

Begleitende Untersuchungen zur Vermeidung korrosionschemischer Probleme im Rohrnetz während und nach der Umstellung der Wasserver- sorgung im Stadtgebiet Bornheim

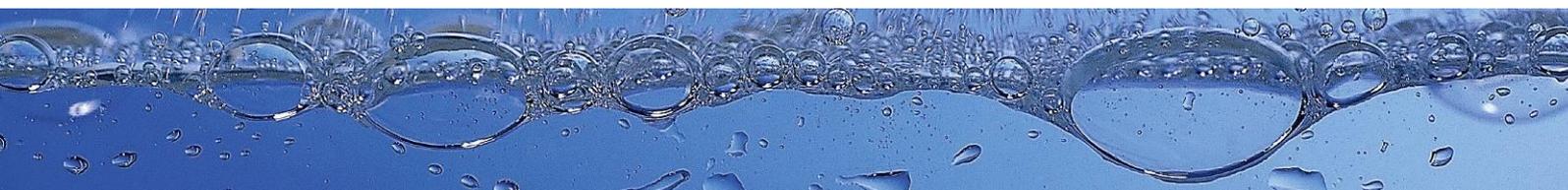
Zweiter Zwischenbericht

Gutachten zum Angebot 10257/2017/24254

Juli 2018

Auftraggeber: Stadtbetrieb Bornheim AöR

Wolfgang Hönighausen



Bearbeitung

**IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH**
Moritzstraße 26
45476 Mülheim an der Ruhr
www.iww-online.de

Dr. Angelika Becker (Projektleitung)
Telefon: 0208 40303-260
a.becker@iww-online.de

Dr. Ute Ruhrberg
Telefon: 0208 40303-261
u.ruhrberg@iww-online.de

Dipl.-Ing. Thomas Heinrich
Telefon: 0208 40303-350
t.heinrich@iww-online.de

Stadtbetrieb Bornheim AöR
Technische Leitung Wasser
Donnerbachweg 15
53332 Bornheim-Waldorf

Wolfgang Hönighausen
Telefon: 02227 9320-41
wolfgang.hoenighausen@sbbonline.de
www.stadtbetrieb-bornheim.de

Bearbeitungszeitraum: September 2017 bis Juli 2018

Zur besseren Lesbarkeit wird nicht zwischen weiblichen und männlichen Berufsbezeichnungen unterschieden; es sind immer beide Geschlechter gleichberechtigt angesprochen.

[IWW\Verteilungsnetz Bornheim_Zwischenbericht 2_Rg.docx](#)

Geschäftsführung:
Dr.-Ing. Wolf Merkel, Lothar Schüller

Wissenschaftliches Direktorium
Prof. Dr. Torsten C. Schmidt (Sprecher), Prof. Dr. Rainer Udo Meckenstock,
Prof. Dr. Stefan Panglisch, Prof. Dr. Andreas Hoffman, Prof. Dr. Christoph Schüth



Amtsgericht Duisburg HRB Nr. 15508
Sparkasse Mülheim an der Ruhr IBAN DE18 3625 0000 0300 0312 50
SWIFT BIC SPMHDE3E
Commerzbank AG Mülheim an der Ruhr IBAN DE57 3624 0045 0763 6236 00
SWIFT BIC COBADEFFXXX
Internet: www.iww-online.de

Zusammenfassung der Ergebnisse

Eine Zusammenfassung aller Ergebnisse wird im Abschlussbericht nach Projektende gegeben.

Empfehlungen

Im laufenden Umstellungsprozess der Mischungsverhältnisse der Wässer empfiehlt es sich, mindestens je eine Netz-Beprobung von jedem Mischwasser durchzuführen, um die Entwicklung sukzessive beobachten zu können.

Die Berichtsversion als pdf ist nicht unterschrieben. Bitte vergleichen Sie im Zweifelsfall das unterschriebene Original.

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH
- Wassernetze -

Mülheim an der Ruhr, 31.07.2018

i. V.

Dr. Angelika Becker
Bereichsleitung Wassernetze

i. A.

Dr. Ute Ruhrberg
Korrosionsschutz

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund	1
1.2	Auftrag und Projektdurchführung	2
2	Entwicklung des Untersuchungskonzeptes (Detailplanung) und Auswahl der Probenahmestellen	3
3	Datenerhebung und Datenanalyse – Ermittlung der Ist-Situation vor und nach Änderung der Wasserbeschaffenheit	4
3.1	Probenahmen von Wasserproben	4
3.1.1	Trinkwasser-Probe	4
3.1.2	Netzbeprobungen	5
3.2	Untersuchungsergebnisse	8
3.2.1	Proben aus dem Verteilungsnetz, visuelle Beurteilung und Trübung	8
3.2.1.1	Proben von der Beprobung im September 2017	8
3.2.1.2	Proben von der Beprobung im November 2017	12
3.2.1.3	Proben von der Beprobung im März 2018	16
3.2.2	Chemische Analyse der Wasserproben	21
3.2.3	Untersuchungen der Partikelfracht	30
3.2.3.1	Ermittlung des Trübstoff-/Feststoff- und Schwebstoff-Anteils in den Wasserproben	30
3.2.3.2	Ermittlung der Partikelgröße	31
4	Schlussfolgerung und Ausblick auf Basis des vorliegenden Kenntnisstandes	37
5	Anhang	38

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Der Stadtbetrieb Bornheim betreibt im Auftrag der Stadt Bornheim, die Eigentümerin der Wasserversorgungsanlagen ist, die Wasserversorgung im Stadtgebiet Bornheim. Die Wasserversorgung wird durch den Bezug von Trinkwasser von zwei Vorlieferanten, dem Wahnbachtalsperrenverband (WTV) und dem Wasserversorgungsverband Wesseling-Hersel (WBV) gewährleistet. Bei dem Wasser des WTV handelt es sich um eine Mischung aus Talsperrenwasser und Grundwasser, das Trinkwasser des WBV ist rheinannes Grundwasser.

Die beiden Wässer werden im Wasserwerk Eichenkamp zentral gemischt und in die verschiedenen Versorgungszonen eingespeist. Das Wasser wird dabei über 2 Werksausgänge mittels Pumpstation in das Versorgungsnetz gefördert. Die Bornheimer Wasserversorgung gliedert sich in drei Regionen, in die Hoch- und Tiefzone sowie die Orte am Rhein.

Das Mischungsverhältnis der beiden Wässer lag bis September 2017 bei 75 % WBV und 25 % WTV. Bis 2013 wurde das Mischwasser zur Einstellung der Calcitsättigung restentsäuert.

