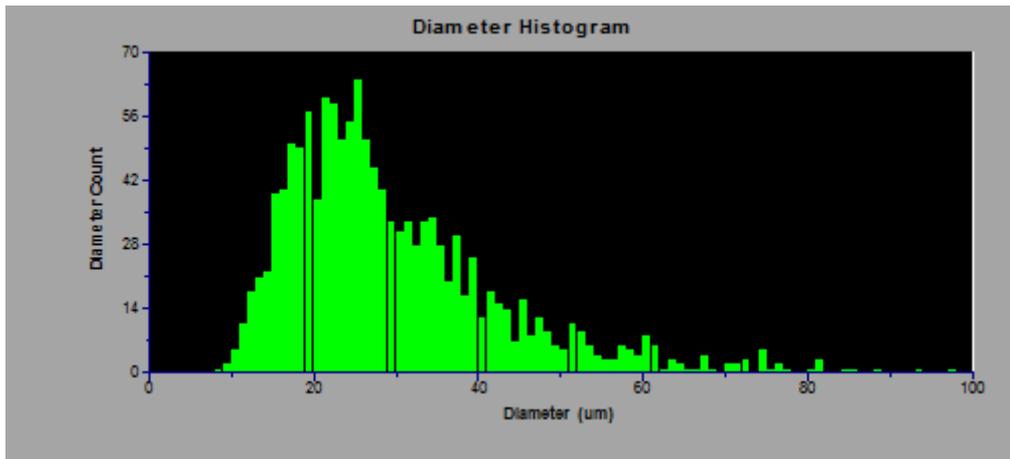


Abbildung 24: Gemessene korrigierte Verteilung der Tröpfchendurchmesser für FLN W6 WNA (Wurfweite: 1,5 m)

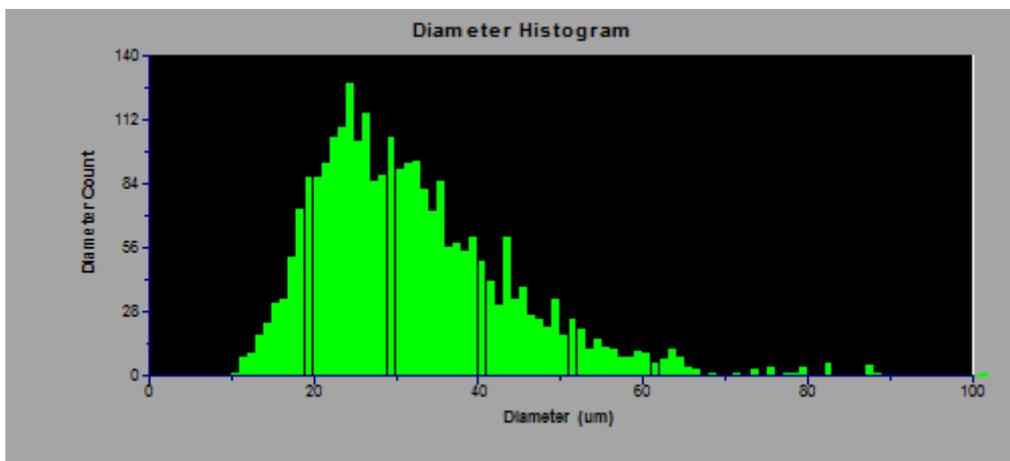


Abbildung 25: Gemessene korrigierte Verteilung der Tröpfchendurchmesser für EP-WM 13S (Wurfweite: 1,5 m)

In der Abbildung 23 wurden der gemessenen korrigierten Sauterdurchmesser in Abhängigkeit von derwurfweite für alle drei Feuerlöscher abgebildet. Der Wasser-Feuerlöscher besitzt die größten Tröpfchendurchmesser, die mit zunehmenderwurfweite von ca. 2,5- bis zu 3-fachem größeren Tröpfchendurchmesser gegenüber der Tröpfchendurchmesser der Wassernebel-Feuerlöscher zu nehmen. Die beiden Wassernebel-Feuerlöscher scheinen nahezu unabhängig in ihrem Tröpfchendurchmesser von derwurfweite zu sein. Bei Betrachtung aller gemessener korrigierter Durchmesser (vgl. Anhang 5) ist erkennbar, dass der Wassernebel-Feuerlöscher vom Typ EP-WM13S eine sehr kleine Schwankungsbreite besitzt, so dass geschlussfolgert werden kann, dass innerhalb dieser 2 m die Tröpfchendurchmesser nahezu konstant sind. Dagegen trifft diese Feststellung auf

die Tröpfchendurchmesser vom Wassernebel-Feuerlöscher FLN W 6 WNA nicht zu. Insbesondere beim der Wurfweite von 1,5 m nimmt der Tröpfchendurchmesser zu. Bei Gegenüberstellung der gemessenen korrigierten Histogramme für die Wurfweite von 1,5 m ist deutlich sichtbar, dass zwar die Verteilungsfunktion der Durchmesser sich ähnelt, aber die Anzahl der gemessenen Durchmesser sich maßgeblich unterscheidet. Dies kann unterschiedliche Ursachen haben und soll jedoch an dieser Stelle nicht weiter untersucht werden.

