

# BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE



**Evaluierung möglicher  
Trinkwasserkontaminationen  
durch die Feuerwehren bei  
der Entnahme von  
Löschwasser aus dem  
Trinkwassernetz und daraus  
abgeleitete Konsequenzen  
für die Feuerwehrtechnik**

# 221

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



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

Forschungsbericht Nr. 221

**Evaluierung möglicher Trinkwasserkontaminationen durch die  
Feuerwehren bei der Entnahme von Löschwasser aus dem Trinkwassernetz  
und daraus abgeleitete Konsequenzen für die Feuerwehrtechnik**

von

Dr. rer. nat. Sandra Wegner

M. Sc. Christoph Vogel

M. Sc. Julius Lange

Dr.-Ing. Michael Neske

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

Heyrothsberge

August 2025



## BERICHTS-KENNBLATT

BERICHTSNUMMER: 221	TITEL DES BERICHTES: Evaluierung möglicher Trinkwasserkontaminationen durch die Feuerwehren bei der Entnahme von Löschwasser aus dem Trinkwassernetz und daraus abgeleitete Konsequenzen für die Feuerwehrtechnik	ISSN: 0170-0060	
AUTOREN: Dr. rer. nat. Sandra Wegner M. Sc. Christoph Vogel M. Sc. Julius Lange Dr.-Ing. Michael Neske		DURCHFÜHRENDE INSTITUTION: Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge Biederitzer Straße 5 D-39175 Biederitz, OT Heyrothsberge Direktor: Andreas Rößler (m.d.W.d.G.b.)	
NUMMER DES AUFTRAGES: 117 (4/2024)		AUFTRAGGEBENDE INSTITUTION: Ständige Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder, Arbeitskreis V - Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung	
DATUM DES BERICHTES: August 2025			
SEITENZAHL: 117	BILDER: 56	TABELLEN: 11	LITERATURVERWEISE: 77
<p>KURZFASSUNG:</p> <p>Viele technische und organisatorische Neuerungen bei der Entnahme von Löschwasser aus dem Trinkwassernetz wurden im Laufe der Jahre eingeführt, um die Qualität des Trinkwassers zu wahren sowie die Sicherheit zu erhöhen. So sind aktuell der mobile Systemtrenner B-FW (nach DIN 14346) oder ein freier Auslauf in ein Wasserreservoir (Fahrzeugtank oder andere Speichermöglichkeit) durch die Feuerwehr zu verwenden, da der Entnehmende die Sicherheit des Trinkwassers im Leitungsnetz der Städte gewährleisten muss.</p> <p>Zur Überprüfung der Kontaminations-, Verkeimungs- sowie Zerstörungsgefahr für Trinkwassernetze bei der Löschwasserentnahme wurden Experimente an einem autarken Verteilungsnetz am IBK Heyrothsberge und am Trinkwassernetz sowie einem Brauchwassernetz durchgeführt. Hier wurden die Fortpflanzung von Druckstößen bei verschiedenen Entnahmeszenarien und zurückgedrückte Wassermengen untersucht. Diese Ergebnisse wurden aufbereitet präsentiert und interpretiert. Expertenmeinungen, Simulations- und Mischrechnungen sowie Verfahrensweisen ausländischer Feuerwehren fließen in die Beurteilung mit ein.</p>			
<p>SCHLAGWÖRTER: TRINKWASSER, HYGIENE, FEUERWEHRTECHNIK, FREIER EINLAUF, FREIER AUSLAUF, SYSTEMTRENNER, LÖSCHWASSERENTNAHME, KONTAMINATION, VERKEIMUNG, DRUCKSTOß</p>			



## **Danksagung**

Zum Gelingen dieses Projektes haben viele Personen beigetragen. Das Projektteam möchte allen Beteiligten für die geleistete Arbeit danken.

Zuerst möchten wir uns für die Beteiligung vieler Mitarbeitender des Instituts für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge und studentischer Kräfte bedanken. Ohne die fachlichen Diskussionen und die tatkräftige Unterstützung wären die Experimente in dieser Form nicht möglich gewesen. Im Besonderen möchten wir Fabian Tietz für jegliche Hilfe danken.

Ein besonderer Dank geht an die unterstützenden Feuerwehren, die Berufsfeuerwehr Magdeburg sowie die Werkfeuerwehr InfraLeuna. Insbesondere die Experimente unter speziellen Bedingungen wären ansonsten nicht möglich gewesen. Ein herzlicher Dank hierfür.

Außerdem bedanken wir uns bei allen Interviewpartnern für Ihre Bereitschaft für offene Worte über die vorgestellte Thematik.

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABKÜRZUNGEN, EINHEITEN UND FORMELZEICHEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>1 EINFÜHRUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2 GRUNDLAGEN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Rechtliche Grundlagen .....</b>	<b>2</b>
2.1.1 Situation in Deutschland .....	2
2.1.1.1 Gesetze und Verordnungen .....	2
2.1.1.2 Allgemein anerkannte Regeln der Technik .....	3
2.1.1.3 Rechtliche Handhabung in der Praxis .....	6
2.1.2 Situation im Europäischen Ausland.....	7
2.1.2.1 England .....	7
2.1.2.2 Frankreich .....	9
2.1.2.3 Italien .....	10
2.1.2.4 Österreich .....	11
2.1.2.5 Schweiz .....	11
2.1.2.6 Spanien .....	12
2.1.2.7 Fazit zur europäischen Nutzung.....	13
<b>2.2 Status Quo bei Feuerwehren – Stand der Technik .....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Nutzung Standrohr und Unterflurhydrant .....	16
2.2.2 Systemtrenner.....	19
2.2.3 Fahrzeugtechnik .....	21
2.2.4 Schlauchhygiene.....	21
2.2.5 Schaum als Sonderfall .....	22
<b>2.3 Naturwissenschaftlich-technische Betrachtung .....</b>	<b>23</b>
2.3.1 Druckstöße .....	23
2.3.2 Verkeimungen im Trinkwassernetz.....	24
<b>2.4 Vorgehen im europäischen Ausland .....</b>	<b>26</b>
2.4.1 Belgien.....	27
2.4.2 Dänemark.....	27
2.4.3 Frankreich.....	28
2.4.4 Irland .....	28

2.4.5	Niederlande.....	28
2.4.6	Norwegen.....	29
2.4.7	Österreich.....	29
2.4.8	Schweden.....	30
2.4.9	Schweiz.....	30
2.4.10	Slowenien.....	31
2.4.11	Spanien.....	31
2.4.12	Tschechische Republik .....	32
2.4.13	Ungarn.....	32
<b>2.5</b>	<b>Expertenmeinungen .....</b>	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZU DRUCKSTÖßEN UND RÜCKSTRÖMENDEM WASSER.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1</b>	<b>Messtechnik .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2</b>	<b>Übersicht Messungen .....</b>	<b>38</b>
<b>3.3</b>	<b>Messungen an Trinkwassernetzen.....</b>	<b>39</b>
3.3.1	Szenario 1: Nutzung eines Trinkwassernetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff mit einem Strahlrohr mit und ohne Nutzung eines Systemtrenners .....	39
3.3.2	Szenario 2: Nutzung eines Trinkwassernetzes zur Wasserbereitstellung für die automatische Tankbefüllung mit Systemtrenner .....	50
3.3.3	Szenario 3: Nutzung eines Trinkwassernetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff mit einem Strahlrohr mit Systemtrenner und Standrohr mit Rückflussverhinderer und Vakuumbrechern .....	51
<b>3.4</b>	<b>Szenario 4: Nutzung HFS-System zur Wasserbereitstellung und Nutzung Monitor im Löschangriff.....</b>	<b>53</b>
<b>3.5</b>	<b>Messungen an einem ringförmigen Versuchsnetz .....</b>	<b>57</b>
3.5.1	Szenario 5: Nutzung eines Versuchsnetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff mit einem Strahlrohr mit und ohne Systemtrenner .....	58
3.5.2	Nutzung eines Versuchsnetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff – Nutzung eines Schauhohrs am Systemtrenner .....	70
3.5.3	Szenario 6: Nutzung eines Versuchsnetzes im Tankbetrieb.....	76
3.5.4	Szenario 7: Nutzung eines Versuchsnetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff mit Wasserabgabe über ein Strahlrohr auf einer Drehleiter .....	78
<b>3.6</b>	<b>Messungen an einem Brauchwassernetz .....</b>	<b>81</b>

3.6.1	Szenario 8: Nutzung eines Brauchwassernetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff mit einem Wasserwerfer mit großen Durchflussmengen.....	81
3.7	Zusammenfassende Diskussion der experimentellen Ergebnisse.....	87
4	<b>KEIMZAHLEN IN FEUERWEHRTANKS.....</b>	<b>88</b>
5	<b>SIMULATIONEN ZUR FORTPFLANZUNG VON DRUCKSTÖßEN .....</b>	<b>90</b>
5.1	Mischrechnungen .....	92
6	<b>ALTERNATIVE VORGEHENSWEISEN .....</b>	<b>95</b>
6.1	Vergleich Löschangriff mit und ohne Nutzung eines mobilen Wasserbehälters .....	95
7	<b>DISKUSSION UND EINORDNUNG DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>97</b>
8	<b>FAZIT.....</b>	<b>100</b>
9	<b>LITERATUR .....</b>	<b>102</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>109</b>
	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>115</b>
	<b>ANHANG.....</b>	<b>116</b>
A.	Analyseergebnisse Feuerwehrtanks .....	116
B.	Liste dokumentierter Ereignisse .....	117
C.	Experteninterview: Fragen im Bereich Trinkwassernutzung durch die Feuerwehr .....	118

## Abkürzungen, Einheiten und Formelzeichen

a.a.R.d.T.	allgemein anerkannte Regeln der Technik
Abs.	Absatz
AGBF	Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren
DIN	Deutsches Institut für Normung (DIN-Norm ist ein unter Leitung des DIN erarbeiteter Standard)
DN	Nennweite
DOC	Dissolved Organic Carbon = gelöster organischer Kohlenstoff
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
E coli	Escherichia coli
HFS	Hytrans Fire System
FNFW	Normenausschuss Feuerwehrwesen im DIN
FPN	Feuerlöschkreiselpumpe mit Normaldruck
HLF	Hilfeleistungslöschgruppenfahrzeug
max.	maximal
min.	minimal
MW	Mittelwert
SAK	Spektraler Absorptionskoeffizient
STANET®	Programmsystem zur stationären und dynamischen Berechnung von Ver- und Entsorgungsnetzen
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TS	Tragkraftspritzen
ULF	Universallöschfahrzeug
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
vfdb	Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes
bar	Bar, Einheit Druck
°C	Grad Celsius, Einheit Temperatur
cm	Zentimeter, Einheit Länge
FNU	Formazin Nephelometric Units, Einheit Trübung
fps	frames per second, Einheit Bildrate
h	Stunde, Einheit Zeit

Hz	Hertz, Anzahl pro Sekunde, Einheit Frequenz
l	Liter, Einheit Volumen
m	Meter, Einheit Länge
min	Minuten, Einheit Zeit
mm	Millimeter, Einheit Länge
nm	Nanometer, Einheit Länge
$\mu$ s	Mikrosekunden, Einheit Zeit
c	Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit
p	Druck
v	Geschwindigkeit
$\rho$	Dichte

# 1 Einführung

Seit Jahrhunderten wird Wasser aus den Leitungsnetzen der Städte entnommen. Bei der Verbesserung dieser Netze wurde auch die Löschwasserentnahme zum Schutz der Städte berücksichtigt. Zusätzlich wurden künstliche offene Gewässer zum Schutz angelegt. [1] Noch heute ist die Nutzung von Trinkwasser als Löschwasser bei Feuerwehren in Deutschland häufig Standard.

Nach vielen Neuerungen sind bei der Entnahme von Löschwasser aus dem Trinkwassernetz seit einiger Zeit ein mobiler Systemtrenner B-FW, seit 2018 genormt nach DIN 14346 [2], oder ein freier Auslauf<sup>1</sup> in ein Wasserreservoir (Fahrzeugtank oder andere Speichermöglichkeit) zu verwenden, da der Entnehmende die Sicherheit des Trinkwassers gewährleisten muss. Der Systemtrenner soll die hydraulische Trennung zwischen der Entnahmestelle des Trinkwassernetzes und den wasserführenden Armaturen der Feuerwehren (z. B. Standrohr, Schläuche und Pumpen) sicherstellen. Die strikte Trennung sei notwendig, da Wasser, das mit Schläuchen oder Pumpen der Feuerwehr in Berührung kommt, potenziell verunreinigt sein kann. Dies resultiert aus der Tatsache, dass die wasserführenden Armaturen beispielsweise für die Wasserentnahme aus offenen Gewässern oder Brunnen bzw. zur Förderung von Schaummittel-Wasser-Gemischen verwendet werden könnten. Die Nutzung eines Systemtrenners ist nur bis zur sogenannten Flüssigkeitskategorie 4, „Flüssigkeit, die eine Gesundheitsgefährdung für Menschen durch die Anwesenheit einer oder mehrerer giftiger oder besonders giftiger Stoffe oder einer oder mehrerer radioaktiven, mutagenen oder kanzerogenen Substanzen darstellt“ [3], nutzbar.

Soll ein Fahrzeugtank mit dem Trinkwassernetz verbunden werden, ist die Nutzung eines Systemtrenners nicht trinkwasserschutzkonform, da anzunehmen ist, dass das Wasser des Tanks Flüssigkeitskategorie 5, „Flüssigkeit, die eine Gesundheitsgefährdung für Menschen durch die Anwesenheit von mikrobiellen oder viruellen Erregern übertragbarer Krankheiten darstellt“ [3], entspricht.

Ob tatsächlich eine Kontaminationsgefahr für die Trinkwassernetze bei der Löschwasserentnahme besteht und ob diese durch den Anschluss der Löschwassertanks der Fahrzeuge an das Leitungsnetz verursacht wird, ist nicht final geklärt. Zur Überprüfung werden Experimente bei verschiedenen Entnahmeszenarien zur Fortpflanzung von Druckstößen und zurückgedrückten Flüssigkeitsmengen durchgeführt.

---

<sup>1</sup> auch freier Einlauf genannt

## **2 Grundlagen**

### **2.1 Rechtliche Grundlagen**

Zunächst werden die rechtlichen Grundlagen in Deutschland und in ausgewählten europäischen Ländern betrachtet.

#### **2.1.1 Situation in Deutschland**

##### **2.1.1.1 Gesetze und Verordnungen**

Das Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz – IfSG) [4] ist die gesetzliche Grundlage zur Sicherung und Überwachung der Trinkwasserqualität. In § 37 Absatz 1 wird festgelegt, dass „Wasser für den menschlichen Gebrauch [...] so beschaffen sein [muss], dass durch seinen Genuss oder Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, nicht zu besorgen ist.“ § 38 Absatz 1 dieses Gesetzes ermächtigt das Bundesministerium für Gesundheit zur Bestimmung, „welchen Anforderungen das Wasser für den menschlichen Gebrauch entsprechen muss, um der Vorschrift des § 37 Absatz 1 zu genügen.“ Die Umsetzung hat durch Rechtsverordnungen mit Zustimmung des Bundesrates zu erfolgen. Im Detail geschieht dies durch die Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV) [5]. Die aktuelle Fassung der TrinkwV (20. Juni 2023) setzt zudem die EG-Richtlinie (EU) 2020/2184 [6] über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch in nationales Recht um und ist rechtsverbindlich. Trinkwasser wird im Sinne der TrinkwV [5] unabhängig von Transport und Lagerung, zum Trinken genutzt sowie als Wasser, das zur Zubereitung von Lebensmitteln, zur Körperpflege und zur Reinigung von Gegenständen, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen sowie für andere in Bezug auf die Gesundheit relevante Zwecke im häuslichen Gebrauch oder in Lebensmittelunternehmen zur Herstellung von Substanzen für den menschlichen Gebrauch verwendet wird. Die für den Themenbereich Löschwasser bestehende Relevanz der TrinkwV entsteht spätestens durch § 13 Abs. 3 TrinkwV. Demnach [5] dürfen „Wasserversorgungsanlagen [...] nur dann mit einer Nichttrinkwasseranlage verbunden werden, wenn die Wasserversorgungsanlagen mit einer Sicherheitseinrichtung ausgestattet sind, die den allgemein anerkannten Regeln der Technik [a.a.R.d.T.] entspricht.“

### **2.1.1.2 Allgemein anerkannte Regeln der Technik**

Eine gesetzlich verbindliche Definition der „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ existiert nicht. Damit sind im Wesentlichen technische Normen, Richtlinien und sonstige fachliche Regelwerke gemeint, die wissenschaftlich anerkannt und in der Praxis erprobt sind. In der Praxis wird häufig auf schriftliche technische Regelwerke wie DIN-Normen verwiesen, die diese Regeln zwar widerspiegeln können, ihnen jedoch auch hinterherhinken. DIN-Normen werden vom Deutschen Institut für Normung e. V. in Zusammenarbeit mit zuständigen Fachgremien erstellt. Sie besitzen keinen Rechtsnormcharakter, sondern haben Empfehlungscharakter. Ziel ist es, auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse und praktischer Erfahrungen einheitliche, wirtschaftliche und zweckmäßige Lösungen für wiederkehrende technische Aufgaben zu entwickeln und damit Standardisierung, Rationalisierung und Qualitätssicherung zu fördern. Allerdings decken sich DIN-Normen nicht zwangsläufig mit den allgemein anerkannten Regeln der Technik, da ihre Überarbeitung oft im Abstand mehrerer Jahre erfolgt, während sich technische Erkenntnisse häufig schneller weiterentwickeln. [7]

Der Verweis auf „allgemein anerkannte Regeln der Technik“ ist allerdings nicht die einzige Verfahrensweise um technische Details auszugestalten. Im Bauordnungsrecht wird auf eine eindeutigere Zuweisung zu technischen Regeln zurückgegriffen. In § 85a der Musterbauordnung (MBO) [8] ist beispielsweise festgelegt, dass die allgemeinen Anforderungen (gemäß § 3) durch technische Baubestimmungen konkretisiert werden können und diese einzuhalten sind. Diese technischen Baubestimmungen müssen nach § 85a Absatz 5 MBO durch eine Verwaltungsvorschrift bekannt gemacht werden (siehe Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen MVV TB [9]). Diese Verwaltungsvorschrift ordnet im Einzelnen den Ausführungsdetails bestimmte Normen, Vorschriften, Richtlinien und Regeln zu, womit diese dann eingeführt und somit rechtlich bindend sind. Diese Regelung besteht so in allen Bundesländern.

Die Diskrepanz zwischen den verschiedenen Varianten zur Zuordnung von Detailregelungen zu allgemeinen Anforderungen lässt den Schluss zu, dass der Gesetzgeber mit der Formulierung „allgemein anerkannte Regeln der Technik“ bewusst einen gewissen Gestaltungsspielraum zugesteht und nicht einer einzelnen Norm Gesetzescharakter zubilligt.

#### **DIN EN 1717**

Die DIN EN 1717 ist eine europäische Norm, die den Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigungen in Trinkwasser-Installationen sowie die allgemeinen Anforderungen an

Sicherungseinrichtungen zur Verhütung von Trinkwasserverunreinigungen durch Rückfließen regelt [3]. Sie beschreibt Maßnahmen zur Absicherung der öffentlichen Trinkwasserversorgung an der Übergabestelle. Zur Feststellung der erforderlichen Sicherungsmaßnahme im nicht häuslichen Gebrauch ist aufgrund der „Komplexität eine komplette und detaillierte Analyse“ [3] notwendig. Ebenso wird beschrieben, dass eine Sicherung gegen Rückfließen am Anfang der Trinkwasserinstallation an einer geeigneten Stelle eingebaut sein muss. Für den nicht häuslichen Gebrauch ist die Sicherungseinrichtung so zu wählen, dass das maximale Risiko, das beim Gebrauch des Trinkwassers auftreten kann, abgedeckt ist.

Die Gefährdung ergibt sich aus der Flüssigkeitskategorie der Flüssigkeit, die an das Trinkwassernetz angeschlossen wird. Diese fünf Kategorien [3] sind die folgenden:

#### Kategorie 1

Wasser für den menschlichen Gebrauch, das direkt aus einer Trinkwasser-Installation entnommen wird.

#### Kategorie 2

Flüssigkeit, die keine Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellt. Flüssigkeiten, die für den menschlichen Gebrauch geeignet sind, einschließlich Wasser aus der Trinkwasser-Installation, das eine Veränderung in Geschmack, Geruch, Farbe oder Temperatur (Erwärmung oder Abkühlung) aufweisen kann.

#### Kategorie 3

Flüssigkeit, die eine Gesundheitsgefährdung durch die Anwesenheit einer oder mehrerer giftiger oder besonders giftiger Stoffe darstellt.

#### Kategorie 4

Flüssigkeit, die eine Gesundheitsgefährdung für Menschen durch die Anwesenheit einer oder mehrerer giftiger oder besonders giftiger Stoffe oder einer oder mehrerer radioaktiven, mutagenen oder kanzerogenen Substanzen dargestellt.

#### Kategorie 5

Flüssigkeit, die eine Gesundheitsgefährdung für Menschen durch die Anwesenheit von mikrobiellen oder virtuellen Erregern übertragbarer Krankheiten darstellt.

In Abhängigkeit dieser Flüssigkeitskategorien sind Sicherungseinrichtungen bei der Abnahme von Trinkwasser aus dem Netz zu wählen. Hier stehen in der Norm 23 Möglichkeiten, von Rohrtrennern über Rückflussverhinderer bis zu verschiedenen freien Ausläufen, zur Verfügung.

Dabei scheiden vor allem bei den Kategorien 4 und 5 viele der Möglichkeiten aufgrund der Kontaminationsgefahr aus.

Für die Feuerwehr wird dieser beschriebene Zusammenhang zwischen Flüssigkeitskategorien und Sicherungseinrichtung relevant, da davon auszugehen ist, dass sich in Fahrzeugtanks der Feuerwehrfahrzeuge Wasser befindet, das einer Flüssigkeitskategorie zugeordnet werden muss, und dadurch auch Sicherungseinrichtungen abzuleiten sind. Eine direkte Bezugnahme auf das Wasser aus in Fahrzeugen verbauten Tanks und damit eine Zuordnung zu einer Flüssigkeitskategorie enthält die Norm nicht. Nach allgemeiner Lesart liegt aber der Schluss nahe, dass Wasser aus in Feuerwehrfahrzeugen verbauten Tanks der Flüssigkeitskategorie 5 zuzuordnen ist. Damit kämen als Sicherungseinrichtung nur ein freier Auslauf AA in Übereinstimmung mit den Funktionsprinzipien nach DIN EN 13076, ein freier Auslauf AB in Übereinstimmung mit den Funktionsprinzipien nach DIN EN 13077 oder ein freier Auslauf AD in Übereinstimmung mit den Funktionsprinzipien nach DIN EN 13079 in Frage. Allerdings schreibt die Norm in Abschnitt 7 vor, dass bei Trinkwasserentnahmestellen für den nicht-häuslichen Gebrauch eine detaillierte Risikoanalyse durchzuführen ist. Nach den Ergebnissen der Analyse ist dann die Sicherungseinrichtung anzupassen bzw. auszulegen. Eine durch die Risikoanalyse begründete Wahl einer niedrigeren Sicherheitsstufe wird dort nicht ausgeschlossen. Zusätzlich gibt der Abschnitt 5.2 an, dass in „[...] Fällen, wo entweder unbedeutende Konzentrationen oder andererseits wesentliche Mengen von Stoffen auftreten [...] die Sicherungsmaßnahmen neu zu bestimmen [...]“ sind. Die Legitimation als anerkannte Regel der Technik erhält die Norm, wie im nationalen Vorwort erwähnt, durch das Einvernehmen des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e. V. - Technisch-wissenschaftlicher Verein (DVGW). Dieser gilt als maßgebend in der Erstellung und Bewertung von technischen Regeln im Bereich der Wasserwirtschaft [10].

### **DVGW-Arbeitsblatt W 405-B1**

Das DVGW-Arbeitsblatt W 405-B1 [11] fungiert als Beiblatt zu DVGW W 405 (A) [12] und gilt für die Vermeidung von Beeinträchtigungen des Trinkwassers und des Rohrnetzes bei Löschwasserentnahme durch die Feuerwehr aus Hydranten. Das Arbeitsblatt bezieht sich bei der allgemeinen Kategorisierung von Flüssigkeiten und den daraus resultierenden Sicherungsmaßnahmen eng auf DIN EN 1717: „Bei Flüssigkeitskategorie 5 sollte immer ein freier Auslauf AA in Übereinstimmung mit den Funktionsprinzipien nach DIN EN 13076, ein

freier Auslauf AB in Übereinstimmung mit den Funktionsprinzipien nach DIN EN 13077 oder ein freier Auslauf AD in Übereinstimmung mit den Funktionsprinzipien nach DIN EN 13079“ genutzt werden. In der konkreten Kategorisierung ist das Arbeitsblatt allerdings präziser als die Norm und legt fest, dass bei in Feuerwehrfahrzeugen verbauten Tanks „im Regelfall [...] nach Flüssigkeitskategorie 4 abgesichert werden“ darf.

Diese Regelung wurde für den „Sonderfall“ Feuerwehr von einem breiten Gremium erarbeitet, das sich aus Vertretern der Versorgungsunternehmen, der Bauteilhersteller, des Deutschen Feuerwehrverbandes e. V., der vfdb, der AGBF, des VDMA und des Normenausschusses Feuerwehrwesen im DIN zusammensetzt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der Anschluss an das Trinkwassernetz bei Einsätzen nur temporär ist. Daraus ist zu schließen, dass die Nutzung eines Systemtrenners für die meisten Anwendungen der Feuerwehr ausreichend ist. Darüber hinaus bietet das Arbeitsblatt in der Tabelle B.1 eine detaillierte Risikoanalyse mit verschiedenen bewerteten Szenarien und den dazu passenden Maßnahmen zur Minimierung des Risikos. Auch dort wird explizit darauf verwiesen, dass das Risiko einer Verkeimung des Trinkwassers durch einen direkt angeschlossenen Tank eines Feuerwehrfahrzeuges beispielsweise durch das Verwenden eines Systemtrenners minimiert werden kann. Als weitere Maßnahme wird aufgeführt, dass die Fahrzeuge bei Neubeschaffung oder Nachrüstung mit einem freien Auslauf zu versehen sind. Diese Maßnahme würde dann auch nach DIN EN 1717 einen Schutz gegen Wasser der Flüssigkeitskategorie 5 liefern.

### **2.1.1.3 Rechtliche Handhabung in der Praxis**

Festzuhalten ist, dass die rechtliche Situation in der Detailausführung bei der Wasserentnahme von Feuerwehrfahrzeugen mit Tank aus dem Trinkwassernetz nicht in dem Sinne eindeutig ist, dass eine gesetzlich bindende Rechtsnorm besteht. Über die durch das IfSG eingeführte TrinkwV wird für die Detailausführung von Sicherheitseinrichtungen für den Schutz des Trinkwassernetzes auf „allgemein anerkannte Regeln der Technik“ verwiesen. Diese bestehen unter anderem aus Normen, Regeln und Richtlinien. Sie sollen als Regelwerke mit Empfehlungscharakter dienen, welche benutzt werden können, um die definierten Anforderungen oder auch Schutzziele zu erreichen. Sie sind aber per se nicht rechtsverbindlich.

Eine zentrale Norm im Bereich der Sicherungsmaßnahmen für Trinkwasserleitungen ist die DIN EN 1717. Diese bildet die normative Grundlage durch die Einführung der Flüssigkeitskategorien und den zugehörigen Sicherungsmaßnahmen. Wie in der Norm

beschrieben, sind diese durch eine Risikoanalyse zu verifizieren. Der DVGW legitimiert die DIN EN 1717 als allgemein anerkannte Regel der Technik, wie aus dem nationalen Vorwort zu lesen ist. Zur weiteren Spezifikation der Umsetzung von allgemeinen Anforderungen aus der TrinkwV durch die DIN EN 1717 hat der DVGW das von einem breiten Gremium erarbeitete Arbeitsblatt W 405-B1 veröffentlicht. Durch die beschriebene gesetzgeberische Wechselwirkung von zwei anerkannten Regeln der Technik wird diese Anpassung als legitim und plausibel angesehen. Das Arbeitsblatt beschreibt, dass bei der Abgabe von Trinkwasser an die Feuerwehr aus dem Trinkwassernetz im Regelfall gegen die Flüssigkeitskategorie 4 abgesichert werden soll. Das bedeutet im Detail die Verwendung von Systemtrennern bei der Entnahme von Trinkwasser als Löschwasser. Die in der DIN EN 1717 geforderte Risikoanalyse wird zusätzlich im Anhang des Arbeitsblattes aufgeführt. Sie kommt zu dem Schluss, dass der Schutz des Trinkwassers bei der Abgabe aus dem Trinkwassernetz an die Feuerwehr durch die Verwendung eines Systemtrenners ausreichend gewährleistet ist. Als weitere Maßnahme ist aufgeführt, dass die Fahrzeuge bei der Neubeschaffung oder Nachrüstung mit einem freien Auslauf zu versehen sind. Dadurch würde gemäß DIN EN 1717 auch ein Schutz gegen Wasser der Flüssigkeitskategorie 5 gewährleistet.

**Der Einsatz eines Systemtrenners ist deutschlandweit die gängigste Lösung, um das Trinkwasser bei der Entnahme durch die Feuerwehr aus dem Trinkwassernetz zu schützen. Diese Lösung basiert auf der zuvor skizzierten und breit akzeptierten Rechtsauslegung.**

## **2.1.2 Situation im Europäischen Ausland**

In den folgenden Kapiteln wird die rechtliche Situation bezüglich der Löschwasserentnahme aus dem Trinkwassernetz in ausgewählten europäischen Ländern, sowohl EU-Mitgliedstaaten als auch anderen, betrachtet. Die Auswahl erfolgte nach Einwohnerzahl und geografischer Nähe zu Deutschland.

### **2.1.2.1 England**

Der Water Industry Act 1991 [13] ist ein zentrales Gesetz im Vereinigten Königreich und legt die Regulierung der Wasser- und Abwasserwirtschaft in England und Wales fest. Darin ist unter anderem festgelegt, dass Wasserversorger auf Anfrage der Feuerwehr Hydranten zur Brandbekämpfung bereitstellen müssen.

Die „Water Supply (Water Fittings) Regulations 1999“ [14] regeln die Installation und Nutzung von Wasseranlagen in England. Ziel ist es, die öffentliche Trinkwasserversorgung durch das Vermeiden von Verunreinigungen, Rückflüssen und Wasserverschwendung zu schützen. Dieses Gesetz wurde 1999 in Kraft gesetzt. Dort ist in Schedule 2, § 15 geregelt, dass jedes Wassersystem über eine oder mehrere geeignete Vorrichtungen verfügen muss, um einen Rückfluss von Flüssigkeit aus Geräten, Armaturen oder Prozessen ins Netz zu verhindern. Je nach Kategorie angeschlossener Wässer muss eine Sicherungsmaßnahme gewählt werden. Eine Nutzung in Notfällen oder durch Feuerwehren wird nicht näher erwähnt. Damit ist nicht eindeutig nachvollziehbar, ob die Water Supply Regulations 1999 bei der Nutzung von Wasseranlagen in Gefahrensituationen anzuwenden ist.

Obwohl Großbritannien nicht mehr Teil der EU ist, werden weiterhin viele europäische Normen übernommen und als British Standards (BS) geführt. Die BS EN 1717:2000 „Protection against pollution of potable water in water installations and general requirements of devices to prevent pollution by backflow“ entspricht dabei der Norm EN 1717 [15]. Eine rechtsverbindliche Einführung der Norm ist nicht gegeben. Jedoch orientieren sich Wasserversorger und Installateure in der Praxis an BS EN 1717. Eine formale juristische Verknüpfung zu einer übergeordneten gesetzlichen Rahmenstruktur, wie sie etwa in Deutschland in Form des Infektionsschutzgesetzes gegeben ist, lässt sich nicht erkennen.

Praktisch wird mit der nicht rechtlich bindenden Leitlinie „National Guidance Document on the Provision of Water for Firefighting“ [16], verfahren. Diese soll die Zusammenarbeit zwischen Feuerwehren, Rettungsdiensten (FRS) und Wasserversorgern in England und Wales erleichtern und fördern. In der Leitlinie werden Sachverhalte zum Trinkwasserschutz aufgeführt. Darin wird geschrieben, dass die Entnahme von zu viel Wasser zu einem Druckabfall führen kann. Dies kann zu einem Verlust der Wasserversorgung und einer Verunreinigung des Wassersystems durch das Eindringen von unbehandeltem Wasser führen. Ein zu schnelles Absperren von Hydranten/Ventilen/Geräten kann zu Druckschwankungen führen, die Rohrschäden und den Verlust der Wasserversorgung zur Folge haben können. Daraus leiten sich unter anderem die folgenden Maßnahmen ab:

- Feuerwehren und Rettungsdienste sollen Wasserunternehmen informieren, bevor sie das Trinkwassernetz zur Brandbekämpfung oder für Durchflussprüfungen nutzen.

- Die Wasserunternehmen, die Feuerwehr und der Rettungsdienst sollten regelmäßig zusammenarbeiten, um Brandvorfälle zu überprüfen, Erfahrungen auszutauschen und Aktionspläne zu entwickeln, um Verbesserungen voranzutreiben.
- Alle von der Feuerwehr und dem Rettungsdienst verwendeten Ausrüstungen müssen mit den entsprechenden bewährten Verfahren der Wasserhygiene übereinstimmen.
- Langsam schließende/öffnende Ventile an Feuerwehrausrüstungen sollen verwendet werden.
- Eine Verunreinigung des Leitungsnetzes mit festen oder flüssigen Stoffen muss vermieden werden. Wenn Feuerwehr und Rettungsdienst einen Unterdruck feststellen, sollte der Wasserversorger sofort informiert werden.
- Alle vom Feuerwehr- und Rettungsdienst im Trinkwassernetz verwendeten Geräte müssen angemessen gewartet, gelagert und gereinigt werden. Es wird dabei nicht näher auf geeignete Geräte eingegangen.

### **2.1.2.2 Frankreich**

In Frankreich sind alle zentralen Regelungen zur öffentlichen Gesundheit im umfassenden Gesetzeswerk Code de la santé publique [17] vereint. Dieses ist in sechs Teile gegliedert. In Teil I, Buch III, Titel II werden die Wasser- und Lebensmittelsicherheit geregelt. Darin wird unter anderem festgelegt, dass Wasserversorger Qualitätsanforderungen und Kontrollpflichten für die Wasserqualität haben. Außerdem müssen sie gemäß Artikel L1321-4 Punkt 5 die für Produktions- und Verteilungsanlagen geltenden Regeln der Konzeption und Hygiene einhalten. Dies ist vergleichbar mit der deutschen Forderung nach Einhaltung der a.a.R.d.T.

Die europäische Norm EN 1717 wurde in Frankreich als NF EN 1717 [18] im März 2001 als nationale Norm übernommen und kann daher als Regel der Konzeption und Hygiene gesehen werden.

Zur Umsetzung der europäischen Trinkwasserrichtlinie (EU) 2020/2184 wurden Änderungen durch die Verordnung (Ordonnance) n° 2022-1611 vom 22.12.2022 „relative à l'accès et à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine“ [19] am Code de la santé publique vorgenommen. Außerdem wurden weitere Verordnungen (Arrêté), wie die Verordnung vom 30.12.2022 „relatif à l'évaluation des risques liés aux installations intérieures de distribution d'eau destinée à la consommation humaine“ eingeführt.

### 2.1.2.3 Italien

In Italien wurde die europäische Trinkwasserrichtlinie (EU) 2020/2184 durch das DECRETO LEGISLATIVO vom 23. Februar 2023, Nr. 18 (D.Lgs. 18/2023) [20] in nationales Recht überführt. Dieses Gesetz ist ein eigenständiges Dekret mit bundesweiter Gültigkeit und besitzt somit unmittelbare Rechtskraft. Eine formale juristische Verknüpfung zu einer übergeordneten gesetzlichen Rahmenstruktur, wie sie etwa in Deutschland durch die Kombination aus Infektionsschutzgesetz und Trinkwasserverordnung gegeben ist, lässt sich nicht erkennen. Das Dekret steht vielmehr als direktes Ausführungsgesetz für sich.

Inhaltlich kann das D.Lgs. 18/2023 mit der deutschen Trinkwasserverordnung verglichen werden, da es ebenfalls Qualitätsanforderungen, Grenzwerte, Kontrollpflichten und Verantwortlichkeiten im Bereich der öffentlichen Trinkwasserversorgung festlegt.

Ein wesentlicher Unterschied zur deutschen Regelung besteht jedoch darin, dass das italienische Dekret keine expliziten Bestimmungen zu sogenannten Nichttrinkwasseranlagen enthält, wie sie in Deutschland in § 13 Absatz 3 TrinkwV [5] geregelt sind. Im italienischen Gesetz wird in Artikel 4 Absatz 2a [20] lediglich festgehalten, dass Trinkwasser frei von Mikroorganismen, Viren, Parasiten oder anderen Stoffen in Mengen oder Konzentrationen sein muss, die eine potenzielle Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen. Diese Formulierung ist bewusst allgemein gehalten und deckt nicht direkt den Bereich von Installationen oder Systemen außerhalb der Trinkwasserversorgung ab.

Hinsichtlich des technischen Schutzes vor Rückfließen oder Vermischung von Trink- und Nichttrinkwasser verweist Italien nicht unmittelbar in einem einzelnen Gesetz auf entsprechende technische Regeln. Die europäische Norm EN 1717 wurde in Italien als UNI EN 1717 [21] übernommen. Ihre Anwendung ist nicht durch ein spezielles Gesetz eingeführt, sondern erfolgt über die technische Regelsetzung sowie durch gesetzliche Querverweise auf anerkannte technische Normen. Eine Rechtsauslegung, dass dieses Zusammenspiel aus Dekret und technischer Regel UNI EN 1717 auf die Löschwasserentnahme aus Trinkwassernetzen durch die Feuerwehr überträgt, ist nicht zur erkennen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Das italienische System setzt die EU-Trinkwasserrichtlinie in einem eigenständigen nationalen Gesetz um, konzentriert sich dabei jedoch auf allgemeine hygienische Schutzziele. Eine direkte Verbindung zwischen den Anforderungen und Grundsätzen der UNI EN 1717 und der Löschwasserentnahme aus Trinkwassernetzen durch die Feuerwehr ist weder im juristischen Sinn noch in der praktischen Umsetzung erkennbar.

#### **2.1.2.4 Österreich**

In Österreich gibt es kein Pendant zur deutschen Verbindung zwischen Infektionsschutzgesetz und Trinkwasserverordnung, jedoch mehrere Gesetze, die in ihrer Funktion und Zielsetzung dem deutschen Infektionsschutzgesetz ähneln. Zunächst gilt das Epidemiegesetz von 1950 [22], das mehrfach novelliert wurde. Des Weiteren gibt es Gesetze, die den Umgang mit speziellen Krankheitserregern bzw. Krankheiten regeln, wie das Tuberkulosegesetz. Die Qualität von Trinkwasser wird eigenständig über das Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz (LMSVG) [23] sowie die Trinkwasserverordnung (TWV) [24] geregelt. Diese legen hygienische, chemische und mikrobiologische Anforderungen fest und verpflichten zu regelmäßigen Kontrollen. Die Überwachung erfolgt durch die Länderbehörden in Zusammenarbeit mit der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES). Damit wird der gesundheitliche Verbraucherschutz sichergestellt, allerdings im Rahmen des Lebensmittelrechts und nicht eines speziellen Infektionsschutzgesetzes.

Die Regelungen zur Ausführung von Löschwasserentnahmestellen enthält die ÖBFV Richtlinie VB-01 /23 RL [25].

Ein Merkblatt des Wasserverbands Unteres Lafnitztal [26] macht die folgenden Vorgaben bezüglich der Nutzung von Hydranten zur Löschwasserversorgung: „Bei der Wasserentnahme von Hydranten ist auf den Einbau einer Sicherheitseinrichtung zu achten, die eine Druckentlastung ermöglicht und ein Rückfließen von Wasser in das Trinkwassernetz verhindert. Es wird dafür auf die Bestimmungen der ÖNORM EN 1717 verwiesen. [...] Die Montage der Entnahmegarnitur und die Bedienung des Hydranten dürfen nur durch dafür unterwiesenes und nachweislich fachgerecht geschultes Personal erfolgen. Auch bei der Wasserentnahme zur Brandbekämpfung durch die Feuerwehr darf nur geschultes Personal zur Bedienung der Hydranten eingesetzt werden, welches auch über die mögliche Trinkwassergefährdung nachweislich unterrichtet wurde.“ Konkrete Sicherungsmaßnahmen können daraus nicht direkt abgeleitet werden.

#### **2.1.2.5 Schweiz**

In der Schweiz legt das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) die gesetzlichen Bestimmungen im Zusammenhang mit der Trinkwasserqualität fest [27]. Diese Bestimmungen sind in der „Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen“ festgehalten. Zu dieser Verordnung gibt es, anders

als in Deutschland, im Schweizer Bundesgesetz über die Bekämpfung übertragbarer Krankheiten des Menschen (Epidemiengesetz, EpG) [28] keine Verbindung.

Die Schweizer „Richtlinie Versorgung mit Löschwasser“ [29] gilt für Planer/Betreiber von Löschwasserversorgungen, Amtsstellen und Feuerwehren in der gesamten Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein. Darin ist verankert, dass die Gemeinden für die Löschwasserversorgung zuständig sind. Außerdem wird beschrieben, dass Hydranten der Wasserversorgung aus dem Wasserverteilnetz für den Feuerwehreinsatz dienen und „der Feuerwehr uneingeschränkt zur Verfügung zu stellen“ sind. In der Richtlinie für die Ausführung der Löschwasserversorgung im Kanton Zürich [30] wird im Punkte 2.3 „Rückflussverhinderer“ geschrieben, dass im „Kanton Zürich [...] in den Versorgungsgebieten gute bis sehr gute Druckverhältnisse [herrschen]. Der Rückfluss von Löschwasser in die Trinkwasserversorgung ist unter normalen Bedingungen nicht möglich und der Einsatz von mobilen Rückflussverhinderern ist bei der Feuerwehr somit nicht notwendig.“ Zudem gilt, „Gemeinden und Wasserversorgungen können Hydranten mit integriertem Rückflussverhinderer im Oberteil installieren.“

Diese Richtlinie wurde auf Grundlage von § 31 Abs. 3 des Gesetzes über die Feuerpolizei und das Feuerwehrwesen (FFG/LS 861.1), § 16 der Feuerwehrverordnung (LS 861.2), § 10 der Verordnung über die Subventionen der Gebäudeversicherung an den Brandschutz (VSGB/LS 861.21) sowie § 25 der Vollzugsvorschriften für das Feuerwehrwesen (LS 861.211) erlassen. In den Richtlinien anderer Kantone wird nicht speziell auf Rückflussverhinderer oder ähnliche Schutzmaßnahmen eingegangen.

#### **2.1.2.6 Spanien**

In Spanien gibt es kein einzelnes Gesetz, das direkt dem Zusammenspiel von Infektionsschutzgesetz und Trinkwasserverordnung in Deutschland entspricht. Der Gesundheitsschutz beim Trinkwasser wird jedoch durch ein Zusammenwirken aus EU-Richtlinien, nationalen Vorschriften und regionaler Zuständigkeit gewährleistet. Zentrale Grundlage ist die EU-Trinkwasserrichtlinie, umgesetzt u. a. durch das Real Decreto 3/2023 [31], welches Qualitätsstandards, mikrobiologische Grenzwerte und Risikomanagementpläne („Plan Sanitario del Agua“) festlegt. Zuständig sind auf staatlicher Ebene das Gesundheitsministerium und die Dirección General de Salud Pública. Kommunen sichern die Umsetzung vor Ort.

In den beschriebenen Gesetzen gibt es wie in der deutschen Trinkwasserverordnung keinen direkten Bezug zur UNE-EN 1717:2001 [32], der offiziellen spanischen Version der europäischen Norm EN 1717. In einem spanischen Gesetz, also königlichem Dekret, wird explizit eine Rückflussverhinderung gemäß UNE-EN 1717:2001 verlangt. Das Dekret 487/2022 ersetzt das königliche Dekret 865/2003 und findet Anwendung bei Anlagen, die während ihrer Betriebs-, Wartungs- oder Wartungsprüfungen, zu Quellen für die Exposition des Menschen gegenüber Legionellen und damit für die Ausbreitung der Legionärskrankheit werden können.

Eine rechtliche Verbindlichkeit der UNE-EN 1717:2001, vor allem für eine Wasserentnahme bei Feuerwehreinsätzen, wurde bei den Recherchen nicht deutlich.

### **2.1.2.7 Fazit zur europäischen Nutzung**

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es in keinem der betrachteten europäischen Länder eine der deutschen Situation direkt vergleichbare, formale Verknüpfung zwischen einem übergeordneten Infektionsschutzgesetz, einer Trinkwasserverordnung und dem Rückgriff auf anerkannte Regeln der Technik wie die DIN EN 1717 gibt. Die betrachteten Länder finden hierfür unterschiedliche Wege. In anderen europäischen Staaten wird der Schutz des Trinkwassers zwar ebenfalls durch nationale Gesetze sichergestellt, die zumeist die EU-Trinkwasserrichtlinie 2020/2184 umsetzen, jedoch fehlen dort oft

- eine direkte gesetzliche Koppelung an ein Infektionsschutz- oder Epidemiegesetz,
- ein expliziter, rechtsverbindlicher Verweis auf technische Normen wie die EN 1717 im Kontext der Löschwasserentnahme,
- und klare, flächendeckend geregelte Vorgaben für den Einsatz solcher Normen bei Feuerwehreinsätzen.

Stattdessen erfolgt der Rückgriff auf Normen wie die EN 1717 in Ländern (z. B. England, Italien, Österreich, Spanien) eher indirekt über technische Regelwerke, Leitlinien oder die Praxis der Wasserversorger. Die rechtliche Verbindlichkeit variiert stark und in einigen Fällen (z. B. Schweiz, Kanton Zürich) wird aus technischen Gründen sogar auf mobile Rückflussverhinderer verzichtet. Damit bleibt festzuhalten, dass während in Deutschland ein geschlossenes juristisches System vom Infektionsschutzgesetz über die Trinkwasserverordnung bis hin zu den technischen Regeln besteht, die Rechtslage im

europäischen Ausland oft fragmentierter und stärker von technischen Normen, regionalen Vorschriften oder unverbindlichen Empfehlungen geprägt ist.

