



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Auswahlkriterien für die Schlauchdimension bei Gebrauch in einem Schlauchpaket

*Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen zwei
Angriffsleitungen an einem Verteiler, anhand eines Beispiels*

Bachelorarbeit

Studiengang: Hazard Control / Gefahrenabwehr

Vorgelegt von:

Christoph Blaschke

Matrikelnummer: 2082891

Hamburg

den 27.01.2015

Gutachter: Herr Prof. Dr. Marc Schütte (HAW Hamburg)

Gutachter: Herr Ma. Eng. Dirk Crome

Inhaltsverzeichnis

1. Zusatzverzeichnisse.....	3
1.1 Abkürzungsverzeichnis	3
1.2 Abbildungsverzeichnis	3
1.3 Tabellenverzeichnis	4
1.4 Formelzeichen	5
2 Einleitung	7
3 Hintergrund	8
3.1 Vorbemerkungen	8
3.1.1 Begriffsdefinitionen	8
3.1.2 Materialien	9
3.1.2.1 Schlauchmaterial	9
3.1.2.2 Strahlrohre	12
3.2 Notwendigkeit dieser Arbeit	16
3.3 Theoretische Betrachtung	17
4 Methode.....	27
4.1 Versuchsreihe	28
4.1.1 Versuchsbeschreibung	29
4.1.2 Versuchsdurchführung.....	32
5 Versuchsergebnisse.....	33
6 Diskussion	38
7 Fazit	44
8 Ausblick.....	45
9 Literatur- & Quellenverzeichnis.....	46
10 Eigenständigkeitserklärung	49
11 Anhang	50

1. Zusatzverzeichnisse

1.1 Abkürzungsverzeichnis

SP	Schlauchpaket
ee	eigenerstellt

1.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamtoberfläche von Wassertropfen einer Gesamtmenge von 100l in Abhängigkeit der Tropfengröße. (ee).....	13
Abbildung 2: Aufbau Rundstrahlrohr, schematisch (ee)	14
Abbildung 3: Aufbau Hohlstrahlrohr, schematisch (ee)	15
Abbildung 4: Strahlrohrfunktionskategorien (ee).....	15
Abbildung 5: Reibungsverlust pro Meter Schlauch bezogen auf den Volumenstrom, mit Werten bei 420l/min.(ee).....	22
Abbildung 6: Legende für die Abbildungen 6,7,8 (ee).....	30
Abbildung 7: Aufbau Versuch 1, schematisch (ee).....	30
Abbildung 8: Aufbau Versuch 2, schematisch (ee).....	31
Abbildung 9: Aufbau Versuch 3, schematisch (ee).....	31

1.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zur Verwendung empfohlene Schlauchdimensionen für Feuerwehren in Deutschland(ee).....	10
Tabelle 2: Reibungsverlust pro Meter Schlauch in Abhängigkeit der Schlauchdimension und des Volumenstroms (ee).....	19
Tabelle 3: Theoretische Werte für Pumpenausgangsdruck, Verteilerdruck, Strahlrohreingangsdruck und Volumenstrom am Strahlrohr für die angenommenen Versuche (ee).....	24
Tabelle 4: Mittelwerte der Messergebnisse für Versuch 1 und 2 (Versuchspaar 1) (ee)	33
Tabelle 5: Mittelwerte der Messergebnisse für Versuch 3 und 4 (Versuchspaar 2) (ee)	34
Tabelle 6: Mittelwerte der Messergebnisse für Versuch 5 und 6 (Versuchspaar 3) (ee)	35
Tabelle 7: Versuch 1, Messwerte, C-42 Schlauchpaket an SHO-FLO, zweite Angriffsleitung C-52 (ee).....	50
Tabelle 8: Versuch 2, Messwerte, C-42 Schlauchpaket, zweite Angriffsleitung C-52 an SHO-FLO (ee).....	50
Tabelle 9: Versuch 3, Messwerte, C-52 Schlauchpaket an SHO-FLO, zweite Angriffsleitung C-52 (ee).....	51
Tabelle 10: Versuch 4, Messwerte, C-52 Schlauchpaket, zweite Angriffsleitung C-52 an SHO-FLO (ee).....	51
Tabelle 11: Versuch 5, Messwerte, C-42 Schlauchpaket an SHO-FLO, zweite Angriffsleitung C-42 (ee).....	52
Tabelle 12: Versuch 6, Messwerte, C-42 Schlauchpaket, zweite Angriffsleitung C-42 an SHO-FLO (ee).....	52

1.4 Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
A	m ²	Fläche
d ₀	mm	Öffnungsdurchmesser am Strahlrohrausgang
d _S	m	Durchmesser des Schlauchs
F _{RM}	N	Rückkraft B- Mehrzweckstrahlrohr mit Mundstück
F _{RD}	N	Rückkraft B- Mehrzweckstrahlrohr ohne Mundstück
F _{R1T}	N	Rückkraft Hohlstrahlrohr (420l/min, 6bar) theoretisch
F _{R1P}	N	Rückkraft Hohlstrahlrohr (439,4l/min, 6bar) praktisch
F _{R2T}	N	Rückkraft Hohlstrahlrohr (540l/min, 6bar) theoretisch
F _{R2P}	N	Rückkraft Hohlstrahlrohr (488,5l/min, 6bar) praktisch
F _{Str}	N	Rückkraft Strahlrohr (allgemein)
l _S	m	Länge des Schlauchs
Δp _R	bar	Druckverlust durch Reibung (allgemein)
Δp _{RC42}	bar	Druckverlust durch Reibung im C-42 Druckschlauch
Δp _{RC52}	bar	Druckverlust durch Reibung im C-52 Druckschlauch
Δp _{VpL2}	bar	Druckverlust durch Reibung zwischen Verteiler und Strahlrohr der zweiten Angriffsleitung
Δp _{paPv}	bar	Druckverlust durch Reibung zwischen Pumpe und Verteiler
p _{L2}	bar	Strahlrohreingangsdruck zweite Angriffsleitung
p _{pa}	bar	Pumpenausgangsdruck
p _{SP}	bar	Strahlrohreingangsdruck Schlauchpaket
p _{StrE}	bar	Strahlrohreingangsdruck (allgemein)
p _V	bar	Verteilerdruck
Q	l/min	Volumenstrom (allgemein)
Q _{L2}	l/min	Volumenstrom Strahlrohr 2. Angriffsleitung
Q _{SP}	l/min	Volumenstrom Strahlrohr Schlauchpaket
v	m/s	Strömungsgeschwindigkeit (allgemein)
λ	1	Rohrreibungszahl
ρ	kg/m ³	Dichte

Gender Erklärung

In dieser Arbeit werden alle personenspezifischen Bezeichnungen im Maskulinum verwendet. Diese Formulierung beinhaltet alle Geschlechter und dient lediglich der leichteren Lesbarkeit.

2 Einleitung

Als abschließende Leistung im Studiengang Hazard Control / Gefahrenabwehr gilt es eine schriftliche Arbeit anzufertigen, welche die Fähigkeit des Studenten zeigen soll ein Thema mit ingenieurmäßigen Methoden zu erarbeiten. Hierfür wurde folgender Titel gewählt:

"Auswahlkriterien für die Schlauchdimension bei Gebrauch in einem Schlauchpaket".

Um eine weitere Eingrenzung der Aufgabenstellung und eine Anwendbarkeit auf die Praxis zu erhalten wurde folgender Untertitel hinzugefügt:

"Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen zwei Angriffsleitungen an einem Verteiler, anhand eines Beispiels".

Am Anfang dieser Ausarbeitung stehen einige Informationen zum Hintergrund dieser Arbeit. Dieser Teil beginnt mit Vorbemerkungen, die für ein einheitliches Verständnis verschiedener feuerwehrspezifischer Fachbegriffe sorgen sollen. Darauf folgt eine Beschreibung der Notwendigkeit dieser Arbeit. Im nächsten Schritt soll die Thematik mittels der theoretischen Grundlagen betrachtet werden. Als Grundlage hierfür werden strömungstechnische Formeln sowie Datenblätter der betrachteten Materialien und Werte aus der Fachliteratur verwendet. Danach soll in einem weiteren Kapitel das methodische Vorgehen beschrieben werden, mit welchem die erarbeiteten theoretischen Erkenntnisse verifiziert und auf die Praxis bezogen werden. Dieser Abschnitt beginnt mit einer allgemeinen Beschreibung des methodischen Vorgehens, in dem die Hauptfragestellung sowie die Arbeitshypothese entwickelt werden. Darauf folgt eine Beschreibung der durchgeführten praktischen Versuche. Zur Verifizierung der theoretischen Erkenntnisse sollen nachfolgend die Ergebnisse des praktischen Versuches ausgewertet werden. In einer Diskussion werden im Anschluss an diese Auswertung die Ergebnisse der theoretischen Betrachtung und der praktischen Versuche miteinander verglichen, um ein praxisnahes Ergebnis für die genannte Problemstellung zu finden. Zusätzlich soll hierdurch eine mögliche Abweichung von Theorie und Praxis aufgezeigt werden. Abschließend werden in einem allgemeinen Fazit die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst. Zusätzlich soll durch einen Ausblick aufgezeigt werden, welche weiteren Fragestellungen aus dieser Arbeit hervorgehen oder zur Erweiterung des Gültigkeitsbereichs dieser Arbeit beitragen könnten.

3 Hintergrund

3.1 Vorbemerkungen

Bevor weiter auf die Thematik eingegangen werden kann, sollen einige Begriffe definiert und verwendete Materialien genauer erläutert werden. Dies bezieht sich auf feuerwehrspezifische Begriffe und Materialien. Während die speziellen Begriffe durch eine kurze Definition erklärt werden, sollen die Materialien in ihrer Beschaffenheit näher erläutert werden um auf ihre Eigenschaften, auch im späteren Verlauf, zurückgreifen zu können.

3.1.1 Begriffsdefinitionen

Angriffsleitung

Schlauchleitung, bestehend aus einem oder mehreren Druckschläuchen, welche dazu dient einen Löschangriff vorzunehmen oder ein Strahlrohr zum Eigenschutz zu betreiben.

Atemschutznotfall

Unter einem Atemschutznotfall versteht man alle Situationen, welche nicht dem üblichen und sicheren Vorgehen eines Atemschutzgeräteträgers oder Atemschutztrupps entsprechen. In dieser Situation liegt eine akute Gefährdung der Sicherheit des Atemschutzgeräteträgers oder Atemschutztrupps vor¹.

Außenangriff

Einbringen von Löschmittel von außerhalb eines Raumes oder Gebäudes².

Brandbekämpfung (direkte)

Der Begriff (direkte) Brandbekämpfung beschreibt das unmittelbare Vorgehen zum löschen eines Brandes in einem Gebäude, unter Anwendung einer dynamischen Strahlrohrführung. Hierbei erfolgt ein gezielter Löschmitteleinsatz³.

Extreme Brandereignisse

Unter extremen Brandereignissen versteht man alle Brandereignisse mit starker Auswirkung auf ihre Umgebung. Hierzu zählen Ereignisse, wie: Flashover, Rauchdurchzündung, Backdraft, Rollover.

¹ Reeker und Ridder (2010, S. 238)

² DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 14011 (Juni 2010, S. 16)

³ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 14011 (Juni 2010, S. 16)

Innenangriff

Gezielter Einsatz von Löschmitteln durch Vorgehen in das Innere eines Gebäudes⁴.

Rauchgrenze

Die Rauchgrenze ist die Stelle, bis zu welcher der Rauch vorgedrungen ist. In der Regel liegt diese an einer Tür und stellt die Grenze zum Gefahrenbereich dar. Ab hier soll nur noch unter Verwendung von umluftunabhängigem Atemschutz weiter vorgegangen werden.

Schlauchdimension

Die Schlauchdimension bezeichnet die Größe eines Schlauchs in Bezug auf seinen Innendurchmesser.

Sicherheitstrupp

Bei einem Sicherheitstrupp handelt es sich um einen mit Atemschutzgeräten ausgerüsteten Trupp, welcher die Aufgabe hat, bereits eingesetzten Atemschutztrupps in einem Atemschutznotfall unverzüglich Hilfe zu leisten. Eine Beauftragung mit weiteren Arbeiten ist möglich, sofern der Sicherheitstrupp in der Lage ist weiterhin seine Hauptaufgabe zu erfüllen und der Einsatzerfolg hierdurch nicht gefährdet wird⁵.

3.1.2 Materialien

Im Folgenden sollen die Materialien „Schlauch“ und „Strahlrohr“ kurz vorgestellt werden, um ein einheitliches Verständnis über deren Aufbau, Zweck und Funktionsweise zu schaffen. Auf diese Informationen soll im Verlauf der Arbeit zurückgegriffen werden.

3.1.2.1 Schlauchmaterial

Druckschläuche dienen dazu Wasser unter Druck fortzuleiten. Durch ihren speziellen Aufbau sind sie in der Lage dem benötigten Druck standzuhalten und werden, je nach Verwendungszweck, in unterschiedlichen Durchmessern gefertigt. Einen Überblick über die bei der Feuerwehr verwendeten Schlauchdimensionen sowie deren Durchmesser und Länge (nach Norm⁶) liefert Tabelle 1.

⁴ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 14011 (Juni 2010, S. 16)

⁵ Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung, FwDV 7, (S. 25)

⁶ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 14811 (Januar 2008, S. 10)

Tabelle 1: Zur Verwendung empfohlene Schlauchdimensionen für Feuerwehren in Deutschland(ee)

Schlauchdimension	Durchmesser (in mm)	Länge (in m)
D 25	25	5
		15
C 42	42	15
		20 ^a
C 52	52	15
		20 ^a
B 75	75	5
		20
		35 ^b
A 110	110	20
F 152^c	152	Keine Vorgabe für Schlauchlänge
a Aus ergonomischen Gründen sollte die Verwendung von 20m langen Schläuchen beim C 42 und C 52 vermieden werden b Nur für Hubrettungsfahrzeuge c Die Schlauchlänge beim F 152 ist nicht festgelegt und ist bei der Bestellung anzugeben		

Hierbei ist zu beachten, dass weitere Untergrößen für die einzelnen Dimensionen existieren. Um die Zahl der verschiedenen verwendeten Schlauchdimensionen in Deutschland gering zu halten und eine flächendeckende Materialkompatibilität zu erreichen, sollen nur die in Tabelle 1 genannten Schlauchdimensionen verwendet werden⁷. Da sich somit die Anzahl der Schläuche der Dimensionen D-25, B-75, A-110 und F- 152 auf jeweils eine Dimension reduziert, ist es üblich diese, im allgemeinen feuerwehrtechnischen Sprachgebrauch, nur mit dem führenden Buchstaben zu bezeichnen. Dieses Prinzip soll zur Vereinfachung der Lesbarkeit auch in dieser Arbeit angewendet werden. Zusätzlich zu den Schlauchdimensionen gibt es vorgesehene Storzkupplungen, welche zur Normerfüllung am dazugehörigen Schlauch montiert sein müssen. Gleiches gilt für die Bemessung der Länge eines Schlauchs. Diese dient dazu Schläuche für unterschiedliche Anwendungszwecke bereitzustellen und dafür zu sorgen, dass eine flächendeckende Kompatibilität vorliegt. So dienen zum Beispiel Druckschläuche der Größe B dazu größere Wassermengen über weite Strecken zu transportieren oder große Strahlrohre sowie

⁷ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 14811 (Januar 2008, S. 9)

Wasserwerfer mit Wasser zu versorgen. Um Strahlrohre für einen Innen- oder Außenangriff mit Wasser zu versorgen werden, aufgrund ihres geringeren Gewichts, der kompakteren Lager- und Verlegemöglichkeiten sowie des kleineren Biegeradius im gefüllten Zustand, Schläuche der Dimension C eingesetzt. So wird ein Verteiler von der Pumpe aus mit einem B-Schlauch versorgt um dort den Volumenstrom auf bis zu drei kleinere Leitungen mit flexibleren Eigenschaften aufzuteilen. Es kann hierbei keine Aussage getroffen werden, welche Größe und Länge eines C-Schlauchs am häufigsten für die Nutzung im Schlauchpaket verwendet wird, da hierzu keine Erhebungen vorliegen und jeder Anwender eine eigene Philosophie verfolgt.