Bei Betrachtung der mittleren, korrigierten Tröpfchengeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Wurfweite (vgl. Abbildung 26) ist zu sehen, dass der Wassernebel-Feuerlöscher vom Typ FLN W6 WNA eine lineare Abnahme bei zunehmender Wurfweite besitzt. Dahingegen verhalten sich die Tröpfchengeschwindigkeiten bei dem Wassernebel-Feuerlöscher vom Typ EP-WM 13S und vom Wasser-Feuerlöscher exponentiell fallend mit zunehmender Wurfweite und nähern sich asymptotisch einer mittleren Tröpfchengeschwindigkeit von  $5 \pm 1$  m/s an.

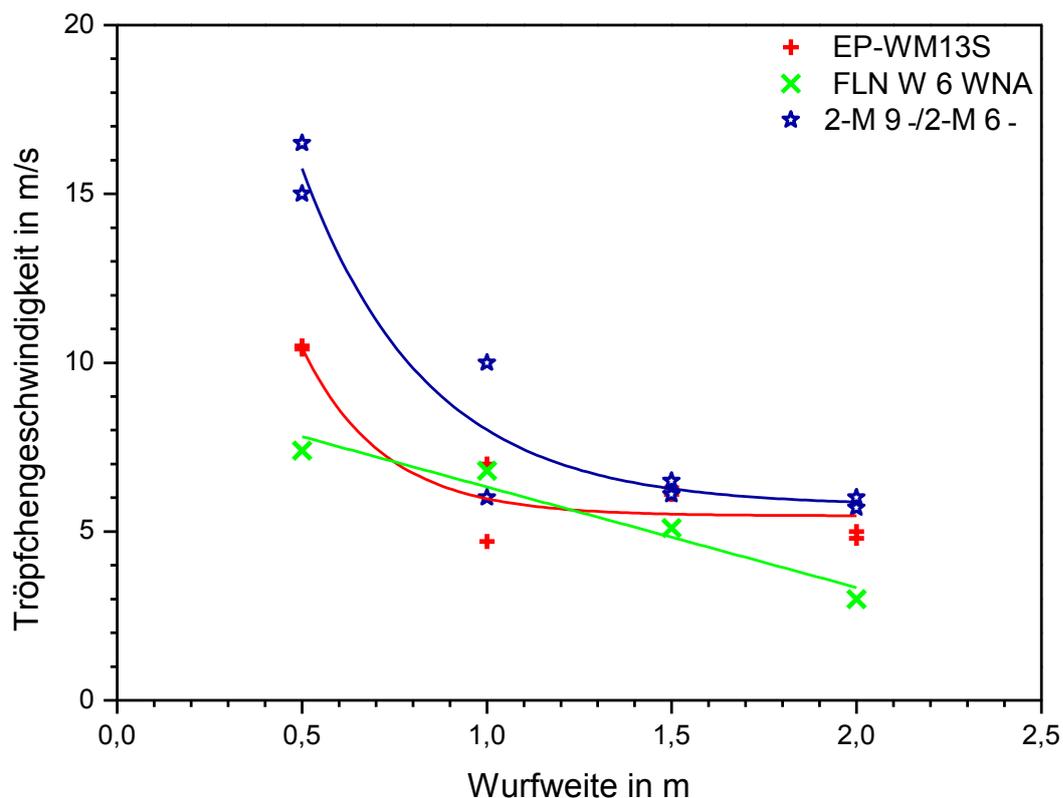


Abbildung 26: Mittlere korrigierte Tröpfchengeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Wurfweite

## 6 Fazit der Evaluierung neuer Löschverfahren

Ziel des Vorhabens war es, neue Löschverfahren für die Brandbekämpfung bei Metallbränden zu evaluieren. Grundsätzlich wird ein Löschen mit wasserhaltigen Löschmitteln nicht empfohlen. Unlängst wurde von verschiedenen Seiten die Frage aufgeworfen, ob Wassernebel nicht ein mögliches Löschverfahren zur Metallbrandbekämpfung ist. Dies wurde begünstigt durch eine Vorführung eines wasserhaltigen Löschsystems an mehreren magnesiumhaltigen Bengalischen Feuerwerkskörpern. Im Rahmen dieses Projektes wurde dieser Frage nachgegangen.