## 2.2 Status Quo bei Feuerwehren – Stand der Technik

Derzeit befinden sich in Deutschland Feuerwehrtankfahrzeuge im Einsatz, die schätzungsweise in den letzten 40 Jahren beschafft wurden. Die Zuläufe für Wasser in den Fahrzeugtank sind bei diesen an verschiedenen Stellen verbaut. Seit etwa zehn Jahren werden Fahrzeuge mit einem Einlauf von oben in den Tank am Markt angeboten [33], [34]. Teils liegt dieser Einlauf mit einem gewissen Abstand über der maximalen Wasserfüllhöhe, wenn das Fahrzeug auf ebenem Grund aufgestellt wird. Ein Beispiel hierfür zeigt Abbildung 1. Das Wasser wird durch eine Tankfülleitung mit einem Durchmesser von 100 mm von oben durch eine Rückschlagklappe in den Tank geführt. Diese Leitung kann nach Abschluss der Füllung entleert werden. Dennoch ist dies kein freier Auslauf nach [3]. Zur Erstellung des Berichts sind den Autoren keine Fahrzeuge mit einer korrekten Ausführung nach der angegebenen Norm bekannt.



Abbildung 1: Tankbefüllung eines aktuellen Feuerwehrtankfahrzeugs. Das Wasser wird durch eine Tankfülleitung (Rohr mit 100 mm Durchmesser) von oben in den Fahrzeugtank gedrückt. Ein Rückfließen wird durch eine Rückschlagklappe verhindert. Die Leitung kann entwässert werden.

In DIN 14502-2:2020-12-Entwurf [35] werden Anforderungen genannt, die ein Fahrzeug bzw. ein Tank erfüllen muss, um die Schutzziele des freien Einlaufs zu erreichen. Diese sind [35]:

- Der Rückfluss des Löschwasserbehälters in die Tankfülleleitungen des auf einer ebenen Fläche stehenden Fahrzeugs muss ausgeschlossen sein. Die untere Kante des Einlaufs muss über der Höhe des Wasserspiegels bei maximaler Füllung liegen.
- Der Rückfluss von Wasser in die Tankfülleleitungen muss während der Fahrt beispielsweise mittels Klappen minimiert werden.
- Jede Tankfülleleitung muss einen freien Einlauf haben und entwässert werden können.

Außerdem liegen dazu zwei Anmerkungen vor:

- „Die Festlegungen dienen gemeinsam mit dem mobilen Systemtrenner B-FW nach DIN 14346 dem Schutzziel von DVGW-W405 B1 [...].“
- „Ein geringstmöglicher Luftraum im Löschwasserbehälter ist wichtig für ein sicheres Fahrverhalten.“

Dies wurde in den zwei folgenden Entwürfen von 2022 und 2024 nicht mehr gefordert, weil keine Einigung im Schlichtungsverfahren erzielt werden konnte. Der Trinkwasserschutz soll in der DIN 14502-4 (Feuerwehrfahrzeuge Teil 4) aufgegriffen werden.

Die Problematik bei einem mobilen Behälter, wie einem Fahrzeugtank im Vergleich zu einer Festinstallation, besteht darin, dass der Tank in unterschiedlichen Winkeln zum Boden aufgestellt werden kann und sich bei einer Fahrt des Fahrzeugs die enthaltene Flüssigkeit bewegen kann.

Derzeit existiert also keine Norm zum Bau eines korrekten freien Einlaufs in einen Feuerwehrtank.

Eine Studie des Fachbereichs Energie, Gebäude, Umwelt der Universität Münster [36] kommt zu dem Ergebnis, dass die bisherigen Anforderungen an einen freien Einlauf nicht ausreichend sind. Unabhängig von der Aufstellung des Fahrzeugs muss sichergestellt werden, dass der „Einlauf nicht die Flüssigkeitssäule im Löschwassertank“ berührt. „Hierfür ist der notwendige Mindestabstand (min. 2 x DN nach DIN EN 13077) zwischen Einlauf und maximalen [sic] Wasserspiegel einzuhalten.“ Dies gelte für alle positionsabhängigen Gefällesituationen. Außerdem muss der Rückfluss von Wasser in die Tankfülleleitungen ausgeschlossen und nicht wie gefordert minimiert werden. Eine Befeuchtung des Einlaufs sei konstruktiv auszuschließen. Insgesamt kommt die Studie zum Fazit, dass die derzeitige Studien- und Rechtslage besagt: „Das Wasser in Löschwassertanks von Feuerlöschfahrzeugen ist eindeutig der Flüssigkeitskategorie 5 zuzuordnen. Die Tankbefüllung darf entsprechend den a.a.R.d.T. nur über einen freien Auslauf erfolgen. Dieser ist im Rahmen des Fahrzeugbaus konstruktiv umzusetzen, so dass die Anforderungen der DIN EN 1717 uneingeschränkt eingehalten werden.“

[...] Die Anforderungen der TrinkwV werden nicht erfüllt, es liegt ein Verstoß gegenüber dem Infektionsschutzgesetz vor.“

Die Studie [36] verweist auf acht dokumentierte Schadensereignisse an Trinkwassernetzen im Zusammenhang mit Brandbekämpfungen. Damit soll aufgezeigt werden, dass „eine Absicherung mittels freien [sic] Auslauf z. T. gar nicht vorhanden ist oder dieser mangelhaft ausgeführt wurde.“ Fünf der Ereignisse lagen vor der Einführung des Systemtrenners. Bei den anderen kann nicht nachvollzogen werden, ob Systemtrenner an allen Abgängen von Standrohren oder Oberflurhydranten genutzt wurden und wie der Zustand des Trinkwassernetzes war. Die Tabelle ist in Anhang B angegeben.

Zur Nutzung eines freien Einlaufs bei Einsatz- oder Übungslöschangriffen kann alternativ z. B. mit einem transportablen Faltbehälter gearbeitet werden. Nach DVGW Arbeitsblatt W 405-B1 darf jedoch im Regelfall bei Löschzwecken gegen Wasser der Kategorie 4 abgesichert werden. Hierzu werden ein Systemtrenner B-FW oder übergangsweise bis zur Aussonderung zwei Rückflussverhinderer verwendet.

Generell gilt, dass das bedienende Feuerwehrpersonal im Umgang mit den zu nutzenden Geräten geschult und unterwiesen sein muss.

Außerdem sollte der Dialog mit dem Betreiber des Trinkwassernetzes gesucht werden. So können schon vor Einsätzen Besonderheiten herausgearbeitet oder Wartungsarbeiten mitgeteilt werden. Im Einsatzfall kann die Löschwasserversorgung im besten Fall optimiert werden.

Die folgenden Kapitel gehen auf die Nutzung von Entnahmearmaturen und Besonderheiten zum Trinkwasserschutz bei der Feuerwehr ein. Die Aspekte Standrohr in Kombination mit Unterflurhydranten, Systemtrenner B-FW, weitere Fahrzeugtechnik, Schlauchhygiene und die Schaumerzeugung werden beleuchtet.

### **2.2.1 Nutzung Standrohr und Unterflurhydrant**

Bei der Nutzung von Trinkwasser durch Feuerwehren wird dies in Deutschland oft mittels Standrohren über Unterflurhydranten aus der Trinkwassernetzleitung entnommen. Hierbei muss sich strikt an die folgende festgelegte Handlungsreihenfolge gehalten werden [37], [38]. Nur so kann der Trinkwasserschutz gewährleistet werden. Wesentliche Aufbauteile sind in Abbildung 2 angegeben.

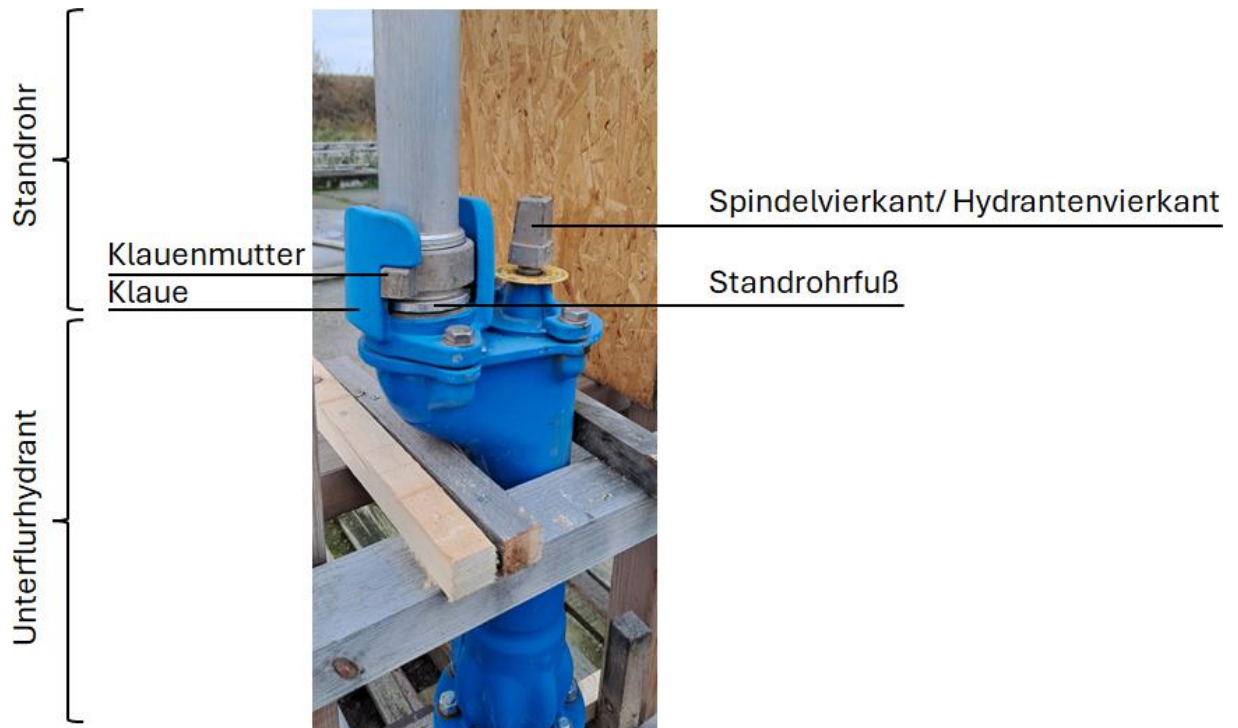


Abbildung 2: Standrohr verbaut an einem Unterflurhydranten

### Montage und Inbetriebnahme Standrohr

- Die Umgebung des Hydranten von Material, Baustoffen und Geräten befreien und freihalten.
- Den äußeren Klappenbereich und die nahe Umgebung (ca. 1 m x 1 m) vom Schmutz säubern.
- Den Deckel des Hydranten herausheben und seitlich schwenken, wenn nötig festsitzende Deckel durch leichte Schläge auf den Deckelrand lösen, ggf. Deckelhebevorrichtung verwenden.
- Klaue und Klauendeckel von Schmutz befreien, dann erst den Klauendeckel anheben.
- Die Dichtungsflächen der Klaue und des Standrohrfußes reinigen.
- Die Klauenmutter des Standrohrs muss bis zum Anschlag heruntergeschraubt sein.
- Die Klauenmutter in die Klaue einführen und nach rechts drehen, bis ein fester Stand erreicht ist.
- Wenn das Oberteil des Standrohrs gedreht werden soll, dann nur im Uhrzeigersinn.
- Das Standrohrventil leicht öffnen, damit beim Öffnen des Hydranten Luft entweichen kann.

- Den Hydrantenbedienschlüssel auf den Hydrantenvierkant setzen und durch Linksdrehung langsam vollständig öffnen. Dabei werden Hydrant und Standrohr gespült. Anschließend den Bedienschlüssel entfernen.
- Das Standrohrventil schließen und den Systemtrenner sowie Schläuche ankuppeln.
- Die Wasserentnahme durch entsprechendes Öffnen des Standrohrventils regeln.
- Bei zwischenzeitlich längeren Pausen kann der Standrohrabgang geschlossen werden.

### **Beendigung der Wasserentnahme und Demontage**

- Die Hydrantenabspernung mittels Bedienschlüssel über den Hydrantenvierkant bei leicht geöffnetem Standrohrventil durch Rechtsdrehung schließen.
- Das Standrohrventil schließen und den Systemtrenner sowie Schläuche abnehmen. Diese müssen dabei drucklos sein.
- Den Hydrantenbedienschlüssel entfernen.
- Standrohr durch Linksdrehung aus der Klaue lösen.
- Entleeren des Hydranten abwarten.
- Klauendeckel einsetzen.
- Straßenkappe verkehrssicher und sauber verschließen.

Werden diese Punkte nicht eingehalten, kann eine Kontamination oder Verkeimung des Trinkwassers im Leitungsnetz erfolgen, was je nach Fall einer Ordnungswidrigkeit oder Straftat entspräche.

Als möglicher, aber gravierender Fehler wird auf das Verwechseln der Reihenfolge Öffnen des Standrohrventils und Öffnen des Hydranten durch Drehen des Hydrantenvierkantschlüssels hingewiesen. Die angegebene Abfolge ist zwingend einzuhalten, damit keine Verschmutzungen in das Trinkwassernetz gespült werden. Ein weiterer wichtiger Punkt zur Vermeidung ist die Anforderung, dass Standrohre bei Lagerung, Transport und Einsatz sauber sein müssen, z. B. durch verschlossene Öffnungen und separate Lagerung [37]. Für die Reinigung von Standrohren gilt, dass diese mit Trinkwasser bei hinreichend hoher Fließgeschwindigkeit vorgenommen werden kann [39]. Hierbei ist zu beachten, dass vorausgesetzt wird, dass das Standrohr sauber verwendet und nur mit Trinkwasser durchflutet wurde. Sollte eine Desinfektion als notwendig erachtet werden, kann diese gemäß DVGW W 400-3 (A) entweder mit einem statischen Verfahren oder mit einem dynamischen Verfahren mittels einer Standrohrdesinfektionsanlage erfolgen.

### 2.2.2 Systemtrenner

Ein Systemtrenner ist eine Armatur, die verhindert, dass Nichttrinkwasser in das öffentliche Wasserversorgungsnetz zurückfließt. Das wäre ohne diese Sicherung bei ungünstigen Druckverhältnissen zwischen Abnahmeseite und Trinkwassernetz durch einen Flussrichtungswechsel möglich. Systemtrenner verfügen über drei Zonen: In der Zone 1 (Vorkammer) herrscht ein höherer Druck als in Zone 2 (Mittelkammer), und dort wiederum ein höherer Druck als in Zone 3 (Ausgangskammer). Die Zonen sind durch Rückschlagventile getrennt. Zone 2 verfügt über ein Ablassventil, welches sich öffnet, wenn die Druckdifferenz zwischen Zone 1 und 2 geringer als 0,14 bar ist. Dabei strömt das Wasser aus Zone 2 ins Freie. Damit ist das Leitungssystem unterbrochen. [40]

Der mobile Systemtrenner B-FW nach DIN 14346 [2], siehe Abbildung 3 und Abbildung 4, arbeitet nach einem ähnlichen Prinzip. Es gibt zwei Druckzonen, wobei in der ersten der Eingangsdruck und in der zweiten der reduzierte Ausgangsdruck anliegen. Sinkt der Differenzdruck unter 0,14 bar, öffnet sich ein Auslassventil und Wasser strömt aus der zweiten Zone ins Freie. So wird verhindert, dass bei einem Druckunterschied Wasser in die Trinkwasserleitung zurückfließen kann. Damit ist gemeint, dass der Systemtrenner verschließt, wenn der Druck in der Leitung gegenüber dem Druck im Schlauch zur Pumpe unter eine Differenz von 0,14 bar fällt. Außerdem schließt er auch, wenn der Druck im Schlauch zur Pumpe erhöht wird. So ist sichergestellt, dass der Druck im Trinkwassernetz immer höher ist als im Schlauch, wenn der Systemtrenner im geöffneten Zustand vorliegt. Der Systemtrenner schließt nicht erst bei Wasserrückfluss, sondern bereits vorab, um einen Rückfluss ins Netz sicher zu verhindern. Beim Verschluss des Fließwegs wird bei einem Systemtrenner Wasser nach außen abgegeben. Dadurch wird der Druck auf der Schlauchseite gesenkt. Damit können außerdem turbulente Strömungen unterbunden werden. Bei einer solchen Strömung könnte sich ansonsten bei einfachen Rückschlagklappen durch ungünstige Verhältnisse die Klappe öffnen. Bei einem Volumenstrom von 1.600 l/min darf dabei der Druckverlust höchstens 1 bar betragen [2].



Abbildung 3: auslösender Systemtrenner B-FW nach DIN 14346

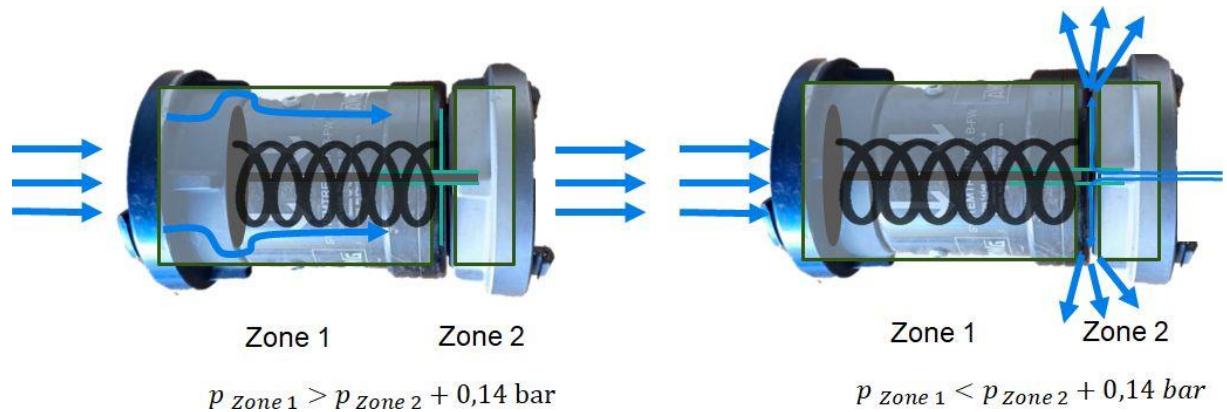


Abbildung 4: Schema zur Funktionsweise Systemtrenner B-FW, links: in Durchlassrichtung, rechts: bei Verschluss

Nach DVGW-Arbeitsblatt W405-B1 [11] und der Fachempfehlung Nr. 2 von 2016 des Deutschen Feuerwehrverbands [41], die gemeinschaftlich vom Deutschen Feuerwehrverband, der AGBF Bund im Deutschen Städtetag, der vfdb, dem DIN FFW, dem DVGW und dem VDMA erarbeitet wurde, ist im Regelfall eine Wasserentnahme nach (Wasser-)Kategorie 4 abzusichern, d. h. mit einem Systemtrenner.

Die Verwendung zweier Rückflussverhinderer stellt dabei eine notwendige Übergangslösung dar. Sie kann bis zu einer Ersatzbeschaffung auf Grund von Verschleiß oder anderer Einschränkungen der Gebrauchstauglichkeit genutzt werden [11].

Bei der Nutzung des Systemtrenners in Einsätzen oder Übungen muss eine Reinigung mit frischem Wasser sowie eine Sichtprüfung des Geräts durchgeführt werden [42].

Eine Nachfrage bei der Berufsfeuerwehr Magdeburg im Bereich Fahrzeug- und Technikbeschaffung ergab, dass Geräte, die mit direkter Wasserentnahme in Verbindung stehen, wie Standrohre oder Systemtrenner, bei sichtbarer Verschmutzung, meist direkt an der Einsatzstelle gereinigt werden. Anschließend werden sie in Fahrzeugfächern ohne Verschlusskappen zur besseren Trocknung transportiert.

Bei einigen Feuerwehren wird das Standrohr oder der Systemtrenner auf einer Haspel transportiert. Hierzu sollten Schutzhüllen zur Vermeidung von Verschmutzungen genutzt werden.

Während der Versuche am IBK hat sich gezeigt, dass die Kombination eines Standrohrs mit Rückflussverhinderer und eines Systemtrenners B-FW nicht sinnvoll ist. Durch den doppelten Verschluss der Sicherungssysteme beim Schließen einer Armatur oder eines Ventils wird Wasser mit erhöhtem Druck zwischen den genannten Bauteilen eingesperrt. Beim Rückbau eines Löschangriffs ist es daher nicht möglich, das System über den zweiten Abgang zu entwässern, bevor der Systemtrenner demontiert wird. Infolgedessen entleert sich das unter Druck stehende Wasser bei der Demontage des Systemtrenners schlagartig.

### **2.2.3 Fahrzeugtechnik**

Mittels geeigneter Technik lassen sich Druckstöße, die kontaminiertes oder verkeimtes Wasser zurückdrücken könnten sowie bei Öffnungs- oder Schließvorgängen von Armaturen entstehen können, reduzieren. Nach DIN EN 1846-3 [43] sind löschtechnische Einrichtungen für Wasser so auszulegen, dass Druckstöße verhindert werden. Dies ist beispielsweise durch die Nutzung „geeigneter Schließzeiten für Ventile“ möglich.

### **2.2.4 Schlauchhygiene**

Bei einer Nachfrage bei der Berufsfeuerwehr Magdeburg im Bereich Fahrzeug- und Technikbeschaffung wurden auch Fragen zur Schlauchhygiene beantwortet. Schläuche werden nach jedem Einsatz gereinigt. Hierzu werden sie üblicherweise zunächst in einem Wasserbad eingeweicht und anschließend in einer Schlauchpfleanlage gesäubert und geprüft. In solchen Anlagen werden die Schläuche von außen gereinigt und danach mit Trinkwasser druckgeprüft. Die Schläuche werden mit Trinkwasser gespült. Eine Desinfektion der Schläuche mit einem Wasserstoffperoxid-Trinkwasser-Gemisch wäre möglich, könnte jedoch zu einer vorzeitigen

Materialermüdung führen. Anschließend werden Feuerweherschläuche vollständig innen und außen getrocknet, bevor sie aufgerollt werden. Damit soll eine Verkeimung verhindert werden. Diese Vorgehensweisen stellen den derzeitigen Idealzustand dar, der noch nicht überall Standard ist. Teils werden Schläuche mit Wasser vieler vorheriger Spülungen (im Kreislauf) gereinigt und nicht ausreichend getrocknet.

Die konsequente Verbreitung dieser vorbildlichen Schlauchhygiene ist jedoch flächendeckend durchzusetzen. Es wird darauf hingewiesen, dass die Spülung mit ausreichend und sauberem Trinkwasser sowie eine vollständige Trocknung erfolgen müssen.

### **2.2.5 Schaum als Sonderfall**

Schaum wird bei speziellen Feuerwehreinsätzen zum Löschen von Feststoffen oder Flüssigkeiten verwendet. Um Schaum an der Einsatzstelle nutzen zu können, wird dem Wasser durch eine Zumischungseinrichtung Schaummittel zugesetzt und am Schaumrohr dem Schaummittel-Wasser-Gemisch das Füllgas, meist Luft, beigemischt und somit verschäumt [44]. Außerdem gibt es die Variante, Druckluftschaum zu nutzen. Dabei wird in einer Druckluftschaumanlage das Schaummittel-Wasser-Gemisch direkt verschäumt.

Mit Schaummittel versetztes Wasser ist der Flüssigkeitskategorie 4 zuzuordnen. Damit ist ein Systemtrenner als Schutz des Trinkwassernetzes ausreichend. Der mobile Systemtrenner B-FW nach DIN 14346 ist in seiner Bauweise an den stationären Systemtrenner der Trinkwassertechnik angelehnt. Es gibt, wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben, zwei, nicht drei Druckzonen. Dennoch sichert der Systemtrenner B-FW nach der DIN 14346, Abschnitt 3.1, bis einschließlich Flüssigkeitskategorie 4 nach DIN EN 1717. Schadensfälle, bei denen Schaummittel im Trinkwassernetz gefunden werden, ließen sich somit mit Einsatz eines Systemtrenners vermeiden.

Nach dem DVGW-Beiblatt W405-B1 gilt, dass bei der Nutzung von Pumpenvormischern bzw. des Nebenschlussverfahrens ein erhöhtes Risiko besteht, Löschwasser/Löschmittelzusatz-Gemisch ins Trinkwassernetz zu drücken. Die Zuführung des Wassers sollte daher nicht direkt aus dem Netz erfolgen. Es sollten ein freier Auslauf, ein Systemtrenner oder die Versorgung über eine andere Pumpe mit zwei Rückflussverhinderern nach dem Hydranten und vor der Pumpe vorhanden sein.

## 2.3 Naturwissenschaftlich-technische Betrachtung

Schäden und Kontaminationen durch die Flüssigkeitsentnahme aus dem Trinkwassernetz können zum einen durch den Eintrag eines Druckstoßes in das Netz und zum anderen durch den Eintrag von Verkeimungen entstehen. Diese beiden Varianten werden im Folgenden betrachtet.

### 2.3.1 Druckstöße

Druckstöße entstehen, wenn die Fließgeschwindigkeit einer Flüssigkeit in einem Rohr geändert wird. Wird z. B. eine Armatur, wie ein Wasserhahn, nach kontinuierlicher Wasserabgabe, schnell geschlossen, staut sich Wasser vor der Armatur, was zu einem Druckanstieg führt. Dieser Druckanstieg setzt sich als Druckstoß bzw. Joukowsky-Stoß [45] in der Leitung fort. Druckstöße bezeichnen sowohl Druckerhöhungen als auch Reduzierungen des Flüssigkeitsdrucks im Rohrsystem. Die Erzeugung von Druckstößen lässt sich nicht vollständig vermeiden, da dazu Armaturen unendlich langsam geschlossen werden müssten.

Druckstöße bewegen sich im Bereich der Schallgeschwindigkeit entgegen der Fließrichtung des Mediums fort. Bei ihrer Bewegung werden sie an Unstetigkeitsstellen wie Leitungsenden reflektiert. Dadurch können sie auch in die Gegenrichtung laufen. Ihre Bewegung wird durch Reibung gedämpft, bis der Druckstoß abgeklungen ist. [45]

Die Druckzunahme lässt sich mit der Joukowsky-Formel näherungsweise bestimmen [45]:

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot \Delta v \quad (1)$$

Dabei gehen die Dichte des Fluids  $\rho$ , die Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit  $c$ , die von vielen Faktoren beeinflusst wird, sowie die Geschwindigkeitsdifferenz  $\Delta v$  des Fluids vor und nach dem Schließen der auslösenden Armatur ein.

Stromabwärts entsteht aus Gründen der Trägheit ein Druckabfall in der strömenden Flüssigkeit. Wird dadurch der Dampfdruck unterschritten, kann die Flüssigkeit lokal verdampfen. Es entsteht eine Kavitationsblase. Die folgende Kondensation führt zu einem Kavitationsschlag. Auch diese Druckwelle kann bis zum Erliegen durch Reibung mehrfach reflektiert werden. [45]

Diese Druckstöße können durch einige Maßnahmen nahezu vollständig verhindert werden. Die folgenden Maßnahmen sind [45] entnommen. Eine Möglichkeit ist die richtige Wahl einer

optimierten Ventilschließcharakteristik. Beispielsweise kann eine sehr kurze mechanische Schließzeit im Anfangsstadium des Schließvorgangs und im kritischen Bereich eine erforderliche lange hydraulische Schließzeit eine vergleichsweise kurze Gesamtschließzeit sowie einen geringen Druckstoß hervorbringen. Be- und Entlüftungsventile im System können Kavitationsschläge und Unterdrücke vermeiden. Im Fall eines Pumpenausfalls kann eine am Antrieb angebrachte Schwungmasse die Auslaufzeit und damit die Schließzeit verlängern. Sekundäre Maßnahmen zur Druckstoßsicherung sind z. B. Druckbehälter mit Gaspolstern oder vergrößerte Querschnitte der fördernden Leitungen bei gleichem Durchfluss.

Bei Feuerwehreinsätzen können besondere Maßnahmen getroffen werden. Strahlrohre, Verteiler sowie andere Armaturen und Ventile sollten langsam geschlossen werden. Des Weiteren können zur Reduktion von Druckstößen Schläuche in Spiralen oder zumindest in Buchten gelegt werden [46].

### **2.3.2 Verkeimungen im Trinkwassernetz**

Trinkwasser direkt aus der Leitung unterliegt strengsten Regulierungen, da es neben dem Konsum als Nahrungsmittel auch zu einem gewissen Anteil, z. B. beim Duschen, fein verstäubt über die Lunge aufgenommen wird. Damit stellt eine potentielle Verkeimung von Trinkwasserleitungen ein sehr hohes Gesundheitsrisiko für Menschen dar und ist daher unbedingt auszuschließen. Dennoch gilt: „Trinkwasser ist nicht keimfrei. Auch nach sachgerechter Aufbereitung enthält es noch Mikroorganismen. Diese sind entweder harmlose Wasserbewohner oder Bakterien und Viren, die in den nach der Aufbereitung verbleibenden Konzentrationen keine gesundheitliche Bedeutung besitzen.“ [47] In [5] ist festgelegt, dass keine „Krankheitserreger, die im Sinne des § 2 Nummer 1 des Infektionsschutzgesetzes, die durch Trinkwasser übertragen werden können,“ in Konzentrationen vorhanden sein dürfen, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit verursachen. Die angegebenen Grenzwerte dürfen dabei nicht überschritten werden [5]:

- Escherichia coli (E. coli), Grenzwert: 0/100 ml
- Intestinale Enterokokken, Grenzwert: 0/100 ml.

Escherichia coli sind Darmbakterien. Viele Stämme sind nicht gesundheitsschädlich. Bestimmte Stämme können bei Tieren und Menschen schwerwiegende Erkrankungen hervorrufen [48]. Intestinale Enterokokken sind weit verbreitet und unter anderem in der Darmflora von Menschen und Tieren sowie in fermentierten Lebensmitteln vorhanden. Sie sind

nur bedingt pathogen, aber dennoch mit humanen Infektionen assoziiert. Zudem können sie Antibiotikaresistenzen aufweisen. [49]

Des Weiteren wird der Keim *Pseudomonas aeruginosa* mit einem Grenzwert von 0/250 ml für Trinkwasser, das zur Abgabe in verschlossenen Behältnissen bestimmt ist, angegeben. *Pseudomonas aeruginosa* kann in Kliniken beispielsweise Wund- und Harnwegsinfektionen, Lungenentzündungen und Blutvergiftungen verursachen. Dies betrifft hauptsächlich immungeschwächte Personen. Die meisten Stämme dieses Keims besitzen natürliche Resistenzen gegen viele Antibiotika. [50]

Für alle drei Keime gilt, dass bei der Abgabe von Trinkwasser in Fertigpackungen die Anzahl/250 ml dem Grenzwert 0 unterliegen muss. Gleichzeitig müssen bei dieser Nutzung die folgenden Indikatorparameter eingehalten werden [5]:

- Wasserstoffionenkonzentration angegeben als pH-Einheiten, Grenzwert:  $\geq 4,5$  und  $\leq 9,5$
- Coliforme Bakterien angegeben in Anzahl/250 ml, Grenzwert: 0
- Koloniezahl bei 22 °C angegeben in Anzahl/ml, Grenzwert: 100
- Koloniezahl bei 36 °C angegeben in Anzahl/ml, Grenzwert: 20.

Bei Überschreiten der Grenzwerte kann das Wasser in Kategorie 5, vergleiche Kapitel 2.1, eingeordnet werden.

Einträge von mikrobiologischen Verunreinigungen können durch technische Störungen bei der Abwasserreinigung [51] oder durch Havarien und Erneuerungen [52] im Leitungsnetz hervorgerufen werden. Auch bei Reparaturen oder Neuanschlüssen von Leitungen in Gebäuden ist dies möglich. Weitere Quellen können alte Abwasserkanäle oder undichte Senkgruben sein [51]. Zu den Ursachen zählen auch die Mobilisierung bestimmter Erreger aus Biofilmen und/oder vorhandenen Ablagerungen sowie die Vermehrung von Erregern im Leitungssystem durch Nährstoffzufuhr [53]. Diverse technisch mangelhafte Installationen, die Wasser der Kategorie 5 mit dem Trinkwassernetz verbinden, können ebenfalls zu Einträgen führen.

Lange Stagnationszeiten in Leitungssträngen können die unerwünschte Ausbreitung mikrobiologischer Gefahren begünstigen.

Sind unerlaubte Verunreinigungen einmal im Trinkwasser vorhanden, können diese oft nur durch intensive Spülungen oder Desinfektionen, wie etwa eine Chlorung, beseitigt werden. Zur

Reinigung und Desinfektion von Einrichtungen und Anlagen von Trinkwasserversorgungssystemen außerhalb von Gebäuden und sinngemäß auch für Wassergewinnungs- und Wasseraufbereitungsanlagen gibt die Technische Regel DVGW 291 (A) [54] detaillierte Auskunft. Die Reinigung oder Desinfektion von Trinkwasserinstallationen wird im DVGW-Arbeitsblatt W 557 geregelt.

Eine Ausbreitung mikrobieller Kontamination kann entweder durch Mitströmen und Durchmischen im fließenden Wasser oder durch Wachstum oder eigene Fortbewegung der Erreger vorliegen. In [55] ist beispielsweise für das Bakterium *Pseudomonas aeruginosa* eine Fortbewegungsgeschwindigkeit bei frisch angehefteten, kriechenden Bakterien auf Glas von  $41 \pm 2$  nm/s, also  $0,15 \pm 0,01$  mm/h, angegeben. Einige Bakterien können sich auch stromaufwärts bewegen. Dies wird vorwiegend bei geringen, in medizinisch relevanten Strömungsgeschwindigkeiten, wie Kathetern mit Durchmessern im Millimeterbereich und Durchflüssen von 1,5 l/Tag bis hin zu Duschen mit Durchfluss von 10 l/min untersucht [56], [57]. Untersuchungen zur Bewegung in Strömungen mit Durchflüssen von 60 l/min und darüber, die bei Einätzen der Feuerwehr relevant sind, konnten nicht recherchiert werden.

Ob und welche Keime in Feuerwehrfahrzeugtanks vorliegen, wurde in [58] dokumentiert und wird im Folgenden vorgestellt. In der Untersuchung wurde Tankwasser von 40 Feuerwehrfahrzeugen auf Fäkalindikatoren der Trinkwasserüberwachung wie *Escherichia coli*, coliforme Keime, Enterokokken und *Pseudomonas aeruginosa* sowie auf Krankheitserreger wie Salmonellen und *Campylobacter* untersucht. Pathogene Keime, also Salmonellen und *Campylobacter* wurden in keinem Tankwasser gefunden. In mehr als der Hälfte der Proben wurden Koloniezahlen unterhalb des kritischen Grenzwerts festgestellt. Coliforme Keime wurden in sieben Fahrzeugtanks, Enterokokken in zwei Tanks nachgewiesen. Ein Großteil der Proben war frei von typischen Fäkalindikatoren. Fahrzeugtanks, die *E. coli*-Keime enthielten, waren hoch belastet. Dies deutet auf eine kürzliche Befüllung mit Oberflächenwässern hin. *Pseudomonas aeruginosa* wurde in mehr als der Hälfte der Tanks nachgewiesen.

## **2.4 Vorgehen im europäischen Ausland**

In diesem Kapitel werden die Vorgehensweisen zur Trinkwassernutzung durch Feuerwehren und die Löschwasserbereitstellung im europäischen Ausland aufgezeigt. Die Daten wurden der angegebenen Literatur entnommen oder durch direkte Anfragen an Feuerwehren in diesen

Ländern erfragt. Es liegen nur aus einem Teil der europäischen Länder Erkenntnisse vor. Die Begriffe für Feuerwehrfahrzeuge wurden bei der jeweiligen Übersetzung vereinheitlicht. Im Folgenden werden „Tanklöschfahrzeug“ und „Tankfahrzeug“ genutzt.

#### **2.4.1 Belgien**

In Belgien [59] wird üblicherweise Trinkwasser aus Hydranten zum Löschen verwendet. Eigene Leitungsnetze stehen in größeren Industrieanlagen häufig zur Verfügung. Wasser aus Teichen oder Flüssen wird in einigen Fällen genutzt. In dünn besiedelten Gebieten wird das Wasser teilweise mit speziellen Tankfahrzeugen zur Einsatzstelle gebracht. In bewohnten Gebieten ist dies selten. Wasser, das in Tanklöschfahrzeuge oder spezielle Tankfahrzeuge gefüllt wird, ist in der Regel Trinkwasser, das aus einem Hydranten, meist über einen Zulauf an der Oberseite des Tanks, in diesen gefüllt wird. Das Wasser wird dafür direkt aus einem Hydranten ohne Verwendung eines Systemtrenners genommen. Der Hydrant wird vor dem Ankoppeln der Schläuche selbstverständlich gespült.

#### **2.4.2 Dänemark**

In Kopenhagen und im Rest Dänemarks wird hauptsächlich Trinkwasser zum Löschen verwendet [60]. Es wird sowohl direkt an der Einsatzstelle aus Hydranten (etwa 8500 in Kopenhagen) entnommen als auch in den Feuerwachen zur Befüllung der Fahrzeugtanks genutzt. Der Leitungsdruck reicht zum Befüllen der Tanks aus. An Pumpen sind Rückschlagventile verbaut. Andere spezielle Sicherungseinrichtungen werden nicht verwendet. Ein Schlauch zum Befüllen eines Fahrzeugtanks wird unten am Tank angeschlossen. Ob eine interne Füllleitung nach oben vorhanden ist, ist nicht eindeutig recherchierbar.

In ländlichen Gebieten, wie beispielsweise in grenznahen Regionen zu Deutschland, etwa in Tønder, wird auf Tankfahrzeuge und Pendelverkehr zur Einsatzstelle gesetzt [61]. Die Tankfahrzeuge haben ein maximales Wasservolumen von 22.000 Litern. Außerdem verfügen sie über Schnellangriffsleitungen, sodass an der Einsatzstelle unmittelbar mit dem Löschangriff begonnen werden kann. Der Wasservorrat reicht für mindestens 15 Minuten. Dies ist die Zeit bis zum Eintreffen des nächsten Tankfahrzeugs. Bei größeren Bränden werden zwei Tankfahrzeuge pro eingesetztem Löschfahrzeug verwendet.

### **2.4.3 Frankreich**

In Frankreich [62] wird Löschwasser durch die Gemeinden bereitgestellt. Dies geschieht mittels Über- und Unterflurhydranten, die an das Trinkwassernetz angeschlossen sind, über künstliche Wasserreservoirs oder über Saugstellen an natürlichen Wasserreserven. Diese Möglichkeiten müssen in der Nähe potentieller Gefahren/ Bebauungen vorhanden sein, um die Versorgung der Tanklöschfahrzeuge zur Gefahrenbekämpfung sicherzustellen. In Ausnahmefällen, wenn keine dieser Möglichkeiten zur Verfügung steht, wird mit Tankfahrzeugen im Pendelverkehr gearbeitet. Werden Hydranten zur Löschwasserversorgung genutzt, werden keine speziellen Sicherungsmaßnahmen ergriffen. Mit den genannten Möglichkeiten (Trinkwasser, Wasser aus anderen Reserven) werden auch die Tanks der Feuerwehrfahrzeuge befüllt. Die Einläufe befinden sich teilweise an der Unterseite des Tanks.

### **2.4.4 Irland**

In Dublin [63] wird Löschwasser zunächst aus Tanklöschfahrzeugen mit einem Fassungsvermögen von 1.800 Litern bezogen. Anschließend wird Wasser aus dem Trinkwassernetz über Unterflurhydranten oder über Tankfahrzeuge mit Fassungsvermögen von 8.000 bzw. 14.000 Litern bereitgestellt. Bei langwierigen Einsätzen wird versucht, Wasser aus Flüssen, Seen oder dem Meer zu nutzen. Dieses Verhalten ist repräsentativ für Irland. Wird Wasser aus Hydranten genutzt, wird dieser zuerst gespült. Ein Systemtrenner wird nicht verwendet. Nach dem Einsatz werden die Fahrzeugtanks mit Trinkwasser aus dem Netz gefüllt. Der Tankzulauf befindet sich an der Oberseite des Fahrzeugs.

### **2.4.5 Niederlande**

Eine Anfrage an die Feuerwehr Amsterdam-Amstelland [64] ergab folgende Informationen zur Verwendung von Trinkwasser als Löschwasser: Löschwasser wird oft durch Tanklöschfahrzeuge zur Verfügung gestellt. Das Standardvolumen beträgt 1.500 Liter. Reicht dies nicht aus, kann Trinkwasser aus Hydranten im öffentlichen Straßennetz genutzt werden. In besonderen Fällen werden Brunnen (Grundwasser) oder Oberflächenwässer aus z. B. Teichen genutzt. Bei sehr großem Löschwasserbedarf, z. B. bei Industriebränden, werden große Mengen Oberflächenwasser mittels spezieller Pumpen und Schläuche gefördert. Dieses

Vorgehen ist repräsentativ für die gesamten Niederlande, vor allem für den sehr urbanen westlichen Landesteil Randstad.

Hydranten führen Trinkwasser, das von der Feuerwehr zu Löschzwecken entnommen werden kann. Sie gelten als kritische Infrastruktur, weshalb ihre Standorte vertraulich sind. Hydranten verfügen über ein Rückschlagventil, um das Eindringen kontaminierten Wassers zu verhindern. Trinkwasserversorger überwachen die Drücke im System, um bei Druckverlusten schnell eingreifen zu können. Über Hydranten werden auch die Tanks der Fahrzeuge befüllt. Dies geschieht über eine interne Leitung, die das Wasser zum oberen Ende des Tanks zum Einfüllen befördert.

In einigen ländlichen Regionen wird kein Trinkwasser mehr aus Hydranten entnommen [65]. Für die Löschwasserversorgung stehen dann mehrere Tankfahrzeuge mit 15.000 oder 16.500 Litern Fassungsvermögen bereit. Außerdem gibt es Container mit eingebauten Pumpen zum Löschwassertransport. Durch zusätzliche Schläuche mit großen Durchmessern wird Wasser auch aus großen Entfernungen gefördert.

#### **2.4.6 Norwegen**

Stellvertretend für Norwegen wird die Löschwasserbereitstellung und -nutzung in Oslo beschrieben [66], die jedoch repräsentativ für das gesamte Land ist. Je nach Einsatzlage wird Löschwasser aus unterschiedlichen Quellen genutzt. Es stehen Tanklöschfahrzeuge mit 2.500-Liter-Tanks sowie Tankfahrzeuge mit 10.000-Liter-Tank zur Verfügung. Außerdem wird Wasser aus Hydranten oder aus offenen Gewässern wie Flüssen oder Bächen entnommen. Hydranten stellen, wie in Deutschland, Trinkwasser zur Verfügung. Eine Löschwasserentnahme erfolgt ohne Systemtrenner. An diesen werden auch Tanks von Fahrzeugen mittels Pumpen befüllt. In speziellen Einsatzlagen werden die Tanks auch direkt an offenen Gewässern befüllt.

#### **2.4.7 Österreich**

In Österreich wird Löschwasser aus Hydranten, Tanklöschfahrzeugen, natürlichen Gewässern sowie aus Löschteichen und Löschwasserbehältern entnommen [67]. Die Regelungen zur Ausführung von Löschwasserentnahmestellen enthält die ÖBFV Richtlinie VB-01 /23 RL [25]. Im städtischen Bereich wird Löschwasser oft aus Hydranten entnommen. Diese Möglichkeit besteht im ländlichen Raum nicht immer, sodass dort verstärkt Löschteiche und

Löschwasserbehälter genutzt werden. In Gewerbe- und Industriegebieten kann der Löschwasserbedarf oft nicht ausschließlich aus dem öffentlichen Hydrantennetz gedeckt werden. Daher werden dort zusätzlich Löschteiche und Löschwasserbehälter errichtet. Einzelheiten zu Löschwasserbedarf und Entfernungen zu Löschwasserentnahmestellen können der technischen Richtlinie für vorbeugenden Brandschutz TRVB 137 F [68] entnommen werden.

Werden Tanklöschfahrzeuge nach einem Einsatz mit Wasser an einem Hydranten befüllt, ist dies an jedem Hydranten möglich. Teils gibt es in der Nähe von Feuerwachen spezielle Hydranten mit Wasserzähler und Rückflussverhinderer. Die Fahrzeuge entsprechen den österreichischen und europäischen Baurichtlinien für Einsatzfahrzeuge. Systemtrenner werden bei der Entnahme aus Hydranten nicht eingesetzt. [67]

#### **2.4.8 Schweden**

Die folgenden Informationen beziehen sich auf die Metropolregion Stockholm (Storstockholm) [69]. In dicht besiedelten Regionen wird üblicherweise Löschwasser über Hydranten bereitgestellt. Diese sind oft durch die Wasserversorger verschlossen, die Feuerwehr verfügt jedoch über entsprechende Schlüssel für die Löschwasserentnahme. Systemtrenner werden nicht verwendet. Eine Wasserentnahme, die nicht aus dem Trinkwassernetz erfolgt, ist selten und wird vor allem in Waldbrandlagen genutzt. Außerhalb dicht besiedelter Regionen werden spezielle Tankfahrzeuge zum Wassertransport verwendet. Dabei handelt es sich um Lastkraftwagen mit Wechselladefahrzeugen und Tankmodulen. Im Pendelverkehr wird so mit mehreren Fahrzeugen Wasser zur Einsatzstelle gebracht. Die Tanks werden in der Regel von oben befüllt.

#### **2.4.9 Schweiz**

In der Schweiz wird größtenteils Löschwasser aus Hydranten entnommen, die an die Trinkwasserleitung angeschlossen sind [70]. Der Wasserbezug aus Flüssen oder Seen wird in wenigen, abgelegenen Orten genutzt. In einigen Regionen wird bei der Entnahme aus Hydranten mit Systemtrennern gearbeitet. Dazu gibt es jedoch keine einheitliche Regelung.

#### **2.4.10 Slowenien**

Die folgenden Informationen wurden aus der Beantwortung einer Mailanfrage entnommen [71]. In Slowenien wird das Löschwasser hauptsächlich aus Hydranten bezogen. Dies erfolgt jedoch oft nicht direkt an der Einsatzstelle. In Ljubljana wird beispielsweise ein Tanklöschfahrzeug mit einem 2.000-Liter-Tank und eins mit einem 5.000-Liter-Tank mit Trinkwasser befüllt. Diese Fahrzeuge kommen zur Einsatzstelle und liefern das benötigte Löschwasser. Für den Großteil der Einsätze ist dies ausreichend. Im Fall größerer Brände, z.B. in Industriegebieten, werden die Fahrzeuge der Freiwilligen Feuerwehren aktiviert, sodass bis zu 15 weitere Tanklöschfahrzeuge mit jeweils 5.000 Litern zur Verfügung stehen. Reicht diese Versorgung ebenfalls nicht aus, gibt es Entnahmestellen an den Flüssen Ljubljanica und Sava zur Wasserversorgung. Diese wurden jedoch in den letzten Jahren nie genutzt.

Im ländlichen Raum wird im ersten Schritt ebenso verfahren. Aufgrund der geringeren Anzahl an Tankfahrzeugen, wird jedoch schneller auf Wasser aus Flüssen und Seen zurückgegriffen. Ein Systemtrenner ist nicht verpflichtend eingeführt.

Große Druckstöße können so vor allem bei der automatischen Füllung der Fahrzeugtanks entstehen. Dies wird durch eine manuelle Befüllung minimiert.