Grundlegend kommen allerdings die Schlauchdimensionen C-42 und C-52 zum Einsatz. Aufgrund ihres geringeren Durchmessers sind diese besser geeignet als Druckschläuche der Dimension B. Dies folgt aus der Tatsache, dass sie im gefüllten Zustand, aufgrund ihrer geringeren Kapazität, ein geringeres Gewicht aufweisen und so besser nachgezogen werden können. Des Weiteren liefern sie eine ausreichende Wassermenge für Strahlrohre, die im Innenangriff eingesetzt werden. Liegt der Volumenstrom eines B Schlauchs bei maximal 2400 l/min⁸ und ist damit wesentlich höher als der benötigte Volumenstrom am Strahlrohr (C-Strahlrohr 100-200 l/min, C-Hohlstrahlrohr 50-400 l/min⁹), so liefern C42- Schläuche einen maximalen Volumenstrom von 800 l/min⁸ und C-52 Schläuche einen maximalen Volumenstrom von 1200 l/min⁸. Diese Maximalwerte ergeben sich daraus, dass ein Gebrauch mit höheren Volumenströmen in Bezug auf den steigenden Reibungsverlust nicht mehr ökonomisch sinnvoll und technisch umsetzbar ist. Es würden hierbei solch hohe Reibungsverluste entstehen, dass der benötigte Druck den Prüfdruck der Schläuche überschreiten würde, was ein Platzen des Schlauchs zur Folge hätte¹⁰. Wie bereits erwähnt handelt es sich hierbei um maximale Volumenströme, die im Regelgebrauch nicht genutzt werden, da der Reibungsverlust jeweils so stark ansteigt, dass die Wasserförderung nicht mehr ökonomisch und technisch sinnvoll ist. Beide Dimensionen sollen im Folgenden in Bezug auf ihre Eigenschaften und ihren Aufbau kurz vorgestellt werden.

⁸ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 14811 (Januar 2008, S. 15)

⁹ Schott und Ritter (2003, S. 353)

¹⁰ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 14811 (Januar 2008, S. 12)

Druckschlauch C-42

Wie oben bereits erwähnt, dienen Druckschläuche der Dimension C-42 zur Verbindung und Wasserfortleitung zwischen Verteiler und Strahlrohr.

Grundlegend besteht ein C- 42 Druckschlauch, wie auch jeder andere bei der Feuerwehr verwendete Druckschlauch, aus den beiden Storzkupplungen und dem Schlauchkörper an sich. Sowohl das Loch der Storzkupplung, in diesem Fall eine Kupplung nach DIN 14332–C42, als auch der Schlauchkörper haben einen Innendurchmesser von 42mm¹¹.

Druckschlauch C-52

Der Aufbau des Druckschlauchs der Dimension C-52 unterscheidet sich vom C-42 Druckschlauch insofern, dass er über zwei Storzkupplungen nach DIN 14302-C verfügt und Kupplung, sowie Schlauchkörper einen Innendurchmesser von 52mm aufweisen¹¹.

3.1.2.2 Strahlrohre

Die zwei Haupttypen von Strahlrohren, die bei der Feuerwehr in Deutschland zum Einsatz kommen, sind Rundstrahlrohre und Ringstrahldüsen. Für die Brandbekämpfung wird empfohlen, dass bei Strahlrohren, die mit Normaldruck (<20 bar) arbeiten, die produzierten Wassertropfen einen mittleren Durchmesser von 0,3mm¹² haben sollten. Grund dafür ist, dass die Gesamtoberfläche des abgegebenen Wassers umso größer ist, je kleiner der Durchmesser der Tropfen pro Mengeneinheit Wasser ist. Zusätzlich haben Versuche gezeigt, dass mit Tropfen dieser Größe ein sehr guter Löscherfolg erzielt wird¹². Verdeutlicht werden kann die Abhängigkeit der Oberfläche vom Tropfendurchmesser durch folgendes Diagramm:

¹¹ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 14811 (Januar 2008, S. 10)

¹² Grimwood (2002, S. 19)

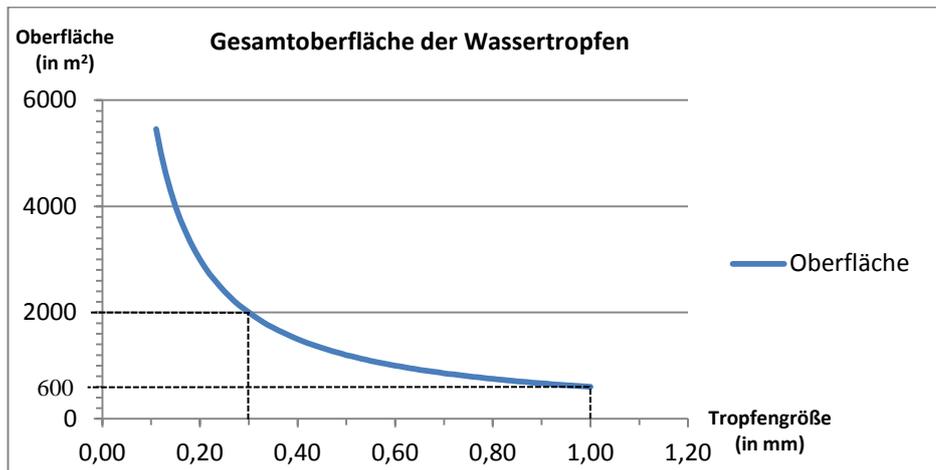


Abbildung 1: Gesamtoberfläche von Wassertropfen einer Gesamtmenge von 100l in Abhängigkeit der Tropfengröße. (ee)

Zusätzlich bieten Tropfen dieser Größe den Vorteil, dass sie aufgrund ihrer Masse nicht zu schnell verdampfen und hierdurch eine längere Wegstrecke durch den Raum zurücklegen können. Mehrzweckstrahlrohre produzieren, bei eingestelltem Sprühstrahl, Wassertropfen in einem Bereich zwischen 0,3mm und 1mm¹³. Bei Hohlstrahlrohren liegt jedoch der mittlere Tropfendurchmesser bei 0,3mm¹⁴, also nahezu fest bei dem geforderten Optimum. Betrachtet man diese beiden Werte im oben abgebildeten Diagramm (Abb.1) so lässt sich erkennen, dass die Gesamtoberfläche bei einem mittleren Tropfendurchmesser von 0,3mm mehr als dreimal so groß ist (1,0mm = 600m²; 0,3mm = 2000m²), wie bei Tropfen mit einem mittleren Durchmesser von 1,0mm. Hieraus ergibt sich für den Vergleich zwischen Mehrzweckstrahlrohr und Hohlstrahlrohr, dass bei Verwendung des Hohlstrahlrohres zum Einen mehr Angriffsfläche für die vom Feuer ausgehende Wärmestrahlung verfügbar ist, zum Anderen die Wassertropfen eine optimale Größe haben, um während ihres Fluges zu verdampfen. Dies ist von Bedeutung, da eine höhere Kühlwirkung erzielt werden kann, wenn die Wassertropfen in den Brandgasen verdampfen¹⁵. Hierbei spricht man von einer Gasphasenkühlung, welche zum Ziel hat die Raumtemperatur im Brandraum herabzusetzen, um so extreme Brandereignisse zu verhindern¹². Zusätzlich kann hierdurch ein Entzug von Wärmeenergie aus Rauch und Feuer erreicht werden, der die Temperatur unter

¹³ DeVries (2000, S. 24)

¹⁴ Südmersen (2004, S. 142)

¹⁵ Grimwood (2002, S. 18)

1326°C¹⁶ senkt und dadurch das Feuer erlöschen lassen kann¹⁷. Wichtig ist an dieser Stelle der Prozess des Verdampfens, da hierfür die meiste Energie benötigt wird¹⁸.

Wie der Name bereits sagt, bilden Rundstrahlrohre (Abb.2) einen runden Strahl, der auch innen mit Wasser gefüllt ist. Grundlegend sind sie nichts anderes, als eine einfache Düse. Durch ein drehbares Schaltorgan im Inneren kann zwischen dem sogenannten „Vollstrahl“, „Sprühstrahl“ (wird erreicht durch Zwischenschalten eines Störkörpers¹⁹) und „Wasser halt“ (Durchfluss unterbrochen) gewechselt werden²⁰. Jedem Mehrzweckstrahlrohr einer Größe (B, C, D; bezieht sich auf die Größe des Strahlrohres und die Größe der Storkupplung) sind zwei Durchflusswerte zugeordnet. Zwischen diesen Werten kann nur umgeschaltet werden, indem das Strahlrohr geschlossen und das Mundstück des Strahlrohres auf- oder abgeschraubt wird.

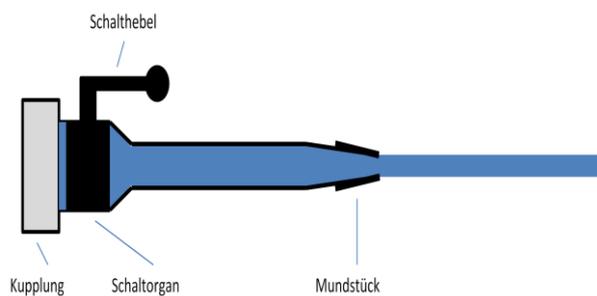


Abbildung 2: Aufbau Rundstrahlrohr, schematisch (ee)

Ringstrahldüsen hingegen bilden am Ausgang durch einen kegelförmigen Störkörper (Abb.3) einen hohlen Wasserstrahl (daher die Bezeichnung „Hohlstrahlrohr“, welche im Folgenden verwendet werden soll), der auch bei einem Strahlwinkel von 0° (dieser wird analog zum Rundstrahlrohr als „Vollstrahl“ bezeichnet) aus Wassertropfen besteht.

¹⁶ Drysdale (1985, S. 222–225)

¹⁷ Mawhinney, Dlugogorski und Kim (S. 51)

¹⁸ DeVries (2000, S. 20)

¹⁹ DeVries (2000, S. 126)

²⁰ Thorns (2012, S. 372)

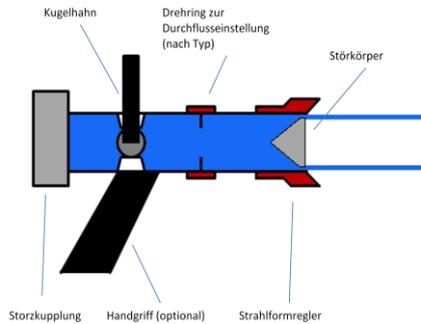


Abbildung 3: Aufbau Hohlstrahlrohr, schematisch (ee)

Ziel der komplexeren Strahlbildung bei Hohlstrahlrohren ist, dass am Arbeitspunkt (ablesbar in den Bedienungsanleitungen, gibt einen bestimmten Punkt im Volumenstrom → Druck Diagramm an) eine Tropfengröße von 0,3mm erreicht wird. Zusätzlich soll durch die Verstellbarkeit des Strahlkegels eine höhere Flexibilität und Anpassungsfähigkeit für verschiedene Situationen gewährleistet werden. Nach ihrer Funktionsweise werden Hohlstrahlrohre in 5 Kategorien unterteilt (Abb.4).

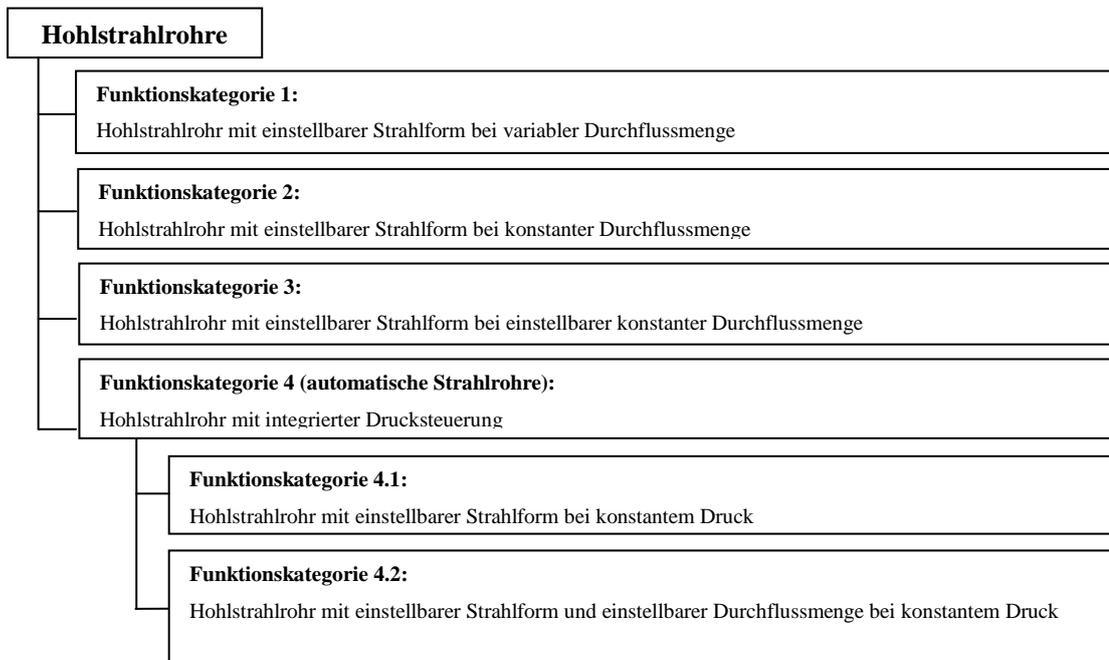


Abbildung 4: Strahlrohrfunktionskategorien (ee)²¹

Alle Hohlstrahlrohre besitzen gegenüber dem Mehrzweckstrahlrohr einige Vorzüge betreffend ihrer Handhabung und der Variabilität des Volumenstroms und/ oder der Strahlform im laufenden Einsatz. Aufgrund der genannten Vorteile werden vorzugsweise Hohlstrahlrohre für die Brandbekämpfung und dementsprechend auch

²¹ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN 15182-2 (April 2010a, S. 4f)

im Schlauchpaket eingesetzt. Ein weiterer Grund für die vorzugsweise Verwendung von Hohlstrahlrohren für die Brandbekämpfung im Innenangriff ist der Punkt, dass Mehrzweckstrahlrohre den vorgehenden Kräften nicht genug Schutz bieten²². Da bei der Betrachtung und im Versuch automatische Hohlstrahlrohre der Funktionskategorie 4.2 verwendet werden, soll die Automatik zum Druckerhalt näher erläutert werden. Automatische Hohlstrahlrohre sorgen für einen konstanten Ausgangsdruck am Strahlrohr. Hierfür ist der Störkörper am Strahlrohrausgang auf einer Feder entlang der Längsachse gelagert, welche den Störkörper nach innen zieht. Steigt nun der Druck im Strahlrohr, so wird die Öffnungsweite durch nach Außen drücken des Störkörpers vergrößert. Dies hat zu Folge, dass der Strahlrohrdruck am Ausgang konstant bleibt und der Volumenstrom sich abhängig der Öffnungsweite verändert²³. Dieser Verlauf ist im Druck-/ Durchflussdiagramm des Herstellers ablesbar²⁴.

3.2 Notwendigkeit dieser Arbeit

Seit einigen Jahren hält das Schlauchpaket Einzug in den Gebrauch deutscher Feuerwehren. Die Herkunft kann nicht einwandfrei nachgewiesen werden, allerdings wird sie in den Vereinigten Staaten von Amerika vermutet, da hier schon lange Schläuche in derart aufgerollter Form oder in Buchten gelegt Verwendung finden.