Im ersten Teilschritt wurde ein Untersuchungsszenario konzipiert, an dem die Löschverfahren getestet werden sollten. Dieses Szenario wurde in Anlehnung an die DIN EN 3-7 aufgebaut. Nachfolgend wurden Metalle und Metalllegierungen als Brennstoff ausgewählt. Die Auswahl wurde auf die Brennstoffe Magnesium und Aluminium beschränkt, da bei den Brennstoffen Kalium und Natrium unter Anwendung von wasserhaltigen Löschmitteln das Gefährdungspotential zu hoch eingestuft wurde. Jedoch wurden die Brennstoffe um zwei magnesiumhaltige Sorten aus der Gruppe der Bengalischen Feuerwerkskörper (Magnesiumfackel, Seenot-Fackel) erweitert.

Im zweiten Teilschritt wurde eine Marktanalyse zum Thema wasserhaltige Löschverfahren für Metallbrände durchgeführt. Es wurde kein solches in Deutschland zugelassenes Löschverfahren identifiziert. Lediglich verschiedene Quellen gaben Hinweise zu YouTube-Videos zu einem polnischen Produkt und Produktwerbeflyern eines Schweizer Unternehmens. In beiden Fällen basierten die Produkte auf dem Wassernebelverfahren. Hieraus ergab sich die Auswahl des Löschsystems und -verfahrens: Feuerlöscher mit Wassernebel. Es wurden für die Untersuchung zwei unterschiedliche Wassernebel-Feuerlöscher beschafft und ebenso ihre Weiterentwicklungen. Neben den Wassernebel-Feuerlöschern wurde ein gewöhnlicher Wasser-Feuerlöscher zum Vergleich für die Untersuchungen hinzugezogen.

Nachfolgende wurden die Experimente mit den Brennstoffen und den Feuerlöschern durchgeführt. Die Untersuchungen wurden für Magnesium auf die Bestimmung einer Grenzflächengröße erweitert. Es wurden nachfolgende Ergebnisse aus den Untersuchungen erlangt:

1. Eine Praxistauglichkeit der Wasserdampf-Feuerlöscher sowie wie ihrer Weiterentwicklungen zur Metallbrandbekämpfung ist nicht gegeben.
2. Es wurden ein „Löscherefolg“ für Vorbrennzeiten von 2 min die Magnesiumbrände festgestellt.
3. Diese Bekämpfung des Metallbrandes ist kein Löschen des Metallbrandes, sondern lediglich ein mechanisches Trennen des brennenden vom nicht brennenden Material. Dieses Trennen kann zu einer Brandausbreitung führen, da das brennende Material um das Brandobjekt verteilt werden kann. Dies trifft nur für den Brennstoff Magnesium zu. Am Brennstoff Aluminium wurden diese Untersuchungen nicht durchgeführt.
4. Ein Löschen der beiden Sorten von Bengalischen Feuerwerkskörpern war mit allen untersuchten Feuerlöschern erfolgreich. D. h., der Löscherefolg wurde auch mit dem konventionellen Wasser-Feuerlöscher erzielt.
5. Es erfolgt **keine** Empfehlung wasserhaltiger Feuerlöscher bei Metallbränden einzusetzen.

## **7 Ausblick**

Von einer weiteren Verfolgung dieses Themas (wasserhaltige Lösungsverfahren) wird abgesehen. Die durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass dieses Lösungsverfahren nicht zielführend zur Löschung von Metallbränden eingesetzt werden kann.

Weiterhin ist eine für den Polizeieinsatz optimierte Variante eines Wasser-Feuerlöschers als Brandbekämpfungsmittel für die Gefahrenabwehr bei Fußballspielen in Stadien vorstellbar.

## Literatur

- [1] H. Schmalfuß: Magnesium erschwert Löscharbeiten an Pkw.  
Feuerwehr-Magazin, 5, 2016, S. 8
- [2] Ch. Schlüsslmayr: Druckgießerei in Flammen – Feuerwehr kämpft vier Tage gegen Magnesiumbrand.  
Blaulicht, 3, 2016, S. 4-8
- [3] F. Buhlemann: Magnesium-Brand richtet bei Sonneberg  
Millionenschaden an.  
Thüringer Allgemeine, Ausgabe vom 08.07.2010
- [4] M. Filzen: Feuerwehr löscht Magnesium-Brand im Essener Hafen mit Sand.  
Feuerwehr Essen, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Pressemitteilung vom 20.10.2015
- [5] M. Filzen: Feuehr-Essen: Feuer in Essener Hafenmühle, brennt gelagertes Aluminiumgranulat.  
Feuerwehr Essen, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, Pressemitteilung vom 23.01.2016
- [6] url: <http://www.spiegel.de/sport/fussball/em-qualifikation-italien-vs-kroatien-nach-randale-unterbrochen-a-1003289.html>  
Stand: 06.03.2017
- [7] Norm DIN EN 2:2005-01  
*Brandklassen.*  
Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005
- [8] D. Madrzykowski, D. W. Stroup (Editors): Demonstration of Biodegradable, Environmentally Safe, Non-Toxic Fire Suppression Liquids. R. L. Vettori: Chapter 7 – Class D Fire Suppression Experiments.  
NISTIR 6191, U.S. Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, Gaithersbrug, 1998
- [9] L. Müller, T. Weil, V. Verdingovas: Löschen von Magnesiumbränden mit ABC-Löschpulver? Besser nicht!  
Brandschutz, 6, 2016, S. 421-424
- [10] url:  
[http://www.flameguard.ch/produkte/fireade/fireade\\_einsatzloescher.html](http://www.flameguard.ch/produkte/fireade/fireade_einsatzloescher.html)  
Stand: 60.03.2017