#### **2.4.11 Spanien**

In Spanien [72] erfolgt die Wasserversorgung für Feuerwehren üblicherweise über das Hydrantennetz in städtischen Bereichen. Wo es nötig ist, wie in ländlichen Gebieten, gibt es auch unterirdische Tanks mit Löschwasser. In Madrid wird fast ausschließlich Trinkwasser aus der öffentlichen Wasserversorgung zu Löschzwecken genutzt. Für entlegene Gebiete der Gemeinde Madrid, die nicht an das öffentliche Hydrantennetz angeschlossen sind, stehen auch Tanklöschfahrzeuge zum Wassertransport bereit. Bei außergewöhnlichen Situationen ist die Nutzung von Oberflächenwässern möglich.

Zur Sicherung des Trinkwassernetzes werden keine technischen Maßnahmen ergriffen. Als organisatorische Maßnahme wird der Hydrant durchgespült, bis sauberes Wasser zur Verfügung steht. Tankbefüllungen der Feuerwehrfahrzeuge erfolgen an Hydranten.

In Katalonien [73] wird Wasser aus Fahrzeugtanks zum Löschen genutzt. Diese Tanks werden einsatzortnah ohne spezielle Sicherung am Hydranten befüllt. Teilweise werden neben Trinkwasserhydranten auch Grundwasserhydranten genutzt.

### **2.4.12 Tschechische Republik**

In Prag [74] wird hauptsächlich Trinkwasser zum Löschen verwendet. In besonderen Fällen wird Wasser aus natürlichen Quellen oder Löschwasserreservoirs genutzt. Dies ist abhängig von der Größe des Brandes sowie dem Einsatzort. Zunächst wird bei einem Brand das Wasser aus Feuerwehrfahrzeugen mit einem Löschwassertank genutzt. Reicht dieses Wasser nicht aus, wird der Tank über eine örtliche Löschwasserquelle, entweder das Trinkwassernetz oder ein Löschwasserbehälter bzw. -reservoir, nachgefüllt. Alternativ kann eine lange Wegstrecke zu einem offenen Gewässer oder Tank aufgebaut oder ein Pendelverkehr eingerichtet werden. Ist es nötig, Wasser im Pendelverkehr bereitzustellen, werden meist Tankfahrzeuge (Tankinhalt 8.000 bis 11.000 Liter Wasser) eingesetzt.

Beim Befüllen von Tanklöschfahrzeugen werden keine besonderen Sicherungsmaßnahmen getroffen. Der Druck in den Wasserleitungen wird zum Befüllen der Tanks genutzt. Die Tanks werden über einen „Tanküberlauf“ ohne Nutzung einer Pumpe gespeist. Im Prager Stadtgebiet gibt es hierfür 4.771 Hydranten mit ausreichendem Druck und Durchfluss. Diese werden regelmäßig gewartet.

Bei Bränden in natürlicher Umgebung wird häufiger Wasser aus natürlichen Quellen als Trinkwasser verwendet. Dies tritt eher im ländlichen Raum als in Prag auf.

### **2.4.13 Ungarn**

Die folgenden Informationen sind auf Nachfrage per Mail vom Büroleiter der Städtischen Direktion für Katastrophenmanagement eingegangen [75]. Löschwasser wird in bebauten Gebieten nach Vorschriften über Hydranten zur Verfügung gestellt, wenn keine natürlichen Gewässer verfügbar sind. Im Umkreis von 100 Metern muss ein Hydrant mit ausreichendem Druck in der Umgebung der Bebauung zur Verfügung stehen. Die Hydranten führen Wasser in Trinkwasserqualität. Auf Betriebsgeländen ist bei nicht ausreichender Löschwasserversorgung über Hydranten auf Kosten des Unternehmens eine Wasserversorgung durch ein eigenes Hydrantennetz oder Löschwasserreservoirs sicherzustellen. Diese Menge berechnet sich nach dem größten Brandabschnitt und der Risikoklasse des Unternehmens.

In unter anderem bewaldeten Regionen muss Löschwasser durch Tankfahrzeuge bereitgestellt werden. In der Metropolregion Budapest sind täglich zwei Tankfahrzeuge im Einsatz. Darüber hinaus stehen mehrere im Einsatzgebiet tätige Freiwillige Feuerwehren mit Tankfahrzeugen (4.000 Liter, 7.000 Liter und 10.000 Liter) zur Verfügung.

Das Nachfüllen der Fahrzeugtanks erfolgt üblicherweise über Hydranten.

## 2.5 Expertenmeinungen

Da dieses Projekt den Trinkwasserschutz und die Feuerwehrwelt verbindet, wurden 16 Experten<sup>2</sup> aus verschiedenen anliegenden Bereichen befragt, wie sie unterschiedliche Sachverhalte bewerten. Alle Teilnehmenden erhielten dabei die gleichen Fragen, die in Anhang C angegeben sind. Teile der Befragungen wurden schriftlich per E-Mail durchgeführt. Außerdem wurden Experteninterviews per Videokonferenz oder in Präsenz durchgeführt. Diese Optionen standen allen Teilnehmenden offen.

In der Beschreibung der Sichtweisen der Interviewpartner werden die Antworten im Folgenden geclustert, wodurch auch dem Wunsch nach Anonymität mehrerer Teilnehmer entsprochen wird.

Im ersten Fragenkomplex wurde auf den derzeitigen Stand der Trinkwasserentnahme durch Feuerwehren eingegangen. Der aktuelle Schutzzustand wird von Teilen der Experten als ausreichend und von anderen Teilen als bei Weitem nicht adäquat angesehen. Teilweise wurde geäußert, dass sich der technische Stand mit der Einführung des Systemtrenners B-FW verbessert habe. Mehrere Teilnehmende betonten, dass, auch wenn der technische Zustand gut bis sehr gut ist, es Probleme durch unzureichende Ausbildungsstände und darauf zurückzuführende Fehlbedienungen gibt. An diesem Punkt müsse dringend gearbeitet werden. Die Experten, die bei Trinkwasserversorgern tätig sind, hielten die Entnahme nach W405-B1 mit einem Systemtrenner in vielen Fällen für ausreichend sicher. Wenn Löschwasser jedoch sicher nach der Flüssigkeitskategorie 5 eingestuft werden müsse, sei der Systemtrenner nicht ausreichend. Es muss betont werden, dass die Anzahl dieser Befragten nicht als deutschlandweit repräsentativ gewertet werden kann. Andere Experten gaben an, dass eine echte Sicherheit nur durch einen freien Auslauf gegeben sei. Der Systemtrenner könne lediglich die Strecke bis zum freien Auslauf in einen Feuerwehrtank absichern. Zudem berge die Nutzung von Schläuchen, wie sie derzeit üblich ist, aufgrund möglicher Kontaminationen Gefahren. Ggf. müssten für diese Strecke spezielle Trinkwasserschläuche und weitere speziell desinfizierte Armaturen genutzt werden. Es wurde auch betont, dass derzeit eine Kompromisslösung für Feuerwehren vorliegt, bei der jedoch noch Verbesserungsbedarf besteht, um das Sicherheitsniveau anderer

---

<sup>2</sup> Der Begriff Experte wird unabhängig vom Geschlecht der befragten Person gewählt.

Trinkwassernutzungen zu erreichen. Von anderen wurde hervorgehoben, dass das Arbeitsblatt W405-B1 als Kompromiss vieler Organisationen, die im Bereich Trinkwasser Expertise besitzen, erarbeitet und von diesen mitgetragen wurde. Mit dem Systemtrenner bewege man sich bereits über dem Sicherheitsniveau vieler anderer europäischer Länder.

Szenarien, die Verkeimungen, Kontaminationen oder Zerstörungen des Trinkwasserleitungsnetzes hervorrufen können, wurden ebenfalls thematisiert. Als mögliche Ursachen ließen sich aus den Interviews die folgenden Punkte ableiten:

- unsachgemäß ausgeführte Arbeiten am Leitungsnetz,
- unsachgemäße Wartungen und Arbeiten an Installationen, z. B. Filteranlagen,
- Stagnation in Leitungen, auch Totstränge, zum Teil in Kombination mit einer Entnahme nach dieser Stagnationszeit,
- Nutzung verschmutzter Standrohre oder Schläuche durch Baudienstleister, Feuerwehrangehörige oder Privatpersonen,
- unsachgemäße Befüllung von Löschfahrzeugen und/oder fehlende freie Einläufe in Feuerwehrtanks,
- Wasserentnahme direkt in Behältnisse über Schläuche, bei denen Kontakt zwischen eingelassenem Wasser im Behältnis und dem Schlauch besteht, z. B. die Befüllung von veralteten Viehtränken, Badewannen,
- Nichtnutzung oder Fehlbedienung von Sicherungseinrichtungen oder Falschanschlüsse (vor allem durch mangelnde Schulung) durch Feuerwehren, Baudienstleister oder Privatpersonen,
- gleichzeitige Entnahme aus verschiedenen Druckzonen bei fehlender oder defekter Sicherung,
- Wasserentnahme an Hydranten mit geringem Druck oder geringen Volumenströmen oder zu große Wasserabnahmen (auch fehlende Absprachen zwischen Versorgern und Abnehmern),
- schnelle Öffnungs- und Schließvorgänge von Armaturen durch Feuerwehr, Baudienstleister oder Privatpersonen,
- Temperaturschwankungen in Leitungen,
- Gartenbewässerung,
- direkte Wasserleitungen zu Heizungsanlagen zur Befüllung,
- in Gerätehäusern von Feuerwehren: Stiefel-, Schlauchwaschanlagen,

- Entnahme an maroden oder veralteten Leitungen sowie
- Unfälle mit direkter Einwirkung auf das Trinkwassernetz.

Diese Ursachen können zu unerwünschten Beeinträchtigungen des Netzes führen. Außerdem begünstigen steigende Temperaturen im Erdreich das Keimwachstum. Die Nutzerkreise, die zu Schäden oder Verunreinigungen führen können, sind demnach sehr groß.

Im Weiteren wurde die Problematik von Druckstößen thematisiert. Dieses Thema rief sehr kontroverse Meinungen hervor. Auf der einen Seite des Spektrums stand zusammengefasst die Meinung, dass Druckstöße bei korrekter Bedienung der Armaturen und Pumpen nur im geringen Umfang vorhanden, bei einem intakten Trinkwassernetz jedoch nicht schädlich, sind. Sie gehen nicht über Druckstöße anderer Nutzer des Trinkwassernetzes hinaus. Problematisch könne jedoch die Ablösung von Inkrustierungen sein. Auf der anderen Seite des Spektrums wurden Druckstöße als zerstörerisch eingestuft. Es wurde mehrfach darauf hingewiesen, dass dies eigentlich kein Problem darstellen sollte, da in der DIN EN 1846-3 aus dem Jahr 2013 gefordert wird, dass Einrichtungen so auszulegen sind, dass Druckstöße verhindert werden sollen.

Ein Großteil der Befragten empfand es als positiv, dass Trinkwasser aus dem Versorgungssystem im Einsatzfall schnell als Löschwasser zur Verfügung steht.

Von einigen Experten wurde jedoch die unsachgemäße Handhabung durch Feuerwehren genannt. Mehrfach wurde erwähnt, dass es im Ausland auch andere Lösungen zur Wasserbereitstellung an Einsatzstellen gibt, wie beispielsweise große Tankfahrzeuge. Dies wäre neben einem Ausbau von Wasserspeichern verschiedener Arten wie Teiche, Zisternen oder Ähnlichem auch ein gangbarer Weg für Deutschland. So könne vollständig auf die Nutzung von Trinkwasser für Löschzwecke verzichtet werden. Die Kommunen müssten diesen Weg wählen.

Mehrere Experten betonten, dass eine bessere Ausbildung und eine stärkere Sensibilisierung des Feuerwehrpersonals wesentliche Zukunftsziele sein sollten. Dazu zählen einerseits einheitliche und aktuelle Ausbildungsunterlagen, andererseits verstärkte Aufklärungsmaßnahmen durch z. B. Verbände oder zielgerichtete Kampagnen.

Von einigen Experten wurde der Aspekt der zunehmenden Wasserknappheit im Zuge des Klimawandels eingebracht. Dieser solle bei der Nutzung von Trinkwasser für Löschzwecke

beachtet werden. Wenn Wasser durch Großtanker zur Einsatzstelle gebracht wird oder spezielle Reservoirs für Löschzwecke vorhanden sind, kann ein Trinkwassernetz mit begrenzter Kapazität entlastet werden.

Andererseits wurde mehrfach geäußert, dass eine technische Umrüstung von Hydranten, auch im Zuge zunehmender anderer Bedrohungen, wie hybrider Kriegsführung, erstrebenswert sei. Ein Schutz gegen das Rückdrücken von Wasser sei integrierbar.

Zusammengefasst ergibt sich, dass es Kommunen gibt, in denen durch Feuerwehren Beeinträchtigungen am Trinkwassernetz hervorgerufen wurden. Dies darf nicht passieren und stellt ggf. einen Straftatbestand dar.

Also bedarf es besserer Absprachen zwischen Feuerwehren und Trinkwasserversorgern. Außerdem sollten Aus- und Fortbildung des Feuerwehrpersonals verbessert und intensiviert werden. Eine stärkere Sensibilisierung ist erforderlich. Der aktuelle Stand des Arbeitsblatts W405-B1 muss eingehalten werden. Systemtrenner müssen konsequent eingesetzt werden, da sie Schadensfälle verhindern können.

Alternativ sollte entweder kein Trinkwasser mehr für Löschzwecke genutzt werden und damit das derzeitige System grundlegend auf andere Wasserversorgungsmöglichkeiten umgestellt werden oder der technische Standard muss substantiell erhöht werden.

Ob der derzeitige technische Stand ausreichend ist, wird im Folgenden bei unterschiedlichen Entnahmeszenarien experimentell untersucht.

### **3 Experimentelle Untersuchungen zu Druckstößen und rückströmendem Wasser**

Die experimentellen Untersuchungen sollen sowohl die Wasserentnahme in einem breiten Einsatzbereich als auch Extremfälle beleuchten. Diese sind geringe Leitungsdrücke, sehr große Durchflüsse sowie die Wasserabgabe über einen Höhenunterschied. Druckstöße und zurückgedrücktes Wasser können in Einsatzsituationen durch schnelle Öffnungs- und Schließvorgänge von Armaturen oder Ventilen hervorgerufen werden.

### 3.1 Messtechnik

Die messtechnische Überprüfung von Druckstößen bei der Nutzung von Feuerwehrtechnik wurde unter realen und realitätsnahen Bedingungen durchgeführt. Die verwendete Messtechnik setzte sich aus zwei piezoresistiven Hochleistungs-Druckmessumformern der Firma Kissler, Modellnummer 4260A, und einem Präzisionsturbinendurchflussmesser der Firma PKP aus der Typenreihe DR12 zusammen. In einigen Messungen wurden Drucksensoren mit einer Abtastrate von 1 Hz zusätzlich genutzt. Des Weiteren wurde bei einigen Versuchen das aus dem Systemtrenner austretende Wasser aufgefangen und mittels eines Messzylinders ausgelitert. Außerdem wurde die Strömung im Versuchsaufbau bei einigen Messungen mittels eines Schauglases und einer Kamera der Marke GoPro sichtbar gemacht.

Piezoresistive Messumformer arbeiten nach dem piezoresistiven Effekt, bei dem eine Druck- bzw. Zugänderung eine Änderung des elektrischen Widerstands des Materials hervorruft. Der zu messende Druck wirkt beim verwendeten Messgerät auf eine Sensormembran. Über ein inkompressibles Silikonöl wird dieser Druck auf einen mikrobearbeiteten Silizium-Dehnungsmessstreifen in Form einer Wheatstone-Brücke übertragen und in eine Spannung umgewandelt. Die verwendeten Drucksensoren arbeiten mit einer Abtastrate von bis zu 1000 Hz.

Die Drucksensoren wurden jeweils mittig an eine Beruhigungsstrecke aus Edelstahl mit einer Länge von 250 mm mittels eines Gewindes M10 x 1 angeschraubt. Die Enden der Strecke sind mit B-Kupplungen versehen, sodass ein leichter Einbau an verschiedenen Stellen des Messaufbaus möglich ist.

Der Präzisionsturbinendurchflussmesser für dünnflüssige Medien arbeitet mit einem axial angeströmten Turbinenrad, das sich proportional zur mittleren Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung dreht. Das Turbinenrad wird durch einen induktiven Aufnehmer abgetastet. Die entstehende Ausgangsfrequenz ist ein Maß für die Durchflussmenge.

Auch dieser Durchflussmesser wurde mittels einer Beruhigungsstrecke mit einer Länge von 52,5 cm mit Storz-Kupplungen Größe B an den Enden in den Messaufbau integriert. Außerdem ist ein Drucksensor mit einer Abtastrate von 1 Hz in dieser Edelstahlstrecke verbaut.

Die elektrischen Signale der Messgeräte wurden mittels Rechentechnik in einem LabVIEW-Programm aufgezeichnet und gespeichert.

Das verwendete Schaurohr bestand aus einem Hohlzylinder aus Polycarbonat mit einem Innendurchmesser von 75 mm und wurde über zwei Storz-Kupplungen Größe B eingebunden.

Das Schauglas mit sichtbarer Strömung wurde mit einer GoPro 11 aufgenommen. Die Strömungsrichtung wurde mittels im Schauglas angebrachter Tracerbänder sichtbar gemacht. Es wurde eine Aufnahmezeit von 120 fps (frames per second) bei einer Auflösung von 3840 x 2160 Pixeln gewählt.

### 3.2 Übersicht Messungen

Eine Übersicht aller durchgeführten Messungen inklusive Bezeichnung befindet sich in der folgenden Versuchsmatrix.

Tabelle 1: Übersicht aller Szenarien mit Kennwerten

Nr.	Netztyp	Netzdruck [bar] (ca.)	Pumpendruck [bar]	eingestellter Durchfluss [l/min] (ca.)	Systemtrenner	Modus
1	Trinkwassernetz	4 bis 4,5	5   6 (je 3x)	360	mit   ohne	Hohlstrahlrohr schließen
			6   8 (je 3x)	360	mit	Hohlstrahlrohr 3x schließen
			6   8 (je 3x)	360   720	mit	Nutzung 2 Abgänge Standrohr
2	Trinkwassernetz	4,5	-	415 (je 3x)	mit	automatische Tankbefüllung
3	Trinkwassernetz	n. a.	6   8   10 (je 3x)	360   530	mit	Standrohr mit Rückflussverhinderer und Vakuumbrechern, Hohlstrahlrohr schließen
4	Flusswasser	-	-	1000   1200   1600	mit	HFS-System
5	Messnetz	5,2   4,3   3,3   2,6   2,4	6   8 (je 3x)	360	mit   ohne	Hohlstrahlrohr schließen
				750		
				360	mit	Hohlstrahlrohr mehrfach schließen

				2 x 130   2 x 235	mit	2 Hohlstrahlrohre gleichzeitig schließen
		1,2   1,4   1,5   1,9   2,2	4   6	360   550	mit   ohne	Hohlstrahlrohr schließen
		5,4   4,3   3,5   2,9	6   8 (je 3x)	360	mit   ohne	Hohlstrahlrohr schließen, Beobachtung mittels Schauglas
6	Messnetz	5,4   2,9   1,6   1,4	-	-	mit	automatische Tankbefüllung
7	Messnetz	5,3   4,1   3,3   2,3	6   8 (je 3x)	360   600	mit	Hohlstrahlrohr schließen auf 25 m Höhe
9	Brauch-wassernetz	3	n. a.	1700   2250   2500   3000   4000	mit	Monitor schließen

### 3.3 Messungen an Trinkwassernetzen

Zunächst wurden Versuche am realen Trinkwassernetz unter Nutzung von Feuerwehrtechnik durchgeführt. Hierzu wurden die folgenden Szenarien und Messaufbauten verwendet und die dargestellten Daten erhoben.

#### 3.3.1 Szenario 1: Nutzung eines Trinkwassernetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff mit einem Strahlrohr mit und ohne Nutzung eines Systemtrenners

In Szenario 1 wurde ein Löschangriff mit einem C-Strahlrohr nach Abbildung 5 aufgebaut. Ein Foto eines Teils des Aufbaus ist in Abbildung 6 dargestellt. An das Standrohr wurden vor und hinter dem montierten Systemtrenner die hochfrequenten Druckmessstellen angeschlossen. Daran schloss sich ein 5-m-B-Schlauch an, an den wiederum der Durchflussmesser angeschlossen wurde. Über einen 20-m-B-Schlauch wurde das Wasser aus dem Trinkwassernetz zur Fahrzeugpumpe geleitet. Die Pumpe war über ein Sammelstück A-3B mit federbelasteten Rückschlagklappen und Vakuumbrechern angeschlossen. Nach der Pumpe wurde das Wasser über einen 20-m-B-Schlauch zum Verteiler und von dort über einen 20-m-

C-Schlauch zum Strahlrohr gefördert. Während der einzelnen Messungen wurde der Wasserfluss durch ruckartiges Schließen des Strahlrohrs unterbrochen, um einen Druckstoß auszulösen. Mit dem Systemtrenner wurden jeweils mindestens drei Messungen bei einem Pumpenausgangsdruck von 5 und 6 bar und ohne Systemtrenner bei 6 bar vorgenommen.

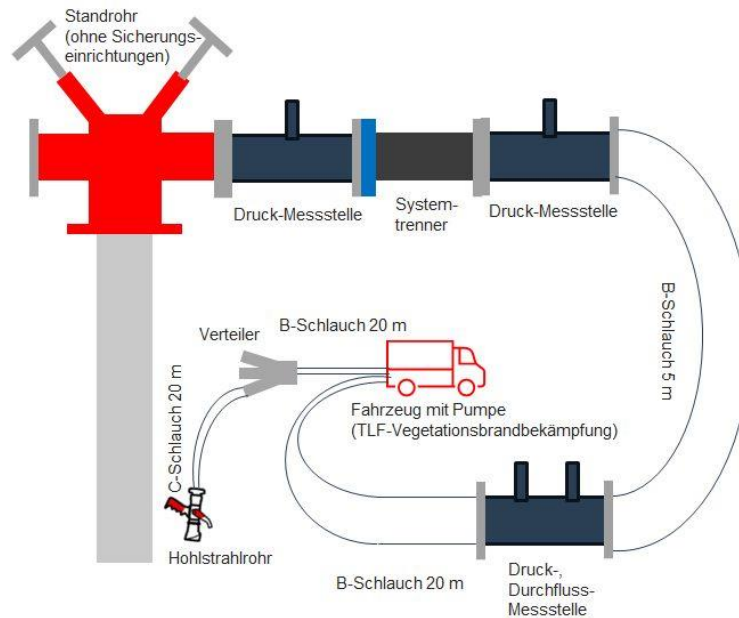


Abbildung 5: Schematisches Messscenario bei Wasserentnahme aus Trinkwassernetz. Die Pumpe des Fahrzeugs ist eine Magirus-Pumpe des Typs FPN 10-2000. Als Sammelstück am Eingang der Pumpe wurde ein Sammelstück A-3B mit federbelasteten Rückschlagklappen und Vakuumbrechern verwendet.

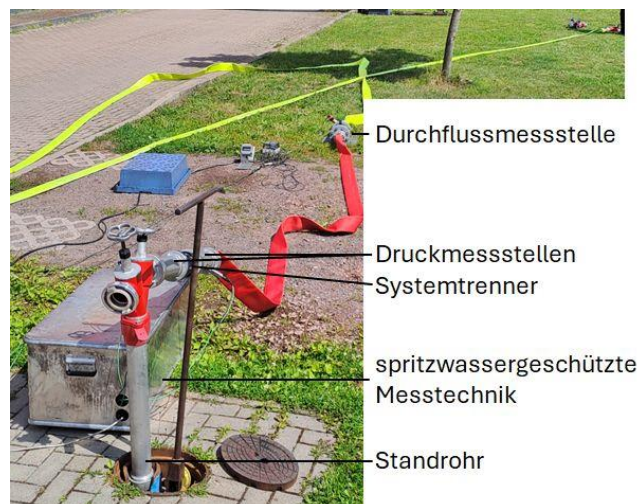


Abbildung 6: Teil des Aufbaus in Szenario 1

Es wurden zunächst mehrere Messungen mit einem Pumpenausgangsdruck von 6 bar durchgeführt. Die gemessenen Werte einer dieser Messungen sind in Abbildung 7 dargestellt. Zum Zeitpunkt 0 Sekunden wurde ein Druckstoß durch ruckartiges Schließen eines Strahlrohrs ausgelöst.

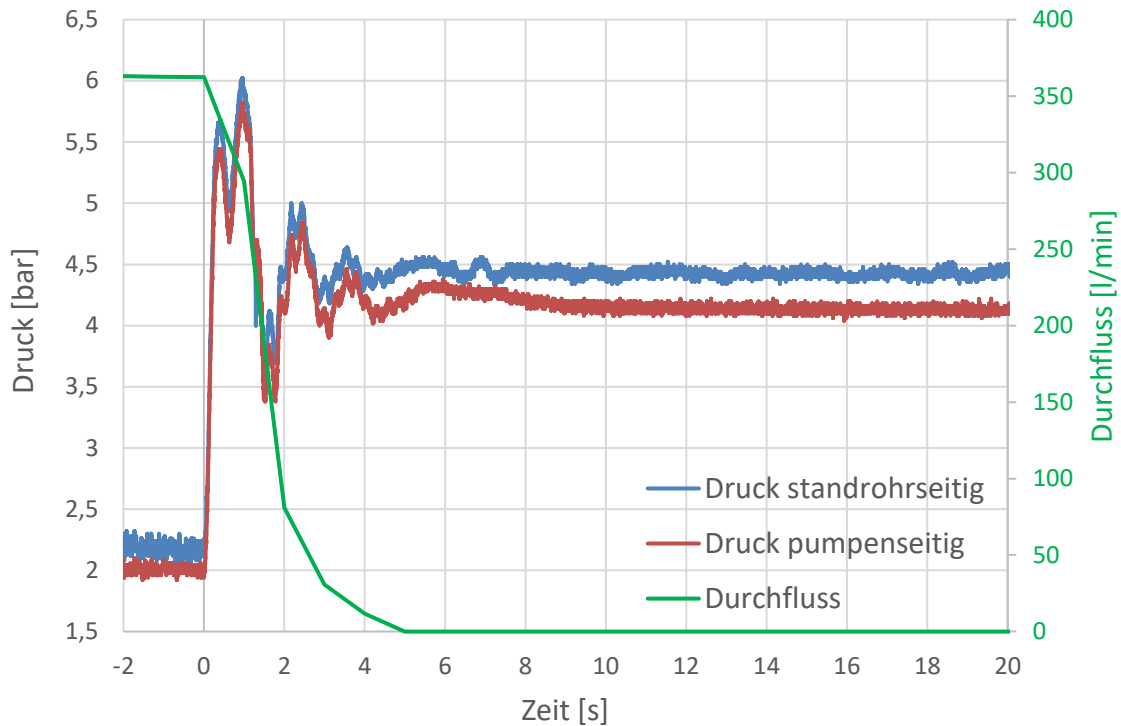


Abbildung 7: Messwerte für Druck und Durchfluss in Szenario 1, Pumpenausgangsdruck: 6 bar, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.

Es ist zu erkennen, dass im Trinkwassernetz etwa ein Netzdruck von 4,5 bar anlag. Dieser ist ab ca. Sekunde 8 erkennbar, wenn kein Wasser aus dem Netz genommen wurde. Der ungefähre Netzdruck ist jeweils nach dem Schließen der Hohlstrahlrohre nach dem Auspendeln der Wellen in den Diagrammen zu sehen. Der reale Netzdruck liegt etwas höher als der Messwert. Angegeben werden alle Drücke als Differenzdrücke zum Umgebungsluftdruck von 1 bar. Während der Wasserentnahme sank der Wasserdruck abnahmeseitig auf ca. 2 bar. Dabei wurde ein Durchfluss von ca. 360 l/min durch die Schlauchleitungen eingestellt. Die hervorgerufenen Druckschwankungen nach Schließen des Strahlrohrs lagen im Bereich von maximal 1,5 bis 2 bar. Der Druckstoß verursachte schwankende Druckwellen im Trinkwassernetz und auf der Löschangriffsseite, da er z. B. an Armaturen oder Biegungen reflektiert wurde. In den Abbildungen ist deutlich das Hin- und Herpendeln sowie die Abschwächung der ausgelösten Druckwellen zu erkennen.

Der pumpenseitige Druckstoß wird am Systemtrenner durch dessen Öffnung und die Reibung in den flexiblen Schläuchen beim Pendeln der Druckwellen abgebaut. Auf Seiten des Trinkwassernetzes wird durch den Verschluss des Systemtrenners ein Druckstoß initiiert. Dieser wird im Standrohr und Trinkwassernetz durch Reibung abgebaut.

Die Druckschwankungen traten zu einem Zeitpunkt auf, an dem noch ein Durchfluss zur Fahrzeugpumpe hin vorlag. Der Durchfluss fiel nicht abrupt auf null, sondern nahm innerhalb weniger Sekunden kontinuierlich ab. Dies ist auf die Trägheit des Wassers sowie die Elastizität der Schläuche zurückzuführen, die eine vorübergehende Weiterbeförderung des Wassers ermöglichen, auch nachdem das Strahlrohr geschlossen wurde. Daher kann davon ausgegangen werden, dass nur sehr wenig oder gar kein Wasser in das Leitungsnetz zurückgeflossen ist. Mit dem verwendeten Durchflussmessgerät wäre eine kurzzeitige Richtungsumkehr des Flusses nur bedingt feststellbar. Eine nicht detektierte Umkehr wäre jedoch mit einer vernachlässigbar geringen Wassermenge verbunden.

Wird der Bereich der Druckstöße näher betrachtet, wie in Abbildung 8 dargestellt, zeigt sich, dass der Druck trinkwassernetzseitig fast immer höher ist als fahrzeugseitig. In diesen Fällen ist ein Rückfluss von Wasser in das Trinkwassernetz ausgeschlossen. Eine Ausnahme bildet ein Zeitraum zwischen Sekunde 1,3 und 1,5. Dieser ist ca. 0,16 Sekunden lang. Würde Wasser zu dieser Zeit rückwärts strömen, würden, bei einem Durchfluss von 200 l/min (liegen zu dieser Zeit vor), rechnerisch ca. 0,54 Liter in das Trinkwassernetz zurückfließen. Da kein negativer Durchfluss gemessen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Szenario die berechnete Menge vom Systemtrenner nach außen abgeleitet wird. Außerdem schließt der Systemtrenner beim Unterschreiten einer Druckdifferenz von 0,14 bar und damit vor der gezeigten Druckumkehr. Ein Rückfluss minimaler Wassermengen kann durch die Experimente zwar nicht vollständig ausgeschlossen werden, ist aber sehr unwahrscheinlich.

Zum Nachweis, dass gleiche Versuchsbedingungen zu gleichen Ergebnissen führen, werden die Ergebnisse dreier Messungen in Abbildung 9 dargestellt. Diese zeigen leichte Unterschiede in den Druckschwankungen nach dem Druckstoß, da dieser manuell verursacht wurde. Insgesamt ist das Verhalten der Druckkurven jedoch sehr ähnlich. Bei allen Messungen zeigte sich ein Bereich, in dem der Druck auf der Standrohrseite kurzzeitig unter dem auf der Pumpenseite lag. Hier wurden berechnete Wassermengen von ca. 0,62 l und 0,21 l durch den Systemtrenner abgegeben.

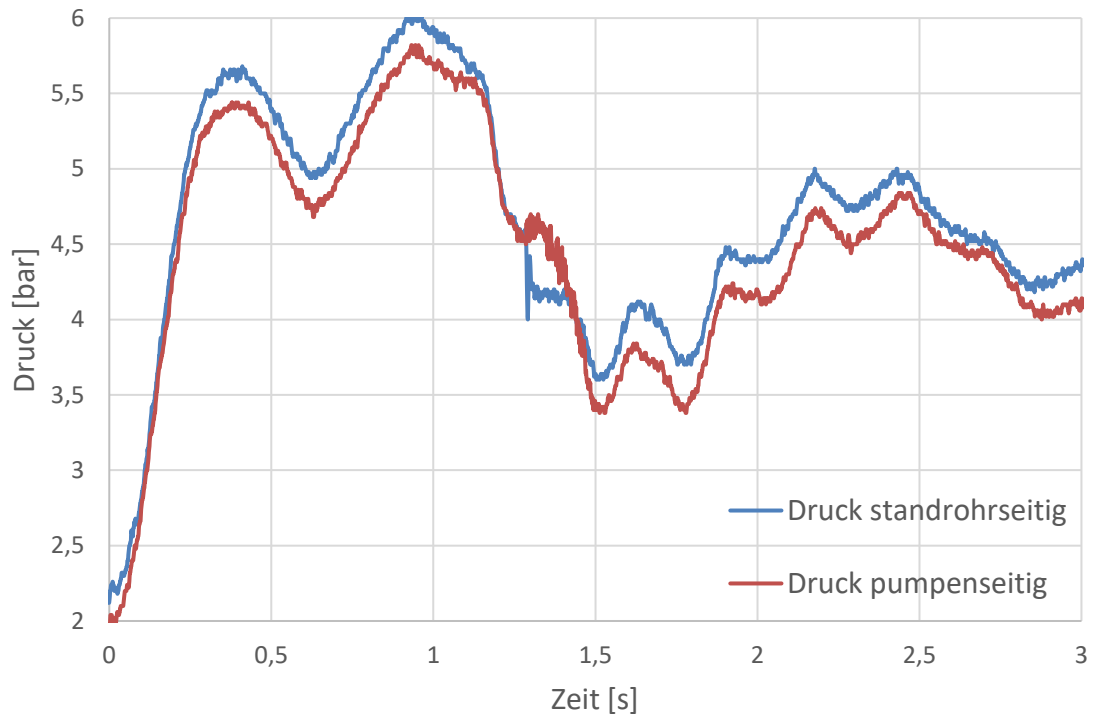


Abbildung 8: Vergrößerter Ausschnitt der Messwerte von Abbildung 7.

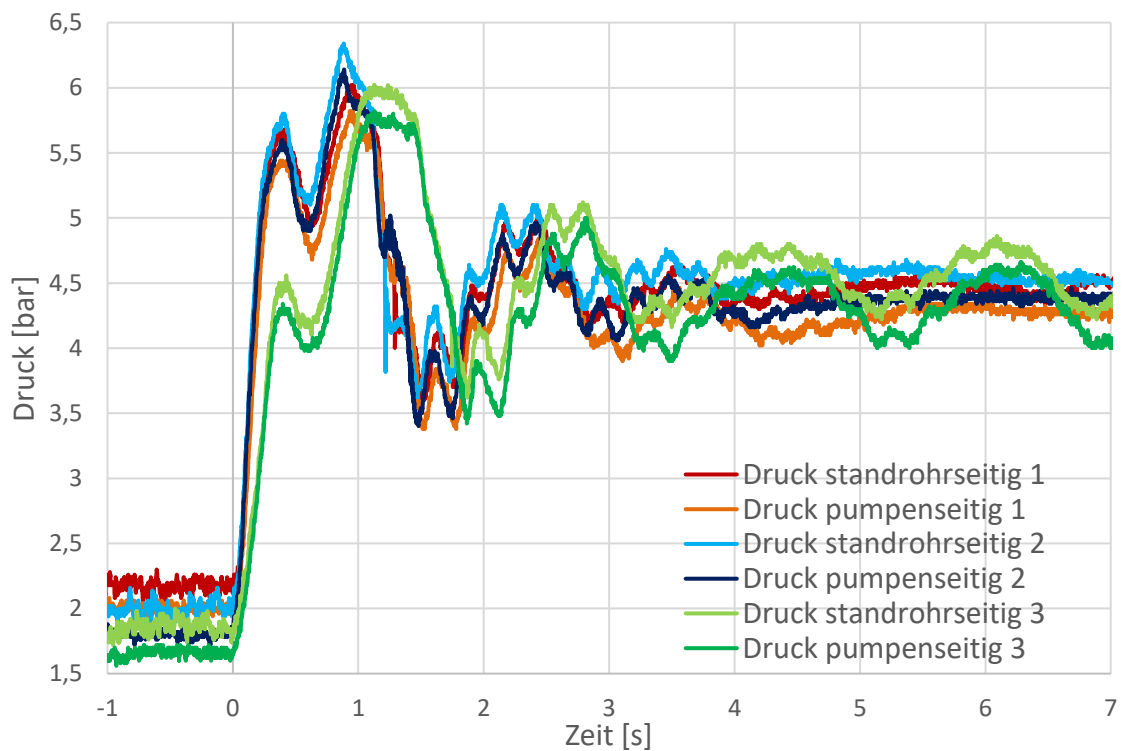


Abbildung 9: Vergleich dreier Messungen (1, 2, 3) mit gleichen Parametern (Pumpenausgangsdruck 6 bar, Netzdruck identisch, 1x Strahlrohr schließen, Durchfluss ca. 360 l/min, Systemtrenner vorhanden)

Vergleichend wurden Messungen mit einem Pumpenausgangsdruck von 5 bar vorgenommen. Die sich ergebenden Druckverläufe ähneln denen der Messungen mit einem Pumpenausgangsdruck von 6 bar, wie in Abbildung 10 zu sehen ist.

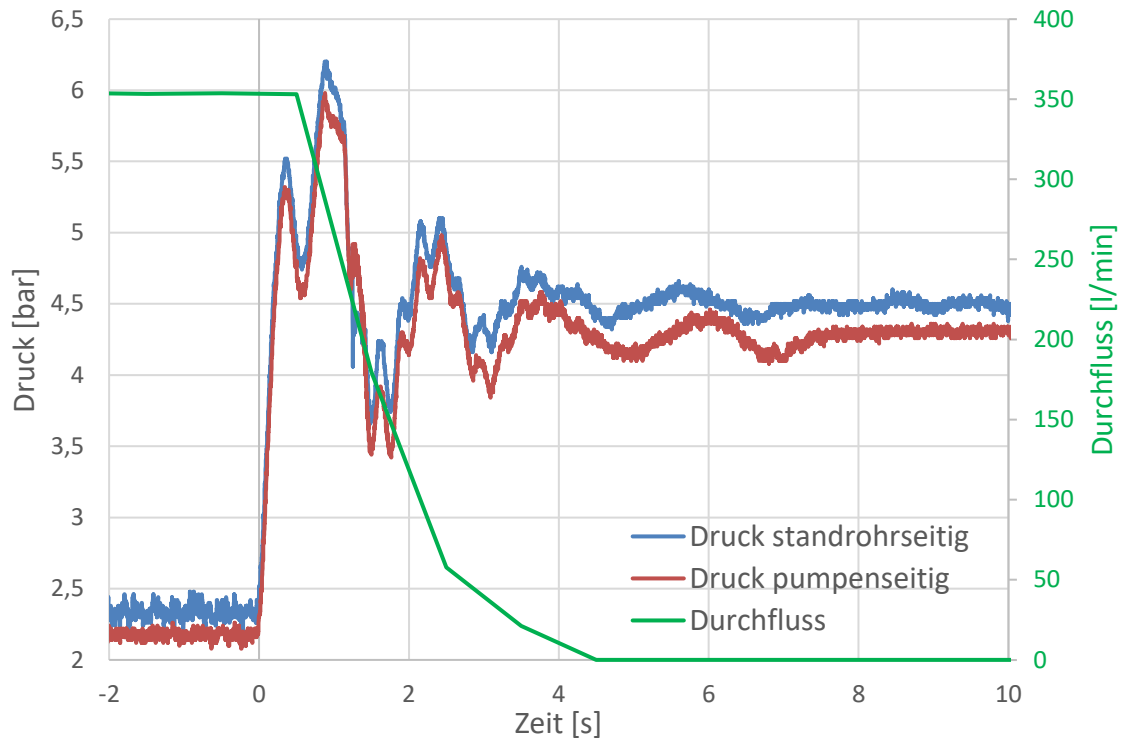


Abbildung 10: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 1, Pumpenausgangsdruck: 5 bar, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.

Vergleichend wurden außerdem Messungen ohne Systemtrenner vorgenommen. Hier zeigen die Ergebnisse, dass die beiden Sensoren zum einen, bedingt durch das Fehlen des Systemtrenners, im Rahmen der Fehlertoleranzen annähernd gleiche Messwerte lieferten und zum anderen, dass die Druckwelle länger im System pendelte. Die Druckwellen erscheinen zudem gleichmäßiger, da sie nicht durch den Systemtrenner beeinflusst wurden.

Der Durchfluss war im Bereich der ersten großen Druckschwankungen noch positiv, sodass das Wasser weiterhin in Richtung des Feuerwehrfahrzeugs floss. Im schlimmsten Fall könnten nur geringe Wassermengen durch einen lokalen Wasserrückstrom in den Hydranten gelangen. Dabei handelt es sich jedoch um Wasser, das unmittelbar zuvor aus dem Trinkwassernetz entnommen wurde und gerade erst in das System Feuerwehrschauch getreten wäre. Die Größenordnung einer zurückgeflossenen Wassermenge kann abgeschätzt werden. Hier scheint es plausibel, den Wert anzunehmen, der sich rechnerisch bei Nutzung des Systemtrenners aus der Zeit mit negativem Druckunterschied und dem vorliegenden Durchfluss ergibt. Dieser lag,

wie oben aufgeführt, bei unter einem Liter. In einem späteren Szenario erfolgt eine Betrachtung der Wassermengen zur Überprüfung des Sachverhalts mittels eines Schaurohrs.

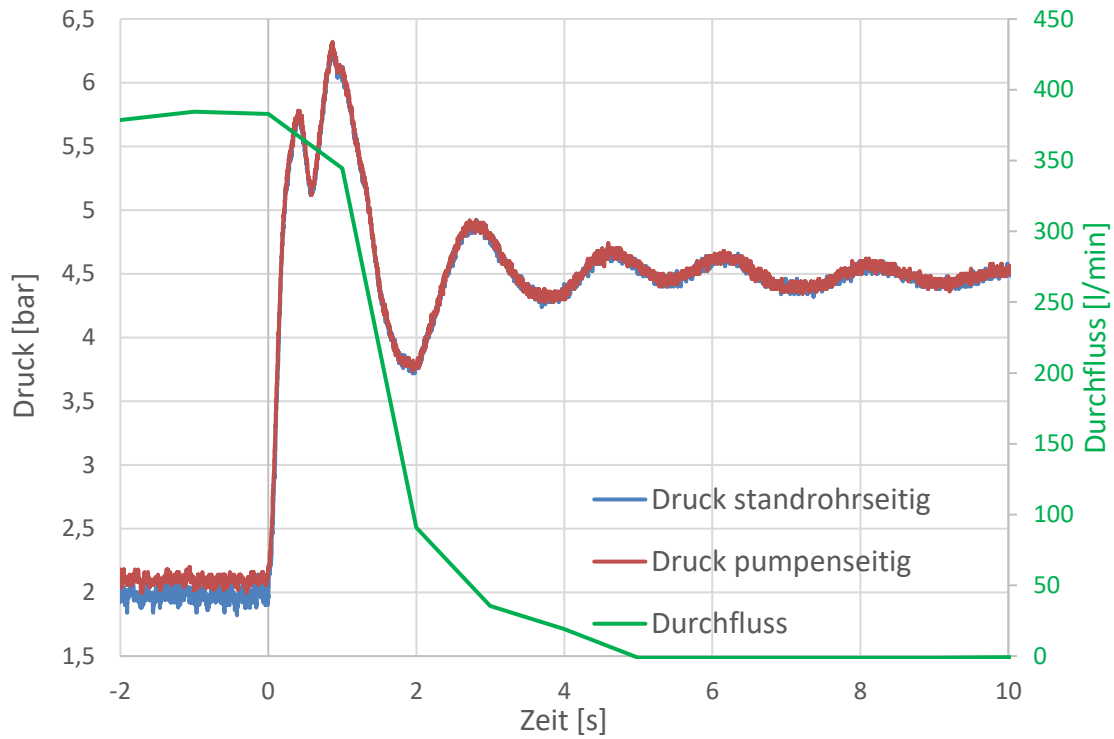


Abbildung 11: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 1, Pumpenausgangsdruck: 6 bar, Systemtrenner nicht eingebaut. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig direkt hinter dem Standrohr.

### Messungen mit mehrmaligem Schließen eines Hohlstrahlrohrs

Neben dem einmaligen Schließen eines Hohlstrahlrohrs wurde ein Impulslöschverfahren mit dem dreimaligen schnellen Schließen eines Strahlrohrs simuliert. Hierzu wurde der Aufbau gemäß Abbildung 5 mit einem Pumpenausgangsdruck von 6 bar und 8 bar gewählt. Die Messwerte eines Versuchs sind in Abbildung 12 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass es eine kurzzeitige Druckumkehr zwischen den Verläufen gab. Dies ist im eingekreisten Bereich der Abbildung zu sehen. Zu dieser Zeit gab der Systemtrenner Wasser nach außen ab. Für die Messungen konnten rechnerisch abgegebene Wassermengen zwischen 0,4 l und 1,1 l ermittelt werden. Für alle Experimente zeigten sich eine oder mehrere kurze Phasen dieser Druckumkehr.

Es ist außerdem zu erkennen, dass die Druckschwankungen ähnliche Ausmaße wie bei einem Einzelimpuls erreichten. Mehrfaches sehr schnelles Schließen und Öffnen führt demnach nicht

zu einer Superposition der Druckwellen, also weder zu einem höheren noch zu einem niedrigeren Druck als bei einfachen Schließvorgängen.

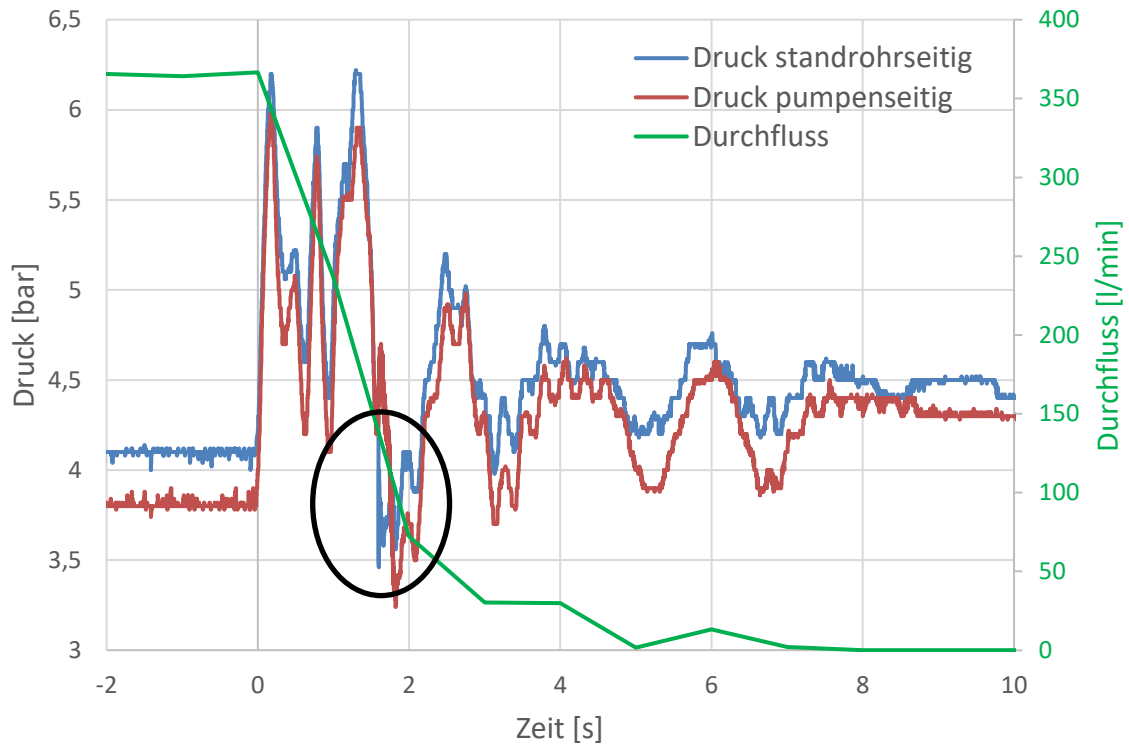


Abbildung 12: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 1, Pumpenausgangsdruck: 6 bar, Systemtrenner vorhanden, dreifaches schnelles Schließen des Hohlstrahlrohrs. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.