Bei einem Schlauchpaket handelt es sich um ein System zum schnellen und platzsparenden Aufbau von Angriffsleitungen bei Brandeinsätzen. Hierfür wird ein Schlauch der Größe C-42 oder C-52 in einer Schnecke gelegt und mittels Klett- oder Kleband in dieser Form fixiert. Die Länge des Schlauchs variiert hierbei, je nach Philosophie der anwendenden Feuerwehr, zwischen 15m und 35m. Zusätzlich zum Schlauch ist an einem Ende, in der Mitte der gelegten Schnecke liegend, bereits ein Strahlrohr (in der Regel ein Hohlstrahlrohr) angekuppelt. Je nach gewählter Form befindet sich am anderen Ende entweder nur die Kupplung oder zusätzlich ein Absperrorgan. Dieses Absperrorgan dient dazu, dass das Schlauchpaket vor Ort vom Trupp selbst kontrolliert mit Wasser gefüllt werden kann, nachdem es ausgepackt und bereitgelegt wurde. Ein weiterer Grund für die Anwendung ist, dass je nach Lage der Rauchgrenze eventuell schon einige C-Schläuche vom Verteiler bis dorthin verlegt

²² DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN 15182-3 (April 2010b, S. 4)

²³ DeVries (2000, S. 141)

²⁴ Anhang 2, Druck-/ Durchflussdiagramm "Hamburg Force"

worden sind. Durch ankuppeln und schließen des Absperrorgans wird es möglich die nun bestehende Leitung schon mit Wasser zu füllen, während das Schlauchpaket noch vorbereitet wird. Daraus folgend handelt es sich hierbei um ein System, welches in der Lage ist die Arbeitsschritte zu optimieren, da mehrere Vorgänge gleichzeitig ablaufen können. Zusätzlich kann es in engen Platzverhältnissen, z.B. Treppenträumen und engen Fluren, eingesetzt werden. Hierzu kann das Schlauchpaket wahlweise auf dem Boden liegend oder aufrecht an der Wand stehend, der sogenannten „Standlage“, einsatzbereit gemacht werden.

Den nun genannten Eigenschaften und Vorteilen stehen allerdings Fragen gegenüber, welche bisher noch nicht geklärt sind und im Einsatz Schwierigkeiten erzeugen können. Problematisch ist hierbei, dass das System „Schlauchpaket“ meist nur isoliert und eigenständig betrachtet wird. Es gibt bisher keinerlei veröffentlichte Untersuchungen, welche Wechselwirkungen mit gleichzeitig verwendeten anderen Systemen aufzeigen. Auch in der oben genannten Beschreibung wird lediglich der Aufbau einer ersten Angriffsleitung von einem Verteiler beschrieben. Allerdings kann es dazu kommen, dass ausgehend vom selben Verteiler eine oder mehrere weitere Leitungen vorgenommen werden müssen. Sei es zum Einsatz eines weiteren Trupps zur Brandbekämpfung oder bei Einsatz des Sicherheitstrupps im Falle eines Atemschutznotfalls. Sollten hierbei unterschiedliche Schlauchdimensionen bei den beiden Leitungen zum Einsatz kommen oder gar kombiniert werden (Angriffstrupp nimmt Schlauchmaterial in einer anderen Dimension vom Verteiler bis zur Rauchgrenze vor als beim Schlauchpaket), könnte dies möglicherweise Auswirkungen auf den optimalen Betrieb der Strahlrohre haben. An diesem Punkt soll diese Arbeit ansetzen.

3.3 Theoretische Betrachtung

Am Anfang soll hierfür eine theoretische Betrachtung von Eigenschaften der einzelnen Bestandteile des Schlauchpaketes erfolgen. In dieser Betrachtung wird ermittelt von welchen Faktoren die Eigenschaften der einzelnen Bestandteile abhängig sind. Hierdurch soll festgestellt werden, welche Ursachen (Änderungen der Faktoren und damit Änderung der Eigenschaften der Bestandteile) zu welchen Auswirkungen (Einfluss auf das Gesamtsystem) führen. Dazu werden die Eigenschaften der Bestandteile "Druckschlauch" und "Hohlstrahlrohr" betrachtet. Anhand von strömungstechnischen Formeln und Literaturwerten sollen dann diese Eigenschaften auf den praktischen Gebrauch bezogen werden. Hierdurch sollen auf

theoretischer Basis die Eigenschaften der Materialien im Zusammenspiel und unter Betrachtung eines praxisnahen Szenarios entwickelt werden. Des Weiteren soll im Anschluss betrachtet werden, ob es theoretisch zu Wechselwirkungen beim gleichzeitigen Gebrauch unterschiedlicher Schlauchdimensionen an einem Verteiler kommen kann. Zusätzlich werden zum Abschluss die Auswirkungen auftretender Wechselwirkungen analysiert.

Diese theoretische Betrachtung soll anhand einiger Fragen erfolgen, die im folgenden dargestellt werden. Durch diese Fragen soll eine Aufteilung in einzelne Betrachtungen erfolgen, welche dann durch kausale Verknüpfung zu einem Ergebnis, in Bezug auf die theoretischen Vorgänge führen sollen. Diese Fragen basieren auf den bisher genannten Inhalten über die einzelnen Bauteile und sollen in der theoretischen Betrachtung beantwortet werden.

1. Welche Eigenschaften von Schläuchen sind von Bedeutung?
2. Von welchen Faktoren sind die Eigenschaften Reibungsverlust, Gewicht und Biegeradius von Schläuchen abhängig?
3. Welche Auswirkungen haben diese Eigenschaften theoretisch, wenn man das Schlauchpaket isoliert betrachtet und annimmt, dass es ohne zweite Angriffsleitung eingesetzt wird.
4. Welche Auswirkungen haben diese Eigenschaften theoretisch, wenn man neben dem Schlauchpaket eine weitere Angriffsleitung vornimmt?
5. Können in diesem Fall zu Wechselwirkungen entstehen?
6. In welcher Form wirken sich diese Wechselwirkungen, sofern vorhanden, auf die Handhabung und die Sicherheit bei der Bedienung aus?

Betrachtet man den Bestandteil Schlauch an sich, so stellt man fest, dass für diesen einige Werte von Bedeutung sind. So sind dies der Durchmesser, der Volumenstrom, die Länge, der daraus resultierende Reibungsverlust bezogen auf die Länge und der hierdurch benötigte Druck um den Reibungsverlust auszugleichen. Diese Werte sind für verschiedene Schlauchdimensionen, unterteilt in einzelne Stufen von Volumenströmen, tabelliert (Tab.2). Einzig der benötigte Druck zum Ausgleich des Reibungsverlustes nicht, da dieser gleich dem Reibungsverlust selber ist oder für das Gesamtsystem aus der Summe aller Druckverluste berechnet werden kann. Im Hinblick auf die Eigenschaften des Schlauchs ergibt sich hieraus, dass der Reibungsverlust eine wichtige Rolle spielt.

Zusätzlich muss betrachtet werden, welches Gewicht ein Schlauch im gefüllten Zustand aufweist, da hiervon die Reibung auf dem Boden abhängig ist. Dies kommt zu tragen, wenn der Schlauch beim Vorgehen des Trupps über den Boden nachgezogen wird. Hinzu kommt der Biegeradius, welcher einen Aufschluss darüber liefern kann, wie beweglich der Schlauch ist. Vor allem zur Betrachtung der Beweglichkeit mit dem Strahlrohr bei der Brandbekämpfung und dem ziehen des Schlauchs um Ecken ist dies von Bedeutung.

Tabelle 2: Reibungsverlust pro Meter Schlauch in Abhängigkeit der Schlauchdimension und des Volumenstroms (ee)

Volumenstrom (in l/min)	Reibungsverlust C-42 (in bar/m)	Reibungsverlust C-52 (in bar/m)
100	0,006	0,002
200	0,023	0,006
300	0,050	0,012
400	0,088	0,020
500	0,138	0,033
600	0,200	0,048
700		0,065
800		0,085
900		0,109
1000		0,135
1100		0,165
1200		0,200

Die Werte in dieser Tabelle (Tab.2) entsprechen den Herstellerangaben der Firma Eschbach²⁵ und stellen einen Faustwert zur schnellen Berechnung dar, welcher für den Gebrauch in dieser Arbeit auf den Reibungsverlust pro Meter Schlauch umgerechnet sind. Diese Tabelle beruht auf der Reibungsverlusttabelle einer

²⁵ ESCHBACH

zurückgezogenen Norm²⁶. Um eine größtmögliche Sicherheit bei der Betrachtung zu erhalten werden diese gerundeten Maximalwerte verwendet, da die realen Werte in der Regel darunter liegen werden. Durch neue und moderne Fertigungsverfahren, z.B. zusätzliche Neoprenbeschichtung auf der Innenseite der Schläuche²⁷, werden diese Werte bei weitem unterschritten. Da die Werte der zurückgezogenen DIN 14811-1 einen fundierten Maximalwert darstellen und damit den ungünstigsten Fall beschreiben, sollen diese für die Betrachtung verwendet werden. Hierdurch wird gewährleistet, dass eine Abschätzung bezüglich des maximalen Gefährdungspotenzials unter normalen Anwendungsbedingungen getroffen werden kann. Um den Reibungsverlust in einem Schlauch zu berechnen gilt folgende allgemeine Formel:

$$(1) \Delta p_R = \lambda * \frac{l_S}{d_S} * \frac{\rho}{2} * v^2 \quad 28$$

Man kann durch diese Formel erkennen, dass der Reibungsverlust von folgenden Faktoren abhängig ist:

1. Reibungszahl (λ)
2. Länge des Schlauchs (l_S)
3. Durchmesser des Schlauchs (d_S)
4. Dichte des Fluids (ρ)
5. Strömungsgeschwindigkeit des Fluids (v)

Betrachtet man diese einzelnen Faktoren, so lässt sich feststellen, dass die Reibungszahl sowie die Dichte des Fluids tabellierte Konstanten sind und nicht durch die Feuerwehr im Einsatz beeinflusst werden können. Zusätzlich taucht in dieser Formel die Strömungsgeschwindigkeit auf, welche sich nach folgender Formel berechnen lässt:

$$(2) v = \frac{Q}{A} \quad 29$$

Die Strömungsgeschwindigkeit setzt sich demnach aus dem Volumenstrom (Q) und der durchströmten Fläche (A) zusammen.

²⁶ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN 14811-1 (Januar 1999)

²⁷ Albert Ziegler GmbH (S. 3), "Zweischichtgummierung"

²⁸ Bohl und Elmendorf (2008, S. 152)

²⁹ Bohl und Elmendorf (2008, S. 153)

Im Bezug auf die Beeinflussbarkeit durch die Feuerwehr lassen sich also folgende Faktoren festhalten:

1. Länge des Schlauchs
2. Durchmesser des Schlauchs
3. Volumenstrom
4. Indirekt: Reibungszahl, durch Beschaffung von Schläuchen mit speziellen Beschichtungen zur Reduzierung des Reibungswiderstandes

Die Länge einer Schlauchleitung kann durch zusammenkuppeln mehrerer Schläuche verändert werden, während der Durchmesser vom jeweils verwendeten Schlauchmaterial der Feuerwehr abhängig ist. Der Volumenstrom wird durch die Auswahl des Strahlrohres oder dessen Einstellung vorgegeben. Dies resultiert daraus, dass durch das Strahlrohr der maximal mögliche Durchfluss (siehe Tab.2) auf den am Strahlrohr eingestellten oder technisch möglichen Wert limitiert wird.

Eine weitere Eigenschaft, welche für den Einsatz beachtet werden sollte, ist das Gewicht des Schlauchs im gefüllten Zustand. Da die Innendurchmesser bekannt sind, lässt sich das Gewicht pro Meter Schlauch im gefüllten Zustand für C-42 und C-52 Schläuche berechnen, indem man zunächst das Volumen (in Liter) eines Meters Schlauch ausrechnet und dieses dann mit der Masse von Wasser pro Liter (1kg/l) multipliziert und das Eigengewicht des Schlauchs (Maximalwert aus DIN 14811) addiert. Durch einsetzen der zugehörigen Werte ergibt sich für einen C-42 Schlauch im gefüllten Zustand ein Gewicht von 1,66 kg/m und für einen C-52 Schlauch im gefüllten Zustand ein Gewicht von 2,47 kg/m. Eine Veränderung des Gewichtes kann demnach nur durch die Auswahl der Schlauchlänge oder den Gebrauch von leichterem Schlauchmaterial erfolgen. Die Verwendung von leichterem Schlauchmaterial bringt jedoch nur eine kleine Änderung hervor, da das Eigengewicht des Schlauchs nur ca. 16%, bei einem C-42 Schlauch und ca. 14% bei einem C-52 Schlauch des Gesamtgewichts pro Meter ausmacht.

Für die Betrachtung des Biegeradius von Schläuchen, wird die Knickfestigkeitsprüfung nach DIN 14811 herangezogen. Diese Prüfung dient dazu festzustellen, ob ein Schlauch sich in einem gewissen Außenradius, bezogen auf seinen Innendurchmesser, biegen lässt, ohne das dabei Knicke im Schlauch entstehen. Dies lässt sich auf den Gebrauch im Einsatz übertragen, denn auch hier muss der Schlauch ohne Entstehung von Knicken gebogen werden können. Diese Knicke würden den Durchmesser reduzieren und den Durchfluss von Wasser

behindern. Biegungen im Schlauch werden immer dann nötig, wenn der Schlauch um Ecken geführt werden muss, oder der Trupp mit dem Strahlrohr arbeitet. Daher ist die Biegsamkeit eines Schlauchs eine entscheidende Größe für die Handhabbarkeit während des Einsatzgeschehens. Der Test nach DIN 14811 stellt auch hierbei wieder eine Maximalgrenze dar und eignet sich zum Vergleich der beiden Schlauchgrößen C-42 und C-52 in Bezug auf ihre Biegsamkeit. In diesem Test werden die Schläuche in einer Testvorrichtung mit einem Druck von 10bar beaufschlagt und müssen einen Biegeradius (Außenmaß des Schlauchs) vom 10-fachen des Innendurchmesser knickfrei aufweisen. Rechnet man diese Werte aus, so erhält man für einen C-42 Druckschlauch einen geforderten Biegeradius von 0,42m und für einen C-52 Druckschlauch von 0,52m. Eine Aussage über die benötigte Kraft zum biegen des Schlauchs kann hier nicht getroffen werden.

Betrachtet man die oben genannten Faktoren nur in Bezug auf die Verwendung eines Schlauchpaketes, so ist die Auswahl der Schlauchdimension nur von den Eigenschaften Gewicht und Biegeradius abhängig. Nimmt man das Szenario, welches für den Versuch zugrunde gelegt wird an und betrachtet nur die Verwendung des Schlauchpaketes, so stellt man fest, dass der Reibungsverlust keine Rolle spielt. Um die Werte für 420l/min zu ermitteln werden die Werte aus Tabelle 2 hier noch einmal graphisch dargestellt (Abb.5), um die Reibungsverluste pro Meter ablesen zu können.