- [11] CWFIRE – SUPPORT GmbH: Einsatzlöscher Polizei Typ P 3.5  
Produktflyer
- [12] POL-DO: Gefahrgutunfall auf der A 1 – Sperrung bis in die  
Abendstunden.  
Pressemeldung Polizei Dortmund, 16.08.2015 – 13:51
- [13] POL-DO: Gefahrgutunfall auf der A 1 – Folgemeldung.  
Pressemeldung Polizei Dortmund, 16.08.2015 – 17:19
- [14] K. Lämmerhirt: Reaktion von Wasserdampf mit Stoffen die bei Kontakt  
mit Wasser eine exotherme Reaktion verursachen.  
Masterarbeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2008
- [15] N. P. Cheremisinoff: Dust Explosion and Fire Prevention Handbook: A  
Guide to Good Industry Practices.  
ISBN: 978-1-118-77350-5, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons  
Inc., 2014
- [16] G. Roßmann: Umgang mit Magnesium – Gefahren und  
Schutzkonzepte, Ein Jahr Praxiserfahrung mit der GDV-Publikation  
VdS 3537.  
S+S report, Heft 3, 2016, 13-17
- [17] Bildquelle:  
[http://w-hoelzel.de/images/images/chemie/00\\_alle\\_klassen/pse-13-  
schule-bunt.pdf](http://w-hoelzel.de/images/images/chemie/00_alle_klassen/pse-13-schule-bunt.pdf)  
freigegeben zur Verwendung:  
© 2017 W. Hölzel - Biologie und Chemie für die Schule
- [18] F. Schuppe: Einsatzgrenzen von Normlöschfahrzeugen bei Bränden  
von Sonderbrandstoffen.  
Instituts – Bericht Nr. 439, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt,  
Heyrothsberge, 2007
- [19] S. J. Rodgers, W. A. Everson: Extinguishment of Alkali metal fires.  
Report APL TDR 64-114, Air Force Aero Propulsion Laboratory,  
Washington, 1964
- [20] J. Holliday: Extinguishing metal fires.  
Fire International, 7, 1965, 12-18
- [21] A. Rempe, M. Döbelmann: Kochsalz (NaCl) als Löschmittel gegen  
Leichtmetallbrände.  
Feuerwehrmann 15 Heft 8, 1965, 212-215
- [22] T. P. Sharma, B. B. Lal, Jagbir Singh: Metal fire extinguishment.  
Fire Technology, Vol. 23, May, 1987, 205-229

- [23] B. S. Varshney, S. Kumar: Studies on the burning behavior of metal powder fires and their extinguishment: Part 1 – Mg, Al, Al-Mg alloy powder fires on sand bed.  
Fire Safety Journal 16, 1990, 93-117
- [24] A. Lehmann,: Systemlösung zur Bekämpfung von Metallbränden.  
TÜ Bd. 51, Nr. 10, Oktober, 2010, 10-11
- [25] C. Zhu, J. Wang, W. Xie, T. Zheng, C.Lv: Improving Strontium Nitrate-based extinguishing aerosol by Magnesium powder.  
Fire Technology, 51, 2015, 97-107
- [26] Norm DIN EN 3-7  
Tragbare Feuerlöscher – Teil 7: Eigenschaften, Leistungsanforderungen und Prüfungen; Deutsche Fassung EN 3-7:2004+A1:2007. Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2007
- [27] Norm ISO 7202:2012-07: Fire protection – Fire extinguishing media – Powder.  
International Organization for Standardization, Genf, 2012
- [28] Norm NFPA 10 (2013): Standard for Portable Fire Extinguishers.  
National Fire Protection Association, Quincy, 2013
- [29] Norm NFPA 484: Standard for combustible metals, metal powders, and metal dusts.  
National Fire Protection Association, Quincy, 2002
- [30] Richtlinie VdS 3537 : 2015-05 (01): Umgang mit Magnesium – Gefahren und Schutzkonzepte  
Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), VdS Schadenverhütung GmbH, Köln, 2015
- [31] Norm UL 299: Dry Chemical Fire Extinguishers.  
UL LLC., Northbrook, 2012
- [32] A. Lehmann: Systemlösung zur Brandbekämpfung von Metallbränden.  
TÜ Bd 51, 10, Oktober, 2010, 10-11
- [33] L. Zinke: PyroBubbles im Test.  
Feuerwehr 7-8, 2011, 43
- [34] S. Wossack: Pyrotechnik in deutschen Stadien – Lösungsansätze für ein „brennendes“ Problem.  
Bachelorarbeit, Hochschule Mittweida, 2014
- [35] Produktdatenblatt FLN W 6 WNA – Wassernebelfeuerlöscher.  
FLN Feuerlöschgeräte Neuruppin Vertriebs-GmbH, Tyco Fire Products