Die Stadt Bornheim beabsichtigte, zukünftig Trinkwasser ausschließlich vom WTV zu beziehen und auf die Zumischung des härteren Wassers des WBV zu verzichten.

IWW legte im Rahmen eines Gutachtens (Bewertung des Korrosionsverhaltens der im Rohrnetz und in der Trinkwasser-Installation verlegten Rohr- und Armaturen-Werkstoffe, Bericht vom 22. Oktober 2014 zum Angebot 10269/2014/23103) folgendes dar. *Voraussetzung für die Einhaltung einer einwandfreien Trinkwasserqualität bei der Verteilung und Verwendung ist der Einsatz geeigneter Werkstoffe für Rohrleitungen, Armaturen und Bauteile sowohl im Verteilungsnetz des Wasserversorgungsunternehmens als auch in der Trinkwasser-Installation der Verbraucher. Bei Änderung der wasserseitigen Korrosionsbedingungen – im vorliegenden Fall durch die Änderung der Bezugsbedingungen und die ausschließliche Verteilung des weicheren Wassers des WTV – sind daher auch die geänderten wasserseitigen Korrosionsbedingungen im Hinblick auf die Wechselwirkung der bereits verlegten Werkstoffe mit der geänderten Wasserbeschaffenheit zu bewerten, um negative Folgen auf die Trinkwasserqualität und/oder Korrosionsschäden am Werkstoff/Bauteil zu vermeiden.*

Im Gutachten wurden zwei Konzepte der Umstellung vergleichend bewertet: die sofortige Umstellung der Wasserqualität auf das Trinkwasser des WTV (sofort 100%) und eine stufenweise Erhöhung des Mischungsanteils des Trinkwassers des WTV bis auf 100 %. Das Ergebnis des Gutachtens lautet: *Bei einem Vergleich der beiden Konzepte ist festzustellen, dass bei einer sofortigen, vollständigen (100%) Umstellung der Wasserqualität größere Korrosionsprobleme zu erwarten sind als bei einer stufenweisen Umstellung. Der Vorteil der stufenweisen Umstellung der Wasserqualität, z.B. in 10%-Schritten, ermöglicht eine analytische Begleitung der Auswirkungen der Korrosionserscheinungen sowohl auf das Verteilungsnetz als auch die Trinkwasser-Installation der Verbraucher.*

Daraufhin entschloss sich der Stadtbetrieb Bornheim dazu, das stufenweise Umstellungskonzept anzuwenden, und zwar zunächst bis zum Ziel-Mischungsverhältnis von 50 % WBV zu 50 % WTV, das möglicherweise im Jahr 2020 erreicht werden kann.

1.2 Auftrag und Projektdurchführung

Vor diesem Hintergrund beauftragte die Stadtbetrieb Bornheim AöR die IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser – Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH mit Schreiben vom 14.09.2017, Zeichen S 5.2 Hh, die Umstellung der Wasserversorgung im Stadtgebiet Bornheim zur Vermeidung korrosionschemischer Probleme im Rohrnetz begleitend zu untersuchen. Zunächst sollen Modul A Position 1 und Modul B Position 1 bis einschließlich Position 3 des Angebotes Nr. 10257/2017/24254 vom 03.09.2017 zur Ausführung kommen.

2 Entwicklung des Untersuchungskonzeptes (Detailplanung) und Auswahl der Probenahmestellen

Im Verteilungsgebiet Bornheim wurden vier Probenahmestellen (Hydranten) ausgewählt, um einen repräsentativen Querschnitt über die Wasserqualität im Stadtgebiet abzubilden. Dabei wurden Fließgeschwindigkeiten, Rohrdurchmesser, Rohrmaterial und eine etwaige Häufung von Trübungserscheinungen als Auswahlkriterien herangezogen. Eine fünfte Stelle wurde zunächst vorsichtshalber hinzugenommen. Nach den ersten ausgewerteten Beprobungen kann eine Beschränkung auf die sich dann abzeichnenden vier charakteristischen Probenahmestellen vorgenommen werden.

Das Wasserrohrnetz von Bornheim ist in Abbildung 1 dargestellt.

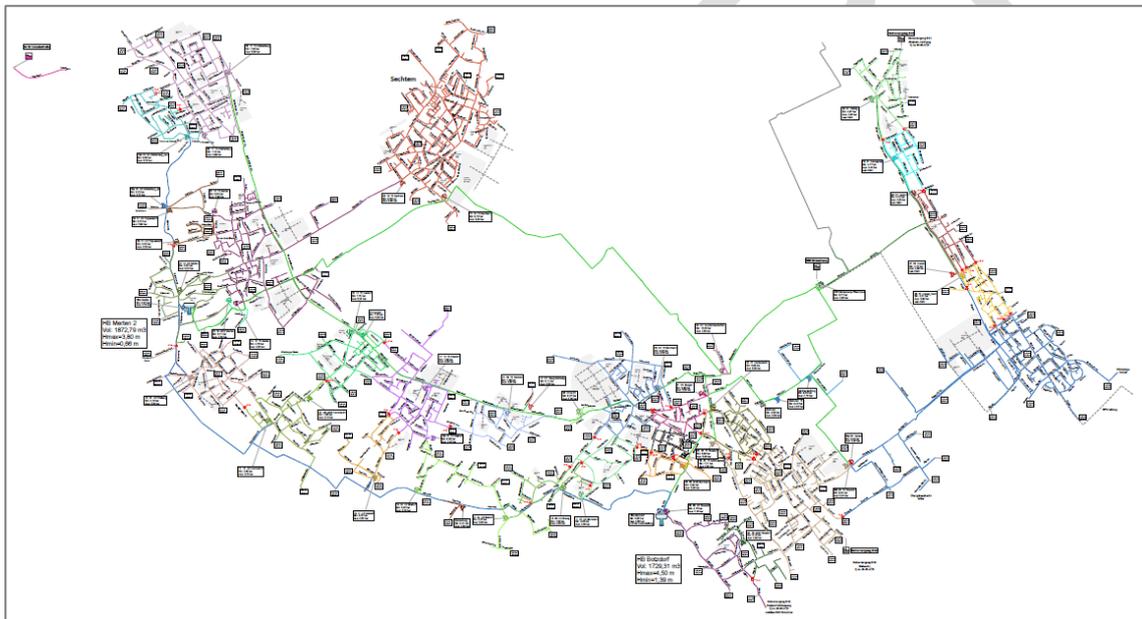


Abbildung 1: Übersichtsplan Wasserrohrnetz Bornheim

Die geplanten Wassermischungsverhältnisse mit den dazugehörigen Umstellungszeitpunkten und möglichen Probenahmeterminen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Geplante Änderungen im Mischungsverhältnis und Beprobungen