### Messungen mit Nutzung beider Abgänge eines Standrohrs

Des Weiteren wurden Versuche mit der Nutzung beider Abgänge eines Hydranten durchgeführt. Schematisch ist der Aufbau in Abbildung 13 dargestellt. Im Vergleich zum bisherigen Szenario wurde am zweiten Abgang des Hydranten ein weiterer Systemtrenner angebracht. Danach folgte ein 20-m-B-Schlauch zum Sammelstück an der Pumpe des Löschfahrzeugs. Bei dieser Versuchsserie wurden Pumpenausgangsdrücke von 6 bar und 8 bar eingestellt. Außerdem wurden Durchflüsse von 360 l/min und 720 l/min genutzt. Jeder Versuch wurde dreimal wiederholt.

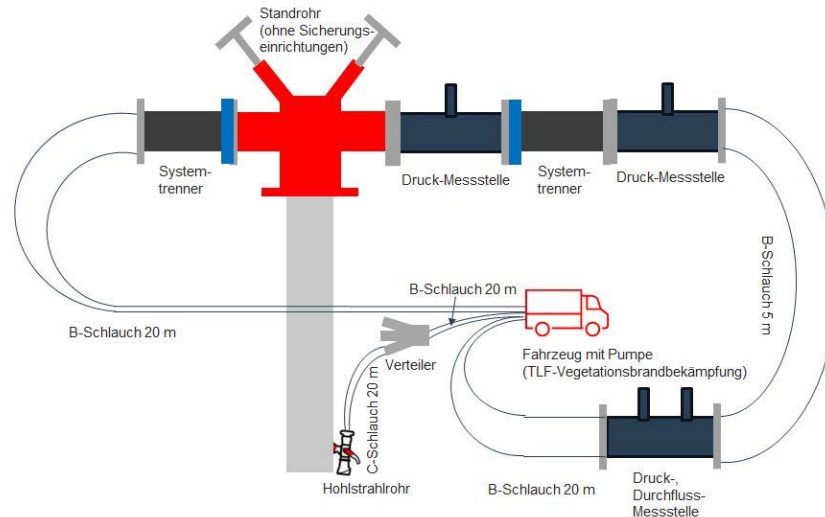


Abbildung 13: Schematisches Messszenario bei Wasserentnahme aus beiden Abgängen eines Hydranten aus dem Trinkwassernetz. Die Pumpe des Fahrzeugs ist eine Magirus-Pumpe des Typs FPN 10-2000. Als Sammelstück am Eingang der Pumpe wurde ein Sammelstück A-3B mit federbelasteten Rückschlagklappen und Vakuumbrechern genutzt.

Die Ergebnisse zweier Versuche sind in Abbildung 14 und Abbildung 16 dargestellt. Bei einem Durchfluss von 360 l/min zeigte sich eine anfängliche Druckerhöhung um ca. 2,4 bar gegenüber dem Netzdruck von 4,5 bar. Der geringste gemessene Druck lag bei 3,2 bar. An die erste Druckerhöhung schloss sich ein langes Druckpendeln an. Nach etwa einer halben Minute lagen keine Druckschwankungen in der Nähe der beiden Systemtrenner mehr vor. Während der Versuche wurden, im Vergleich zur Nutzung nur eines Hydrantenabgangs, sehr viele Wasseraustritte an den Systemtrennern beobachtet. Diese ließen jeweils abwechselnd periodisch Wasser ab. Im System pendelnde Druckerhöhungen führten zu diesem Phänomen. Nur beim ersten Druckanstieg kam es zu einer deutlichen Umkehr der Druckverhältnisse, wie in Abbildung 15 zu sehen ist. Bei den weiteren Abgaben durch die Systemtrenner lagen nur sehr kurzzeitige, geringe negative Differenzen vor. Der Systemtrenner löste jedoch laut Norm bereits bei einer Differenz von 0,14 bar aus, sodass es zu den häufigen Wasseraustritten kam.

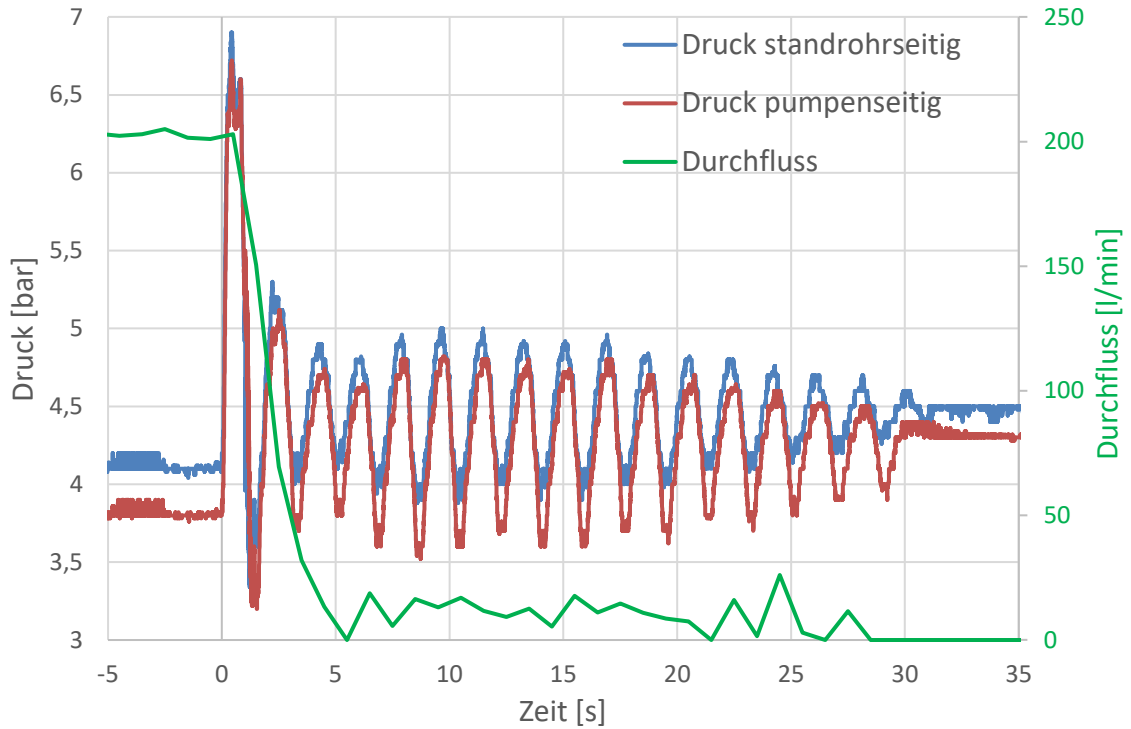


Abbildung 14: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 1 bei der Verwendung beider Abgänge eines Hydranten, Pumpenausgangsdruck: 8 bar, Durchfluss 360 l/min, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 13, direkt vor und hinter einem Systemtrenner.

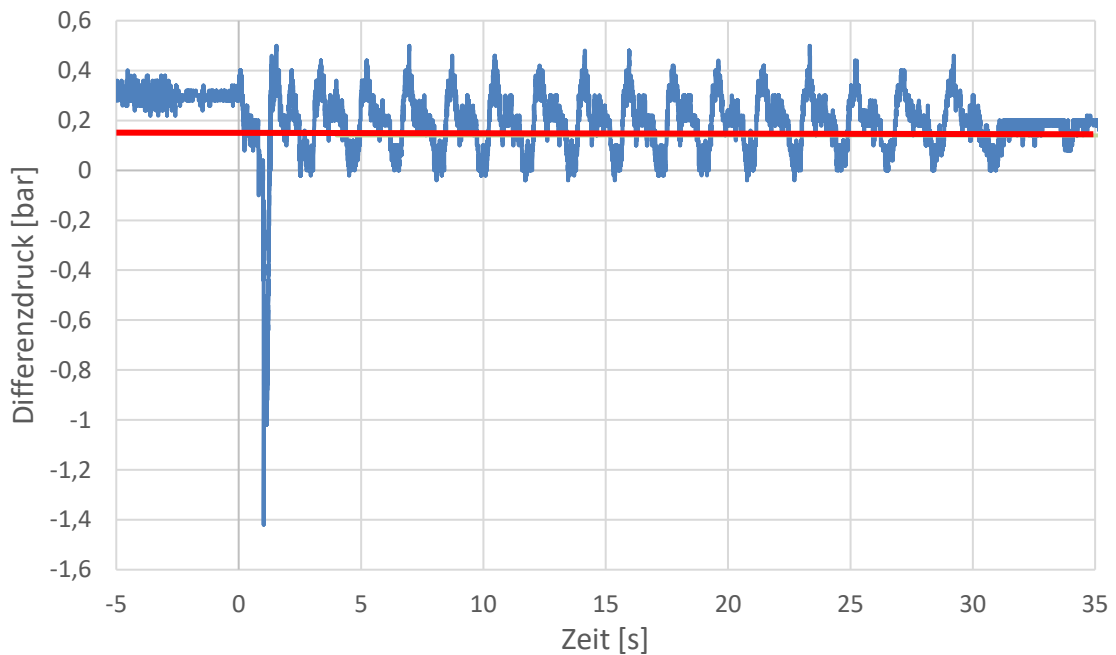


Abbildung 15: Differenzdruck aus standrohseitigem und pumpenseitigem Druck aus Abbildung 14. Die rote Linie zeigt die Auslösedruckdifferenz des Systemtrenners.

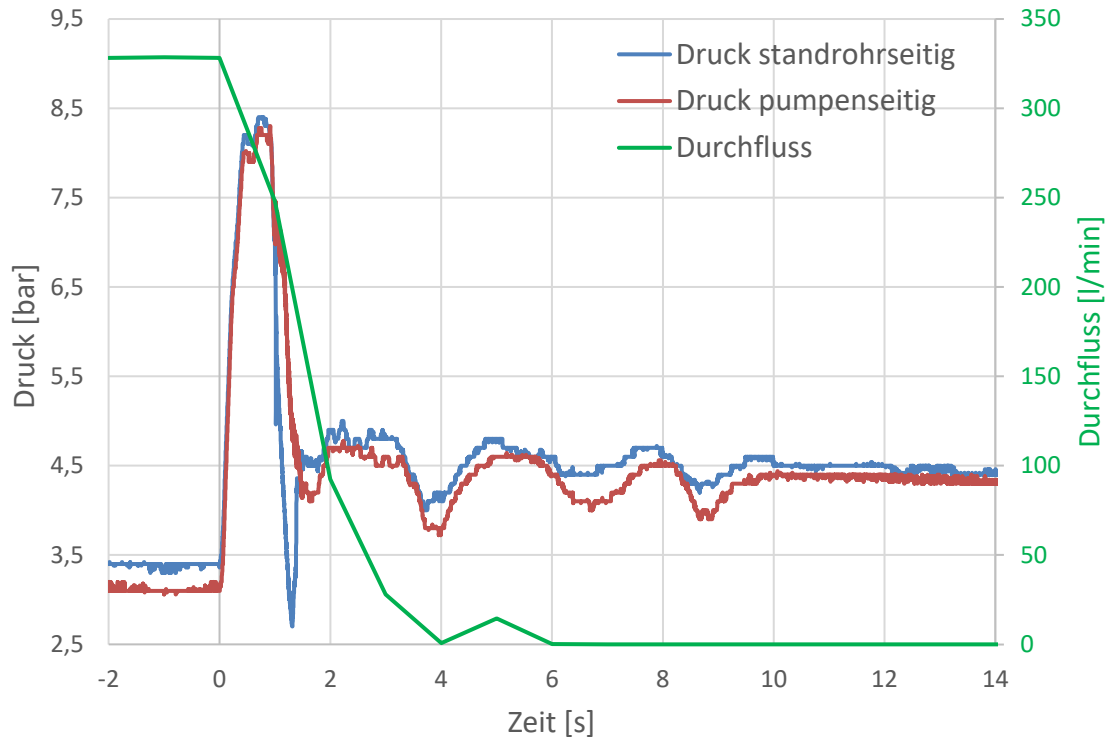


Abbildung 16: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 1 bei der Verwendung beider Abgänge eines Hydranten, Pumpenausgangsdruck: 8 bar, Systemtrenner vorhanden. Durchfluss am Hohlstrahlrohr ca. 720 l/min. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 13, direkt vor und hinter einem Systemtrenner.

Bei den Versuchen mit einem erhöhten Durchfluss von 720 l/min zeigte sich ein etwas anderes Verhalten. Der erste positive Druckstoß lag hier knapp 4 bar über dem Netzdruck von ca. 4,5 bar, der erste negative Druckstoß ca. 2 bar unter dem Netzdruck. Damit ist der Druckstoß durch den verdoppelten Durchfluss vergrößert. Bei der Messung kam es ebenfalls zu einer Druckumkehr, die etwa eine halbe Sekunde andauerte. Die darauffolgenden Druckschwankungen verblieben weniger lang im System. Es konnten auch nicht so viele Wasseraustritte an den Systemtrennern beobachtet werden. Insgesamt wird dieses Szenario als unkritisch für das bestehende Trinkwassernetz gewertet, da davon ausgegangen werden kann, dass, wenn nur minimale Wassermengen, die gerade dem Netz entnommen wurden, zurückgedrückt wurden, diese jedoch nicht verunreinigt sind.

### 3.3.2 Szenario 2: Nutzung eines Trinkwassernetzes zur Wasserbereitstellung für die automatische Tankbefüllung mit Systemtrenner

In diesem Szenario wurde eine weitere im Feuerwehralltag übliche Situation nachgestellt. Hier wird ein Fahrzeugtank mittels automatischer Tankbefüllung gefüllt. Zwischen Tank und Hydrant war tankseitig ein 20-m-B-Schlauch verlegt. An diesen schlossen sich der Durchflussmesser und anschließend ein 5-m-B-Schlauch an. Danach folgten ein Druckmesser, der Systemtrenner und ein weiterer Druckmesser direkt am Hydranten. Der Aufbau ist schematisch in Abbildung 17 dargestellt. Ein Druckstoß in das System wird durch das automatische Schließen der Tankbefüllung bei ausreichend hohem Füllstand generiert.

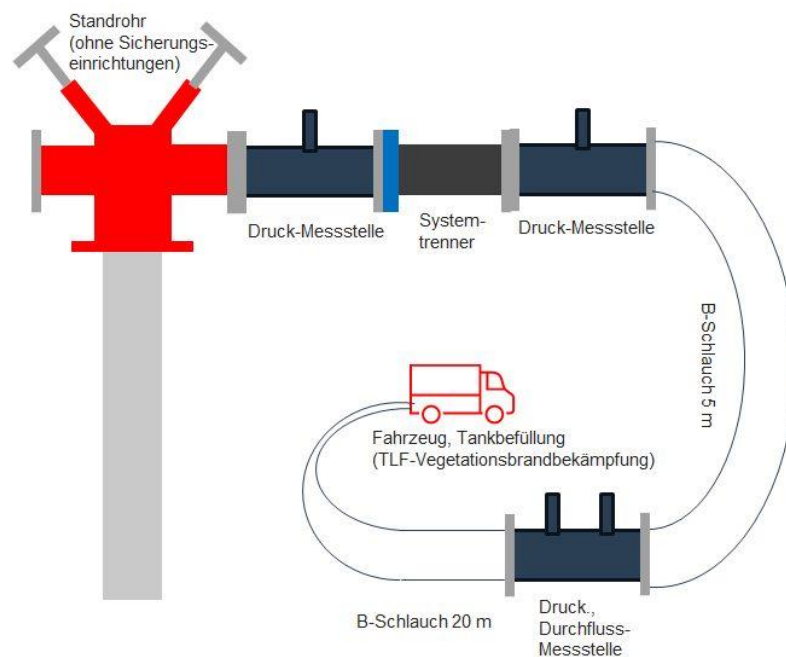


Abbildung 17: Schematisches Messszenario bei der Tankbefüllung mit verbautem elektropneumatischem Ventil mittels Trinkwassernetz. Einlauf des Tanks im oberen Bereich.

Es wurden drei Messungen durchgeführt, die vergleichbare Ergebnisse aufwiesen. Die Verläufe einer Messung werden in Abbildung 18 gezeigt. Es kam jeweils zu einer Druckerhöhung von ca. 1,5 bis 2 bar. Der Druck zeigte, wie im vorherigen Szenario, ein Pendeln durch Reflexionen. Diese Druckschwankungen bestanden kürzer als in den vorherigen Szenarien. Beim Auslösen des Systemtrenners zeigte sich, wie in den vorherigen Messreihen, ein höherer Druck am pumpenseitigen Messaufnehmer als am standrohrseitigen. Hier können aus der Dauer dieser Druckverhältnisse und dem Durchfluss Volumina von 0,6 bis 1,2 Liter berechnet werden. Aufgrund des Flusses in Richtung des Tanks wird davon ausgegangen, dass diese Volumina

mindestens nahezu vollständig durch den Systemtrenner nach außen abgegeben wurden. Ein Rückfluss minimaler Wassermengen, die gerade dem Trinkwassernetz entnommen wurden, kann durch diese Messungen nicht vollständig ausgeschlossen werden, wird jedoch als unwahrscheinlich angesehen.

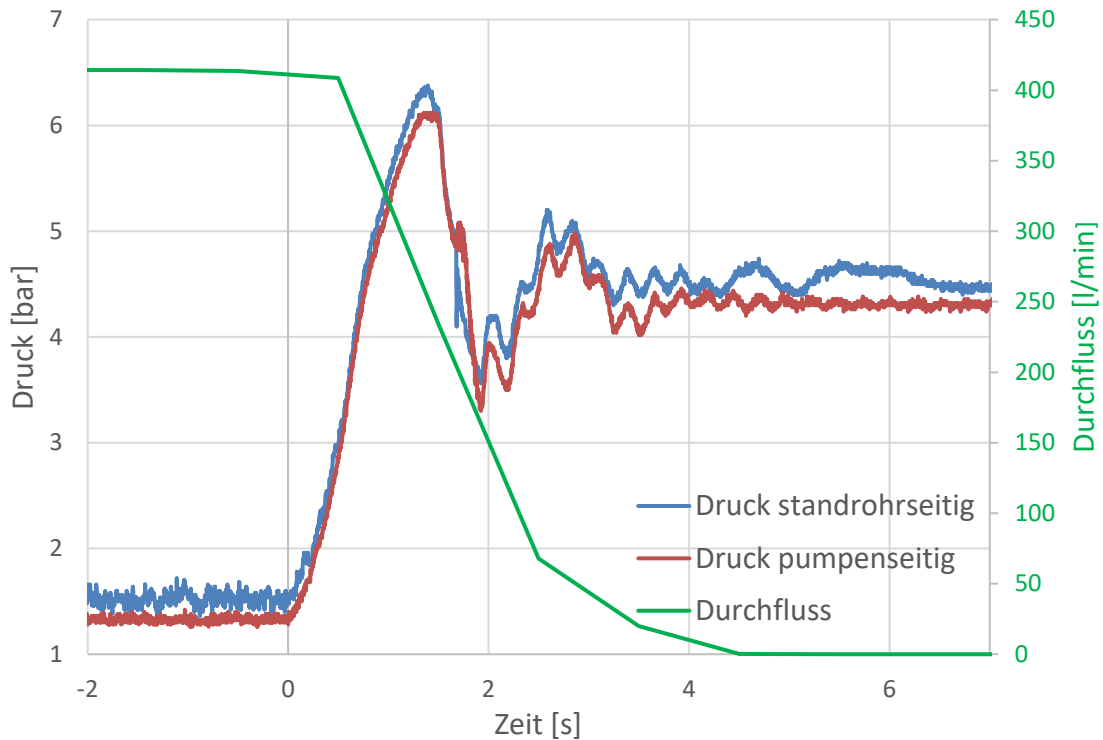


Abbildung 18: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 2, automatische Tankbefüllung, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 17, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.

### 3.3.3 Szenario 3: Nutzung eines Trinkwassernetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff mit einem Strahlrohr mit Systemtrenner und Standrohr mit Rückflussverhinderer und Vakuumbrechern

In diesem Szenario wurde der Aufbau gemäß Abbildung 5 mit einer Änderung genutzt. Das Standrohr wurde gegen ein Standrohr mit verbauten Sicherungsmaßnahmen, Rückflussverhinderer und zwei Vakuumbrechern an den Abgängen, ausgetauscht. Bei allen Messungen, mit Pumpenausgangsdrücken von 6 bar, 8 bar sowie 10 bar wurde in jeder der drei Wiederholungen beobachtet, dass der Systemtrenner beim Auslösen des Druckstoßes kein Wasser nach außen abgibt. Da es durch den Verschluss der Klappe im Standrohr nie zu einer Druckumkehr beim Systemtrenner kam, löste dieser nicht aus. Seine Funktionsweise ist in

dieser Kombination eingeschränkt. Durch den doppelten Verschluss beider Systeme beim Eintreffen eines Druckstoßes wird Wasser mit erhöhtem Druck zwischen den Sicherungssystemen eingeschlossen. Beim Rückbau ist es daher nicht möglich, das System über den zweiten Abgang zu entwässern, bevor der Systemtrenner demontiert wird. Damit entleert sich das unter Druck stehende Wasser bei der Demontage des Systemtrenners schlagartig in die Umgebung.

Die Messungen zeigten alle einen sehr ähnlichen Verlauf, wie in den Abbildung 19 und Abbildung 20 exemplarisch dargestellt ist. Für die meisten Messungen wurde der Durchfluss mit ca. 360 l/min und für drei Messungen ein erhöhter Durchfluss von ca. 550 l/min genutzt.

In den Messergebnissen zeigt sich, dass der Druckstoß in einer ähnlichen Größenordnung, wie bei den vorherigen Messungen liegt. Die genauen Kurvenverläufe zeigen jedoch Unterschiede. Die Druckverläufe vor und hinter dem Systemtrenner sind anfangs parallel. Es kann vermutet werden, dass durch die kurze Strecke zwischen Systemtrenner und Rückflussverhinderer die Reflexion der Druckwelle kürzer ausfällt. Außerdem ist der Druckverlauf weniger gleichmäßig, was durch den Reflexionsweg erklärt werden kann. In der Kombination beider Sicherungssysteme kann der Systemtrenner nicht bei einem Druckunterschied von 0,14 bar auslösen.

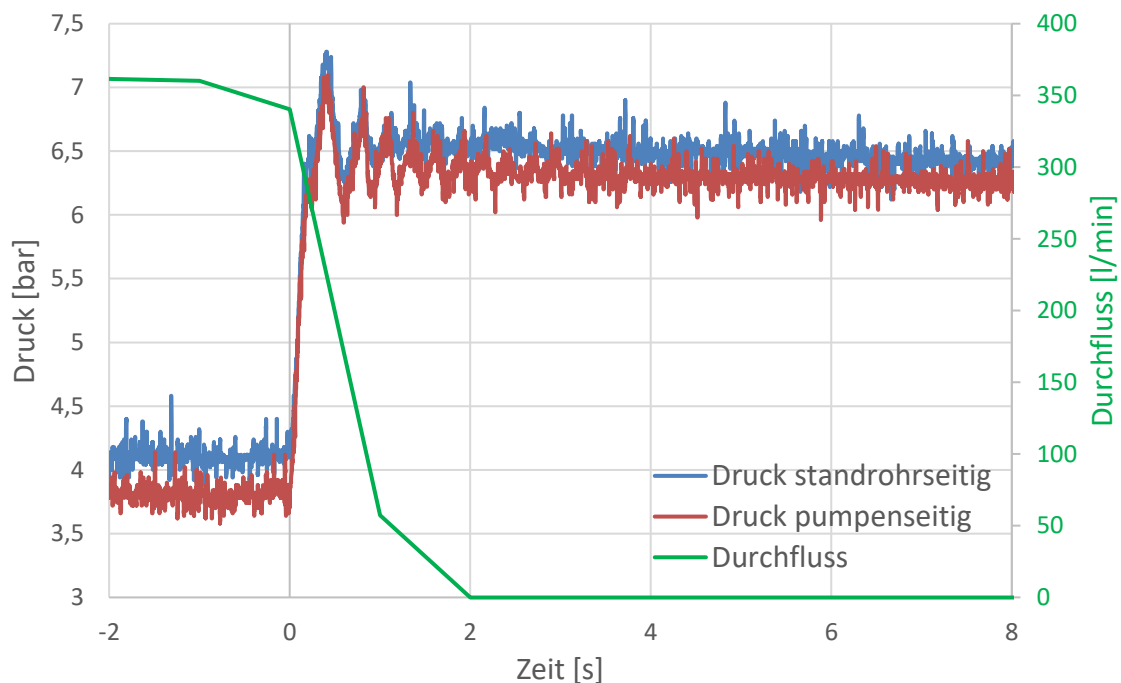


Abbildung 19: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 3, Pumpenausgangsdruck: 6 bar, Systemtrenner vorhanden. Standrohr mit Rückflussverhinderer und zwei Belüftern an den Abgängen. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.

Laut dem Vorwort der DIN 14346 [2] wird der Systemtrenner B-FW an „bestehende Standrohre oder Unterflurhydranten ohne integrierte Systemtrenner zur Entnahme von Löschwasser aus dem Rohrnetz angeschlossen“. Dieser Aussage sollte nach den vorliegenden Experimenten gefolgt werden.

Der Durchfluss fällt schneller auf null ab als bei der Nutzung eines herkömmlichen Standrohrs. Es ist erneut davon auszugehen, dass es keinen Rückfluss ins Trinkwassernetz gab.

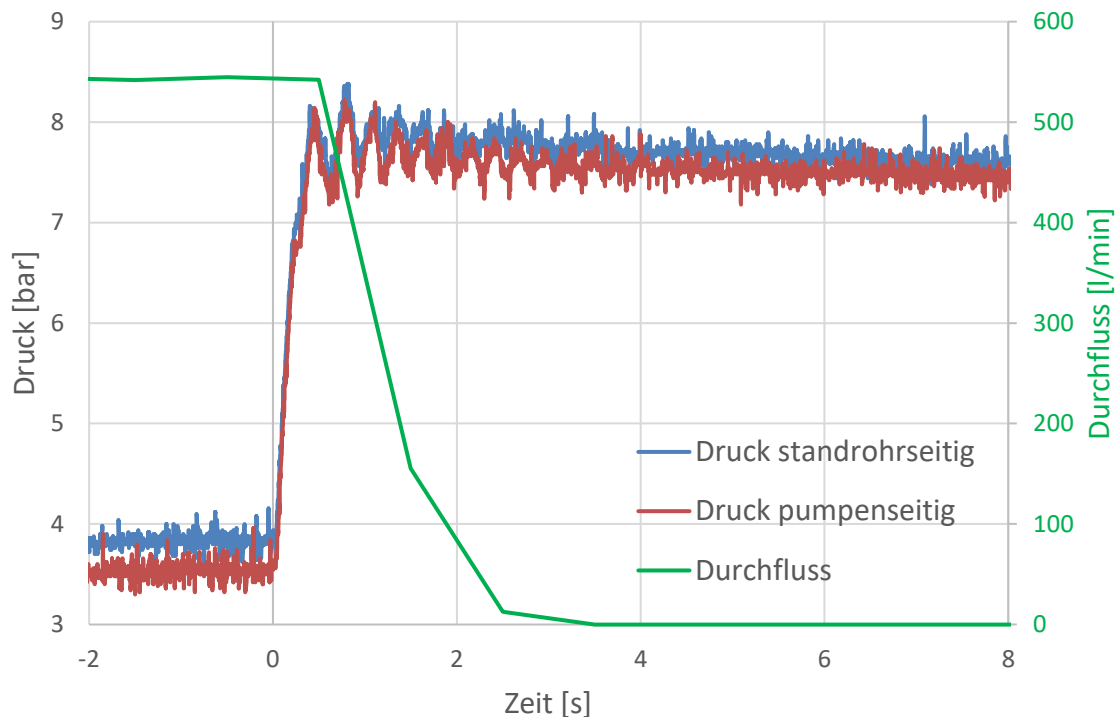


Abbildung 20: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 3, Pumpenausgangsdruck: 6 bar, Systemtrenner vorhanden, Durchfluss erhöht. Standrohr mit Rückflussverhinderer und zwei Belüftern an den Abgängen. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.

### 3.4 Szenario 4: Nutzung HFS-System zur Wasserbereitstellung und Nutzung Monitor im Löschangriff

Diese Versuche dienten der ersten Überprüfung des Verhaltens bei großen Durchflüssen. Sie wurden mit und ohne Systemtrenner durchgeführt. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 21 angegeben. Mittels des HFS-Systems (Hytrans Fire System), einer Komponente im Katastrophenschutz, die einen Abrollbehälter zur Wasserförderung darstellt, wurde Wasser über einen F-Schlauch zu einem F-5B-Verteiler gefördert. Dort wurden die Druckmessgeräte

vor und hinter dem Systemtrenner angeschlossen. Über einen sich anschließenden 5-m-B-Schlauch wurde der Durchflussmesser in die Messstrecke eingebunden. Über einen 20-m-B-Schlauch war die Fahrzeugpumpe angeschlossen, die den Monitor speiste. Der Monitor wurde schlagartig geschlossen, um einen Druckstoß zu erzeugen. Der Aufbau ist schematisch in Abbildung 21 angegeben.

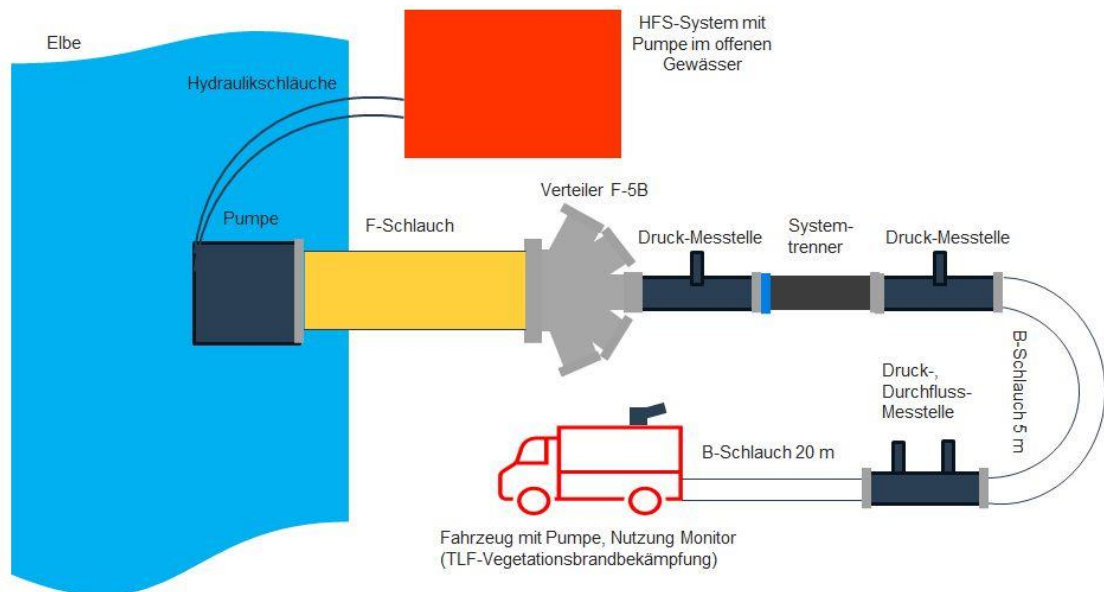


Abbildung 21: Schematisches Messscenario bei Wasserentnahme aus einem Fluss mittels HFS-System. Die Pumpe des Fahrzeugs ist eine Magirus-Pumpe des Typs FPN 10-2000. Als Sammelstück am Eingang der Pumpe wurde ein Sammelstück A-3B mit federbelasteten Rückschlagklappen und Vakuumbrechern genutzt.

Es wurden je drei Versuche mit einem Durchfluss von jeweils etwa 1.000 l/min mit und ohne Systemtrenner durchgeführt. Drei weitere wurden mit einem Durchfluss von 1.200 l/min absolviert. Bei einem Durchfluss von 1.600 l/min war nur ein Versuch möglich. Die Messwerte eines Versuchs unter Systemtrennereinsatz sind exemplarisch in Abbildung 22 für einen Durchfluss von ca. 1.000 l/min, in Abbildung 23 für 1.200 l/min und Abbildung 24 für 1.600 l/min gezeigt.

Erneut zeigte sich, dass der Druck auf der Abnahmeseite des Systemtrenners kurzzeitig höher als auf der Seite des HFS-Systems war. Zu dieser Zeit lag auch hier der Durchfluss noch im positiven Bereich. Periodische Druckwellen waren im System nur auf der Abnahmeseite und nur sehr kurz messbar. Im F-Schlauch, der Pumpe und dem offenen Gewässer resultierten keine Schwingungen. Aus der Zeit der Druckumkehr und dem vorliegenden Durchfluss lassen sich die Wassermengen, die aus dem Systemtrenner ausgetreten sein könnten, abschätzen. Diese

lagen für die drei Messungen mit Durchflüssen um 1.000 l/min bei 1,9 bis 2,3 l. Für Durchflüsse um 1.200 l/min ergaben sich Werte von 2,2 l bis 3,9 l. Für die Messung mit 1.600 l/min ergab sich eine Wassermenge von 2,8 l.

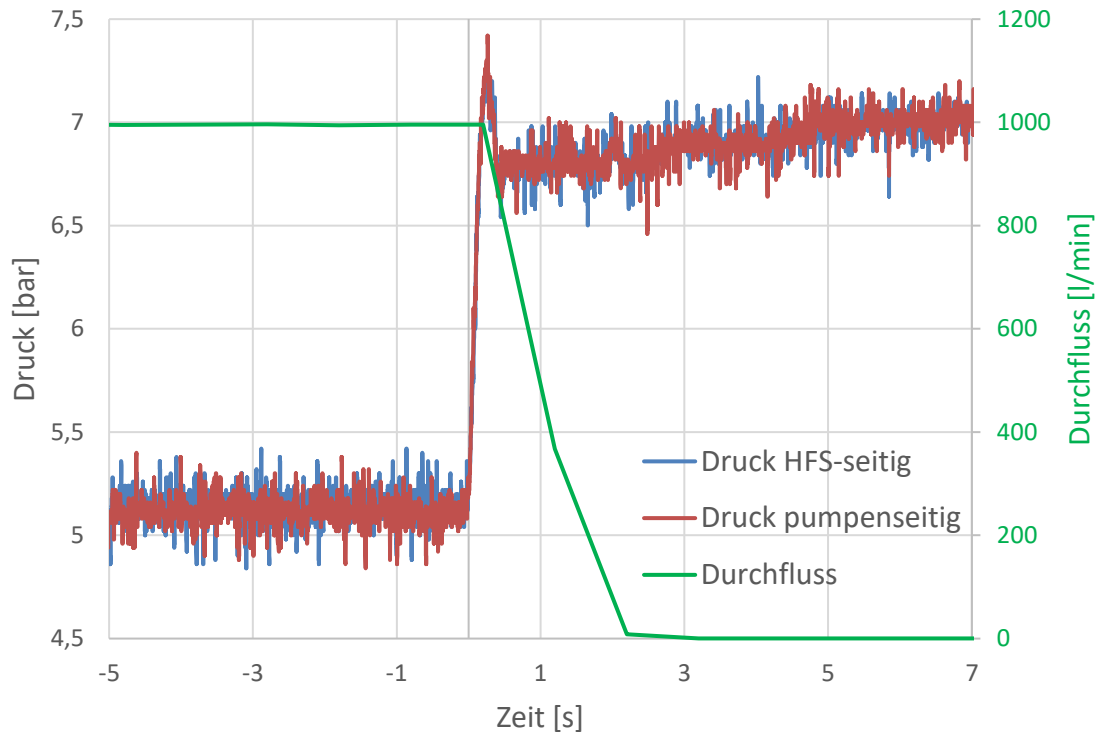


Abbildung 22: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 4, Systemtrenner nicht vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck HFS-seitig gemäß Abbildung 21, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 1.000 l/min.

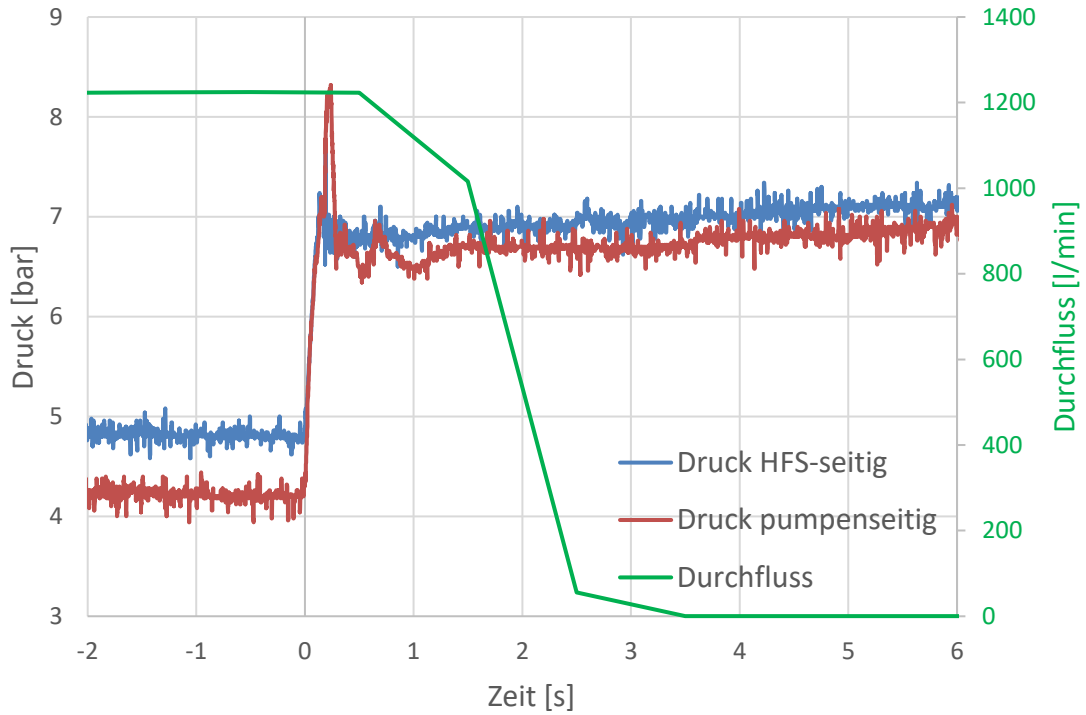


Abbildung 23: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 4, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck HFS-seitig gemäß Abbildung 21, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.

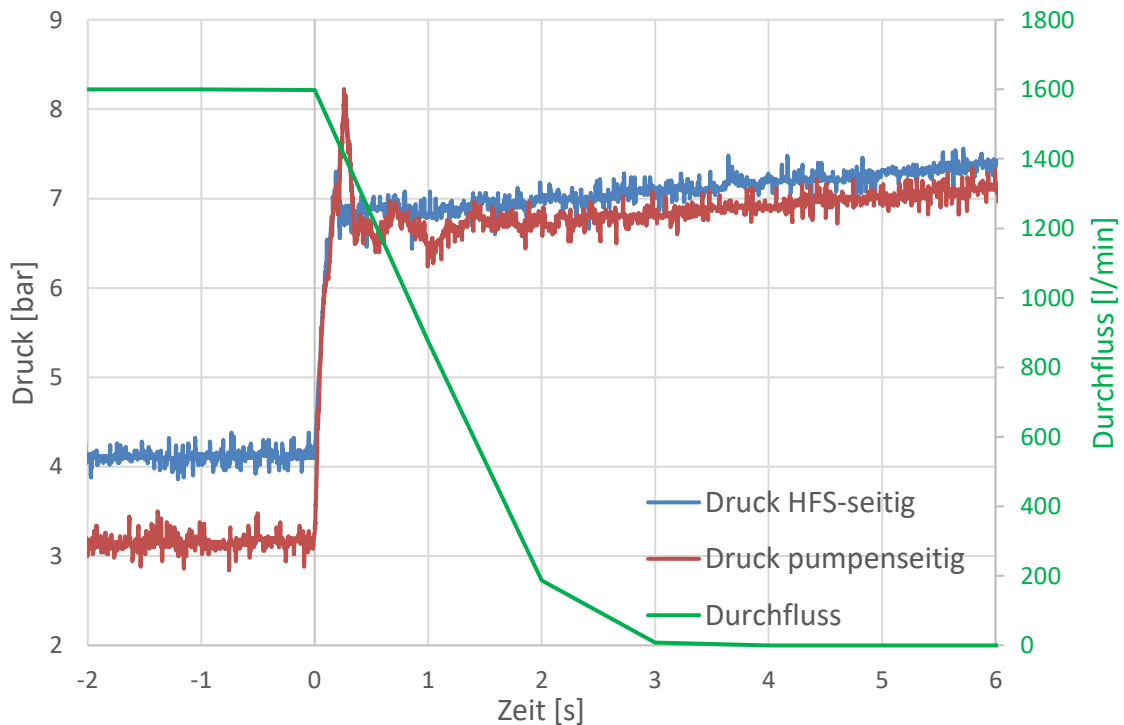


Abbildung 24: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 4, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck HFS-seitig gemäß Abbildung 21, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 1.600 l/min.

### 3.5 Messungen an einem ringförmigen Versuchsnetz

Am IBK Heyrothsberge wurde ein kleines Trinkwassernetz installiert, wie in Abbildung 25 und Abbildung 26 zu sehen ist. Dieses besteht aus PE-Rohren mit einem Außendurchmesser von 160 mm, wie sie bei städtischen Netzen üblich sind. Das Netz wurde ringförmig angeordnet. Die Abzweigung zum Hydranten erfolgt über ein 1 m langes Stück eines PE-Rohrs mit 90 mm Außendurchmesser. Über zwei Punkte kann Wasser in das Netz eingespeist werden. Dies wurde bei den Versuchen entweder über ein HLF oder eine TS 24/3 der Firma Jöhstadt, Baujahr 1994, sichergestellt. Der Fahrzeugtank diente dabei als Puffer, der mit einer externen Pumpe gespeist wurde. Hierzu wurde Wasser aus einem Löschwasserteich entnommen. Hierzu wurde Wasser aus einem Löschwasserteich entnommen.

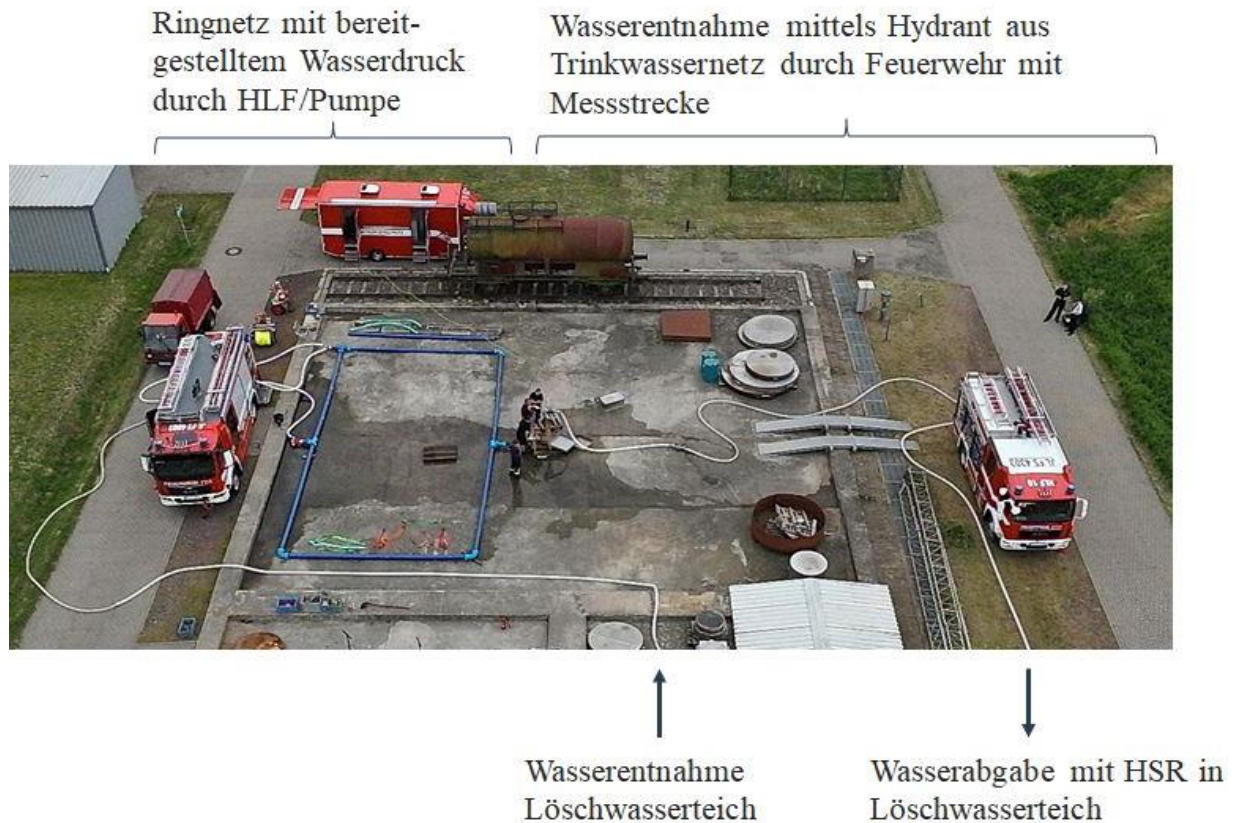


Abbildung 25: Messaufbau bestehend aus Ringnetz und aufgebautem Löschangriff

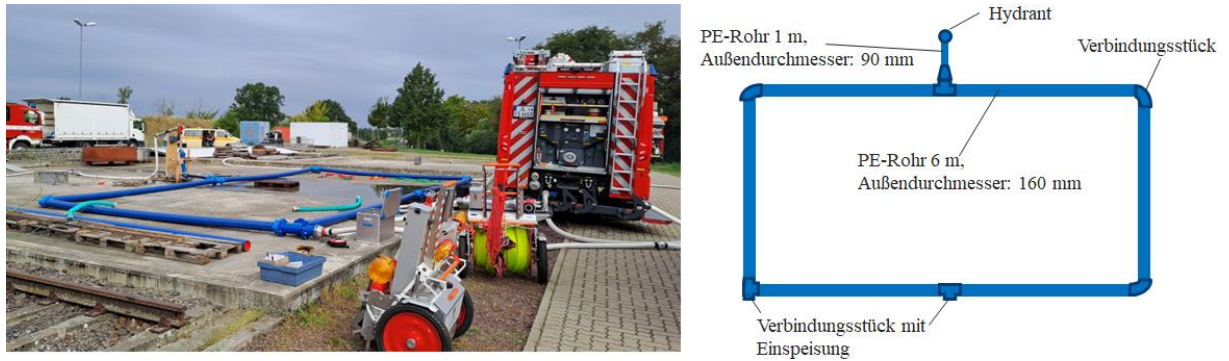


Abbildung 26: Nachbau eines Trinkwassernetzes für Druck- und Durchflussmessungen am IBK Heyrothsberge, links: Foto, rechts: Schema; Volumen im Netzsystem: ca. 0,6 m<sup>3</sup>

### 3.5.1 Szenario 5: Nutzung eines Versuchsnetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff mit einem Strahlrohr mit und ohne Systemtrenner

In den am Versuchsnetz durchgeführten Szenarien wurde Wasser über einen am Netz verbauten Hydranten mittels Standrohr für einen simulierten Löschangriff entnommen. Das dabei verwendete Strahlrohr beförderte das Wasser wieder in den Löschwasserteich. An das Standrohr schloss sich ein Aufbau wie in Abbildung 5 an. Hinter dem Standrohr wurde der Druck zunächst vor und hinter dem Systemtrenner gemessen. Nach einem 5-m-B-Schlauch folgte die Durchflussmessstelle, danach ein 20-m-B-Schlauch. Anschließend kam ein HLF 10 mit einer FPN 10-2000 Pumpe der Firma Magirus zum Einsatz. Fahrzeug und Pumpe stellt damit einen Unterschied zu den Versuchen am realen Trinkwassernetz dar. Ein weiterer Unterschied sind die zwei folgenden 20-m-B-Schläuche. Zur Abgabe des Wassers wurde ein B-Hohlstrahlrohr, das sich an ein 55 cm langes Rohr anschloss, verwendet. Das fixierte Strahlrohr diente der besseren Bedienbarkeit durch eine Person. Teilweise wurde, wie auch oft bei realen Löschangriffen, ein Stützkrümmer verwendet. Druckstöße wurden durch das ruckartige, einmalige Schließen des Strahlrohrs erzeugt. Vorteilhaft an diesem Aufbau ist die einstellbare und konstante Druckhöhe im Ringnetz, da keine weiteren Abnehmer vorhanden sind. Zu jedem eingestellten Netzdruck von ca. 5, 4, 3, 2,5 und 2 bar wurden drei Messungen bei einem abgabeseitigen Druck der Fahrzeugpumpe im Löschangriff von 6 und 8 bar durchgeführt. Der Durchfluss am Strahlrohr wurde auf 360 l/min eingestellt.

