

Zumischermessungen Z2



Bild: Dr.-Ing. Holger de Vries

Jonas Kohler
Schutz & Rettung Zürich, Höhere
Fachschule für Rettungsberufe
10.9.2023

Bericht Zumischermessungen 2019/2020

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
1.1. Fahrzeugtechnik	3
1.2. Gemessene Zumischer	3
1.3. Messtechnik	3
1.4. Leitungen	3
1.5. Hohlstrahlrohr	4
1.6. Schaumextrakt	4
1.7. Abkürzungen	4
2. Zusammenfassung	5
3. Messungen von Komponenten	14
3.1. Pumpendruck	14
3.2. Zumischer Z2 DIN 14384	17
3.3. Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"	22
4. Messungen 42er-Leitung	26
4.1. Schaumabgabe 200m mit Zumischer AWG Z2 "Feindosierung"	26
4.2. Schaumabgabe mit 200m 42er-Leitung und Zumischer Z2 DIN 14384	30
4.3. Schaumabgabe mit 200m 42er-Leitung und Typ 3060 Akron Brass 95 GPM (230 LPM) In-Line Eductor 1-1/2-Zoll, Baujahr ca. 2002	33
4.4. Schaumabgabe 220m 42er-Leitung mit Zumischer AWG "Feindosierung"	36
4.5. Schaumabgabe 240 m 42er-Leitung mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"	38
4.6. Schaumabgabe 260m 42er-Leitung mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"	40
4.7. Schaumabgabe 300m 42er-Leitung mit Zumischer AWG "Feindosierung"	42
5. Messungen 52er-Leitung	45
5.1. Wasserabgabe 200m mit Zumischer Z2 DIN 14384	45
5.2. Wasserabgabe 200m mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"	48
5.3. Wasserabgabe 300m mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"	51
5.4. Wasserabgabe 300m mit Zumischer Z2 DIN 14384	53
5.5. Schaumabgabe 300m mit Zumischer Z2 DIN 14384	56
5.6. Schaumabgabe 300m mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"	59
5.7. Schaumabgabe 400m mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"	61
5.8. Schaumabgabe 500m mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"	63
5.9. Schaumabgabe 500m mit Zumischer Z2 DIN 14384	65
5.10. Schaumabgabe mit Zumischer Z2 DIN 14384 und TFT Strahlrohr	67
5.11. Wasserabgabe mit 20m 75er-Leitung, Teilstück und 200 m Leitung	69
5.12. Wasserabgabe mit 60m 75er-Leitung, Teilstück und 200 m Leitung	71
6. Messergebnisse und Analysen	73
6.1. Vergleich der Druckverluste zwischen den Zumischern	73
6.2. Druckverlustunterschiede in 42er- und 52er-Leitungen	74
6.3. Maximale Leitungslänge nach dem Zumischer Z2	76
6.4. Einfluss der Leitungslänge auf den Schaummittelbedarf	76
6.5. Einfluss der Viskosität des Ansaugmediums	77
6.6. Mindestdruck am Schaumrohr	77



6.7.	Maximaler Volumenstrom im Zumischer	78
6.8.	Druckverlustunterschiede nach Schlauchalter	78
6.9.	Schlussfolgerung für die Einsatzpraxis	79
7.	Allgemeines und Auswertungsdetails	81
7.1.	Druck Mittelwert (0.8)	81
7.2.	Druckverlusttabellen gemäss FKS	81

1. Einleitung

Zumischermessungen der Höheren Fachschule für Rettungsberufe am 29.11.2019 und am 31.03.2020 auf dem Gelände der ARA Werdhölzli in Zürich. Die Schaumabgabe erfolgte in ein Stapelbecken und wurde nach den Messungen durch Mitarbeiter der ARA, kontrolliert in den Abwasserreinigungsprozess eingeleitet. Gemäß Tagesanordnung sollten zuerst die Messungen an der Pumpe und den Zumischern durchgeführt werden, um eine Grundlage für die späteren Messungen mit Schaumsystemen zu schaffen. Danach folgten die Messungen mit 42er-Leitungen und zum Schluss diejenigen mit den 52er-Leitungen.

Die Messungen ergänzen eine Messreihe von Dr.-Ing. Holger de Vries, von welcher unter dem Namen "Seesen-Versuche" eine breite Öffentlichkeit erfahren hat. Sie ist auf das Standardmaterial der deutschen Feuerwehren ausgerichtet (Z4) und beinhaltet keine Messungen mit Z2-Zumischern.

Die hier beschriebene Messreihe soll diese Lücke schliessen und als Ergänzung dienen. Holger de Vries begleitete die Messreihe sowohl persönlich wie auch als Lektor und wissenschaftlicher Begleiter während den Arbeiten an dieser Dokumentation.

1.1. Fahrzeugtechnik

Tanklöschfahrzeug TLFA 3000/300 AT der Firma Rosenbauer, Baujahr 2015 mit Pumpe Rosenbauer N 35 gemäss EN 1028. Diese ist als FPN 10-3000 zertifiziert. Der Hersteller gibt eine maximale Ausstossrate von 3500 l/min und einen Schliessdruck von 16 bar an.

1.2. Gemessene Zumischer

Zumischer Z2FD: Ein Zumischer Z2 FD EN 16712-1 der Firma AWG mit Baujahr 2019.
ID-Nr. 202 326 33

Zumischer Z2R: Zumischer der Firma AWG nach DIN 14384 mit Baujahr 1980.

Zumischer USA: Typ 3060 Akron Brass 95 GPM (230 LPM) In-Line Eductor 1-1/2-Zoll auf C-Kupplung, Baujahr ca. 2002.

TABLE II (METRIC)

SYSTEM FLOW	HOSE SIZE	3% - 6% SOLUTION		UP TO 1% SOLUTION	
		MAXIMUM HOSE LAY/ELEVATION		MAXIMUM HOSE LAY/ELEVATION	
		7 bar 700 kPa Nozzle	5 bar 500 kPa Nozzle	7 bar 700 kPa Nozzle	5 bar 500 kPa Nozzle
230 LPM	38mm	120M/3M	210M/3M	180M/3M	255M/3M
		60M/15M	150M/15M	105M/15M	195M/15M
		-----	75M/30M	30M/30M	105M/30M
		180M/3M	315M/3M	270M/3M	405M/3M
		90M/15M	225M/15M	165M/15M	330M/15M
	45mm	-----	105M/30M	45M/30M	165M/30M

Tabelle 1: Quelle: Auszug aus Datenblatt des Zumischers Akron Brass 95 GPM

1.3. Messtechnik

Die messtechnische Aufnahme erfolgte bei allen Messungen mit Druckloggern und einem Ultraschall-Durchflussmessgerät mit Drucksensor der Firma Riwaterc. Bei den Druckloggern handelte es sich um Sebalog P-3 und P-3-Mini, die von 0 bis 25 bar eingesetzt werden können und einen Logintervall von 1 s haben.

Der Volumenstrom wurde mit einem Krohne Waterflux 3100 gemessen.

1.4. Leitungen

Es wurden für die Messungen jeweils 20 Meter lange Schläuche mit den Durchmessern 42mm und 52mm verwendet.

1.5. Hohlstrahlrohr

Leader TFT Multiforce 400 P mit Multischaumadapter MX FOAM.

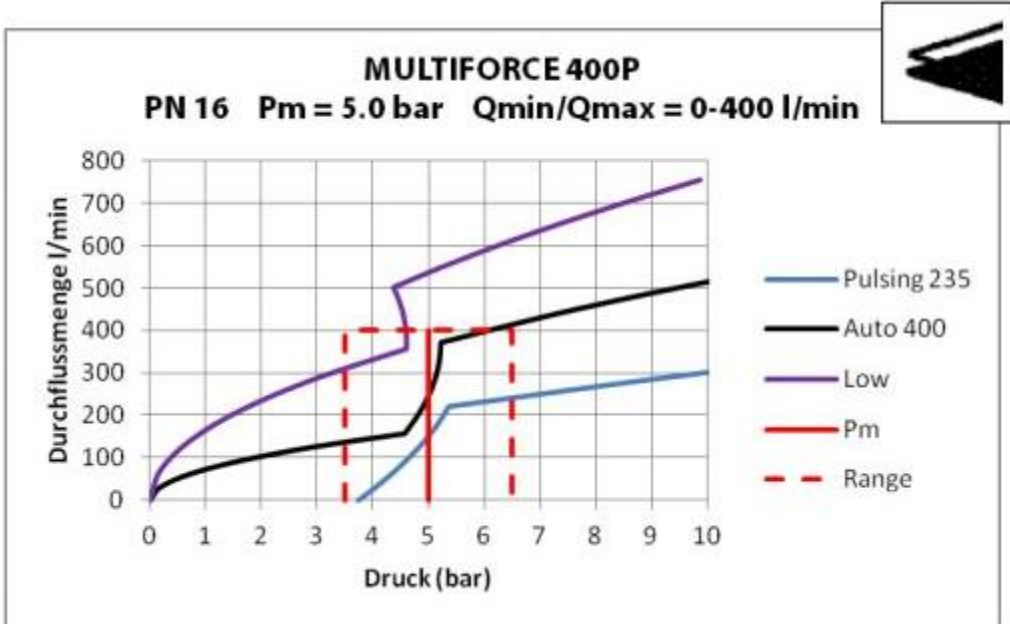


Bild 1: Durchflussdiagramm Multiforce 400 P (Quelle: Leader GmbH)

1.6. Schaumextrakt

Hersteller: Dr. Stahmer, Hamburg

Bezeichnung: Moussol –APS 3/3 F-15 #3341

Eigenschaften: Alkoholbeständiges AFFF-Schaumlöschmittel mit einer empfohlenen Einsatzkonzentration von 3%.

Hergestellt: 2019

1.7. Abkürzungen

ABC	Atomar, Biologisch, Chemisch
ARA	Abwasserreinigungsanlage
FKS	Feuerwehr Koordination Schweiz
LAV	Löschmittelabgabevorrichtung
TLF	Tanklöschfahrzeug
p	Druck in bar
q	Durchfluss in l/min
WVZ	Wasserversorgung Zürich

2. Zusammenfassung

Durch die Höhere Fachschule für Rettungsberufe (HFRB) von Schutz & Rettung Zürich wurden am 29.11.2019 sowie am 31.03.2020 Messreihen zu taktischen Einsatzlängen für das Löschmittel Schaum durchgeführt. Daraus resultierten erstaunliche Ergebnisse!

Ausgangslage

Die HFRB leistet mit der Aus-, Fort- und Weiterbildung von Rettungsprofis sowie Milizformationen einen wichtigen gesamtgesellschaftlichen Beitrag. Als führendes Kompetenzzentrum setzt sie Massstäbe, sowohl in der Bildung als auch in der Praxis des Feuerwehr- und Rettungswesens. Fachgruppen nehmen sich immer wieder Problemen und Fragestellungen aus der Ausbildung und dem Einsatz an und versuchen Lösungen zu finden. Eine Frage, die immer wieder zu hitzigen Fachdiskussionen führte, war die mögliche Länge von Schwer- und Mittelschaumleitungen ab Zumischer Z2. Welcher Feuerwehrmann hat daran nicht schon aktiv teilgenommen oder war einfach nur irritierter Zuhörer beim Erfahrungsaustausch unter Kollegen. Eine Fachgruppe unter der Leitung von Jonas Kohler und Sandro Stampfli hat sich im Jahr 2019 mit dieser Thematik auseinandergesetzt. Hauptziel der Fachgruppe war es herauszufinden, bei welcher maximalen Leitungslänge noch einsatzfähiger Schwer- und Mittelschaum abgegeben werden kann.

Recherchen zum Thema waren im ersten Moment wenig ergiebig. So werden aktuell in der Schweiz geltende Informationen zum Thema Schaum im Reglement Basiswissen sowie im Handbuch für ABC-Einsätze in geringem Umfang abgebildet, jedoch ohne Quellenbezug oder detaillierte Angaben. Auch Ausbildungsunterlagen an der HFRB zu diesem Thema überführen seit Jahren Informationen, ohne diese zu hinterfragen oder zu verändern. Genauso verhält es sich mit öffentlich zugänglichen Ausbildungsunterlagen in der Schweizer Feuerwehrlandschaft. Unzählige Dokumente werden seit Jahren von Auflage zu Auflage, von Ausbilder zu Ausbilder übernommen. Häufig wird in der Schweiz die Lehrmeinung vertreten, dass maximal 4 Schlauchlängen à 20 Meter mit dem Schlauchdurchmesser 52mm ab Z2-Zumischer möglich sind. Ebenfalls hält sich die Aussage, dass mit einer 42mm Schlauchleitung kein Schaum abgegeben werden kann, hartnäckig in den Feuerwehren, wie auch an der HFRB. Die FKS nimmt im Reglement Basiswissen sowie im Handbuch für ABC-Einsätze keinen Bezug zu den Leitungslängen, schreibt jedoch einen Leitungsdurchmesser von 55mm vor. Die Grafik in Kapitel 6.8.7 (Bild 2) lässt jedoch bei oberflächlicher Betrachtung die Interpretation zu, dass zwischen Zumischer und Schaumrohr nur ein einziger Schlauch eingebaut werden darf.

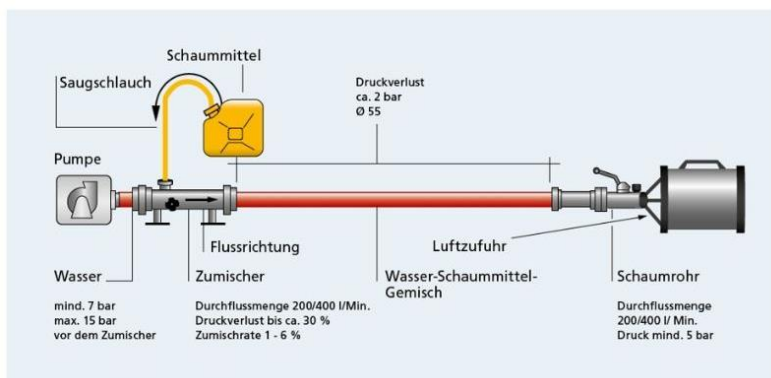


Bild 2: Aufbau Schaumleitung (Quelle: Reglement Basiswissen, Feuerwehrkoordination Schweiz)

Nach unserer Recherche lässt sich sagen, dass die meisten, heute verbreiteten, Aussagen und Lehrmeinungen in der Schweiz sowie in Europa auf die 1930er/1940er-Jahre zurückgehen.

Eine Ausnahme bildete bei diesen Arbeiten ein Fachvortrag an einem Feuerwehr-Onlinekongress. In diesem hielt Holger de Vries aus Deutschland ein Referat darüber, Versuche von Leitungslängen bei Schaumeinsätzen zu ermöglichen. Der Autor von diversen Fachbüchern zum Thema Feuerwehr hatte diese unter dem Namen "Seesen-Versuche" durchgeführt und ausführlich dokumentiert (siehe Bild 2). Allerdings wurden die Versuche mit den in Deutschland üblichen Z4/M4-Armaturen und nicht mit den hier gebräuchlichen Z2/M2 durchgeführt.

Aus einer Anfrage durch die Fachgruppe entstand ein reger Kontakt und Austausch mit de Vries in dessen Verlauf sich immer klarer herausstellte, dass es keine verlässlichen Informationen zu diesem Thema gibt. So entstand der Plan, aufbauend auf den "Seesen-Versuchen" eine eigene Messreihe mit dem in der Schweiz üblichen Equipment durchzuführen, genau um diesen blinden Fleck in der Ausbildung zu beseitigen. Holger de Vries stellte sich glücklicherweise zur Verfügung und begleitete die Arbeit dieser Fachgruppe über eine lange Zeit. Auf seine Unterstützung konnten wir auch mit seinem Fachwissen, als Lektor und wissenschaftlicher Begleiter während den Arbeiten an dieser Dokumentation bauen.

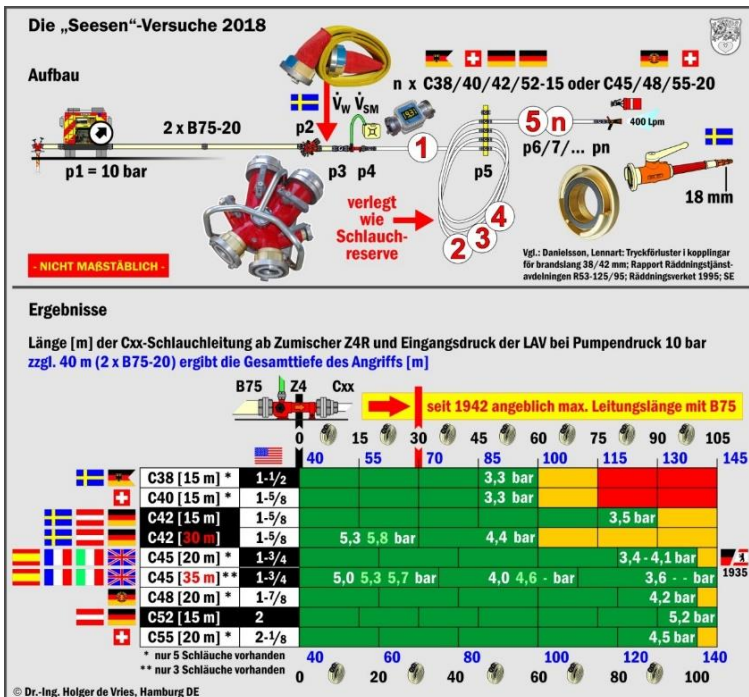


Bild 3: Aufbau und Ergebnisse der "Seesen"-Versuche (Holger de Vries)

Ziel der Messreihe

Mit dieser Messreihe wollten die Verfasser aktuell geltende Ausbildungsrichtlinien hinterfragen. Sowohl die maximal mögliche Leitungslänge wie auch der Leitungsdurchmesser sollten überprüft werden. Die Messungen sollten so geplant, durchgeführt und dokumentiert werden, dass sie wissenschaftlich fundierte Ergebnisse liefern. Diese Ergebnisse werden danach in die Ausbildung an der HFRB einfließen und veröffentlicht. So kann ein breites Publikum von der Grundlagenarbeit dieser Fachgruppe profitieren und im besten Fall kann sogar eine Veränderung in der Schweizer Feuerwehrausbildung herbeigeführt werden.

Ablauf der Messungen

Am 29.11.2019 und am 31.03.2020 wurden auf dem Gelände der ARA Werdhölzli in Zürich die geplanten Messreihen aufgebaut und durchgeführt. Die Messversuche fanden jeweils am Morgen bei ca. 8°C Bodentemperatur auf ebenem Untergrund statt. Die Schläuche wurden - so weit möglich - gestreckt ausgelegt und unter Druck genommen, um einen Druckverlust durch viele Radien zu vermeiden. Die Schaumabgabe erfolgte in ein Stapelbecken und wurde nach den Messungen durch Mitarbeiter der ARA kontrolliert in den Abwasserreinigungsprozess eingeleitet.



Bild 4: Leitungsbau (Holger de Vries)

Die messtechnische Aufnahme sämtlicher Messungen erfolgte mit Druckloggern und einem Ultraschall-Durchflussmessgerät mit Drucksensor der Firma Riwaterc, welche durch einen Techniker bedient und überwacht wurden.



Bild 5: Ultraschallmessgerät (Holger de Vries)



Bild 6: Drucklogger (Holger de Vries)

Um dem Einfluss von verschiedenen Zumischer-Generationen auf den Druckverlust untersuchen zu können, wurden drei verschiedene Zumischer in die Versuchsreihe aufgenommen:

Zumischer Z2FD: Zumischer Z2 FD EN 16712-1 der Firma AWG, Baujahr 2019
ID-Nr. 202 326 33

Zumischer Z2R: Zumischer der Firma AWG nach DIN 14384, Baujahr 1980

Zumischer USA: Typ 3060 Akron Brass 95 GPM (230 LPM) In-Line Eductor 1-1/2-Zoll auf C-Kupplung, Baujahr ca. 2002

Von der Firma Dr. Stahmer, Hamburg, wurde das sehr weit verbreitete Schaumextrakt Moussol-APS 3/3 F15 #3341, aus dem Produktionsjahr 2019 direkt vom Lieferanten verwendet. Beim Schaumextrakt handelte es sich um ein alkoholbeständiges und wasserfilmbildendes Schaummittel (AFFF). Die empfohlene und getestete Zumischrate liegt bei 3 Prozent.

Für die Schaumabgabe wurde ein Kombischaumrohr S2/M2 der Firma AWG direkt ab Werk sowie ein seit 10 Jahren im Übungsdienst stehendes Kombischaumrohr desselben Typs verwendet. Ebenfalls wurde die Schaumabgabe mit einem Automatikstrahlrohr Leader TFT Multiforce 400 P mit Multischaumadapter MX FOAM durchgeführt. Zusätzlich wurden Versuche mit dem Automatikstrahlrohr Leader TFT Multiforce 400 P sowie einem Hohlstrahlrohr AWG TS 2235C zur Abgabe von Schwerschaum, ohne Schaumaufsatz durchgeführt.

Für die Messversuche wurden jeweils 20 Meter lange Schläuche mit den Durchmessern 42mm und 52mm verwendet. Alle Schläuche waren aussen- und innengummiert. Die Versuche wurden jeweils mit fabrikneuen Feuerweherschläuchen (Produktion 2018) durchgeführt sowie mit Feuerweherschläuchen (Produktion 1998), welche bereits bei Einsätzen und Übungen zum Einsatz kamen. Bevor die eigentlichen Messungen mit Schaumarmaturen starten konnten, wurden zwei Referenzmessungen an der TLF-Pumpe durchgeführt. So konnte die Genauigkeit der Pumpensteuerung sowohl im dynamischen wie auch im statischen Betrieb protokolliert werden. Dies machte das Ganze nachvollziehbar, damit später im Verlauf der Messungen kein unerwünschter Einfluss auf die Ergebnisse vorliegen könnte. Im Anschluss wurden Messungen an sämtlichen an der Messreihe beteiligten Löschwasserarmaturen wie Zumischer, Feuerweherschläuchen oder Löschmittelabgabevorrichtungen (LAV) vorgenommen.

Aufbau der Messreihe

Am Seitenabgang des TLF wurden direkt mittels Übergangsstück die zu messenden Zumischer mit den entsprechenden Messgeräten angebracht. Nach einer 20m langen Schlauchleitung wurde der Volumenstrommesser mit integriertem Drucklogger eingebaut. Im Anschluss an den Volumenstrommesser folgten in festgelegten Abständen weitere Drucklogger zur Dokumentierung der Drücke.

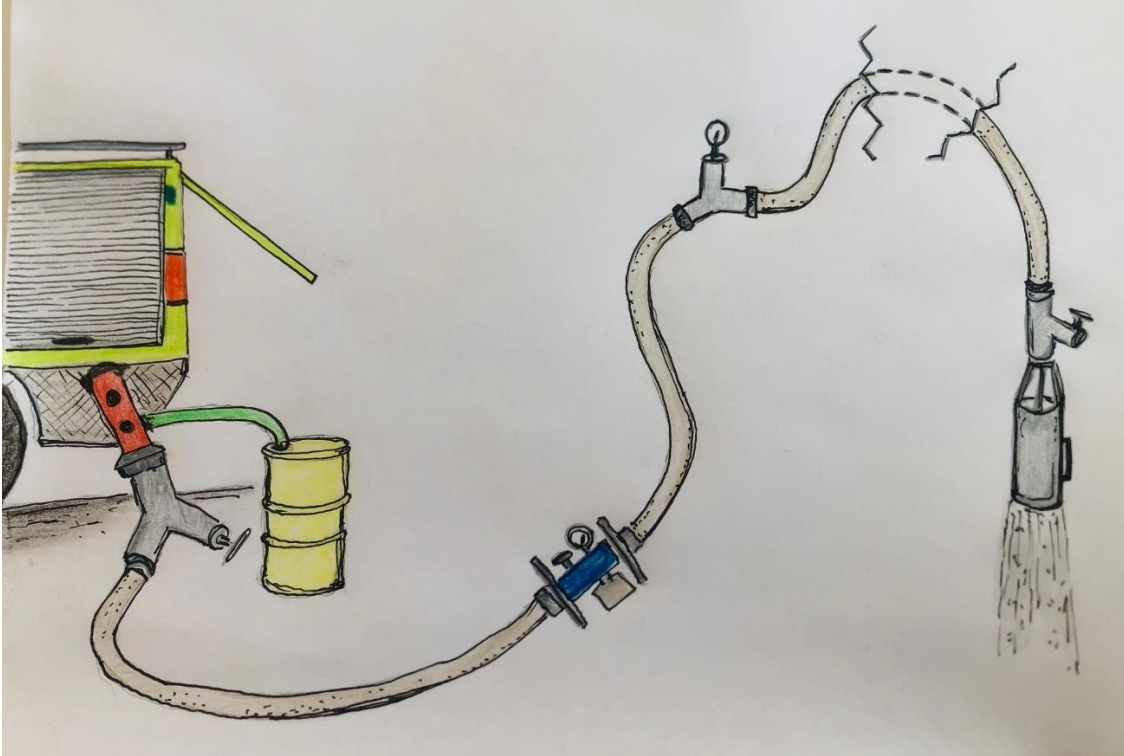


Bild 7: Schematischer Aufbau der Messversuche (Quelle: Thomas Welti)

Überprüfung der Schaumqualität

Eine wissenschaftliche Überprüfung der vorhandenen Schaumqualität ist nur schwer umsetzbar. Gemäss der DIN EN 1568 und der DIN 14272 wird keine normative Fließ- oder Haftigkeit gefordert. Ebenfalls ist die Wasserhalb- und Wasserviertelzeit sowie der Abbrandwiderstand des Schaums nur sehr oberflächlich geregelt. Dadurch wurde entschieden, die Schaumqualität in erster Linie visuell zu prüfen. Dabei ging es um die Überprüfung der Haftung an einer senkrechten Betonwand sowie der Schichthöhe des Schaumteppichs. Zusätzlich wurde mit Eimern die Wasserhalbzeit grob überprüft.



Bild 8: Schaum 30 min. nach Abgabe mit M2-Rohr (Quelle: Jonas Kohler)

Messergebnisse

Die Messreihe hat nun verblüffende Ergebnisse ans Tageslicht gebracht.

Bei 10 bar Pumpendruck konnten bei den Messungen mit 42er-Leitungen 200m Schlauch zwischen dem Zumischer und dem Schaumrohr eingebaut werden.

Mit 52er Leitungen wurden sogar 500m erreicht. Bei den vorhandenen Werten erfolgte eine konstante Schaumabgabe mit einer, visuell beurteilten, einsatztauglichen Qualität. Diese Leitungslängen wurden sowohl mit fabrikneuen als auch mit alten Schläuchen erreicht. Der Druckunterschied zwischen den unterschiedlich alten Leitungen war nicht im messbaren Bereich. Die maximale Leitungslänge wurde bewusst mit 10 bar Abgangsdruck ermittelt, da jede Feuerwehr mit ihren Mitteln diesen Pumpenausgangsdruck erreichen kann.

Messungen mit höherem Pumpendruck waren durchaus ebenso erfolgreich, es kam aber auch zu scheinbar willkürlichen Abbrüchen im Ansaugvorgang am Zumischer. Bei der Analyse dieser Messungen fiel auf, dass dieses Ansaugverhalten bei einer Druckdifferenz von ca. 8 bar zwischen Zumischer und Schaumrohr auftrat. Diese Differenz kann auch als "Gegendruck" im Zumischer betrachtet werden und verhindert gemäss Recherchen den zum Ansaugen nötigen Unterdruck zwischen Treib- und Fangdüse (siehe auch "Schaummittel-Zumischer" von Holger de Vries, Ecomed-Verlag).

Bei den oben genannten maximalen Leitungslängen ist jedoch der im Reglement Basiswissen geforderte Mindestdruck von 5 bar am Schaumrohr nicht erreichbar. Die Druckverluste im System sind zu hoch. Die Messungen haben jedoch gezeigt, dass mit dem eingesetzten Schaummittel ab ca. 3 bar Druck am Schaumrohr ein qualitativ guter Schaum abgegeben werden kann. Darunter kann wohl Schaum erzeugt werden, aber die Verschäumung ist deutlich schlechter und der Schaum damit "nasser". Eine Erhöhung von 3 auf 5 bar hat keine erkennbare Veränderung der Schaumqualität ergeben. Diesbezüglich erläuterten Nachforschungen, dass es sich beim geforderten Mindestdruck von 5 bar nach FKS um den sogenannten Referenzdruck (siehe nächster Abschnitt) handelt. Bei der weiteren Literaturrecherche wurden auch Dokumente und Herstellerinformationen gefunden, in welchen schon seit längerem der ideale Betriebsdruck zwischen 3 und 5 bar am Schaumrohr niedergeschrieben war. So auch bei der Firma AWG Fittings GmbH.

Der oben erwähnte Referenzdruck dient der Normung und regelt die geforderte Durchflussmenge von 200 l/min bei einem Z2-Zumischer. Die protokollierten Werte des Volumenstrommessers belegen eindeutig, dass auch ein höherer Volumenstrom nach dem Zumischer möglich ist. Bei allen Messungen fiel auf, dass der Volumenstrom der Zumischer stark vom Nennvolumenstrom (200 l/min) abweicht. Bei neueren Zumischern nach EN 16712 ist eine Abweichung von -0 bis +20% zulässig, für die älteren Zumischer nach EN 14384 ist keine Toleranz in der Norm enthalten. Interessanterweise hat der neue Zumischer AWG "Feindosierung" bei den Messungen mit 42mm Feuerwehrschräuchen aber deutlich geringere Volumenströme von teilweise unter 180 l/min erreicht. Bei den Messungen mit 52mm Feuerwehrschräuchen waren hingegen alle Abweichung positiv. Es wurden Volumenströme erreicht, die bis 25% höher waren als der Nennvolumenstrom, was gemäss der Norm nicht zulässig ist. Woher solche Abweichungen kommen, konnte in dieser Messreihe nicht eindeutig geklärt werden. Nachforschungen lassen aber die Vermutung offen, dass sich die Zumischer bei solchen Leitungslängen nicht gemäss Norm verhalten.

Keine Beachtung fand bei dieser Messreihe jedoch die Tatsache, dass solch lange Leitungen einen starken Einfluss auf die benötigte Menge Schaumextrakt haben. Schliesslich müssen die Leitungen erst mit einem Wasser-/Schaummittelgemisch gefüllt

werden, bevor überhaupt Schaum erzeugt werden kann. Gerade bei Einsätzen von Feuerwehren mit minimalem Schaummittelvorrat auf den Fahrzeugen ist das eine nicht zu unterschätzende Grösse für den Einsatz mit längeren Leitungen. Bei 42mm Feuerwehrschräuchen gehen wir von ca. 27,7 Liter Inhalt pro Schlauch aus.

Bei einer Leitungslänge von 200m entsprechend knapp 280 Liter. Mit einer Zumischrate von 3% werden also 8,3 Liter Schaumextrakt benötigt, bis nur schon die Leitung geflutet ist. 52mm Feuerwehrschräuche haben auf 20m Leitungslänge einen Schlauchinhalt von bereits 42,5 Liter. Pro 100m Leitungslänge kommt so 212,5 Liter-Gemisch zusammen, welches bei einer Zumischrate von 3% 6,4 Liter Schaumextrakt benötigt. Umgerechnet auf die maximale Leitungslänge ergeben sich so 31.9 Liter Schaumextrakt für das erstmalige Fluten der Leitung.

Schlussfolgerung

Die Messungen haben gezeigt, dass die bisherigen Ausbildungsgrundsätze in der Schweiz überdacht werden müssen. Sowohl die Aussage, dass nur mit 52er Leitungen Schaum erzeugt werden kann, als auch diejenige, dass nach dem Zumischer maximal 60-80 m Leitung gebaut werden dürfen, sind widerlegt worden.