Mischungsverhältnis WBV : WTV	Umstellung	Beprobung und Analyse
75 : 25	Bis Sept. 2017	Sept. 2017
65 : 35	Sept. 2017 bis Dez. 2017	Nov. 2017
60 : 40	Ab Jan.2018 bis ???	März 2018 und weitere
50 : 50	Später (2020?)	weitere

3 Datenerhebung und Datenanalyse – Ermittlung der Ist-Situation vor und nach Änderung der Wasserbeschaffenheit

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der Umstellung der Mischungsverhältnisse auf die Wasserbeschaffenheit dargestellt. Die geänderten Mischungsverhältnisse und die nachgelagerten (mitunter sehr langsam stattfindenden) Deckschichtumbildungsprozesse können zu Veränderungen in der Wasserzusammensetzung, der Partikelfracht, insbesondere hinsichtlich ihrer Mobilisierungsneigung, der Korrosionsneigung der metallenen Werkstoffe in dem Wasser und weiteren Parametern der Wasserbeschaffenheit (pH-Wert, Leitfähigkeit, Härte usw.) führen.

3.1 Probenahmen von Wasserproben

Am 25. und 26.09.2017 fand ein erster Ortstermin zur Netzspülung mit gleichzeitiger Probenahme vor Ort statt. Teilnehmer waren:

- Herr Hönighausen, Stadtbetrieb Bornheim (SBB) – Vor- und Nachbesprechung
- Herr Schneider, SBB – Vor- und Nachbesprechung
- Herr Mühlen, SBB – Begleitung/Unterstützung bei der Probenahme
- Frau Dr. Ruhrberg, IWW
- Herr Heinrich, IWW

Am 27. und 28.11.2017 fand ein zweiter Ortstermin zur Netzspülung mit gleichzeitiger Probenahme vor Ort – mit denselben Teilnehmern und an denselben Probenahmestellen – statt. Das Wassermischungsverhältnis war einige Wochen vor dem Zeitpunkt der Probenahme umgestellt worden.

Die dritte Spül- und Beprobungsmaßnahme fand – nach erneuter Wasserumstellung – am 26. und 27. März 2018 statt.

3.1.1 Trinkwasser-Probe

Im Wasserwerk Eichenkamp wurde eine Wasserprobe am Ausgang nach der Entsäuerung genommen. Die Wasserprobe spiegelt das Wasser der Beschaffenheit wieder, wie es im Versorgungsnetz verteilt wird. Sie dient gleichzeitig als Referenzprobe für die Netz-Wasserproben, die an demselben Probenahmetermin (innerhalb von zwei aufeinander folgenden Tagen) genommen werden.

Die Probenahmestelle ist in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2: Probenahme im Wasserwerk Eichenkamp

3.1.2 Netzbeprobungen

Bei den Netzbeprobungen wird zwischen folgenden Betriebsbedingungen unterschieden:

- **Normalbetrieb:** Als Normalbetrieb wurde eine Probe am Standrohr bei geöffnetem Probenahmehahn und geschlossenem C-Schlauch-Anschluss genommen, die in der Fließgeschwindigkeit wie bei Normal-Entnahmebetrieb durch den Verbraucher in die Probenahmeflaschen gefüllt wurde.
- **Spülprobe:** Die Spülung erfolgte bei geöffnetem C-Schlauch-Anschluss am Standrohr – ohne Unterbrechung bis zum Ende der Beprobung.

Der Wasserweg verlief dabei wie in Abbildung 3 gezeigt: Standrohr – ggf. Probenahmehahn – Schauglas – C-Schlauch – Durchflussmessgerät/Wasserzähler – C-Schlauch – Ausfluss-Standhilfe (Hydra-Box).