LP, 2013

- [36] Produktdatenblatt EcoPack EP-WM13S (Catalogue no.: E1002)  
Telesto Sp. Z o.o., 2015
- [37] Produktdatenblatt Übungslöscher Typ: Ü 6-2 / Ü 9-2, Ü 6 M-2 / Ü 9 M-2,  
Ü 6 s-2 / Ü 9 s-2  
Brandschutz Heimlich GmbH, 02/2013 (54801)
- [38] Produktdatenblatt W 6 WNA F-500 – Wassernebelfeuerlöscher mit F-  
500.  
FLN Feuerlöschgeräte Neuruppin Vertriebs-GmbH, Tyco Fire Products  
LP, 2013
- [39] Produktdatenblatt EcoPack EP-FM13S (Catalogue no.: E1001)  
Telesto Sp. Z o.o., 2015
- [40] H. Starke, F. Wienecke, R. Grabski: Fein verteiltes Wasser als  
Volumen- und Oberflächenlöschmittel.  
IMK – Bericht Nr. 98, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt,  
Heyrothsberge, 1996
- [41] Z. Liu, A.vK. Kim: A review of water mist fire suppression systems:  
fundamental studies.  
Journal of Fire Protection Engineering, Vol. 10, No. 3, 2000, 32-50.
- [42] G. G. Back: An overview of water mist fire suppression system  
technology – Fundamental studies.  
Halon Options Technical Working Conference (HOTWC 1994)  
proceedings, May 3-5, 1994, Albuquerque, 1994, 327-334
- [43] A. Łada, persönliche Mitteilung, Telesto Sp.zo.o, 2016

# Anhang

## A1: Eigenschaften Alkalimetalle und Erdalkalimetalle sowie Aluminium

Metall	Schmelztemperatur	Siedetemperatur	Schmelztemperatur des Oxids	Flammenfarbe
Lithium	453,9 K	1615 K	1700 K	karminrot
Natrium	371 K	1156 K	1405 K	gelb
Kalium	336,5 K	1032 K	623 K (Zersetzung )	rotviolett
Rubidium	312,79 K	961 K	673 K (Zersetzung)	rot
Caesium	301,7 K	944 K	763 K	blauviolett
Francium	300 K	950 K	unbekannt*	unbekannt*
Beryllium	1551 K	2742 K	2848 K	blendend weiß
Magnesium	923 K	1363 K	3125 K	blendend weiß
Calcium	1112 K	1757 K	2853 K	ziegelrot
Strontium	1042 K	1655 K	2804 K	rot
Barium	1002 K	2170 K	2196 K	fahlgrün
Radium	973 K	2010 K	unbekannt	kaminrot
Aluminium	933,4 K	2792 K	2323 K	blendend weiß

\*Das Element ist sehr kurzlebig, wodurch die Ermittlung von entsprechenden Eigenschaften z. B. nicht realisiert wurde. Speziell zur Flammenfarbe liegen derzeit nur die Angaben zu Spektrallinien vor (vgl. Quelle: J. E. Sansonetti: Spectroscopic Data for Neutral Francium (Fr I), J. Phys. Chem. Ref. Data, Vol. 36, No. 2, 2007, p. 497-507)

## A2: Datenblatt1 [35]

FLNW 6 WNA  
Wassernebel-Feuerlöscher



Neuruppin implementiert die Vorteile der Wassernebel-Technologie in die nächste Generation hochwirksamer Handfeuerlöscher.

Die vielen Vorteile der Wassernebel-Technologie werden in stationären Löschanlagen bereits seit mehreren Jahren für verschiedene Anwendungen genutzt. Wassernebel ist eine effektive und umweltfreundliche Variante des Brandschutzes weil kleinste Wassertropfchen (weit unter 0,1 mm Durchmesser) wegen der deutlich vergrößerten wirksamen Oberfläche des Löschmittels einen maximalen Kühleffekt bieten. Damit verbunden ist eine spürbare Reduzierung der Hitzestrahlung und der elektrischen Leitfähigkeit des Löschmittelstrahles. Folgeschäden aus der Löschmittelenwirkung sind extrem reduziert, da nur reines Wasser in kleinsten Mengen und in Nebelform zur Anwendung kommt.