Die Vorgabe des Reglements Basiswissen, dass am Schaumrohr mindestens 5 bar nötig sind, um Schaum zu erzeugen, hat sich ebenfalls nicht bestätigt. So ist bereits ab 3 bar, ein qualitativ guter Schaum möglich. Diese Abweichung von 40% kann im Einsatz durchaus wichtig sein. In Zukunft sollte in den Ausbildungsunterlagen der Mindestdruck am Schaumrohr auf 3 bar korrigiert werden, da sich Feuerwehrleute erfahrungsgemäss stark an solchen Zahlen orientieren und im praktischen Einsatz nicht experimentieren.

Der vom Reglement Basiswissen angenommene Druckverlust von 35% im Z2-Zumischer hat sich in unseren Messungen als zutreffend erwiesen. Der Volumenstrom kann jedoch deutlich von den angenommenen 200 l/min abweichen. Die Messungen haben Differenzen von -20% bis +25% ergeben. Die Abweichung nach unten stellt für den Einsatz kein Problem dar, da einfach die Zeit bis zum Abdecken des Brandgutes grösser wird, der Feuerwehrmann im Einsatz aber vermutlich nichts davon merkt. Bei der Abweichung von +25% steigt die Einsatzrelevanz dieser Information aber plötzlich an. So kann bei grösseren Schaumeinsätzen durchaus wichtig sein zu wissen, wie lange der Schaummittelvorrat auf dem Schadenplatz noch reicht. So kann die kalkulierte Einsatzdauer bis zum benötigten Nachschub um mehrere Minuten verkürzt werden, wenn ein Zumischer derart hohe Volumenströme zulässt. Dieser Umstand sollte bei Ausbildungen des Kadern der Feuerwehren zum Thema Schaum vermehrt thematisiert und vertieft werden.

Da die üblichen Faustregeln für Druckverluste in Feuerwehrschräuchen für hohe Volumenströme gültig sind, was gerade im Einsatz zur Brandbekämpfung Sinn macht, sollten für den Schaumeinsatz mit Z2-Zumischern neue Faustregeln definiert werden. Beim Einsatz von 42mm Feuerwehrschräuchen gilt dann bei einem Volumenstrom von 220 l/min ein Druckverlust von 0,5 bar pro 20 m, oder 2,5 bar pro 100 m Leitungslänge. Beim Einsatz von 52mm Feuerwehrschräuchen sind es nur noch ungefähr 0,7 bar pro 100m Leitungslänge. Rundet man diesen Wert auf 1 bar pro 100m auf, ist man auf jeden Fall sicher, dass Schaum erzeugt werden kann, auch wenn kleinere Höhendifferenzen ins Spiel kommen, die nicht zu berechnen sind.

Für alle Berechnungen gilt weiterhin die Tatsache, dass zusätzlich zum Druckverlust durch Reibung noch 1 bar Druckverlust pro 10m Höhendifferenz hinzukommen. Der Druckgewinn durch abfallendes Gelände kann nur miteingerechnet werden, wenn an keinem Punkt der Schaumleitung der statische Gegendruck von 8 bar erreicht wird. Denn dies lässt den Ansaugvorgang abbrechen, auch wenn beim Schaumrohr der Druck wieder zunimmt.

Faustregeln für den Druckverlust im Schaumeinsatz:

42er

$$\text{Druckverlust in der Leitung} = \frac{2,5 \text{ bar}}{100\text{m Leitungslänge}} +/\text{-} \frac{1 \text{ bar}}{10\text{m Höhendifferenz}}$$

52er

$$\text{Druckverlust in der Leitung} = \frac{1 \text{ bar}}{100\text{m Leitungslänge}} +/\text{-} \frac{1 \text{ bar}}{10\text{m Höhendifferenz}}$$

Maximal zulässiger Druckverlust

$$\text{Druckverlust in der Leitung} + \frac{1}{3} \text{ Pumpendruck (Zumischerverlust)} \approx \text{max. 8 bar}$$

Was bedeuten die Resultate für den Feuerwehreinsatz:

- Schaumabgabe ist mit 42er-Leitungen problemlos möglich.
- 3 bar am Schaumrohr sind ausreichend für einen qualitativ guten Schaum.
- Der Druckverlust vom Zumischer zum Schaumrohr darf 8 bar nicht überschreiten.
- Leitungslängen bis 200m 42er und 500m 52er nach dem Zumischer sind möglich.

Liste aller Messungen

Kap.	p(Pumpe) [bar]	Zumi	ZR [%]	Medium	Länge [m]	Typ	LAV	VotStr [L/min]	p(LAV)		Kap.
									Manometer [bar]	Logger [bar]	
4.1	10	Z2-FD	3	SM	200	C42-20	KSR2	187	3.6	3.6	4.1
4.2	10	Z2R	3	SM	200	C42-20	KSR2	179	3.4	3.4	4.2
4.3	10	Akron	3	SM	200	C42-20	KSR2	175	3.4	3.4	4.3
4.4	16	Z2-FD	3	SM	220	C42-20	KSR2	225	5.7	5.7	4.4
4.5	16	Z2-FD	3	SM	240	C42-20	KSR2	220 -		5.4	4.5
4.6	10	Z2-FD	3	SM	260	C42-20	KSR2	225 -		5.7	4.6
4.7	10	Z2-FD	3	SM	300	C42-20	KSR2	220 -		5.5	4.7
5.1	10	Z2R	3	W	200	C52-20	KSR2	209	5.5	6	5.1
5.1	12	Z2R	3	W	200	C52-20	KSR2	235	6.5	7	5.1
5.1	16	Z2R	3	W	200	C52-20	KSR2	260	9.7	10	5.1
5.2	10	Z2-FD	3	W	200	C52-20	KSR2	190	4.6	5	5.2
5.2	12	Z2-FD	3	W	200	C52-20	KSR2	202	5.6	6	5.2
5.2	16	Z2-FD	3	W	200	C52-20	KSR2	230	8	8	5.2
5.3	10	Z2-FD	3	W	300	C52-20	KSR2	187	4.5	5	5.3
5.3	12	Z2-FD	3	W	300	C52-20	KSR2	203	5.8	6.5	5.3
5.3	16	Z2-FD	3	W	300	C52-20	KSR2	233	7.7	8.5	5.3
5.4	10	Z2R	3	W	300	C52-20	KSR2	247	5.2	6	5.4
5.4	12	Z2R	3	W	300	C52-20	KSR2	222	6.2	7	5.4
5.4	16	Z2R	3	W	300	C52-20	KSR2	254	8.6	9.5	5.4
5.5	10	Z2R	3	SM	300	C52-20	KSR2	251	5.4	5.5	5.5
5.5	12	Z2R	3	SM	300	C52-20	KSR2	227	6.3	7	5.5
5.5	16	Z2R	3	SM	300	C52-20	KSR2	247	9.2	9.5	5.5
5.1	10	Z2-FD	3	SM	300	C52-20	KSR2	182	3.5	3.5	5.1
5.6	12	Z2-FD	3	SM	300	C52-20	KSR2	200	4.5	4.5	5.6
5.6	16	Z2-FD	3	SM	300	C52-20	KSR2	227	4.7	6	5.6
5.7	10	Z2-FD	3	SM	400	C52-20	KSR2	184	3.7	3.5	5.7
5.7	12	Z2-FD	3	SM	400	C52-20	KSR2	202	4.2	4.5	5.7
5.7	16	Z2-FD	3	SM	400	C52-20	KSR2	228	5.5	5.5	5.7
5.8	10	Z2-FD	3	SM	500	C52-20	KSR2	172	2.5	3	5.8
5.8	12	Z2-FD	3	SM	500	C52-20	KSR2	189	3.2	3.5	5.8
5.8	16	Z2-FD	3	SM	500	C52-20	KSR2	209	4.6	5	5.8
5.9	10	Z2R	3	SM	500	C52-20	KSR2	150	1.5	3	5.9
5.9	12	Z2R	3	SM	500	C52-20	KSR2	202	2.5	3.8	5.9
5.9	16	Z2R	3	SM	500	C52-20	KSR2	242	5	5.5	5.9
5.10	10	Z2R	3	SM	500	C52-20	HSR-TFT	155 -		5.6	5.10
5.10	12	Z2R	3	SM	500	C52-20	HSR-TFT	176 -		6	5.10
5.10	16	Z2R	3	SM	500	C52-20	HSR-TFT	223 -		7.4	5.10
5.11	16	Z2R	3	SM	20 + 200	B75-20 C52-20	KSR2	279	8.5	9.1	5.11
5.12	16	Z2R	3	SM	60 + 200	B75-20 C52-20	KSR2	278	8.5	9	5.12

Tabelle 2: Ergebnisse der Messungen (Holger de Vries)

3. Messungen von Komponenten

3.1. Pumpendruck

Ziel

Erstellen eines Druckbildes der Pumpe, damit das Verhalten für die weiteren Messungen sowohl statisch als auch dynamisch bekannt ist.

Messaufbau

Am Seitenabgang des TLF wird mittels Übergangsstück 75/110 ein Sammelstück montiert. Darauf wird ein Manometer der Wasserversorgung Zürich (WVZ) mit Digitalanzeige, sowie ein Drucklogger angebracht. Das Manometer der WVZ dient zu Beginn dieser Messreihe als zusätzliche Kontrolle, um die Genauigkeit der Drucklogger zu überprüfen.

Ablauf der Messung

Die Messeinrichtung wird am linken Seitenabgang des TLF angeschlossen und zuerst die statische Druckmessung durchgeführt. Der automatische Tankumlauf ist ausgeschaltet und bei Bedarf wird am rechten Seitenabgang mittels Hohlstrahlrohr erwärmtes Wasser aus der Pumpe abgegeben.

Im zweiten Teil der Messung wird am dritten Abgang der Messeinrichtung eine Leitung aus zwei 75er-Schläuchen mit Druckvernichter am Ende angeschlossen und voll geöffnet. Die Pumpe wird während beiden Messungen in Schritten von jeweils 1 bar bis zum Erreichen des Schliessdrucks hochgefahren.

Ergebnis

Beim statischen Betrieb betragen die Abweichungen des Druck-Mittelwertes (0.8) (siehe Kapitel 7.1) von den eingestellten Werten an der Pumpe -0,136 bar bis +0,129 bar (siehe Diagramm 1). Abweichungen in diesem Bereich können als Messtoleranz angesehen und für weitere Messungen als irrelevant betrachtet werden. Für den praktischen Einsatz sind sie ebenfalls vernachlässigbar.

Im dynamischen Betrieb waren die Abweichungen vom eingestellten zum gemessenen Druck leicht höher. Erwartungsgemäss lag der Druck leicht tiefer als der eingestellte Wert. Die maximalen Abweichungen betragen -0,409 bar bis +0,085 bar (siehe Diagramm 2). Durch den höheren Volumenstrom, die dem Messaufbau geschuldet ist, kommt die Pumpe mit höheren Abgangsdrücken immer mehr an die Leistungsgrenze.

Entsprechend sinkt der tatsächliche Ausgangsdruck immer weiter ab und erreicht bei 14 bar Solldruck nur noch etwa 13,6 bar. Aus demselben Grund kann der Schliessdruck von 16 bar nicht mehr erreicht werden und die Messung endet bei 14 bar Ausgangsdruck. Die zur Kontrolle angebrachten Drucklogger der Wasserversorgung Zürich wurden während beider Messungen manuell abgelesen und dokumentiert. Die Abweichungen der Ablesung vom Druck-Mittelwert (0.8) betrug maximal 0,6 bar. Dieser Wert kann mit kurzzeitigen Druckschwankungen erklärt werden und bestätigt die Messwerte der eingesetzten Drucklogger.

Diagramm 1:

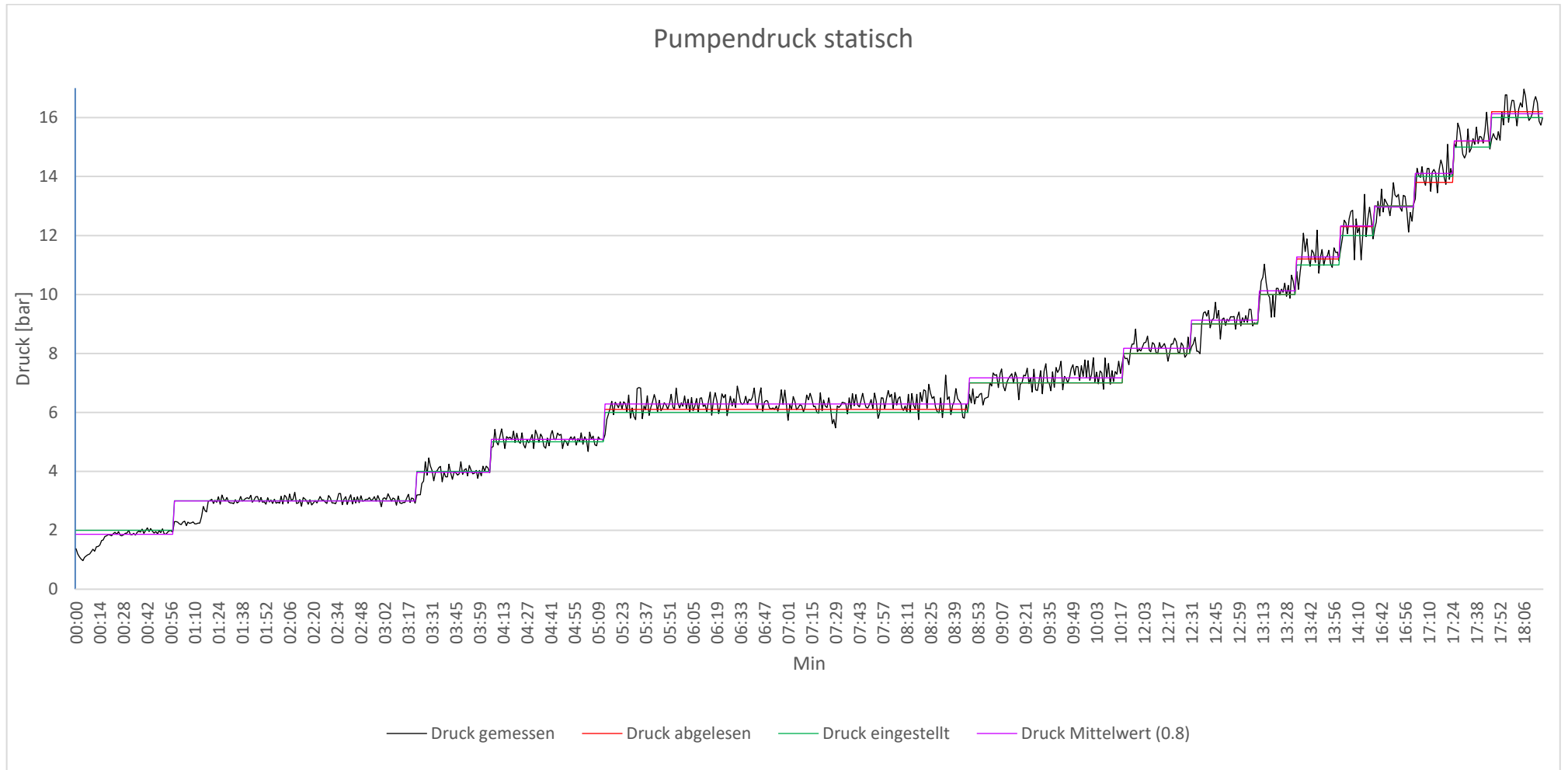
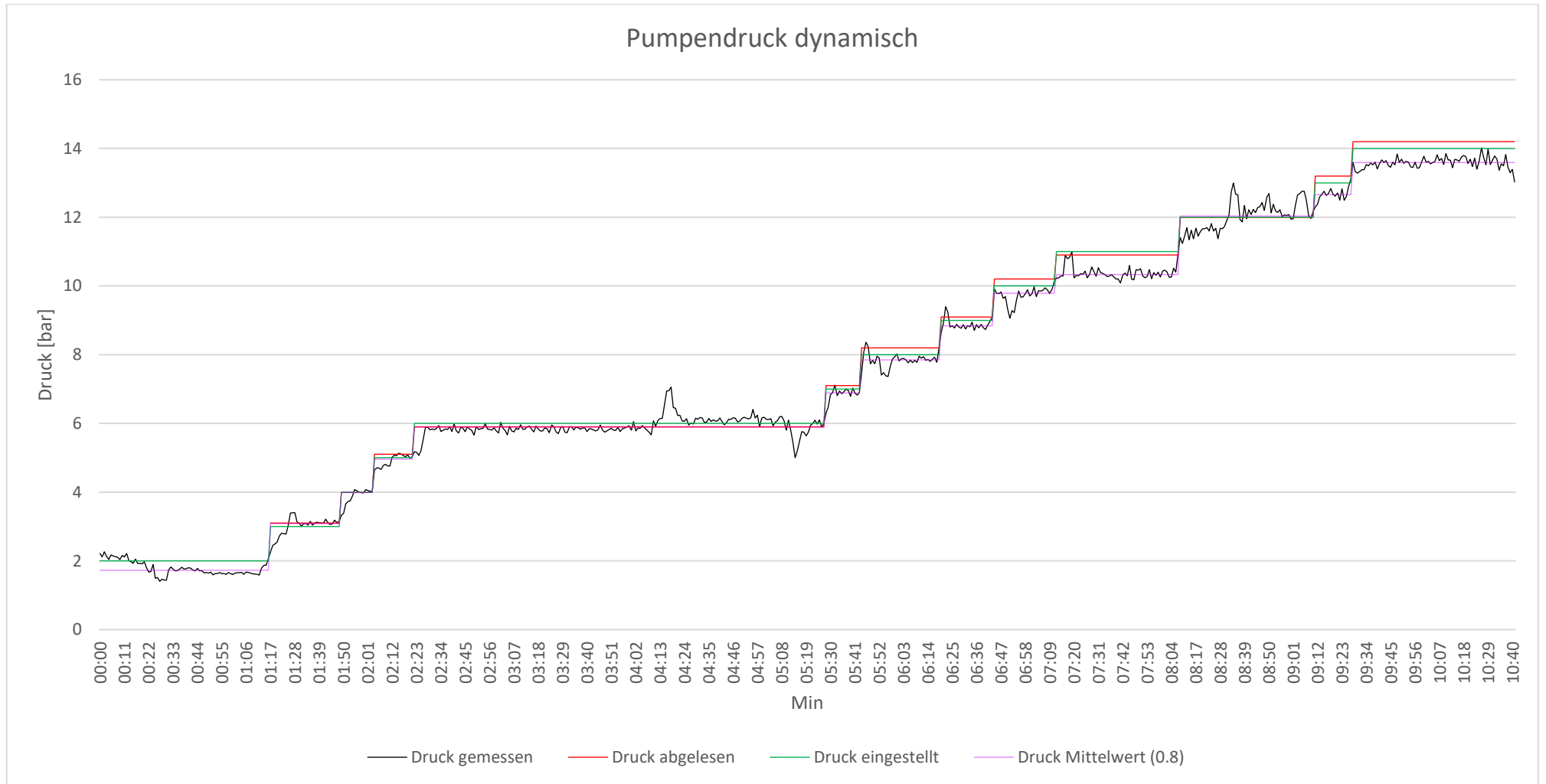


Diagramm 2:



3.2. Zumischer Z2 DIN 14384

Ziel

Die real auftretenden Druckverluste sollen in einem Zumischer Z2 nach DIN 14384 gemessen werden. Dazu wird ein Zumischer der Firma AWG aus dem Jahr 1980 eingesetzt, da ähnliche Modelle bei Schweizer Feuerwehren noch sehr verbreitet sind.

Messaufbau

Der Zumischer wird direkt am linken Abgang des TLF angeschlossen. Am Zumischerausgang ist ein Teilstück mit einem Drucklogger der Wasserversorgung Zürich und einem der Messfirma montiert. Am dritten Abgang ist die Leitung, bestehend aus zwei 75er-Schläuchen mit Druckvernichter angeschlossen. Im Laufe der Messung wird der Druckvernichter durch ein Kombischaumrohr M2/S2 ersetzt. Zur Kontrolle der Funktion des Zumischers ist zwischen Ansaugschlauch und Zumischer noch ein Volumenstrommesser ohne Speicherfunktion montiert. Dieser wird sporadisch abgelesen, um das korrekte Ansaugen des Schaummittels zu überwachen.



Bild 9: Messaufbau (Quelle: Holger de Vries)

Ablauf der Messung

In einem ersten Schritt prüften wir den auftretenden Druckverlust ohne Volumenstrom. Das heisst, die Pumpe arbeitete gegen einen geschlossenen Schieber nach dem Zumischer. Danach wurde der Schieber geöffnet und die Pumpe erneut vom Leerlauf bis auf den Schliessdruck hochgefahren. Bei beiden Messungen hat der Maschinist den Pumpendruck in Schritten von jeweils 1 bar erhöht. Ab einem eingestellten Ausgangsdruck von 10 bar erreichte der gemessene Druck nach dem Zumischer erst 1,9 bar und es traten Druckschwankungen von mehr als 1 bar auf, so dass die Messung abgebrochen werden musste. Der Druckvernichter wurde durch ein Schaumrohr S2/M2 ersetzt, um den Volumenstrom auf den Zumischer abzustimmen und die Messung deshalb wiederholt.

Ergebnis

Entgegen den Erwartungen entstand bei der statischen Messung ab etwa 8 bar Pumpendruck eine Differenz beim gemessenen Druck, welche sich bis 14 bar Pumpendruck auf 1,6 bar erhöhte (siehe Diagramm 3). Im zweiten Teil wurde der Schieber geöffnet und das Wasser über die 75er-Leitung und den Druckvernichter abgegeben. Bis zu 9 bar Pumpendruck wurde maximal 1 bar Abgangsdruck gemessen. Danach begannen sich Druckschwankungen von über 1 bar einzustellen und die Messung wurde abgebrochen. Diese Druckschwankungen lassen sich damit erklären, dass der Zumischer nur ungefähr 200 l/min durchfließen lässt. Durch den hohen Volumenstrom beim Setup mit 75er-Leitungen und Druckvernichter kann sich so auf der Abgangsseite kein Druck mehr aufbauen (siehe Diagramm 4). Eine zweite mögliche Erklärung sind starke Turbulenzen im Zumischer bei Volumenströmen von weit über 200 l/min.

Die dritte Messung mit einem M2 Schaumrohr zur Wasserabgabe ergab dann ein realistisches Ergebnis bei den Druckverlusten. Der Druckverlust betrug über die ganze Breite des Druckspektrums rund 30 bis 40% des eingestellten Pumpendrucks (siehe Diagramm 5) und lag damit innerhalb der DIN-Norm 14384. Diese schreibt vor, dass der maximale Druckverlust in einem Zumischer 40% betragen darf.

Diagramm 3:

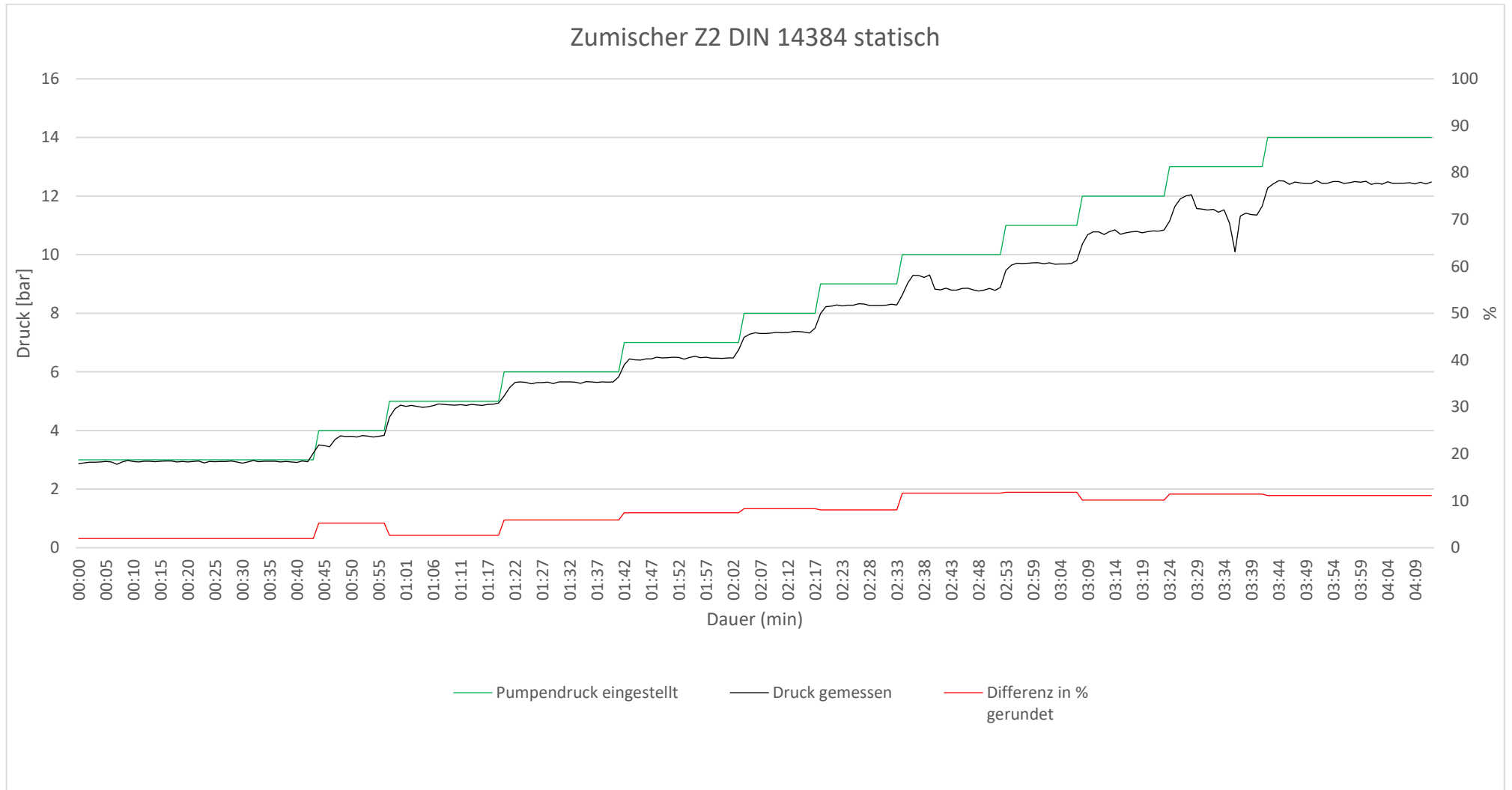


Diagramm 4:

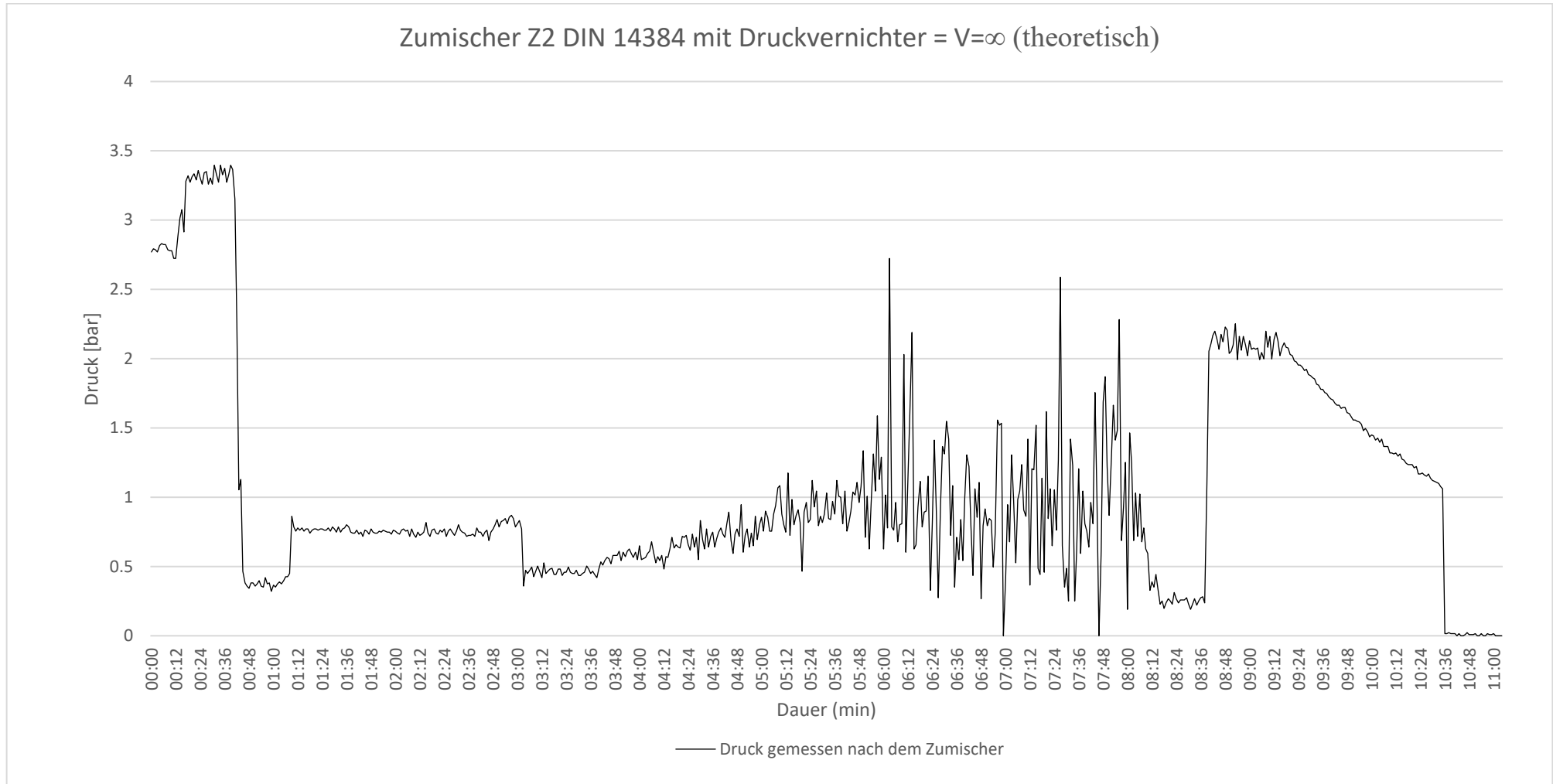
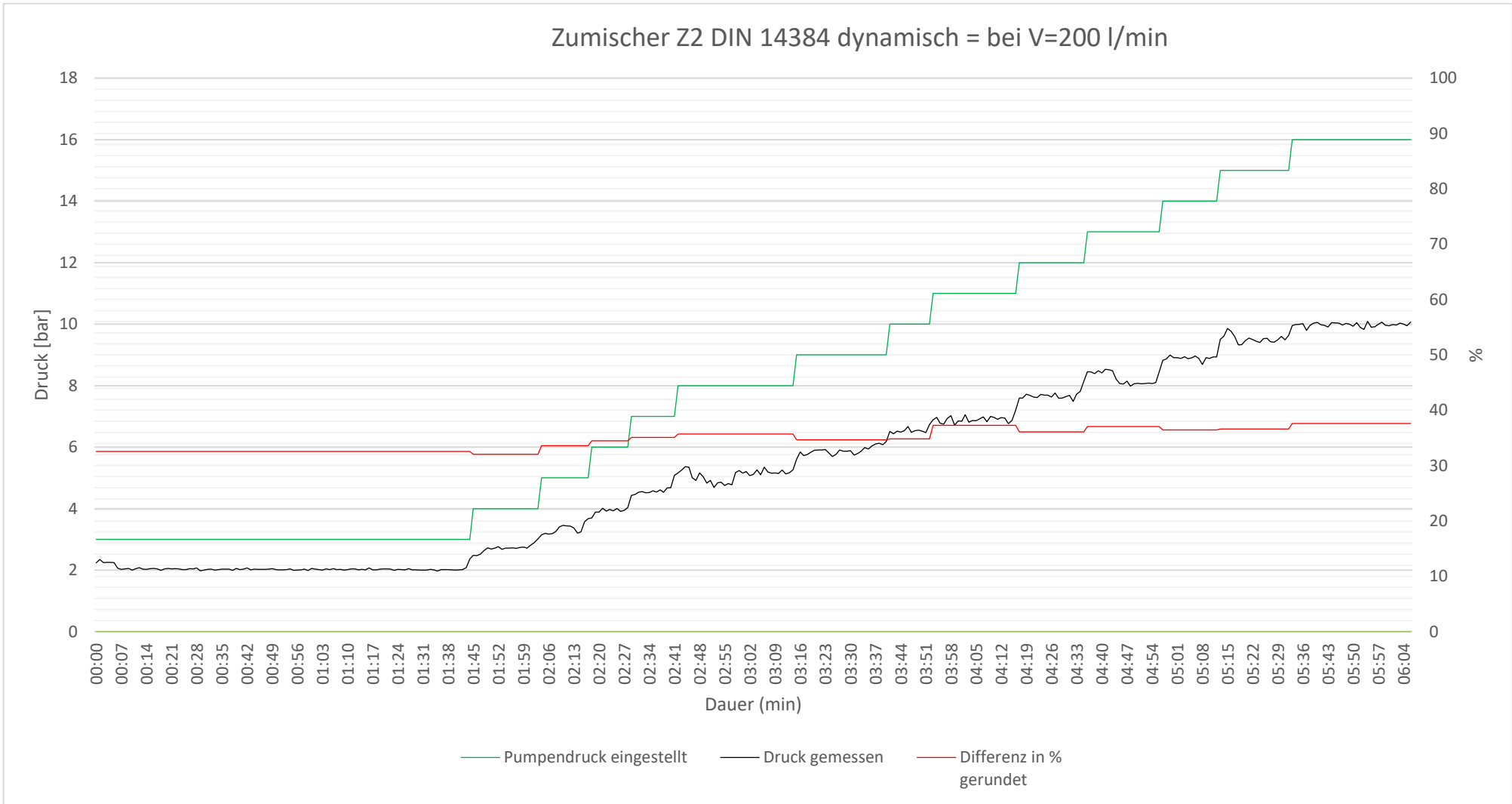


Diagramm 5:



3.3. Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"

Ziel

Es sollen die real auftretenden Druckverluste in einem neuen Zumischer Z2 gemessen werden. Dazu wird ein Zumischer vom Typ Feindosierung EN 16712-1 der Firma AWG mit Baujahr 2019 eingesetzt. Es sollen auch die Unterschiede zu älteren Zumischern überprüft werden.