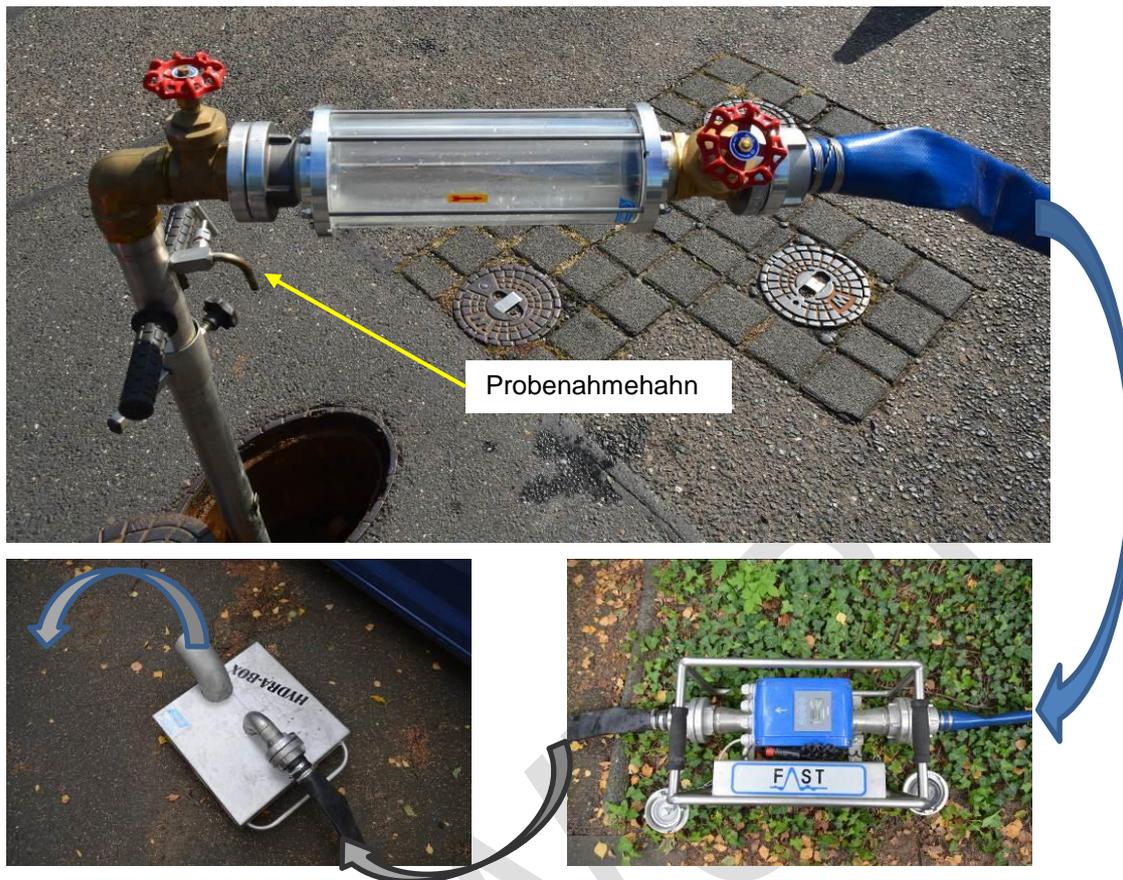


Abbildung 3: Netzspülung und Netzbeprobung mittels Standrohr

Beprobungen des Trinkwassers fanden an fünf Stellen innerhalb des Verteilungsnetzes statt. Bei der Probenahme wurde zunächst das Stagnationswasser aus dem Anschluss-Stich zum Standrohr (ca. 20 Liter) abfließen gelassen, dann eine Probe im Normalbetrieb genommen und anschließend die Spülung durchgeführt, bei der im Abstand von 3 Minuten weitere Proben genommen wurden. Bei Normalbetrieb wurde eine Fließgeschwindigkeit von etwa $2 \text{ m}^3/\text{h}$ eingeregelt; bei Spülbetrieb wurde das Ventil vollständig geöffnet, so dass Fließgeschwindigkeiten von 38 bis $48 \text{ m}^3/\text{h}$ ermittelt werden konnten.

An den folgenden fünf Stationen im Netz wurden die GG-Rohrleitungen gespült und beprobt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Stationen der Netzspülungen und -beprobungen

Nr.	Netz-Station	Rohr-Dimension	Besonderheit
1	Landgraben 2, Bornheim	DN 100	keine
2	Friedrichstr. 3a, Roisdorf	DN 100	Endstrang vor Schule
3	Römerstr. 1a, Widdig	DN 100	Strangende vor Kindergarten
4	Gartenstr. 17, Hersel	DN 100	Pendelzone, geringer Wasseraustausch
5	Jodokusstr. 5, Walberberg	DN 100	Neben Pferdeweide, vermutlich war kurz vor der PN im September 2017 Wasser zum Füllen der Tränken gezapft worden.

3.2 Untersuchungsergebnisse

3.2.1 Proben aus dem Verteilungsnetz, visuelle Beurteilung und Trübung

3.2.1.1 Proben von der Beprobung im September 2017

Die Ergebnisse der Netzbeprobung wurden fotografisch dokumentiert (Abbildung 4 bis Abbildung 8). Die 2-Liter-Flaschen wurden hierzu auf einem weißen Untergrund aufgestellt. Die zeitliche Reihenfolge der Probenahmen ist jeweils von links nach rechts dargestellt – zuerst Beprobung im Normalbetrieb, dann Spülung mit Beprobung im 3-Minuten-Intervall.

Die Auswahl der zur weiteren Analyse zugeführten Wasserproben erfolgte visuell. Im Falle starker Trübungen wurden jeweils drei Wasserproben ausgewählt – zu Beginn (Normalbetrieb), bei der intensivsten Trübung/Färbung und am Ende der Probenahme (ggf. augenscheinlich klare Wasserprobe). Die ausgewählten Flaschen wurden in den Abbildungen jeweils mit ihrer Nummerierung gekennzeichnet.

Am Standort *Landgraben 2* war augenscheinlich in den ersten 3 Spülproben deutlich Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 4). Nach 9 bis 15 Minuten Spülzeit war jedoch wieder klares Wasser zu sehen. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 1-N (Normalbetrieb), 1-0 (maximale Trübung) und 1-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 4: Netzbeprobung Landgraben, Sep. 17

Am Standort *Friedrichstr. 3a* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 5), obwohl an dieser Stelle häufig über Trübungsprobleme geklagt worden war. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 2-N (Normalbetrieb), 2-0 (maximale Trübung) und 2-4 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 5: Netzbeprobung Friedrichstraße, Sep. 17

Am Standort *Römerstr. 1a* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich ebenfalls nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 6), obwohl an dieser Stelle viele Trübungsprobleme gemeldet worden waren. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (maximale Trübung) und 3-6 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 6: Netzbeprobung Römerstraße, Sep. 17

Am Standort *Gartenstr. 17* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich nur in den ersten beiden Spülproben Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 7), obwohl an dieser Stelle Trübungserscheinungen festgestellt worden waren. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (maximale Trübung) und 4-8 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 7: Netzbeprobung Gartenstraße, Sep. 17

Am Standort *Jodokusstr. 5* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich keine Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 8), obwohl an dieser Stelle häufig über recht starke Trübungsprobleme geklagt worden war. Lediglich eine leichte Trübung war in den ersten drei Spülproben festzustellen. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 5-N (Normalbetrieb), 5-0 und 5-1 und 5-2 (geringe Trübung) sowie 5-8 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 8: Netzbeprobung Jodokusstraße, Sep. 17

Bei allen Proben, die für weitere Untersuchungen ausgewählt wurden, wurden vor Ort Trübungsmessungen durchgeführt. Bei den Probenahmen 4 und 5 war leider das Gerät aufgrund eines technischen Defektes ausgefallen, so dass dort keine Trübungsmessungen durchgeführt werden konnten. In diesen Proben wurden die Trübungsmessungen im Labor nachträglich durchgeführt.

Die maximalen Trübungswerte der Probenahmen 1 und 2 und 3, die vor Ort bestimmt werden konnten, sowie der Probenahmen 4 und 5, die im Labor ermittelt wurden, sind in Tabelle 3 aufgezeigt.

Es zeigte sich, dass die Maximaltrübung bei den Probenahmen 2 und 3 und 4 in der ersten Spülprobe bestimmt wurde, bei Probenahme 5 war die zweite Spülprobe maximal trüb, bei Probenahme 1 war die maximale Trübung in Probe 1.10 festzustellen.

Tabelle 3: Maximal-Trübungswerte im September 2017

Probe	1-10	2-0	3-0	4-0	5-1
Trübung [FNU]	4,78	30,5	25,3	37,7	7,75

In den jeweils ersten Proben (Normalbetrieb) und letzten Proben (nach Spülung) wurde zudem pH-Wert, Temperatur und Leitfähigkeit direkt vor Ort bestimmt. Die Ergebnisse dieser Vor-Ort-Messungen sind in Tabelle 4 aufgeführt (wobei die Trübungsmessungen der Probenahmen 4 und 5 im Labor durchgeführt worden waren).