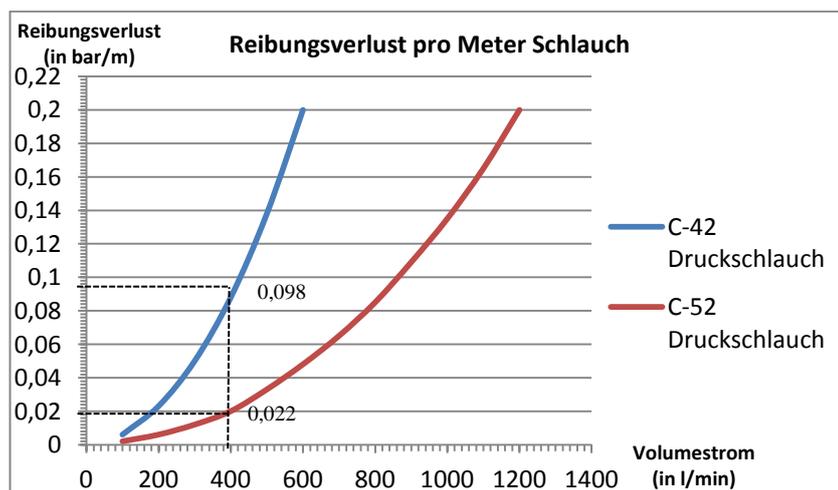


Abbildung 5: Reibungsverlust pro Meter Schlauch bezogen auf den Volumenstrom, mit Werten bei 420l/min. (ee)

Es lassen sich im Diagramm (Abb.5) 0,098 bar/m für den C-42 Druckschlauch und 0,022 bar/m für den C-52 Druckschlauch ablesen. Der Reibungsverlust des Schlauchpaketes (35m Länge) beträgt also für einen C-42 Druckschlauch

$\Delta p_{RC42}=3,43$ bar und für einen C-52 Druckschlauch $\Delta p_{RC52}=0,77$ bar bei einem Volumenstrom von 420 l/min. Die Schlauchlänge von 35m wurde hierbei bewusst gewählt. Sie folgt aus Regelung, dass Fluchtwege in Wohngebäuden eine maximale Länge von 35m, ausgehend von jeder Stelle in der Wohnung, haben dürfen³⁰. Somit ist der Trupp mit einem Schlauchpaket dieser Länge in der Lage jeden Punkt der Wohnung zu erreichen. Diese beiden Reibungsverlustwerte unterscheiden sich zwar erheblich, allerdings ist eine Feuerlöschkreiselpumpe ohne weiteres in der Lage den höheren Druckverlust des C-42 Schlauchs auszugleichen. Auch der rechnerisch benötigte Pumpenausgangsdruck (bestehend aus Reibungsverlust des B-Schlauchs, Reibungsverlust des Schlauchpaketes und benötigtem Strahlrohdruck) von 9,63³¹ bar, bei Verwendung eines C-42 Druckschlauchs, liegt im Leistungsbereich einer Feuerlöschkreiselpumpe. Vielmehr spielen hierbei jene Kriterien eine Rolle, welche die Arbeitsergonomie betreffen. So hat der C-42 Druckschlauch ein Gesamtgewicht von 58,1 kg und der C-52 Druckschlauch ein Gesamtgewicht von 86,45 kg. Zusätzlich hierzu besitzt der C-42 Druckschlauch, wie oben erwähnt, einen kleineren Biegeradius. Hinzu kommt, dass die Versorgung des Strahlrohres mit 420 l/min bei 6 bar Strahlrohreingangsdruck sichergestellt ist.

Bezieht man jetzt die Verwendung einer zweiten Angriffsleitung vom selben Verteiler in die Betrachtung mit ein, so müssen auch hier alle drei möglichen Kombinationen von Schlauchdimensionen betrachtet werden. Zu beachten ist, dass es durch die unterschiedlichen Reibungsverluste in den beiden Angriffsleitungen, bei Verwendung unterschiedlicher Dimensionen zu einer Änderung in den Volumenströmen kommen muss. Dies folgt aus der Tatsache, dass der Pumpenausgangsdruck und der Druck am Verteiler gleich bleiben (bezogen auf die verwendete Schlauchpaarung, unter Verwendung einer Druckhalteautomatik³²) und sich der Druck am jeweiligen Strahlrohreingang aus der Differenz von Verteilerdruck und dem jeweiligen Reibungsverlust der Schlauchleitung ergibt (Formel 3, S.24). Grund hierfür ist, dass automatische Strahlrohre mit Druckregulierung bei steigendem Strahlrohreingangsdruck die Öffnungsweite der Düse vergrößern, um den Strahlrohrausgangsdruck konstant zu halten.

³⁰ Bauministerkonferenz (S. 30)

³¹ Reibungsverlust B-Schlauch 0,2 bar (Druckverlusttabelle Quelle: ESCHBACH), benötigter Strahlrohdruck 6 bar (Datenblatt Firma Leader „Hamburg Force Hohlstrahlrohr“)

³² Die Druckhalteautomatik hält den Pumpenausgangsdruck konstant. Bei Zuschalten der zweiten Angriffsleitung würde der Pumpenausgangsdruck um den Wert des Reibungsverlustes der zweiten Leitung sinken.

$$(3) p_{StrE} = p_V - \Delta p_R$$

Durch den hieraus ermittelten Strahlrohreingangsdruck kann dann im Druck-Durchflussdiagramm des Strahlrohres³³ der zugehörige Durchfluss abgelesen werden. Die abgelesenen Werte stellen hierbei nur Annäherungswerte dar. Eine genauere Bestimmung ist Aufgrund fehlender Formeln und einer genaueren Grafik nicht möglich.

Die Ergebnisse stellen sich dann theoretisch wie folgt dar:

Tabelle 3: Theoretische Werte für Pumpenausgangsdruck, Verteilerdruck, Strahlrohreingangsdruck und Volumenstrom am Strahlrohr für die angenommenen Versuche (ee)

	Kombination 1		Kombination 2		Kombination 3	
P_{pa} (in bar)	9,73		6,97		9,63	
P_V (in bar)	9,43		6,77		9,43	
Schlauchdimension	C-42 (SP)	C-52	C-52 (SP)	C-52	C-42 (SP)	C-42
p_{StrE} (in bar)	6	8,66	6	6	6	6
Q_{Str} (in l/min)	420	520	420	420	420	420

Wie man erkennen kann (Tab.3) kommt es bei Verwendung unterschiedlicher Schlauchdimensionen zu Druckunterschieden und daraus resultierend auch zu Volumenstromunterschieden. Zusätzlich muss beachtet werden, dass durch die Erhöhung des Volumenstroms auch der Druckverlust innerhalb des B-Druckschlauchs steigt. Da aber der Strahlrohreingangsdruck des Schlauchpaketes konstant auf 6bar gehalten werden soll, ändert sich hierdurch nur der Pumpenausgangsdruck mit einer Erhöhung von 0,1bar³⁴.

Des Weiteren handelt es sich bei dem Volumenstrom von 520l/min um den erreichten Spitzenwert. Durch den erhöhten Volumenstrom im C-52 Druckschlauch würde der Reibungsverlust in selbigem steigen. Dies hätte wiederum eine Verringerung des Volumenstroms zur Folge. Der Wert würde anscheinend um einen gewissen Punkt herum minimal schwanken. Da es aber um die Betrachtung der maximal möglichen

³³ Anhang 2, Druck-/ Durchflussdiagramm "Hamburg Force"

³⁴ Ungefährer Wert bei 920l/min nach Druckverlusttabelle Firma Eschbach, Vgl.: ESCHBACH

Auswirkungen geht, wird der Spitzenwert von 520l/min verwendet. Es lässt sich feststellen, dass es bei Verwendung von unterschiedlichen Schlauchdimensionen theoretisch zu Wechselwirkungen kommt.

Durch eine unbewusste Erhöhung des Durchflusses kann es zu folgenden Auswirkungen kommen:

1. Der Wasserschaden erhöht sich, da mehr Wasser abgegeben wird als dem Trupp bewusst ist
2. Die Rückkraft des Strahlrohres wird erhöht, wodurch es mehr Kraft benötigt es zu halten und/ oder es zu bewegen.

Hierbei stellt die Erhöhung der Rückkraft eine Gefährdung für Einsatzkräfte dar. Sofern das Rohr nicht mehr kontrolliert werden kann, ist kein gezieltes Löschen mehr möglich. Zusätzlich kann es dazu führen, dass der Trupp das geöffnete Rohr aus der Hand verliert und dieses unkontrollierbar umher schlägt.

Zur genaueren Betrachtung sollen die Ausmaße der Rückkrafteerhöhung im Bezug auf die theoretischen Werte betrachtet werden. Um Vergleichswerte zu erhalten, wird im folgenden Teil ein anderer, bei der Feuerwehr verwendeter Strahlrohrtyp herangezogen.

Ein Strahlrohr mit vergleichbaren Durchflussmengen ist das B-Mehrzweckstrahlrohr, welches einen Volumenstrom von 400l/min mit Mundstück und 800l/min ohne Mundstück bei einem Strahlrohreingangsdruck von 5bar liefert³⁵. Zur Vermeidung von Gefahren durch die auftretende Rückkraft ist es Vorschrift ein B-Strahlrohr entweder mit drei Personen zu halten oder einen Stützkrümmer zu verwenden und mit zwei Leuten zu halten. Wobei ein Trupp, auch im Atemschutzeinsatz, grundsätzlich aus zwei Personen besteht³⁶. Zusätzlich muss hinter dem B- Strahlrohr eine Schlauchstrecke von mindestens 5m gerade verlegt sein, um eine optimale Ableitung der Rückkraft über den Stützkrümmer zu ermöglichen³⁷. Diese Rückkraft entsteht, da der austretende Wasserstrahl eine Kraft, entgegengesetzt der Strahlrichtung, auf das Strahlrohr ausübt.

³⁵ Schott und Ritter (2003, S. 353)

³⁶ Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (S. 6)

³⁷ Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (S. 37)

Jene Rückkraft lässt sich dabei mit folgender Formel berechnen:

$$(4) F_{Str} = 15 * d_0^2 * p_{StrE}^{38}$$

Zur Bestätigung dieser Formel wurde nach weiteren Quellen gesucht. Eine weitere Variante hiervon findet sich in einem Informationsblatt der Firma TKW-Armaturen³⁹.

Für ein B- Mehrzweckstrahlrohr ergeben sich demnach folgende Rückkräfte:

1. mit Mundstück (400l/min., 5bar Strahlrohreingangsdruck, 16mm Mundstücksweite): **F_{RM}= 192N**
2. ohne Mundstück (800l/min., 5 bar Strahlrohreingangsdruck, 22mm Düsenweite): **F_{RD}= 363N**

Problematisch ist allerdings, dass der Strahldurchmesser eines Hohlstrahlrohres nicht berechnet werden kann. Gerade im Fall von automatischen Hohlstrahlrohren mit konstantem Druck verändert sich der Innendurchmesser des Hohlstrahles durch die Verstellung des Strahlformkegels. So kann die Fläche, beziehungsweise der Strahldurchmesser nicht bestimmt werden. Als Annäherung sollen Rückkraftwerte eines amerikanischen Strahlrohrhersteller genutzt werden. Bei diesem Hersteller handelt es sich um die Firma Task Force Tips, welche eine Partnerfirma der Firma Leader ist⁴⁰. Aufgrund der Zusammenarbeit ähneln sich einige Produkte dieser beiden Firmen. Eines ist das Hohlstrahlrohr "Hamburg Force" der Firma Leader, welches auf der Basis des "MidMatic" Hohlstrahlrohrs entwickelt wurde. Ein sehr ähnliches Produkt wird unter gleichem Namen von der Firma Task Force Tips verkauft. Letztgenannte Firma stellt für das "MidMatic" Hohlstrahlrohr eine Tabelle⁴¹ mit Durchfluss- und Rückkraftwerten zur Verfügung. Diese Werte sollen aufgrund der Ähnlichkeit der Produkte als Annäherung herangezogen werden. In dieser Tabelle sind die Werte weiterhin in Abhängigkeit der Schlauchdimension und des Pumpenausgangsdruckes dargestellt. Die Rückkraftwerte können allerdings in direkter Relation zu den Durchflusswerten bei einem Strahlrohrausgangsdruck von 6bar abgelesen werden.

³⁸ Lampe (S. 17)

³⁹ TKW Armaturen (S. 1)

⁴⁰ Leader GmbH , Unsere Partner

⁴¹ Anhang 3, Abbildung 11, Rückkrafttabelle

Daraus ergibt sich für die in Tabelle 3 dargestellten Durchflusswerte annähernd folgende Rückkräfte:

1. 420l/min. : 14kg => $F_{R1T} \approx 137,34N$
2. 520l/min.: 23kg => $F_{R2T} \approx 225,63N$

Betrachtet man lediglich die Durchflussmengen, würde dies bedeuten, dass das hier betrachtete Hohlstrahlrohr auch mit drei Personen gehalten werden muss oder mit zwei Personen unter Verwendung eines Stützkrümmers. Dieser Sachverhalt geht auch aus den Unfallverhütungsvorschriften Feuerwehr hervor⁴². Vergleicht man die aus den Durchflussmengen resultierenden Rückkräfte, so lässt sich erkennen, dass der betrachtete Hohlstrahlrohrtyp durchaus im Bereich eines B- Mehrzweckstrahlrohres liegt. Genauer betrachtet, bedeuteten die Ergebnisse, dass bei einer alleinigen Verwendung des Schlauchpaketes die Rückkraft unterhalb der Rückkraft eines B- Mehrzweckstrahlrohres mit Mundstück liegt. Wird allerdings eine zweite Angriffsleitung mit größerer Schlauchdimension vom selben Verteiler vorgenommen, so steigt die Rückkraft durch den erhöhten Volumenstrom über die Rückkraft eines B- Mehrzweckstrahlrohres mit Mundstück am Hohlstrahlrohr der zweiten Angriffsleitung an. Dies tritt allerdings nicht auf, sofern beide Angriffsleitungen die gleiche Schlauchdimension aufweisen. Dies lässt sich aus den gleichbleibenden Volumenströmen für beide Strahlrohre (Tab.3) schließen.

4 Methode

In diesem Abschnitt soll das folgende Vorgehen beschrieben werden. Hierzu soll die Fragestellung dieser Arbeit und die aufgestellte These vorgestellt werden. Zusätzlich sollen Herangehensweise sowie Versuche zur Ermittlung praxisnaher Werte und Bestätigung der gestellten Fragen näher beschrieben werden.

Um Auswahlkriterien für die Schlauchdimension bei Gebrauch in einem Schlauchpaket festlegen zu können, muss zunächst geklärt werden, welche Auswirkungen unterschiedliche Schlauchdimensionen auf ihre Nutzung in einem Schlauchpaket haben. Dazu soll nicht nur das Schlauchpaket isoliert, sondern im Kontext mit dem Gebrauch einer zweiten Angriffsleitung vom selben Verteiler betrachtet werden, um so ein möglichst umfangreiches und praxisnahes Szenario zu schaffen. Daraus soll die Erkenntnis gewonnen werden, welche Auswirkungen der

⁴² Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren *Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren* (2003, S. 17)

gleichzeitige Gebrauch unterschiedlicher Schlauchdimensionen haben kann. Hierfür sollen die Erkenntnisse der theoretischen Betrachtung durch eine Reihe von Versuchen zur Ermittlung von zugehörigen Praxiswerten erfolgen. Mithilfe einer Diskussion sollen die ermittelten Werte und Erkenntnisse im Kontext von Fachliteratur und der Ergebnisse des Theorieteils betrachtet werden. Als Fachliteratur werden hierzu Werke aus den Fachgebieten Feuerwehr und Brandbekämpfung sowie Normen auf deutscher und europäischer Ebene herangezogen. Zusätzlich soll Literatur aus dem amerikanischen Raum für einen Blick über die in Deutschland bestehenden Erkenntnisse hinaus liefern und so eine globalere Einordnung der Thematik schaffen. Um eine Einschätzung der Ergebnisse dieser Arbeit im Bezug auf die Arbeitssicherheit zu erhalten dienen des Weiteren die Unfallverhütungsvorschriften der Feuerwehrunfallkassen als literarisches Hilfsmittel.

Es lässt sich erkennen, dass zur Ermittlung eines Ergebnisses für diese Arbeit mehrere Methoden miteinander kombiniert werden. Zum Einen wurden mittels der kausalen Methode Ursache und Wirkung in Bezug auf die einzelnen Bestandteile des Schlauchpaketes theoretisch entwickelt. Im Anschluss daran werden Werte durch eine Reihe von Versuchen ermittelt und diese in Kombination mit den Ergebnissen der Kausalen Methode mittels der induktiven Methode zusammengeführt und ausgewertet um Kriterien ableiten zu können, welche in der Praxis anwendbar sind.