Um einen Einfluss des Ansaugmediums auf die Druckverluste zu berücksichtigen, werden nach den dynamischen Prüfungen zusätzliche Messungen mit Schaummittel durchgeführt. Aus ökonomischen Gründen (Verbrauch von Schaumextrakt) werden jedoch nur noch die Drücke 7, 10 und 14 bar gefahren.

Messaufbau

Der Zumischer wird direkt am linken Abgang des TLF angeschlossen. Am Zumischerausgang ist ein Teilstück montiert. An diesem wurde ein Drucklogger der Wasserversorgung Zürich, ein Drucklogger der Messfirma und eine Leitung bestehend aus zwei 75er-Schläuchen mit einem Schaumrohr M2 angeschlossen. Zusätzlich wird eine Messung mit einem Druckvernichter gemacht, um zu klären, ob ein Zumischer neuerer Bauart bei fehlendem Gegendruck ähnlich reagiert wie ein alter Zumischer. Zur Kontrolle der Funktion des Zumischers wird zwischen Saugschlauch und Zumischer ein Volumenstrommesser ohne Memoryfunktion montiert. Dieser wird sporadisch abgelesen, um das korrekte Ansaugen des Schaumextraktes zu überwachen.

Ablauf der Messung

Der Ablauf war gleich wie bei der Messung 3.2 "Zumischer Z2 DIN 14384". Im ersten Schritt wurde der statische Druckverlust gemessen, im zweiten der Dynamische mit Druckvernichter und zuletzt der Dynamische mit Kombischaumrohr S2/M2.

Ergebnis

Der Druckverlust im Zumischer betrug über das ganze Druckspektrum der Messung zwischen 32 und 38%. Dabei konnte keine signifikante Änderung des Druckverlustes mit Erhöhung des Ausgangsdruckes beobachtet werden (siehe Diagramm 6). Gemittelt über die Messung betrug der Druckverlust 37%. Für die Praxis kann ein Verlust von 35% des Pumpendruckes angenommen werden.

Die Überprüfung der Ergebnisse mit Zumischung von Schaumextrakt (ebenfalls 3% Zumischrate) ergab einen mittleren Druckverlust von 37% (siehe Diagramm 7). Die Erhöhung um 2% ist nicht relevant und liegt innerhalb der Messtoleranz. Somit kann auch bei der Zumischung von Schaumextrakt von einem mittleren Druckverlust von 35% ausgegangen werden.

Die anschliessende Messung mit einem Druckvernichter anstelle des Schaumrohres ergab das gleiche Bild wie beim Zumischer Z2 nach DIN 14384. Ab 10 bar Ausgangsdruck wurden die Druckschwankungen im System so gross, dass die Messung abgebrochen werden musste. Der maximal gemessene Druck am Zumischerausgang betrug bei dieser Messung 2,6 bar (siehe Diagramm 8).

Diagramm 6:

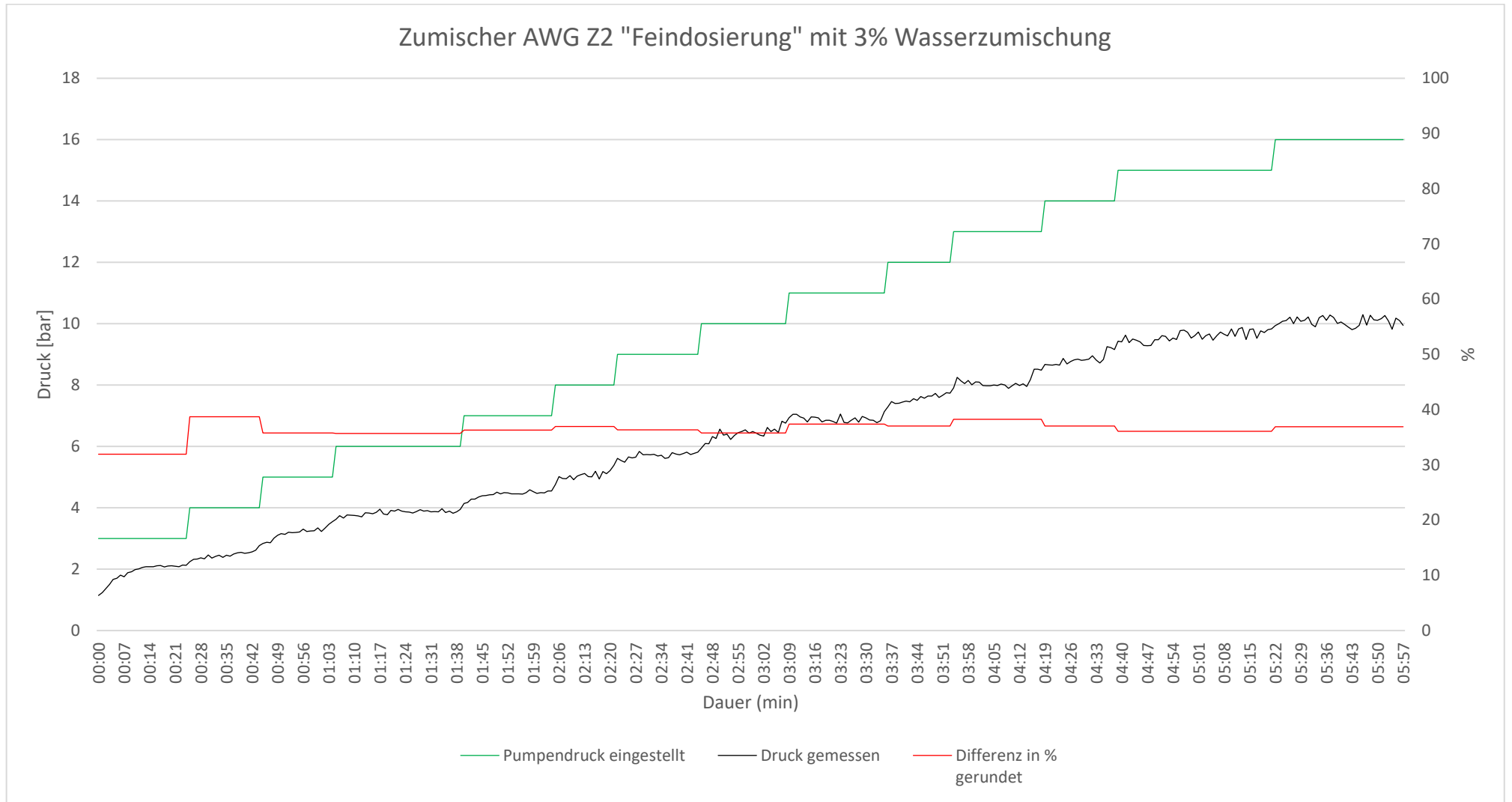


Diagramm 7:

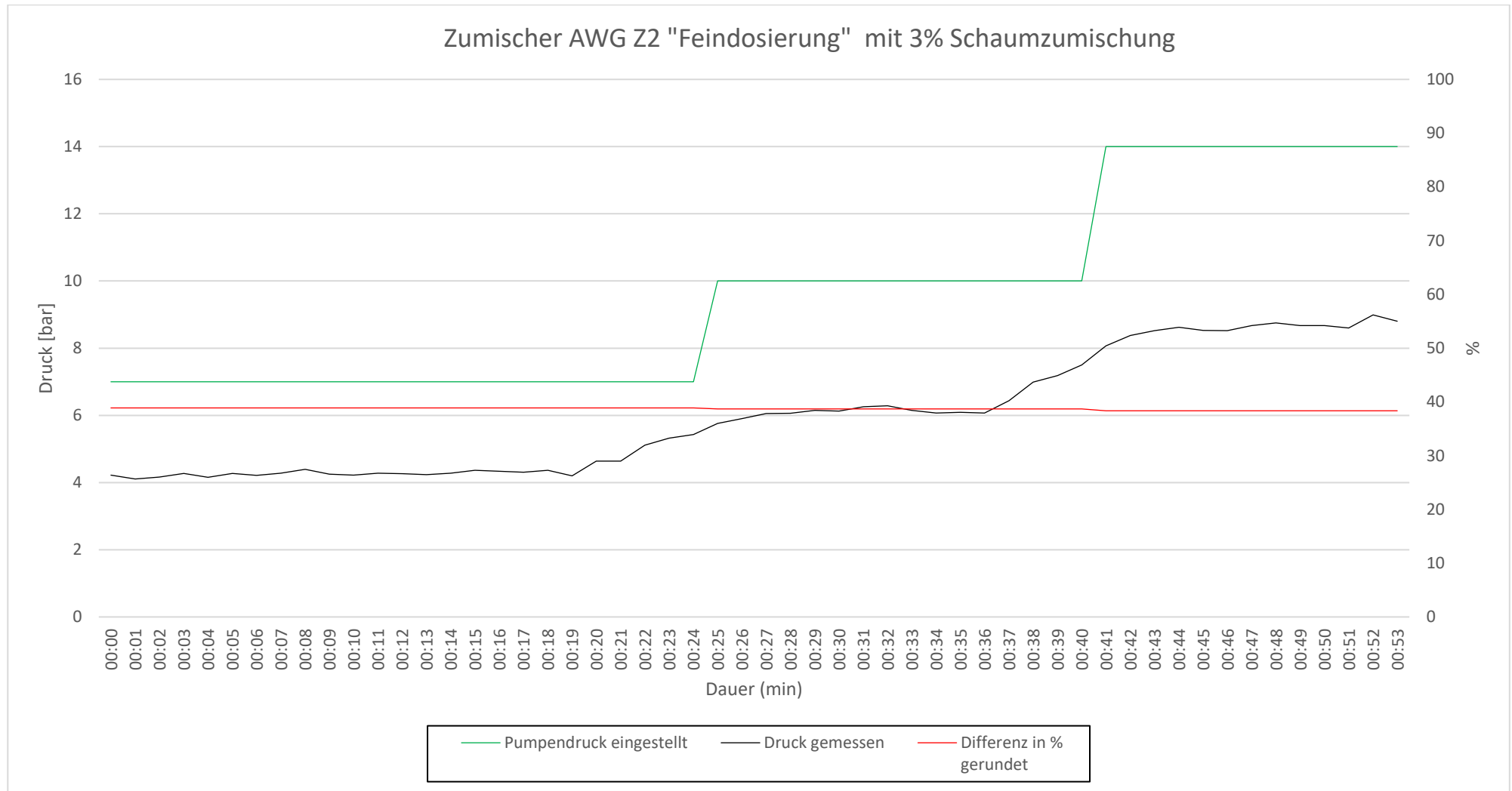
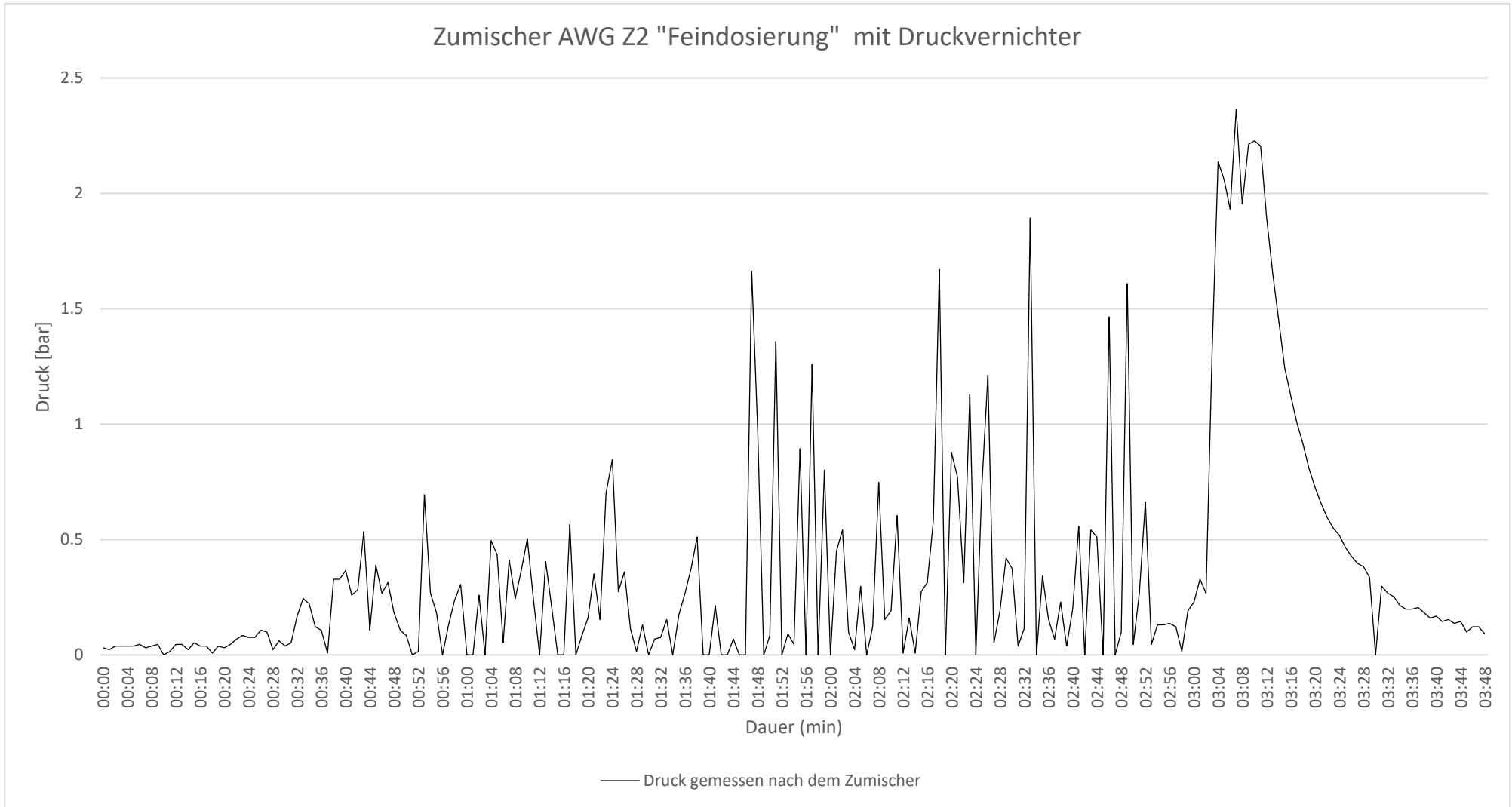


Diagramm 8:



4. Messungen 42er-Leitung

Die Messreihe soll Aufschluss darüber geben, welche Druckverluste in einem Schaumsystem mit 42er-Leitungen auftreten. Weiter soll die maximal mögliche Leitungslänge ermittelt werden, bei der noch Schaum in guter Qualität erzeugt werden kann. Die Qualität des Schaumes wird jedoch nicht quantitativ bewertet, sondern bloss anhand des Haftbildes und der Haltbarkeit grob beurteilt.

4.1. Schaumabgabe 200m mit Zumischer AWG Z2 "Feindosierung"

Ziel

Die Druckverluste in einem Schaumsystem von 200m Länge mit 42er Leitungen und dem Zumischer AWG "Feindosierung" werden gemessen.

Messaufbau

Am Seitenabgang des TLF wurde mittels Übergangsstück 75/55 der Zumischer mit Jahrgang 2019 und danach ein 20m langer 42er Schlauch angebracht. Nach den 20 Metern wurde der Volumenstrommesser angebracht, bevor nochmal 180m 42er-Leitungen verlegt wurden. Die eingesetzten Schläuche waren alle gebraucht, sie wurden im Jahr 1998 beschafft. Die Druckmanometer wurden bei 100m, 160m und 200m angebracht. Zusätzlich wurde der Druck auch vom Volumenstrommessgerät bei 20m gemessen und aufgezeichnet. Der maximale Pumpendruck wurde auf 10 bar festgelegt, da dieser von allen, bei Schweizer Feuerwehren eingesetzten Pumpen erreicht werden kann.

Das Ansaugmedium ist Schaumextrakt mit einer Zumischrate von 3%.

Diese Messung wurde zu einem späteren Zeitpunkt am Tag wiederholt, um das Ergebnis zu verifizieren und das korrekte Arbeiten des Zumischers zu überprüfen. Das Ergebnis war mit kleineren Abweichungen identisch. Deshalb wird auf ein erneutes Beschreiben der zweiten Messung verzichtet und das Diagramm kommentarlos an diese Messung angehängt.



Bild 10: Messaufbau (Quelle: Holger de Vries)



Bild 11: Leitungsbau
(Quelle: Holger de Vries)

Ablauf der Messung

Die Pumpe wurde direkt auf 10 bar Ausgangsdruck hochgefahren und die Saugleitung des Zumischers in den Schaummitteltank gehalten. Als Schaumrohr wird das M2 Rohr eingesetzt. Zur Kontrolle des Arbeitsdruckes und des eingebauten Manometers wird direkt am Rohr ein Hosenstück und am zweiten Flansch ein Druckmanometer angebracht. Das Ansaugen funktionierte einwandfrei und nach knapp 90 Sekunden wurde am Schaumrohr der erste Schaum abgegeben.

Ergebnis

Die Druckverluste im Messaufbau können erklärt werden und korrelieren mit den theoretischen Werten aus den Druckverlusttabellen der FKS (siehe Kapitel 7.2). Im Zumischer beträgt der mittlere Druckverlust ca. 31% und am Ende der Leitung werden noch einmal die erwarteten knapp 4 bar Druckverlust erreicht. Mit rund 3,2 bar Druckverlust zwischen dem Volumenstrommesser und dem Schaumrohr wurden sogar leicht bessere Werte erreicht als erwartet (-3,65 bar).

Der Arbeitsdruck am M2 Rohr erreichte nur noch 3,6 bar, was gemäss Reglement Basiswissen zu niedrig sein sollte. Die Schaumqualität war jedoch bei dieser Messung hervorragend, so dass der Schaum auch nach ca. 1 Stunde in einem Eimer immer noch stabil war. Die Volumenstrommessung nach dem Zumischer war relativ konstant und ergab einen Mittelwert von ca. 187 l/min, was einer Abweichung vom Soll von ca. 6,5 % entspricht.

Bei allen Messungen wurde das Manometer am Schaumrohr abgelesen und protokolliert, um die Genauigkeit zu überprüfen. Der Vergleich mit dem Drucklogger am Schaumrohr zeigt bei diesem Versuch keine Abweichung.

$p_{(Pumpe)}$ [bar]	$p_{(LAV)}$ [bar] Drucklogger	$p_{(LAV)}$ [bar] Manometer
10	3,6	3,6

Tabelle 3: Druck am Schaumrohr bei 200 m 42er-Leitung



Bild 12: Schaum bei 3,8 bar Druck am M2 Rohr (Quelle: Holger de Vries)

Diagramm 9:

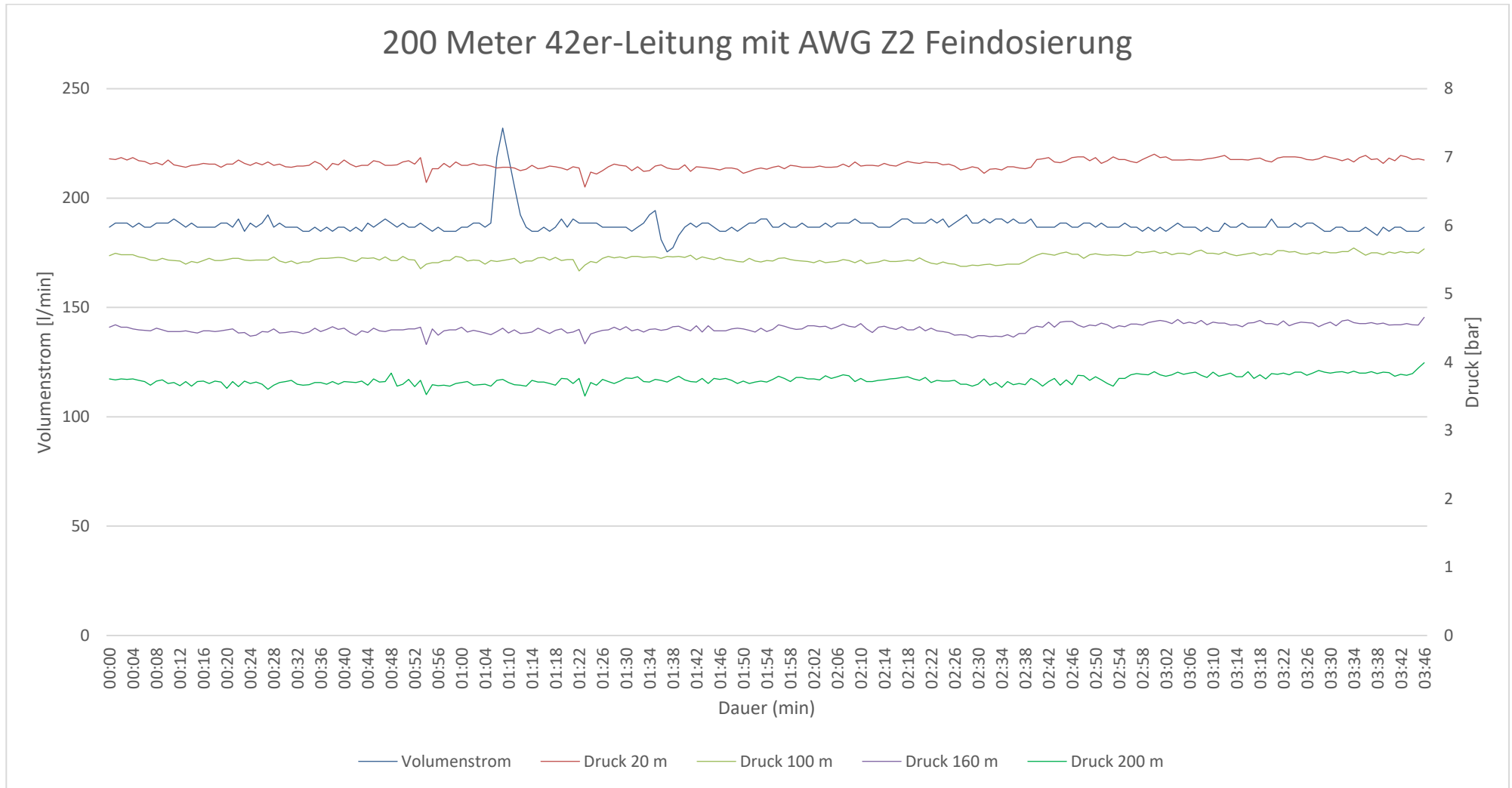
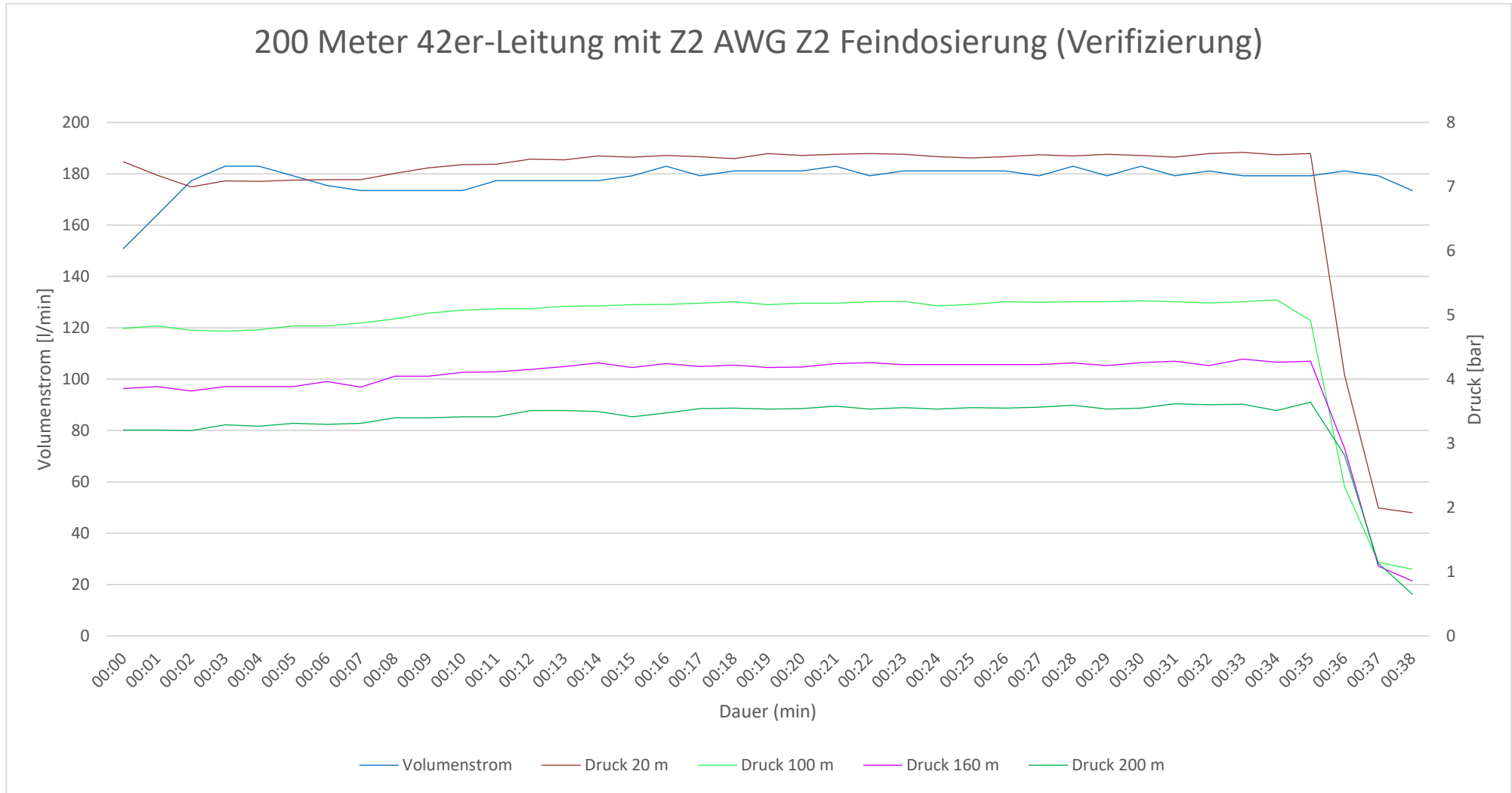


Diagramm 10:



4.2. Schaumabgabe mit 200m 42er-Leitung und Zumischer Z2 DIN 14384

Ziel

Die vorherige Messung soll mit einem alten Zumischer (Bj. 1980) wiederholt und die Druckverluste verglichen werden. So soll sich auch die Frage beantworten lassen, ob sich die Druckverluste durch eine veränderte Zumischtechnik verändert haben. Sollten sich Abweichungen zeigen, so müssten die Faustregeln nach Bauweise der Zumischer angepasst werden. Die Leitung ist wie in der vorherigen Messung 200m lang.

Messaufbau

Der Messaufbau ist gleich wie bei der Messung 4.1, jedoch mit dem Zumischer Z2 DIN 14384 direkt am TLF. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird ebenfalls Schaummittel mit einer Zumischrate von 3% als Ansaugmedium verwendet.

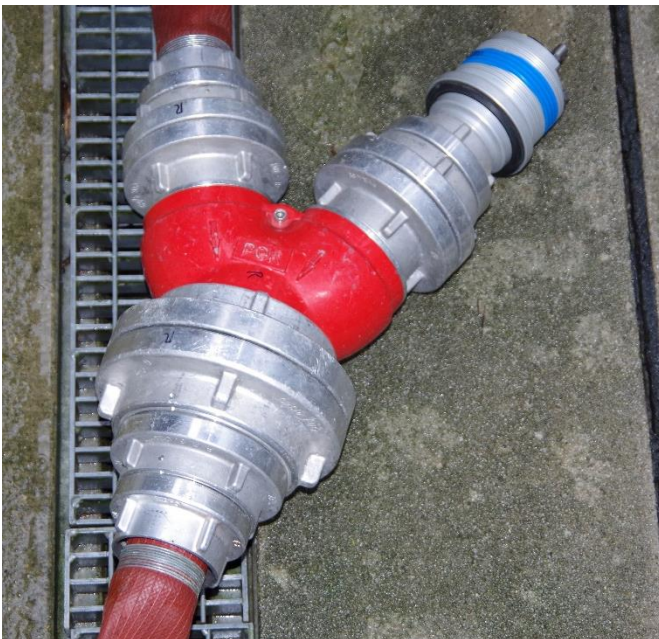


Bild 13: Drucksensoren im Messaufbau (Quelle: Holger de Vries)

Ablauf der Messung

Die Pumpe wurde direkt auf 10 bar Ausgangsdruck hochgefahren und die Saugleitung des Zumischer in den Schaummitteltank gehalten. Das Ansaugen funktionierte einwandfrei und nach kurzer Zeit wurde Schaum erzeugt. Die Qualität des Schaumes schwankte, durch das Auswechseln des Zumischer und der damit teilweise entleerten Leitung, die wieder gefüllt werden musste, in den ersten 90 Sekunden stark.