Tabelle 4: Vor-Ort-Parameter im September 2017

Probe	Temperatur [°C]	pH-Wert	Leitfähigkeit [µS/cm]	Trübung [FNU]
1-N	14,6	7,63	623	0,25
1-20	15,2	7,71	699	2,15
2-N	17,4	7,65	690	1,16
2-4	17,2	7,50	626	1,69
3-N	17,0	7,60	633	3,96
3-6	14,9	7,89	645	1,91
4-N	16,6	7,60	631	0,66
4-8	16,5	7,93	638	1,68
5-N	18,9	7,67	643	0,51
5-8	17,2	7,57	632	2,58

Betrachtet man die Ergebnisse der Trübungsmessungen, die vor Ort und im Labor durchgeführt wurden, dann liegen die meisten Werte oberhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 1,0 NTU (dieser Wert ist gemäß TrinkwV 2001, ab Ausgabe 2011 auch als Indikatorwert für das Verteilungsnetz gültig). Der Trübungswert in der Normalbetrieb-Probe 3-N (fett gedruckt) liegt mit 3,96 FNU deutlich über dem Grenzwert.

Unter der Berücksichtigung, dass die Trübung des Wassers ab Trübungswerten > 5 FNU visuell erkennbar wird, kann auf Basis der Beobachtungen vor Ort (Erscheinungsbild klar) davon ausgegangen werden, dass die Trübung der Proben im Normalbetrieb zum Untersuchungszeitpunkt im Wesentlichen auf das Vorhandensein fein verteilter Partikel zurückzuführen ist. Eine Braunfärbung des Wassers aufgrund höherer Eisengehalte in Trinkwasser (aus Korrosionsprozessen stammend) wird erfahrungsgemäß ab einer Eisenkonzentration von ca. 0,5 mg/l Fe sichtbar.

3.2.1.2 Proben von der Beprobung im November 2017

Die Netzbeprobungen erfolgten in gleicher Weise wie im September und die Ergebnisse wurden wieder photographisch dokumentiert (Abbildung 9 bis Abbildung 13).

Am Standort *Landgraben 2* war wieder in den ersten 3 Spülproben deutlich Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 9). Nach 9 bis 15 Minuten Spülzeit war wieder klares Wasser zu sehen. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 1-N (Normalbetrieb), 1-0 (maximale Trübung) und 1-11 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 9: Netzbeprobung Landgraben, Nov. 17

Am Standort *Friedrichstr. 3a* war auch wieder nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 10). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 2-N (Normalbetrieb), 2-0 (maximale Trübung) und 2-4 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 10: Netzbehebung Friedrichstraße, Nov. 17

Am Standort *Römerstr. 1a* war ebenfalls wieder nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 11). Der Hydrant befindet sich in einer geographischen Senke. Bei früheren Umstellungen im Netz war hier häufig ein erhöhtes Trübungsaufkommen festgestellt worden. Daher wurden hier 20 Spülproben genommen, die letzte nach einer Stunde Spülbetrieb. Für die weiteren Untersuchungen wurden die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (maximale Trübung) und 3-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 11: Netzbehebung Römerstraße, Nov. 17

Am Standort *Gartenstr. 17* war nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 12). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (maximale Trübung) und 4-10 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 12: Netzbeprobung Gartenstraße, Nov. 17

Am Standort *Jodokusstr. 5* war augenscheinlich sichtbare Färbung/Trübung in der zweiten und dritten Probe nachzuweisen (Abbildung 13), also nach erfolgter Spülung von etwa 3 Minuten. Die Probe 5-0 war nur schwach getrübt. Nach einer Spüldauer von 9 Minuten war das Wasser wieder klar. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 5-N (Normalbetrieb), 5-0 und 5-1 und 5-2 (Trübung) sowie 5-10 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 13: Netzbeprobung Jodokusstraße, Nov. 17

Bei allen Proben, die für weitere Untersuchungen ausgewählt wurden, wurden vor Ort Trübungsmessungen durchgeführt. In den Proben der Probenahmen 4 und 5 wurden die Trübungsmessungen im Labor nachträglich durchgeführt, da aufgrund eines technischen Defektes das Gerät ausgefallen war.

Die maximalen Trübungswerte der Probenahmen 1 und 2 und 3, die vor Ort bestimmt werden konnten, sowie der Probenahmen 4 und 5, die im Labor ermittelt wurden, sind in Tabelle 5 aufgezeigt.

Es zeigte sich, dass die Maximaltrübung bei den Probenahmen 1 und 2 und 3 und 4 in der ersten Spülprobe bestimmt wurde, bei Probenahme 5 war die zweite Spülprobe maximal trüb.

Tabelle 5: Maximal-Trübungswerte im November 2017

Probe	1-0	2-0	3-0	4-0	5-1
Trübung [FNU]	36,9	24,6	66,6	10,5	19,4

In den jeweils ersten Proben (Normalbetrieb) und letzten Proben (nach Spülung) wurde zudem pH-Wert, Temperatur und Leitfähigkeit direkt vor Ort bestimmt. Die Ergebnisse dieser Vor-Ort-Messungen sind in Tabelle 6 aufgeführt (wobei die Trübungsmessungen der Probenahmen 4 und 5 im Labor durchgeführt worden waren).

Tabelle 6: Vor-Ort-Parameter im November 2017

Probe	Temperatur [°C]	pH-Wert	Leitfähigkeit [µS/cm]	Trübung [FNU]
1-N	11,2	7,55	634	0,38
1-11	10,1	7,59	643	1,78
2-N	11,0	7,63	672	4,04
2-4	10,5	7,57	660	0,66
3-N	9,8	7,72	603	7,65
3-20	11,3	7,71	576	1,73
4-N	11,4	7,60	644	0,86
4-10	11,4	7,64	604	1,33
5-N	10,5	7,86	487	1,17
5-10	11,3	7,63	593	1,60

Betrachtet man die Ergebnisse der Trübungsmessungen, die vor Ort und im Labor durchgeführt wurden, dann liegen die meisten Werte oberhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 1,0 NTU (dieser Wert ist gemäß TrinkwV 2001, ab Ausgabe 2011 auch als Indikatorwert für das Verteilungsnetz gültig). Die Trübungswerte in den Normalbetrieb-Proben 2-N und 3-N (fett gedruckt) liegen mit 4,04 und 7,65 FNU deutlich über dem Grenzwert. Unter der Berücksichtigung, dass die Trübung des Wassers ab Trübungswerten > 5 FNU visuell erkennbar werden, kann auf Basis der Beobachtungen vor Ort (Erscheinungsbild klar) davon ausgegangen werden, dass die Trübung der Proben im Normalbetrieb zum Untersuchungszeitpunkt im Wesentlichen auf das Vorhandensein fein verteilter Partikel zurückzuführen ist. Eine Braunfärbung des

Wassers aufgrund höherer Eisengehalte in Trinkwasser (aus Korrosionsprozessen stammend) wird erfahrungsgemäß ab einer Eisenkonzentration von ca. 0,5 mg/l Fe sichtbar.