Aus den bisherigen Informationen lässt sich folgende Hauptfragestellung für diese Arbeit nennen:

„Kommt es bei Gebrauch von zwei Angriffsleitungen mit unterschiedlichen Schlauchdimensionen an einem Verteiler zu Wechselwirkungen zwischen den beiden Leitungen?“

Die Hypothese hierzu ist:

„Durch die Verwendung von unterschiedlichen Schlauchdimensionen an einem Verteiler bei zwei Angriffsleitungen kommt es aufgrund der Reibungsverlustunterschiede im praktischen Gebrauch zu Wechselwirkungen.“

4.1 Versuchsreihe

Zur Ermittlung praxisnaher Werte soll eine Versuchsreihe durchgeführt werden, welche das Ziel verfolgt die in der theoretischen Betrachtung ermittelten Eigenschaften in, der Realität entsprechenden, Versuchen darzustellen.

4.1.1 Versuchsbeschreibung

Angenommenes Szenario

Für den Versuch wird folgendes Szenario zugrunde gelegt:

In einer Erdgeschosswohnung eines Mehrfamilienhauses ist es im Wohnzimmer durch einen technischen Defekt zu einem Brand gekommen. Dieser Brand beschränkt sich bei Eintreffen der Feuerwehr auf das Wohnzimmer.

Die Feuerwehr trifft mit einem Löschgruppenfahrzeug an der Einsatzstelle ein und der Gruppenführer entscheidet sich dafür einen Zangenangriff vorzunehmen, bei welchem der Angriffstrupp mit dem vorhandenen Schlauchpaket durch den Hausflur vorgeht. Ein zweiter Trupp nimmt ein zweites Rohr zum Fenster des Wohnzimmers vor um mit diesem dort einzusteigen und ebenfalls eine Brandbekämpfung durchzuführen. Beide Leitungen werden an einem Verteiler angekuppelt. Aufgrund der Entfernung entscheidet sich der zweite Trupp für die Verwendung von 2 C-Schläuchen mit einer Länge von jeweils 15m. Die Feuerwehr verwendet Hohlstrahlrohre der Funktionskategorie 4.2 mit einem Durchfluss von ca. 420l/min bei 6bar⁴³.

Versuchsaufbau

Für den Versuch werden folgende Materialien verwendet:

1. 1x HLF (Hamburger Löschfahrzeug) 6.2 Magirus
2. 1x B-75 Druckschlauch, 20m
3. 1x Verteiler B-C-B-C
4. 2x Schlauchpaket bestehend aus Absperrorgan, 35m Druckschlauch C-42 (Synthetik-Eschbach, leucht-gelb, ZPC 10005-2) und „Hamburg Force“ Strahlrohr
5. 4x 15m Druckschlauch C-52 (Synthetik- Eschbach, 3F-LS DIN 14811)
6. 1x TKW Schlauchmanometer Größe B
7. 1x TKW Schlauchmanometer Größe C
8. 1x Leader Elektronischer Druck- und Durchflussmengenmesser "SHO-FLO" 115

⁴³ Anhang 2, Druck-/ Durchflussdiagramm "Hamburg Force"

Die Basis des Versuches bildet der Aufbau bis zum Verteiler, sowie die Strahlrohre am Ende der Leitungen, welche ihre Positionen zusammen mit den Messgeräten beibehalten. Der Aufbau lässt sich demnach in drei Abschnitte gliedern:

Abschnitt 1: Wasserversorgung bis zum Verteiler

Dieser Abschnitt besteht aus dem Löschfahrzeug, welches von einem Hydranten mit Wasser gespeist wird und an dessen Pumpenausgang der B-Druckschlauch angekuppelt wird. Auf den B-Druckschlauch folgt das Druckmessgerät B und der Verteiler. Anhand dieses Aufbaus ist es möglich, durch Vergleich des Pumpenausgangsdrucks am Druckmanometer der Pumpe und dem Druckwert am Messgerät den Druckverlust bis zum Verteiler zu ermitteln.

Abschnitt 2: Angriffsleitungen

Bei diesem Abschnitt handelt es sich um die beiden parallel verlegten Angriffsleitungen. Hierzu werden alle drei möglichen Kombinationen von Schlauchdimensionen betrachtet. Um Unterschiede in Durchfluss und Druck bei Verwendung unterschiedlicher Schlauchkombinationen festzustellen werden folgende Versuchsvarianten durchgeführt:

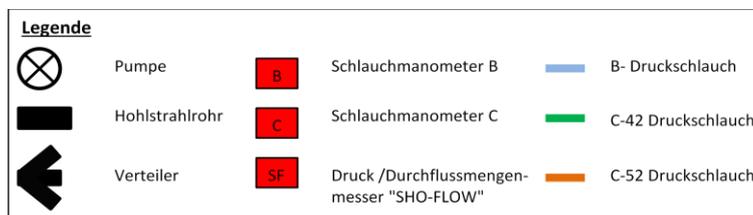


Abbildung 6: Legende für die Abbildungen 7,8,9 (ee)

- Schlauchpaket bestehend aus Absperrorgan C und 35m C-42 Druckschlauch.
Zweite Angriffsleitung bestehend aus zwei 15m C-52 Druckschläuchen.

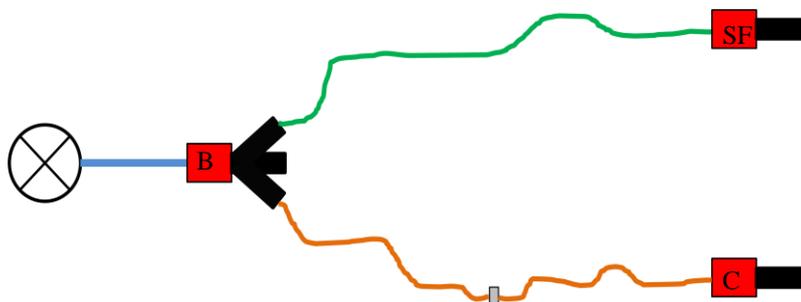


Abbildung 7: Aufbau Versuch 1, schematisch (ee)

- Schlauchpaket bestehend aus Absperrorgan C und 35m C-42 Druckschlauch.
Zweite Angriffsleitung bestehend aus Absperrorgan C und 35m C-42 Druckschlauch.

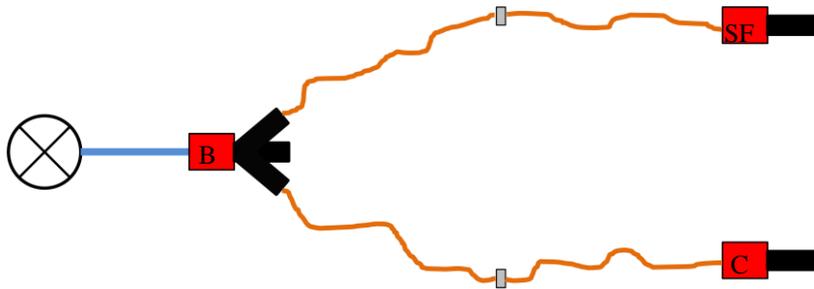


Abbildung 8:Aufbau Versuch 2, schematisch (ee)

- Schlauchpaket bestehend aus Absperrorgan C und zwei 15m C-52 Druckschläuchen. Zweite Angriffsleitung bestehend aus zwei 15m C-52 Druckschläuchen.

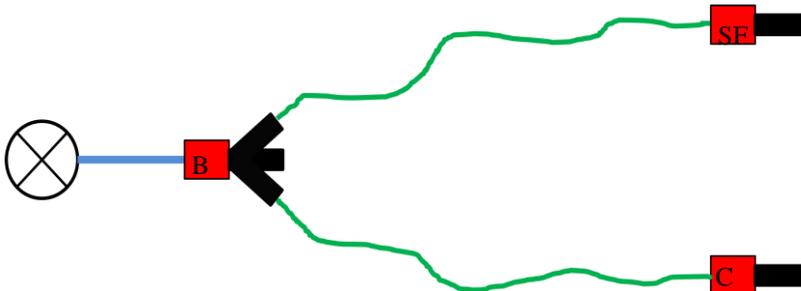


Abbildung 9:Aufbau Versuch 3, schematisch (ee)

Abschnitt 3: Wasserabgabe

Dieser Abschnitt besteht aus den beiden „Hamburg Force“ Strahlrohren, sowie den davor geschalteten Messgeräten. Hierfür wird ein Strahlrohr mit dem SHO-FLOW Druck-/ Durchflussmessgerät und das andere mit dem Druckmessgerät C kombiniert. Hierdurch lassen sich die Druckverhältnisse auf beiden Leitungen überwachen und durch tauschen der Schlauchleitungen, in einem jeweils zweiten Durchlauf einer Versuchsvariante, die Durchflussmengen in beiden Leitungen unter Einhaltung gleicher Druckverhältnisse messen. Hinzu kommt, dass durch dieses Verfahren überprüft werden kann, ob beide Messgeräte gleiche Messwerte für den Druck ausgeben.

4.1.2 Versuchsdurchführung

Zunächst wurden durch Messungen des Volumenstroms bei einem Druck von 6bar mithilfe des "SHO-FLOW" zwei Strahlrohre ermittelt, die einen nahezu gleichen Durchfluss aufweisen. Dies ist nötig, da durch den Gebrauch Ablagerungen im Strahlrohr, Beschädigungen oder Wartungsfehler zusätzliche Reibungswiderstände im Rohr auftreten können, welche den Volumenstrom beeinflussen. Für eine Verwertbarkeit der Ergebnisse ist die Auswahl zweier annähernd gleich arbeitender Strahlrohre notwendig, damit die Messwerte sich nur auf Wechselwirkungen zwischen den beiden Angriffsleitungen beziehen und nicht von weiteren Faktoren abhängig sind. Für jeden Versuch werden die Messwerte für den Pumpenausgangsdruck (p_{pa}), den Druck am Verteiler (p_v), den Druck am Ende beider Angriffsleitungen (p_{SP} & p_{L2}) sowie der Durchfluss (Q_{SP} & Q_{L2}) beider Leitungen (durch Tauschen) im Abstand von 60 Sekunden zehnmal abgelesen.

Nachdem zwei annähernd gleich arbeitende Strahlrohre gefunden sind, beginnen die eigentlichen Versuche. Im ersten Versuchspaar (Abb.7), werden der Durchfluss im C-42 Druckschlauch (Schlauchpaket) sowie der Druck in beiden Angriffsleitungen gemessen. Danach wird der Verteiler geschlossen und die Leitungen getauscht. In diesem zweiten Versuch wird der Durchfluss im C-52 Druckschlauch sowie wiederum der Druck in beiden Angriffsleitungen gemessen. Durch das Tauschen erhält man zum Einen den Durchfluss beider Schläuche, zum Anderen kann gleichzeitig kontrolliert werden, ob beide Messgeräte (SHO-FLO und Schlauchmanometer Größe C) den gleichen Wert ausgeben und ob auch nach tauschen der Leitung weiterhin die gleichen Druckverhältnisse herrschen.

In einem zweiten Versuchspaar (Abb.8) werden die C-52 Druckschläuche gegen ein zweites C-42 Schlauchpaket getauscht. Analog zu den Versuchen 1 und 2 werden auch hier die gleichen Messungen durchgeführt. Zusätzlich werden auch hier in einem vierten Versuch die Leitungen wieder getauscht um den Durchfluss der zweiten Leitung zu erhalten und die Ergebnisse zu Überprüfen. Diese zwei Versuche dienen dazu aufzuzeigen, welche Druck- und Durchflussverhältnisse in beiden Angriffsleitungen herrschen, wenn beide Leitungen in der Dimension C-42 vorgenommen werden.

Für das dritte Versuchspaar (Abb.9) werden im Anschluss beide Angriffsleitungen auf die Dimension C-52 umgebaut (Versuch 5) und nach Durchführung der Messung für den sechsten Versuch getauscht. Der sechste Versuch dient wieder dem selben

Zweck wie die Versuche 3 und 4. Hierdurch ergeben sich insgesamt drei Versuchspaare. Durch diese Versuche sollen die Druck- und Durchflussverhältnisse für diese Kombination von Schlauchdimensionen erhoben werden, um alle drei Varianten miteinander vergleichen zu können. Auch hier könnte die Volumenstromerhöhung eine Erhöhung der Rückkraft zur Folge haben

5 Versuchsergebnisse

Im folgenden Kapitel sollen die Ergebnisse des Versuches dargestellt werden. Die Versuchsprotokolle mit den jeweiligen Messwerten befinden sich im Anhang 1. Für die Genauigkeit der Betrachtung reichen gerundete Werte aus, da sich die Auswirkungen auf den Durchfluss und die Rückkraft lediglich bei größeren Änderungen deutlich bemerkbar machen. Die Berechnung der Fehlerfortpflanzung war in diesem Fall nicht von Nöten, da die Werte direkt zur Betrachtung herangezogen werden und nicht mittels einer Formel kombiniert werden müssen, um ein verwertbares Ergebnis zu erhalten. Für eine bessere Vergleichbarkeit sollen immer alle erhobenen Mittelwerte von zwei zusammengehörigen Versuchen in einer Tabelle dargestellt und ausgewertet werden.

Tabelle 4: Mittelwerte der Messergebnisse für Versuch 1 und 2 (Versuchspaar 1) (ee)

Versuch	p_{pa} (in bar)	p_v (in bar)	p_{sp} (in bar)	p_{L2} (in bar)	Q_{sp} (in l/min.)	Q_{L2} (in l/min.)
1	8,50	8,00	5,96	7,00	438,00	-
2	8,50	8,00	6,00	6,97	-	488,50

Wie sich in Tabelle 4 erkennen lässt, bleiben die Druckverhältnisse auch nach tauschen der beiden Leitungen annähernd gleich. Die Abweichungen in den Strahlrohrdrücken von Versuch 1 zu Versuch 2 haben ihre Ursache voraussichtlich in der unterschiedlichen Messgenauigkeit der verwendeten Messgeräte. Das verwendete SHO-FLOW Messgerät bietet eine dreistellige Digitalanzeige und kann somit einen Druckwert mit zwei Nachkommastellen ausgeben, während das Druckmessgerät der Firma TKW Armaturen Größe C eine Analoganzeige mit einer Skaleneinteilung von 0,5 bar Schritten aufweist. Weiterhin ist der Druckverlust abhängig vom jeweiligen Abnutzungs- und Alterungszustandes des Schlauchs und kann auch hierdurch

varyieren. Dementsprechend liegen die Abweichung durchaus in einem tolerierbaren Bereich. Wie man weiterhin erkennen kann, ergeben die Druckmessungen, dass in der Leitung des Schlauchpaketes ein Druckverlust von ca. 2bar und im C-52 Druckschlauch ein Druckverlust von 1bar besteht. Dies zeigt sich durch Betrachtung der Differenz von Verteilerdruck (p_v) und Strahlrohreingangsdruck der jeweiligen Leitung (p_{SP} , p_{L2}). Aus der Differenz von Pumpenausgangsdruck (p_{pa}) und Verteilerdruck (p_v), ergibt sich ein Druckverlust von 0,5bar. Weiterhin lässt sich erkennen, dass es einen Unterschied in den Volumenströmen gibt, welcher annähernd der Kennlinie im Druck-/ Durchflussdiagramm⁴⁴ des Hohlstrahlrohres entspricht. Hierbei ist zu beachten, dass für das SHO-FLOW Messgerät eine Messpräzision in Bezug auf den Volumenstrom von $\pm 40\text{l/min.}$ angegeben wird⁴⁵. Da die Werte aber relativ dicht an der Kennlinie liegen und die Strahlrohre im Vorfeld auf ihren Durchfluss getestet wurden, wird angenommen, dass das Messgerät Werte ausgibt, die valide verarbeitet werden können.