Ergebnis

Die Druckverluste im Messaufbau können wie in der vorherigen Messung einwandfrei erklärt werden. Im Zumischer beträgt der Druckverlust diesmal ca. 38% im Mittel und ist somit leicht höher als bei einem Zumischer neuerer Bauart. Ebenfalls leicht geringer ist der Volumenstrom. Im Mittel lag er bei 179 l/min, was einer Abweichung vom Soll von ca. 10% entspricht.

Mit rund 2,8 bar Druckverlust zwischen dem Durchflussmesser und dem Schaumrohr wurden dafür nochmal leicht bessere Werte erreicht als mit dem Zumischer neuerer Bauart (-3,2 bar). Vermutlich ist dieser Effekt auf den niedrigeren Volumenstrom zurückzuführen.

Der Arbeitsdruck am M2 Rohr erreichte nur noch 3,4 bar, was gemäss Reglement Basiswissen zu niedrig sein sollte (Vorgabe: Mindestens 5 bar). Die Schaumqualität war jedoch auch bei dieser Messung hervorragend, so dass der Schaum auch nach ca. 1 Stunde in einem Eimer ebenfalls noch stabil war.

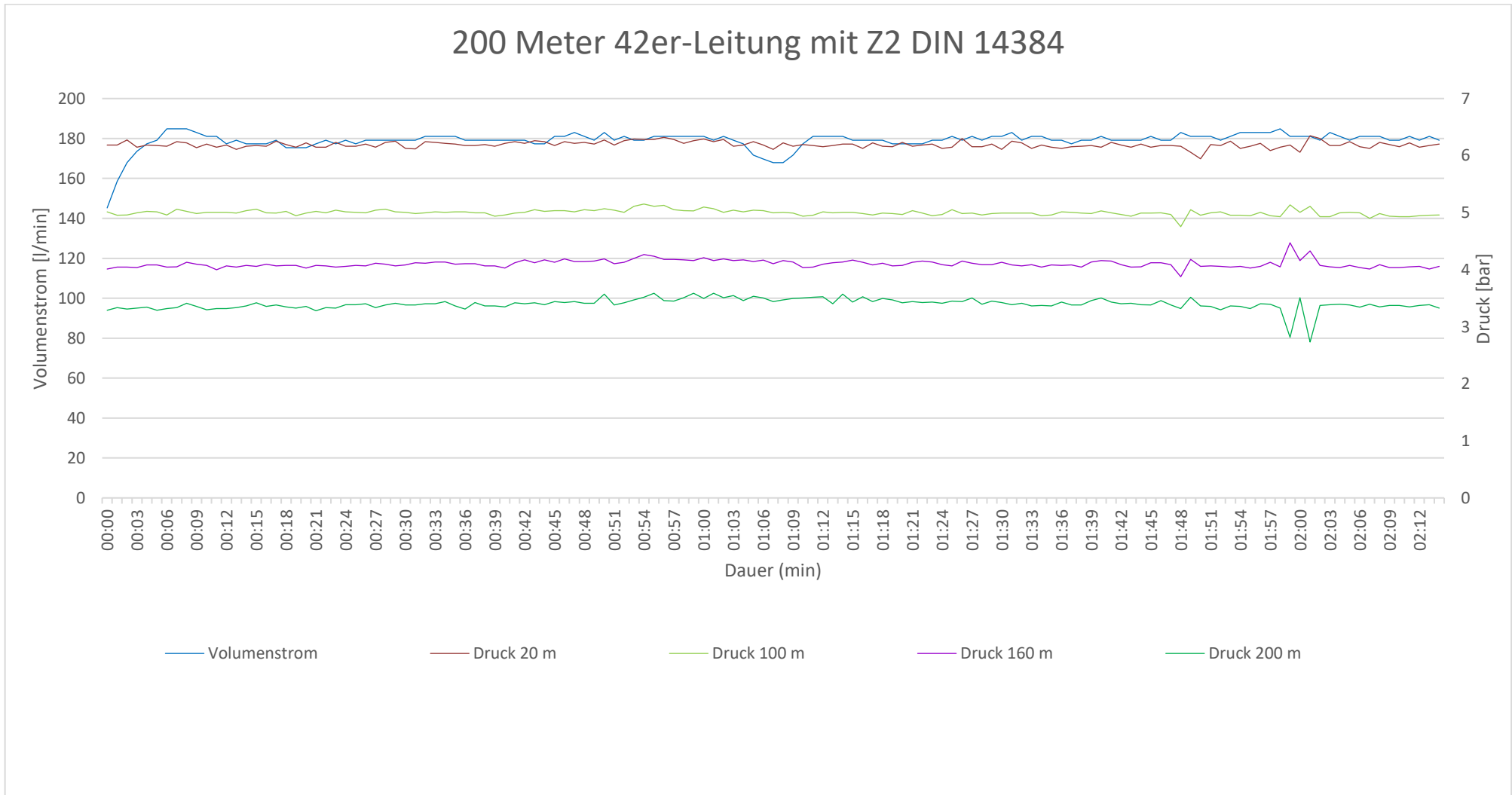
$p_{(Pumpe)}$ [bar]	$p_{(LAV)}$ [bar] Drucklogger	$p_{(LAV)}$ [bar] Manometer
10	3,4	3,4

Tabelle 4: Druck am Schaumrohr bei 200 m 42er-Leitung



Bild 14: Schaumqualität (Quelle: Jonas Kohler)

Diagramm 11:



4.3. Schaumabgabe mit 200m 42er-Leitung und Typ 3060 Akron Brass 95 GPM (230 LPM) In-Line Eductor 1-1/2-Zoll, Baujahr ca. 2002

Ziel

Um den Einfluss von unterschiedlichen Techniken zur Zumischung von Schaumextrakt zu überprüfen, wurde die Messreihe um einen weiteren Zumischer erweitert. Dafür wurde ein Modell ausgewählt, welches auf dem amerikanischen Markt verbreitet ist. Die Wahl fiel auf dieses Modell, da der Hersteller im Datenblatt enorm viel längere Leitungen deklariert, als es im deutschsprachigen Raum gemäss Grundausbildung möglich sein soll.

Messaufbau

Der Messaufbau ist analog der Messung mit den Zumischern AWG Feindosierung und DIN 14384, jedoch mit dem Zumischer aus Amerika direkt am TLF. Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird ebenfalls Schaummittel mit einer Zumischrate von 3% als Ansaugmedium verwendet.



Bild 15: Zumischer Akron Brass 95 GPM am TLF (Quelle: Holger de Vries)

Ablauf der Messung

Die Pumpe wurde direkt auf 10 bar Ausgangsdruck hochgefahren, die Saugleitung des Zumischers in den Schaummittel tank gehalten. Das Ansaugen funktionierte einwandfrei, nach kurzer Zeit wird Schaum erzeugt. Die Qualität des Schaumes schwankt in den ersten 90 Sekunden jedoch stark - dies aufgrund des System-Umbaus auf den neuen Zumischer.



Bild 16: Schaumabgabe bei 3,4 bar am M2 Rohr (Quelle: Holger de Vries)

Ergebnis

Die Druckverluste im Messaufbau können erklärt werden und korrelieren mit den theoretischen Werten aus den Druckverlusttabellen der FKS in Kapitel 7.2. Im Zumischer beträgt der Druckverlust ca. 41%.

Mit rund 2,8 bar Druckverlust zwischen dem Volumenstrommesser und dem Schaumrohr wurden leicht bessere Werte erreicht als bei der ersten Messung dieser Reihe mit einem Zumischer AWG Feindosierung. Im Zusammenhang mit der nochmals tieferen Literleistung von ca. 175 l/min stützt das die Annahme, dass der geringe Druckverlust durch den abnehmenden Volumenstrom verursacht wird.

Der Arbeitsdruck am M2 Rohr erreichte im Durchschnitt nur noch 3,2 bar, was gemäss Reglement Basiswissen zu niedrig sein sollte. Die Schaumqualität war jedoch bei dieser Messung hervorragend, so dass der Schaum auch nach ca. 1 Stunde in einem Eimer immer noch stabil war.

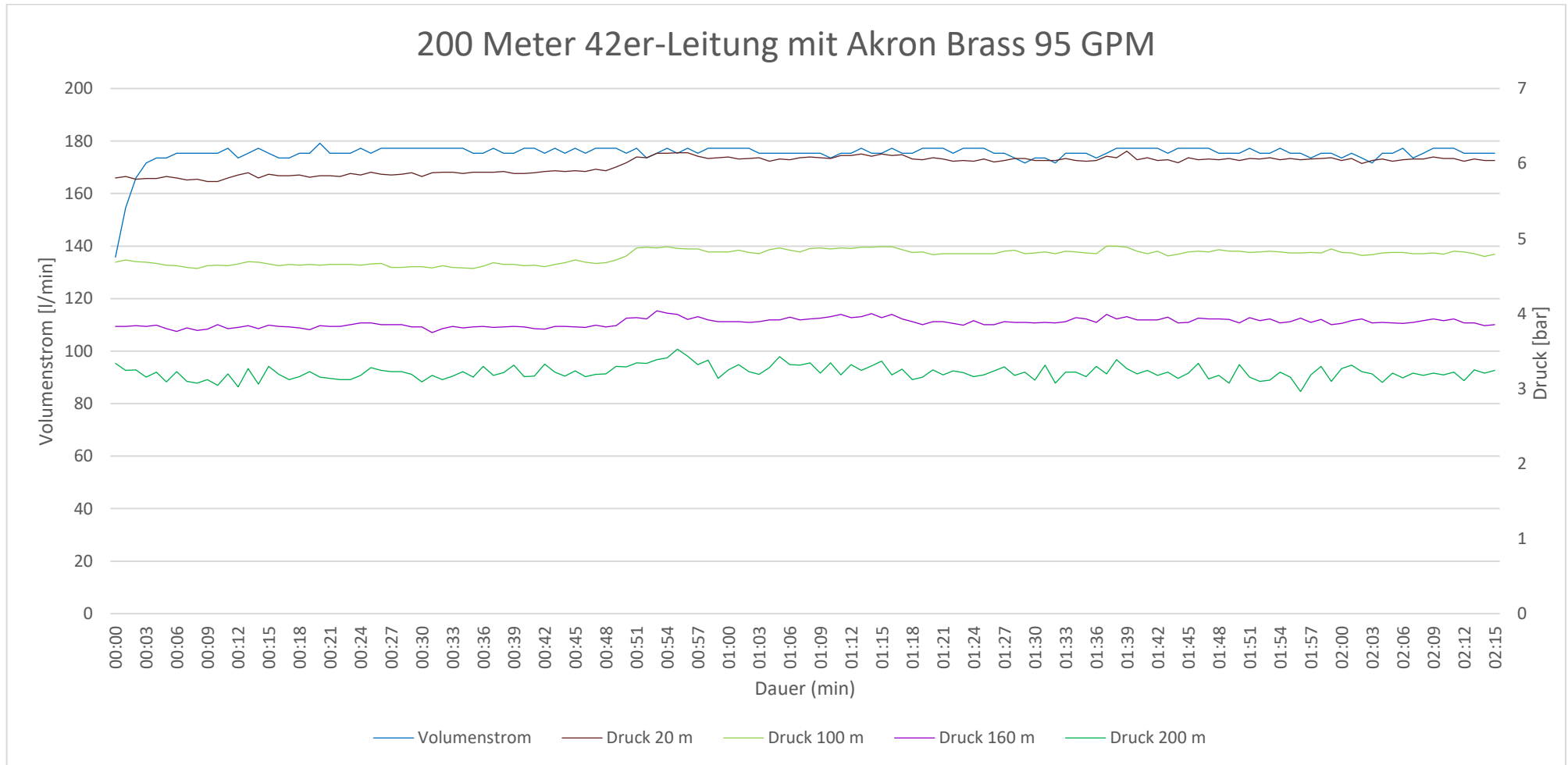
Der Unterschied beim Druckverlust im Vergleich mit den anderen Zumischern ist minimal. Der Druck am Schaumrohr liegt bei diesem Versuch im Bereich von 2,8 bis 3.5 bar, wobei der tiefste Wert eher ein Ausreisser in der Messung darstellt. Bei den anderen Zumischern lag er maximal bei 3.8 bar. Dieser Unterschied ist für den Einsatz irrelevant.

Die Druckverluste decken sich mit den Herstellerangaben (Tabelle 1). Es müsste also möglich sein mit einem In-Line Eductor dieser Grösse Schaum über eine Leitungslänge von gegen 300m abzugeben. Von Seiten des Herstellers sind dafür nur die Schlauchdurchmesser 38mm und 45mm (siehe Kapitel 1.2) angegeben und nicht die bei uns üblichen 40mm oder 42mm.

$p_{(Pumpe)}$ [bar]	$p_{(LAV)}$ [bar] Drucklogger	$p_{(LAV)}$ [bar] Manometer
10	3,4	3,4

Tabelle 5: Druck am Schaumrohr bei 200 m 42er-Leitung

Diagramm 12:



4.4. Schaumabgabe 220m 42er-Leitung mit Zumischer AWG "Feindosierung"

Ziel

Die maximale Leitungslänge, die zur Schaumerzeugung möglich ist, soll ermittelt werden. Deshalb werden weitere 20m Schlauch eingebaut.

Messaufbau

Der Leitungsaufbau bleibt gleich wie bei der letzten Messung, aber nach dem Volumenstrommesser werden nochmals 20m Leitung eingebaut. Die Druckmanometer sind nun bei 20m, 120m und 180m und 220m angebracht. Es wird wieder der Zumischer AWG "Feindosierung" eingebaut.

Das Ansaugmedium ist Schaumextrakt mit einer Zumischrate von 3%.

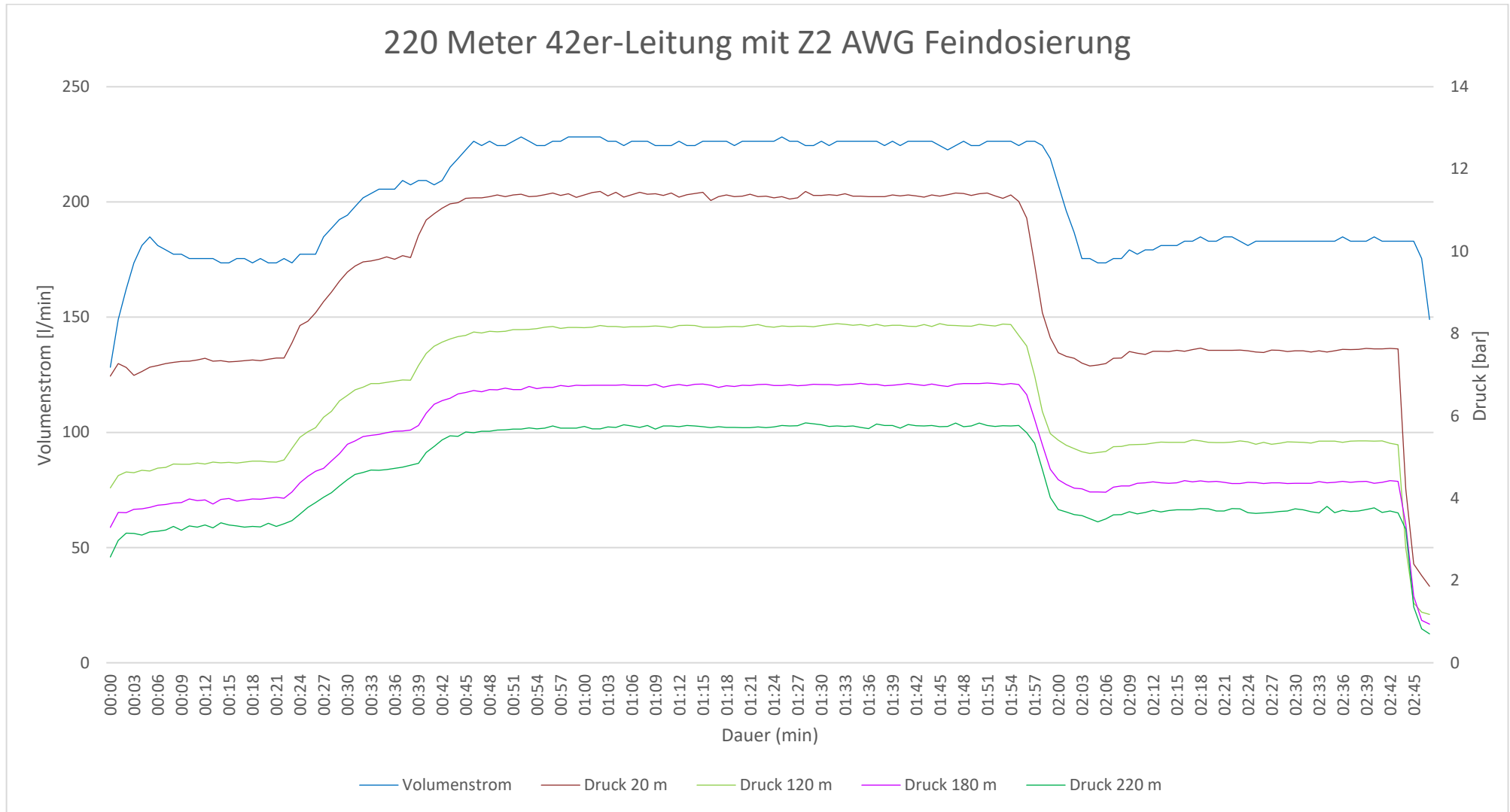
Ablauf der Messung

Der Pumpendruck wurde zuerst für eine kurze Zeit auf 12 bar eingestellt und danach auf 16 bar erhöht, was einem effektiven Ausgang von ca. 14 bar entspricht. Die Druckerhöhung an der Pumpe wurde langsam ausgeführt, um einen Einfluss der Druckanstiegsgeschwindigkeit auf das Ansaugverhalten des Zumischers auszuschliessen. Die Zumischrate wurde nach Abbruch des Ansaugvorgangs willkürlich verändert, um zu testen, ob sich dieser wieder anregen lässt. Ab Punkt 01:54 wurde ausserdem der Pumpendruck wieder auf ca. 12 bar gesenkt, um zu testen, ob der Zumischer durch Verändern des Druckes wieder ansaugt. Ebenfalls wurden in dieser Zeit Veränderungen an der Zumischrate vorgenommen.

Ergebnis

Beim eingestellten Pumpendruck von 11 bar liegt der Volumenstrom des Zumischers mit ca. 170 l/min deutlich unter den erwarteten 200 l/min. Der Zumischer begann während dieser Zeit Schaumextrakt anzusaugen. Während der Erhöhung auf den maximalen Pumpendruck stoppte der Ansaugvorgang jedoch. Manipulationen an der Zumischrate brachten keinen Erfolg. Auch das Absenken des Pumpendrucks mit folgenden Veränderungen an der Zumischrate brachte keinen Erfolg. Der Ansaugvorgang blieb unterbrochen. Der Gegendruck wurde zu gross, sobald die Abgabeleitung vollständig gefüllt war und unter Druck stand.

Diagramm 13:



4.5. Schaumabgabe 240 m 42er-Leitung mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"

Ziel

Trotz des abgebrochenen Ansaugvorganges bei 220m Leitungslänge soll geprüft werden, ob das Verhalten des Zumischers Zufall war. Dazu wird die Leitung um weitere 20m verlängert.

Messaufbau

Der Leitungsaufbau bleibt gleich wie in den letzten Messungen, aber nach dem Durchflussmesser werden nochmal 20m Leitung eingebaut. Somit wurden die Druckmanometer nun bei 20m, 140m, 200m und 240m angebracht. Es wurde wieder der Zumischer AWG "Feindosierung" eingebaut.

Das Ansaugmedium ist Schaumextrakt mit einer Zumischrate von 3%.

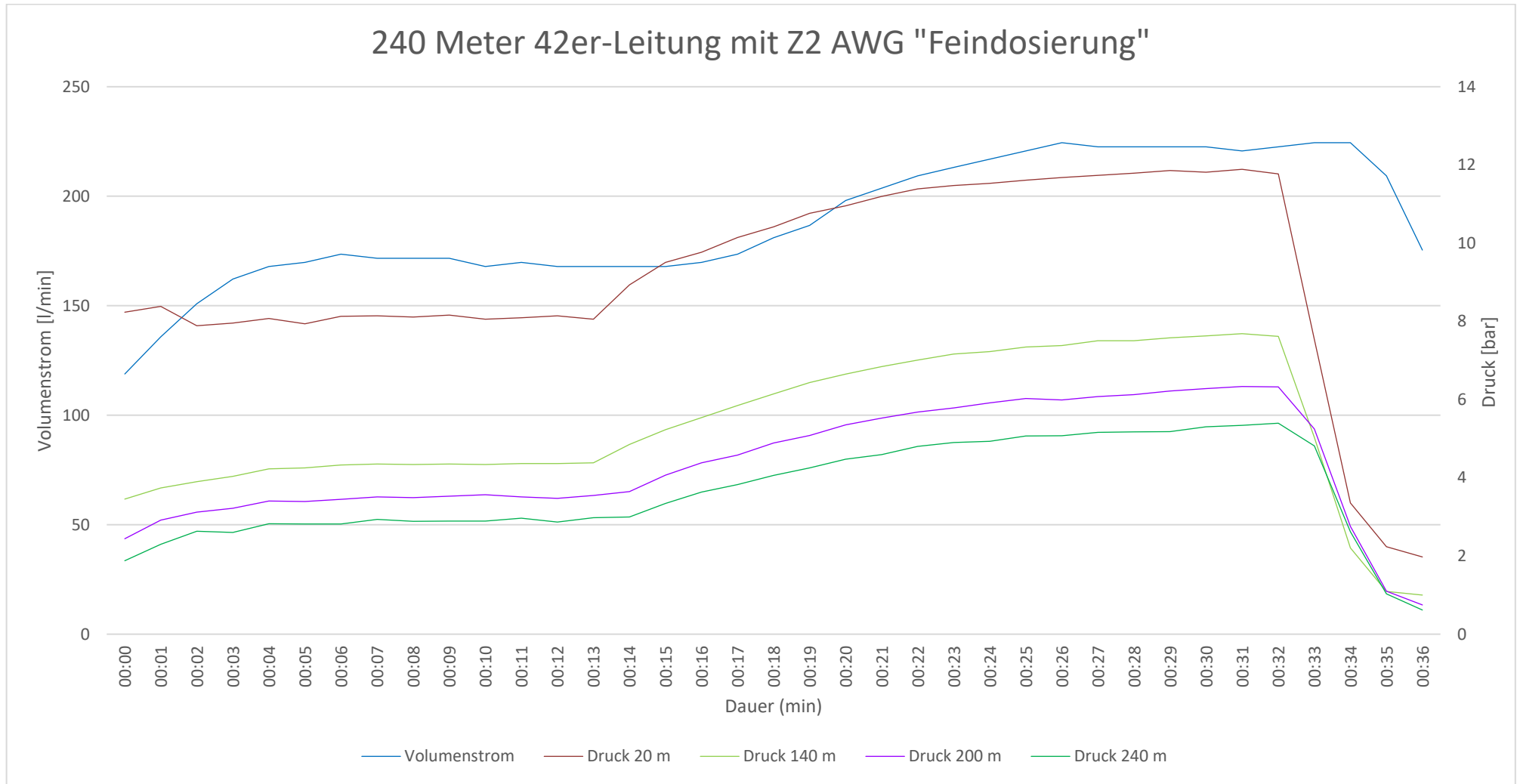
Ablauf der Messung

Der Pumpendruck wurde zuerst für eine kurze Zeit auf 12 bar eingestellt und danach auf 16 bar erhöht, was einem realen Ausgang von ca. 14 bar entspricht. Wieder wurde die Druckerhöhung an der Pumpe bewusst langsam ausgeführt. Ebenfalls wurde die Zumischrate nach Abbruch des Ansaugvorgangs wieder willkürlich verändert, um zu testen, ob sich dieser wieder anregen lässt.

Ergebnis

Beim eingestellten Pumpendruck von 11 bar liegt der Volumenstrom des Zumischers mit ca. 170 l/min deutlich unter den erwarteten 200 l/min (Nennvolumenstrom). Der Zumischer begann während dieser Zeit Schaumextrakt anzusaugen. Während der Erhöhung auf den maximalen Pumpendruck stoppte dieser jedoch wieder und liess sich nicht erneut starten. (Erklärung dieses Phänomens siehe Kapitel 6.3).

Diagramm 14:



4.6. Schaumabgabe 260m 42er-Leitung mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"

Ziel

Da bei beiden vorherigen Messungen der gewünschte Druck am Schaumrohr erreicht werden konnte, die Messung jedoch aufgrund der Ansaugschwierigkeiten abgebrochen werden musste, soll eine weitere Messung mit 260m Leitungslänge gemacht werden. Sollte der Zumischer bei dieser Leitungslänge wieder ordnungsgemäss ansaugen, müsste dieses Phänomen vertieft untersucht werden.

Messaufbau

Der Leitungsaufbau bleibt derselbe wie bei der letzten Messung, jedoch werden nach dem Volumenstrommesser zusätzliche 20m Leitung eingebaut. Somit wurden die Druckmanometer nun bei 20m, 160m, 220m und 260m angebracht. Im ersten Teil kam wieder der Zumischer AWG "Feindosierung" zum Einsatz. Im zweiten Teil (ab Punkt 03:40) wurde der Zumischer amerikanischer Bauart eingebaut. Als Ansaugmedium wurde Schaumextrakt mit einer Zumischrate von 3% verwendet.

Ablauf der Messung

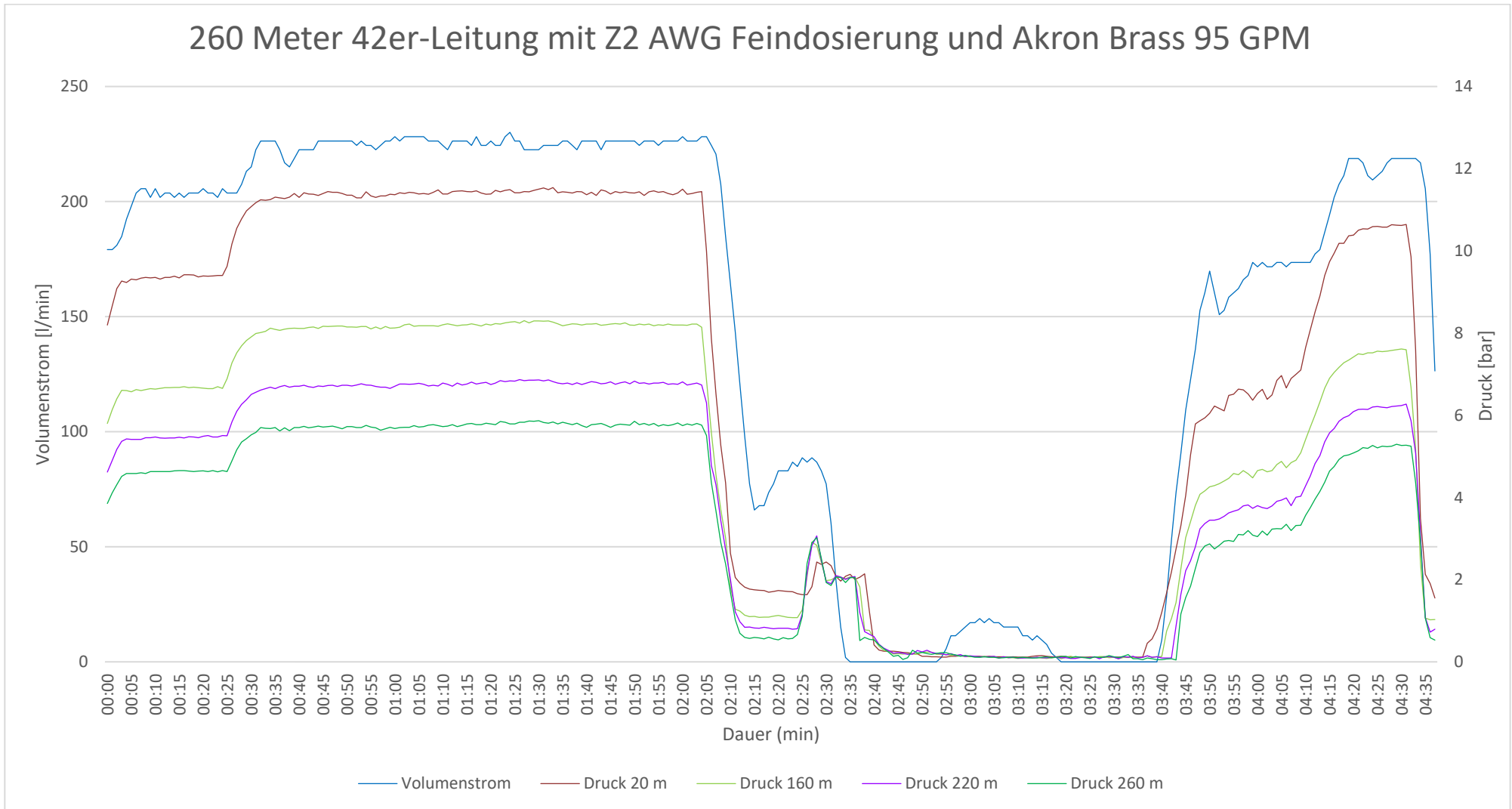
Der Pumpendruck wurde zuerst für eine kurze Zeit auf 12 bar eingestellt und danach auf 16 bar erhöht, was einem realen Ausgang von ca. 14 bar entspricht. Nachdem es wieder zu Problemen mit dem Ansaugen des Schaumextraktes kam und die willkürliche Veränderung an der Zumischrate keinen Erfolg brachte, wurde die Pumpe heruntergefahren und der Zumischer gegen das amerikanische Modell getauscht. Auch an diesem Zumischer wurde nach dem Stoppen des Ansaugens getestet, ob die Veränderung der Zumischrate ein erneutes Ansaugen auslöst.

Ergebnis

Im ersten Messteil konnten wir wieder feststellen, dass der Zumischer bis ca. 12 bar Pumpendruck den angegebenen Volumenstrom von 200 l/min erreicht und hält. Nach der Erhöhung des Pumpendruckes auf ca. 14 bar stieg dieser Wert wieder auf konstant ca. 220 l/min. Der Druck am Schaumrohr betrug bei 12 bar Pumpendruck ca. 4,6 bar und bei 14 bar Pumpendruck ca. 5,8 bar. Beide Werte deuten darauf hin, dass es möglich wäre, bei dieser Leitungslänge Schaum zu erzeugen. Wieder wurde dies jedoch durch das langsame Abbrechen des Ansaugens verhindert.

Um zu testen, ob dieses Verhalten eventuell an der Bauart des Zumischers liegt, wurde in einem zweiten Teil der Messung der Zumischer gewechselt, dieser zeigte jedoch dasselbe Verhalten (siehe Kapitel 6.3).

Diagramm 15:



4.7. Schaumabgabe 300m 42er-Leitung mit Zumischer AWG "Feindosierung"

Ziel

Da die vorherige Messung immer noch genügend Druck am Schaumrohr ergeben hat, soll eine letzte Messung mit 300m Leitungslänge durchgeführt werden. Mit dieser Messung soll ausgeschlossen werden dass der Zumischer nicht nur zwischen 220m und 260m nicht reagiert.

Messaufbau

Der Leitungsaufbau bleibt gleich wie in den vorherigen Messungen, aber nach dem Durchflussmesser werden zusätzlich 40m Leitung eingebaut. Die Druckmanometer sind nun bei 20m, 200m, 260m und 300m angebracht. Es wird wieder der Zumischer AWG "Feindosierung" eingesetzt.