3.2.1.3 Proben von der Beprobung im März 2018

Die Netzbeprobungen erfolgten in gleicher Weise wie zuvor und die Ergebnisse wurden wieder fotografisch dokumentiert (Abbildung 14 bis Abbildung 18).

Am Standort *Landgraben 2* war in den ersten beiden Spülproben deutlich Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 14). Nach etwa 6 Minuten Spülzeit war rein visuell klares Wasser zu sehen. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 1-N (Normalbetrieb), 1-0 (maximale Trübung) und 1-11 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 14: Netzbeprobung Landgraben, Mrz. 18

Am Standort *Friedrichstr. 3a* war zunächst der Sumpf, der in der Leitung stand, als stark gefärbte und getrübte Probe aufgefangen worden und anschließend verworfen worden (in Abbildung 15 ist deshalb ein großes X auf der Probenflasche zu sehen). Im Laufe der Wasserentnahme im Normalbetrieb wurde nach kurzer Zeit (etwa 2 Minuten) einwandfrei klares Wasser gefördert. Wie zuvor war hier nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 15). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 2-N (Normalbetrieb), 2-0 (maximale Trübung) und 2-4 (nach Spülung) ausgewählt.

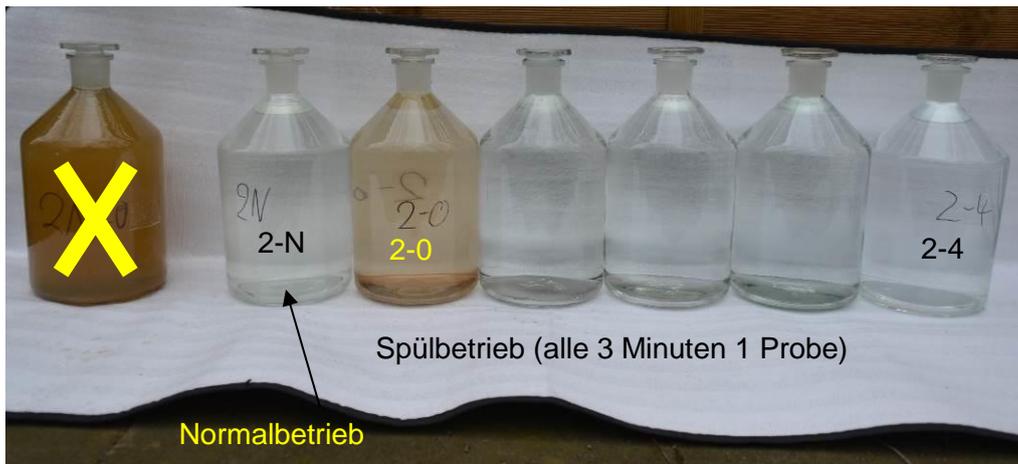


Abbildung 15: Netzbeprobung Friedrichstraße, Mrz. 18

Am Standort *Römerstr. 1a* war ebenfalls wieder nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 16). Der Hydrant befindet sich in einer geographischen Senke. Bei früheren Umstellungen im Netz war hier häufig ein erhöhtes Trübungsaufkommen festgestellt worden. Das konnte hier nicht bestätigt werden, deshalb wurden 10 Spülproben genommen, die letzte nach einer halben Stunde Spülbetrieb. Für die weiteren Untersuchungen wurden die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (maximale Trübung) und 3-10 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 16: Netzbeprobung Römerstraße, Mrz. 18

Am Standort *Gartenstr. 17* war nur in den ersten beiden Spülproben Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 17). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (maximale Trübung) und 4-17 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 17: Netzbeprobung Gartenstraße, Mrz. 18

Am Standort *Jodokusstr. 5* war augenscheinlich deutlich sichtbare Färbung/Trübung in der zweiten und dritten Probe nachzuweisen (Abbildung 18), also nach erfolgter Spülung von etwa 3 bis 6 Minuten. Die Probe 5-0 war nur schwach getrübt. Nach einer Spüldauer von 9 Minuten war das Wasser wieder klar. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 5-N (Normalbetrieb), 5-0 und 5-1 und 5-2 (Trübung) sowie 5-13 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 18: Netzbeprobung Jodokusstraße, Mrz. 18

Bei allen Proben, die für weitere Untersuchungen ausgewählt wurden, wurden vor Ort Trübungsmessungen durchgeführt.

Die maximalen Trübungswerte der Probenahmen sind in Tabelle 7 aufgezeigt.

Es zeigte sich, dass die Maximaltrübung bei den Probenahmen 1 und 2 und 3 und 4 in der ersten Spülprobe (direkt zu Beginn der Spülmaßnahme, Bezeichnung x-0) bestimmt wurde, bei Probenahme 5 war die zweite Spülprobe (nach 3 Minuten Spüldauer, Bezeichnung 5-1) maximal trüb.

Tabelle 7: Maximal-Trübungswerte im März 2018

Probe	1-0	2-0	3-0	4-0	5-1
Trübung [FNU]	35,0	8,16	4,38	19,81	43,8

In den jeweils ersten Proben (Normalbetrieb) und letzten Proben (nach Spülung) sowie in den maximal trüben Proben wurde zudem pH-Wert, Temperatur und Leitfähigkeit direkt vor Ort bestimmt. Die Ergebnisse dieser Vor-Ort-Messungen sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Vor-Ort-Parameter im März 2018

Probe	Temperatur [°C]	pH-Wert	Leitfähigkeit [µS/cm]	Trübung [FNU]
1-N	10,7	8,26	574	0,12
1-0	11,5	7,6	585	35,0
1-11	10,8	8,14	587	1,01
2-N	10,1	7,66	575	2,28
2-0	9,1	7,53	603	8,16
2-4	9,1	7,46	560	0,38
3-N	7,4	8,25	597	14,73
3-0	7,9	7,57	601	4,38
3-10	8,1	7,49	608	1,65
4-N	8,8	7,60	606	4,56
4-0	8,9	7,54	605	19,81
4-17	9,3	7,54	603	1,80
5-N	7,7	7,85	438	33,2
5-1	8,2	7,59	589	43,8
5-13	9,1	7,63	586	1,77