In den folgenden zwei Versuchen wurden Werte für den Fall erhoben, dass sowohl beim Schlauchpaket, als auch für die zweite Angriffsleitung Schlauchmaterial der Dimension C-52 verwendet wird. Die Mittelwerte der Messungen stellen sich folgendermaßen (Tab.5) dar:

Tabelle 5: Mittelwerte der Messergebnisse für Versuch 3 und 4 (Versuchspaar 2) (ee)

Versuch	p_{pa} (in bar)	p_v (in bar)	p_{SP} (in bar)	p_{L2} (in bar)	Q_{SP} (in l/min.)	Q_{L2} (in l/min.)
3	7,50	7,00	6,14	6,00	442,00	-
4	7,50	7,00	6,00	5,97	-	438,50

Betrachtet man die Werte für den Strahlrohrdruck (Tab.5) so stellt man auch hier fest, dass es Abweichungen von Versuch 3 zu Versuch 4 gibt. Vernachlässigt man diese Abweichung, welche sich aus einer Ungenauigkeit oder einem Ablesefehler aufgrund zu grober Skalenteilung ergeben haben könnte, so sind die Druckverhältnisse in beiden Versuchen gleich. Ein weiterer Grund für einen unterschiedlichen Wert der Druckverluste in den C- Druckschläuchen könnte aus den unterschiedlichen

⁴⁴ Anhang 2, Druck-/ Durchflussdiagramm "Hamburg Force"

⁴⁵ Leader GmbH, SHO-FLO (S. 1)

Alterungs- und Abnutzungszuständen der Druckschläuche resultieren. Aus der Differenz zwischen Pumpenausgangsdruck (p_{pa}) und Verteilerdruck (p_v) ergibt sich hier ein Druckverlust von 0,5bar auf der Strecke zwischen Pumpe und Verteiler. Bildet man die Differenz zwischen Strahlrohreingangsdruck am Schlauchpaket (p_{SP}) sowie Strahlrohreingangsdruck der zweiten Angriffsleitung (p_{L2}) und dem Verteilerdruck (p_v), ergibt sich für beide Leitungen ein Druckverlust von jeweils ca. 1bar. Auch die Volumenströme stellen sich annähernd gleich dar. Bezieht man die Unterschiede des Strahlrohreingangsdruckes mit ein, so bestätigen diese den Unterschied. Da am Strahlrohr des Schlauchpakets ein höherer Druck anliegt, muss dementsprechend auch ein höherer Durchfluss herrschen.

In einem weiteren Versuchspaar wurde ermittelt, wie sich Druck und Volumenstrom bei Verwendung von C-42 Druckschläuchen darstellen. Die Mittelwerte der Messungen stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 6: Mittelwerte der Messergebnisse für Versuch 5 und 6 (Versuchspaar 3) (ee)

Versuch	p_{pa} (in bar)	p_v (in bar)	p_{SP} (in bar)	p_{L2} (in bar)	Q_{SP} (in l/min.)	Q_{L2} (in l/min.)
4	8,50	8,00	6,03	6,00	441,5	-
5	8,50	8,00	6,00	6,04	-	437,00

Wie in Tabelle 6 dargestellt, erkennt man auch bei dieser Versuchspaarung einen Druckunterschied zwischen beiden Strahlrohreingangsdrücken (p_{SP} , p_{L2}). Dieser resultiert aus den bereits genannten Gründen. Vernachlässigt man diesen, lässt sich auch für dieses Versuchspaar erkennen, dass die Strahlrohreingangsdrücke sowie die Volumenströme annähernd gleich sind. Der Druckverlust in der Leitung zwischen Pumpe und Verteiler (berechnet wie oben) beträgt hier 0,5bar und der Druckverlust in den beiden C-42 Druckschläuchen jeweils 2 bar.

Nun sollen alle drei Versuchspaare im Zusammenhang betrachtet werden. Hierzu folgt zunächst ein Vergleich der Druckverluste in der Leitung zwischen Pumpe und Verteiler. Danach werden die Druckverluste in den C-Druckschläuchen der unterschiedlichen Dimensionen verglichen. Hieraus sollen mögliche Auswirkungen abgeleitet werden.

Vergleicht man die Druckverluste innerhalb der Leitung zwischen Pumpe und Verteiler miteinander so lässt sich feststellen, dass diese bei allen drei Versuchspaaren 0,5bar betragen. Hieraus lässt sich schließen, dass trotz Änderung des Gesamtvolumenstroms ($Q_{SP}+Q_{L2}$ des jeweiligen Versuchspaares) der Druckverlust in der Leitung zwischen Pumpe und Verteiler konstant bleibt oder sich nur minimal ändert. Da auch bei dem verwendeten B- Druckmessgerät die Skaleneinteilung bei 0,5bar liegt, wäre auch hier nur eine Änderung in diesem Bereich sichtbar gewesen. Daher wird angenommen, dass es zwar zu einer Änderung des Druckverlustes kommt, diese sich aber so minimal gestaltet, dass sie nicht ablesbar ist.

Im ersten Versuchspaar stellten sich unterschiedliche Druckverlustwerte auf beiden Angriffsleitungen ein, während bei den beiden folgenden Versuchspaaren die Druckverlustwerte annähernd gleich geblieben sind. Dies führt zu dem Schluss, dass es bei der gleichzeitigen Verwendung von unterschiedlichen Schlauchdimensionen zu unterschiedlichen Druckverlusten in den Angriffsleitungen kommt, welche unterschiedliche Strahlrohreingangsdrücke zur Folge haben. Des Weiteren lässt sich feststellen, dass der Druck an der Pumpe eingestellt werden muss, welcher für die Überwindung des höheren Druckverlustes benötigt wird. Dies ergibt sich aus den gleichen Pumpenausgangsdrücken in den Versuchspaaren 1 und 3. In beiden Versuchspaaren beträgt der Pumpenausgangsdruck 8,5bar. Damit stellt dieser Druck nach Abzug der Druckverluste für den B- Druckschlauch und das Schlauchpaket jenen Druck dar, der benötigt wird, um einen Strahlrohreingangsdruck am Strahlrohr des Schlauchpakets von 6bar herzustellen. Daraus ergibt sich nach Abzug des geringeren Druckverlustes des C-52 Druckschlauchs in Versuchspaar 1 ein höherer Druck am Hohlstrahlrohr der zweiten Angriffsleitung. Hieraus folgt weiterhin, dass bei der Verwendung gleicher Schlauchdimensionen für beide Angriffsleitungen die Druckverluste in beiden Leitungen und somit auch die Strahlrohreingangsdrücke gleich sind.

Analog zu den Strahlrohreingangsdrücken verhalten sich die gemessenen Volumenströme in allen drei Versuchspaaren. Während in Versuchspaar 1 ein Unterschied zwischen den beiden Volumenströmen besteht, sind die Volumenströme in Versuchspaar 2 und 3 annähernd gleich. Dies lässt darauf schließen, dass die Verwendung unterschiedlicher Schlauchdimensionen für die beiden Angriffsleitungen zu einer Erhöhung des Volumenstroms in der Leitung mit der

größeren Dimension führt. Wie in der theoretischen Betrachtung folgt auch hier aus dem erhöhten Volumenstrom eine Erhöhung der Rückkraft. Dies soll nun in Bezug auf die Versuchsergebnisse betrachtet werden.

Bildet man den Mittelwert der Volumenströme, welche bei einem Strahlrohreingangsdruck von 6bar erreicht wurden (Tabelle 4,5,6), so erhält man einen mittleren Volumenstrom von 439,4l/min bei 6bar. Demgegenüber steht ein Volumenstrom von 488,5l/min bei 7bar. Für eine Bestimmung der Rückkräfte wird an dieser Stelle wieder die Tabelle der Firma Task Force Tips herangezogen. Da die hier gemessenen Werte in der Tabelle nicht vorhanden sind, werden die nächstliegenden benutzt. Daraus folgt:

1. 439,4l/min (abgelesen bei 445l/min): 18kg $\Rightarrow F_{R1P} \approx \mathbf{176,58N}$
2. 488,5l/min (abgelesen bei 485l/min): 20kg $\Rightarrow F_{R2P} \approx \mathbf{196,20N}$

Bezogen auf die Rückkraft eines B- Mehrzweckstrahlrohres mit Mundstück ($F_{RM}=192N$) lässt sich feststellen, dass der Wert der Rückkraft bei der Verwendung gleicher Schläuche beziehungsweise für das Hohlstrahlrohr des Schlauchpaketes in Versuchspaar 1 unter der Rückkraft liegt. Kommt es zur gleichzeitigen Verwendung von einem Schlauch größerer Dimension, wie in Versuchspaar 1, am selben Verteiler, so übersteigt die Rückkraft dieses zweiten Strahlrohres die eines B- Mehrzweckstrahlrohres mit Mundstück. Hierbei wurde bewusst der nächst höhere Wert für den Volumenstrom des Hohlstrahlrohres mit 439l/min verwendet, um sicherzustellen, dass auch bei einem etwas höheren Volumenstrom eine Zuordnung zu den Rückkräften eines B- Mehrzweckstrahlrohres möglich ist. Genauso wurde für das Hohlstrahlrohr mit einem Durchfluss von 488,5l/min der nächst niedrige Wert verwendet. Daraus ergibt sich, dass auch bei einem etwas kleineren Volumenstrom die Rückkraft noch über der eines B-Mehrzweckstrahlrohres mit Mundstück liegt.

Aus den genannten Punkten folgt, dass es nach Auswertung der Messwerte zu Wechselwirkungen zwischen zwei Angriffsleitungen an einem Verteiler kommt, sofern diese in unterschiedlichen Schlauchdimensionen ausgeführt sind.

6 Diskussion

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse der theoretischen Betrachtung und des Versuchs gegenübergestellt werden. Des Weiteren soll auf weitere Probleme im Zusammenhang mit der Nutzung dieser Materialkombination und dessen Bestandteile eingegangen werden. Durch die Zusammenführung der theoretischen Betrachtung und der praktisch ermittelten Werte und Erkenntnisse sollen zum Abschluss allgemeine Auswahlkriterien für die Schlauchdimension eines Schlauchpaketes sowie spezielle Kriterien bei Gebrauch unterschiedlicher Schlauchdimensionen aufgestellt werden.

In der theoretischen Betrachtung konnte durch Analyse der Formel zur Berechnung von Reibungsverlusten (Formel 1) festgestellt werden, dass Reibungsverluste vor allem von der Länge und dem Durchmesser des Schlauchs sowie vom bestehenden Volumenstrom abhängig sind. Dies konnte durch den praktischen Versuch allgemein bestätigt werden. Vergleicht man die theoretischen Werte des Reibungsverlustes eines C-42 und C-52 Druckschlauchs bei 420l/min ($\Delta p_{RC42} = 3,43\text{bar}$ und $\Delta p_{RC52} = 0,77\text{bar}$) mit den in der Praxis auftretenden Werten bei $\approx 440\text{l}$ ($\Delta p_{vPL2} \approx 2\text{bar}$, Versuch 4 und $\Delta p_{vPL2} \approx 1\text{bar}$, Versuch 3), so spricht dies für die oben getroffene Aussage. Auffällig ist hierbei, dass der theoretische Wert für den C-42 Druckschlauch im praktischen Versuch unterschritten wurde, während der praktisch ermittelte Wert für den C-52 Druckschlauch den theoretischen übersteigt. Der niedrigere Praxiswert für den C-42 Druckschlauch liegt am Zustand des Schlauchs.

Die im theoretischen Teil verwendeten Werte stellen, wie erwähnt, Maximalwerte dar. Durch neuere Produktionsmethoden und Technologien in der Schlauchherstellung weisen Druckschläuche meist einen geringeren Druckverlust durch Reibung auf⁴⁶. Daher ist eine Unterschreitung des theoretischen Wertes in der Praxis wahrscheinlich. Zusätzlich soll an dieser Stelle auch noch einmal die Skaleneinteilung der Messgeräte von TKW Armaturen genannt werden, welche ein Ablesen der Werte nur in 0,5bar Schritten zulässt. Selbige Ungenauigkeit kann auch einen Grund für den höheren Praxiswert beim C-52 Druckschlauch darstellen. Hinzu kommt, dass zur Herstellung einer vergleichbar langen Schlauchstrecke für die zweite Angriffsleitung zwei C-52 Druckschläuche zusammengekuppelt werden mussten. Diese Kupplung bietet eine weitere Quelle für zusätzliche

⁴⁶ Bartels und Stratmann (1993, S. 28)

Reibungsverluste, da hier durch Kanten Turbulenzen entstehen können. Auch für die Schlauchleitung von der Pumpe zum Verteiler kann ein höherer Druckverlust in der Praxis ($\Delta p_{paV}=0,5\text{bar}$, in allen Versuchen) gegenüber der Theorie festgestellt werden ($\Delta p_{paV}=0,2\text{bar}$). Auch für diesen Unterschied gilt einerseits die Ungenauigkeit der Messgeräte. Andererseits aber auch, dass das Druckmanometer der Feuerlöschkreiselpumpe direkt am Abgang der Pumpe sitzt und danach weitere Rohrleitungen mit Verzweigungen sowie Richtungsänderungen folgen. Auch dies führt zu einer Erhöhung des Reibungsverlustes auf der betrachteten Strecke. Die Abhängigkeit des Reibungsverlustes von Länge und Volumenstrom wird durch Abbildung 9 verdeutlicht. Aus dem Diagramm geht hervor, dass der Reibungsverlust von Schläuchen einer bestimmten Dimension zum einen vom Druckverlust pro Meter und vom Volumenstrom abhängt. Dabei wird der Druckverlust pro Meter, abgelesen im Bezug zum gewünschten Volumenstrom, mit der gewünschten Schlauchlänge multipliziert.

Betrachtet man auch hier wieder das Schlauchpaket isoliert, so lässt sich feststellen, dass keine Auswirkungen auf dessen Betrieb gibt. Dies gilt sofern der Bediener die Pumpe so einstellt, dass der Fokus auf einem optimalen Betrieb des Hohlstrahlrohres ($p_{SP}=6\text{bar}$) am Schlauchpaket liegt. Sollte keine Korrektur des Pumpenausgangsdrucks bei zuschalten der zweiten Angriffsleitung erfolgen, lassen sich die Auswirkungen nur theoretisch abschätzen, da hierzu keine Versuche durchgeführt worden sind.

Vergleicht man die Verteilerdrücke der Versuche mit C-52 Druckschläuchen (Versuch 3 und 4) mit denen der Versuche mit C-42 Druckschläuchen (Versuche 5 und 6) erkennt man, dass zum Betrieb der C-42 Druckschläuche ein höherer Druck am Verteiler anliegen muss. Dies folgt aus den höheren Druckverlusten in Schläuchen kleinerer Dimension. Der höhere Betriebsdruck des Gesamtsystems führt dabei zu einer größeren Belastung des verwendeten Materials. Dies konnte sowohl in der theoretischen Betrachtung, als auch im praktischen Versuch festgestellt werden. Diese Rückkräfte äußern sich zum Einen in unterschiedlichen Volumenströmen, die vor allem eine Erhöhung des Volumenstroms in der größer dimensionierten Leitung zur Folge haben. Zum Anderen konnte festgestellt werden, dass dieser erhöhte Volumenstrom eine Erhöhung der Rückkraft zur Folge hat. Sowohl in der theoretischen Betrachtung, als auch in der Auswertung der Versuchsergebnisse konnte festgestellt werden, dass die Rückkraft in Bezug auf ein B-

Mehrzweckstrahlrohr an der zweiten Angriffsleitung überschritten wird. Dies ist der Fall, wenn zwei unterschiedliche Schlauchdimensionen parallel genutzt werden. Weiterhin hat diese Erkenntnis auch im Umkehrschluss Gültigkeit, wenn das Schlauchpaket in einer größeren Schlauchdimension ausgeführt ist, als die zweite Angriffsleitung. Es lässt sich demnach festhalten, dass bei der Verwendung unterschiedlicher Schlauchdimensionen an einem Verteiler eine Erhöhung des Volumenstroms am Hohlstrahlrohr der größeren Schlauchdimension entsteht. Daher besteht für das eingesetzte Personal eine Gefährdung, sofern dieses nicht mit drei Personen oder einem Stützkrümmer arbeitet⁴⁷. Hinzu kommt, dass in der Norm für Hohlstrahlrohre bereits eine Kupplung der Dimension B bei einem Volumenstrom von mehr als 400l/min⁴⁸ gefordert wird. Hierdurch wären die Vorgaben bezüglich des Personals und des Stützkrümmers durch die Aufwertung zu einem B-Strahlrohr quasi gegeben⁴⁹.