Als Ansaugmedium wurde Schaumextrakt mit einer Zumischrate von 3% verwendet.

Ablauf der Messung

Die Messung wurde drei Mal neu gestartet, da der Zumischer erneut den Ansaugvorgang unterbrochen hat. Beim Hochfahren des Pumpendruckes und dem damit verbundenen Füllen der Abgangsleitung war optisch klar erkennbar, dass Schaumextrakt angesaugt wurde. Nach Ablauf einiger Sekunden begann sich die Fliessgeschwindigkeit im Ansaugschlauch jedoch zu reduzieren und kam dann komplett zum Erliegen, sobald die Abgangsleitung komplett gefüllt war. Im ersten Teil der Messung bis zum Punkt 04:54 haben wir versucht, den Ansaugvorgang durch Änderungen im Pumpenausgangsdruck wieder zu starten, jedoch ohne Erfolg.

Nach einem Neustart der Pumpe bei Punkt 07:00 im Diagramm liessen wir den Druck eine Weile anstehen, um zu überprüfen, ob der Zumischer wieder automatisch mit dem Ansaugen beginnt. Als der Ansaugvorgang unterbrochen war und nicht wieder begann, veränderten wir im laufenden Betrieb die Zumischrate von 0% bis 6% um zu sehen, ob dies ein erneutes Ansaugen auslösen würde. Diese Versuche waren jedoch erfolglos und der Zumischer erzeugte saugseitig keinen Unterdruck mehr.

Bei Punkt 10:30 begannen wir noch einmal damit, den Zumischer mittels Druckschwankungen zum erneuten Ansaugen zu bewegen. Auch in diesem Teil der Messung wurde die Zumischrate am Zumischer nach Abbrechen des Ansaugens willkürlich verstellt, um zu versuchen, ob dies ein erneutes Ansaugen auslösen könnte.

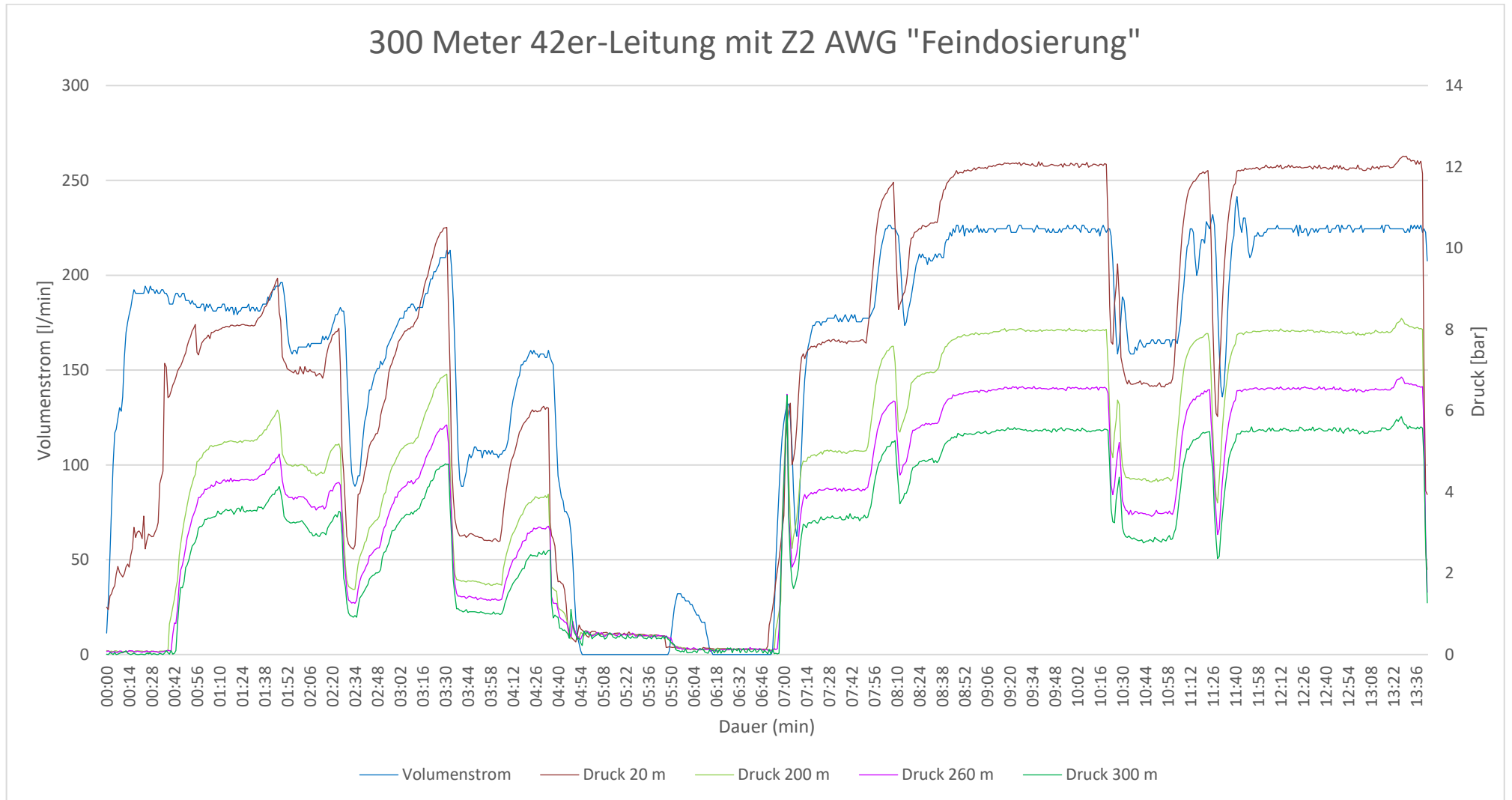
Ergebnis

Das Ziel der Messung, bei 300m Leitungslänge noch Schaum zu erzeugen, wurde nicht erreicht. Die regelmässigen Abbrüche des Ansaugens verunmöglichten diesen Test. Auch die Manipulationen an den Zumischraten brachten keine Veränderung des Ansaugverhaltens. Der gemessene Druck von ca. 3,4 bis 5 bar am Schaumrohr deuten darauf hin, dass es selbst bei dieser Leitungslänge möglich sein müsste, Schaum zu erzeugen, sofern die Pumpe genügend Ausgangsdruck von 12 bis 16 bar erreicht. Die Messungen mit Leitungslängen von über 200m deuten darauf hin, dass der Gegendruck in der Leitung zu hoch wird und damit den Ansaugvorgang behindert (siehe Kapitel 6.3).

Diese Messungen haben gezeigt, dass ein Z2-Zumischer bei hohen Drücken (>12 bar) dazu in der Lage ist, den Nenndurchfluss stark zu überschreiten. So wurden, ausgenommen von Messspitzen, verursacht durch schnelles Öffnen und/oder Schliessen des Schaumrohres, Spitzen von ca. 240 l/min gemessen. Konstant sind jedoch Werte über 220 l/min gemessen worden. Mehr dazu im Kapitel 6.

Weitere Details zum Abbruch des Ansaugvorganges und der maximal möglichen Leitungslänge im Kapitel 6.

Diagramm 16:



5. Messungen 52er-Leitung

5.1. Wasserabgabe 200m mit Zumischer Z2 DIN 14384

Ziel

Die Druckverluste in einem Schaumsystem mit 52er-Leitungen und einer Länge von 200m sollen gemessen werden. Da aus vorherigen Messungen mit 42er-Leitungen abgeleitet werden kann, dass mit einem Druck von deutlich unter 5 bar am Schaumrohr noch Löschschaum erzeugt werden kann, wurde für diese Messung Wasser als Zumischmedium verwendet. Sollte ein Druck von über 3,5 bar am Schaumrohr erreicht werden, so kann davon ausgegangen werden, dass bei dieser Leitungslänge noch Schaum erzeugt werden kann.

Messaufbau

Am Seitenabgang des TLF wird mittels Teilstück mit Storz 75/55 der Zumischer DIN 14384 und ein Drucklogger angebracht. So kann der Pumpenausgangsdruck direkt aufgezeichnet werden. Da in den vorherigen Messreihen die Druckverluste innerhalb der Zumischer bereits ausreichend gemessen wurden, wird auf einen Drucklogger nach dem Zumischer verzichtet. Am Zumischer wird ein 20m Schlauch angeschlossen und an diesem der Volumenstrommesser angebracht, bevor nochmals 180m 52er-Leitungen verlegt wurden. Die Druckmanometer sind bei 100m, 120m, 160m und 200m angebracht. Zusätzlich wird der Druck auch vom Volumenstrommessgerät gemessen. Das Ansaugmedium ist Wasser mit einer Zumischrate von 3%.

Ablauf der Messung

Die Pumpe wurde langsam von 2 bar auf den Schliessdruck von 16 bar hochgefahren. Das Manometer am Schaumrohr wurde bei 10, 12 und 16 bar Pumpendruck abgelesen und protokolliert.

Ergebnis

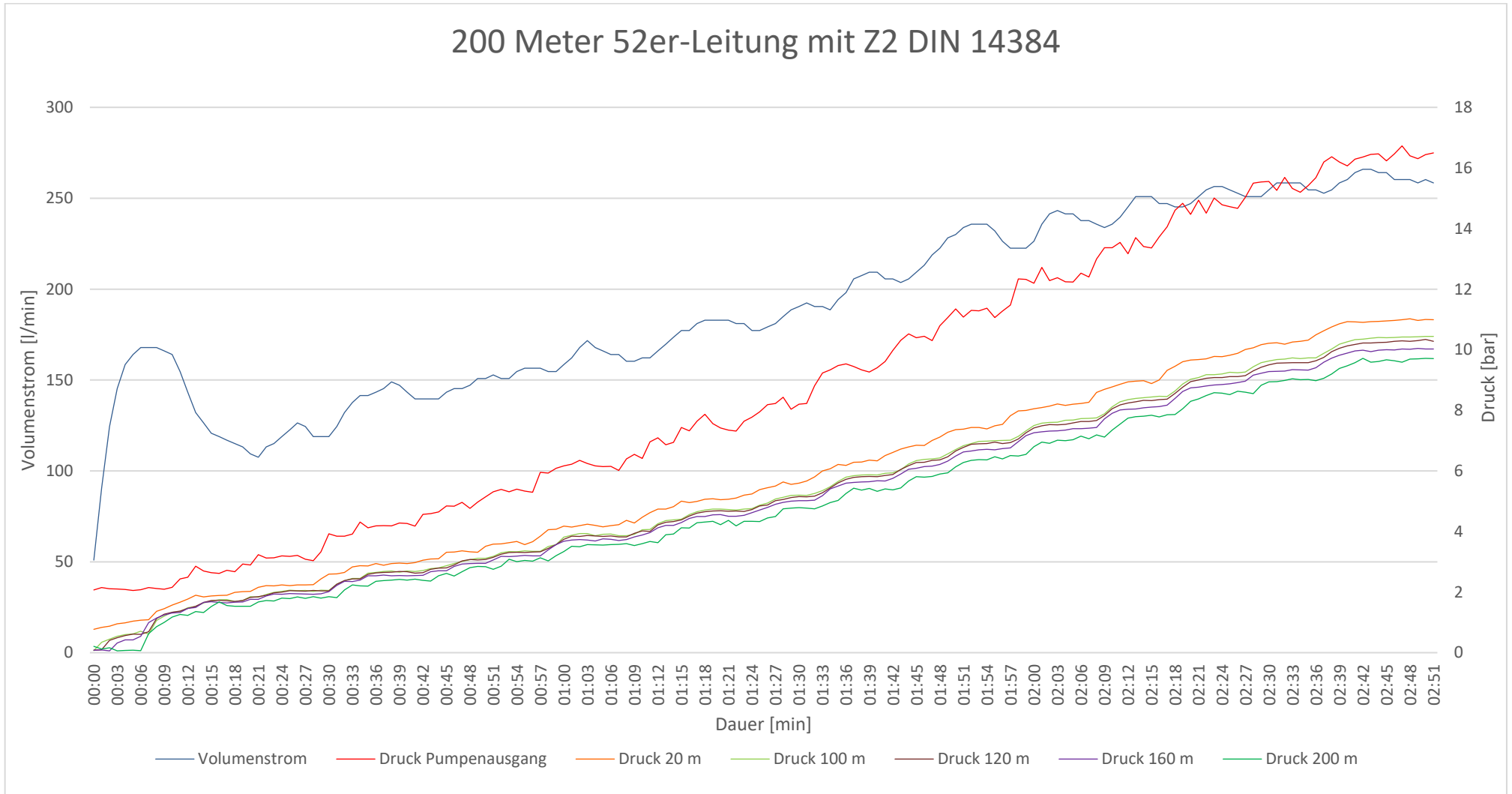
Die Druckverluste sind erwartungsgemäss deutlich geringer als bei 42er-Leitungen. So erreichen wir noch 9,7 bar am Schaumrohr, wenn der Schliessdruck der Pumpe erreicht ist. Und selbst mit 10 bar Ausgangsdruck werden noch 5,4 bar am Schaumrohr erreicht. Dieser Wert reicht auf jeden Fall, um einen einsatztauglichen Schaum zu erzeugen. Ausserdem stimmt der Druckverlust über 200m mit dem aus der Tabelle in Kapitel 7.2 überein. Theoretisch sollten es über 180m vom ersten Drucklogger nach dem Zumischer bis zum Schaumrohr 0,79 bar Verlust sein. Gemessen wurden 0,93 bar bei einem Volumenstrom von 200 l/min. Der Volumenstrom ist ebenfalls deutlich höher als bei 42er-Leitungen und derselben Leitungslänge. So werden bei der Messung mit diesem Zumischer knapp über 250 l/min erreicht, während mit dem 42er nur knapp 180 l/min gemessen wurden.

Die Anzeige am Schaumrohr wich ein wenig von den gemessenen Werten ab. Die Abweichung ist jedoch im Rahmen der Ableseungenauigkeit des Manometers, da dieses nur eine Skalierung von 1 bar hat.

$p_{(Pumpe)}$ [bar]	$p_{(LAV)}$ [bar] Drucklogger	$p_{(LAV)}$ [bar] Manometer
10	5,5	6
12	6,5	7,2
16	9,7	10

Tabelle 6: Druck am Schaumrohr bei 200 m 52er-Leitung

Diagramm 17:



5.2. Wasserabgabe 200m mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"

Ziel

Da sich der Volumenstrom von den 42er-Leitungen zu den 52er stark unterscheidet, müssen die beiden Zumischer bei dieser Leitungslänge erneut verglichen werden.

Messaufbau

Der Messaufbau entspricht dem Aufbau der Messung in Kapitel 5.1. Der Zumischer wird jedoch durch den Z2 AWG "Feindosierung" ersetzt.

Das Ansaugmedium ist Wasser mit einer Zumischrate von 3%.

Ablauf der Messung

Die Pumpe wurde langsam von 2 bar bis auf den Schliessdruck von 16 bar hochgefahren. Wie bei der Messung 5.1 wurde auch hier der Druck am Manometer des Schaumrohres abgelesen und protokolliert.

Ergebnis

Der Zumischer hat bis zu einem Pumpendruck von ungefähr 8 bar, die gleichen Druckverluste und den gleichen Volumenstrom wie der Zumischer nach DIN 14384. Bei höheren Drücken ist der Druckverlust leicht höher und der Volumenstrom leicht niedriger als beim älteren Modell. Beim Volumenstrom ist das nicht zwingend als Nachteil zu werten, da der Verbrauch von Schaumextrakt so genauer berechnet werden kann. Schliesslich weicht der Volumenstrom weniger als 10% vom Nennwert ab, im Gegensatz zum Zumischer DIN 14384, bei welchem die Abweichung über 20% beträgt. Für den Vergleich der beiden Zumischer sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Messwerte der Drucklogger beim Pumpenausgang und am Schaumrohr berücksichtigt worden.

Die Abweichungen des Manometers vom Drucklogger sind im Bereich der Ableseungenauigkeit.

$p_{(Pumpe)}$ [bar]	$p_{(LAV)}$ [bar] Drucklogger	$p_{(LAV)}$ [bar] Manometer
10	4,6	5
12	5,6	6
16	8	8

Tabelle 7: Druck am Schaumrohr bei 200 m 52er-Leitung

Diagramm 18:

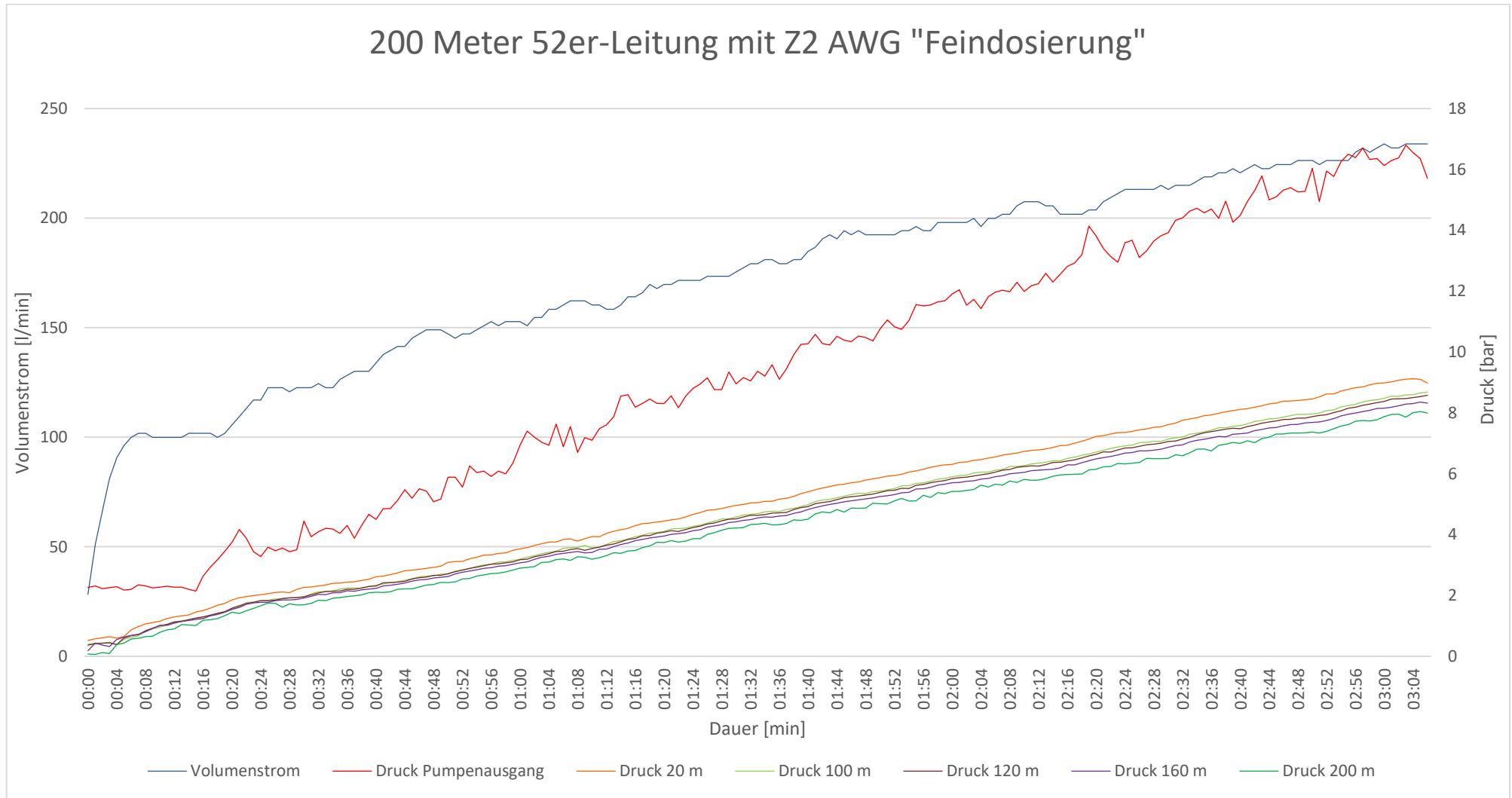
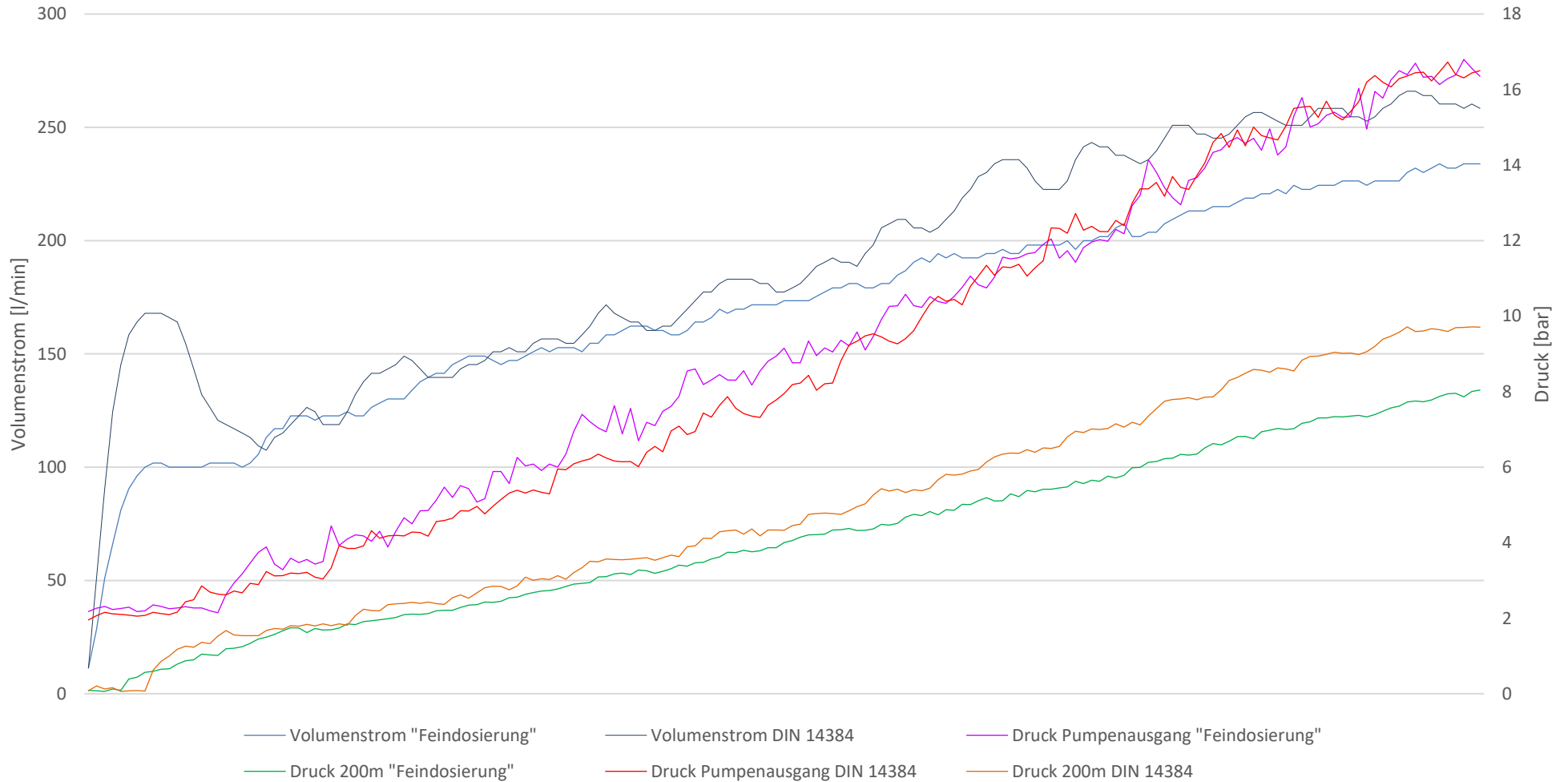


Diagramm 19:

Zumischervergleich mit 200 m 52er-Leitungen



5.3. Wasserabgabe 300m mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"

Ziel

Die Messwerte aus den Messungen 5.1 und 5.2 lassen den Schluss zu, dass es möglich sein sollte auch mit einer Leitungslänge von 300m problemlos Schaum erzeugen zu können. Diese Messreihe soll zeigen, ob eine Messung mit Schaum als Ansaugmedium überhaupt sinnvoll ist oder ob der Druckverlust zu gross ist. Die Messung wird zuerst mit Wasser als Ansaugmedium durchgeführt um zu prüfen, ob eine Messung mit Schaumextrakt überhaupt sinnvoll ist.

Messaufbau

Der Messaufbau entspricht dem Aufbau der Messung in Kapitel 5.1. Es wurden aber nach dem Volumenstrommesser weitere Schläuche eingebaut, so dass die Gesamtlänge 300m erreicht. Die Drucklogger sind damit neu beim Pumpenausgang, nach 20m, 200m, 220m, 260m und 300m.

Das Ansaugmedium ist Wasser mit einer Zumischrate von 3%.

Ablauf der Messung

Die Pumpe wurde langsam von 2 bar auf den Schliessdruck von 16 bar hochgefahren und der Druck am Schaumrohrmanometer protokolliert.

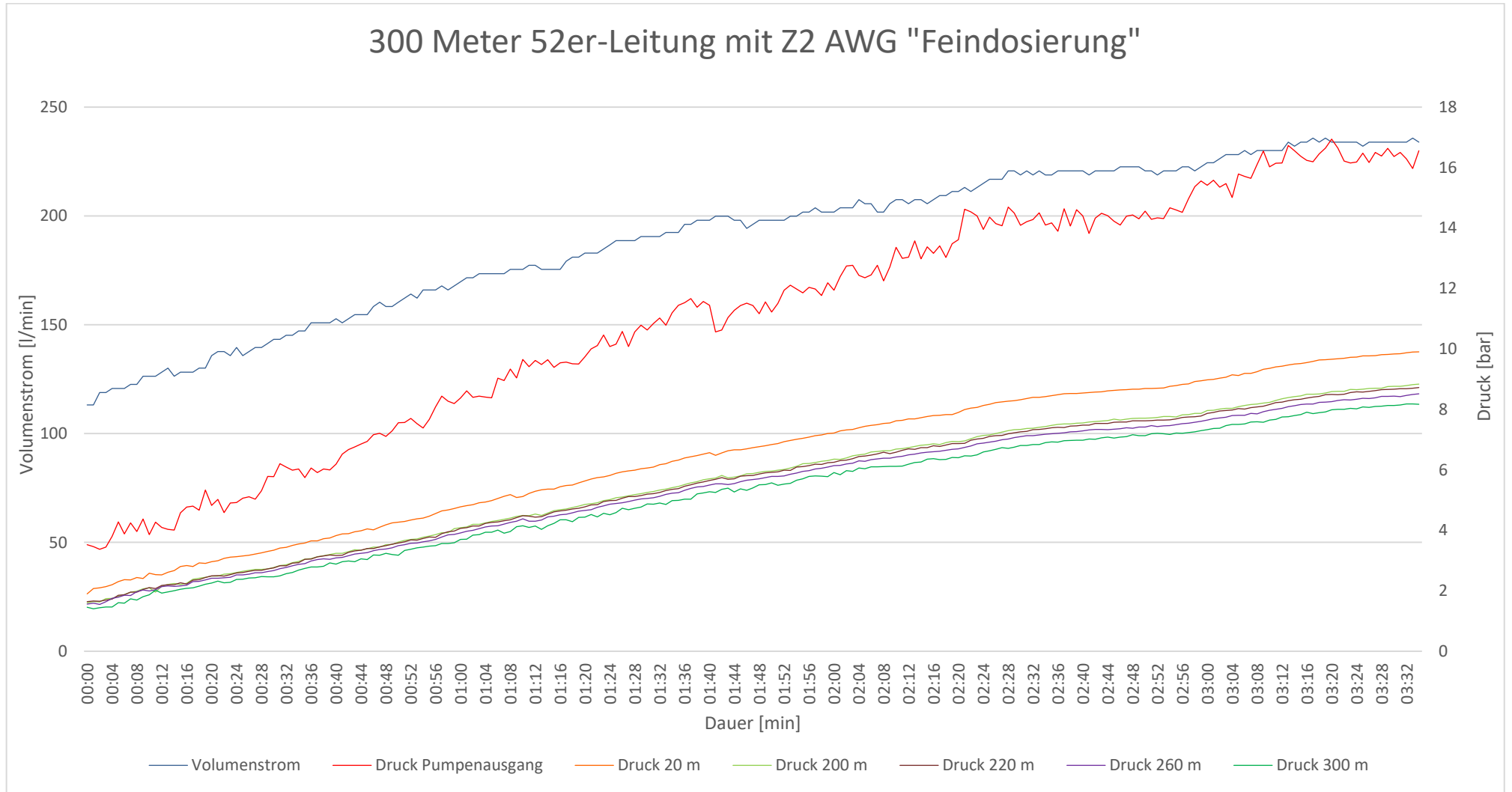
Ergebnis

Die Druckverluste veränderten sich durch die längere Leitung praktisch nicht. Vereinzelt wurden sogar leicht höhere Drücke gemessen als bei der Messung 5.2. Die Veränderung im Bereich von weniger als 0,5 bar wird jedoch als Messtoleranz beurteilt, da die Drucklogger nicht wie die Volumenstrommessgeräte eingebaut werden konnten, sondern mittels Hosenstücken in den Messaufbau integriert wurden (Siehe Bild 12).

$p_{\text{(Pumpe)}}$ [bar]	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Drucklogger	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Manometer
10	4,5	5
12	5,8	6,5
16	7,7	8,5

Tabelle 8: Druck am Schaumrohr bei 300 m 52er-Leitung

Diagramm 20:



5.4. Wasserabgabe 300m mit Zumischer Z2 DIN 14384

Ziel

Die Werte aus der Messung 5.1 und 5.2 sollen validiert werden. Deshalb wird auch das Schaumsystem mit 300m Länge mit beiden Zumischern getestet und die Druckverluste verglichen.

Messaufbau

Der Messaufbau entspricht dem Aufbau der Messung in Kapitel 5.3. Es wird nur der Zumischer Z2 AWG "Feindosierung" gegen den DIN 14384 getauscht.

Das Ansaugmedium ist Wasser mit einer Zumischrate von 3%.

Ablauf der Messung

Die Pumpe wurde langsam von 2 bar auf den Schliessdruck von 16 bar hochgefahren und der Druck am Schaumrohrmanometer protokolliert.

Ergebnis

Die Druckverluste sind leicht höher als bei der Messung 5.1 mit 200m Leitungslänge. In diesem Fall stimmt die Druckverlusttabelle der FKS ziemlich genau mit den gemessenen Druckverlusten überein. Die erreichten Drücke am Schaumrohr lassen darauf schliessen, dass mit dieser Leitungslänge selbst bei einem Pumpendruck von bloss 10 bar noch einsatztauglicher Schaum erzeugt werden kann. Gemäss Reglement Basiswissen ist dazu ein Mindestdruck von 5 bar notwendig. Dieser wird mit 5,2 bar erreicht.

Der mittlere Druckverlust über die ganze Messung zwischen dem Volumenstrommesser und dem Logger bei 260m beträgt ca. 1,4 bar. Gemäss Tabelle in Kapitel 7.2 wäre ein Verlust von ca. 1,3 bar bei 240m Leitungslänge und einem Volumenstrom von 200 l/min zu erwarten.