Alternativ zu den Messpunkten vor und hinter dem Systemtrenner wurden bei einigen Versuchen die Drücke auch an anderen Stellen im Trinkwassernetz sowie im aufgebauten Löschangriff gemessen. Diese Punkte sind in Abbildung 27 dargestellt. Durch die vorhandene

Messtechnik konnten an jeweils zwei Messpunkten hochauflösend Drücke bestimmt werden, da zwei entsprechende Drucksensoren für die Messungen zur Verfügung standen.

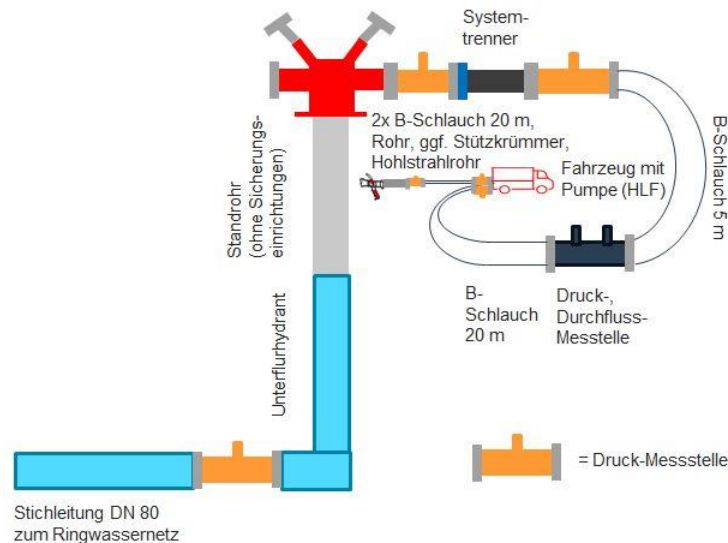


Abbildung 27: Messpunkte für Druckverläufe im Trinkwassernetz und im aufgebauten Löschangriff

Vergleichend mit den bisher präsentierten Experimenten werden zunächst Messdaten betrachtet, die direkt vor und hinter dem Systemtrenner gewonnen wurden. Hierzu werden Messkurven für Druck und Durchfluss für den maximal und minimal eingestellten Ringnetzdruck in Abbildung 28 und Abbildung 29 gezeigt.

Es ist zu erkennen, dass durch das Schließen des Strahlrohrs erwartbar jeweils ein Druckstoß ausgelöst wurde. Dieser lag am Messpunkt auf der standrohrseitig des Systemtrenners bei unter 1 bar. Auf der Pumpenseite des Systemtrenners lag der Druckstoß jeweils unter 2 bar. In den Versuchen mit dem realen Trinkwassernetz, dargestellt in Kapitel 3.3.1, traten Druckstöße von ca. 1,5 bar auf. Die Ergebnisse aus dem Ringnetz und dem realen Netz einer Großstadt zeigten somit vergleichbare maximale Schwankungen. Im realen Trinkwassernetz sind die Druckstöße etwas höher auf der Standrohrseite. Pumpenseitig sind die Druckstöße annähernd gleich groß und damit gut zur Diskussion des möglichen Gefährdungspotentials geeignet.

Der Druckabfall durch die Wasserentnahme zwischen der Phase mit geöffnetem und geschlossenem Hohlstrahlrohr ist im Versuchsnetz also geringer als in Szenario 1. Dies ist durch die geringere Wassermenge begründbar. Die direkt angeschlossene Pumpe kann Druckabfälle besser als in einem realen Trinkwassernetz kompensieren.

Es traten nur wenige, sehr gering ausgeprägte Druckwellen im Versuchsnetz auf. Dies stellt ebenfalls einen Kontrast zum realen Trinkwassernetz dar. Dieses Phänomen lässt sich auf die

geringeren Wassermengen von ca. 0,6 m<sup>3</sup> im Versuchsnetz zurückführen. Die Schwankungen nach der ersten Druckwelle zeigten jedoch immer geringere Amplituden als die erste große Welle, die im Versuchs- und Trinkwassernetz ähnlich groß waren. Außerdem wurde in den Messungen am realen Trinkwassernetz gezeigt, dass selbst bei sehr schnellem mehrmaligem Schließen des Strahlrohrs keine Superposition der Druckschwankungen über die erste Amplitude hinaus stattfindet. Damit kann mit dem Messnetz die größte Gefahr, die von Druckschwankungen ausgeht, abgebildet werden.

Die Umkehr der Druckverhältnisse vor und hinter dem Systemtrenner ist im Messnetz deutlicher zu erkennen. Dies führt zum Schließen des Systemtrenners und zu entweder zurückfließendem Wasser in das Netz oder wahrscheinlicher, zum Austrag nach außen. Die zugehörigen Durchflusswerte sind positiv, sodass vom zweiten Fall ausgegangen werden kann.

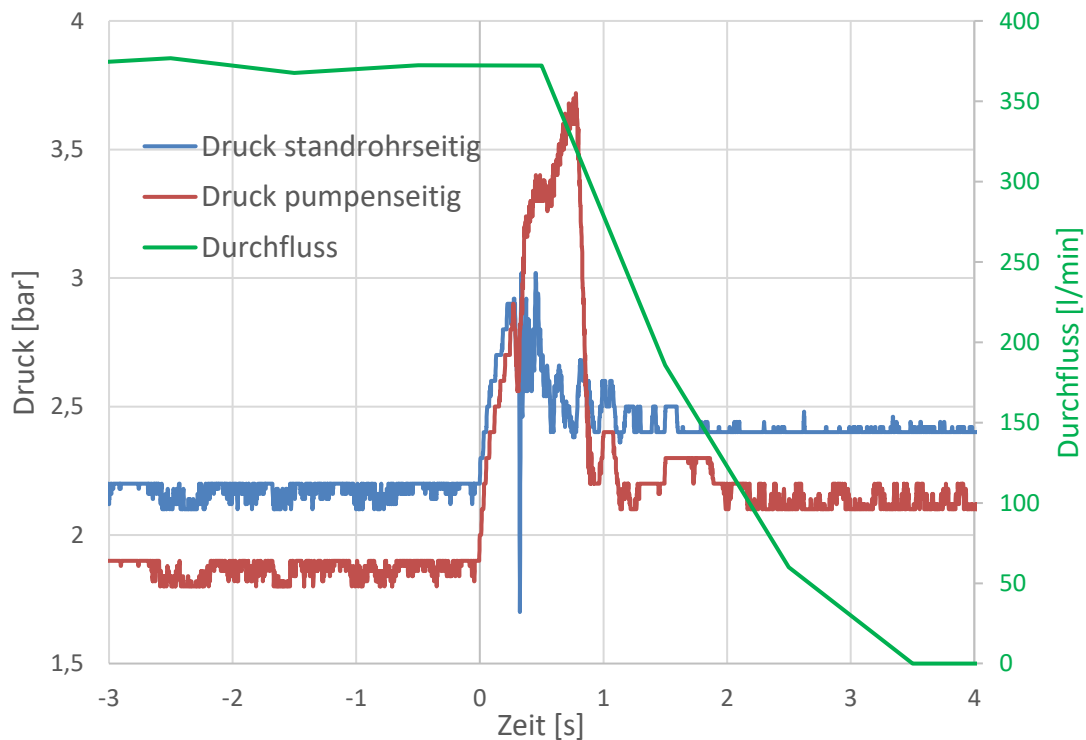


Abbildung 28: Messwerte für Druck und Durchfluss in Szenario 5, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 360 l/min, Ausgangsdruck Versuchsnetz ca. 2,4 bar.

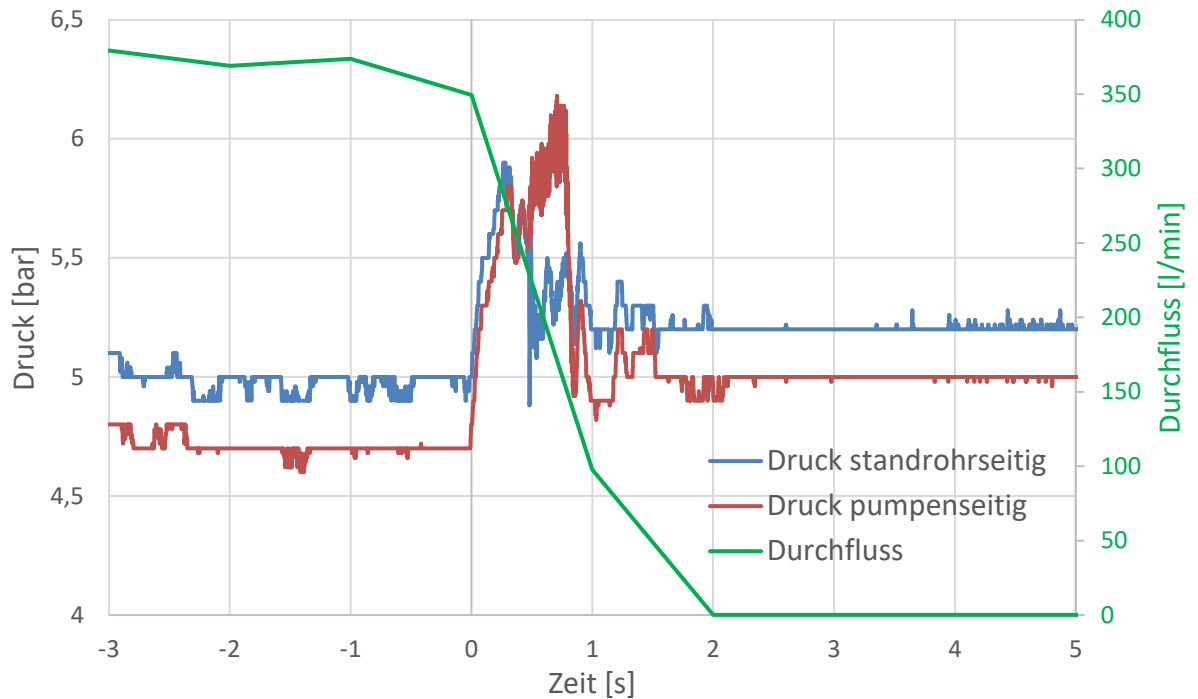


Abbildung 29: Messwerte für Druck und Durchfluss in Szenario 5, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 360 l/min, Ausgangsdruck Versuchsnetz ca. 5,2 bar.

Die sich aus den Messwerten ergebenden Wassermengen, die bei der Druckumkehr durch den Systemtrenner rechnerisch nach außen abgegeben werden, werden in Tabelle 2 aufgeführt. Es wurden Mittelwerte und Standardabweichungen über die Messungen mit Pumpenausgangsdrücken von 6 bar und 8 bar gebildet. Dies ist möglich, da die Messungen mit beiden Ausgangsdrücken sehr ähnliche Werte bei gleichen Parametern aufwiesen.

Tabelle 2: Wassermengen, die rechnerisch durch den Systemtrenner nach außen geleitet werden, im Szenario 5, Pumpenausgangsdruck Löschangriff 6 bar bzw. 8 bar (als Fehler ist die Standardabweichung der Messungen angegeben)

Netzdruck [bar] (ca.)	errechnete durchschnittliche abgegebene Wassermenge [l]
5,2	$1,6 \pm 0,6$
4,3	$2,3 \pm 0,4$
3,3	$3,0 \pm 1,3$
2,6	$2,9 \pm 0,3$
2,4	$2,9 \pm 0,2$

Für drei Messungen wurde versucht, die aus dem Systemtrenner austretende Wassermenge aufzufangen. Diese Experimente wurden bei einem Druck im Versuchsnetz von ca. 3,3 bar und

einem Pumpenausgangsdruck von ca. 8 bar im Löschangriff durchgeführt. Die eingestellte Durchflussmenge am Hohlstrahlrohr betrug 360 l/min. Die gemessenen und errechneten abgegebenen Wassermengen sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Vergleich aufgefangener und errechneter Wassermengen, die aus dem Systemtrenner bei einem Druckstoß austreten, im Szenario 5 bei einem Netzdruck von ca. 3,3 bar

Nummer	gemessene Menge [l]	errechnete Menge [l]
1	1,1	1,9
2	1,15	2,4
3	1,2	2,3

Bei den Messungen war es nicht möglich, das komplette Wasser, das aus dem Systemtrenner austrat, aufzufangen. Bei den angegebenen Mengen kann daher eingeschätzt werden, dass sie etwas geringer sind. Es kann abgeschätzt werden, dass ca. 90 Prozent des abgegebenen Wassers gesammelt wurde.

Die errechneten Mengen sind, wie oben erläutert, vermutlich zu hoch angesetzt. Sie werden aus den Zeiten mit umgekehrtem Druckunterschied vor und hinter dem Systemtrenner ermittelt. Außerdem wird der Durchfluss, der 5 m vor dem Systemtrenner zum Zeitpunkt der Druckumkehr gemessen wird, zur Berechnung herangezogen. Aufgrund der flexiblen Gewebeschläuche, die die Weiterleitung der Druckspitzen reduzieren und des abrupten, reibungsbehafteten Umleitens des Wassers an der Stelle des Systemtrenners ist anzunehmen, dass die Menge des aus dem Systemtrenner austretenden Wassers geringer ist als errechnet.

Dennoch bleibt festzuhalten, dass im ungünstigsten Fall die Differenzmenge in das Ringnetz zurückströmen könnte. Dies entspräche einem Volumen von bis zu ca. 2,4 l. Ein Standrohr hat ein Innenvolumen von ca. 3,4 l. Damit würde dieses Wasser das Standrohr nicht verlassen und in das Netz eintreten. Dieses Wasser würde außerdem erst unmittelbar vorher aus dem Trinkwassernetz entnommen worden sein, eine Kontamination innerhalb von Sekundenbruchteilen oder wenigen Sekunden ist eher unwahrscheinlich. Zudem muss erneut darauf hingewiesen werden, dass der Systemtrenner bereits bei einem Druckunterschied von 0,14 bar schließt und nicht durch rückströmendes Wasser. Ein Rückfluss ist daher sehr unwahrscheinlich.

### Messungen mit erhöhtem Durchfluss

Weiterhin wurden Messungen mit Durchflüssen von 750 l/min an einem B-Strahlrohr durchgeführt. Als Pumpenausgangsdruck im simulierten Löschangriff wurden 8 bar gewählt. Der Versuchsaufbau entsprach dem vorherigen, mit Druckmesspunkten direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Exemplarisch sind Messwerte eines Experiments mit einem Netzdruck von ca. 2,8 bar in Abbildung 30 dargestellt. Standrohrseitig stieg der Druck knapp 1 bar durch den Druckstoß an. Pumpenseitig war ein Anstieg um ca. 2 bar zu beobachten. Leichte Schwankungen des Drucks waren vor allem standrohrseitig zu erkennen. Gut sichtbar ist die Druckumkehr zwischen den beiden Druckmesskurven, die für die Zeiten zwischen 0,5 und 1 Sekunde vorlag. Dies führte zu einer rechnerisch durch den Systemtrenner nach außen abgegebenen Wassermenge von ca. 5,3 l.

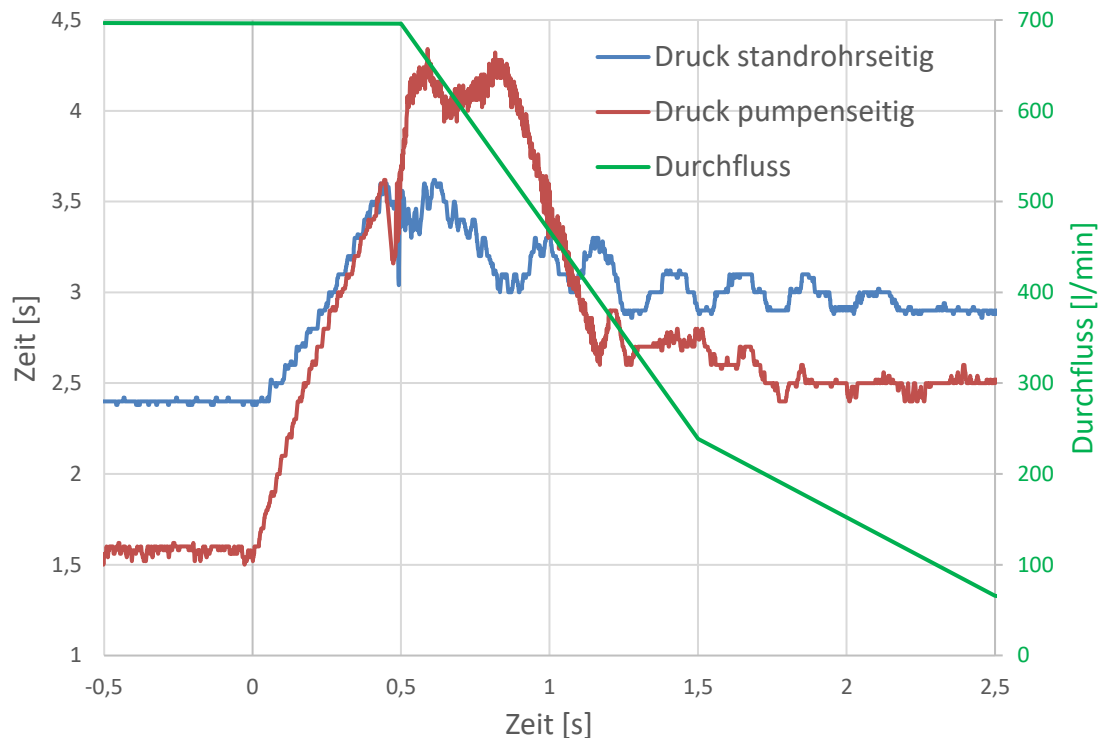


Abbildung 30: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 5, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 700 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 2,8 bar.

Für die vier im Ringnetz eingestellten Drücke wurden die mittleren errechneten Wassermengen in Tabelle 4 angegeben. Diese lagen bei etwa 5 bis 6 Liter und damit durch die erhöhten Durchflüsse höher als bei den bisherigen Messungen. Es konnten Mittelwerte und Standardabweichungen über die Messungen mit Pumpenausgangsdrücken von 6 bar und 8 bar

gebildet werden. Dies ist möglich, da die Messungen mit beiden Ausgangsdrücken sehr ähnliche Werte bei gleichen Parametern aufwiesen. Wird davon ausgegangen, dass ein Großteil dieses Wassers durch den Systemtrenner nach außen abgegeben wird, würde das potentiell in das Netz übergehende Wasser das Standrohr mit einem Fassungsvermögen von 3,4 l nicht verlassen.

Tabelle 4: Wassermengen, die maximal durch den Systemtrenner nach außen geleitet werden, im Szenario 5, Pumpenausgangsdruck Löschangriff 6 bar bzw. 8 bar (als Fehler ist die Standardabweichung der Messungen angegeben), bei Durchflüssen von ca. 750 ml

Netzdruck [bar] (ca.)	errechnete durchschnittliche abgegebene Wassermenge [l]
2,8	5,8 ± 0,5
3,4	5,1 ± 1,2
4,3	6,1 ± 0,7
5,5	4,9 ± 1,2

### Messungen mit mehrmaligem Schließen eines Hohlstrahlrohrs

Als weitere genutzte Taktik bei Feuerwehren wurde ein kurzes simuliertes Impulslöschverfahren messtechnisch betrachtet. Hierbei wurde das Hohlstrahlrohr schnellstmöglich dreimal ruckartig geschlossen. Es wurden erneut vier verschiedene Drücke im Ringnetz eingestellt. Der Durchfluss des Strahlrohrs wurde auf 360 l/min justiert. Bei jedem Druck wurden mindestens drei Messungen durchgeführt. Für den Pumpenausgangsdruck im Löschangriff wurden erneut 8 bar gewählt. Die hochfrequenten Messungen des Drucks wurden erneut direkt vor und hinter dem Systemtrenner durchgeführt.

Für einen Netzdruck von ca. 2,6 bar sind die Messwerte in Abbildung 31 dargestellt.

Alle drei Druckstöße sind getrennt voneinander vor und hinter dem Systemtrenner in der Abbildung erkennbar. Die Höhe der Druckstöße auf der Abgabeseite nahm mit jedem Schließen des Hohlstrahlrohrs leicht zu. Dies trat bei einigen, aber nicht allen Messungen auf. Damit lässt sich nicht eindeutig erklären, ob sich Nachschwingungen mit dem erneuten Druckstoß überlagern. Dieses Verhalten zeigte sich auf der Standrohrseite des Systemtrenners nicht und konnte sich daher auch nicht ins Ringnetz fortsetzen. Dennoch waren im Vergleich zu bisherigen Messungen deutlichere Nachschwingungen feststellbar.

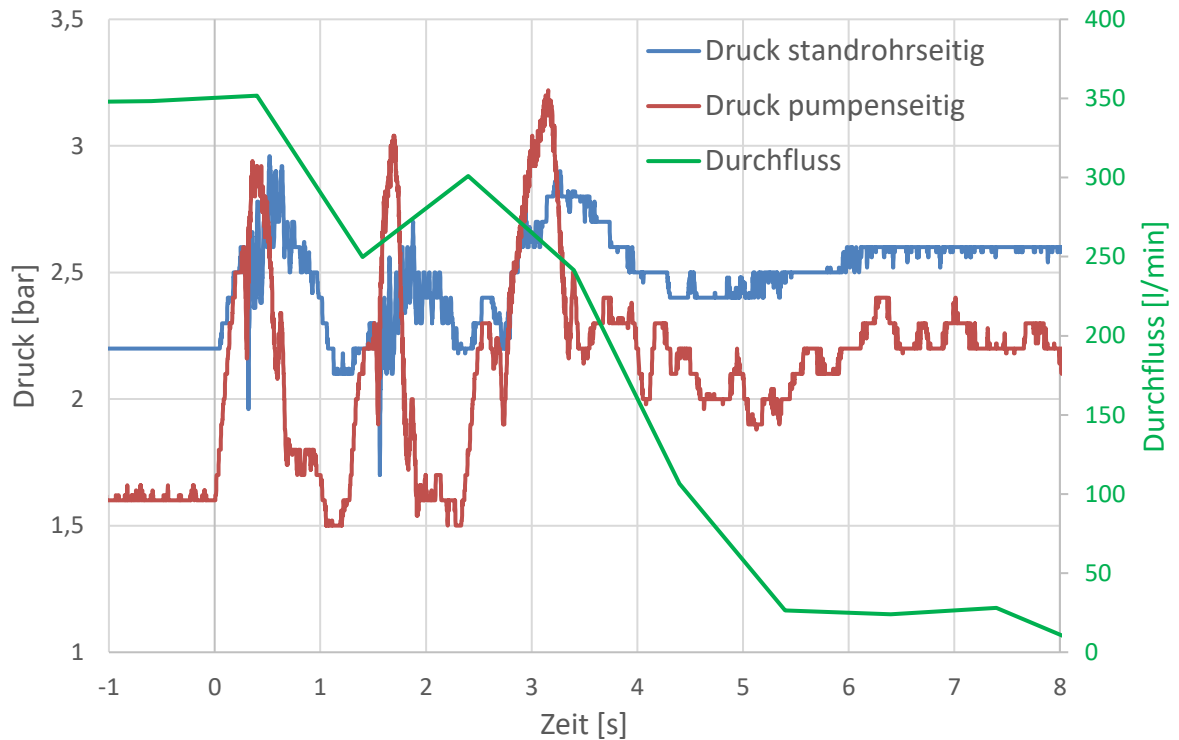


Abbildung 31: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 5, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 360 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 2,6 bar. Strahlrohr wird dreimal schnell hintereinander geschlossen.

Eindeutig erkennbar waren erneut Phasen mit Differenzdruckumkehr bei jedem Druckstoß. Diese zeigten rechnerisch ähnliche nach außen abgegebene Flüssigkeitsmengen, wie Experimente mit gleichen Parametern und einmaligem Schließen des Hohlstrahlrohrs. Im gezeigten Beispiel ergaben sich einzeln je errechnete Abgabevolumen zwischen 0,9 und 1,8 Liter. Sollte bei dieser Löschmethode Flüssigkeit in das Trinkwassernetz gelangen, wäre die Menge gering und würde beim nächsten Öffnen des Hohlstrahlrohrs sofort wieder ausgetragen. Die Flüssigkeitsmenge beim letzten Löschimpuls wäre vergleichbar mit der bei einem einmaligen Schließen des Strahlrohrs.

### **Druckmessungen an verschiedenen Messtellen**

Zusätzlich wurden Druckverläufe an verschiedenen Stellen im Netz bei nacheinander durchgeführten Messungen (M1 bis M4 in Abbildung 32) mit gleichen Versuchsparametern aufgezeichnet. Vergleichend für einen Ringnetzdruck von ca. 3,3 bar und einen Pumpenausgangsdruck im Löschangriff von ca. 8 bar sind diese in Abbildung 32 dargestellt. Direkt am Hohlstrahlrohr sowie abgabeseitig an der Fahrzeugpumpe im Löschangriff zeigten

sich Druckstöße von ca. 2 bar gegenüber dem Druck bei geschlossenem Strahlrohr. Der erste Druckstoß war annähernd eine Sekunde lang. Ihm folgten Schwingungen des Wasserdrucks. Hinter der Fahrzeugpumpe im Löschangriff, nachdem der Druckstoß diese passiert hatte, zeigte sich, dass die erste Schwingung fast unverändert weiterbesteht, aber die Nachschwingungen bereits stark abgebaut wurden. Vor und hinter dem Systemtrenner zeigte sich der Druckstoß weiter abgeschwächt. Im Ringnetz betrug er weniger als 1 bar. Durch die Pumpe, Schläuche und Armaturen wurde der Druckstoß und auch seine Nachschwingungen stark abgeschwächt.

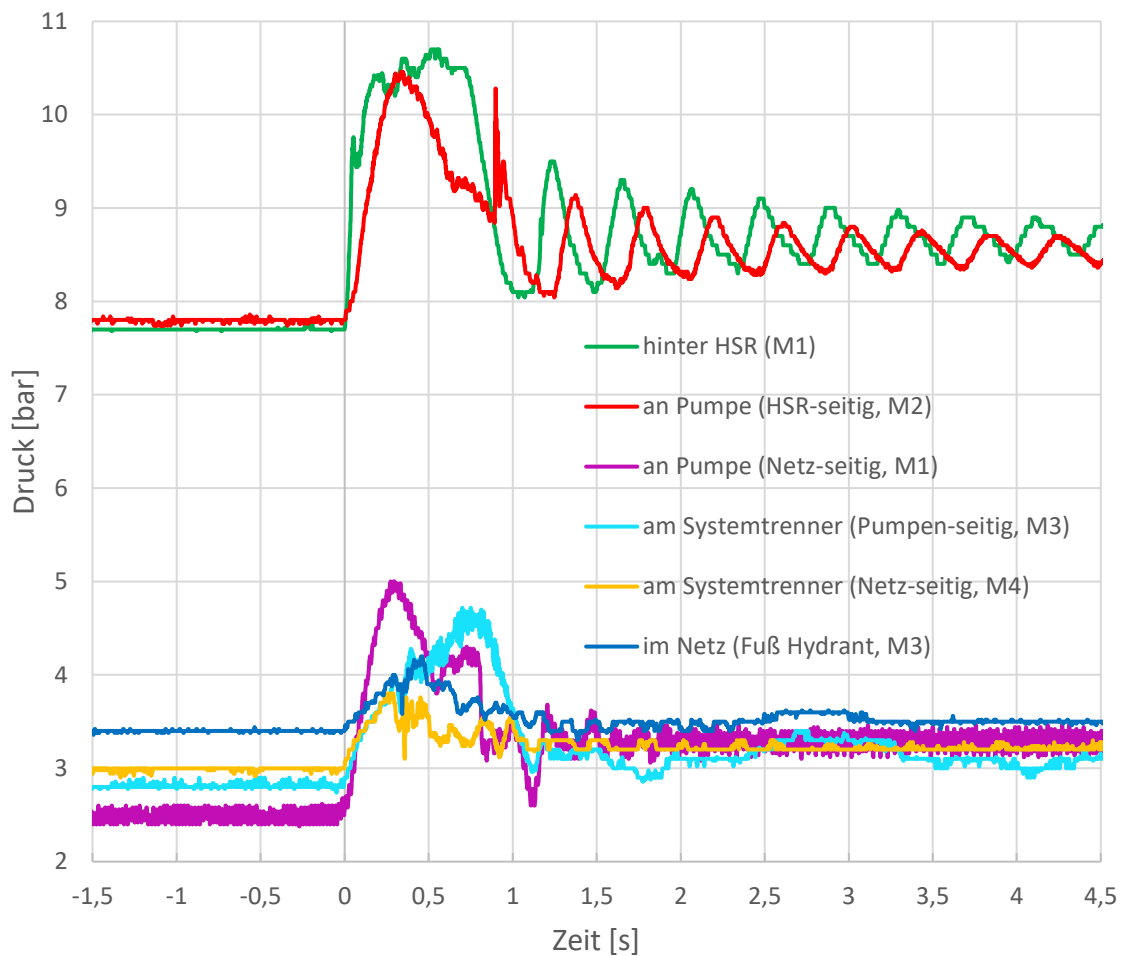


Abbildung 32: Vergleich Druckverläufe an verschiedenen Stellen im Versuchsnetz (Ringnetz) und beim Löschangriff nach Druckstoß ausgelöst durch schlagartiges Schließen eines Strahlrohrs bei Durchfluss 360 l/min. Messnummern (M1, M2, M3, M4) sind zur Nachvollziehbarkeit der gleichzeitigen Messung mit angegeben.

### Nutzung zweier zeitgleich schließender Hohlstrahlrohre

Im Weiteren wurden Messungen mit einer Wasserabgabe durch zwei Hohlstrahlrohre vorgenommen. Dabei wurden an beiden Strahlrohren entweder 130 l/min oder 260 l/min eingestellt.

Exemplarisch sind die Druck- und Durchflussverläufe in Abbildung 33 für ein Experiment mit einem Ringnetzdruck von ca. 2,4 bar dargestellt. Das gleichzeitige Schließen beider Strahlrohre führte zu einem Druckstoß. Auf der Standrohrseite betrug dieser knapp 1 bar, auf der Pumpenseite etwa 2,5 bar. Danach sind nur sehr kurzzeitig kleine Druckschwingungen erkennbar. Die mittleren errechneten, durch den Systemtrenner nach außen abgegebenen Wassermengen, sind in Tabelle 5 angegeben. Diese lagen zwischen 2 l und 4,3 l. Damit waren die Volumina ähnlich zu den bisherigen Versuchen. Auch hier wurden Mittelwerte und Standardabweichungen über die Messungen mit Pumpenausgangsdrücken von 6 bar und 8 bar gebildet.

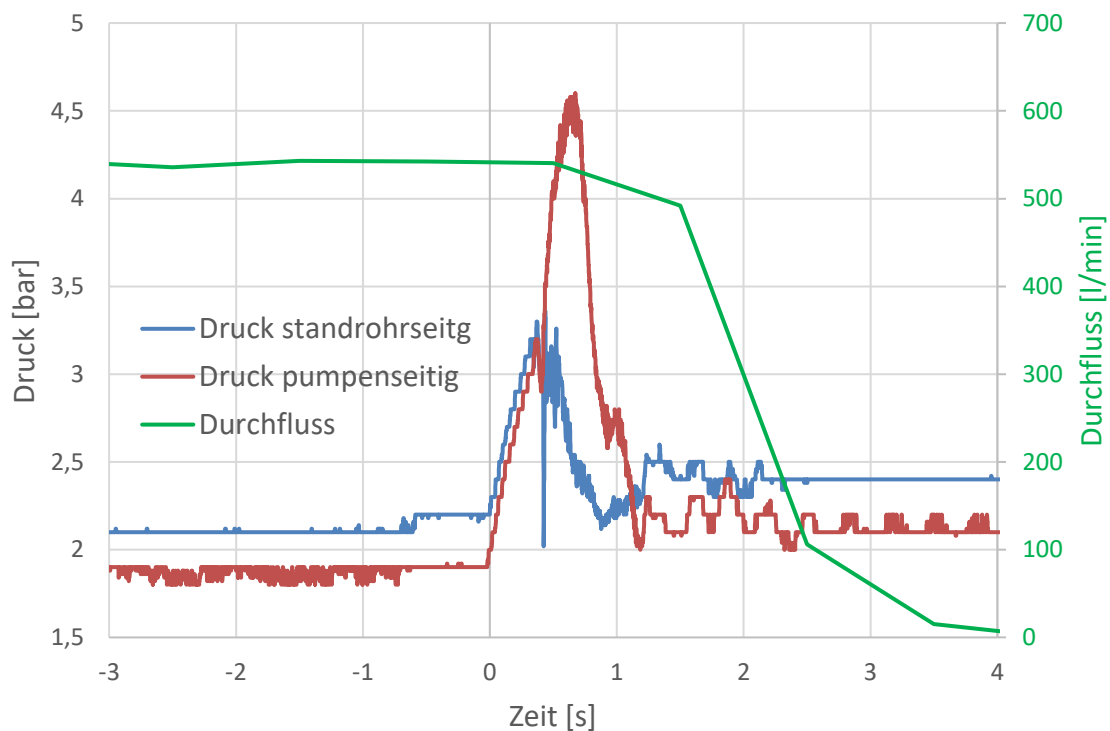


Abbildung 33: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 5 mit einer Wasserabgabe durch 2 Hohlstrahlrohre mit Durchfluss jeweils 260 l/min, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 2,4 bar.

Tabelle 5: Wassermengen, die maximal durch den Systemtrenner nach außen geleitet werden, im Szenario 5 bei der Nutzung von zwei zeitgleich schließenden Strahlrohren, Pumpenausgangsdruck Löschangriff 6 bar bzw. 8 bar (als Fehler ist die Standardabweichung der Messungen angegeben)

Netzdruck [bar] (ca.)	Durchfluss [l/min]	errechnete durchschnittliche abgegebene Wassermenge [l]
2,5	2 x 130	2,0 ± 0,6
2,4	2 x 235	4,3 ± 1,4
3,4	2 x 130	2,6 ± 0,3
4,3	2 x 130	2,0 ± 0,7
5,4	2 x 130	2,2 ± 0,3
5,4	2 x 235	3,2 ± 0,2

### Nutzung eines Hohlstrahlrohrs bei sehr geringen Netzdrücken

Um die Verhaltensweise des Drucks bei der Wasserentnahme aus einem Netz mit einem sehr geringen Druck zu überprüfen, wurde ebenfalls das Messnetz genutzt. Hierzu wurde der Druck vor und hinter dem Systemtrenner und im Messnetz gemessen. Der Aufbau ist in Abbildung 34 dargestellt. Der Druck wurde bei allen Messungen am Messpunkt zwischen Systemtrenner und Standrohr erfasst. Außerdem wurde bei einem Teil der Versuche mit gleichen Randbedingungen der Druck im Ringnetz (Messpunkt 1) und bei den anderen Messungen der Druck zwischen Systemtrenner und Fahrzeug (Messpunkt 2) gemessen. So sollten sowohl Druckwellen entlang des Löschangriffs als auch zeitgleich deren Auswirkungen im Netz erfasst werden.

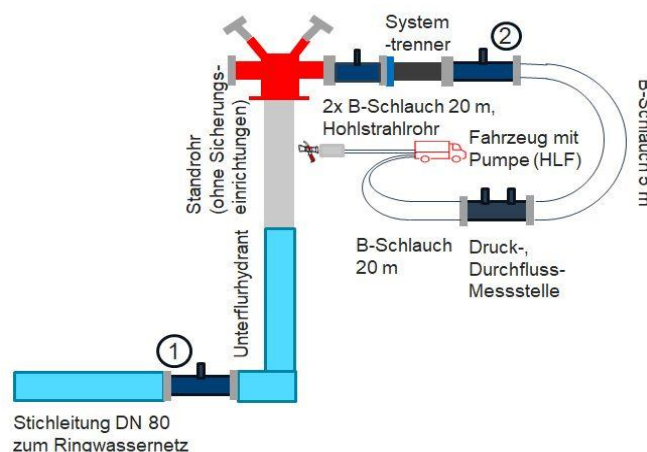


Abbildung 34: Schematisches Messszenario bei Wasserentnahme aus dem Messnetz. Als Fahrzeug wurde ein HLF 10 mit einer FPN 10-2000 Pumpe der Firma Magirus genutzt. Als Sammelstück am Eingang der Pumpe wurde ein Klappensammelstück mit 2 B-Eingängen genutzt. Die Messpunkte 1 und 2 wurden jeweils zusammen mit der Messstelle zwischen Systemtrenner und Standrohr genutzt.

Die restlichen Konfigurationen im Löschangriff entsprachen den vorherigen Messungen. Das Ringnetz wurde, im Gegensatz zu den anderen Versuchen, nicht mit einer Fahrzeugpumpe, sondern einer TS 24/3 der Firma Jöhstadt, Baujahr 1994, betrieben. So konnten sehr geringe Drücke bei feuerwehriblichen Durchflüssen realisiert werden.

Für einen Netzdruck von ca. 1,9 bar sind die Druckverläufe an den drei beschriebenen Messpunkten sowie der Durchfluss in Abbildung 35 dargestellt. Der Druck auf der Pumpenseite, also zwischen Systemtrenner und Fahrzeug im Löschangriff, lag bei ca. 1,5 bar, solange kein Wasser floss. Auf der Netzseite des Systemtrenners lag der Druck bei 1,8 bar, im Netz bei 1,9 bar. Der größte Druckstoß trat am Messpunkt zwischen Systemtrenner und Standrohr auf und ist bei ca. 0,3 s erkennbar. Der Differenzdruck zum Umgebungsdruck fällt dabei kurzzeitig unter 0 bar. Es wäre sehr kritisch, wenn der Druck im Trinkwassernetz unter 0 bar fiel, da dadurch die Stabilität der Leitungen beeinträchtigt sein könnte. Dieser geringe Druck wurde jedoch nicht im Netz, sondern lediglich am Standrohr gemessen. Die sich anschließenden Druckschwankungen waren geringer und somit unkritisch.

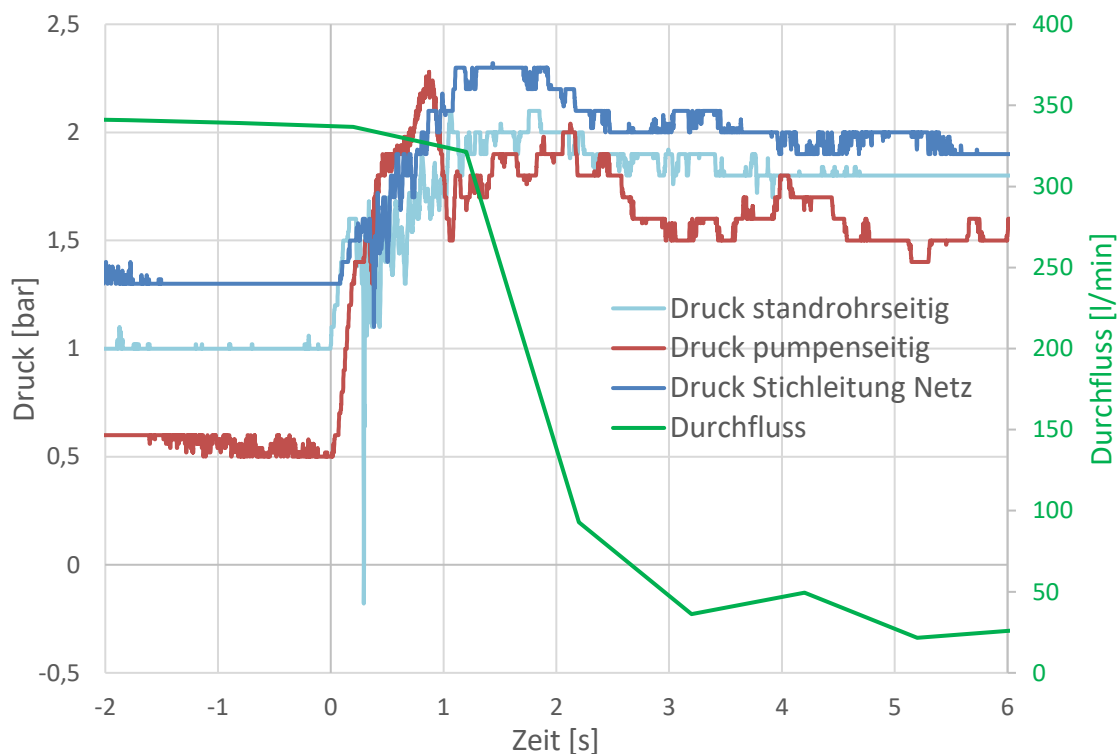


Abbildung 35: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 5 mit einer Wasserabgabe durch ein Hohlstrahlrohr mit einem Durchfluss von ca. 350 l/min, Systemtrenner vorhanden. Standort Druckmessung gemäß Abbildung 34, direkt vor und hinter dem Systemtrenner und in der Stichleitung. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 1,9 bar.

Die Daten weiterer Experimente mit einem Netzdruck von 1,3 bar sind in Abbildung 36 dargestellt. Die Verläufe ähneln den zuvor diskutierten. Erneut zeigt sich ein negativer Differenzdruck zwischen Standrohr und Systemtrenner, der sich jedoch nicht in das Trinkwassernetz überträgt.

Ob bei Entnahmen aus einem realen Trinkwassernetz ebenfalls negative Drücke auf der Abgabeseite am Standrohr auftreten würden, kann nicht eindeutig nachgewiesen werden. Es wäre möglich, dass im durchgeführten Versuch die verwendete Pumpe bei diesen Drücken nicht ausreichend Wasser für den Moment zur Verfügung stellte.

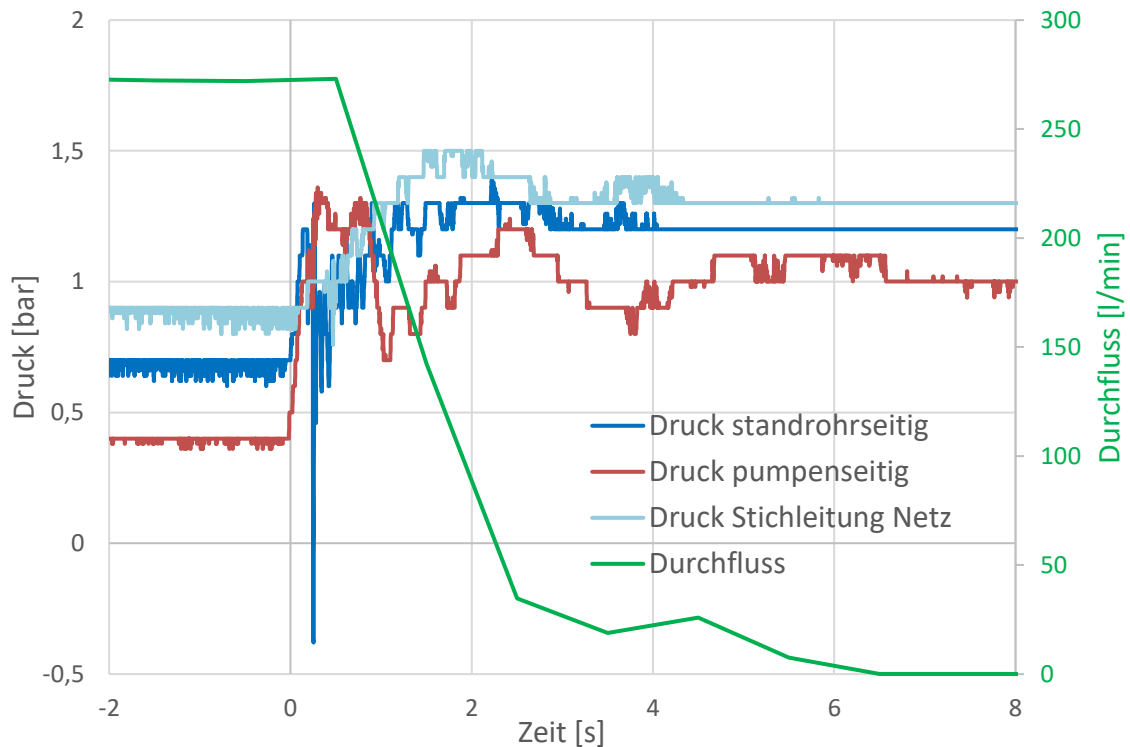


Abbildung 36: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 5 mit einer Wasserabgabe durch ein Hohlstrahlrohr mit einem Durchfluss von ca. 280 l/min (eingestellt: 360 l/min), Systemtrenner vorhanden. Standort Druckmessung gemäß Abbildung 34, direkt vor und hinter dem Systemtrenner und in der Stichleitung. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 1,3 bar.