Des Weiteren kann festgehalten werden, dass es sich hierbei um einen exemplarischen Versuch handelt, da hierbei zwei Hohlstrahlrohre der gleichen Funktionskategorie verwendet worden sind. Es kann durch diesen Versuch keine Aussage über Wechselwirkungen bei anderen Strahlrohrkombinationen, auch Mehrzweckstrahlrohre, getroffen werden, da hierfür andere physikalische Verhaltensweisen eine Rolle spielen. So kann die gleichzeitige Verwendung von automatischen und nichtautomatischen Hohlstrahlrohren zu weiteren Problemen führen. Liegt der vom nichtautomatischen Strahlrohr erzeugte Staudruck auf einem höheren Niveau als der vom Federpaket des automatischen Strahlrohres erzeugt, führt dies zu einer weiteren Öffnung des automatischen Hohlstrahlrohres. Hierdurch erhöht sich der Durchfluss des automatischen Strahlrohres und der des nichtautomatischen sinkt. Dementsprechend umgekehrt verläuft dies, wenn das nichtautomatische Strahlrohr einen kleineren Staudruck erzeugt. Aufgrund unterschiedlicher Druck-/ Durchflusskennlinien, resultierend aus unterschiedlichen Federkonstanten, kann dieser Effekt auch auftreten, wenn automatische Hohlstrahlrohre unterschiedlicher Durchflussmenge und/ oder unterschiedlichen Hersteller eingesetzt werden⁵⁰.

⁴⁷ *Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren* (2003, S. 17)

⁴⁸ DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN 15182-2 (April 2010a, S. 2)

⁴⁹ Thorns (2012, S. 374)

⁵⁰ DeVries (2000, S. 142f)

Ein weiterer Punkt ist, dass in dieser Arbeit nur ein bestimmtes Szenario betrachtet wird. Es kommen hierbei keinerlei Höhenunterschiede und längere Schlauchstrecken zum Tragen. Nimmt man an, dass das Schlauchpaket auf seiner Strecke noch einen Höhenunterschied von 10m überwindet (Einsatz in einem höher gelegenen Stockwerk), so würde sich der Druckverlust im Schlauch um 1bar erhöhen⁵¹. Daher würde wiederum ein höherer Pumpenausgangsdruck zum Ausgleich benötigt werden, wodurch der Strahlrohreingangsdruck am Strahlrohr der zweiten Angriffsleitung (Erdniveau) auch um 1bar ansteigt. Genauso verhält es sich, wenn vom Verteiler bis zur Brandstelle mehr Schlauchmaterial und damit längere Schlauchstrecken benötigt werden. Sofern bei einer Feuerwehr unterschiedliche Schlauchdimensionen (für Schlauchpaket und sonstige Schlauchleitungen der Dimension C) zum Einsatz kommen, entsteht ein weiteres hier nicht betrachtetes Problem. Im Regelfall wird die Schlauchstrecke vom Verteiler zur Rauchgrenze aus den Schlauchtragekörben heraus verlegt und wäre damit in der Dimension C-52. Hieran wird an der Rauchgrenze das Schlauchpaket (Dimension C-42) angekuppelt⁵². Beide Schlauchdimensionen verfügen über unterschiedliche Kupplungen und damit auch über unterschiedliche Innendurchmesser der Kupplung. An dieser Übergangsstelle entsteht durch diese Kombination eine Kante, welche Turbulenzen und damit wiederum einen erhöhten Druckverlust in der Schlauchleitung erzeugt.

Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich einige mögliche Lösungen, die Auswirkungen der Wechselwirkungen verhindern oder minimieren würden. Zum einen wäre ein Einsatz von Hohlstrahlrohren mit kleineren Durchflussmengen möglich. Wählt man Modelle mit einem Durchfluss von ca. 230l/in maximalem Durchfluss würden die Wechselwirkungen, bei Verwendung unterschiedlicher Schlauchdimensionen, nicht beseitigt. Allerdings würde man die Auswirkungen, vor Allem in Bezug auf die auftretenden Rückkräfte, minimieren. Dagegen spricht allerdings die Empfehlung Hohlstrahlrohre für den Innenangriff mit 450l/min Volumenstrom zu verwenden, damit sich der vorgehende Trupp bei Eintritt extremer Brandereignisse ausreichend schützen kann⁵³. Eine weitere Lösungsmöglichkeit stellt die Einführung des Schlauchpaketes in der gleichen Dimension des restlichen Schlauchmaterials, bzw. die Umstellung des Schlauchmaterials auf eine

⁵¹ Schott und Ritter (2003, S. 355)

⁵² Thorns (2012, S. 368)

⁵³ Grimwood (2002, S. 27)

Einheitsgröße dar. Hierdurch können Wechselwirkungen in Bezug auf das verwendete Material am besten vermieden werden. Auch eine Beeinflussung durch die Verkürzung des Schlauchpaketes wäre möglich. Allerdings wäre dies aufgrund der Regelung über die maximale Länge von Fluchtwegen nicht sinnvoll. Da ein Ausgang ins Freie oder einen notwendigen Treppenraum immer innerhalb von 35m von jeder Stelle eines Aufenthaltsraumes oder Kellergeschosses erreichbar sein muss⁵⁴, folgt daraus eine optimale Länge des Schlauchpaketes von 35m. Dies ergibt sich aus der Überlegung, dass im Umkehrschluss zur Fluchtweglänge auch der maximal notwendige Weg zum Vorgehen im Innenangriff ab der Rauchgrenze besteht.

In der theoretischen Betrachtung wurde bereits das Schlauchgewicht pro Meter angesprochen. Dieses beträgt somit für einen 35m langen C-42 Druckschlauch 58,1kg und für einen 35m langen C-52 Druckschlauch 86,45kg. Bei der Berechnung der Haft- oder Gleitreibung würde die Gewichtskraft (Schlauchgewicht multipliziert mit der Erdbeschleunigung) mit einem Haft- oder Gleitreibungskoeffizienten multipliziert werden. Man kann erkennen, dass diese Reibwerte unabhängig von der Auflagefläche sind. Aufgrund gleicher Reibungskoeffizienten (z.B. Gummi auf Asphalt) ist nur der Gewichtsunterschied von Bedeutung. Das Gewicht des C-42 Druckschlauchs beträgt hierbei 67,21% des C-52 Druckschlauchs. Daraus geht hervor, dass zum ziehen eines C-42 Druckschlauchs auch nur 67,21% der Kraft aufgebracht werden muss, um diesen in Bewegung zu setzen (Überwindung der Haftreibung) oder ihn über den Boden zu ziehen (Gleitreibung).

Einen weiteren Punkt in der Betrachtung stellt der Biegeradius dar. Auch dieser wurde bereits in der theoretischen Betrachtung aufgeführt. Hier wird festgestellt, dass der C-42 Druckschlauch mit einem Biegeradius von 0,42m flexiblere Eigenschaften aufweist, als der C-52 Druckschlauch mit einem Biegeradius von 0,52m. Dies ist vor Allem in Hinblick auf die Handhabbarkeit während der Brandbekämpfung und das ziehen des Schlauchs um Ecken von Bedeutung. Aufgrund des geringeren Biegeradius, kann der Trupp auf engerem Raum und mit kleineren Bewegungen mit dem Strahlrohr agieren.

Als Kriterien für die Auswahl der Schlauchdimension bei Gebrauch in einem Schlauchpaket lassen sich also folgende festhalten:

⁵⁴ Bauministerkonferenz, Musterbauordnung (S. 30)

1. Allgemein muss bei Dimensionierung des Schlauchs des Schlauchpaketes beachtet werden, dass es durch Verlängerung mit anderen Schläuchen und durch Überwindung von Höhenunterschieden zu erhöhten Druckverlusten kommt. Dieser Druckverlust sollte insgesamt den Prüfdruck der Schläuche nicht übersteigen um Schäden am Material und Gefahrenquellen im Einsatz zu vermeiden.
2. Es wird eine Schlauchlänge im Schlauchpaket von 35m empfohlen. Es kann auch eine Reduzierung auf 30m vorgenommen werden, da die übrigen 5m bei einer Brandbekämpfung mit der Wurfweite des Strahlrohres überbrückt werden können. Eine weitere Reduzierung stellt sich in Bezug auf eine ausreichende Schlauchreserve als nicht empfehlenswert dar.
3. Es empfiehlt sich die Verwendung der Schlauchdimension C-42 im Schlauchpaket, da diese bessere Eigenschaften in Hinblick auf Gewicht, Biegeradius und Leergewicht bietet.
4. Für die Verwendung eines Schlauchpaketes sollten alle verwendeten Druckschläuche aufeinander angepasst werden um eine Vermischung oder einen parallelen Einsatz unterschiedlicher Schlauchdimensionen zu vermeiden.
5. Werden Druckschläuche unterschiedlicher Dimensionen verwendet, ist mit einem Anstieg des Volumenstroms am Hohlstrahlrohr des Schlauchs mit der größeren Dimension zu rechnen. Diese kann eine Erhöhung des Bedienpersonals oder den Einsatz weiterer Technik (Stützkrümmer) erfordern.
6. Werden Strahlrohre unterschiedlicher Funktionskategorien, maximaler Volumenströme oder Hersteller eingesetzt, empfiehlt es sich die Auswirkungen vorher zu testen.
7. Zur Dimensionierung und Fallbetrachtung sollen die maximal möglichen Reibungsverluste der Schläuche verwendet werden, um den ungünstigsten Fall zu betrachten.

Die gestellte Hypothese kann eindeutig belegt werden. Es konnte festgestellt werden, dass im praktischen Gebrauch Wechselwirkungen zwischen zwei Angriffsleitungen am selben Verteiler, unter Verwendung unterschiedlicher Schlauchdimensionen entstehen.

7 Fazit

Es konnten durch das geplante vorgehen Kriterien für die Auswahl der Schlauchdimension bei Gebrauch in einem Schlauchpaket entwickelt werden. Diese haben im allgemeinen Gebrauch und bezogen auf den gleichzeitigen Einsatz von zwei parallelen Angriffsleitungen Gültigkeit. Durch die theoretische Betrachtung konnten die Zusammenhänge von Länge, Durchmesser und Volumenstrom in Bezug auf den Reibungsverlust im Schlauch herausgearbeitet werden. Zusätzlich konnten durch eine Betrachtung der Zusammenhänge und Druckverhältnisse sowie Volumenströme die Wechselwirkungen und deren Auswirkungen auf die Handhabung und Arbeitssicherheit aufgezeigt werden. Durch eine Versuchsreihe konnten die ermittelten Zusammenhänge im Anschluss verifiziert werden. Dafür wurden die Ergebnisse analysiert und in einer Diskussion mit den theoretischen Werten verglichen. Mittels hinzufügen weiterer Zusammenhänge und Bewertung der ermittelten Daten konnten Kriterien aufgestellt werden.

Diese Arbeit bewegt sich allerdings auch in gewissen Grenzen. Es konnte festgestellt werden, dass für eine genauere Bewertung von Wechselwirkungen und deren Auswirkungen bei Verwendung von Strahlrohren anderer Funktionskategorien, maximaler Volumenströme und/ oder Hersteller weitere Versuche notwendig sind. Aufgrund der hohen Anzahl unterschiedlicher Modelle von Strahlrohren ist dies im Rahmen einer solchen Arbeit nicht möglich. Zusätzlich wäre eine Betrachtung anderer Einsatzszenarien nötig, um auch weitere Kombinationen unter Anderem mit Schaumrohren oder Vornahme von drei Angriffsleitung vom gleichen Verteiler abzudecken. Hinzu kommen noch Höhenunterschiede, die durch den Einsatz von Strahlrohren in unterschiedlichen Stockwerken bezüglich der Erhöhung des Druckverlustes relevant sind. Auch die angewendete Löschtechnik kann hier weitere Auswirkungen haben. In dieser Arbeit wurde nur der statische Fall des Sprühstrahl betrachtet. Die Erhebung des Volumenstrom- und Druckverhaltens am Strahlrohr der zweiten Angriffsleitung bei Anwendung des Impulslöschverfahrens und unterschiedlicher Schlauchdimensionen wäre durchaus von Interesse. Abschließend lässt sich sagen, dass diese Arbeit eine Basis für weitere Versuchen und Betrachtungen bildet. Es empfiehlt sich eine individuelle Fallbetrachtung bei der Anschaffung eines Schlauchpaketes. Dies resultiert aus der Vielfalt von Systemen, die in deutschen Feuerwehren zur Anwendung kommen. Die hier aufgestellten

Kriterien liefern einen Leitfaden für die Beantwortung der grundlegenden Fragen zur Schlauchdimensionierung bei Gebrauch in einem Schlauchpaket.

8 Ausblick

Wie bereits im Fazit erwähnt, kann diese Arbeit lediglich die Basis und eine individuelle Fallbetrachtung liefern. Durch eine Vielzahl von Materialkombinationen, Szenarien und Herstellern gibt es einen Bedarf zur Betrachtung der dadurch entstehenden Auswirkungen. Ein weiteres Betätigungsfeld bietet hierbei die Ermittlung der Rückkräfte von Hohlstrahlrohren. Hierzu liegen von Seiten der Hersteller im deutschsprachigen Raum keine Informationen vor. Eventuell ist hier die Entwicklung einer Faustformel möglich. Zusätzlich scheint eine Prüfung der genannten Daten in Bezug auf die Rückkräfte von Hohlstrahlrohren durch die Unfallkassen von Nöten. Gerade im hier betrachteten Fall gibt es Überschneidungspunkte zwischen den Volumenströmen und den Rückkräften eines Hohlstrahlrohres mit denen eines B-Mehrzweckstrahlrohres. Diese Prüfung stellt sich vor allem in Hinsicht auf Arbeitsergonomie und -sicherheit als sinnvoll dar.

9 Literatur- & Quellenverzeichnis

ALBERT ZIEGLER GMBH. *Feuerweherschläuche* [online] [Zugriff am: 25. Januar 2015]. Verfügbar unter: http://www.ziegler.si/uploads/media/Katalog_05_nem.pdf

AUSSCHUSS FEUERWEHRANGELEGENHEITEN, KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG. *Feuerwehr- Dienstvorschrift (FwDV) 1: Grundtätigkeiten Lösch- und Hilfeleistungseinsatz. FwDV 1.*

AUSSCHUSS FEUERWEHRANGELEGENHEITEN, KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG. *Feuerwehr- Dienstvorschrift (FwDV) 3: Einheiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz. FwDV3.*

AUSSCHUSS FEUERWEHRANGELEGENHEITEN, KATASTROPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDIGUNG. *Feuerwehr- Dienstvorschrift (FwDV) 7: Atemschutz.*

BARTELS, H. und W. STRATMANN, 1993. *Feuerweherschläuche*. 2., völlig überarb. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer. Die roten Hefte. 48. ISBN 9783170125681.

BAUMINISTERKONFERENZ. *Musterbauordnung. MBO.*

BOHL, W. und W. ELMENDORF, 2008. *Technische Strömungslehre. Stoffeigenschaften von Flüssigkeiten und Gasen, Hydrostatik, Aerostatik, inkompressible Strömungen, kompressible Strömungen, Strömungsmesstechnik*. 14., überarb. und erw. Aufl. Würzburg: Vogel. Kamprath-Reihe. ISBN 978-3-8343-3129-8.