$p_{\text{(Pumpe)}}$ [bar]	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Drucklogger	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Manometer
10	5,2	6
12	6,2	7
16	8,6	9,5

Tabelle 9: Druck am Schaumrohr bei 300 m 52er-Leitung

Diagramm 21:

300 Meter 52er-Leitung mit Z2 DIN 14384

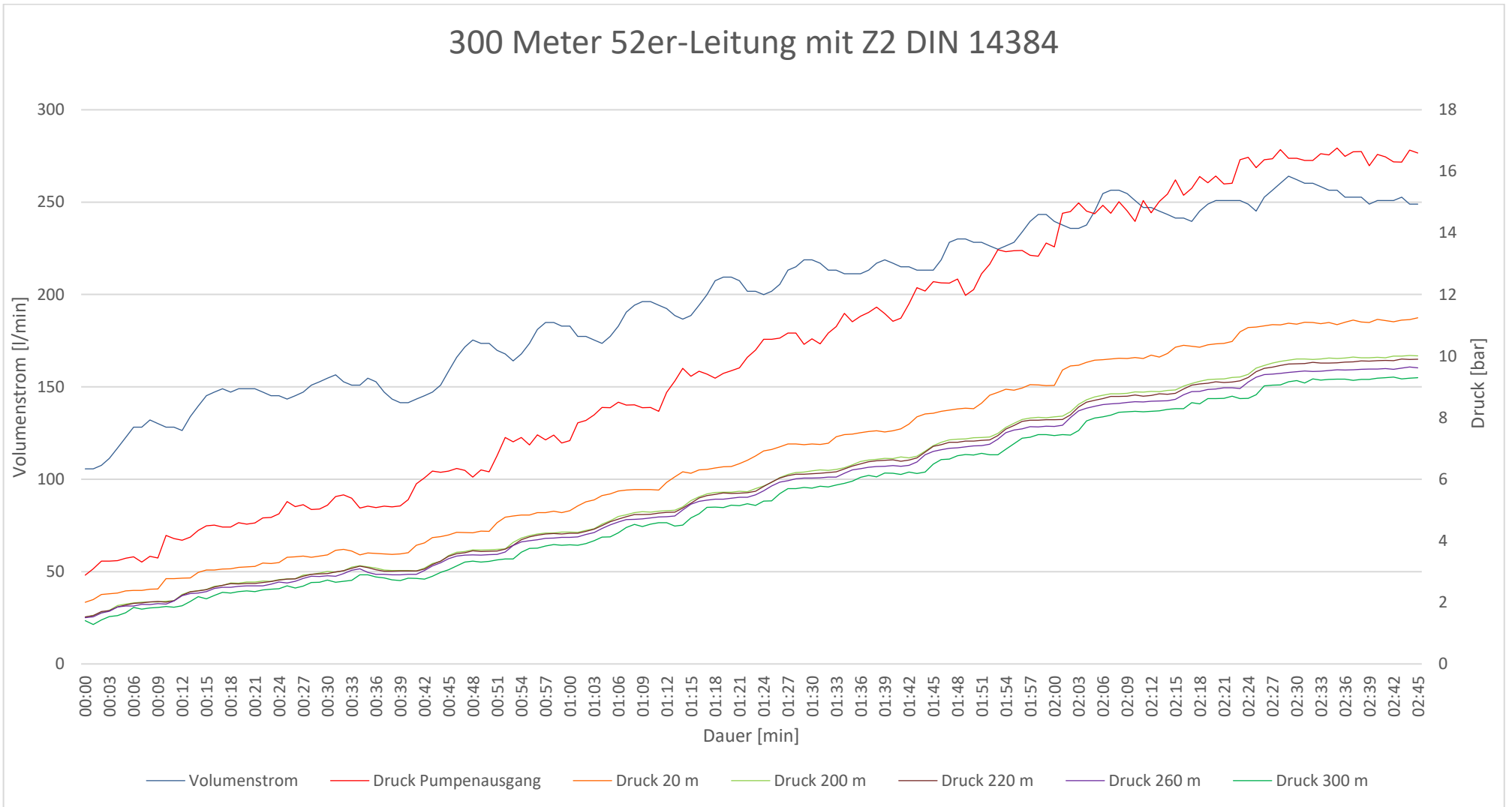
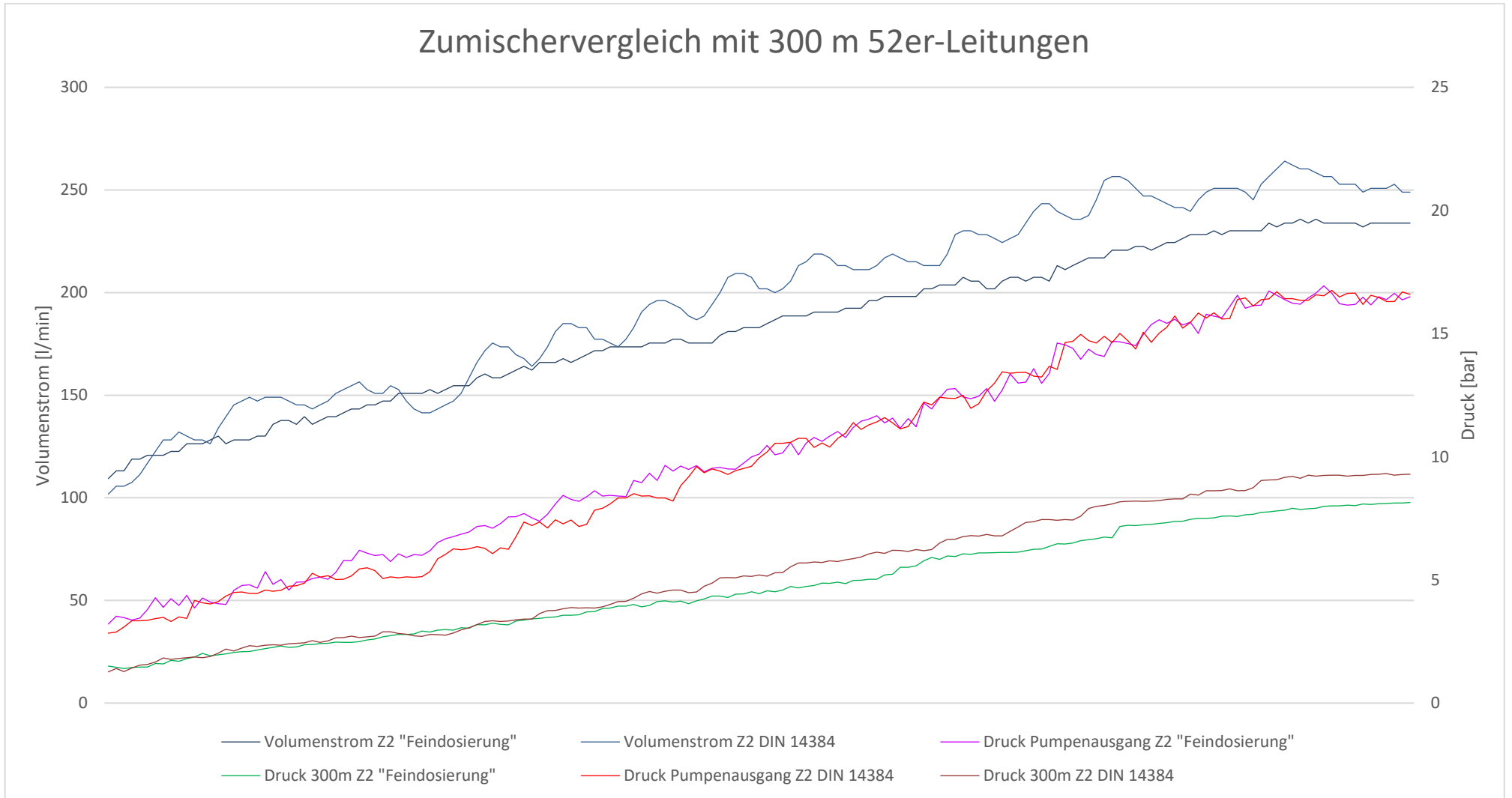


Diagramm 22:



5.5. Schaumabgabe 300m mit Zumischer Z2 DIN 14384

Ziel

Die Messungen mit Wasser als Ansaugmedium lassen den Schluss zu, dass es mit 300m Leitungslänge möglich sein sollte, Schaum zu erzeugen, selbst wenn die Pumpe maximal 10 bar Ausgangsdruck erreicht. Diese Messung soll zeigen, ob das stimmt.

Um eine Aussage über die Dauer machen zu können, bis das Schaum-Wasser-Gemisch beim Schaumrohr ankommt, wird die Zeit vom ersten Ansaugen bis zur Abgabe des ersten Schaumes gemessen.

Das Ansaugmedium ist Schaumextrakt und die Zumischrate beträgt 3%.

Messaufbau

Der Messaufbau entspricht dem Aufbau der Messung in Kapitel 5.4.

Statt Wasser wird für diese Messung Schaumextrakt als Ansaugmedium verwendet. Der Saugschlauch des Zumischers wird erst auf Kommando in das Schaumextrakt gehalten und die Zeit gemessen, bis am Schaumrohr Schaum erzeugt wird. Da bei dieser Messung die Schaumerzeugung im Vordergrund steht, wird der Pumpendruck schneller auf den Schliessdruck hochgefahren als in den vorherigen Messungen.

Ablauf der Messung

Nachdem der Pumpendruck schnell auf den Schliessdruck hochgefahren wurde, blieb die Pumpe bei dieser Einstellung, bis am Schaumrohr ein als einsatztauglich beurteilter Schaum abgegeben wurde.

Der Saugschlauch des Zumischers wird bei Punkt 00:17 in Diagramm 23 in das Schaumextrakt gehalten und die Zeit gestoppt bis am Schaumrohr ein erster Schaum abgegeben wird.

Damit kann keine Aussage über die tatsächliche Fliessgeschwindigkeit des Gemisches im Schlauch gemacht werden, da nach dem Eintauchen des Saugschlauches in das Extrakt kein konstanter Pumpendruck gehalten wurde. So hat sich die Fliessgeschwindigkeit mit der Druckerhöhung ebenfalls erhöht. Für den Feuerwehreinsatz reicht der Vergleich dieser Zeit mit der berechneten (Druckverlusttabelle, Volumenstrom) aus, für eine konkrete Aussage, wie lange es dauert, bis Schaum abgegeben werden kann.

Um zu überprüfen, ob auch 10 bar Pumpendruck noch ausreichen, um bei dieser Leitungslänge Schaum zu erzeugen, wurde der Pumpendruck bei Punkt 3:50 auf 10 bar zurückgefahren und weiterhin Schaum abgegeben.

Ergebnis

Wie schon bei den Messungen mit 42er-Leitungen verändert sich der Druck am Schaumrohr durch die höhere Viskosität des Schaumextraktes gegenüber Wasser nicht. Ebenso verhält es sich mit dem Volumenstrom. Dieser liegt mit einem Spitzenwert von ungefähr 250 l/min gleich hoch. Der Druckverlust über die gesamte Leitungslänge liegt zwischen 46% – 58%, abhängig vom Pumpendruck. Wenn nun noch der Druckverlust im Zumischer aus der Messung 3.2 herangezogen wird, dann liegt der Verlust in der Leitung bei einem Pumpendruck von 10 bar und einem Verlust im Zumischer von 3,5 bar, noch bei ca. 2,1 bar. Dies ist gemäss Druckverlusttabelle in Kapitel 7.2 zu erwarten. Der Druck am Schaumrohr ist selbst bei dieser Leitungslänge noch ausreichend, um gemäss dem Reglement Basiswissen Schaum zu erzeugen.

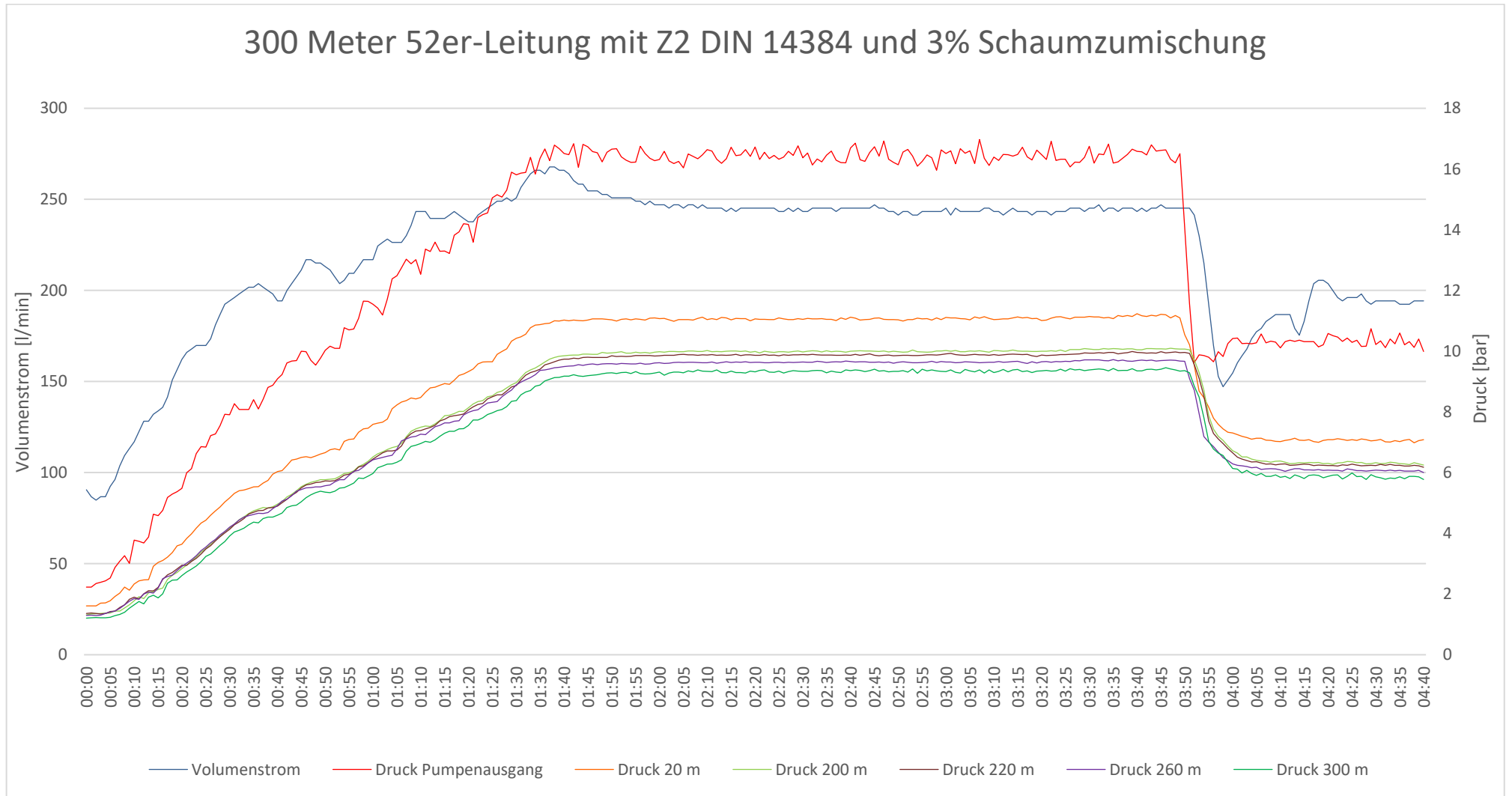
Die Zeit zu Beginn des Ansaugens bis zum ersten Schaum lag bei 2:10 min. Eine, optisch geprüfte, einsatztaugliche Qualität des Schaumes konnten wir jedoch erst nach ca. 3:15 min. erkennen. Dies deckt sich ebenfalls mit der Fliessgeschwindigkeit der Tabelle in Kapitel 7.2 bei einem Volumenstrom von ca. 250 l/min. So hätte nach 2:30 min. das erste Schaumextrakt am Schaumrohr sein müssen. Der erzeugte Schaum blieb jedoch eher "nass" und daher mit einer geringen Verschäumungszahl. Daran änderte auch das Zurückfahren des Pumpendruckes nichts. Erst das Auswechseln des Schaumrohres im Zuge der nächsten Messung verbesserte den Schaum so weit, dass wir ihn als "sehr gut" eingeschätzt haben. Die Untersuchung des eingesetzten Schaumrohres zeigte einen kleinen Schaden am Netz, sonst jedoch keine Auffälligkeiten.

Der mittlere Druckverlust über die ganze Messung zwischen dem Volumenstrommesser und dem Logger bei 260m beträgt ca. 1,2 bar. Gemäss Tabelle in Kapitel 7.2 wäre ein Verlust von ca. 1,3 bar bei 240m Leitungslänge und einem Volumenstrom von 200 l/min zu erwarten.

$p_{(Pumpe)}$ [bar]	$p_{(LAV)}$ [bar] Drucklogger	$p_{(LAV)}$ [bar] Manometer
10	5,4	5,5
12	6,3	7
16	9,2	9,5

Tabelle 10: Druck am Schaumrohr bei 300 m 52er-Leitung

Diagramm 23:



5.6. Schaumabgabe 300m mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"

Ziel

Die letzte Messung soll mit einem neuen Zumischer wiederholt werden, um zu vergleichen, wie gross die Druckverluste sind, und ob sich der neue Zumischer bei dieser Leitungslänge ebenfalls so verhält, wie erwartet.

Das Ansaugmedium ist Schaumextrakt und die Zumischrate beträgt 3 %.

Messaufbau

Der Messaufbau entspricht dem Aufbau der Messung in Kapitel 5.5. Statt dem Zumischer DIN 14384 wird nun wieder der Z2 AWG "Feindosierung" eingebaut. Um zu prüfen, ob der extrem "nasse" Schaum aus der letzten Messung am System oder am Schaumrohr lag, wird ein anderes Kombischaumrohr M2/S2 eingebaut und auf Mittelschaum eingestellt.

Ablauf der Messung

Es wurde so schnell wie möglich ein Pumpendruck von 8 bar angefahren und dieser danach kontinuierlich gesteigert, bis zum Schliessdruck. Tiefere Drücke sind für diese Messung nicht relevant. Da die Leitung bereits mit Wasser/Schaumextrakt-Gemisch gefüllt war, gab es keine Wartezeit, bis Schaum erzeugt wurde.

Ergebnis

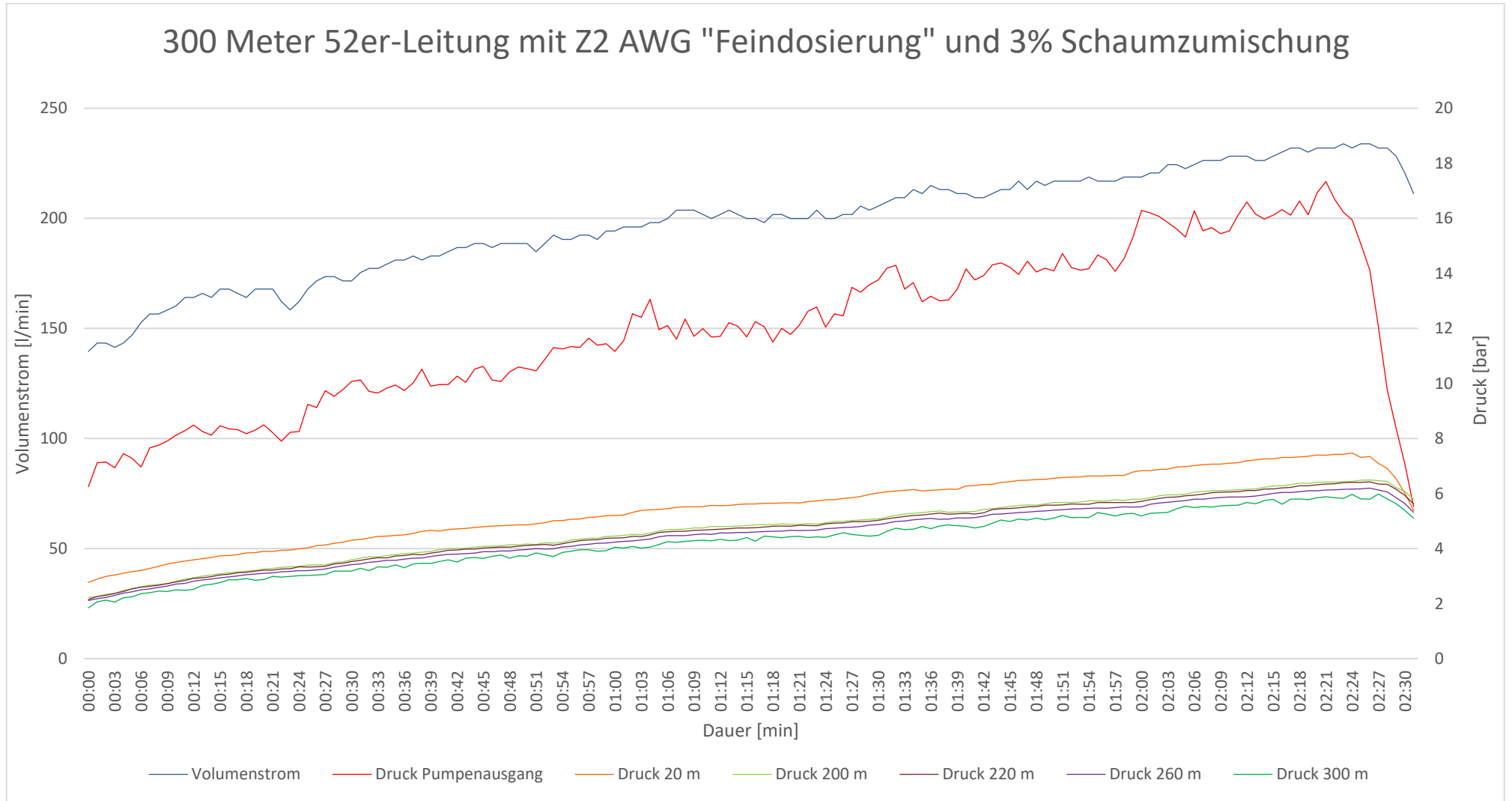
Die Verschäumung war von Beginn an sehr gut. Bereits ab 10 bar Pumpendruck erzeugte das neu eingesetzte Kombischaumrohr einen optisch hervorragenden Schaum. Dies blieb über die ganze Dauer der Messung konstant. Damit konnten wir das Schaumrohr als verantwortliches Element für den "nassen" Schaum in der letzten Messung eruieren. Der Zumischer Z2 AWG "Feindosierung" hat wiederum die höheren Druckverluste als der DIN 14384.

Mit Schaummittel als Ansaugmedium ist der Druckverlust deutlich grösser als mit Wasser. Es scheint, als habe die Viskosität des Ansaugmediums bei neueren Zumischern einen grösseren Einfluss auf den Druckverlust. Der mittlere Druckverlust über die ganze Messung zwischen dem Volumenstrommesser und dem Logger bei 260m beträgt ca. 1,2 bar. Gemäss Tabelle in Kapitel 7.2 wäre ein Verlust von ca. 1,3 bar bei 240m Leitungslänge und einem Volumenstrom von 200 l/min zu erwarten gewesen.

$p_{(Pumpe)}$ [bar]	$p_{(LAV)}$ [bar] Drucklogger	$p_{(LAV)}$ [bar] Manometer
10	3,5	3,5
12	4,5	4,5
16	5,7	6

Tabelle 11: Druck am Schaumrohr bei 300 m 52er-Leitung

Diagramm 24:



5.7. Schaumabgabe 400m mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"

Ziel

Die Werte der Messung mit 300m Leitungslänge zeigen, dass es auch mit einer deutlich längeren Leitung möglich sein sollte, einen einsatztauglichen Schaum zu erzeugen. Deshalb wird die Leitung um 100m auf 400m verlängert.

Das Ansaugmedium ist Schaumextrakt und die Zumischrate beträgt 3%.

Messaufbau

Der Messaufbau entspricht dem in Kapitel 5.6. Es wurden aber nach dem Volumenstrommesser bei 20m Leitungslänge fünf weitere Schläuche eingebaut, so dass die Gesamtlänge 400m erreicht wird. Die Drucklogger sind damit neu beim Pumpenausgang, nach 20m, 300m, 320m, 360m und 400m.

Ablauf der Messung

Es wurde so schnell wie möglich ein Pumpendruck von 8 bar angefahren und dieser danach kontinuierlich gesteigert, bis zum Schliessdruck. Tiefere Drücke sind für diese Messung nicht relevant. Da die Leitung bereits mit Wasser/Schaumextrakt-Gemisch gefüllt war, gab es keine Wartezeit, bis Schaum erzeugt wurde.

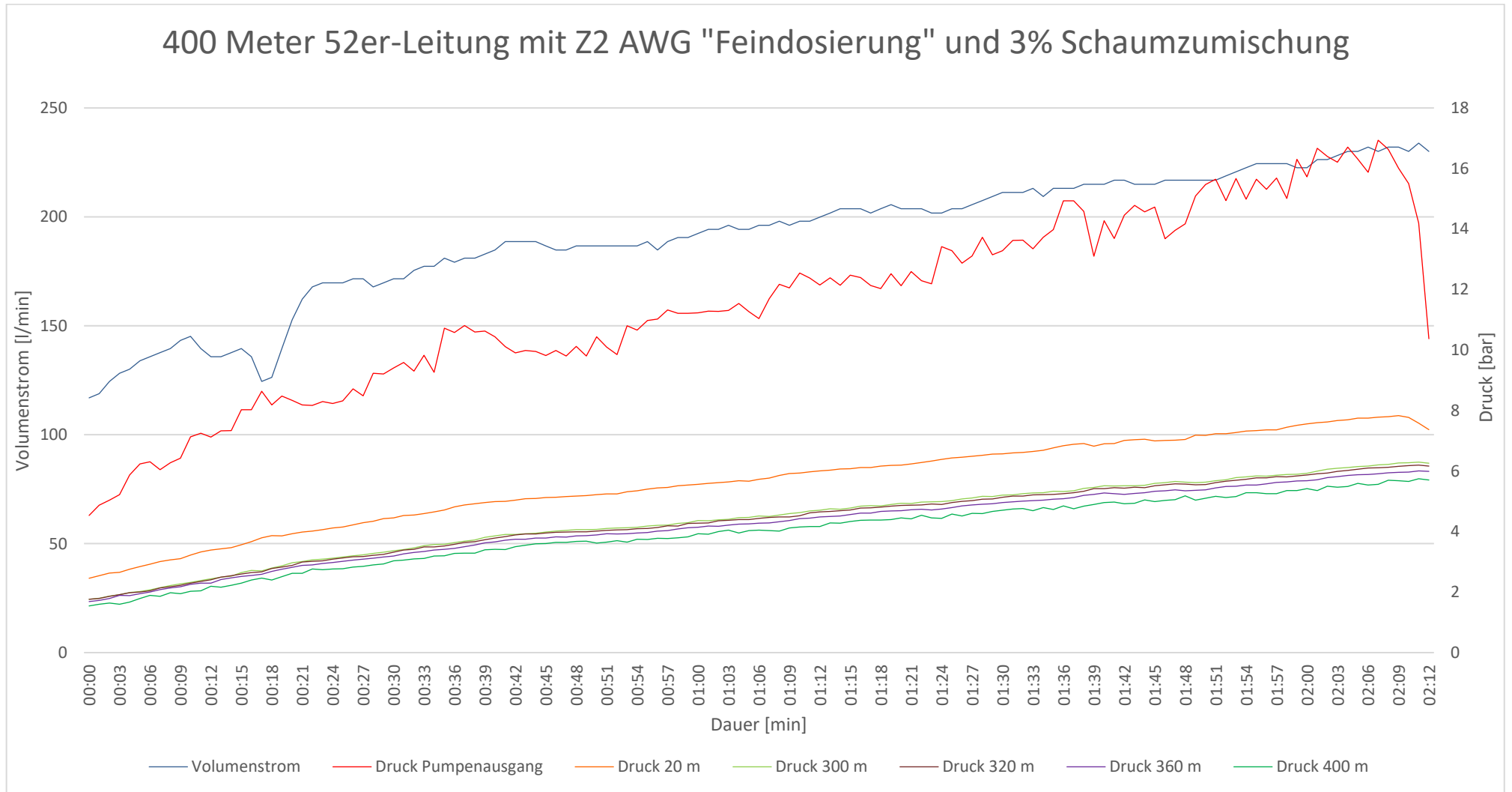
Ergebnis

Die Verschäumung war von Beginn an sehr gut. Bereits ab 10 bar Pumpendruck wurde ein optisch hervorragender Schaum erzeugt. Dies blieb über die ganze Dauer der Messung konstant. Das Ergebnis dieser und der vorherigen Messung deuten darauf hin, dass bereits bei einem Druck von ungefähr 3,5 bar am Schaumrohr ein einsatztauglicher Schaum erzeugt werden kann. Der mittlere Druckverlust über die ganze Messung zwischen dem Volumenstrommesser und dem Logger bei 300m beträgt ca. 1,3 bar. Diese Leitungslänge ist in der Tabelle 18 in Kapitel 7.2 leider nicht mehr aufgeführt. Aber wenn die Tabelle für diesen speziellen Fall linear erweitert würde, sollte der Druckverlust ungefähr 1,5 bar betragen.

$p_{\text{(Pumpe)}}$ [bar]	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Drucklogger	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Manometer
10	3,7	3,5
12	4,2	4,5
16	5,5	5,5

Tabelle 12: Druck am Schaumrohr bei 400 m 52er-Leitung

Diagramm 25:



5.8. Schaumabgabe 500m mit Zumischer Z2 AWG "Feindosierung"

Ziel

Die Werte der Messung mit 400m Leitungslänge zeigen, dass es auch mit einer deutlich längeren Leitung möglich sein sollte, einen einsatztauglichen Schaum zu erzeugen. Deshalb wird die Leitung um 100m auf 500m verlängert.

Das Ansaugmedium ist Schaumextrakt und die Zumischrate beträgt 3%.

Messaufbau

Der Messaufbau entspricht dem Aufbau der Messung in Kapitel 5.7. Es wurden jedoch nach dem Volumenstrommesser bei 20m Leitungslänge 5 weitere Schläuche eingebaut, so dass die Gesamtlänge 500m erreicht. Die Drucklogger sind damit neu beim Pumpenausgang, nach 20m, 400m, 420m, 460m und 500m.

Ablauf der Messung

Es wurde so schnell wie möglich ein Pumpendruck von 8 bar angefahren und dieser danach kontinuierlich gesteigert bis zum Schliessdruck. Tiefere Drücke sind für diese Messung nicht relevant. Da die Leitung bereits mit Wasser/Schaumextrakt-Gemisch gefüllt war, gab es keine Wartezeit, bis Schaum erzeugt wurde.