Betrachtet man die Ergebnisse der Trübungsmessungen, dann liegen die meisten Werte oberhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 1,0 NTU (dieser Wert ist gemäß TrinkwV 2001, ab Ausgabe 2011 auch als Indikatorwert für das Verteilungsnetz gültig). Die hohen Trübungswerte in den Normalbetrieb-Proben 3-N und 5-N (fett

gedruckt) liegen mit 14,73 und 33,2 FNU deutlich über dem Grenzwert. Unter der Berücksichtigung, dass die Trübung des Wassers ab Trübungswerten > 5 FNU visuell erkennbar werden, kann auf Basis der Beobachtungen vor Ort bei 5-N (Erscheinungsbild klar) davon ausgegangen werden, dass die Trübung der Proben im Normalbetrieb zum Untersuchungszeitpunkt im Wesentlichen auf das Vorhandensein fein verteilter Partikel zurückzuführen ist. Bei der Probe 3-N war die Trübung visuell erkennbar. Eine Braunfärbung des Wassers aufgrund höherer Eisengehalte in Trinkwasser (aus Korrosionsprozessen stammend) wird erfahrungsgemäß ab einer Eisenkonzentration von ca. 0,5 mg/l Fe sichtbar.

Im Verlauf der Spülung und Beprobung der Probenahmestelle 4 (Gartenstr. 17) wurde nach Erreichen eines Trübungswertes < 2 FNU, der die Beendigung der Spülmaßnahme gerechtfertigt hätte, ein erneuter Anstieg der Trübung festgestellt (Abbildung 19).

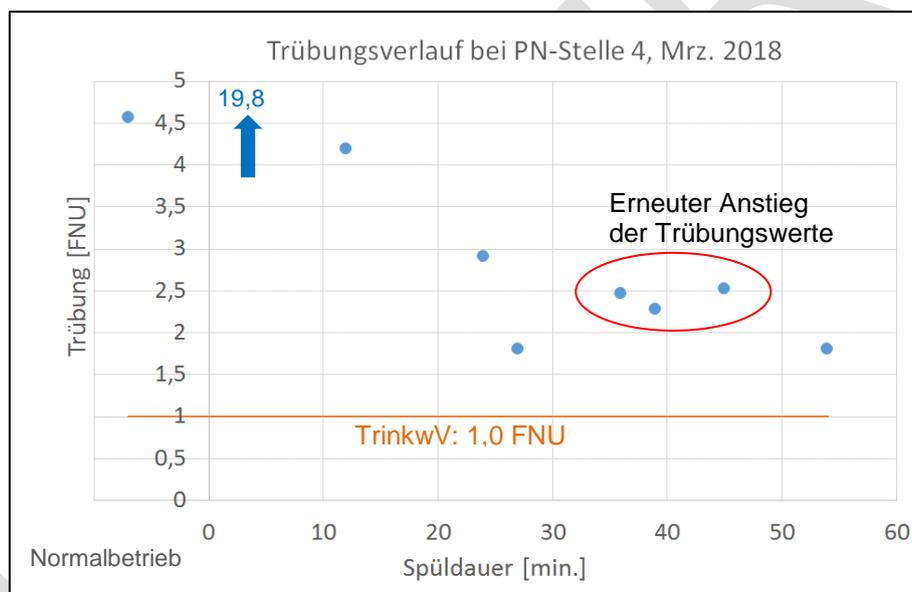


Abbildung 19: Trübungsmessungen bei der Spülung und Beprobung der Probenahmestelle 4

Daher wurde die Spülung fortgesetzt bis zur Proben 4-17, bei der wieder ein Trübungswert $< 2,0$ FNU (1,80 FNU) festgestellt wurde.

3.2.2 Chemische Analyse der Wasserproben

Die vor Ort genommenen Wasserproben von Trinkwasser sowie die Proben aus den Netzbeprobungen (teilweise) wurden im Labor hinsichtlich der folgenden Parameter analysiert:

- Chlorid, Nitrat, Sulfat, TOC (total organic carbon)
- Säurekapazität (Hydrogenkarbonat), Basekapazität, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit
- Calcitlösekapazität mg/l CaCO₃ (aus den Daten berechnet)
- Metalle gesamt (mit diesem Analysenverfahren werden auch die Werte für Phosphat und Silikat ermittelt)
- Metalle gelöst – Metalle partikulär

Die Werte für die partikulären Metall-Bestandteile wurden berechnet aus der Differenz von Gesamt-Metall-Konzentration und Konzentration der gelösten Metalle.

$$[\text{partikulär}] = [\text{gesamt}] - [\text{gelöst}]$$

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind im Folgenden in Tabellenform dargestellt. Dabei geben Werte, denen ein „Kleiner-Zeichen“ (<) vorangestellt ist, an, dass die ermittelten Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze des jeweiligen Analysenverfahrens lagen. Dies gilt für alle im Folgenden dargestellten Analyseergebnisse.

Die technischen Regeln DIN 50930-6¹ und DIN EN 12502-5² enthalten wasserseitige Leitparameter zur Beschreibung der korrosionschemischen Wechselwirkungen von un- und niedriglegierten Stählen und Gusseisen mit Trinkwasser. Werden die wasserseitigen Bedingungen für eine gleichmäßige Flächenkorrosion erfüllt, so bilden sich auf den Innenoberflächen von Rohrleitungen aus unlegierten oder niedriglegierten Eisenwerkstoffen und Gusseisen bei entsprechenden Strömungsbedingungen (größer etwa 0,1 m/s) korrosionsschützende Deckschichten aus. Voraussetzung für die Bildung ausreichend

¹ DIN 50930-6:2013-10: Korrosion der Metalle – Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wässer – Teil 6: Bewertungsverfahren und Anforderungen hinsichtlich der hygienischen Eignung in Kontakt mit Trinkwasser

² DIN EN 12502-5:2005-03: Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und -speichersystemen – Teil 5: Einflussfaktoren für Gusseisen unlegierte und niedriglegierte Stähle

gut schützender Deckschichten ist wasserseitig die Einhaltung folgender Mindestanforderungen:

- Sauerstoffkonzentration > 3 mg/l O₂
- pH-Wert > 7,0
- K_{S4,3} > 2 mmol/l
- Calciumkonzentration > 1 mmol/l (c(Ca²⁺))

Die Analysergebnisse (ausgewählte, korrosionsrelevante Parameter) der Trinkwasserprobe ist in Tabelle 9 im Vergleich zu den im Internet veröffentlichten Durchschnittswerten von 2016 dargestellt.