Der neue Wassernebel-Löcher integriert diese Vorteile in einen Standard-Handfeuerlöscher und bietet darüber hinaus weitere herausragende Merkmale:

- Üblicher Druckbereich von ca. 15 bar
- Schlagknopf mit Pistolenschlauch
- Integrierte Telesko-Technologie
- Überzeugende Löschwirkung

- Umweltfreundlichstes Löschmittel
- Keine Entsorgungsprobleme (reines Wasser)
- Kleinste Wassertropfchen (im Durchschnitt 60 – 80 µm) erzeugen einen Nebel mit einer vielfach größeren wirksamen Löschmitteloberfläche
- Sehr starker Kühleffekt und Schutz gegen Hitzestrahlung
- Keine Sichtbehinderung durch Pulverstaub
- Vergleichbar geringe Folgekosten für Löschmittelbeseitigung und Reinigung nach Brandlöschung oder Vandalismus
- Geringes Risiko hinsichtlich Beschädigung von Geräten, Installationen und Inventar durch das Löschmittel
- Erfüllt die Vorgabe der BGR 133 (zukünftig ASR 2.2), dass bei der Löscherauswahl Folgeschäden zu beachten sind
- Reduziertes Risiko beim Anspritzen elektrischer Anlagen im Vergleich zu üblichen Nass-Löschern
- Kein thermischer Schock (Elektronikschäden)
- Sehr geringe kinetische Energie des Löschmittelstrahles reduziert erheblich Verletzungsrisiken beim Anspritzen von Personen
- Trotzdem 3-5 m Wurfweite des Wassernebels
- Einfache und sichere Bedienung
- Lange Spritzzeit schafft Löschreserven
- Löschpistole sichert die Abstellbarkeit des Löschers zu jedem Zeitpunkt
- Einfache Wartung (Wiederholteile und große Serviceöffnung)
- Spezieller Korrosionsschutz sichert lange Lebensdauer
- Getestet auf 13A, 21B und 40F



FLN Feuerlöschgeräte Neuruppin Vertriebs-GmbH | Martin-Ebell-Str. 4 |  
16816 Neuruppin | Deutschland | +49 (0) 3391/689-0 | www.tfppemea.com  
Copyright© 2013 Tyco Fire Products LP | All rights reserved

### Technische Daten:

Löcherprinzip:	Aufladelöcher
Löschmittelinhalt:	6 Liter
Löschmittel:	Wasser
Zulassungsnummer:	SP 151 / 11 nach DIN EN 3
Temperaturbereich:	+5°C bis +60°C (nicht frostgeschützt)
Einbauhöhe:	510 mm
Einbaubreite:	280 mm
Gewicht (gefüllt):	11,8 kg
Spritzzeit:	ca. 50 Sekunden
Getestete Ratings:	13 A , 21 B , 40 F

Technische Änderungen vorbehalten

# TELESTO WATER MIST EP-WM13S



DATA SHEET

Created: 31.03.2015  
Revised: 30.05.2015

## EcoPack EP-WM13S

Catalogue no.: E1002

Full name: Backpack Extinguishing Device



System type:



Application:



### Technical parameters:

Extinguishing agent	: Water
Nominal charge	: 13 L
Working medium	: Nitrogen
Working pressure	: 15 bar in temp. 20°C
Max. stream range	: 3.5 m
Working duration	: 100 s
Working temperature	: +5°C to +60°C
Storage temperature	: +5°C to +60°C
Total weight	: 24.6 kg

Telesto Sp. z o.o. Ludwiniowska 17, 02-856 Warszawa, Poland  
T: +48 22 6488764 F: +48 22 6488764 E: telesto@telesto.pl  
www.telesto.pl

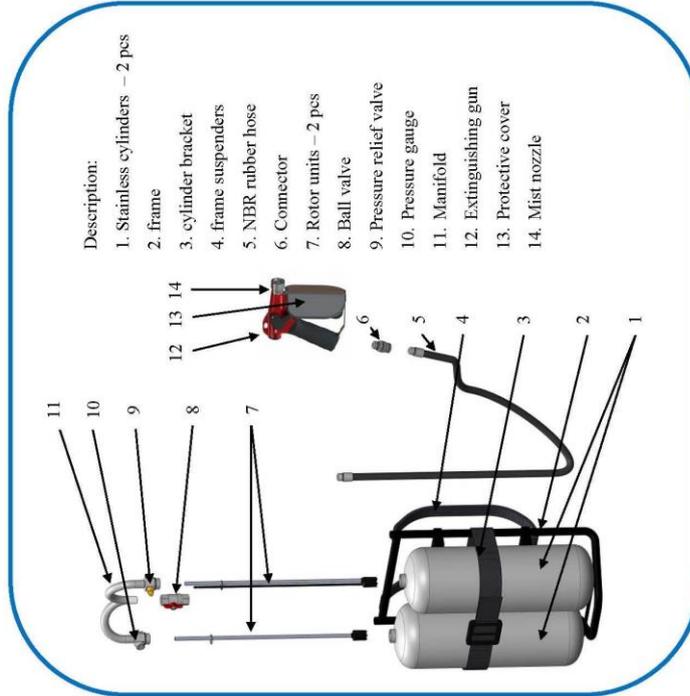
# TELESTO WATER MIST EP-WM13S



DATA SHEET

Created: 31.03.2015  
Revised: 30.05.2015

## STRUCTURE / COMPONENTS



### Description:

1. Stainless cylinders – 2 pcs
2. frame
3. cylinder bracket
4. frame suspenders
5. NBR rubber hose
6. Connector
7. Rotor units – 2 pcs
8. Ball valve
9. Pressure relief valve
10. Pressure gauge
11. Manifold
12. Extinguishing gun
13. Protective cover
14. Mist nozzle

### Application

Fire rating	: 21 A
Types of materials	: Solids
Extinguishing live electrical equipment	: Up to 1000 V from min. 1 m distance

The EcoPack can only be used by trained personnel.