DEVRIES, H., 2000. *Brandbekämpfung mit Wasser und Schaum. Technik und Taktik*. Landsberg: Ecomed. Einsatzpraxis. ISBN 3-609-68740-1.

DRYSDALE, D., 1985. *An introduction to fire dynamics*. New York: John Wiley and Sons. ISBN 9781119976110.

ESCHBACH. *Druckverlust in bar für je 100m Schlauchlänge* [online] [Zugriff am: 24. Januar 2015]. Verfügbar unter: <http://www.jakob-eschbach.de/de/service/tabelle-druckverluste.php>

GRIMWOOD, P., 2002. *FLASHOVER & NOZZLE TECHNIQUES*. Destelbergen.

LAMPE, J. Die kleinste Brandschutzeinheit ist schnell einsatzbereit und sehr beweglich. Der Brandschutztrupp im behördlichen Selbstschutz- Bei Entstehungs- und Kleinbränden von großem Einsatzwert. In: *zivilschutz magazin*, S. 15-19.

LEADER GMBH. *SHO-FLOW* [online]. *Elektronischer Druck- u. Durchflussmengenmesser* [Zugriff am: 25. Januar 2015]. Verfügbar unter: http://www.leader-gmbh.de/upload/medias/sho_flow.pdf

LEADER GMBH. *Unsere Partner* [online] [Zugriff am: 24. Januar 2015]. Verfügbar unter: <http://www.leader-gmbh.de/uber-uns/unsere-partner-199.html>

MAWHINNEY, J.R., B.Z. DLUGOGORSKI und A.K. KIM. A Closer look at the fire extinguishing properties of water mist. In: *Fire Safety Science*, S. 47-60.

NORM 14011:2010-06, *Begriffe aus dem Feuerwehrwesen*.

NORM 14811:2008-01, *Feuerlöschschläuche- Druckschläuche und Einbände für Pumpen und Feuerwehrfahrzeuge*.

NORM 14811-1:1999-01, *Druckschläuche, Anforderungen, Prüfung, Behandlung*.

NORM 15182-2:2010a-04, *Strahlrohre für die Brandbekämpfung- Teil 2: Hohlstrahlrohre PN 16; Deutsche Fassung EN 15182-2:2007+A1:2009*.

NORM 15182-3:2010b-04, *Strahlrohre für die Brandbekämpfung- Teil 3: Strahlrohre mit Vollstrahl und/oder einem unveränderlichen Sprühstrahlwinkel PN 16; Deutsche Fassung EN 15182-3:2007+A1:2009*.

REEKER, C. und A. RIDDER, 2010. Entwurf einer SER. In: U. CIMOLINO, Hg. *Atemschutz-Notfallmanagement. Organisation, Ausbildung und Ausrüstung für Sicherheitstrupps und Schnelleinsatzteams*. Heidelberg: Ecomed Sicherheit, S. 237-243. ISBN 978-3-609-77484-8.

SCHOTT, L. und M. RITTER, 2003. *FwDV 2/2 Feuerwehr-Grundlehrgang*. 12. Auflage. Marburg: Wenzel.

SÜDMERSEN, J., 2004. Brandbekämpfung im Innenangriff. In: U. CIMOLINO, D. ASCHENBRENNER, T. LEMBECK und J. SÜDMERSEN, Hg. *Atemschutz. Sicheres und effizientes Vorgehen, Suchverfahren, Notfalltraining*. 4., überarb. und erw. Aufl. inkl. Forderungen nach FwDV 7 (2002). Landsberg: Ecomed Sicherheit, S. 119-144. ISBN 9783609686639.

THORNS, J., 2012. Grundtätigkeiten bei der Brandbekämpfung. In: REDAKTION DER FACHZEITSCHRIFT BRANDSCHUTZ/DEUTSCHE FEUERWEHRZEITUNG, Hg. *Das Feuerwehr-Lehrbuch. Grundlagen - Technik - Einsatz; mit 101 Tab. 2.*, aktualis. und erw. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer, S. 363-378. ISBN 978-3-17-022518-3.

TKW ARMATUREN. *Rückkraft von Strahlrohren* [online] [Zugriff am: 24. Januar 2015]. Verfügbar unter: <http://www.gentsch-brandschutz.de/wp-content/uploads/2013/02/Diagramme.pdf>

Unfallverhütungsvorschrift Feuerwehren. Vom Mai 1989, in der Fassung vom Januar 1997 ; mit Durchführungsvorschriften vom Juli 2003 ; GUV-V C 53 (bisher GUV 7.13), 2003. Neuaufl. München: Bundesverb. der Unfallkassen. Gesetzliche Unfallversicherung.

10 Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig gefertigt habe und die im Text genannten Quellen und Hilfsmittel in einem vollständigen Verzeichnis erhältlich sind. Alle Stellen der Arbeit, die aus anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen sind, gegebenenfalls auch elektronische Medien, wurden unter Angabe der Quellen gekennzeichnet, außer den genannten wurden keine weiteren Hilfsmittel verwendet.

Hamburg, den 27. Januar 2014

Unterschrift (Christoph Blaschke)

11 Anhang

Anhang 1: Versuchsergebnisse

Tabelle 7: Versuch 1, Messwerte, C-42 Schlauchpaket an SHO-FLO, zweite Angriffsleitung C-52 (ee)

Schlauchpaket C-42 an SHO-FLO

n	Pumpe	Verteiler	C-52	Schlauchpaket	
	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Durchfluss (in l/min)
1	8,5	8,0	7,0	5,9	435
2	8,5	8,0	7,0	6,0	440
3	8,5	8,0	7,0	6,0	440
4	8,5	8,0	7,0	6,0	440
5	8,5	8,0	7,0	5,9	435
6	8,5	8,0	7,0	6,0	440
7	8,5	8,0	7,0	5,9	435
8	8,5	8,0	7,0	5,9	435
9	8,5	8,0	7,0	6,0	440
10	8,5	8,0	7,0	6,0	440

Tabelle 8: Versuch 2, Messwerte, C-42 Schlauchpaket, zweite Angriffsleitung C-52 an SHO-FLO (ee)

C-52 an SHO-FLO

n	Pumpe	Verteiler	Schlauchpaket	C-52	
	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Durchfluss (in l/min)
1	8,5	8,0	6,0	7,0	490
2	8,5	8,0	6,0	7,0	490
3	8,5	8,0	6,0	6,9	485
4	8,5	8,0	6,0	7,0	490
5	8,5	8,0	6,0	6,9	485
6	8,5	8,0	6,0	6,9	485
7	8,5	8,0	6,0	7,0	490
8	8,5	8,0	6,0	7,0	490
9	8,5	8,0	6,0	7,0	490
10	8,5	8,0	6,0	7,0	490

Tabelle 9: Versuch 3, Messwerte, C-52 Schlauchpaket an SHO-FLO, zweite Angriffsleitung C-52 (ee)

Schlauchpaket C-52 an SHO-FLO

n	Pumpe	Verteiler	C-52	Schlauchpaket	
	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Durchfluss (in l/min)
1	7,5	7,0	6,0	6,1	440
2	7,5	7,0	6,0	6,2	445
3	7,5	7,0	6,0	6,2	445
4	7,5	7,0	6,0	6,2	445
5	7,5	7,0	6,0	6,1	440
6	7,5	7,0	6,0	6,1	440
7	7,5	7,0	6,0	6,1	440
8	7,5	7,0	6,0	6,1	440
9	7,5	7,0	6,0	6,2	445
10	7,5	7,0	6,0	6,1	440

Tabelle 10: Versuch 4, Messwerte, C-52 Schlauchpaket, zweite Angriffsleitung C-52 an SHO-FLO (ee)

C-52 an SHO-FLO

n	Pumpe	Verteiler	Schlauchpaket	C-52	
	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Durchfluss (in l/min)
1	7,5	7,0	6,0	6,0	440
2	7,5	7,0	6,0	5,9	435
3	7,5	7,0	6,0	6,0	440
4	7,5	7,0	6,0	6,0	440
5	7,5	7,0	6,0	5,9	435
6	7,5	7,0	6,0	6,0	440
7	7,5	7,0	6,0	6,0	440
8	7,5	7,0	6,0	5,9	435
9	7,5	7,0	6,0	6,0	440
10	7,5	7,0	6,0	6,0	440

Tabelle 11: Versuch 5, Messwerte, C-42 Schlauchpaket an SHO-FLO, zweite Angriffsleitung C-42 (ee)

Schlauchpaket C-42 an SHO-FLO

n	Pumpe	Verteiler	C-42	Schlauchpaket	
	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Durchfluss (in l/min)
1	8,5	8,0	6,0	6,0	440
2	8,5	8,0	6,0	6,1	445
3	8,5	8,0	6,0	6,1	445
4	8,5	8,0	6,0	6,0	440
5	8,5	8,0	6,0	6,0	440
6	8,5	8,0	6,0	6,0	440
7	8,5	8,0	6,0	6,1	445
8	8,5	8,0	6,0	6,0	440
9	8,5	8,0	6,0	6,0	440
10	8,5	8,0	6,0	6,0	440

Tabelle 12: Versuch 6, Messwerte, C-42 Schlauchpaket, zweite Angriffsleitung C-42 an SHO-FLO (ee)

C-42 an SHO-FLO

n	Pumpe	Verteiler	Schlauchpaket	C-42	
	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Druck (in bar)	Durchfluss (in l/min)
1	8,5	8,0	6,0	6,1	440
2	8,5	8,0	6,0	6,0	435
3	8,5	8,0	6,0	6,1	440
4	8,5	8,0	6,0	6,0	435
5	8,5	8,0	6,0	6,1	440
6	8,5	8,0	6,0	6,1	440
7	8,5	8,0	6,0	6,0	435
8	8,5	8,0	6,0	6,0	435
9	8,5	8,0	6,0	6,0	435
10	8,5	8,0	6,0	6,0	435

Anhang 2: Druck- Durchflussdiagramm "Hamburg Force"

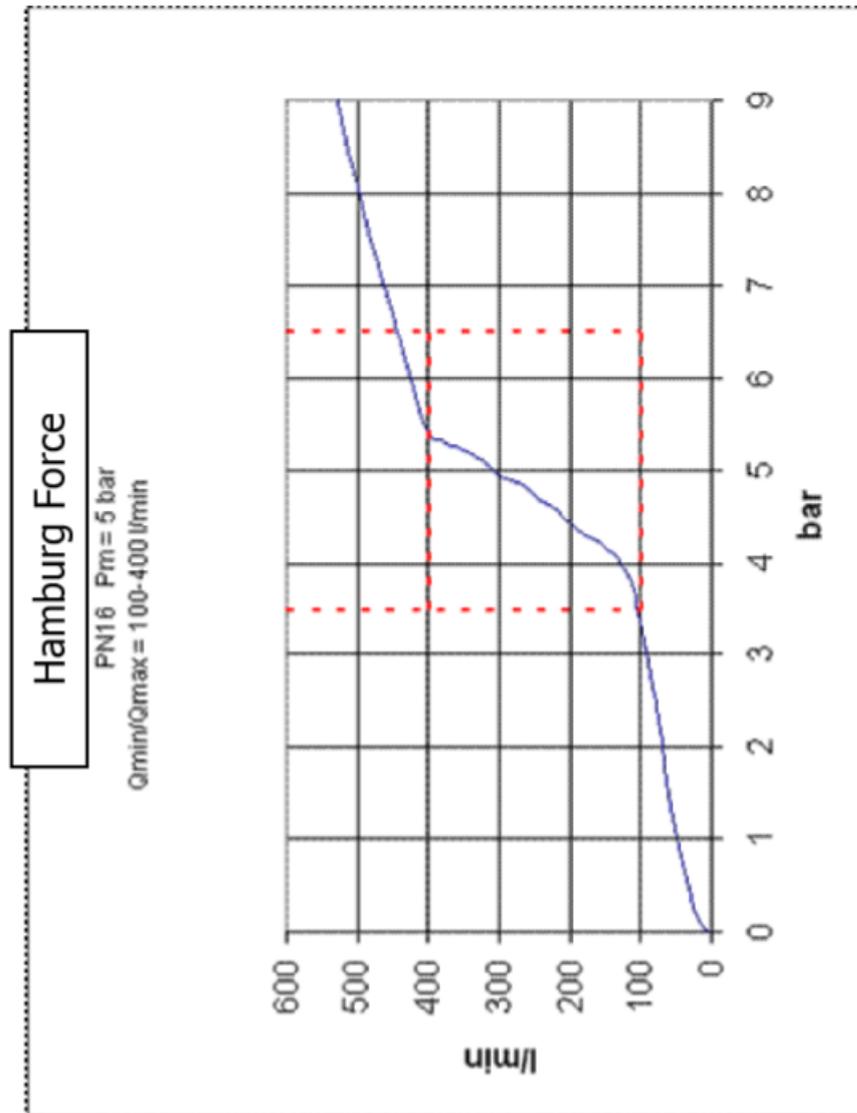


Abbildung 10: Druck- Durchflussdiagramm Hohlstrahlrohr "Hamburg Force". Quelle: Leader GmbH: *Hamburg Force*: Bedienungsanleitung. URL http://www.leader-gmbh.de/upload/medias/ba_hamburg_force6.pdf – Überprüfungsdatum 2015-01-25

Anhang 3: Rückkrafttabelle

MID-MATIC Flow & Nozzle Reaction Chart

7 BAR = 7 BAR MID-MATIC 6 BAR = 6 BAR MID-MATIC

PUMP DISCHARGE PRESSURE (BAR)	38mm HOSE						45mm HOSE						50mm HOSE					
	45M		60M		75M		45M		60M		75M		45M		60M		75M	
	7 BAR	6 BAR																
3.5	80 4	210 8	80 3	190 7	80 3	175 6	80 4	245 10	80 4	225 9	80 3	205 8	85 4	310 12	85 4	285 11	85 4	255 10
5.2	115 6	350 14	110 5	315 12	105 5	285 11	85 6	420 17	120 6	380 15	115 6	345 14	135 7	535 23	130 7	485 20	130 7	450 19
7	245 14	460 19	225 12	405 16	210 11	365 15	275 15	540 24	255 20	490 20	240 13	445 18	320 19	695 33	300 17	630 29	300 17	580 25
8.6	350 20	540 24	320 18	475 20	290 17	430 18	410 25	650 30	365 22	575 25	345 20	520 23	510 31	805 41	460 28	750 36	430 26	690 32
10	445 27	615 28	395 24	540 24	365 21	490 21	535 33	740 35	475 29	660 30	430 26	600 26	740 46	635 40	570 43	775 38	570 43	775 38
12	530 33	680 31	470 29	600 27	425 26	540 24	660 41	805 41	570 35	725 35	515 32	660 30	800 50	800 50	710 44	845 45	800 50	845 45
14	615 38	740 35	535 33	655 30	485 30	590 26	770 48	900 51	660 41	785 39	595 37	715 34	840 51	840 51	710 44	845 45	840 51	840 51
15.5	695 43	790 40	600 37	705 33	535 33	635 29	825 51	900 51	750 46	835 44	665 41	770 38	840 51	840 51	710 44	845 45	840 51	840 51
17	765 47	835 44	660 41	750 36	585 36	680 31	825 51	900 51	750 46	835 44	665 41	770 38	840 51	840 51	710 44	845 45	840 51	840 51

FLOW (LPM)
REACTION
(KG)

(1) Number on top in each box indicates flow (LPM), and number on bottom indicates nozzle reaction (KG).
 (2) Flows may vary with brand or condition of hose. (3) Flows are approximate and do not reflect losses in preconnect piping.

. Stand: 13.01.2015

Abbildung 11: Rückkrafttabelle. Quelle: Task Force Tips: MID-MATIC Flow & Nozzle Reaction Chart. URL: <http://www.tft.com/literature/library/files/MidMaticReactionChart.pdf> - Überprüfungsdatum 2015-01-25