### 3.5.2 Nutzung eines Versuchsnetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff – Nutzung eines Schaurohrs am Systemtrenner

Bei einigen Experimenten, die mit einem Systemtrenner am Ringnetz am IBK durchgeführt wurden, konnte ein Schauglas in den Versuchsaufbau integriert werden. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 37 dargestellt und entspricht weitestgehend dem aus Kapitel 3.5.1. Der hochauflösende Drucksensor zwischen Standrohr und Systemtrenner wurde durch ein

Schauglas ersetzt. Der Sensor befand sich am Fuß des Hydranten im Ringnetz. Das Schauglas wurde mithilfe einer Kamera mit 120 fps (frames per second) aufgenommen.

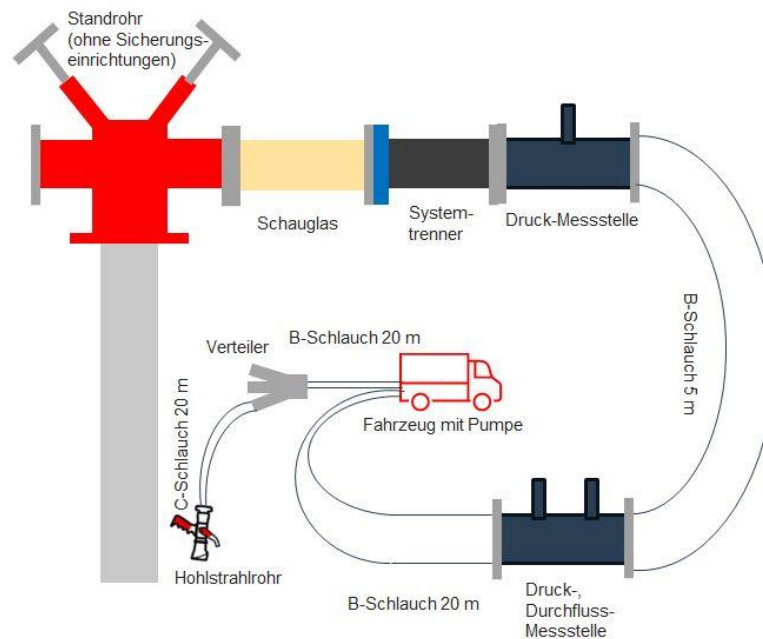


Abbildung 37: Schematischer Aufbau bei Wasserentnahme aus Ringnetz unter Nutzung eines Schauglases zwischen Systemtrenner und Standrohr. Die zweite hochauflösende Druckmessstelle ist am Fuß des Hydranten im Ringnetz verbaut.

Für ein Experiment werden die Messdaten in Abbildung 38 und aus dem dazugehörigen Video extrahierte Bilder in Abbildung 39 dargestellt. Die Messkurven zeigen ähnliche Verläufe wie die bisherigen Messungen bei denen ein Druckwert im Ringnetz aufgenommen wurde. Das Video zeigt, dass zunächst eine Strömung nach links, also in Richtung Löschangriff vorlag. Die Tracerbänder wurden durch die Strömung in diese Richtung gezogen bis zur Sekunde null. Anschließend stoppte die Strömung abrupt durch das Schließen des Hohlstrahlrohrs bei Sekunde null. Zunächst zeigten sich Verwirbelungen durch das schlagartige Schließen und ein geringes Hin- und Herpendeln. Dies ist in den Bildern bis ca. zum Zeitstempel 00:00:327 zu sehen. Anschließend entspannten sich die Bänder und wiesen keine Vorzugsrichtung auf. Ein Rückfluss von Wasser kann auch mit dieser Visualisierungsmethode nicht vollständig ausgeschlossen werden. Alle Versuche mit Videoaufnahmen zeigten jedoch, dass ein eventueller Rückfluss nur sehr gering ausfiel. Abschätzend zur Volumenbestimmung wird ein zylinderförmiges Flüssigkeitspaket im Schauglas betrachtet. Sollte dieses Flüssigkeitspaket mit einer Zylinderhöhe von 2 cm zurückfließen, was einer Größenordnung entspricht, die über dem

liegt, die aus der Bewegung der Tracerbänder abgeschätzt werden kann, würden 88,4 ml ins Trinkwassernetz gedrückt werden. Dies wäre wiederum direkt Wasser, das gerade aus dem Ringnetz kam. Eine Kontaminationsgefahr ist damit sehr gering.

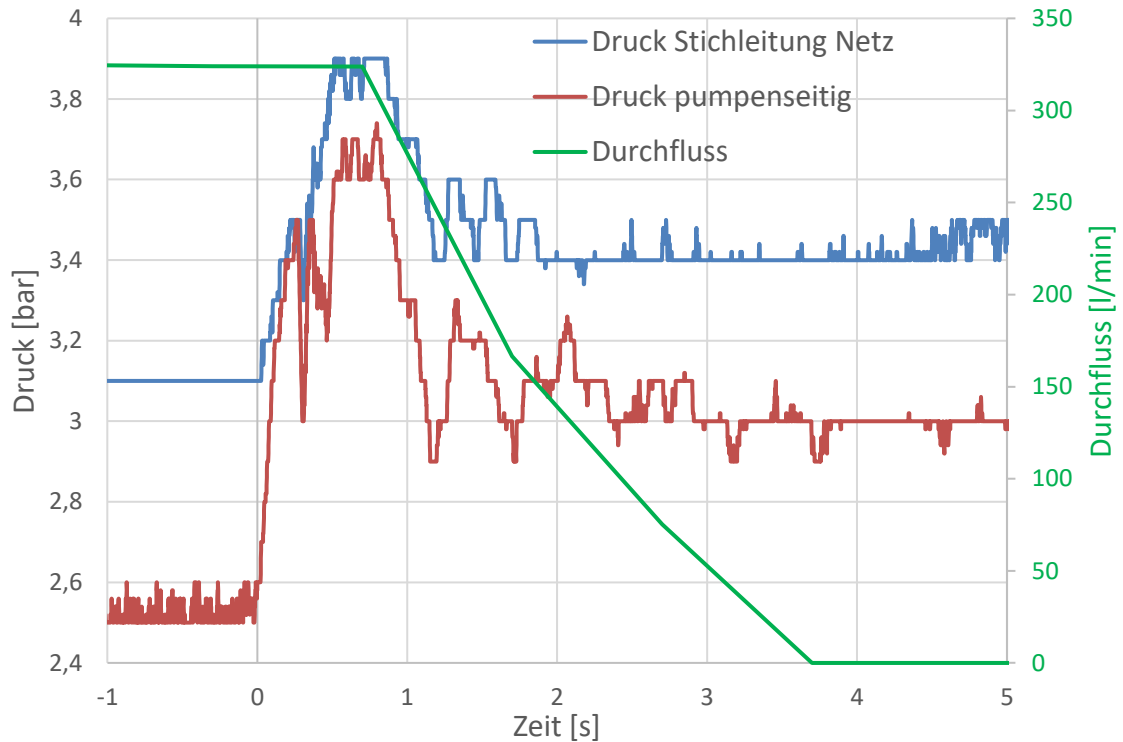


Abbildung 38: Messwerte für Druck und Durchfluss für Messaufbau wie im Szenario 5, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27 und Abbildung 37, direkt hinter dem Systemtrenner pumpenseitig und im Ringnetz. Wasserabgabe durch ein Hohlstrahlrohr mit einem Durchfluss ca. 330 l/min, Ausgangsdruck Ringnetz ca. 3,4 bar, Pumpenausgangsdruck: 8 bar.

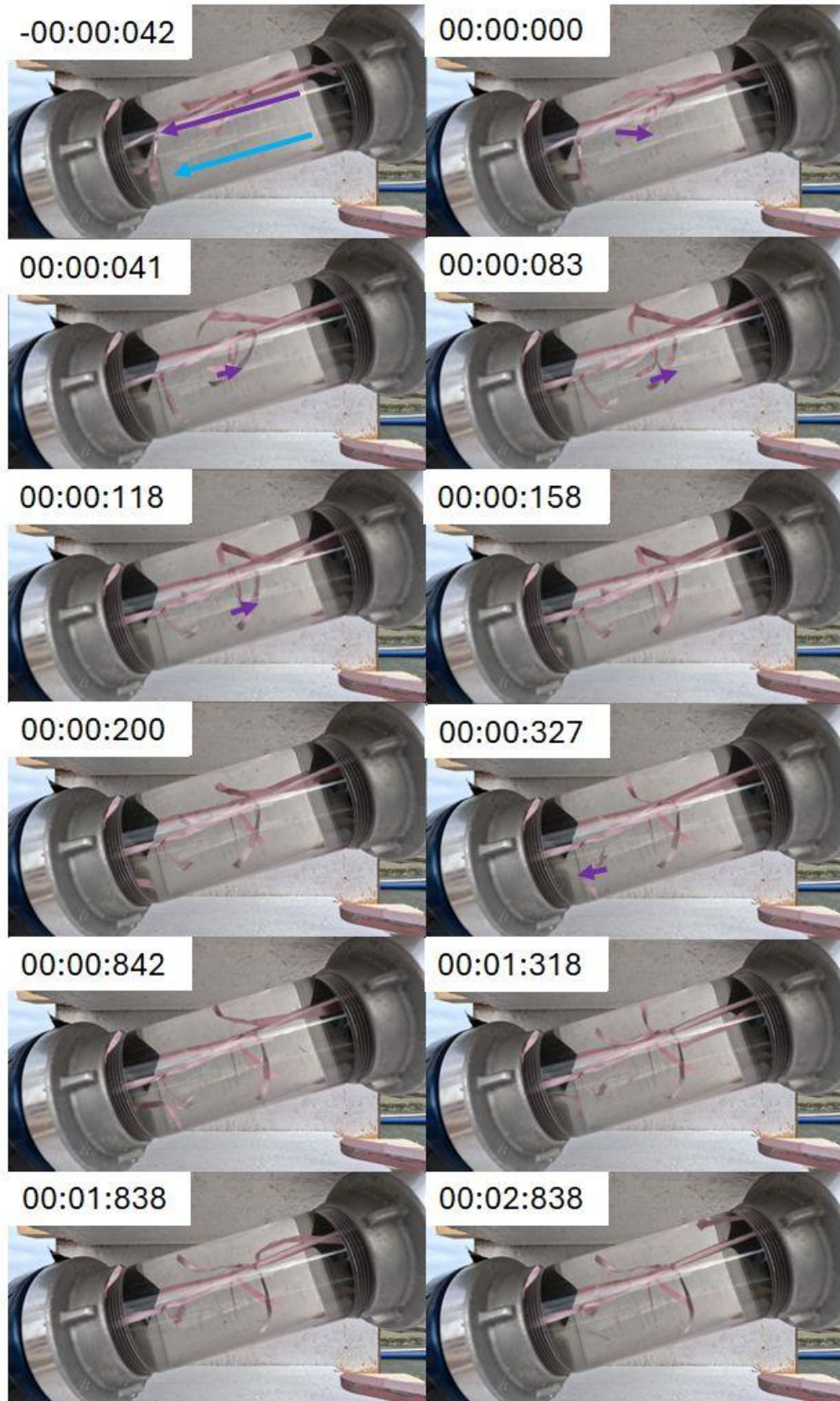


Abbildung 39: extrahierte Bilder aus Videoaufnahmen kurz vor und nach dem ruckartigen Schließen des Strahlrohrs zur Erzeugung eines Druckstoßes (Zeitangabe: min : s : ms), blauer Pfeil zeigt Strömungsrichtung, lila Pfeile verdeutlichen Bewegung der Tracerbänder.

Zum Vergleich wurden unter ähnlichen Bedingungen Versuche ohne Systemtrenner durchgeführt. Der Netzdruck im hier dargestellten Versuch, siehe Abbildung 40, lag bei ca. 3,9 bar, der Durchfluss bei ca. 380 l/min. Die Druckverläufe zeigen, dass es eine Erhöhung durch das Schließen des Strahlrohrs um ca. 0,5 bar bis 0,6 bar an den beiden Messpunkten gibt. Eine Strömung kann daraus nicht eindeutig abgelesen werden. Bei Sekunde 1,2 übersteigt der Druck am pumpenseitigen Sensor den Druck im Netz. Hier liegt vermutlich eine Strömung in Richtung Ringnetz vor.

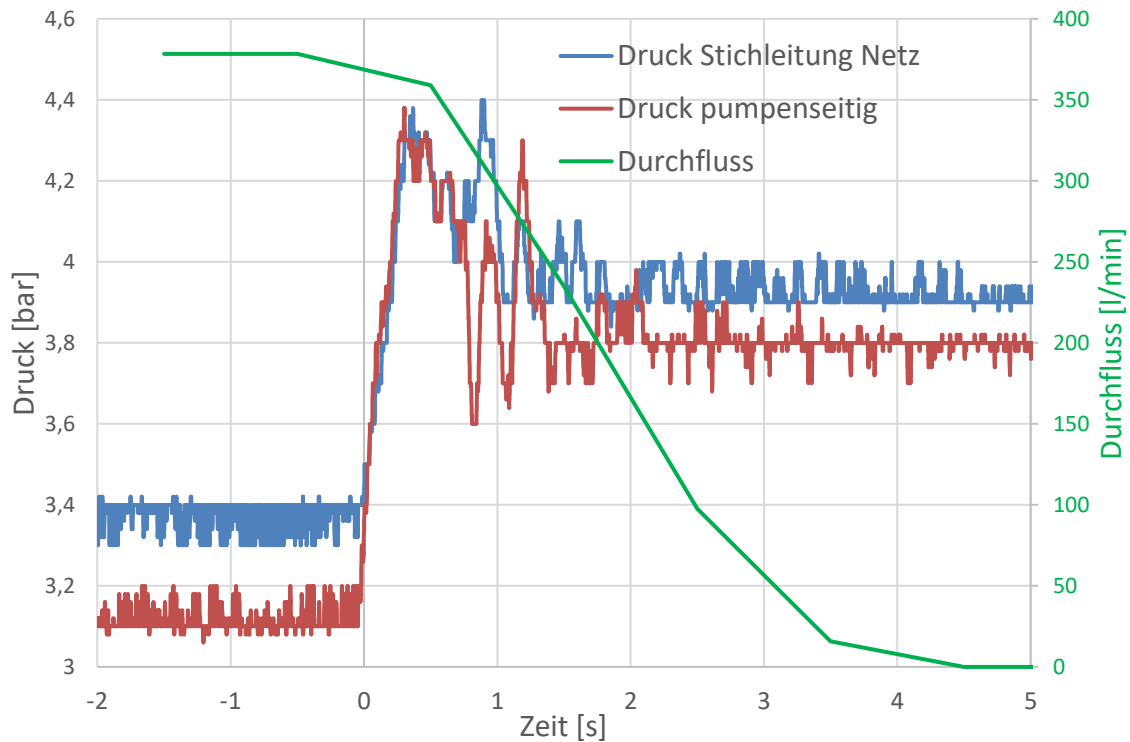


Abbildung 40: Messwerte für Druck und Durchfluss für Messaufbau wie im Szenario 5, Systemtrenner nicht vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 37, direkt hinter dem Standrohr pumpenseitig und im Ringnetz. Durchfluss ca. 380 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 3,9 bar, Pumpenausgangsdruck: 8 bar.

Diese Ergebnisse lassen sich anhand der Einzelbilder in Abbildung 41 nachvollziehen, die per Video durch das Schauglas aufgenommen wurden. Bis zum Schließen des Strahlrohrs bei Sekunde null ist eine Strömung nach links, zur Fahrzeugpumpe, zu erkennen. In den folgenden Bildern ist eine Bewegung der Tracerbänder von links nach rechts zu erkennen. In diesen Zeiten fließt Wasser in Richtung Standrohr. Anschließend, ab dem Bild mit der Zeitmarkierung 00:00:842, zeigt sich erneut eine Strömung nach links. Die Bewegung kann in den Videos detailliert analysiert werden. So lassen sich auch rückströmende Wassermengen in Richtung des Trinkwassernetzes abschätzen.

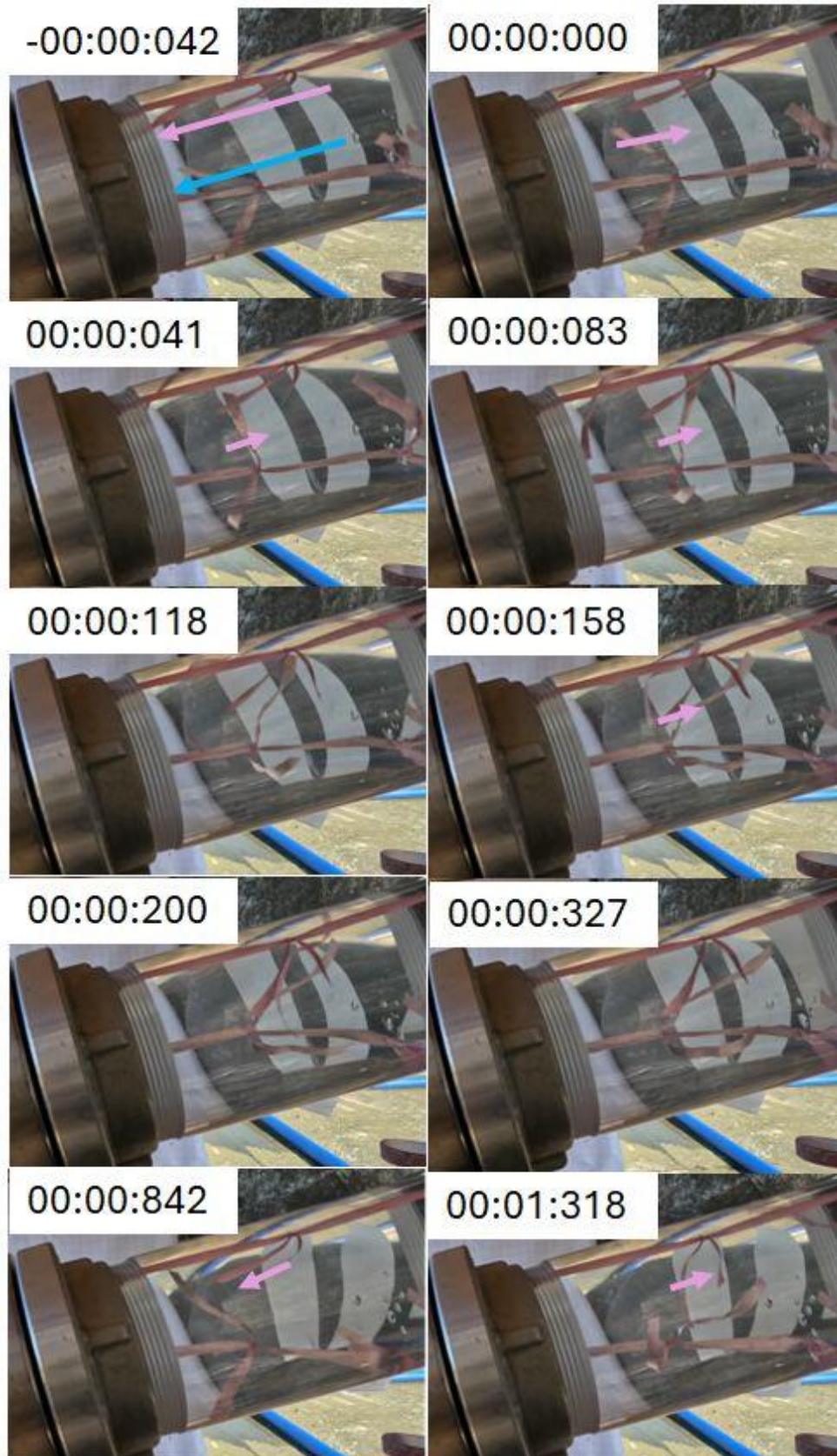


Abbildung 41: extrahierte Bilder aus Videoaufnahmen kurz vor und nach dem ruckartigen Schließen des Strahlrohrs zur Erzeugung eines Druckstoßes ohne Nutzung eines Systemtrenners (Zeitangabe: min : s : ms), blauer Pfeil zeigt Strömungsrichtung, lila Pfeile verdeutlichen Bewegung der Tracerbänder.

Für alle Versuche ergaben sich unabhängig vom eingestellten Netzdruck im Ringnetz bei einem Durchfluss von ca. 360 l/min am Strahlrohr 4 l bis 7,5 l rückgeflossenes Wasser. Dies wäre zwar erst frisch entnommenes Wasser, jedoch wesentlich mehr als die mit Systemtrenner abgeschätzte Obergrenze von 88,4 ml.

### 3.5.3 Szenario 6: Nutzung eines Versuchsnetzes im Tankbetrieb

In diesem Szenario wurde ein Fahrzeugtank zur Befüllung an das Ringnetzsystem angeschlossen. Dies entspricht Szenario 2 am realen Trinkwassernetz. Ein Drucksensor wurde für diese Messung an einer anderen Stelle verbaut. Der schematische Aufbau ist in Abbildung 42 dargestellt. Hinter dem Standrohr folgten Schauglas, Systemtrenner, Beruhigungsstrecke mit hochauflösendem Druckaufnehmer sowie ein 5 m langer B-Schlauch. An der daran angeschlossenen Beruhigungsstrecke fanden Druck- und Durchflussmessungen mit einer Frequenz von 1 Hz statt. Zum Fahrzeugtank folgte ein 20 m langer B-Schlauch. Ein weiterer hochauflösender Drucksensor war am Fuß des Hydranten im Netz verbaut. Das Wasser wurde in diesem Szenario über eine Schwenkklappe mittels Netzdruck in das Fahrzeug geleitet. Die Druck- und Durchflusswerte in Abbildung 43 zeigen zum Zeitpunkt 0 Sekunden das Öffnen des Ventils zum Befüllen und ca. bei Sekunde 5,4 das Schließen des Systems. Kurz nach beiden Zeitpunkten waren leichte Druckschwankungen zu erkennen. Diese klangen bereits nach sehr kurzer Zeit ab. Der größte Druckausschlag lag bei unter 0,4 bar.

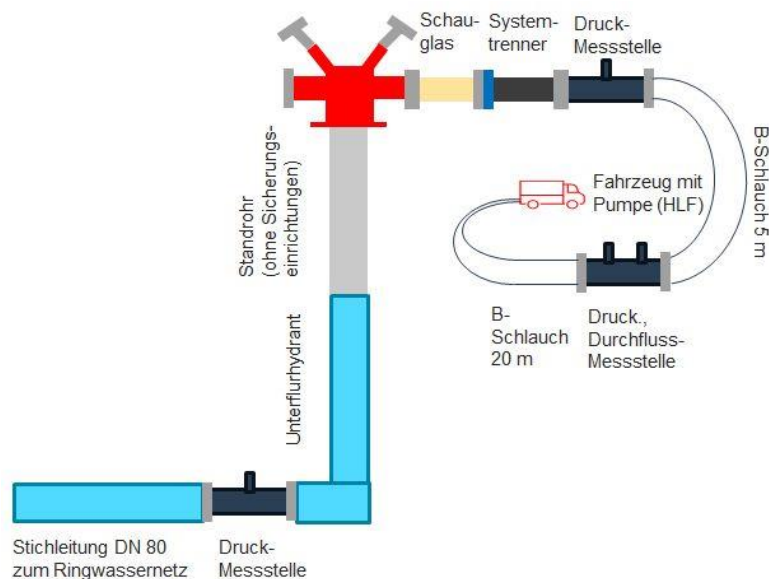


Abbildung 42: Schematischer Aufbau beim Szenario Tankbefüllung mit verbautem Pneumatik-Ventil für Versuche am Ringnetz. Einlauf des Tanks ist im oberen Bereich.

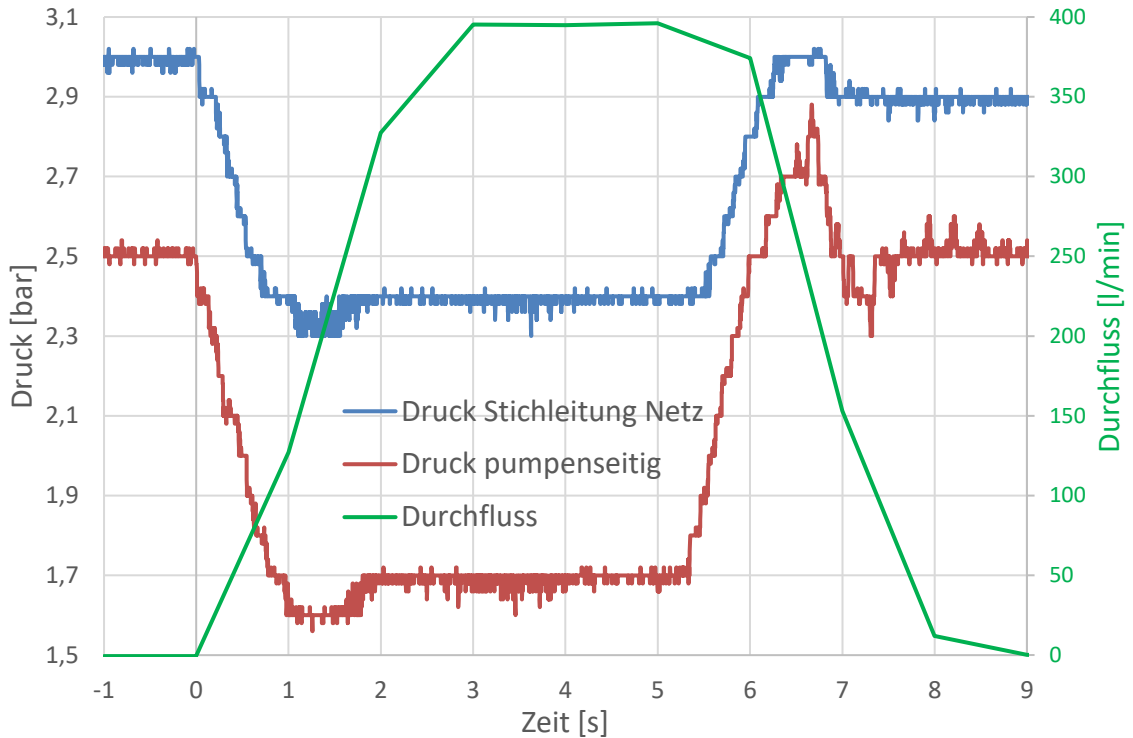


Abbildung 43: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 7, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig direkt am Systemtrenner und im Ringnetz gemäß Abbildung 42. Durchfluss bei Tankbefüllung ca. 390 l/min, Ausgangsdruck Ringnetz ca. 2,9 bar. Automatischer Tankbetrieb mit öffnendem (ca. 0 s) und schließendem (ca. bei 5,4 s) Pneumatik-Ventil.

Außerdem wurden Messungen zum Schließen eines Strahlrohrs im Tankbetrieb unter der Nutzung der Tankfüllautomatik durchgeführt. Es zeigten sich keine Druckänderungen an den Messgeräten vor und hinter dem Systemtrenner, wenn ein Strahlrohr geschlossen wird. Der Tank verfügte über einen Einlauf am oberen Ende.

Die Nutzung des Tankbetriebs im Löschangriff verhindert somit effektiv die Weitergabe von Druckstößen, die von Strahlrohren ausgehen.

### Tankbetrieb bei sehr geringen Netzdrücken

Des Weiteren wurden die Druckverhältnisse bei einer Tankbefüllung bei Netzdrücken unter 2 bar untersucht. Der Aufbau entsprach dem in Abbildung 42 dargestellten, allerdings wurde auf das Schauglas verzichtet. Zur Speisung des Ringnetzes kam eine Pumpe TS 24/3 der Firma Jöhstadt, Baujahr 1994 zum Einsatz.

Die Daten eines Versuchs mit einem Netzdruck von 1,4 bar sind in Abbildung 44 dargestellt. Beim Öffnen der Tankfüllautomatik, zum Zeitpunkt null Sekunden, ist ein kurzzeitiges

Absinken des Drucks zu erkennen. Dieser Druckabfall erfolgte über einen Zeitraum von einigen Sekunden, also nicht abrupt. Dieses Verhalten zeigte sich ebenfalls bei den anderen Versuchen mit unterschiedlichen Drücken.

Die resultierenden Druckspitzen waren somit geringer und weniger schlagartig als bei der Nutzung des Pumpenbetriebs, dessen Ergebnisse im vorherigen Kapitel beschrieben wurden. Die Nutzung des Tankbetriebs bietet bei Netzen mit geringen Drücken damit einen entscheidenden Schutz des Trinkwassernetzes. Dabei müssen einsatztechnisch eventuelle geringere Zuflüsse zum Fahrzeugtank als Abflüsse zum Löschangriff beachtet werden.

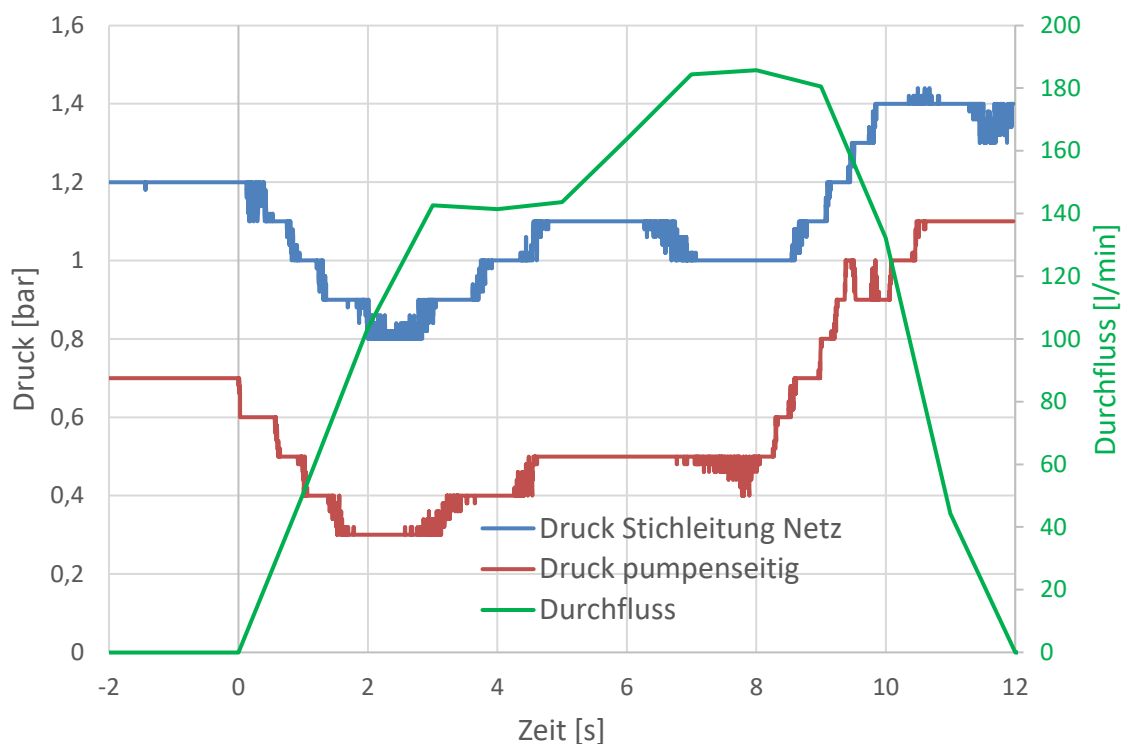


Abbildung 44: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 7, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig, direkt am Systemtrenner und im Ringnetz gemäß Abbildung 42. Durchfluss bei Tankbefüllung ca. 180 l/min, Ausgangsdruck Ringnetz ca. 1,4 bar. Automatischer Tankbetrieb mit öffnendem (ca. 0 s) und schließendem (ca. bei 9 s) Pneumatik-Ventil.

### 3.5.4 Szenario 7: Nutzung eines Versuchsnetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff mit Wasserabgabe über ein Strahlrohr auf einer Drehleiter

In diesem Szenario wurde ein Löschangriff über eine Drehleiter simuliert, um einen potentiellen Staudruck und damit erhöhte Druckstöße zu untersuchen. Erneut schlossen sich an das Standrohr eine hochfrequente Druckmessstelle, ein Systemtrenner und dann die weitere

hochfrequente Druckmesstechnik an. Nach einem 5 m langen B-Schlauch folgte eine Beruhigungsstrecke zur Durchflussmessung. Ein weiterer B-Schlauch führte zur Fahrzeugpumpe. Um die Pumpe mit dem Löschangriff auf der Drehleiter zu verbinden, wurden 25 m lange B-Schläuche verwendet. Ca. 30 m Schlauch und Rohr, in dem das Wasser an der Drehleiter gefördert wurde, schlossen sich nach dem gesetzten Verteiler an. Der Aufbau ist in Abbildung 45 schematisch dargestellt. Es wurden Versuche in 25 m Höhe durchgeführt. Dazu wurde ein Hohlstrahlrohr an die Leitung montiert, wie in Abbildung 46 zu sehen ist. Druckstöße wurden erneut durch ruckartiges Schließen des Hohlstrahlrohrs initiiert. Normalerweise würde der Wasserzufluss mittels eines Drehventils gestoppt werden, um Druckstöße zu minimieren. Der Durchfluss am Hohlstrahlrohr wurde auf 360 l/min bzw. 750 l/min eingestellt. In den Messdaten zeigte sich, dass im zweiten Fall Durchflüsse zwischen 600 l/min und 610 l/min erreicht wurden. Als Pumpenausgangsdruck wurden 6 bar und 8 bar gewählt.

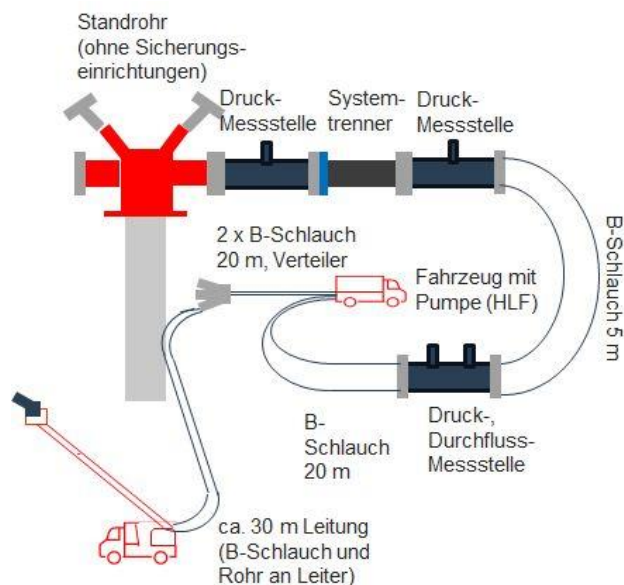


Abbildung 45: Schematisches Messscenario bei Wasserentnahme aus Ringnetz. Verwendet wurde eine Magirus-Pumpe des Typs FPN 10-2000. Als Sammelstück am Eingang der Pumpe wurde ein Klappensammelstück mit 2 B-Eingängen genutzt. Der Löschangriff wird über ein Strahlrohr an einer Drehleiter durchgeführt.



Abbildung 46: Montiertes Strahlrohr an der Leitung des Drehleiterkorbs

Exemplarisch wird eine Messung mit einem Durchfluss von ca. 600 l/min vorgestellt. Auf der Seite der Fahrzeugpumpe wurde direkt hinter dem Systemtrenner ein Druckstoß von ca. 2,5 bar gemessen. Auf der Seite des Ringnetzes betrug der Druckstoß noch ca. 1 bar. Deutlich zeigte sich ein Bereich, in dem der Druck abgabeseitig den Netzdruck überstieg. In diesem Bereich kann erneut davon ausgegangen werden, dass der Systemtrenner geschlossen hat und Wasser nach außen geleitet wurde. Nach dem ersten Druckstoß traten nur noch geringe Druckschwankungen auf.

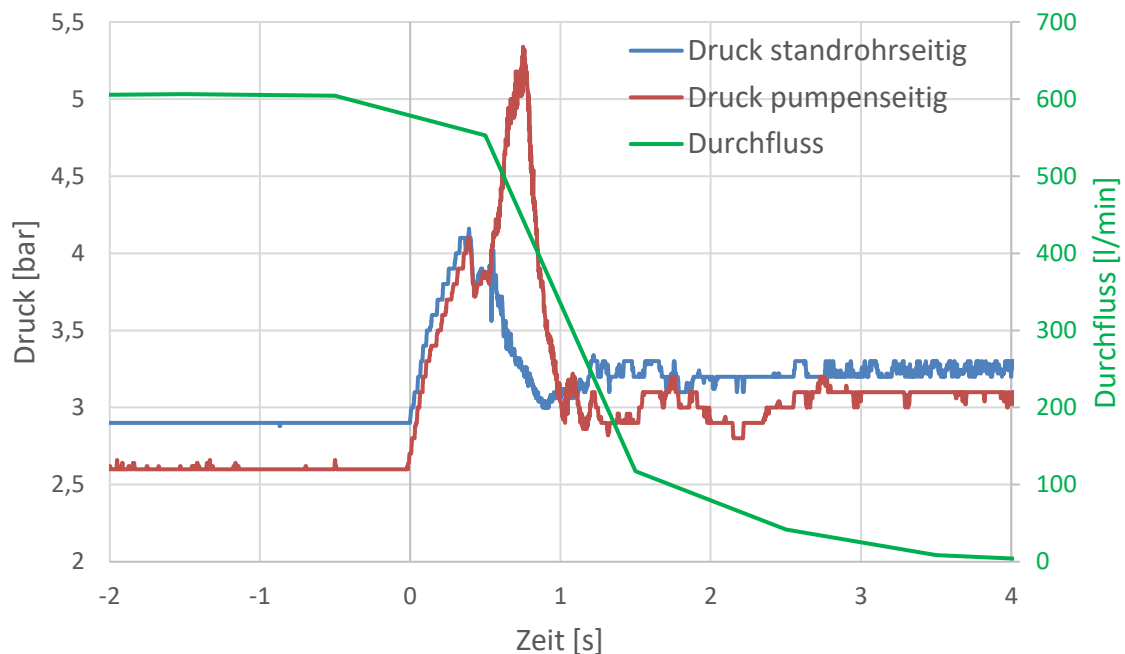


Abbildung 47: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 8 mit einer Wasserabgabe durch ein Hohlstrahlrohr mit einem Durchfluss von ca. 610 l/min, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 45, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Ausgangsdruck Ringnetz ca. 3,4 bar.

Die durchschnittlich nach außen abgegebenen Wassermengen sind in Tabelle 6 dargestellt. Sie lagen bei maximal 5 l. Die meisten Wasservolumina liegen bei 2 l bis 3 l. Es wurden Mittelwerte und Standardabweichungen über die Messungen mit Pumpenausgangsdrücken von 6 bar und 8 bar gebildet. Dies ist möglich, da die Messungen mit beiden Ausgangsdrücken sehr ähnliche Werte bei gleichen Parametern aufwiesen.

Tabelle 6: Wassermengen, die maximal durch den Systemtrenner nach außen geleitet werden, im Szenario 8 bei der Nutzung eines schließenden Strahlrohrs, Pumpenausgangsdruck Löschangriff 6 bar bzw. 8 bar (als Fehler ist die Standardabweichung der Messungen angegeben)

Netzdruck [bar] (ca.)	Durchfluss [l/min]	errechnete durchschnittliche abgegebene Wassermenge [l]
2,3	290 bis 340	2,1 ± 0,4
3,3	290 bis 340	1,4 ± 0,5
4,1	290 bis 340	1,3 ± 0,4
5,3	290 bis 340	0,5 ± 0,2
2,2	ca. 600	4,9 ± 1,8
3,2	ca. 600	3,1 ± 0,5
4,3	ca. 600	3,3 ± 0,4
5,3	ca. 600	3,4 ± 0,8

### 3.6 Messungen an einem Brauchwassernetz

Um an die Grenzen des im Einsatz Üblichen zu gehen, konnten Versuche an einem Brauchwassernetz durchgeführt werden. Dadurch war es möglich, das Verhalten bei sehr großen Durchflüssen zu untersuchen.

#### 3.6.1 Szenario 8: Nutzung eines Brauchwassernetzes zur Wasserbereitstellung für einen Löschangriff mit einem Wasserwerfer mit großen Durchflussmengen

Um festzustellen, ob bei größeren Durchflüssen Wasser vermehrt ins Trinkwassernetz durch einen Systemtrenner gelangen kann, wurden Versuche an einem Brauchwassernetz mit größeren bereitstellbaren Volumina durchgeführt. Für die Messungen wurde der Pumpenbetrieb statt des üblichen Tankbetriebs genutzt, da in diesem Fall größere

Druckschwankungen erwartet wurden. Im Fall des Tankbetriebs würde ein Druckstoß nicht durch den Wassertank weitergeleitet werden.

Das Wasser wurde aus zwei Oberflurhydranten, die an einer Leitung angeschlossen waren, bezogen. Ein schematischer Aufbau des Versuchs ist in Abbildung 48 dargestellt. An allen genutzten Abgängen der Hydranten wurden Systemtrenner verwendet. Durchfluss und Druck der einen Abnahmeseite (links in der Abbildung) wurden sekundlich erfasst. Mit diesem Feldmessgerät konnte nur eine Druck- und Durchflusskurve, jedoch keine Einzelwerte, entnommen werden. Am zweiten Hydranten (rechts im Bild) wurde eine hochauflösende Druckmessstelle, wie in den vorherigen Experimenten verwendet, angeschlossen. Danach folgte der Systemtrenner und über B-Schläuche mit dem Löschfahrzeug (ULF 8000/1000/240 mit Rosenbauerpumpe R600 mit Pumpendruckregler DRE 2-stufig) verbunden, eine Druck- und Durchflussmessstelle mit einer Messfrequenz von 1 Hz.

Der Löschangriff und damit die Wasserentnahme wurden über einen Wasserwerfer Vector 5000 realisiert. Das ruckartige Schließen konnte sicherheitsbedingt nicht am Wasserwerfer, jedoch an den beiden Abgängen der Pumpe des Löschfahrzeugs durchgeführt werden. Es wurden zwei Kugelhähne für die beiden zum Monitor führenden B-Leitungen zeitgleich sowie ruckartig geschlossen. Dadurch sind höhere Druckstöße an den Messgeräten zu erwarten, da die Schläuche zwischen Monitor und Pumpe keine Druckschwankungen abbauen konnten. Jede Messung wurde zweimal durchgeführt.

Die experimentellen Daten sind in Abbildung 49 und Abbildung 50 dargestellt. Es zeigten sich deutliche Druckschwingungen zwischen Standrohr und Systemtrenner am hochauflösenden Messgerät nach dem ruckartigen Schließen der Ventile am Pumpenabgang des Fahrzeugs. Diese sind stärker als in den bisher betrachteten Szenarien, da nicht direkt am Strahlrohr oder dem Monitor, sondern kurz vor der Pumpe ein Ventil sehr schnell manuell geschlossen wurde. Dabei lässt sich festhalten, dass selbst bei den gewählten großen Durchflüssen von ca. 2400 l/min ein maximaler Druckstoß von ca. 3 bar erzeugt werden konnte. Während der Schwingungen liegt kein Rückstrom in Richtung Brauchwassernetz vor. Minimale pendelnde Wassermengen in Richtung Trinkwassernetz können nicht vollständig ausgeschlossen werden. Dies wäre jedoch frisch entnommenes Wasser aus dem Netz.

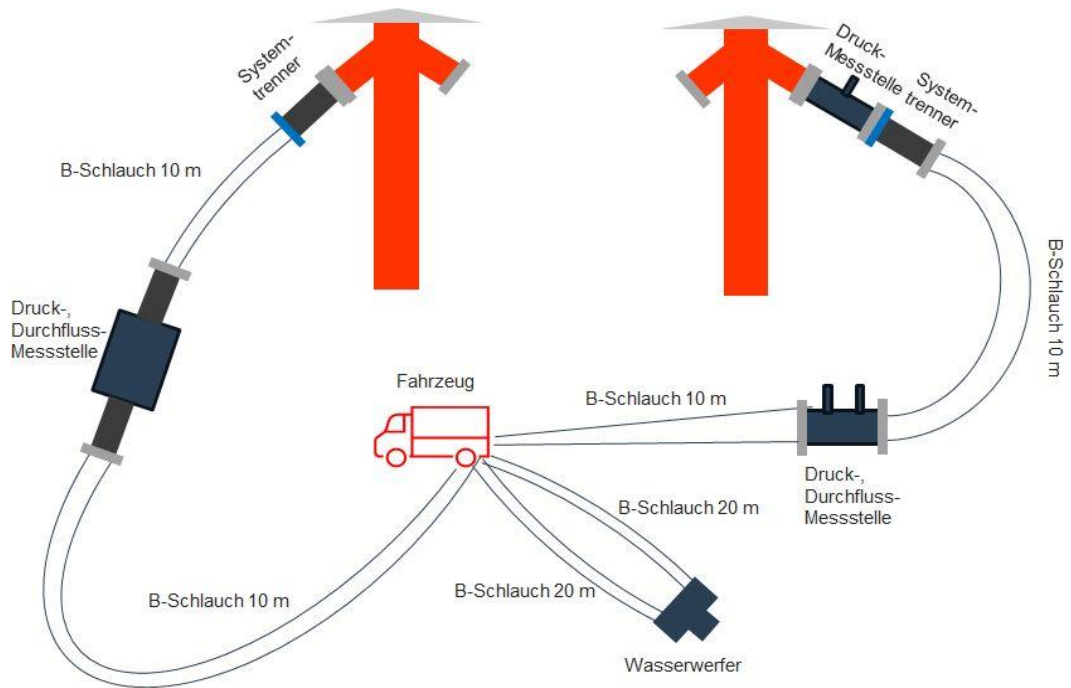


Abbildung 48: Schematischer Versuchsaufbau bei großen Durchflussmengen durch die Entnahme aus zwei Oberflurhydranten an einem Brauchwassernetz. Die Wasserabgabe erfolgt über einen Wasserwerfer.