Our products are constantly being developed and improved, therefore we reserve the right to change the technical specifications without prior notice.

Telesto Sp. z o.o. Ludwiniowska 17, 02-856 Warszawa, Poland  
T: +48 22 6488764 F: +48 22 6488764 E: telesto@telesto.pl  
www.telesto.pl

# HEIMLICH®

## Übungslöscher Typ Ü 6-2 / Ü 6 S-2 / Ü 9-2 / Ü 9 M-2



Ü 6-2 / Ü 9-2  
Ü 6 M-2 / Ü 9 M-2  
Ü 6 S-2 / Ü 9 S-2



HEIMLICH® Ü 6-2



HEIMLICH® Ü 9-2



HEIMLICH® Ü 6 S-2



HEIMLICH® Ü 9 S-2

### Technische Daten

**Typ: HEIMLICH® Ü 6-2 / Ü 9 M-2 / Ü 6 S-2**  
 Brennklasse: A  
 Inhalt: 5,7 bis max. 6 L Wasser  
 Treibmittel: N2 / Luft, 0° K bis +60°C  
 Arbeitstemp.: max. 15 bar  
 Funktionsdauer: ca. 35 Sekunden  
 Höhe/Breite/DRM Ü 6: ca. 550/300/160 mm  
 Höhe/Breite/DRM Ü 9 S: ca. 505/285/160 mm

CE

0036

QM-System  
zertifiziert nach  
ISO 9001

### Besondere Merkmale

- durch die Löschnote des Ü 6 S-2 und Ü 9 S-2 ist der Löschmittelstrahl selbst schließend abstellbar und dosierbar.
- durch das Hebelventil des Ü 6-2 / Ü 9-2 / Ü 6 M-2 und Ü 9 M-2 ist der Löschmittelstrahl selbstschließend abstellbar.
- sehr guter Korrosionsschutz durch hochwertige Innenbeschichtung
- hohe Leistung und Zuverlässigkeit durch hochwertige Rohmaterialien.
- HEIMLICH® Feuerlöscher entsprechen dem neuesten Stand der Technik.

Technische Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Ausgabedatum: 02/2013 (6/8/9)

### Anwendung

Die HEIMLICH® Übungslöscher wurden für Schulungszwecke und die optimale Brandschutzausbildung entwickelt.

Der Übungslöscher ist nicht als Feuerlöscher zugelassen, aber aus schließlich mit Wasser bzw. einem Schaum-Wasser-Gemisch gefüllt. Das Gerät wird drucklos über die Behälteröffnung nach Lösen der Überwurfmutter befüllt.

### Beschreibung

Es wird keine CO<sub>2</sub>-Patrone benötigt. Der Übungslöscher wird ausschließlich mit Wasser bzw. einem Schaum-Wasser-Gemisch gefüllt. Das Gerät wird drucklos über die Behälteröffnung nach Lösen der Überwurfmutter befüllt.

Über den SteckmPELLANSchluss an der Armatur (Ü 6-2 / Ü 9-2 / Ü 6 M-2 / Ü 9 M-2) bzw. am Behälter (Ü 6 S-2 und Ü 9 S-2) wird das Gerät mit Druckluft oder Steckstoff bis (15 bar) befüllt.

Nach Entschern des Ventils und Niederdrücken des Auslösehebels wird das Löschmittel unter Druck ausgebracht. Der Löschrstrahl kann jederzeit unterbrochen werden.



Ü 6/9(M)-2



Ü 6/9S-2

### Handhabung Ü 6/9-2 / Ü 6/9M-2

1. Sicherung ziehen
2. Schlauch fassen und Düse aus einem Abstand von 2 - 2,5 m auf den Brand stellen
3. Hebel niederdrücken

### Handhabung Ü 6/9S-2

1. Sicherung ziehen
2. Knopf auf dem roten Knopf drücken
3. Löschnote drücken und lösen

### Instandhaltung

Übungslöscher sind mindestens alle 2 Jahre inklusive aller Zubehörteile wiederkehrend nach den geltenden Instandhaltungsvorschriften zu prüfen.