Ergebnis

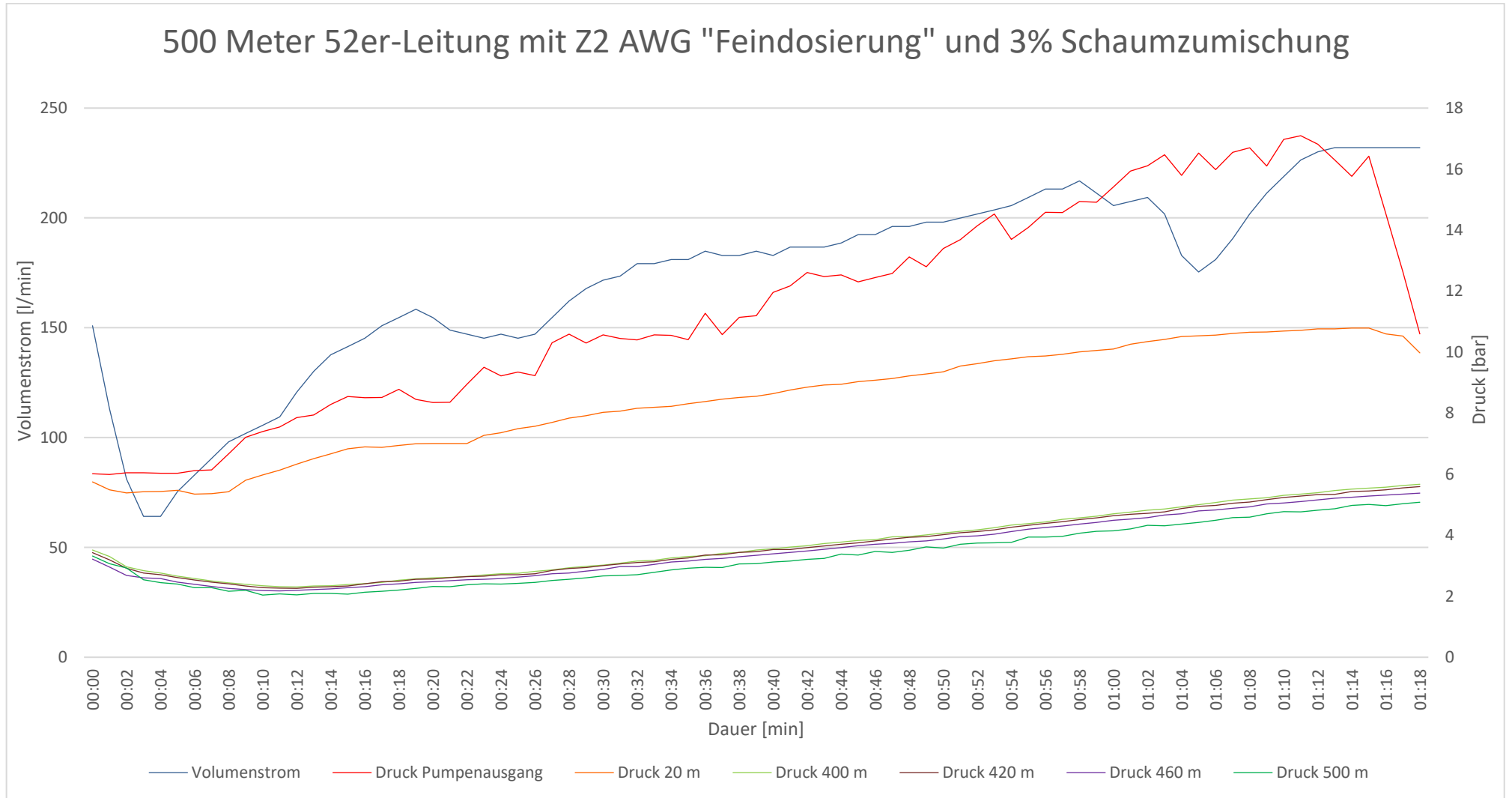
Die Verschäumung war von Beginn an sehr gut. Bereits ab 10 bar Pumpendruck erzeugte das neu eingesetzte Kombischaumrohr einen optisch hervorragenden Schaum. Dies blieb über die ganze Dauer der Messung so. Das Diagramm zeigt gut, dass der Zumischer und 20m Schlauch eine "glättende" Wirkung auf den Druckverlauf hat. So werden kleinere Ausschläge der Pumpe bereits nach 20m nicht mehr registriert und selbst ein kurzes Absinken des Volumenstromes bei Punkt 01:05 erzeugt keine messbare Druckschwankung. Der Anstieg ist sogar beinahe linear, obwohl die Pumpe durch den Maschinisten manuell auf den Schliessdruck hochgefahren wurde. Der Schaum war von Beginn der Messung an gut, die Qualität steigerte sich jedoch sichtlich ab ca. 12 bar Pumpendruck, oder bei 3 bar am Schaumrohr.

Ein Pumpenausgangsdruck von 12 bar sollte gemäss dieser Messung reichen, um einen einsatztauglichen Schaum zu erzeugen, selbst wenn das Schaumsystem 500m lang und mit 52er-Schläuchen aufgebaut ist.

$p_{(Pumpe)}$ [bar]	$p_{(LAV)}$ [bar] Drucklogger	$p_{(LAV)}$ [bar] Manometer
10	2,5	3
12	3,2	3,5
16	4,6	5

Tabelle 13: Druck am Schaumrohr bei 500 m 52er-Leitung

Diagramm 26:



5.9. Schaumabgabe 500m mit Zumischer Z2 DIN 14384

Ziel

Die letzte Messung soll mit einem alten Zumischer wiederholt werden, um zu vergleichen, wie gross die Druckverluste sind und ob sich der Zumischer bei dieser Leitungslänge ebenfalls verhält, wie erwartet.

Das Ansaugmedium ist Schaumextrakt und die Zumischrate beträgt 3%.

Messaufbau

Der Messaufbau entspricht dem Aufbau der Messung in Kapitel 5.8. Statt dem Zumischer Z2 AWG "Feindosierung" wird nun wieder der Z2 DIN 14384 eingebaut.

Ablauf der Messung

Es wurde so schnell wie möglich ein Pumpendruck von 8 bar angefahren und dieser danach kontinuierlich gesteigert bis zum Schliessdruck. Tiefere Drücke sind für diese Messung nicht relevant. Da die Leitung bereits mit Wasser/Schaumextrakt-Gemisch gefüllt war, gab es keine Wartezeit, bis Schaum erzeugt wurde.

Ergebnis

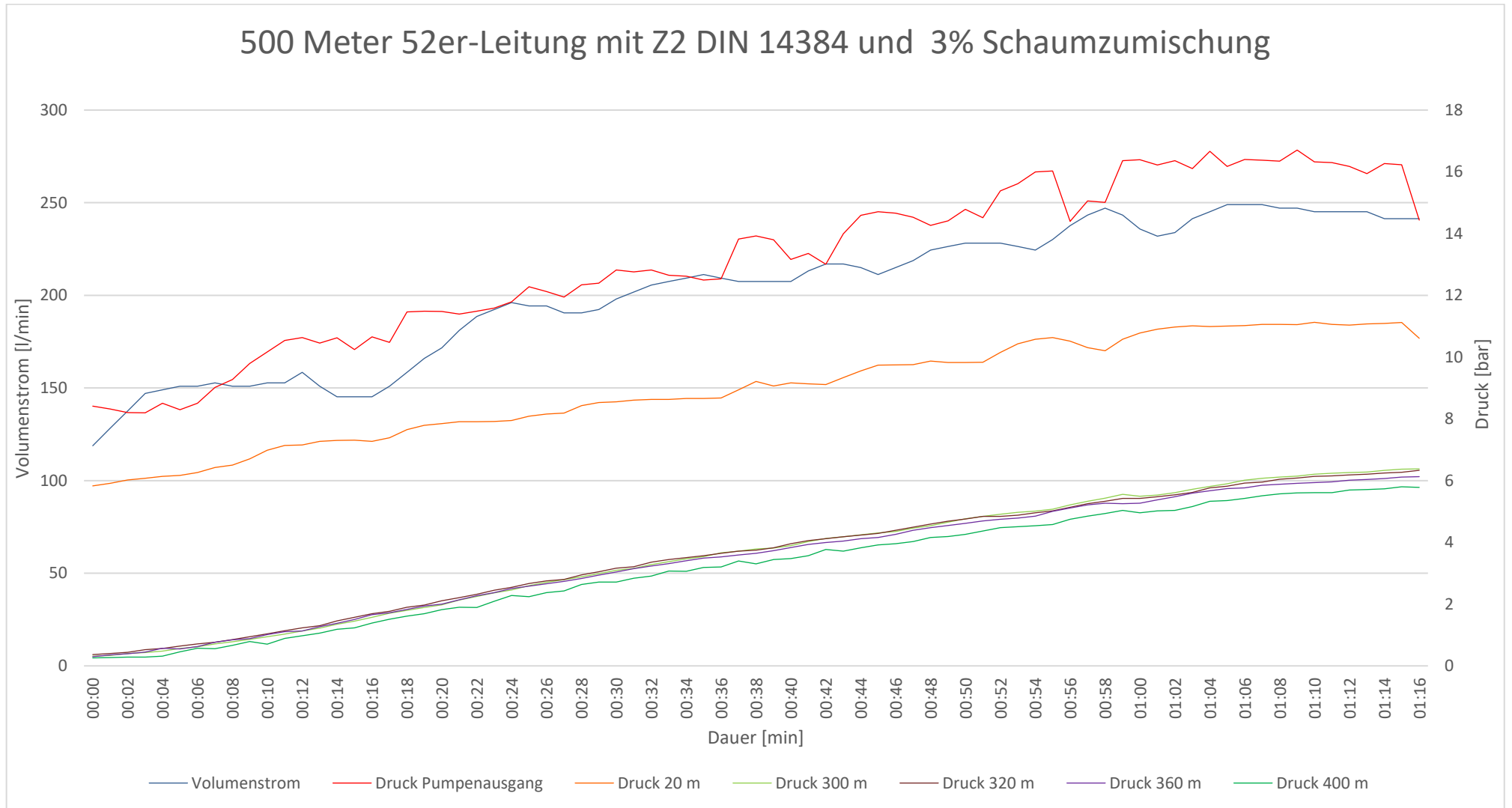
Die Verschäumung war von Beginn an sehr gut. Bereits ab 10 bar Pumpendruck erzeugte das eingesetzte Kombischaumrohr einen optisch hervorragenden Schaum. Dies blieb über die ganze Dauer der Messung so. Der Schaum war von Beginn der Messung an gut, die Qualität steigerte sich jedoch sichtlich ab ca. 12 bar Pumpendruck, oder bei 3 bar am Schaumrohr, wie bei der vorherigen Messung. Der Druckverlust war im Vergleich mit dem Zumischer Z2 AWG "Feindosierung" leicht niedriger und der Volumenstrom leicht höher.

Die Protokollierung des Druckes am Manometer des Schaumrohres ergab grössere Differenzen als bei den vorherigen Messungen. Dies dürfte jedoch an Ungenauigkeiten beim Ablesen (Zeitpunkt, schneller Druckanstieg, etc.) liegen.

$p_{\text{(Pumpe)}}$ [bar]	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Drucklogger	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Manometer
10	1,5	3
12	2,5	3,8
16	5	5,5

Tabelle 14: Druck am Schaumrohr bei 500 m 52er-Leitung

Diagramm 27:



5.10. Schaumabgabe mit Zumischer Z2 DIN 14384 und TFT Strahlrohr

Ziel

Der Druckverlust und eine mögliche Veränderung des Volumenstromes durch Einsetzen eines TFT-Strahlrohres mit Schaumaufsatz soll gemessen werden. Zudem soll die Schaumqualität dieses "improvisierten" Schaumrohres untersucht werden, um eine Aussage für den möglichen Einsatz dieser Kombination machen zu können.

Das Ansaugmedium ist Schaumextrakt und die Zumischrate beträgt 3%.

Messaufbau

Der Messaufbau entspricht dem Aufbau der Messung in Kapitel 5.9. Statt dem Kombischaumrohr wird in diesem Fall jedoch ein Automatikstrahlrohr Multiforce 400 P der Firma TFT eingesetzt und mit einem passenden Schaumaufsatz verbunden. Dieser ist so auf dem Markt erhältlich und wird als Zubehör angeboten.

Ablauf der Messung

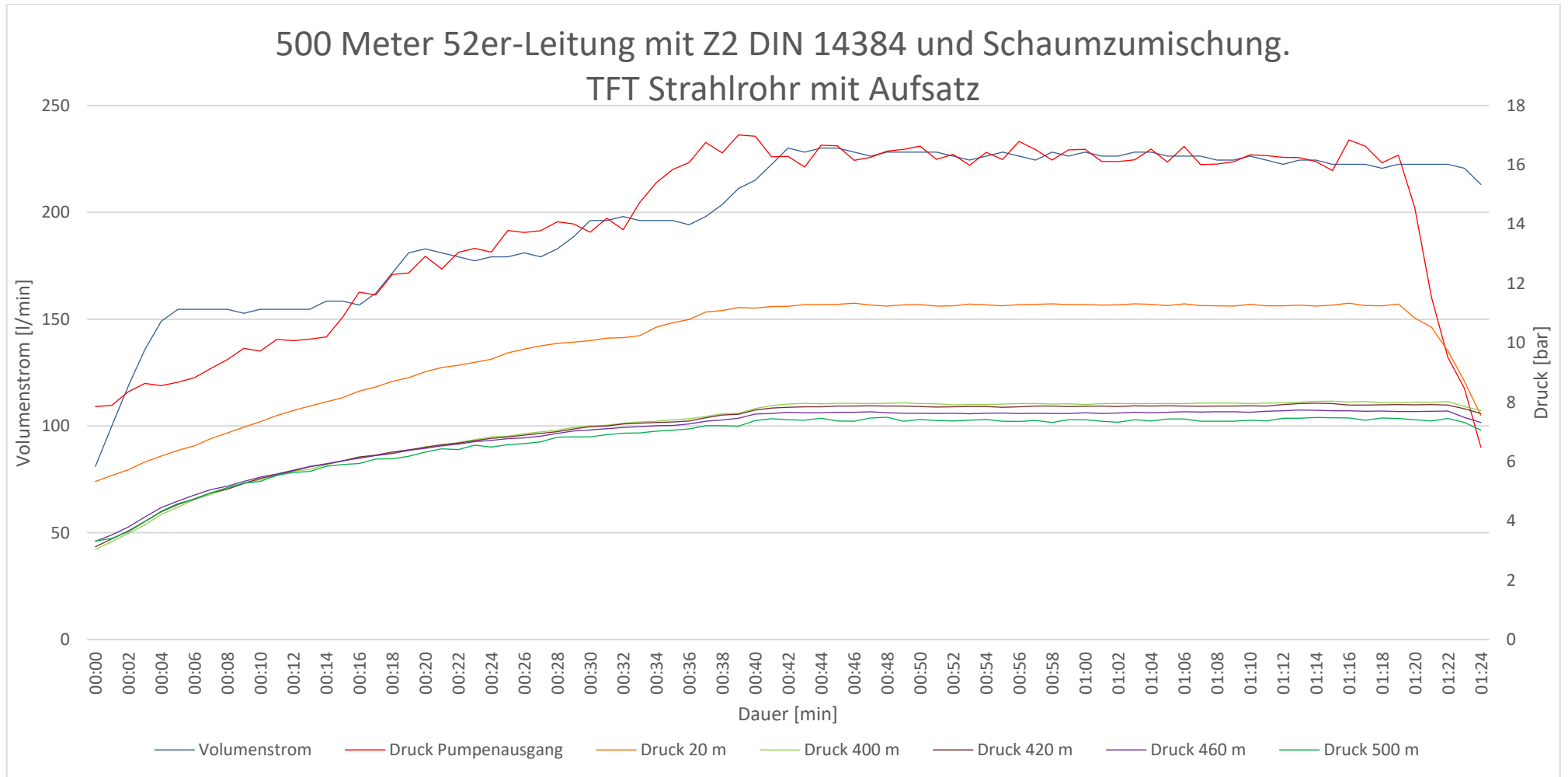
Es wurde so schnell wie möglich ein Pumpendruck von 8 bar angefahren und dieser danach kontinuierlich gesteigert bis zum Schliessdruck. Tiefere Drücke sind für diese Messung nicht relevant. Während der Schaumabgabe wurde die Strahlform mehrmals verändert, um zu überprüfen, welche Einstellung den besten Schaum erzeugt.

Ergebnis

Die Druckverluste im System sind deutlich geringer als mit dem Schaumrohr. Der maximal erreichte Druck hinter dem Strahlrohr betrug 7,4 bar. Dies lässt den Schluss zu, dass der Gegendruck durch das Automatikstrahlrohr bedeutend grösser ist als durch den Kugelhahn des Schaumrohres. Der Volumenstrom liegt ungefähr im selben Bereich, oder leicht tiefer als beim Schaumrohr, was zum erhöhten Gegendruck durch die veränderte Technik im Strahlrohr passen würde.

Die Verschäumung war zu Beginn nicht besonders gut. Es wurde ein deutlich "nasserer" Schaum erzeugt als mit dem Kombischaumrohr. Die Konsistenz war klar die eines Schwerschaumes, was aufgrund der Bauweise des Strahlrohres zu erwarten war. Mit der Einstellung "Vollstrahl" wurde ein deutlich erkennbarer Schwerschaum erzeugt, mit dem Sprühstrahl ein sehr "nasser" Mittelschaum. Das Sprühbild war in diesem Fall jedoch extrem schlecht und die Wurfweite nicht einsatztauglich. Zum Schluss dieser Messung können wir feststellen, dass diese Notlösung für Schwerschaum zu gebrauchen, für Mittelschaum jedoch nicht zweckmässig ist.

Diagramm 28:



5.11. Wasserabgabe mit 20m 75er-Leitung, Teilstück und 200 m Leitung

Ziel

Da im Einsatz meistens mit einer Transportleitung und einem Teilstück vor dem Zumischer gearbeitet wird, sollen die Druckverluste mit diesem Aufbau gemessen werden. So kann die Berechnung mittels Druckverlusttabelle verifiziert werden.

Das Ansaugmedium ist Wasser und die Zumischrate beträgt 3%.

Messaufbau

Am TLF wurde eine 75er-Leitung angeschlossen und an deren Ende das Volumenstrommessgerät angeschlossen. Danach kommt der Zumischer Z2 DIN 14384 abgangsseitig mit einer 200m langen 52er-Leitung. Am Leitungsende wird wieder das Kombischaumrohr M2/S2 mit der Einstellung "Mittelschaum" eingebaut. Drucklogger sind beim Pumpenabgang, bei 20m, 140m, 160m, 180m und 220m eingebaut.

Ablauf der Messung

Der Pumpendruck wurde langsam von ca. 2 bar bis zum Schliessdruck hochgefahren, da durch den Einsatz von Wasser als Ansaugmedium kein Zeitdruck mehr bestand. Bei Erreichen des Schliessdruckes wurde die Messung über einen Zeitraum von ungefähr einer Minute fortgeführt, um zu überprüfen, wie sich der Volumenstrom einpendelte.

Ergebnis

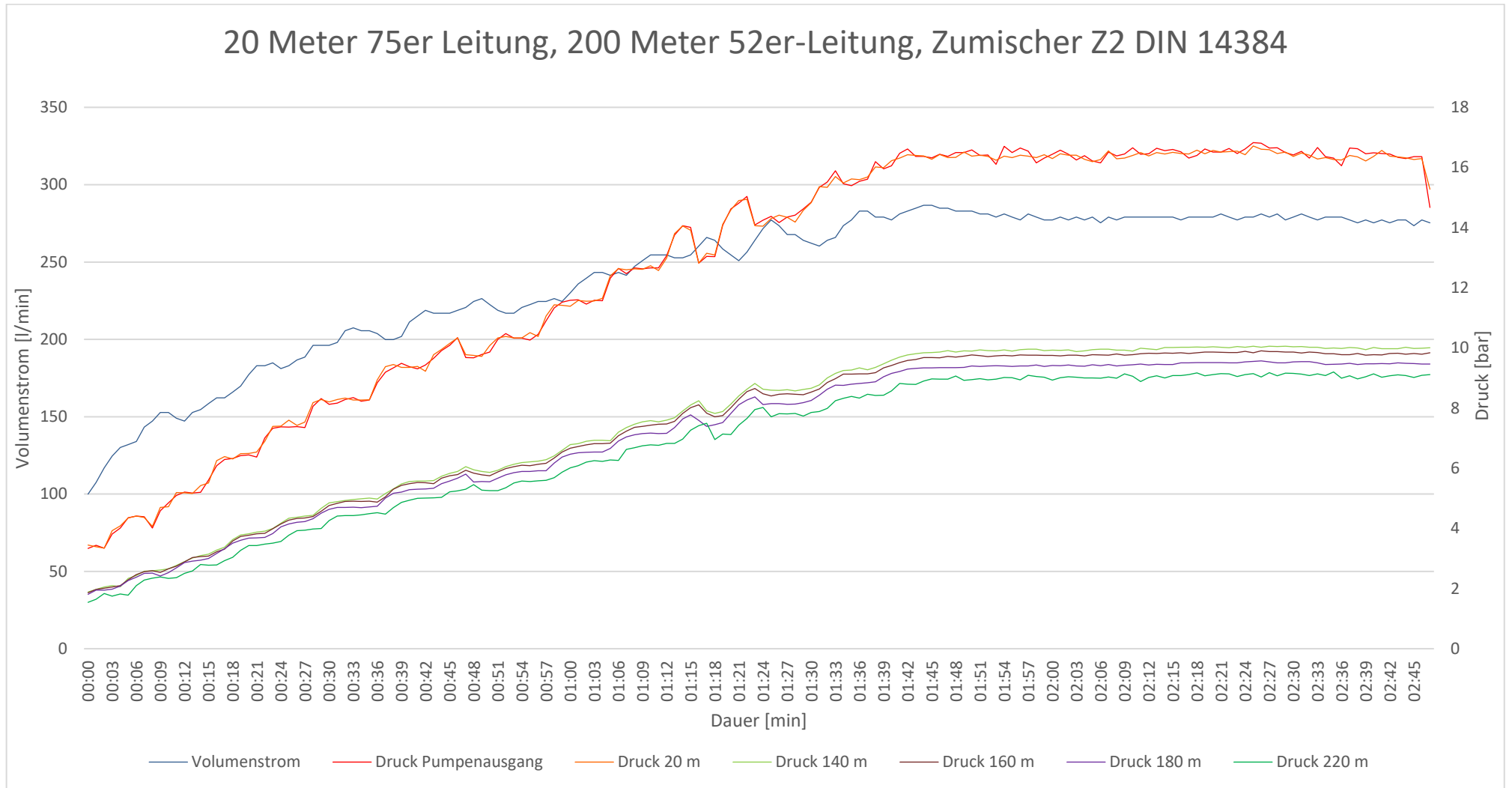
Der Druckverlust in einer 75er-Leitung ist bei einem Durchfluss von ungefähr 200 l/min in einem nicht messbaren Bereich. Die Kurven der ersten beiden Drucklogger im Diagramm 29 sind beinahe deckungsgleich.

Gemäss den Druckverlusttabellen der Richtlinie Versorgung mit Löschwasser in Kapitel 7.2 ist ein Druckverlust von weniger als 0,4 bar zu erwarten, was mit dieser Messung bestätigt wird.

$p_{\text{(Pumpe)}}$ [bar]	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Drucklogger	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Manometer
10	5,3	5,5
12	6,3	6,5
16	9,1	8,5

Tabelle 15: Druck am Schaumrohr bei 500 m 52er- und 20 m 75er- Leitung

Diagramm 29:



5.12. Wasserabgabe mit 60m 75er-Leitung, Teilstück und 200 m Leitung

Ziel

Die Messung 5.11 liess aufgrund der Messtoleranz keinen Schluss über die tatsächlichen Druckverluste in der 75er-Leitung zu. Deshalb soll in einer weiteren Messung eine Transportleitung eingesetzt werden, die einem realen Einsatz am ehesten entspricht. Für diese Messung wird die Länge der Transportleitung deshalb auf 60m festgelegt.

Das Ansaugmedium ist Wasser und die Zumischrate beträgt 3%.

Messaufbau

Der Messaufbau entspricht dem der Messung 5.11, jedoch mit 60m Transportleitung anstelle der 20m bei der vorherigen Messung.

Ablauf der Messung

Der Pumpendruck wurde langsam von knapp 2 bar bis zum Schliessdruck hochgefahren, da durch den Einsatz von Wasser als Ansaugmedium kein Zeitdruck mehr bestand.

Ergebnis

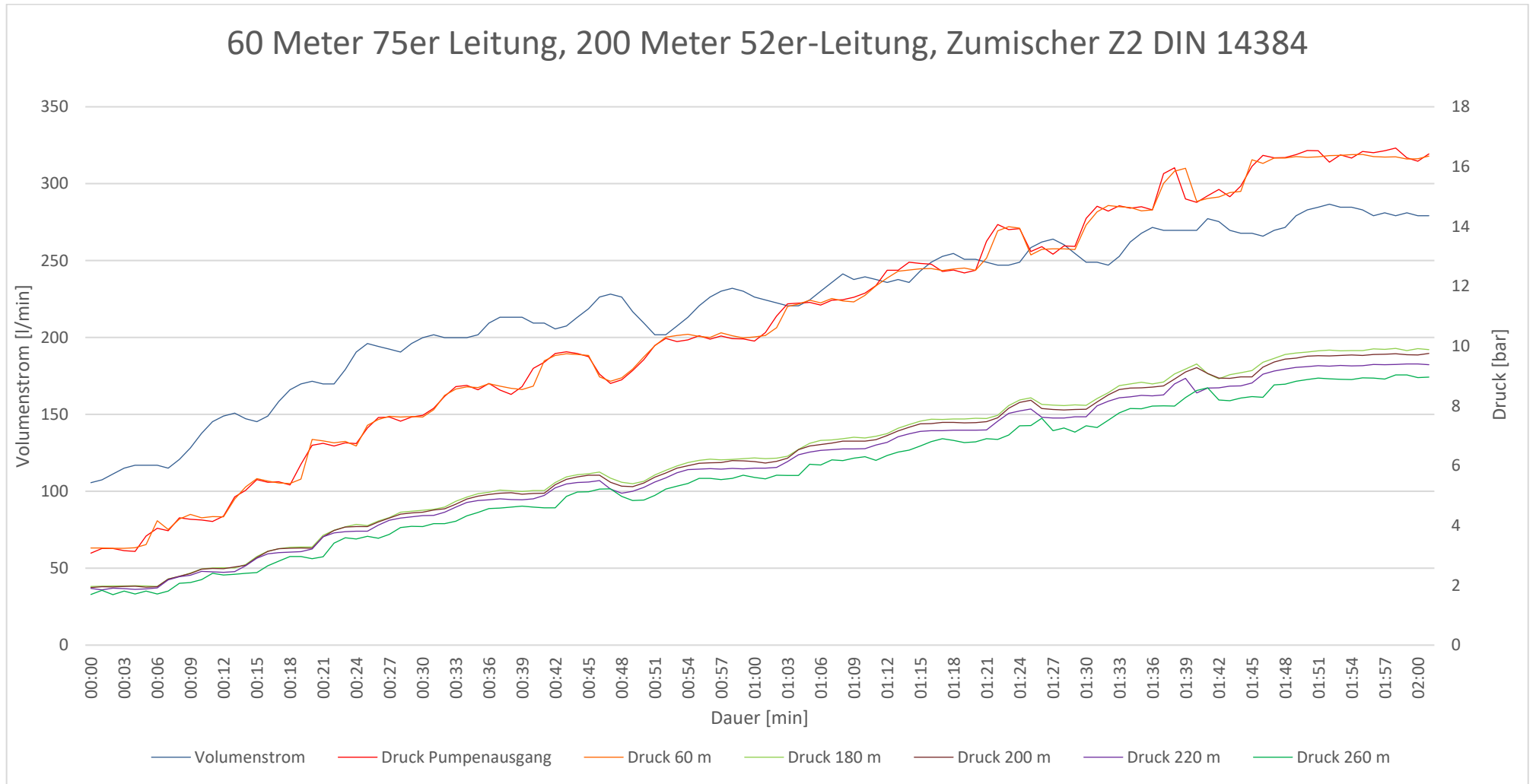
Selbst mit 60m Transportleitung, was im Einsatz mit Schaummittel wohl selten überschritten werden dürfte, kann kein messbarer Druckverlust festgestellt werden. Die Verluste bewegten sich immer noch im 10tel bar-Bereich und diese müssen bei diesem Messaufbau als Messtoleranz angesehen werden. Somit kann gesagt werden, dass ein Schaumsystem mit einer Transportleitung vor dem Zumischer wohl so lange verlängert werden kann, dass dies nicht mehr einsatzrelevant ist.

Sollte für einen Einsatz mit einem TLF eine Transportleitung mit allen verfügbaren 75er-Schläuchen auf dem Fahrzeug gebaut werden, so wird diese wohl in den wenigsten Fällen eine Länge von 400m überschreiten. Damit entsteht gemäss Tabelle in Kapitel 7.2 ein Druckverlust von weniger als 0,5 bar. Damit kann immer noch eine Leitungslänge von 200m 52er nach dem Zumischer betrieben werden, selbst wenn die Pumpe nur 10 bar Ausgangsdruck erreicht.

$p_{\text{(Pumpe)}}$ [bar]	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Drucklogger	$p_{\text{(LAV)}}$ [bar] Manometer
10	5,5	5,5
12	6,3	6,5
16	8,9	8,5

Tabelle 16: Druck am Schaumrohr bei 500 m 52er- und 60m 75er- Leitung

Diagramm 30:



6. Messergebnisse und Analysen

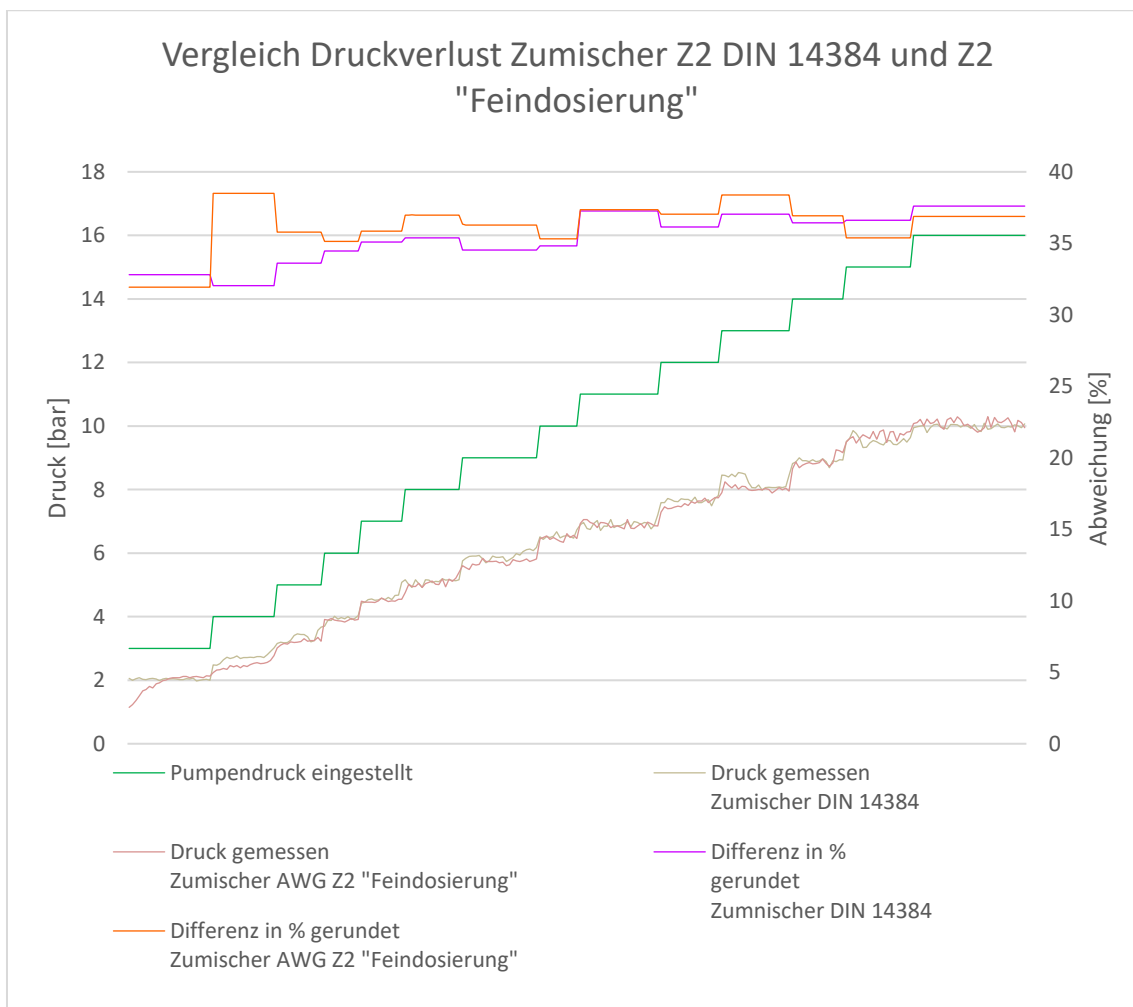
6.1. Vergleich der Druckverluste zwischen den Zumischern

Die Druckverluste in den beiden Zumischern wurden jeweils mit Wasser als Ansaugmedium gemessen. Wie in der Messung des neuen Zumischers mit 3% Zumischung von Schaumextrakt beschrieben, erhöht sich der Druckverlust durch Ansaugen von Schaumextrakt nur um ca. 2 Prozentpunkte und kann deshalb vernachlässigt werden.