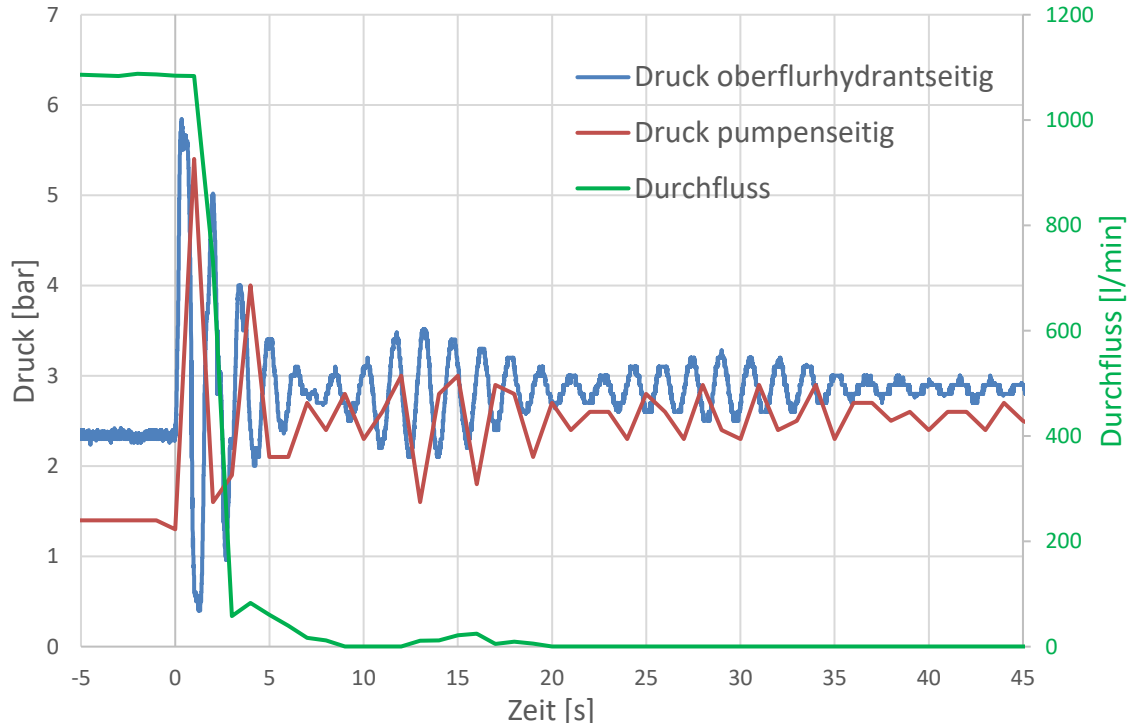


Abbildung 49: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 9 mit einer Wasserabgabe durch einen Wasserwerfer mit einem Durchfluss von ca. 2400 l/min, Systemtrenner vorhanden. Standorte der Messgeräte gemäß Abbildung 48 im rechten Zulauf zum Fahrzeug. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 3 bar.

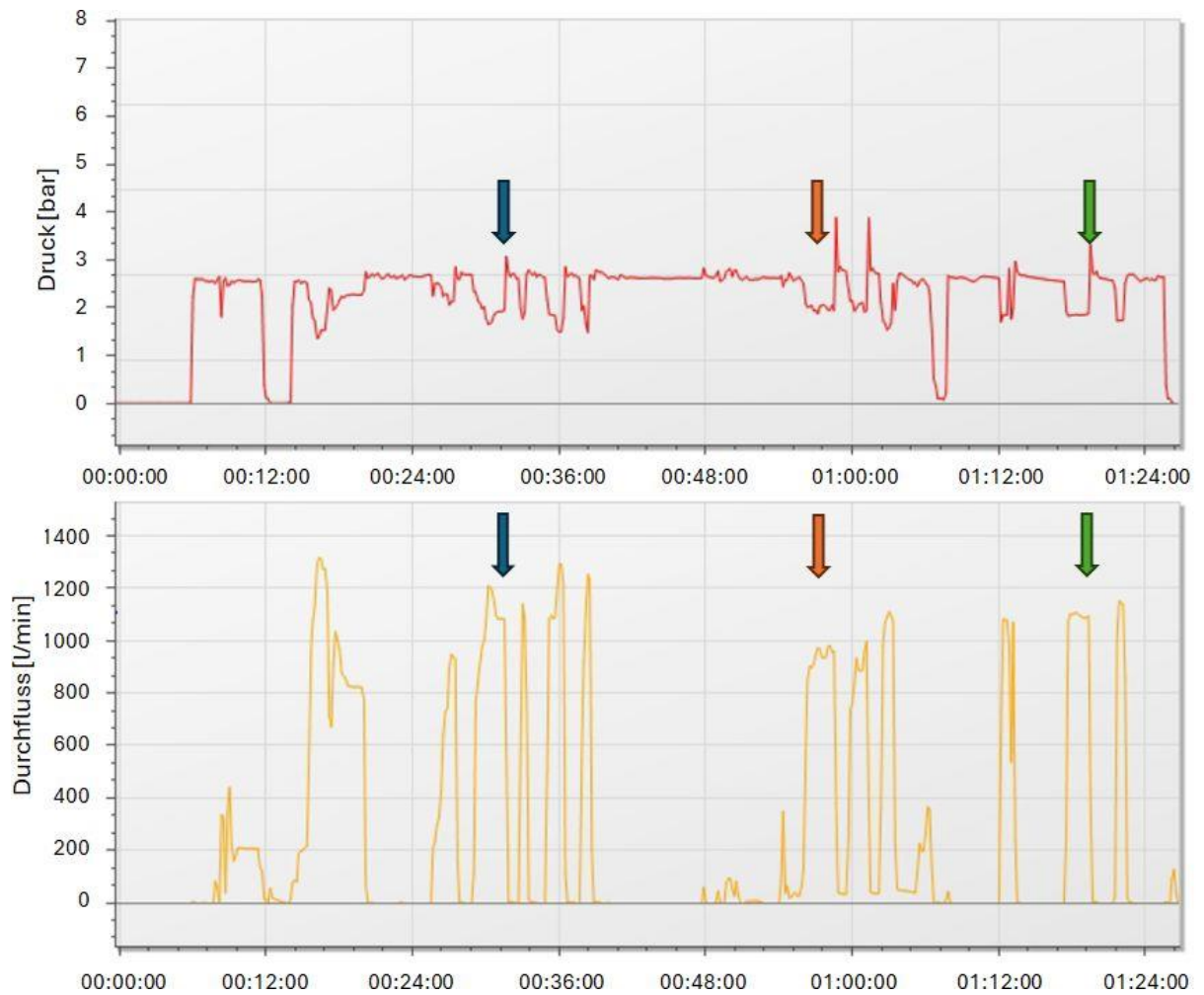


Abbildung 50: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 9 mit einer Wasserabgabe durch einen Wasserwerfer über die Laufzeit aller durchgeführten Messungen, Systemtrenner vorhanden. Standort des Messgeräts gemäß Abbildung 48 im linken Zulauf zum Fahrzeug. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 3 bar. Die blauen Pfeile verdeutlichen etwa den Zeitpunkt der Messung aus Abbildung 49, die orangenen den Zeitpunkt der Messungen aus Abbildung 52, die grünen den Zeitpunkt aus Abbildung 53.

Ein zweiter Versuchsaufbau mit einem weiter gesteigerten Durchfluss zum Fahrzeug und damit zum Löschangriff wurde, wie in Abbildung 51 dargestellt, realisiert. Über vier Zuleitungen wurden Durchflüsse zwischen ca. 3500 l/min und 4200 l/min realisiert. Die Wasserabgabe erfolgte erneut über einen Wasserwerfer. Der Druckstoß wurde über das ruckartige sowie zeitgleiche Schließen von zwei Kugelhähnen, die in den Leitungen zum Monitor vorhanden waren, initiiert. Jede Messung wurde zweimal durchgeführt.

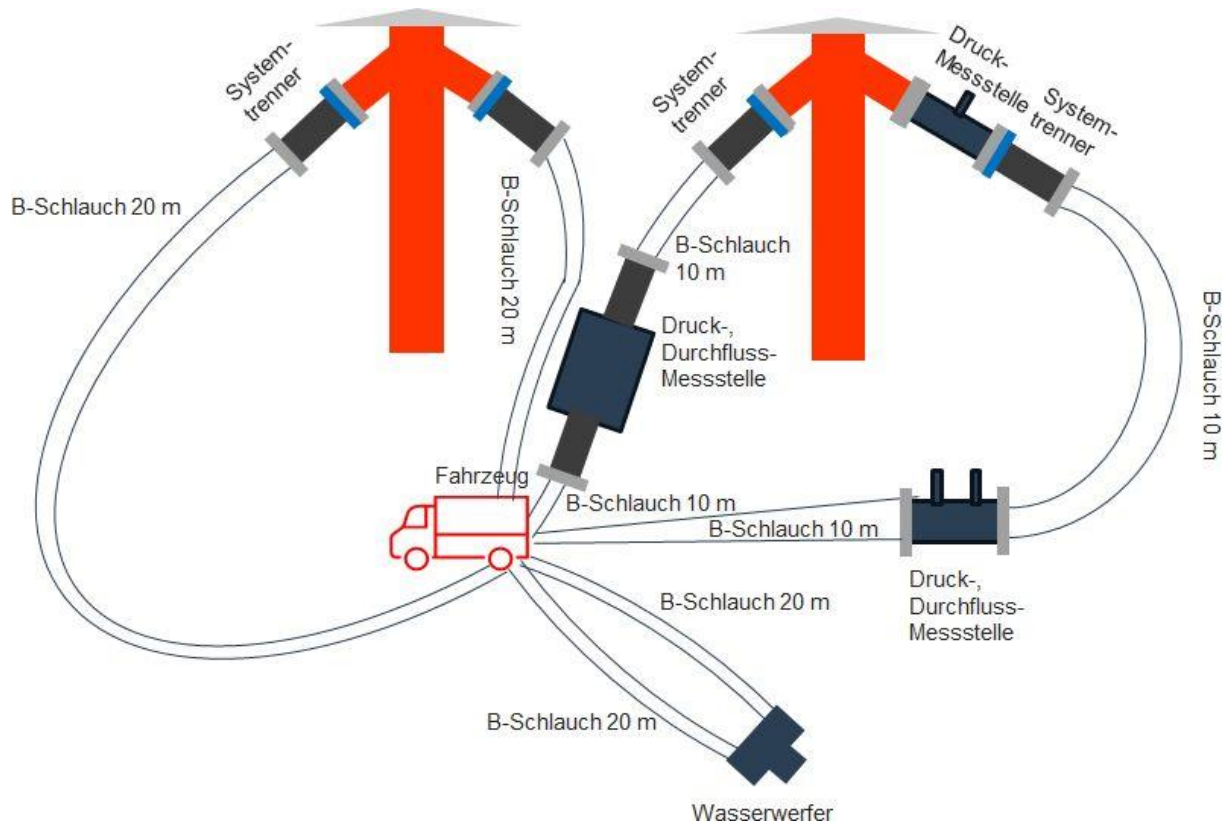


Abbildung 51: Zweiter schematischer Versuchsaufbau bei großen Durchflussmengen durch die Entnahme aus zwei Oberflurhydranten an einem Brauchwassernetz. Die Wasserabgabe erfolgt über einen Wasserwerfer.

Eine Messung ist exemplarisch in Abbildung 52 zu sehen. Bei der Abnahme von ca. 2000 l/min aus je einem Hydranten, also gesamt ca. 4000 l/min, konnte auf der Leitung mit dem hochauflösenden Messgerät ein Druckstoß von ca. 4,5 bar gemessen werden. Bei diesem extremen Szenario konnte vor dem Brauchwassernetz kurzzeitig ein Unterdruck erzeugt werden. Ob dieser auch im Wassernetz vorlag, kann nicht klar gesagt werden. In Anbetracht der vorherigen Messungen, die zeigten, dass die Druckschwankungen im Netz geringer ausfallen, liegt es im Bereich des Möglichen, dass dieser Unterdruck das Netz nicht erreichte. Im Einsatzfall würde dieses Szenario nicht genutzt werden. Es würde immer der Tankbetrieb und damit der Druckabbau im Tank verwendet werden. Damit würden keine Druckänderungen im Netz gemessen werden.

Im gesamten Messverlauf war der Durchfluss an beiden verwendeten Messgeräten positiv. Eine lokale Richtungsumkehr wäre, wie vorab mehrfach diskutiert, möglich. Mit ihr verbunden könnte ein geringer Übertritt von Wasser aus dem Schlauch in den Hydranten vorliegen. Der Systemtrenner würde jedoch einen Großteil nach außen leiten.

Auffällig bei diesen Messungen war, dass sehr lange, immer wieder unterbrochene, Wasseraustritte an den Systemtrennern vorlagen. Es kann angenommen werden, dass sich der Druck nur langsam abbauen konnte. Damit wird der Bereich um die eingesetzten Systemtrenner sehr nass, was im Winter mit einer erhöhten Rutschgefahr einhergeht.

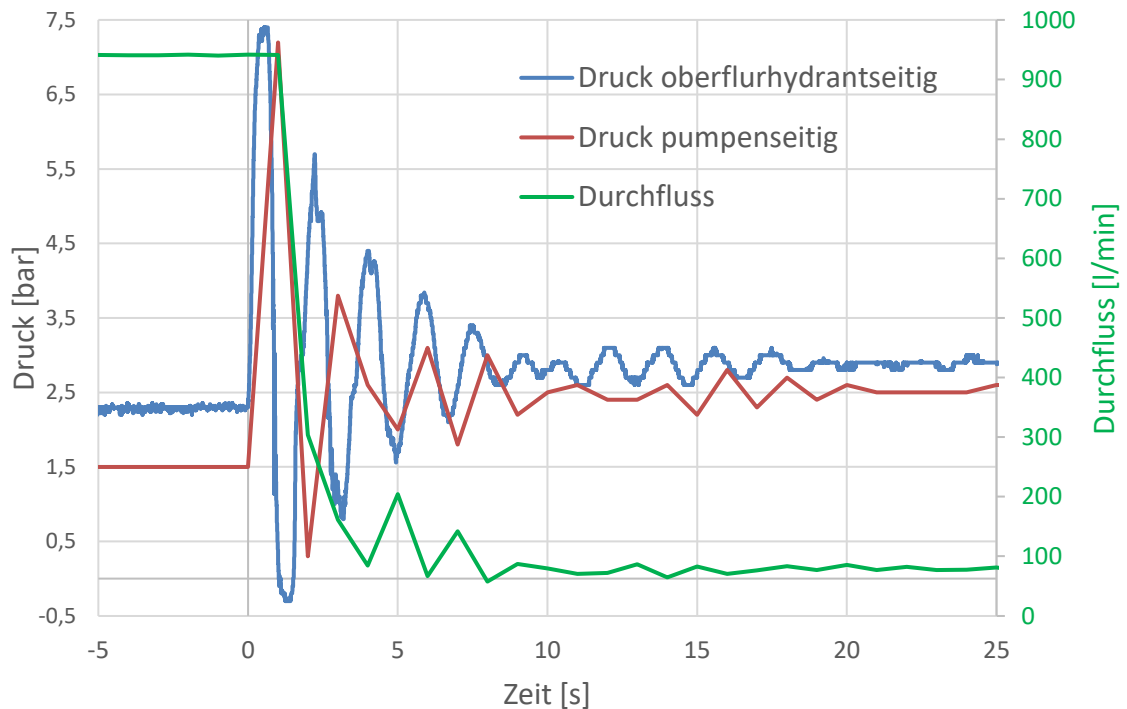


Abbildung 52: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 9 mit einer Wasserabgabe durch einen Wasserwerfer mit einem Durchfluss von ca. 4000 l/min, Systemtrenner vorhanden. Standorte der Messgeräte gemäß Abbildung 51 im rechten Zulauf zum Fahrzeug (4 Zuleitungen vorhanden). Ausgangsdruck Wassernetz ca. 3 bar.

Außerdem wurde eine Tankbefüllung des Fahrzeugs mittels zweier Schläuche, vergleichbar mit dem Aufbau in Abbildung 48, durchgeführt. Um einen Druckstoß zu erzeugen, wurde diese manuell gestoppt. Die Messungen ergaben Kurvenverläufe, wie beispielsweise in Abbildung 53 gezeigt. Wie bei den bisherigen Messungen auch, zeigten sich Druckschwankungen. Im Maximum lagen sie bei diesem Versuch bei ca. 3 bar.

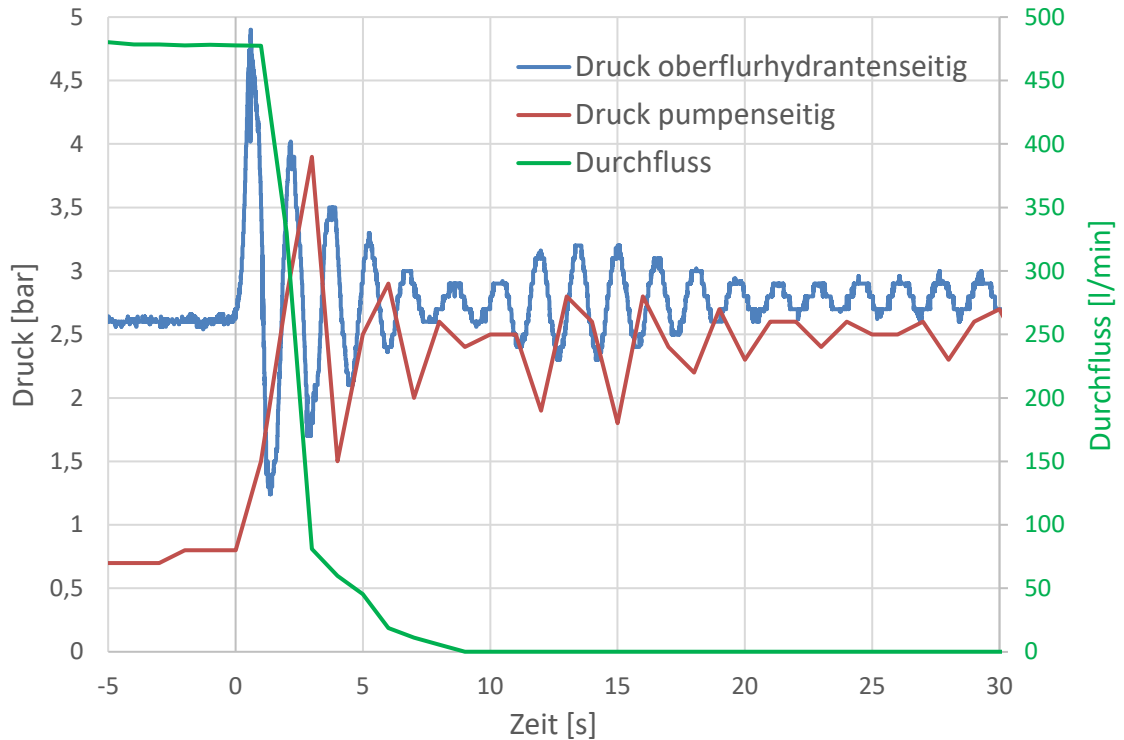


Abbildung 53: Messwerte für Druck und Durchfluss bei einer Tankbefüllung im Szenario 9, manuell gestoppt, mit zwei Zuleitungen zum Fahrzeug.

### 3.7 Zusammenfassende Diskussion der experimentellen Ergebnisse

Bei allen vorgestellten Experimenten wurde gezeigt, dass im Trinkwasser-, Brauchwasser- oder Ringnetz keine beträchtlichen Druckstöße erzeugt wurden. Die Maximaldrücke lagen bei allen Experimenten unter dem Berstdruck der Leitung, der üblicherweise 10 bar beträgt. Bei Versuchen mit sehr geringen Drücken wurden im Netz teils unter 1 bar gemessen. Dieses Verhalten trat auf, wenn der Netzdruck bereits unter der Mindestgrenze von 1,5 bar [12] lag.

Nur minimale Wassermengen könnten durch einen Systemtrenner in Richtung des Trinkwassernetzes hindurchgetreten sein. Dies ist jedoch unwahrscheinlich, da diese Armatur durch einen Druckunterschied und nicht durch rückfließendes Wasser geschlossen wird.

**Bei der Nutzung des Tankbetriebs bei einem Tank, der von oben befüllt wird, zeigten sich in keinem Szenario, weder bei geringen noch bei hohen Drücken oder sehr großen Durchflüssen, problematische Druckverläufe. In Kombination mit einem Systemtrenner, der den Rückfluss größerer Mengen bzw. des gesamten Wassers verhindert, ist das Restkontaminations- und Verkeimungsrisiko damit sehr gering.**

## 4 Keimzahlen in Feuerwehrtanks

Zur Bewertung des Kontaminationspotentials durch Wasser aus Löschfahrzeugen wurden Wasserproben aus diesen entnommen und auf relevante Parameter an der Hochschule Magdeburg-Stendal im Bereich Siedlungswasserwirtschaft - Wasserversorgung untersucht. Die Entnahmen wurden bei erhöhten Außentemperaturen (Monate April und Juli) durchgeführt, um ein gutes Wachstumsklima für Mikroorganismen und damit den schlechtesten Fall für die Wasserqualität vorliegen zu haben. Dies spiegelt sich auch in den Messwerten in Tabelle 7 wider. Die vollständigen Einzelergebnisse sind im Anhang A zu finden.

Tabelle 7: Analyseergebnisse Löschwässer aus Feuerwehrfahrzeugtanks und Grenzwerte für Trinkwasser nach TrinkwV, Grenzwertüberschreitungen sind fett dargestellt

Parameter	Einheit	Wasser aus Löschfahrzeugtanks		Grenzwert nach TrinkwV
		Min...Max	MW	
Messtemperatur	°C	15...25	<b>21</b>	kühl
pH-Wert	-	7,5...7,8	7,7	≥ 6,5 und ≤ 9,5
Leitfähigkeit	µS/cm	591...612	600	2.790
Trübung	FNU	<b>1,5...21,4</b>	<b>7,3</b>	1,0
DOC	mg/l	3,8...24,1	11,2	-
SAK <sub>436</sub>	1/m	0,1...0,2	0,14	0,5
SAK <sub>254</sub>	1/m	7,1...8,5	7,8	-
Koloniezahl (22 °C)	1/ml	<b>508...2.990</b>	<b>1.176</b>	100
Coliforme Keime	1/100 ml	<b>15...576</b>	<b>214</b>	0
E. coli	1/100 ml	<b>13...90</b>	<b>51</b>	0
Enterokokken	1/100 ml	<b>14...1.304</b>	<b>346</b>	0

Tankwasser ist durch die Umgebungstemperatur und längere Standzeiten deutlich wärmer als Trinkwasser im Leitungsnetz. Dadurch und bedingt durch vorhandene Nährstoffe, gemessen mittels DOC und SAK<sub>254</sub>, liegen günstige Bedingungen für Mikroorganismen und Krankheitserreger vor. Dies führt zu erhöhten Koloniezahlen sowie vorhandenen Konzentrationen von coliformen Keimen, Escherichia coli und Enterokokken. Diese dürfen in Trinkwasser nicht vorhanden sein. Eine weitere Überschreitung liegt beim Parameter Trübung vor. Inwiefern dies ein gesundheitliches Risiko darstellt, kann anhand dieser Kenngröße nicht bewertet werden.

Ein Eintrag ins Trinkwassernetz würde zu einer Kontamination des Trinkwassers mit Mikroorganismen und damit auch Krankheitserregern führen. Damit ist Tankwasser eindeutig der Wasserkategorie 5 zuzuordnen und ein Zurückströmen ins Trinkwassernetz ist auszuschließen. Nach [3] wird für eine Verbindung des Tanks mit dem Trinkwassernetz ein freier Auslauf benötigt.

Nach [11] darf im Regelfall für Lösch- und Übungszwecke nach Flüssigkeitskategorie 4 abgesichert werden. Bei der Erarbeitung des Beiblatts spielte auch der kurzzeitige Anschluss bei Feuerwehreinsätzen eine Rolle. Ein Flüssigkeitsrückstrom durch den Systemtrenner wird weitestgehend verhindert. Die Ausbreitungs- und Wachstumsgeschwindigkeit von Bakterien und anderen Mikroorganismen entgegen der Strömung oder auch bei temporärem Stillstand ist bei kurzen Anschlusszeiten nicht gegeben. Bei Einsätzen über Stunden hinaus sollte, wenn dies der Einsatz nicht sowieso erfordert, regelmäßig Wasser aus dem Standrohr über die Löschstrecke entnommen werden, um eine eventuelle Verkeimung im System direkt vom Trinkwassernetz wegzuspülen.

Außerdem wurde Wasser aus zwei Löschteichen beprobt, da dies potentiell Wasser ist, das auch mittels Feuerwehrrmaturen befördert werden könnte.

Tabelle 8: Analyseergebnisse Wasser aus Löschteichen und Grenzwerte für Trinkwasser nach TrinkwV, Grenzwertüberschreitungen sind fett dargestellt (Probennahme im November)

Parameter	Einheit	Wasser aus Löschteichen		Grenzwert nach TrinkwV
		1	2	
Messtemperatur	°C	12	13	kühl
pH-Wert	-	7,7	7,6	≥ 6,5 und ≤ 9,5
Leitfähigkeit	µS/cm	1098	1908	2.790
Trübung	FNU	<b>1,2</b>	<b>1,8</b>	1,0
DOC	mg/L	7,5	49,7	-
SAK <sub>436</sub>	1/m	0,2	0,4	0,5
SAK <sub>254</sub>	1/m	8,6	19,8	-
Koloniezahl (22 °C)	1/ml	-	-	100
Coliforme Keime	1/100 ml	<b>1370</b>	<b>590</b>	0
E. coli	1/100 ml	0	0	0
Enterokokken	1/100 ml	<b>625</b>	<b>98</b>	0

Die Werte sind ähnlich zu denen der Feuerwehrfahrzeugtanks. Für einen Löschteich lag der DOC-Wert über den Ergebnissen der Tankbeprobungen. Dort ist auch der SAK<sub>254</sub> erhöht. Diese deuten darauf hin, dass günstige Bedingungen für Keime durch ausreichend Nährstoffe vorliegen. Die Werte für die überprüften Keime liegen im Bereich der bisherigen Werte. Nur die Daten für E. coli-Bakterien sind geringer.

## **5 Simulationen zur Fortpflanzung von Druckstößen**

Mittels der Software STANET® wurden durch den Bereich Siedlungswasserwirtschaft - Wasserversorgung der Hochschule Magdeburg-Stendal zwei Rohrnetzmodelle erstellt, um Mischungsrechnungen für den Eintrag kontaminierten Wassers in ein Wasserverteilungsnetz durchzuführen. Damit sollten realitätsnahe Strömungs- und Druckverhältnisse bei Löschwasserentnahmen abgebildet werden. Eines der Netze bildete ein städtisches und das andere ein ländliches Wassernetz ab. Dafür wurde die in Abbildung 54 gezeigte einfache Struktur genutzt. Entsprechend der jeweiligen Charakteristik wurde das Netz jeweils dimensioniert. Für beide Netztypen wurden außerdem zwei Varianten erstellt, um vergleichende Betrachtungen für verschiedene Konstellationen vornehmen zu können. In der ersten Variante hatten die Verteilungsnetze jeweils längere Leitungen. Dies führte zu größeren Abnahmemengen an den einzelnen Knoten. So konnten konzentrierte Wasserentnahmen abgebildet werden. Die zweite Variante des städtischen und ländlichen Netzes enthielt zusätzliche Knoten. Die langen Leitungen wurden so unterteilt und die Wasserentnahmen auf mehrere Knoten verteilt. Damit ergaben sich signifikante Auswirkungen auf die resultierenden Volumenströme und damit unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten und Druckverhältnisse. Mit den Berechnungen wurden Worst-Case-Bedingungen identifiziert und so das Gefährdungspotential bewertet.

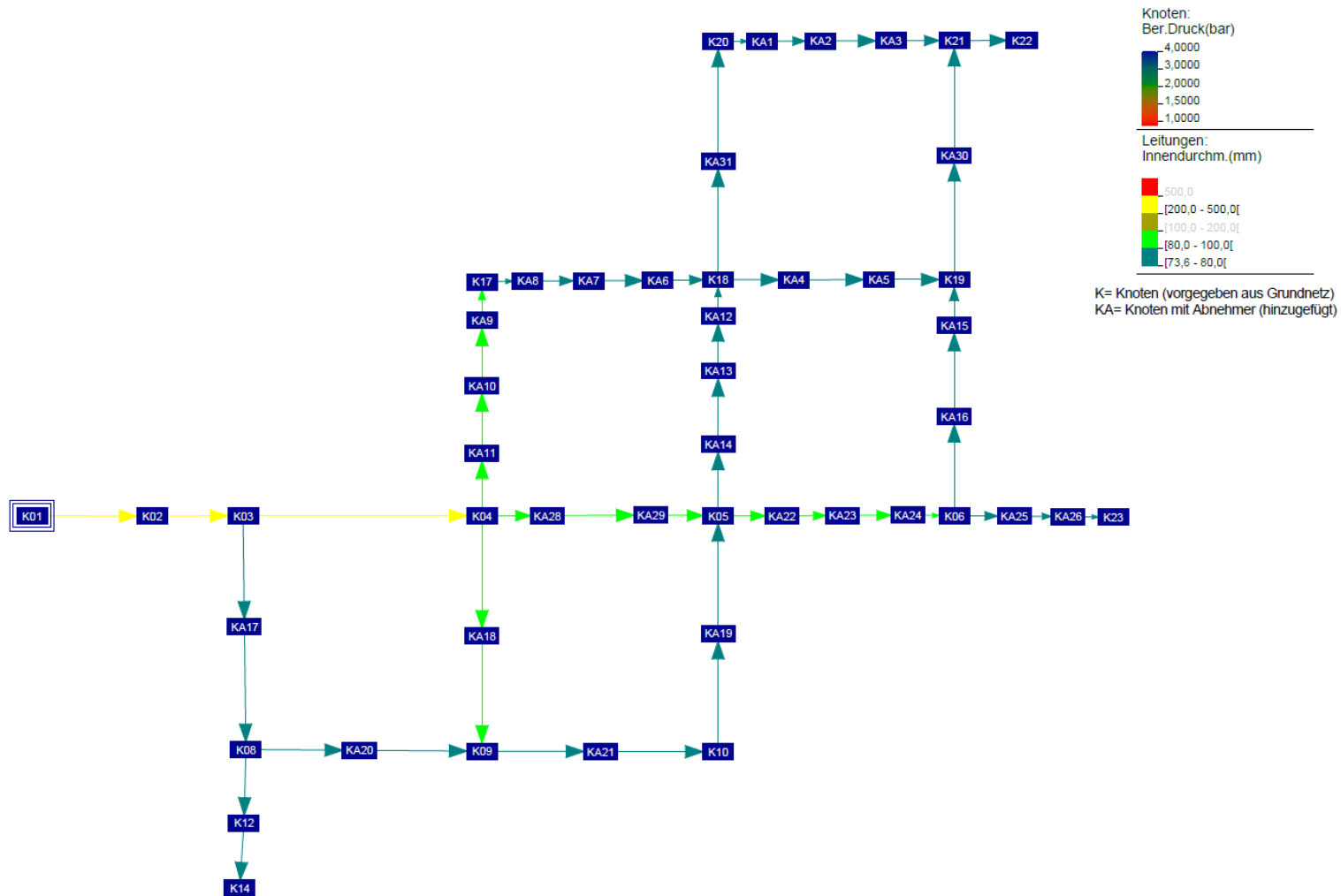


Abbildung 54: Struktur des Rohrnetzmodells für die Simulationen in STANET® zur Berechnung der Strömungs- und Druckverhältnisse in einem Wasserverteilungssystem bei Löschwasserentnahme. K = Knoten, KA = ergänzter Knoten mit Abnehmern.

Für eine realistische Grundlage für die Simulationen wurden Verbraucherprofile hinterlegt. Die tägliche Entnahme pro Einwohner wurde auf 130 l festgelegt. Im städtischen Netz wurden 20.000 Einwohner angenommen, im ländlichen 900. Damit ergaben sich Verbräuche von 100 m<sup>3</sup>/h und 5 m<sup>3</sup>/h.

Für die Simulation einer Löschwasserentnahme wurden nach DVGW Arbeitsblatt W-405 im ländlichen Bereich 48 m<sup>3</sup>/h und im städtischen Bereich 96 m<sup>3</sup>/h angesetzt. Diese Entnahmen waren zusätzlich zur konstant gehaltenen Abnahme durch die Verbraucher in allen Szenarien. So wurden höhere Volumenströme in den Leitungen während eines Löscheinsatzes abgebildet. Durch Simulationen der Löschwasserentnahme an verschiedenen Knoten im Netz konnte die Stelle mit den ungünstigsten Bedingungen gefunden werden. Es wurde dabei darauf geachtet, dass der Netzdruck nie unter 1,5 bar fiel. Diese Bedingung muss auch bei realen Löschwasserentnahmen zur Sicherstellung des Versorgungsdrucks beachtet werden. Feuerlöschkreiselpumpen würden unter diesem Druck nicht arbeiten. In Szenarien, in denen diese Bedingung unterschritten wurde, musste die Löschwasserentnahme auf mehrere Knoten verteilt werden. Dies entspricht ebenfalls der Realität. Bei Löscheinsätzen wird Wasser teils aus mehreren Hydranten entnommen.

Durch die durchgeführten Simulationsrechnungen konnten die Modelle Strömungs- und Druckverhältnisse für alle Netzabschnitte liefern. Die so ermittelten Volumenströme und Fließgeschwindigkeiten bildeten die Grundlage für Mischungsrechnungen. Mit diesen kann das Vermischen von in ein Verteilungsnetz eingetragenen kleinen Volumina kontaminierten Wassers berechnet werden.

## **5.1 Mischrechnungen**

Mit Hilfe der Mischrechnungen wurde ermittelt, wie schnell nach einem fiktiven Eintrag kontaminierten Wassers dieses mit Trinkwasser vermischt wird und welche Verdünnung von Bakterienzahlen daraus resultiert. Dabei wurden die nach Trinkwasserverordnung [5] relevanten mikrobiologischen Kenngrößen betrachtet. Die im vorherigen Kapitel ermittelten Analyseergebnisse (Tabelle 7) bildeten für die Berechnungen die Basis. In die Berechnungen flossen die um Ausreißer bereinigten Mittelwerte ein.

Das betrachtete Szenario entsprach einem direkten Eintrag aus einem Tank eines Löschfahrzeugs in das Trinkwassernetz. Dieser Fall ist sehr unrealistisch. Eigentlich würde eine Vorverdünnung im Tank, in den Schläuchen oder anderen Komponenten mit frischem Trinkwasser stattfinden. Das Szenario ging davon aus, dass der Systemtrenner kurzzeitig

verklemt und nicht durch den Abfall des Drucks, sondern erst durch das rückströmende Wasser geschlossen wird. Eine weitere Annahme ist die Verschlusszeit von 0,05 s. Sie entspricht der Schließzeit eines Rückschlagventils. Das Eintragsvolumen berechnete sich dann aus dieser Schließzeit und dem Volumenstrom, der sich aus der Rückflussgeschwindigkeit (360 l/min) und der Querschnittsfläche (Storz B, 75 mm) des Systemtrenners ergab. Damit ergab sich ein potentielltes Eintragsvolumen von 300 ml.

Der Eintrag erfolgte einmalig und die Vermischung erfolgt in der Rohrleitung auf dem Fließweg. Um die Vermischung eines eingetragenen Volumens in einen Volumenstrom in einer Rohrleitung des Trinkwassernetzes zu beschreiben, muss das Verhältnis aus der Standardabweichung der Bakterienkonzentration im Mischstrom und der Standardabweichung zwischen zwei Strömen im unvermischten Zustand ermittelt und daraus die erforderliche Mischzeit bis zu einem gewünschten Vermischungsgrad berechnet werden. Das Verhältnis der Standardabweichungen beträgt für eine Rohrleitung 0,95 [76]. Der Vermischungsgrad wurde mit 99 % angesetzt. Aus der Mischzeit konnte dann das Volumen ermittelt werden, in dem sich das kontaminierte Volumenpaket bis zur vollständigen Durchmischung einmischt. Damit ließ sich über eine Massenbilanz die resultierende Konzentration nach vollständiger Durchmischung  $c_{Netz}$  im Volumen  $V_{Netz}$  berechnen. Die Ausgangsgrößen waren die Konzentration  $c_{Eintrag}$  im eingetragenen, kontaminierten Volumen  $V_{Eintrag}$ . Damit ergab sich die Massenbilanz zu  $c_{Netz} \cdot V_{Netz} = c_{Eintrag} \cdot V_{Eintrag}$ .

In den Simulationen war erkennbar, dass sich Einträge in einem Wasserverteilungsnetz mit städtischer Charakteristik aufgrund der hohen Durchflüsse besonders gut vermischten. Einträge in das Netz mit ländlicher Charakter waren aufgrund der kleineren zur Vermischung zur Verfügung stehenden Volumina und der geringen Durchflüsse kritischer. Folglich wurden die Worst-Case-Betrachtungen für ein ländliches Netz mit kurzen Leitungen durchgeführt. Die kritischste Stelle in Abbildung 54 ist die Leitung zwischen Knoten 20 (K 20) und Knoten 21 (K 21). Diese beiden lagen 100 m auseinander und zwischen ihnen befanden sich drei Abnehmer (KA). Der Leitungsinwendurchmesser von 73,6 mm entsprach einem DN 90 PE-HD Rohr. Dieser Ausschnitt wird vergrößert in Abbildung 55 mit Kenngrößen der Wasserentnahme gezeigt. An den Knoten wurde die Löschwasserentnahme von 48 m<sup>3</sup>/h auf je 24 m<sup>3</sup>/h aufgeteilt. Die Abnahmen je Abnehmerknoten waren 0,1 m<sup>3</sup>/h. Damit ergab sich ein Volumenstrom hinter K 21 von 0,5 m<sup>3</sup>/h. Der erforderliche Netzdruck konnte in dieser Simulation eingehalten werden. Die Fließrichtung des Wassers kann der Abbildung entnommen werden.

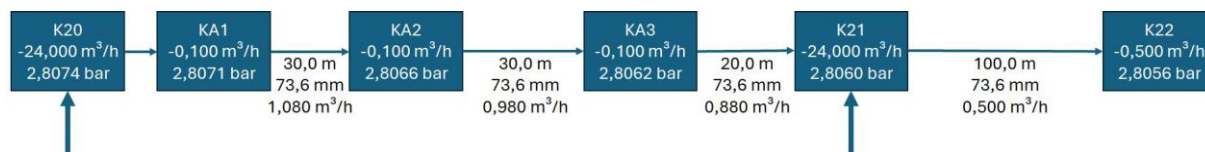


Abbildung 55: Ausschnitt des ländlichen Rohrnetzmodells mit Kenngrößen der Wasserentnahme zwischen den Knoten 20 und 21 (Reproduktion der Simulationsoberfläche zur besseren Lesbarkeit).

Für diesen Netzpunkt wurde die Mischungsrechnung für einen Eintrag von 300 ml kontaminierten Wassers mit einer Eintragszeit von 0,05 s durchgeführt. Bei einem Volumenstrom von 0,5 m³/h ergab sich eine Fließgeschwindigkeit von 1,96 m/min. Bis eine nahezu vollständige Durchmischung von 99 % erreicht wurde, war ein Fließweg von 6,61 m erforderlich. Die Zeit dafür betrug 3,37 min, die vollständige Vermischung erfolgte im Volumen von 0,028 m³. Die resultierenden Konzentrationen im weiterfließenden Volumenpaket sind in Tabelle 9 angegeben. Resultierend wurden die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung für die Koloniezahl nicht mehr, für die anderen drei Parameter sehr gering überschritten.

Tabelle 9: Konzentration der mikrobiologischen Kenngrößen nach vollständiger Vermischung durch Fließen im Trinkwassernetz.

Konzentration nach vollständiger Durchmischung im Trinkwassernetz							
Kenngröße	Einheit	Probe					Grenzwert nach TrinkwV
		1	2	3	4	5	
Koloniezahl 22 °C	1/ml	13	6	7	32	5	100
Coliforme Keime	1/100 ml	1,5	2,1	1,5	6,1	0,2	0
Escherichia coli	1/100 ml	0,6	1,0	0,2	0,9	0,1	0
Enterokokken	1/100 ml	0,1	0,8	1,1	2,9	0,7	0

Damit bestünde eine sehr geringe Gefährdung für Konsumenten. Diese müssten genau dann Wasser zum Trinken entnehmen, wenn dieses Volumenpaket bei ihnen ankommt. Es werden jedoch nur geringe Mengen zum Trinken und zur Nahrungszubereitung dem Trinkwassernetz entnommen. Damit und vor dem Hintergrund, dass die verwendete, kontaminierte Menge aufgrund des Auslassens einer Vorvermischung mit Trinkwasser sehr hohe Keimzahlen aufwies, ist eine Gefährdung äußerst gering. Zudem würde im Falle eines Rückdrückens ins

Trinkwassernetz kein direktes Tankwasser, sondern Wasser, das gerade einen Hydranten verlassen hat, zurückströmen.

## **6 Alternative Vorgehensweisen**

Eine Sicherung des Trinkwassernetzes kann z. B. durch die Nichtnutzung des Netzes oder den Aufbau eines Zwischenbeckens mit gewährleistetem freiem Auslauf erreicht werden.

Ersteres kann durch sehr große fahrbare Löschwassertanks, die an speziellen Hydranten mit Sicherungen befüllt werden können, erreicht werden. Diese Tankfahrzeuge müssten mehr als übliche Löschwasservolumina mit sich führen. Dies entspräche einem Vorgehen in einigen niederländischen Regionen, wie im Kapitel 2.4.5 beschrieben. Hier werden Tanks mit 15.000 Litern bzw. 16.500 Litern genutzt.

Alternativ können durch Kommunen Löschwasserteiche oder -zisternen geschaffen werden, wie es teils schon praktiziert wird. Aus diesen Behältern kann im Einsatzfall Wasser genutzt werden, ohne eine direkte Verbindung mit dem Trinkwassernetz herzustellen. Nach einem Einsatzfall müssen diese Reserven wieder aufgefüllt werden. Dies könnte über das Trinkwassernetz realisiert werden.

Der Ausbau eines Brauchwassernetzes, wie es in großen Industriegebieten häufig vorhanden ist und auch zu Löschzwecken genutzt wird, kann in Betracht gezogen werden. Diese Idee ist aufgrund der Kosten außerhalb von Industriegebieten jedoch unrealistisch.

Vielleicht muss auch im Zuge des Klimawandels die Löschwasserversorgung aufgrund von Knappheit zumindest in einigen Regionen anders als bisher gelöst werden. Alle diese Möglichkeiten, mit ihren Vor- und Nachteilen, würden größere Veränderungen im Feuerwehrwesen nach sich ziehen.

Eine Alternative, die ebenfalls Trinkwasser als Löschwasser nutzt, die Nutzung eines Zwischenbeckens mit einem freien Auslauf, wird im Folgenden vorgestellt.

### **6.1 Vergleich Löschangriff mit und ohne Nutzung eines mobilen Wasserbehälters**

Eine Alternative zu einem freien Auslauf, der fest am Fahrzeugtank verbaut ist, ist ein mobiler Wasserbehälter, beispielsweise ein Fallbecken. Hierzu wurde vergleichend ein Löschangriff ohne und mit einem solchen Behälter aufgebaut. Für die Simulation des Löschangriffs wurde von einer Staffelbesetzung, wie heute vor allem im ländlichen Raum tagsüber üblich,

ausgegangen. Des Weiteren wurde angenommen, dass der Angriffstrupp und der Gruppenführer nicht am Aufbau der Löschwasserversorgung beteiligt sind.

Beim Löschangriff wurde zuerst der Verteiler durch den Wassertrupp gesetzt und der Schlauch zum Fahrzeug verlegt. Damit könnte ein Angriffstrupp die Brandbekämpfung mit Wasser aus dem Tank beginnen. Anschließend wird das Standrohr gesetzt, der Systemtrenner angeschlossen und ein B-Schlauch zum Fahrzeug gelegt und angeschlossen. Folgend hätte sich der Wassertrupp mit einem Pressluftatmer ausrüsten können. Bis zu diesem Punkt vergingen 3:47 Minuten.

Im Aufbau mit dem Faltbehälter im Löschangriff wurde ähnlich vorgegangen. Nachdem der Verteiler samt Schlauch zum Fahrzeug gesetzt war, wurde das Standrohr gesetzt und ein Schlauch zum Aufbauort des mobilen Löschbehälters gelegt. Gleichzeitig konnten der Maschinist und ein Wassertruppmann beginnen, die Saugschläuche vom Dach des Löschfahrzeugs zu entnehmen. Das Faltbecken wurde ab 3:07 Minuten aufgebaut. Das Becken war bei 4:40 Minuten aufgestellt, sodass die Saugschläuche zusammengekuppelt und in das Becken gelassen werden konnten. Wasser floss ab 5:40 Minuten in das Becken. Mit dem verwendeten Saugkorb hätte ab 13:15 Minuten Wasser angesaugt werden können. Damit war die Wasserversorgung ca. 9 ½ Minuten später als bei der direkten Wasserversorgung aus dem Hydranten sichergestellt. Der Aufbau ist in Abbildung 56 zu sehen.

Mit einem anderen Saugkorb wäre diese Zeit kürzer und es könnte ab einer Füllhöhe von etwas mehr als einem Zentimeter angesaugt werden. Damit wäre der Unterschied im Aufbau der Wasserversorgung bei 2 ½ bis 3 Minuten. Diese Zeit könnte durch eine günstige Lagerung des mobilen Beckens im Löschfahrzeug und bereits zusammengekuppelte Sauglängen weiter minimiert werden. Hierzu müssten die derzeitigen Fahrzeuge umgerüstet oder durch eine Neubeschaffung ersetzt werden.

Für das Umschalten der Pumpe zwischen dem genutzten Regime „Wasser für den Löschangriff aus dem Tank bereitstellen“ und dem Saugbetrieb wären ca. 10 bis 20 Sekunden nötig. In dieser Zeit wäre der Angriffstrupp ohne Wasser. Dies ist in Szenarien mit permanentem Wasserbedarf, wie einem Wohnungsbrand, nicht vertretbar.

Insgesamt müssten für eine generelle Nutzung dieser Taktik Umbauten an derzeitigen Löschfahrzeugen vorgenommen werden, um ähnliche Zeiten zur Löschwasserbereitstellung wie derzeit zu erzielen.



Abbildung 56: Löschangriff mit aufgebautem mobilen Löschwasserbehälter

## 7 Diskussion und Einordnung der Ergebnisse

In den Experimenten zeigte sich, dass beim Öffnen und Schließen von Strahlrohren und Monitoren Druckstöße entstehen, die bis zum Trinkwassernetz nachweisbar waren, wenn der Pumpenbetrieb am Fahrzeug im Löschangriff genutzt wird. Diese Druckstöße bauten sich entlang des Wegs vom Strahlrohr an verschiedenen Armaturen und vor allem der Pumpe etwas ab. Damit resultierten bei vielen geprüften Szenarien nur noch vernachlässigbare Druckschwankungen. Bei Messungen in einem Versuchsnetz mit geringen Drücken kam es zu Druckschwankungen, die kurz vor dem Trinkwassernetz einen Differenzdruck unter null bar verursachten. Dies lag im Netz nicht mehr vor.