**Ihr Fachhändler:**



Ü 6-2 / Ü 9-2  
Ü 6 M-2 / Ü 9 M-2  
Ü 6 S-2 / Ü 9 S-2

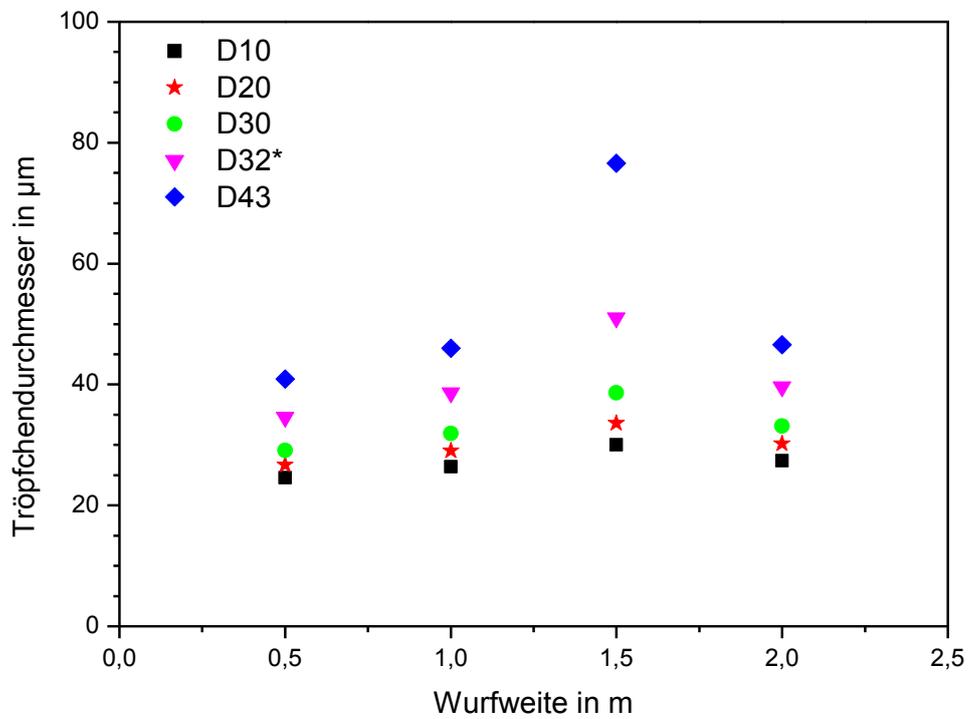


NEU

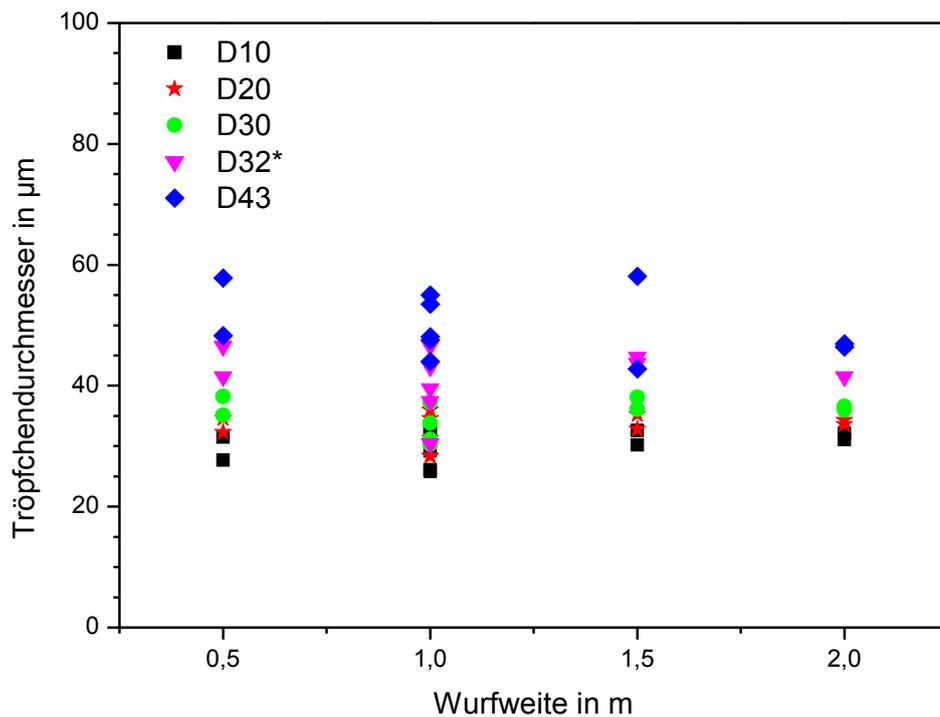
## A5: Tröpfchendurchmesser für die getesteten Feuerlöscher

Ermittelte korrigierte Tröpfchendurchmesser in Abhängigkeit von der Wurfweite

a) Wassernebel-Feuerlöscher FLN W 6 WNA



b) Wassernebel-Feuerlöscher EP-WM13S



c) Wasser-Übungsfeuerlöscher Ü 6 M-2/Ü 9 M-2