Die Annahme, dass ein Zumischer neuerer Bauart weniger Druckverlust aufweisen würde, erwies sich als falsch. Die Verluste über das gesamte Spektrum des Pumpendrucks sind mit einer Abweichung von maximal 2 Prozentpunkten minimal. Der einzige Ausreisser dieser Messreihe war bei 4 bar Pumpendruck und betrug 6 Prozentpunkte. Ein solch tiefer Pumpendruck wird für einen Schaumeinsatz wohl nie genutzt werden, da die gängigen Ausbildungsunterlagen in der Schweiz einen minimalen Druck von 5 bar am Schaumrohr vorsehen. Für den Einsatz können wir die Faustregel von ca. 1/3 Druckverlust für den Zumischer gelten lassen.

Die Werte im folgenden Diagramm entsprechen nicht ganz genau den Werten aus den Messungen der Zumischer, sondern sind so aufeinander abgestimmt, dass die Druckverluste beim jeweils gleichen Pumpendruck verglichen werden können. Die Abweichung des Druckverlustes in Prozent weicht jedoch maximal einen Punkt von denen der vorherigen Messungen ab.

Diagramm 31:



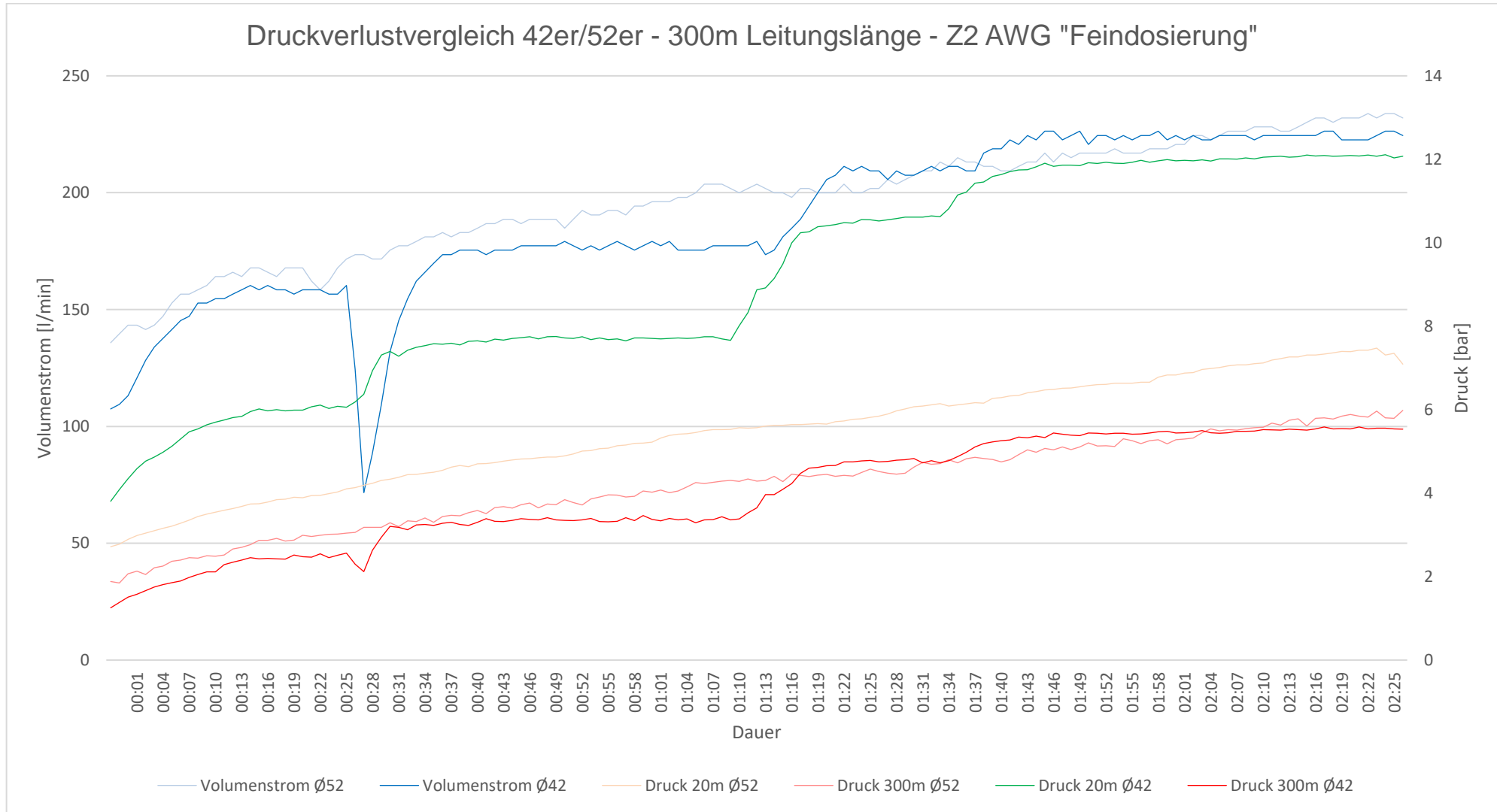
6.2. Druckverlustunterschiede in 42er- und 52er-Leitungen

Die Druckverluste über 300m Leitungslänge sind beinahe identisch. Dies aufgrund des geringen Volumenstromes von ungefähr 220l/min. Die Differenzen der beiden Kurven in Diagramm 32 sind so gering, dass sie auch durch Messtoleranzen und Fehler beim Verbund der Diagramme erklärt werden können. Viel interessanter sind die Druckdifferenzen beim Drucklogger bei 20m Leitungslänge. Dort fällt auf, dass der Druck bei 42er-Leitungen deutlich höher ist als bei 52er.

Diese Differenz erscheint auf den ersten Blick unlogisch, erwartet man doch bei geringerem Leitungsdurchmesser automatisch auch den höheren Druckverlust. In diesem Fall ist es jedoch so, dass durch den kleinen Volumenstrom ein wesentlich kleinerer Druckaufbau in der 52er-Leitung stattfindet, weil das Wasser praktisch widerstandsfrei abfliessen kann. In der 42er-Leitung erreicht er hingegen ungefähr 1/3 des maximalen Volumenstromes und entsprechend gross ist der Druckaufbau in der Leitung. Durch die höhere Fliessgeschwindigkeit und die damit verbundenen erhöhten Reibungsverluste ist der Druck nach 300m fast identisch mit der 52er-Leitung.

Daraus ergibt sich paradoxerweise die Situation, dass bei solch langen Leitungen die Ablesung am Manometer des Schaumrohres nicht unbedingt auf die Druckverhältnisse in der Leitung geschlossen werden kann. Ausserdem besteht ein Zusammenhang zwischen dem Ansaugverhalten des Zumischers und dem Druck nach dem Zumischer, der in diesem Fall als Gegendruck wirkt.

Diagramm 32:



6.3. Maximale Leitungslänge nach dem Zumischer Z2

Die maximale Leitungslänge nach dem Zumischer war bei 200m 42er erreicht. Bei den 52er lag sie bei 500m.

Bei beiden Maximallängen ist jedoch der im Reglement Basiswissen geforderte Mindestdruck von 5 bar am Schaumrohr nicht erreichbar. Die Druckverluste im System sind zu hoch. Die Messungen haben aber gezeigt, dass mit dem eingesetzten Schaummittel ab ca. 3 bar Druck am Schaumrohr ein qualitativ guter Schaum abgegeben werden kann.

Die unerwarteten Abbrüche des Ansaugvorganges bei den Messungen 4.4 bis 4.7 können mit dem entstehenden Gegendruck nach dem Zumischer erklärt werden. Scheinbar wird der zum Ansaugen nötige Unterdruck zwischen Treib- und Fangdüse nicht mehr erreicht (siehe "Schaummittel-Zumischer" von Holger de Vries, Ecomed-Verlag), wenn der Druckverlust im Leitungssystem ungefähr 8 bar erreicht; das heisst, sobald zwischen Zumischer und Schaumrohr eine Differenz von ungefähr 8 bar oder grösser entsteht.

Eine exakte Aussage, ab welchem Druck das passiert, kann aufgrund dieser Messreihe nicht gemacht werden. Dazu wären weitere Messungen nötig.

Wenn noch 75er Leitungen nach dem Zumischer eingebaut werden, kann eine Schaumleitung gebaut werden, die eine komplette Beladung eines TLF umfasst. Die Messungen 5.11 und 5.12 haben gezeigt, dass bei Leitungsdurchmesser 75mm praktisch keine Druckverluste mehr auftreten.

6.4. Einfluss der Leitungslänge auf den Schaummittelbedarf

Die Messungen wurden teilweise über sehr grosse Leitungslängen durchgeführt. Dies diente der Überprüfung der gängigen Lehrmeinung in der schweizerischen Feuerwehrausbildung, dass bis maximal 80m Leitungslänge nach dem Zumischer Z2 und einem Schlauchdurchmesser von mindestens 52mm Schaum erzeugt/abgegeben werden kann. Die Messungen haben klar gezeigt, dass diese Werte viel zu tief sind, und dass auch mit einem Z2-Zumischer und 42er Leitungen Schaum erzeugt werden kann.

Keine Beachtung fand bei dieser Messreihe jedoch die Tatsache, dass solch lange Leitungen einen starken Einfluss auf die benötigte Menge Schaumextrakt haben. Schliesslich müssen die Leitungen erst mit Wasser/Schaummittel-Gemisch geflutet werden, bevor überhaupt Schaum erzeugt werden kann. Bei 42er-Leitungen gehen wir von ca. 27,7 Liter Inhalt pro Schlauch aus. Bei einer Leitungslänge von 100m sind das bereits knapp 140 Liter, bei 200m entsprechend knapp 280 Liter. Bei einer Zumischrate von 3% werden also 8,3 Liter Schaumextrakt benötigt, um die 200m-Leitung zu fluten. Bei den 52er-Leitungen ist der Schlauchinhalt einer 20m-Leitung bereits 42,5 Liter. Bei 100m Leitungslänge entspricht das bereits 212.5 Liter und bei 500m, wie bei der letzten Messung, entspricht dies also 1062.5 Liter. Bei einer Zumischrate von wiederum 3% entspricht dies 6,4 Liter Schaumextrakt bei einer Leitungslänge von 100m, oder 31,9 Liter bei 500m Leitungslänge. Gerade bei Einsätzen von Feuerwehren mit minimalem Schaummittelvorrat auf den Fahrzeugen ist das eine nicht zu unterschätzende Grösse für den Einsatz mit längeren Leitungen, auch wenn die Leitung nur ein einziges Mal komplett gefüllt werden muss.

6.5. Einfluss der Viskosität des Ansaugmediums

Die Viskosität des Ansaugmediums hatte in diesen Versuchen praktisch keinen Einfluss auf die Druckverluste und das Ansaugverhalten während dieser Messreihe. Der direkte Vergleich in den Messungen 4.4 und 4.5 hat eine Abweichung von maximal 0,6 bar ergeben. Und diese Abweichung trat erst bei sehr hohem Pumpendruck auf, der im realen Einsatz wohl selten erreicht werden dürfte.

$p_{(Pumpe)}$ [bar]	$p_{(LAV)}$ [bar] Wasserabgabe	$p_{(LAV)}$ [bar] Schaumabgabe
10	5,2	5,4
12	6,2	6,3
16	8,6	9,2

Tabelle 17: Druckvergleich bei unterschiedlichen Ansaugmedien

6.6. Mindestdruck am Schaumrohr

Bei allen Messungen dieser Reihe hat sich gezeigt, dass der Mindestdruck am Schaumrohr deutlich unterschritten werden kann. Ab 3 bar wurden jeweils sehr gute Resultate erzielt. Darunter kann zwar Schaum erzeugt werden, aber die Qualität der Verschäumung ist deutlich schlechter und der Schaum damit "nasser". Eine Erhöhung von 3 auf 5 bar hat aber keine erkennbare Veränderung am Schaum mehr ergeben.

Recherchen haben ergeben, dass der Wert von 5 bar vermutlich aus der DIN 14384 Norm übernommen wurde. Dort ist festgelegt, dass ein nach dieser Norm festgelegter Zumischer bei einer geodätischen Saughöhe von 1,5m und 5 bar Druck am Schaumerzeuger, die Vorgaben zum Volumenstrom einhalten muss. Der Einfachheit halber wurde dieser Wert wohl in die Ausbildung der Schweizer Feuerwehren integriert und akzeptiert, dass bei diesem Druck jeder Zumischer sicher arbeitet. Die Einschränkung, welche dieser zu hohe Wert darstellt, sollte im Sinne des Einsatzes überdacht und angepasst werden.

Ob der Mindestdruck bei allen auf dem Markt erhältlichen Schaumextrakten so tief ist, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden. Dazu müssten weitere Tests durchgeführt werden. Physikalisch gesehen sollte es aber bei allen Schaummitteln ungefähr derselbe Vorgang sein, da die Strömungsgeschwindigkeit des Gemisches am Schaumrohr gleich ist. Damit ist auch das Ansaugvolumen der Umgebungsluft gleich gross. Wenn diese beide Werte übereinstimmen, dann ist automatisch auch die Verschäumungszahl identisch.

6.7. Maximaler Volumenstrom im Zumischer

Bei allen Messungen fällt auf, dass der Volumenstrom der Zumischer stark vom Nennvolumenstrom (200 l/min) abweicht. Bei neueren Zumischern nach EN 16712 ist eine Abweichung von -0 bis +20% zulässig, für die älteren Zumischer nach EN 14384 ist keine Toleranz in der Norm enthalten. Interessanterweise hat der neue Zumischer AWG "Feindosierung" bei den Messungen mit einer 42er-Leitung aber deutlich geringere Volumenströme von teilweise unter 180 l/min erreicht. Ebenso der Akron Brass InLine-Eductor. Bei den Messungen mit 52er-Leitungen waren hingegen alle Abweichung positiv. Es wurden Volumenströme erreicht, die bis 25% höher waren als der Nennvolumenstrom, was jedoch gemäss der Norm nicht zulässig ist.

Woraus diese Abweichungen resultieren, konnte in dieser Messreihe nicht eindeutig geklärt werden. Die Vermutung liegt jedoch nahe, dass sich die Zumischer bei solchen Leitungslängen nicht gemäss Norm verhalten.

6.8. Druckverlustunterschiede nach Schlauchalter

In einer nicht dokumentierten Messung haben wir überprüft, ob das Alter der Schläuche einen Unterschied beim Druckverlust macht. Dazu haben wir eine 200m lange Leitung mit ca. 10-jährigen Schläuchen und eine mit fabrikneuen Schläuchen aufgebaut und gemessen. Entgegen den Erwartungen, dass neue Schläuche aufgrund der ungebrauchten Innengummierung weniger Druckverlust erzeugt, waren diese sogar leicht schlechter. Abklärungen haben ergeben, dass ein Schlauch vor dem ersten Gebrauch mehrere Minuten lang "gespült" werden muss, bevor er seinen maximalen Volumenstrom erreicht. Dies lässt sich so erklären, dass ein Schlauch nach dem ersten Ausrollen sich erst mal "strecken" muss.

Fazit dieses Versuches ist, dass das Alter bei innengummierten Schläuchen keinen Einfluss auf die Druckverluste hat.

6.9. Schlussfolgerung für die Einsatzpraxis

Die Messungen haben gezeigt, dass die bisherigen Ausbildungsgrundsätze in der Schweiz überdacht werden müssen. Sowohl die Aussage, dass nur mit 52er-Leitungen Schaum erzeugt werden kann als auch diejenige, dass nach dem Zumischer maximal 60-80m Leitung gebaut werden dürfen, sind widerlegt worden. Hingegen hat sich der Druckverlust im Zumischer, der gemäss Reglement Basiswissen 35% beträgt, als zutreffend erwiesen.

Die Vorgabe des Reglements Basiswissen, dass am Schaumrohr mindestens 5 bar nötig sind um Schaum zu erzeugen hat sich ebenfalls nicht bestätigt. So ist bereits ab 3 bar, ein qualitativ guter Schaum möglich. Diese Abweichung von 40% kann im Einsatz durchaus wichtig sein. In Zukunft sollte der Mindestdruck am Schaumrohr auf 3 bar korrigiert werden, da sich Feuerwehrleute erfahrungsgemäss stark an solchen Zahlen orientieren und im Einsatz keine Experimente durchführen.

Der Volumenstrom eines Z2-Zumischers kann deutlich von den angenommenen 200 l/min abweichen. Die Messungen haben Abweichungen von -20% bis +25% ergeben. Die Abweichung nach unten stellt für den Einsatz kein Problem dar, da einfach die Zeit bis zum Abdecken des Brandgutes grösser wird, der Feuerwehrmann vor Ort jedoch nichts davon merkt.

Bei der Abweichung von +25% steigt die Einsatzrelevanz dieser Information aber plötzlich an. So kann es bei grösseren Schaumeinsätzen durchaus wichtig sein zu wissen, wie lange der Schaummittelvorrat auf dem Schadenplatz noch ausreicht. So kann die kalkulierte Einsatzdauer bis zum benötigten Nachschub um mehrere Minuten verkürzt werden, wenn ein Zumischer derart hohe Volumenströme zulässt. Dieser Umstand sollte bei Ausbildungen des Kadets der Feuerwehren zum Thema Schaum vermehrt thematisiert und geschult werden.

Der Standort bzw. der Wirkungsbereich des Angriffstrupps wird somit nicht vom Standort des Zumischers, sondern von einsatztaktischen Möglichkeiten und/oder Erfordernissen bestimmt. Für einen Schaumangriff kann – wie bei jedem anderen Löschangriff - Schlauchreserve zwischen Zumischer(n) und Trupp(s) aufgebaut und sauber ausgelegt werden, damit, nachdem die Schaumerzeugung sichergestellt ist, in Richtung Feuer vorgehen kann

Auszug aus "Schaummittel-Zumischer, Technik und Betrieb" von Holger de Vries (Ecomed-Verlag)

Leitungsdurchmesser und maximale Längen

Die Messungen haben bewiesen, dass sowohl mit 42er- wie auch mit 52er-Leitungen Schaum erzeugt werden kann. Das Mass gilt bei der 42er-Leitung bis zu einer Leitungslänge von 200m und bei 52er-Leitung bis 500m. Dabei ist zu beachten, dass der statische Gegendruck nach dem Zumischer 8 bar nicht überschreiten darf. Bei diesen Versuchen wurde ein ebener Platz für die Messungen genutzt. Im Einsatz kann ein kleiner Höhenunterschied von wenigen Metern bereits einen Unterschied bewirken und den erfolgreichen Schaumeinsatz verhindern, wenn solche Leitungslängen zum Einsatz kommen.

Druckverlustberechnung

Da die üblichen Faustregeln für Druckverluste in Feuerwehrschräuchen für hohe Volumenströme gültig sind, was im Einsatz zur Brandbekämpfung Sinn macht, müssen für den Schaumeinsatz mit Z2 Zumischern neue Faustregeln definiert werden. Beim Einsatz von 42er-Leitungen gilt dann bei einem Volumenstrom von 220 l/min ein Druckverlust von 0,5 bar pro 20m, oder 2,5 bar pro 100m Leitungslänge. Beim Einsatz von 52er-Leitungen sind es nur noch ungefähr 0,7 bar pro 100m Leitungslänge. Rundet man diesen Wert auf 1 bar pro 100m auf, ist man auf jeden Fall auf der sicheren Seite, dass Schaum erzeugt werden kann, auch wenn kleinere Höhendifferenzen ins Spiel kommen, die nicht zu berechnen sind.

Für alle Berechnungen gilt weiterhin die Tatsache, dass zusätzlich zum Druckverlust durch Reibung, noch 1 bar Druckverlust pro 10m Höhendifferenz hinzukommen.

Der Druckgewinn durch abfallendes Gelände kann nur mit eingerechnet werden, wenn nach dem Zumischer, an keinem Punkt der Schaumleitung der statische Gegendruck von 8 bar erreicht wird. Denn das lässt den Ansaugvorgang abbrechen, auch wenn beim Schaumrohr der Druck wieder zunimmt.

Faustregeln:

42er

$$\text{Druckverlust in der Leitung} = \frac{0,5\text{bar}}{20\text{m Leitungslänge}} + / - \frac{1\text{bar}}{10\text{m Höhendifferenz}}$$

52er

$$\text{Druckverlust in der Leitung} = \frac{0,7\text{bar}}{100\text{m Leitungslänge}} + / - \frac{1\text{bar}}{10\text{m Höhendifferenz}}$$

Maximal zulässiger Druckverlust

$$\text{Druckverlust in der Leitung} + \frac{1}{3} \text{ Pumpendruck (Zumischerverlust)} \approx \text{max. 8 bar}$$

7. Allgemeines und Auswertungsdetails

7.1. Druck Mittelwert (0.8)

Da die TLF-Pumpe nicht sprunghaft den eingestellten Wert anfahren kann und damit bei jeder Druckänderung auch kleinere Schwankungen auftreten, wurden für die Auswertung die höchsten und tiefsten 10% der Messwerte während einer Messphase nicht berücksichtigt. Der daraus berechnete Wert wird jeweils als Druck Mittelwert (0.8) in den Ergebnissen angegeben.

7.2. Druckverlusttabellen gemäss FKS

Gemäss FKS im Rahmen der neu erarbeiteten Richtlinie Versorgung mit Löschwasser berechneten Druckverluste in innengummierten Feuerwehrschräuchen.

Die Berechnung stützt sich auf die "Prandtl-Colebrook"-Formel und geht von einer Rauigkeit k von 0.045mm und einer Wassertemperatur von 10°C aus.

Schlauchdurchmesser 42 mm:

Q in	v in	Länge der Schlauchleitung in Meter / Druckverlust in bar											
l/min	m/s	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240
100	1.20	0.08	0.17	0.25	0.34	0.42	0.50	0.59	0.67	0.76	0.84	0.92	1.01
120	1.44	0.12	0.24	0.35	0.47	0.59	0.71	0.83	0.94	1.06	1.18	1.30	1.42
140	1.68	0.16	0.31	0.47	0.62	0.78	0.94	1.09	1.25	1.40	1.56	1.72	1.87
160	1.92	0.20	0.40	0.61	0.81	1.01	1.21	1.41	1.62	1.82	2.02	2.22	2.42
180	2.17	0.25	0.50	0.76	1.01	1.26	1.51	1.76	2.02	2.27	2.52	2.77	3.02
200	2.41	0.31	0.62	0.92	1.23	1.54	1.85	2.16	2.46	2.77	3.08	3.39	3.70
220	2.65	0.37	0.74	1.11	1.48	1.85	2.22	2.59	2.96	3.33	3.70	4.07	4.44
240	2.89	0.44	0.87	1.31	1.74	2.18	2.62	3.05	3.49	3.92	4.36	4.80	5.23
260	3.13	0.51	1.02	1.53	2.04	2.55	3.06	3.57	4.08	4.59	5.10	5.61	6.12
280	3.37	0.59	1.18	1.76	2.35	2.94	3.53	4.12	4.70	5.29	5.88	6.47	7.06
300	3.61	0.67	1.34	2.01	2.68	3.35	4.02	4.69	5.36	6.03	6.70	7.37	8.04
320	3.85	0.76	1.52	2.28	3.04	3.80	4.56	5.32	6.08	6.84	7.60	8.36	9.12
340	4.09	0.85	1.71	2.56	3.42	4.27	5.12	5.98	6.83	7.69	8.54	9.39	10.25
360	4.33	0.95	1.91	2.86	3.82	4.77	5.72	6.68	7.63	8.59	9.54	10.49	11.45
380	4.77	1.06	2.12	3.18	4.24	5.30	6.36	7.42	8.48	9.54	10.60	11.66	-
400	4.81	1.17	2.34	3.52	4.69	5.86	7.03	8.20	9.38	10.55	11.72	-	-
450	5.41	1.47	2.94	4.42	5.89	7.36	8.83	10.30	11.78	-	-	-	-
500	6.01	1.81	3.62	5.42	7.23	9.04	10.85	12.66	-	-	-	-	-
550	6.62	2.18	4.36	6.54	8.72	10.90	13.08	-	-	-	-	-	-
600	7.22	2.58	5.17	7.75	10.34	12.92	-	-	-	-	-	-	-
650	7.82	3.02	6.04	9.07	12.09	15.11	-	-	-	-	-	-	-
700	8.42	3.50	6.99	10.49	13.98	17.48	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 18: Othmar Trinkler

Schlauchdurchmesser 52 mm:

Q in	v in	Länge der Schlauchleitung in Meter / Druckverlust in bar												
		20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
100	0.79	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	0.33	0.36	0.39
120	0.94	0.04	0.08	0.13	0.17	0.21	0.25	0.29	0.34	0.38	0.42	0.46	0.50	0.55
140	1.10	0.06	0.11	0.17	0.22	0.28	0.34	0.39	0.45	0.50	0.56	0.62	0.67	0.73
160	1.26	0.07	0.14	0.22	0.29	0.36	0.43	0.50	0.58	0.65	0.72	0.79	0.86	0.94
180	1.41	0.09	0.18	0.26	0.35	0.44	0.53	0.62	0.70	0.79	0.88	0.97	1.06	1.14
200	1.57	0.11	0.22	0.32	0.43	0.54	0.65	0.76	0.86	0.97	1.08	1.19	1.30	1.40
220	1.73	0.13	0.26	0.39	0.52	0.65	0.78	0.91	1.04	1.17	1.30	1.43	1.56	1.69
240	1.88	0.15	0.30	0.46	0.61	0.76	0.91	1.06	1.22	1.37	1.52	1.67	1.82	1.98
260	2.04	0.18	0.35	0.53	0.70	0.88	1.06	1.23	1.41	1.58	1.76	1.94	2.11	2.29
280	2.20	0.20	0.41	0.61	0.82	1.02	1.22	1.43	1.63	1.84	2.04	2.24	2.45	2.65
300	2.35	0.23	0.46	0.70	0.93	1.16	1.39	1.62	1.86	2.09	2.32	2.55	2.78	3.02
320	2.51	0.26	0.53	0.79	1.06	1.32	1.58	1.85	2.11	2.38	2.64	2.90	3.17	3.43
340	2.67	0.30	0.59	0.89	1.18	1.48	1.78	2.07	2.37	2.66	2.96	3.26	3.55	3.85
360	2.83	0.33	0.66	0.99	1.32	1.65	1.98	2.31	2.64	2.97	3.30	3.63	3.96	4.29
380	2.98	0.37	0.73	1.10	1.46	1.83	2.20	2.56	2.93	3.29	3.66	4.03	4.39	4.76
400	3.14	0.40	0.80	1.21	1.61	2.01	2.41	2.81	3.22	3.62	4.02	4.42	4.82	5.23
450	3.53	0.50	1.01	1.51	2.02	2.52	3.02	3.53	4.03	4.54	5.04	5.54	6.05	6.55
500	3.92	0.62	1.24	1.85	2.47	3.09	3.71	4.33	4.94	5.56	6.18	6.80	7.42	8.03
550	4.32	0.74	1.48	2.23	2.97	3.71	4.45	5.19	5.94	6.68	7.42	8.16	8.90	9.65
600	4.71	0.88	1.76	2.63	3.51	4.39	5.27	6.15	7.02	7.90	8.78	9.66	10.54	11.41
650	5.10	1.02	2.05	3.07	4.10	5.12	6.14	7.17	8.19	9.22	10.24	11.26	12.29	-
700	5.49	1.18	2.36	3.55	4.73	5.91	7.09	8.27	9.46	10.64	11.82	-	-	-
800	6.28	1.53	3.06	4.60	6.13	7.66	9.19	10.72	12.26	-	-	-	-	-
900	7.06	1.93	3.85	5.78	7.70	9.63	11.56	-	-	-	-	-	-	-
1000	7.85	2.36	4.72	7.08	9.44	11.80	-	-	-	-	-	-	-	-
1100	8.63	2.86	5.72	8.58	11.44	14.30	-	-	-	-	-	-	-	-
1200	9.42	3.38	6.76	10.14	13.52	16.90	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 19: Othmar Trinkler

Schlauchdurchmesser 75 mm:

Q in	v in	Länge der Schlauchleitung in Meter / Druckverlust in bar													
		40	60	80	100	160	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
200	0.8	0.04	0.05	0.07	0.089	0.14	0.18	0.27	0.36	0.45	0.53	0.62	0.71	0.80	0.89
250	0.9	0.05	0.08	0.11	0.134	0.21	0.27	0.40	0.54	0.67	0.80	0.94	1.07	1.21	1.34
300	1.1	0.08	0.11	0.15	0.188	0.30	0.38	0.56	0.75	0.94	1.13	1.32	1.50	1.69	1.88
350	1.3	0.10	0.15	0.20	0.250	0.40	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50
400	1.5	0.13	0.19	0.26	0.320	0.51	0.64	0.96	1.28	1.60	1.92	2.24	2.56	2.88	3.20
450	1.7	0.16	0.24	0.32	0.400	0.64	0.80	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00
500	1.9	0.19	0.29	0.39	0.487	0.78	0.97	1.46	1.95	2.44	2.92	3.41	3.90	4.38	4.87
600	2.3	0.27	0.41	0.55	0.687	1.10	1.37	2.06	2.75	3.44	4.12	4.81	5.50	6.18	6.87
700	2.6	0.37	0.55	0.74	0.921	1.47	1.84	2.76	3.68	4.61	5.53	6.45	7.37	8.29	9.21
800	3.0	0.54	0.82	1.09	1.360	2.18	2.72	4.08	5.44	6.80	8.16	9.52	10.88	12.24	-
900	3.4	0.69	1.03	1.38	1.720	2.75	3.44	5.16	6.88	8.60	10.32	12.04	-	-	-
1000	3.8	0.73	1.09	1.46	1.820	2.91	3.64	5.46	7.28	9.10	10.92	-	-	-	-
1100	4.1	0.88	1.31	1.75	2.190	3.50	4.38	6.57	8.76	10.95	-	-	-	-	-
1200	4.5	1.04	1.55	2.07	2.590	4.14	5.18	7.77	10.36	-	-	-	-	-	-
1300	4.9	1.21	1.81	2.41	3.018	4.83	6.04	9.05	12.07	-	-	-	-	-	-
1400	5.3	1.39	2.09	2.79	3.483	5.57	6.97	10.45	13.93	-	-	-	-	-	-
1500	5.7	1.59	2.39	3.18	3.981	6.37	7.96	11.94	-	-	-	-	-	-	-
1600	6.0	1.81	2.71	3.61	4.513	7.22	9.03	13.54	-	-	-	-	-	-	-
1700	6.4	2.03	3.05	4.06	5.080	8.13	10.16	-	-	-	-	-	-	-	-
1800	6.8	2.27	3.41	4.54	5.680	9.09	11.36	-	-	-	-	-	-	-	-
1900	7.2	2.52	3.79	5.05	6.310	10.10	12.62	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	7.5	2.79	4.18	5.58	6.970	11.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2100	7.9	3.07	4.60	6.13	7.666	12.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2200	8.3	3.36	5.04	6.72	8.395	13.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 20: Feuerwehr Koordination Schweiz Richtlinie Versorgung mit Löschwasser