Wiederum zeigte sich bei allen Messungen unter Nutzung des Tankbetriebs mit einem Tank, der von oben befüllt wird, dass ein Druckstoß von einer Armatur im Löschangriff hier nicht weitergeleitet wird. Öffnungs- und Schließprozesse zur Befüllung des Tanks werden technisch so langsam ausgeführt, dass nur sehr geringe Druckänderungen in der Nähe des Trinkwassernetzes zu messen sind. Dieser Tankbetrieb sollte daher aus Sicht der Druckstoßproblematik generell für Löschangriffe bei Fahrzeugen mit ausreichend großen Tankfülleitungen als Standard genutzt werden. Bei älteren Fahrzeugen ist dies ggf. nicht möglich. Bei jedem Fahrzeug ist die Nutzung des Tankbetriebs für Löschangriffe zu prüfen und nach Möglichkeit zu verwenden.

In Bezug auf eine mögliche Kontaminationsgefahr wurde durch die Beobachtung der Strömung zwischen Standrohr und Systemtrenner gezeigt, dass allenfalls geringe Wassermengen von maximal 100 ml beim Öffnen oder Schließen eines Strahlrohrs in das Standrohr gespült werden konnten, sofern ein Systemtrenner verwendet wurde. Dies wäre Wasser, das gerade zuvor entnommen wurde. Eine mögliche Gefährdung ist demnach bei richtiger Verwendung des Systemtrenners gering.

Diese Einschätzung wird durch Simulationen des Bereich Siedlungswasserwirtschaft – Wasserversorgung“ der Hochschule Magdeburg-Stendal unterstützt.

Dennoch sollte vor allem in Gebieten mit Trinkwassernetzen, die einen geringen Druck und kleine Rohrquerschnitte aufweisen, geprüft werden, ob weitere Wasserversorgungsmöglichkeiten für die Feuerwehr vorhanden sind oder wie diese geschaffen werden können. Dies ist von jeder Gemeinde individuell zu prüfen sowie auch im Zuge zunehmender Wasserknappheit anzustreben.

Ein weiterer entscheidender Schritt zu mehr Trinkwasserschutz stellt eine verbesserte Sensibilisierung sowie intensive Aus- und Fortbildung des Feuerwehrpersonals bei Freiwilligen und Berufsfeuerwehren dar. Hier muss sowohl der korrekte Umgang geschult als auch regelmäßig gefestigt werden. Zudem müssen die Konsequenzen bei Nichtbeachtung aufgezeigt werden.

Zum Schutz des Trinkwassers sind höchste Sicherheitsstandards erforderlich. Dennoch konnte seit der Einführung des Systemtrenners B-FW, dessen Normung erst 2018 [2] erschien, dieser bis jetzt noch nicht seine volle Wirkung in allen Gemeinden Deutschlands entfalten. Da Übergangslösungen noch immer erlaubt sind und die Akzeptanz für die neue Armatur in Feuerwehrkreisen erst langsam gesteigert werden konnte, wird sich die schützende Wirkung erst noch zeigen.

Durch die konsequente Nutzung des geprüften und gewarteten Systemtrenners an allen Anschlusspunkten zum Trinkwassernetz wird beispielsweise verhindert, dass Schaummittel ins Trinkwassernetz eintritt. Dennoch gibt es immer wieder Einsätze, bei denen das Trinkwassernetz mit Schaum kontaminiert wird. Diese würden durch den flächendeckenden Einsatz von Systemtrennern stark minimiert sowie nur noch in Ausnahmefällen bei technischem oder menschlichem Versagen vorkommen. Dieses ist jedoch niemals auszuschließen.

Festzuhalten bleibt: Der Systemtrenner Feuerwehr B-FW kann Kontaminationen und Verkeimungen des Trinkwassernetzes bei richtiger Anwendung nach den vorliegenden Experimenten weitestgehend verhindern. Eine Normänderung für Fahrzeugbeladungen, so dass für jedes mitgeführte Standrohr zwei Systemtrenner Feuerwehr B-FW vorhanden sind, wäre anzudenken. Außerdem müssen auch bei Oberflurhydranten, bei der Nutzung beider Abgänge, zwei Systemtrenner genutzt werden. Druckstöße werden auch durch Tankzuläufe, die nicht vollkommen einem freien Einlauf entsprechen, an der Weitergabe ins Trinkwassernetz gehindert.

Analog zur Schlauchwäsche könnten Standrohre und Systemtrenner nach einem Einsatz gereinigt, ggf. desinfiziert, getrocknet (um einer Verkeimung durch verbliebene Restfeuchte vorzubeugen) werden. Mit einer Poollösung könnten nach einem Einsatz Standrohr und Systemtrenner auf den Fahrzeugen ausgetauscht werden. Die Geräte sind in einem trockenen, sauberen Gerätefach zu transportieren, um Verschmutzungen und Verkeimungen zu minimieren. Ein unverschlossener Transport auf beispielsweise einer Haspel ist auszuschließen. Mindestens sollten die Armaturen spritzwassergeschützt mit vorhandener Trocknungsmöglichkeit transportiert werden.

Die generelle Umstellung der deutschen Feuerwehren auf alternative Lösungen, wie den Transport und die Nutzung von mobilen Behältern oder eine Umstellung auf Großtankfahrzeuge, wie teils gefordert, ist sicherlich vorstellbar, aber mit massiven Änderungen der derzeitigen technischen Ausstattung und der genutzten Taktiken verbunden. Hierzu müssten flächendeckend Fahrzeuge in jeder Gemeinde umgebaut oder gar neu beschafft werden. Des Weiteren müsste die Brandbekämpfungstaktik geändert werden. Dies zieht großen Schulungsbedarf nach sich. Inwiefern dies bei größtenteils Freiwilligen Feuerwehren (Anteil ca. 94 % [77]) möglich ist, wenn schon die Akzeptanz und Schulung zur Nutzung eines Systemtrenners als nur eine weitere zusätzliche Armatur ein schwieriger Prozess war, kann nicht abgeschätzt werden. Außerdem würde ggf. eine erhöhte Personalstärke, z. B. zur Beförderung zusätzlicher Fahrzeuge, erforderlich sein. Dies könnte das derzeitige Problem der ausreichenden Verfügbarkeit von Einsatzkräften vor allem tagsüber verschärfen. Je nach Ausführung der geänderten oder zusätzlich benötigten Fahrzeuge müssten auch die Gerätehäuser neu oder umgebaut werden.

Insgesamt zeigte sich bei korrekter Nutzung der bereits vorhandenen Technik ein geringes Gefährdungspotenzial durch Druckstöße in das Trinkwassernetz oder Kontamination bzw. Verkeimung desselben.

## **8 Fazit**

Bei abschließender Betrachtung zeigt sich, dass in der deutschen Feuerwehrlandschaft zurzeit eine breit akzeptierte praktische Handhabung der rechtlichen Situation in Bezug auf den Schutz von Trinkwassernetzen bei Löschwasserentnahme besteht und umgesetzt wird. Diese leitet sich vornehmlich aus den technischen Regeln DIN EN 1717 und DVGW-Arbeitsblatt W 405-B1 ab, auf welche die TrinkwV unbestimmt verweist. Die daraus resultierende praktische Lösung besteht aus der Nutzung eines Systemtrenners an der Abgabeseite des Trinkwassernetzes. Obwohl diese Lösung durch ein breit aufgestelltes Gremium erarbeitet wurde, bestehen von einzelner Seite Bedenken zu der juristischen Situation. Diese sind nicht unbegründet, da im Detail gewisse Widersprüche zwischen den genannten technischen Regeln existieren. Grob zusammengefasst bestehen diese daraus, dass nach DIN EN 1717 die in den Baugruppen der Feuerwehrtechnik befindlichen Wässer der Flüssigkeitskategorie 5 zuzuordnen sind, aber nach DVGW-Arbeitsblatt W 405-B1 nur gegen die Flüssigkeitskategorie 4 abzusichern ist. Eine wörtliche Auslegung der DIN EN 1717 und damit die Nichtbeachtung des DVGW-Arbeitsblatt W 405-B1 hätte eine Absicherung gegen die Flüssigkeitskategorie 5 zur Folge. Dies wäre, wie bereits beschrieben, mit einem nicht zu überblickenden verwaltungstechnischen, logistischen und vor allem finanziellen Aufwand verbunden.

Denkbar wäre deshalb eine eindeutigere Regelung der rechtlichen Situation auf der nächsthöheren gesetzlichen Ebene. In diesem Fall entspräche diese der TrinkwV. Darin könnte eine Ausnahmeregelung, welche für die temporäre Entnahme von Löschwasser aus dem Trinkwassernetz unter bestimmten Nebenbedingungen eine Absicherung gegen die Flüssigkeitskategorie 4 erlaubt, verankert werden. Diese Nebenbedingungen müssten u.a. bestimmen, dass grundsätzlich im Tankbetrieb gefahren wird, um Druckstöße in das Trinkwassernetz zu verhindern. Allerdings bräuchte es auch dort eine Übergangsfrist, da bei älteren Fahrzeugen, durch eine Verjüngung in der Tankfüllleitung, ein Missverhältnis zwischen ab- und zugeführtem Wasser besteht.

Die in dieser Studie durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass eine solche Sonderregelung eine risikogerechte Variante des Trinkwasserschutzes bei der Löschwasserentnahme aus Trinkwassernetzen durch die Feuerwehr darstellen kann. Aus naturwissenschaftlich-technischer Sicht kann eine Verkeimung oder Kontamination nie ganz ausgeschlossen werden. Allerdings kann der Einsatz von Systemtrennern die Eintrittswahrscheinlichkeit so weit heruntersetzen, dass das tatsächliche Risiko stark minimiert wird. Die Nutzung des Tankbetriebs, wie vorgeschlagen, verhindert dabei das Auftreten von Druckstößen fast vollständig.

## 9 LITERATUR

- [1] Dieter Belitz, *Handbuch zur Feuerwehrgeschichte, Schwerpunkt: Provinz Sachsen, Anhalt, Sachsen-Anhalt: Wasserversorgung*, 2010. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.feuerwehr-sachsen-anhalt.de/uploads/media/27\\_0\\_Wasserversorgung.pdf](https://www.feuerwehr-sachsen-anhalt.de/uploads/media/27_0_Wasserversorgung.pdf)
- [2] *Feuerwehrwesen - Mobile Systemtrenner B-FW*, DIN14346:2018-07, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Jul. 2018.
- [3] *Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigungen in Trinkwasser-Installationen und allgemeine Anforderungen an Sicherungseinrichtungen zur Verhütung von Trinkwasserverunreinigungen durch Rückfließen; Deutsche Fassung EN 1717:2000; Technische Regel des DVGW*, DIN EN 1717:2011-08, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, Aug. 2011.
- [4] *Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz - IfSG): IfSG*, 2000.
- [5] *Zweite Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserversorgung: TrinkwV*, 2023.
- [6] *Richtlinie (EU) 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung)*, 2020.
- [7] Markus Viering, Nina Rodde, Christian Zanner, Hg. *Immobilien- und Bauwirtschaft aktuell - Entwicklungen und Tendenzen (Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft)* (Kapitel 15 „Die allgemein anerkannten Regeln der Technik – Bedeutung in der Praxis“ bearbeitet von Christian Zanner). Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [8] *Musterbauordnung: MBO*, 2002, zuletzt geändert 2024. Zugriff am: 6. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=75909860991>
- [9] *Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen 2025/1: MVV TB 2025/1*, 2025. Zugriff am: 7. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bauministerkonferenz.de/verzeichnis.aspx?id=991&o=75909860991>
- [10] Dr. Uwe Wetzel, "Welche rechtliche Wirkung hat das DVGW-Regelwerk in der Wasserversorgung?," *DVGW energie | wasser-praxis*, Nr. 3, S. 10–11, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/wasser/management/rechtliche-wirkung-dvgw-regelwerk-wasserversorgung-2003wetz.pdf>

- [11] *DVGW W 405-B1(A): Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentliche Trinkwasserversorgung, Beiblatt 1: Vermeidung von Beeinträchtigungen des Trinkwassers und des Rohrnetzes bei Löschwasserentnahmen*, W 405-B1 (A), DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, Jun. 2016.
- [12] *W 405: Bereitstellung von Löschwasser durch die öffentliche Trinkwasserversorgung*, W 405, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, Feb. 2008.
- [13] *Water Industry Act 1991*, 1991, letzte Änderung 2025. Zugriff am: 7. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1991/56>
- [14] *The Water Supply (Water Fittings) Regulations 1999*, 1999. Zugriff am: 7. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.legislation.gov.uk/uksi/1999/1148/contents/made>
- [15] "BS EN 1717:2001 Protection against pollution of potable water in water installations and general requirements of devices to prevent pollution by backflow - (Withdrawn Standard)." [Online.] Verfügbar: <https://standardsdevelopment.bsigroup.com/projects/1989-07420>
- [16] Water UK, The National Fire Chiefs Council, "National Guidance Document on the Provision of Water for Firefighting," Jun. 2025. Zugriff am: 2. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.water.org.uk/national-guidance-document-provision-water-firefighting>
- [17] *Code de la santé publique*, 2025. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte\\_lc/LEGITEXT000006072665/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/texte_lc/LEGITEXT000006072665/)
- [18] *NF EN 1717: Protection contre la pollution de l'eau potable dans les réseaux intérieurs et exigences générales des dispositifs de protection contre la pollution par retour*, Mrz. 2001. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.boutique.afnor.org/en-gb/standard/nf-en-1717/protection-against-pollution-of-potable-water-in-water-installations-and-ge/fa039075/464>
- [19] *Ordonnance n° 2022-1611 du 22 décembre 2022 relative à l'accès et à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine*, 2022. Zugriff am: 12. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000046780481>
- [20] DECRETO LEGISLATIVO 23 febbraio 2023, n. 18, *Attuazione della direttiva (UE) 2020/2184 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2020, concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano. (23G00025)*, 2023. Zugriff am: 11.

- August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2023-02-23;18>
- [21] *UNI EN 1717:2002: Protezione dall'inquinamento dell'acqua potabile negli impianti idraulici e requisiti generali dei dispositivi atti a prevenire l'inquinamento da riflusso*, Nov. 2002. [Online]. Verfügbar unter: <https://conto.uni.com/uni-en-1717-2002>
- [22] *Epidemiegesetz 1950: EpiG*, 2025. Zugriff am: 11. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.jusline.at/gesetz/epidemieg>
- [23] *Bundesgesetz über Sicherheitsanforderungen und weitere Anforderungen an Lebensmittel, Gebrauchsgegenstände und kosmetische Mittel zum Schutz der Verbraucherinnen und Verbraucher: Lebensmittelsicherheits- und Verbraucherschutzgesetz – LMSVG*, 2023. Zugriff am: 11. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.verbrauchergesundheit.gv.at/Lebensmittel/rechtsvorschriften/oesterreich/LMSVG\\_Fassung\\_vom\\_19\\_10\\_2023.pdf?a2d66i](https://www.verbrauchergesundheit.gv.at/Lebensmittel/rechtsvorschriften/oesterreich/LMSVG_Fassung_vom_19_10_2023.pdf?a2d66i)
- [24] *Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch: Trinkwasserverordnung - TWV*, 2025. Zugriff am: 11. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20001483>
- [25] ÖBFV, *VB-01 /23 RL "Die Löschwasserversorgung"*, 2023.
- [26] Wasserverbands Unteres Lafnitztal, "Merkblatt für Wasserentnahmen aus Hydranten," Zugriff am: 2. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.wasserverband-ul.at/info.html>
- [27] Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen. "Trinkwasser." [Online.] Verfügbar: <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/lebensmittelsicherheit/verantwortlichkeiten/sicheres-trinkwasser.html>
- [28] *Bundesgesetz über die Bekämpfung übertragbarer Krankheiten des Menschen: Epidemiengesetz, EpG*, 2012. Zugriff am: 11. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/297/de>
- [29] Feuerwehr Koordination Schweiz FKS, *Richtlinie Versorgung mit Löschwasser*, 2019. Zugriff am: 1. Juli 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.feukos.ch/de/unterlagen/?search=richtlinie+versorgung+mit+loschwasser>
- [30] GVZ Gebäudeversicherung Kanton Zürich, *Richtlinie für die Ausführung der Löschwasserversorgung im Kanton Zürich*, 2020. Zugriff am: 1. Juli 2025. [Online].

- Verfügbar unter: <https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/wasserversorgung.html#-584578588>
- [31] *Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro*, 2023. Zugriff am: 7. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2023-628>
- [32] *UNE-EN 1717:2001: Protección contra la contaminación del agua potable en las instalaciones de aguas y requisitos generales de los dispositivos para evitar la contaminación por refluo.*, Jul. 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0025046>
- [33] Fachlehrer IBK Heyrothsberge, *Fragen zur Trinkwassernutzung durch Feuerwehren*. Heyrothsberge.
- [34] Vertreter einer Feuerwehrfahrzeugherstellerfirma, *Fragen zur Trinkwassernutzung durch Feuerwehren*. online-Interview.
- [35] *E DIN 14502-2:2020-12: Feuerwehrfahrzeuge – Teil 2: Zusätzliche Festlegungen zu DIN EN 1846-2 und DIN EN 1846-3 (Vorschlag für eine Europäische Norm)*, E DIN 14502-2:2020-12, DIN-Normenausschuss Feuerwehrwesen (FNFW), Berlin, Dez. 2020.
- [36] Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker, Stefan Cloppenburg, "Wissenschaftliche Stellungnahme zum Normenentwurf E-DIN 14502-2 (12/2020) in Bezug auf den Schutz des Trinkwassers im Bereich der Tankfahrzeug- Befüllung," FH Münster, Fachbereich Energie, Gebäude, Umwelt, Münster, Apr. 2022.
- [37] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., *W 408 Arbeitsblatt 02/2022 (Hydranten), Anschluss von Entnahmeverrichtungen an Hydranten in Trinkwasserverteilungsanlagen*, 2022.
- [38] Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (AFKzV), *Feuerwehrdienstvorschrift 1: Grundtätigkeiten Lösch- und Hilfeleistungseinsatz: FwDV 1*, 2007.
- [39] *W 408-B1 Arbeitsblatt 05/2013 (Hydranten): Anschluss von Entnahmeverrichtungen an Hydranten in Trinkwasserverteilungsanlagen - Beiblatt 1: Hinweise zu Standrohren mit Entnahmeverrichtung*, W 408-B1, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, Mai. 2013.
- [40] Aquintos-Wasseraufbereitung GmbH, *Systemtrenner Rohrtrenner Typ BA*. Zugriff am: 2. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.aquintos-wasseraufbereitung.de/>

- Systemtrenner-Rohrtrenner-Typ-BA-1-2-Zoll-DN15-fuer-Trinkwasser-und-Brauchwasser-DIN-DVGW-geprueft?srsIid=AfmBOopH-hiiA1GoxegGGJ4kryL0fsDwzfvQ1a4OTS0D4eW5fVNYrNPW
- [41] Deutscher Feuerwehrverband, *Fachempfehlung Nr. 2 vom 13. September 2016: Vermeidung von Beeinträchtigungen des Trinkwassers bei Löschwasserentnahmen am Hydranten*. Zugriff am: 2. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.feuerwehrverband.de/app/uploads/2020/06/AGBF\\_DFV-Fachempfehlung\\_Trinkwasserschutz.pdf](https://www.feuerwehrverband.de/app/uploads/2020/06/AGBF_DFV-Fachempfehlung_Trinkwasserschutz.pdf)
- [42] AWG Fittings GmbH, *Systemtrenner B-FW Original Bedienungsanleitung*, 2019. Zugriff am: 2. Dezember 2024. [Online]. Verfügbar unter: [https://produkte.awg-fittings.com/media/06/d0/7e/1716632967/AWG-Betriebsanleitung\\_Systemtrenner-B-FW\\_DE\\_04-1019.pdf](https://produkte.awg-fittings.com/media/06/d0/7e/1716632967/AWG-Betriebsanleitung_Systemtrenner-B-FW_DE_04-1019.pdf)
- [43] *DIN EN 1846-3: Feuerwehrfahrzeuge - Teil 3: Fest eingebaute Ausrüstung - Sicherheits- und Leistungsanforderungen; Deutsche Fassung EN 1846-3:2013*, DIN EN 1846-3:2008-11, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin.
- [44] S. B. Roy Bergdoll, *Verbrennen und Löschen: Die roten Hefte*, 18. Aufl. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH, 2021.
- [45] Simon Fally, "Druckstoß in Rohrleitungen: Diplomarbeit," Technischen Universität Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Graz, 2017. Zugriff am: 4. Februar 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://unipub.uni-graz.at/obvugr/hs/content/titleinfo/1944748>
- [46] S. Faulstich, J. Helpenstein, E. Jollet, *Die Auswirkungen des Wasserdruckes: Handbuch für Führungskräfte und Maschinisten der Feuerwehr*, 2. Aufl. Monschau: Jollet Apparatebau, 2014.
- [47] Umwelt Bundesamt, *Mikrobiologie*, 2019. Zugriff am: 13. November 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/trinkwasserqualitaet/mikrobiologie>
- [48] Bundesinstitut für Risikobewertung. "Escherichia coli." Zugriff am: 13. November 2024. [Online.] Verfügbar: [https://www.bfr.bund.de/de/escherichia\\_coli-54352.html](https://www.bfr.bund.de/de/escherichia_coli-54352.html)
- [49] "Hygienemaßnahmen zur Prävention der Infektion durch Enterokokken mit speziellen Antibiotikaresistenzen: Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut," (Bekanntmachung - Amtliche Mitteilung) *Bundesgesundheitsblatt*, Jg. 61, S. 1310–1361, 2018.

- [50] Deutsches Zentrum für Infektionsforschung. "Pseudomonas aeruginosa." Zugriff am: 14. November 2024. [Online.] Verfügbar: <https://www.dzif.de/de/glossar/pseudomonas-aeruginosa>
- [51] Katrin Klaus. "Enterokokken im Trinkwasser: Was Sie wissen müssen." [Online.] Verfügbar: <https://www.br.de/nachrichten/wissen/enterokokken-und-trinkwasser-abkochen-was-sie-wissen-muessen,SiW6H6C>
- [52] Dr. Beate Hambsch, Dr. Michael Hügler, Dr. Andreas Korth, Dr. Heike Petzoldt, "Pseudomonas aeruginosa in Trinkwassersystemen - Wachstumsansprüche und nachhaltige Gegenmaßnahmen," TWZ, Bonn, Jul. 2014.
- [53] Landesamt für Verbraucherschutz Sachsen-Anhalt. "Coliforme Bakterien." Zugriff am: 13. November 2024. [Online.] Verfügbar: [https://verbraucherschutz.sachsen-anhalt.de/hygiene/trinkwasserqualitaet/untersuchungsergebnisse/coliforme-bakterien?tx\\_news\\_pi1%5BcurrentPage%5D=0&cHash=c04fce765957759c7733ff85b68a86c5](https://verbraucherschutz.sachsen-anhalt.de/hygiene/trinkwasserqualitaet/untersuchungsergebnisse/coliforme-bakterien?tx_news_pi1%5BcurrentPage%5D=0&cHash=c04fce765957759c7733ff85b68a86c5)
- [54] *DVGW W 291 (A): Reinigung und Desinfektion von Wasserversorgungsanlagen*, W 291 (A), DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, Dez. 2021.
- [55] bionumbers. "P. Aeruginosa velocity (newly attached, crawling, on a glass coverslip, in FAB with glutamate flow cell): BNID 106013, Milo et al 2010." [Online.] Verfügbar: <https://bionumbers.hms.harvard.edu/bionumber.aspx?id=106013>
- [56] Arnold J.T.M. Mathijssen, Nuris Figueroa-Morales, Gaspard Junot, Éric Clément, Anke Lindner, Andreas Zöttl, "Oscillatory surface rheotaxis of swimming E. coli bacteria," *nature communications*.
- [57] Mathijssen, Arnold J. T. M., N. Figueroa-Morales, G. Junot, É. Clément, A. Lindner und A. Zöttl, "Oscillatory surface rheotaxis of swimming E. coli bacteria," *nature communications*, Jg. 10, Nr. 1, S. 3434, 2019, doi: 10.1038/s41467-019-11360-0.
- [58] Robert Schwenk, "Trinkwassertransport durch die Feuerwehr: Untersuchung zur Feststellung der mikrobiologischen Belastung von Löschwassertanks," *Brandschutz*, 01. September 2004, S. 625–629.
- [59] Direktor der Feuerwehren Belgiens, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [60] Einsatzleiter und Pressesprecher Feuerwehr Kopenhagen, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [61] Benjamin Nolte, "Feuerwehr im dänischen Tønder: So läuft es in der Grenzregion," *Feuerwehr*, 02. Januar 2024.

- [62] Leiter des Büros für Brandverhütung und Brandschutzvorschriften/ Generaldirektion für zivile Sicherheit und Krisenmanagement Frankreich, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [63] Mitarbeiter Feuerwehr Dublin, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [64] Sekretärin der Abteilung Operative Bereitschaft Feuerwehr Amsterdam-Amstelland, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [65] Nils Sander, "13 Unterschiede zu Deutschland: So tickt die Feuerwehr der Niederlande," *Feuerwehr-Magazin*, 29. April 2021.
- [66] Personalkoordinator Feuerwehr Oslo, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [67] Mitglied Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [68] ÖBfV, *TRVB 137 /21 (F) "LÖSCHWASSERBEDARF"*, 2021.
- [69] Stellvertretender Abteilungsleiter/ Abteilung Rettung Feuerwehr Stockholm, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [70] Kommandant Feuerwehr Bern Bereichsleiter, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [71] Leiter Feuerwehrausbildungsdienstes Ljubljana, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [72] Hauptquartier der Feuerwehr Madrid, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [73] Leiter der Abteilung Einsätze und Interventionen/ Zivilschutz/ Brandverhütung/ Löschung und Rettungsdienst und Rettung Stadtrat Barcelona, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [74] Direktor des Feuerwehr-Rettungskorps der Hauptstadt Prag, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [75] Büroleiter Städtische Direktion für Katastrophenmanagement Budapest, *Fragen zur Löschwasserversorgung*.
- [76] John C. Crittenden, R. Rhodes Trussell, David W. Hand, Kerry J. Howe, George Tchobanoglous, *MWH's Water Treatment: Principles and Design*, 3. Aufl. John Wiley & Sons, 2012.
- [77] DFV. "Aktuellste statistische Daten." Zugriff am: 11. Februar 2025. [Online.] Verfügbar: <https://www.feuerwehrverband.de/presse/statistik/>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tankbefüllung eines aktuellen Feuerwehrfahrzeugs. Das Wasser wird durch eine Tankföulleitung (Rohr mit 100 mm Durchmesser) von oben in den Fahrzeugtank gedrückt. Ein RÖckfließen wird durch eine RÖckschlagklappe verhindert. Die Leitung kann entwässert werden. ....	14
Abbildung 2: Standrohr verbaut an Unterflurhydranten .....	17
Abbildung 3: auslösender Systemtrenner B-FW nach DIN 14346 .....	20
Abbildung 4: Schema zur Funktionsweise Systemtrenner, links: in Durchlassrichtung, rechts: bei Verschluss.....	20
Abbildung 5: Schematisches Messszenario bei Wasserentnahme aus Trinkwassernetz. Die Pumpe des Fahrzeugs ist eine Magirus-Pumpe des Typs FPN 10-2000. Als Sammelstück am Eingang der Pumpe wurde ein Sammelstück A-3B mit federbelasteten RÖckschlagklappen und Vakuumbrechern verwendet. ....	40
Abbildung 6: Teil des Aufbaus in Szenario 1 .....	40
Abbildung 7: Messwerte für Druck und Durchfluss in Szenario 1, Pumpenausgangsdruck: 6 bar, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. ....	41
Abbildung 8: Vergrößerter Ausschnitt der Messwerte von Abbildung 7. ....	43
Abbildung 9: Vergleich dreier Messungen (1, 2, 3) mit gleichen Parametern (Pumpenausgangsdruck 6 bar, Netzdruck identisch, 1x Strahlrohr schließen, Durchfluss ca. 360 l/min, Systemtrenner vorhanden).....	43
Abbildung 10: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 1, Pumpenausgangsdruck: 5 bar, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. ....	44
Abbildung 11: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 1, Pumpenausgangsdruck: 6 bar, Systemtrenner nicht eingebaut. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt hinter dem Standrohr. ....	45
Abbildung 12: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 1, Pumpenausgangsdruck: 6 bar, Systemtrenner vorhanden, dreifaches schnelles Schließen des Hohlstrahlrohrs. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.....	46
Abbildung 13: Schematisches Messszenario bei Wasserentnahme aus beiden Seiten eines Hydranten aus dem Trinkwassernetz. Die Pumpe des Fahrzeugs ist eine Magirus-Pumpe des Typs FPN 10-2000. Als Sammelstück am Eingang der Pumpe wurde ein Sammelstück A-3B mit federbelasteten RÖckschlagklappen und Vakuumbrechern genutzt. ....	47

Abbildung 14: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 1 bei der Verwendung beider Abgänge eines Hydranten, Pumpenausgangsdruck: 8 bar, Durchfluss 360 l/min, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 13, direkt vor und hinter einem Systemtrenner.....	48
Abbildung 15: Differenzdruck aus trinkwasserseitigem Druck und abgabeseitigem Druck aus Abbildung 14. Die rote Linie zeigt die Auslösedruckdifferenz des Systemtrenners. ....	48
Abbildung 16: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 1 bei der Verwendung beider Abgänge eines Hydranten, Pumpenausgangsdruck: 8 bar, Systemtrenner vorhanden. Durchfluss am Hohlstrahlrohr ca. 720 l/min. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 13, direkt vor und hinter einem Systemtrenner. ....	49
Abbildung 17: Schematisches Messszenario bei der Tankbefüllung mit verbautem elektropneumatischem Ventil mittels Trinkwassernetz. Einlauf des Tanks im oberen Bereich. ....	50
Abbildung 18: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 2, automatische Tankbefüllung, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 17, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.....	51
Abbildung 19: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 3, Pumpenausgangsdruck: 6 bar, Systemtrenner vorhanden. Standrohr mit Rückflussverhinderer und zwei Belüftern an den Abgängen. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. ....	52
Abbildung 20: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 3, Pumpenausgangsdruck: 6 bar, Systemtrenner vorhanden, Durchfluss erhöht. Standrohr mit Rückflussverhinderer und zwei Belüftern an den Abgängen. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 6, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.....	53
Abbildung 21: Schematisches Messszenario bei Wasserentnahme aus einem Fluss mittels HFS-System. Die Pumpe des Fahrzeugs ist eine Magirus-Pumpe des Typs FPN 10-2000. Als Sammelstück am Eingang der Pumpe wurde ein Sammelstück A-3B mit federbelasteten Rückschlagklappen und Vakuumbrechern genutzt. ....	54
Abbildung 22: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 4, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 21, direkt vor und hinter dem Systemtrenner.....	56
Abbildung 23: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 4, Systemtrenner vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 21, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 1.600 l/min. ....	56

Abbildung 24: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 4, Systemtrenner nicht vorhanden. Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 21, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 1.000 l/min. ....	55
Abbildung 25: Messaufbau bestehend aus Versuchstrinkwassernetz und aufgebautem Löschangriff.....	57
Abbildung 26: Nachbau eines Trinkwassernetzes für Druck- und Durchflussmessungen am IBK Heyrothsberge, links: Foto, rechts: Schema; Volumen im Netzsystem: ca.0,6 m <sup>3</sup> .....	58
Abbildung 27: Messpunkte für Druckverläufe im Trinkwassernetz und im aufgebauten Löschangriff.....	59
Abbildung 28: Messwerte für Druck und Durchfluss in Szenario 5, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 360 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 2,4 bar. ....	60
Abbildung 29: Messwerte für Druck und Durchfluss in Szenario 5, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 360 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 5,2 bar. ....	61
Abbildung 30: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 5, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 700 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 2,8 bar. ....	63
Abbildung 31: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 5, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Durchfluss ca. 360 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 2,6 bar. Strahlrohr wird dreimal schnell hintereinander geschlossen. ....	65
Abbildung 32: Vergleich Druckverläufe an verschiedenen Stellen im Ringnetz und beim Löschangriff nach Druckstoß ausgelöst durch schlagartiges Schließen eines Strahlrohrs bei Durchfluss 360 l/min. Messnummern (M1, M2, M3, M4) sind zur Nachvollziehbarkeit der gleichzeitigen Messung mit angegeben.....	66
Abbildung 33: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 5 mit einer Wasserabgabe durch 2 Hohlstrahlrohre mit Durchfluss jeweils 260 l/min, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 2,4 bar.....	67
Abbildung 34: Schematisches Messszenario bei Wasserentnahme aus dem Messnetz. Als Fahrzeug wurde ein HLF 10 mit einer FPN 10-2000 Pumpe der Firma Magirus genutzt. Als Sammelstück am Eingang der Pumpe wurde ein Klappensammelstück mit 2 B-Eingängen genutzt. Die Messpunkte 1 und 2 wurden jeweils zusammen mit der dritten Messstelle zwischen Systemtrenner und Standrohr genutzt. ....	68

- Abbildung 35: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 5 mit einer Wasserabgabe durch ein Hohlstrahlrohr mit einem Durchfluss von ca. 350 l/min, Systemtrenner vorhanden. Standort Druckmessung gemäß Abbildung 34Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner und in der Stichleitung. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 1,9 bar. .... 69
- Abbildung 36: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 5 mit einer Wasserabgabe durch ein Hohlstrahlrohr mit einem Durchfluss von ca. 280 l/min (eingestellt: 360 l/min), Systemtrenner vorhanden. Standort Druckmessung gemäß Abbildung 34Abbildung 27, direkt vor und hinter dem Systemtrenner und in der Stichleitung. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 1,3 bar. .... 70
- Abbildung 37: Schematischer Aufbau bei Wasserentnahme aus Ringnetz unter Nutzung eines Schauglases zwischen Systemtrenner und Standrohr. Die zweite hochauflösende Druckmessstelle ist am Fuß des Hydranten im Ringnetz verbaut. .... 71
- Abbildung 38: Messwerte für Druck und Durchfluss für Messaufbau wie im Szenario 5, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 27 und Abbildung 37, direkt hinter dem Systemtrenner pumpenseitig und im Ringnetz. Durchfluss ca. 330 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 3,4 bar, Pumpenausgangsdruck: 8 bar. .... 72
- Abbildung 39: extrahierte Bilder aus Videoaufnahmen kurz vor und nach dem ruckartigen Schließen des Strahlrohrs zur Erzeugung eines Druckstoßes (Zeitangabe: min : s : ms), blauer Pfeil zeigt Strömungsrichtung, lila Pfeile verdeutlichen Bewegung der Tracerbänder. .... 73
- Abbildung 40: Messwerte für Druck und Durchfluss für Messaufbau wie im Szenario 5, Systemtrenner nicht vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 37, direkt hinter dem Standrohr pumpenseitig und im Ringnetz. Durchfluss ca. 380 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 3,9 bar, Pumpenausgangsdruck: 8 bar. .... 74
- Abbildung 41: extrahierte Bilder aus Videoaufnahmen kurz vor und nach dem ruckartigen Schließen des Strahlrohrs zur Erzeugung eines Druckstoßes ohne Nutzung eines Systemtrenners (Zeitangabe: min : s : ms), blauer Pfeil zeigt Strömungsrichtung, lila Pfeile verdeutlichen Bewegung der Tracerbänder. .... 75
- Abbildung 42: Schematischer Aufbau beim Szenario Tankbefüllung mit verbautem Pneumatik-Ventil für Versuche am Ringnetz. Einlauf des Tanks ist im oberen Bereich. .... 76
- Abbildung 43: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 7, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig, direkt am Systemtrenner und im Ringnetz gemäß Abbildung 42. Durchfluss ca. 390 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 2,9 bar. Automatischer Tankbetrieb mit öffnendem (ca. 0 s) und schließendem (ca. bei 5,4 s) Pneumatik-Ventil. .... 77

Abbildung 44: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 7, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig, direkt am Systemtrenner und im Ringnetz gemäß Abbildung 42. Durchfluss ca. 180 l/min, Ausgangsdruck Wassernetz ca. 1,4 bar. Automatischer Tankbetrieb mit öffnendem (ca. 0 s) und schließendem (ca. bei 9 s) Pneumatik-Ventil. ....	78
Abbildung 45: Schematisches Messszenario bei Wasserentnahme aus Versuchsringnetz. Verwendet wurde eine Magirus-Pumpe des Typs FPN 10-2000. Als Sammelstück am Eingang der Pumpe wurde ein Klappensammelstück mit 2 B-Eingängen genutzt. Der Löschangriff wird über ein Strahlrohr an einer Drehleiter durchgeführt. ....	79
Abbildung 46: Montiertes Strahlrohr an der Leitung des Drehleiterkorbs .....	80
Abbildung 47: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 8 mit einer Wasserabgabe durch ein Hohlstrahlrohr mit einem Durchfluss von ca. 610 l/min, Systemtrenner vorhanden. Standort Druck pumpenseitig und Druck standrohrseitig gemäß Abbildung 45, direkt vor und hinter dem Systemtrenner. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 3,4 bar.....	80
Abbildung 48: Schematischer Versuchsaufbau bei großen Durchflussmengen durch die Entnahme aus zwei Oberflurhydranten an einem Brauchwassernetz. Die Wasserabgabe erfolgt über einen Wasserwerfer. ....	83
Abbildung 49: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 9 mit einer Wasserabgabe durch einen Wasserwerfer mit einem Durchfluss von ca. 2400 l/min, Systemtrenner vorhanden. Standorte der Messgeräte gemäß Abbildung 48 im rechten Zulauf zum Fahrzeug. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 3 bar.....	83
Abbildung 50: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 9 mit einer Wasserabgabe durch einen Wasserwerfer über die Laufzeit aller durchgeführten Messungen, Systemtrenner vorhanden. Standort des Messgeräts gemäß Abbildung 48 im linken Zulauf zum Fahrzeug. Ausgangsdruck Wassernetz ca. 3 bar. Die blauen Pfeile verdeutlichen etwa den Zeitpunkt der Messung aus Abbildung 49, die orangenen den Zeitpunkt der Messungen aus Abbildung 52, die grünen den Zeitpunkt aus Abbildung 53.....	84
Abbildung 51: Zweiter schematischer Versuchsaufbau bei großen Durchflussmengen durch die Entnahme aus zwei Oberflurhydranten an einem Brauchwassernetz. Die Wasserabgabe erfolgt über einen Wasserwerfer. ....	85
Abbildung 52: Messwerte für Druck und Durchfluss im Szenario 9 mit einer Wasserabgabe durch einen Wasserwerfer mit einem Durchfluss von ca. 4000 l/min, Systemtrenner vorhanden. Standorte der Messgeräte gemäß Abbildung 51 im rechten Zulauf zum Fahrzeug (4 Zuleitungen vorhanden). Ausgangsdruck Wassernetz ca. 3 bar. ....	86
Abbildung 53: Messwerte für Druck und Durchfluss bei einer Tankbefüllung im Szenario 9, manuell gestoppt, mit zwei Zuleitungen zum Fahrzeug. ....	87

Abbildung 54: Struktur des Rohrnetzmodells für die Simulationen in STANET® zur Berechnung der Strömungs- und Druckverhältnisse in einem Wasserverteilungssystem bei Löschwassarentnahme. K = Knoten, KA = ergänzter Knoten mit Abnehmern.....	91
Abbildung 55: Ausschnitt des dörflichen Rohrnetzmodells mit Kenngrößen der Wasserentnahme zwischen den Knoten 20 und 21.....	94
Abbildung 56: Löschangriff mit aufgebautem mobilen Löschwasserbehälter .....	97

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht aller Szenarien mit Kennwerten .....	38
Tabelle 2:	Wassermengen, die rechnerisch durch den Systemtrenner nach außen geleitet werden, im Szenario 5, Pumpenausgangsdruck Löschangriff 6 bar bzw. 8 bar (als Fehler ist die Standardabweichung der Messungen angegeben) .....	61
Tabelle 3:	Vergleich aufgefangener und errechneter Wassermengen, die aus dem Systemtrenner bei einem Druckstoß austreten, im Szenario 5 bei einem Netzdruck von ca. 3,3 bar .....	62
Tabelle 4:	Wassermengen, die maximal durch den Systemtrenner nach außen geleitet werden, im Szenario 5, Pumpenausgangsdruck Löschangriff 6 bar bzw. 8 bar (als Fehler ist die Standardabweichung der Messungen angegeben), bei Durchflüssen von ca. 750 ml.....	64
Tabelle 5:	Wassermengen, die maximal durch den Systemtrenner nach außen geleitet werden, im Szenario 5 bei der Nutzung von zwei zeitgleich schließenden Strahlrohren, Pumpenausgangsdruck Löschangriff 6 bar bzw. 8 bar (als Fehler ist die Standardabweichung der Messungen angegeben) .....	68
Tabelle 6:	Wassermengen, die maximal durch den Systemtrenner nach außen geleitet werden, im Szenario 8 bei der Nutzung eines schließenden Strahlrohrs, Pumpenausgangsdruck Löschangriff 6 bar bzw. 8 bar (als Fehler ist die Standardabweichung der Messungen angegeben) .....	81
Tabelle 7:	Analyseergebnisse Löschwässer aus Feuerwehrfahrzeugtanks und Grenzwerte für Trinkwasser nach TrinkwV, Grenzwertüberschreitungen sind fett dargestellt .....	88
Tabelle 8:	Analyseergebnisse Wasser aus Löschteichen und Grenzwerte für Trinkwasser nach TrinkwV, Grenzwertüberschreitungen sind fett dargestellt (Probennahme im November) .....	89
Tabelle 9:	Konzentration der mikrobiologischen Kenngrößen nach vollständiger Vermischung durch Fließen im Trinkwassernetz. ....	94
Tabelle 10:	Analyseergebnisse Löschwässer aus Feuerwehrfahrzeugtanks. Ausreißer sind blau markiert und gehen nicht in die Mittelwertberechnung ein.....	116
Tabelle 11:	Liste dokumentierter Ereignisse [13].....	117

## Anhang

### A. Analyseergebnisse Feuerwehrtanks

Tabelle 10: Analyseergebnisse Löschwässer aus Feuerwehrfahrzeugtanks. Ausreißer sind blau markiert und gehen nicht in die Mittelwertberechnung ein.

Kenngröße	Einheit	Fahrzeug				
		1	2	3	4	5
Fahrzeugalter		neu	alt	neu	neu	alt
Probenahmedatum		30.04.24	30.04.24	18.07.24	18.07.24	17.07.24
pH-Wert	-	7,60	7,64	7,84	7,54	7,65
Wassertemperatur bei Analyse	°C	14,8	19,6	24,0	24,5	23,8
Leitfähigkeit	µS/cm	591	593	610	612	592
Trübung	FNU	5,3	6,3	1,5	1,7	21,4
DOC	mg/l	15,7	24,1	4,8	7,8	3,9
SAK <sub>436</sub>	1/m	0,14	0,16	0,08	0,18	0,16
SAK <sub>254</sub>	1/m	7,14	7,60	8,48	8,50	7,22
Koloniezahl bei 22 °C	1/ml	115.117	525	680	2.990	508
Coliforme Keime	1/100 ml	145	193	141	576	15
E. coli	1/100 ml	52	90	19	81	13
Enterokokken	1/100 ml	14	76	1.304	272	64

## B. Liste dokumentierter Ereignisse

Tabelle 11: Liste dokumentierter Ereignisse [36]

<b>Datum</b>	<b>Ort</b>	<b>Ereignis</b>
22.04.2008	Leichlingen	Feuer - Schaummittel im Trinkwassernetz
08.02.2012	Spenge	Feuer - Schaummittel im Trinkwassernetz
23.02.2012	Antwerpen (BE)	Feuer - Maaswasser im Trinkwassernetz
09.06.2014	Bremerhaven	Havarie im Hafen - Weserwasser im Trinkwassernetz
31.10.2016	Nordhorn	Feuer - Schaummittel im Trinkwassernetz
27.05.2020	Hochstädt	Feuer - Gefahr durch Bachwasser im Trinkwassernetz
30.07.2021	Reichenbach / Ldkr. Tuttlingen	Feuer - Trinkwasser kontaminiert / Wasser nur für Toilettenspülung
10.09.2021	Augsburg	Feuer - Trinkwasser kontaminiert durch Schaummittel

**C. Experteninterview: Fragen im Bereich Trinkwassernutzung durch die Feuerwehr**

1. Wie lange arbeiten Sie bereits auf Ihrem jetzigen Gebiet? Und inwiefern kommen Sie dabei mit der Trinkwassernutzung/dem Trinkwasserschutz in Verbindung?
2. Ist Ihrer Meinung nach der aktuelle Schutzzustand bei der Entnahme von Trinkwasser aus dem Leitungsnetz ausreichend? In welchen Bereichen ist der Sachverhalt wie zu bewerten?
3. Wo sehen Sie Gefährdungspotentiale bei der Entnahme im häuslichen Bereich?
4. Führen Sie bitte Entnahmeszenarien aus dem Trinkwassernetz, die ein Verkeimungsrisiko oder Zerstörungsrisiko von Netzbestandteilen darstellen, an. Welcher Nutzerkreis kommt dabei in Frage?
5. Sehen Sie Probleme und wenn ja, welche bei der Nutzung von Trinkwasser durch die Feuerwehr im Löscheinsatz beim Anschluss an das Netz?
6. In welchen Fällen ist die Verwendung eines Systemtrenners Feuerwehr ausreichend bzw. nicht ausreichend zum Schutz des Trinkwassernetzes?
7. Sehen Sie eine geänderte Häufigkeit in der Beeinträchtigung der Trinkwasserversorgung seit der Einfügung des Systemtrenners Feuerwehr?
8. Sehen Sie ein Problem der Verkeimung des Rohrnetzsystems bei der Nutzung durch die Feuerwehr bei Verwendung eines Systemtrenners?
9. Wie sind eventuell auftretende Druckstöße durch die Entnahme aus dem Netz zu bewerten?
10. Wo sehen Sie Vorteile bei der Nutzung von Trinkwasser für Löschzwecke?
11. Welche Veränderungen auf Seiten der Feuerwehr und des Netzbetreibers könnten das aktuelle Sicherheitsniveau erhöhen? Und ist Ihrer Meinung nach eine Erhöhung nötig?
12. Wie wären Folgekosten der genannten Maßnahmen (wenn nötig) zu bewerten?
13. Wie dürfen potentiell die Inhalte des Interviews in Veröffentlichungen genutzt werden?
  - a) Zitation anonym mit Verweis darauf, dass das Zitat von einem Experten stammt
  - b) unter Verwendung Ihrer Stellung mit Anonymisierung Ihres Arbeitgebers
  - c) unter Verwendung Ihrer Stellung mit Nennung Ihres Arbeitgebers
  - d) unter Anonymisierung Ihrer Stellung mit Nennung Ihres Arbeitgebers