Zur Bewertung des Rostwasserbildungspotenzials wird in der Regel der Anionenquotient S₁ herangezogen, der die Wechselwirkung zwischen korrosionsfördernden und korrosionshemmenden Wasserparametern beschreibt (die Wasserparameter Chlorid (Cl), Sulfat (SO₄) und Nitrat (NO₃) wirken korrosionsfördernd, Hydrogencarbonat (HCO₃) korrosionshemmend). Der Anionenquotient S₁ wird berechnet aus den molaren Konzentrationen nach Gleichung 1.

$$\frac{[Cl^-] + 2 \cdot [SO_4^{2-}] + [NO_3^-]}{[HCO_3^-]} = S_1 \quad (1)$$

Die molare Konzentration an Hydrogencarbonat (HCO₃⁻) entspricht der Säurekapazität bis pH 4,3. Der Anionenquotient S₁ zeigt – als Abschätzung – eine erhöhte Korrosionsneigung im Hinblick auf die Bildung von Rostwasser für un- und niedriglegierte Eisenwerkstoffe an, wenn S₁ > 1. Bei Werten von S₁ ≤ 0,5 ist mit einer geringen Korrosionsneigung zu rechnen.

Tabelle 9: Analysergebnisse der Trinkwasserproben

Parameter	Durchschnitt 2016	Wasserwerk Eichenkamp Sep. 17	Wasserwerk Eichenkamp Nov. 17	Wasserwerk Eichenkamp Mrz. 18
Elektr. Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	585	630	551	585
pH-Wert	7,3	7,42	7,46	7,42
Säurekapazität $K_{\text{S}4,3}$ [mmol/l]	3,6	3,08	2,55	2,89
Basekapazität $K_{\text{B}8,2}$ [mmol/l]	0,84	0,26	0,22	0,26
Calcium [mmol /l]	1,95	1,72	1,47	1,64
Chlorid [mg/l]	57	60,3	58,2	55,1
Nitrat [mg/l]	22	18,6	15,7	17,8
Sulfat [mg/l]	67	58,4	48,6	54,8
TOC [mg/l]	0,89	0,46	0,59	0,79
Sauerstoff [mg/l]	3,6			
Calcitlösekapazität mg/l CaCO_3 (berechnet)	0 (Gleichgewicht)	5,44	8,47	8,99
Anionenquotient S_1 (berechnet)	0,93	1,04	1,14	1,03

Erfahrungen aus der Praxis und aus dem Betrieb von praxisnah betriebenen Versuchsanlagen zeigen, dass bei Guss- und Stahlrohren ohne inneren Korrosionsschutz, z. B. einer Zementmörtelauskleidung, die Gefahr von Rostwasserbildung mit Trübung des Wassers in einem diskreten Bereich des S_1 -Quotienten von 0,7 bis 1 deutlich ansteigt. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn das Vorhandensein dieser Rohre mit kritischen Betriebsbedingungen, wie geringen Fließgeschwindigkeiten und geringer Wasserentnahme gekoppelt ist.

Die Calcitlösekapazität liegt oberhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 5 mg/l – mit zunehmender Tendenz. Eine steigende Neigung zur Lösung vorhandener Deckschichten an den Rohrinneoberflächen ist somit gegeben.

Die metallischen Bestandteile, die in den Wasserproben in gelöster und partikulärer Form enthalten waren, geben Aufschluss über bereits stattgefundenen Prozesse der Korrosion bzw. der Mobilisierung von Sedimenten. Die Gegenüberstellung der für die Beurteilung der Trübungsproblematik gelösten und partikulären Metall-Bestandteile der September 2017-Beprobung ist in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: Analysenergebnisse der Wasserproben Sep. 17 – Metalle – Gegenüberstellung der gelösten und partikulären Bestandteile

Probe	Parameter	Eisen [mg/l]	Mangan [mg/l]	Calcium [mg/l]	Phosphat [mg/l]	Silikat [mg/l]
1-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	69,7	< 0,100	8,95
1-N	partikulär	0,03	< 0,010	0,0	< 0,100	0,01
1-0	gelöst	0,02	< 0,010	68,6	< 0,100	8,71
1-0	partikulär	33,0	0,082	1,1	2,1	6,59
1-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	69,6	< 0,100	9,05
1-20	partikulär	0,32	< 0,010	0,9	< 0,100	0,10
2-N	gelöst	0,04	< 0,010	69,1	< 0,100	8,84
2-N	partikulär	0,14	< 0,010	0,3	< 0,100	0,10
2-0	gelöst	0,03	< 0,010	69,6	< 0,100	8,91
2-0	partikulär	2,85	0,013	0,2	< 0,100	0,42
2-4	gelöst	0,01	< 0,010	69,5	< 0,100	8,94
2-4	partikulär	0,24	< 0,010	0,0	< 0,100	0,03
3-N	gelöst	0,02	< 0,010	69,9	< 0,100	8,92
3-N	partikulär	0,40	< 0,010	0,0	< 0,100	0,04
3-0	gelöst	0,12	< 0,010	69,9	< 0,100	8,71
3-0	partikulär	1,93	< 0,010	0,0	< 0,100	0,23
3-6	gelöst	0,03	< 0,010	69,9	< 0,100	8,86
3-6	partikulär	0,31	< 0,010	0,0	< 0,100	0,01
4-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	70,6	< 0,100	8,89
4-N	partikulär	0,04	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
4-0	gelöst	0,02	0,014	70,7	< 0,100	8,82
4-0	partikulär	4,22	< 0,010	0,0	0,21	1,02
4-8	gelöst	< 0,010	< 0,010	69,9	< 0,100	8,82
4-8	partikulär	0,24	< 0,010	0,1	< 0,100	0,08
5-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	71,8	< 0,100	8,79
5-N	partikulär	0,04	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
5-0	gelöst	0,02	< 0,010	70,3	< 0,100	8,67
5-0	partikulär	0,69	< 0,010	0,0	< 0,100	0,15
5-1	gelöst	0,02	< 0,010	70,1	< 0,100	8,68
5-1	partikulär	1,04	< 0,010	0,0	< 0,100	0,22
5-2	gelöst	0,02	< 0,010	70,5	< 0,100	8,76
5-2	partikulär	0,81	< 0,010	0,0	< 0,100	0,09
5-8	gelöst	0,02	< 0,010	70,9	< 0,100	8,79
5-8	partikulär	0,37	< 0,010	0,0	< 0,100	0,08

Die Analyseergebnisse zeigen, dass die für die Beurteilung relevanten Parameter im Wesentlichen in partikulärer Form vorliegen und nicht in gelöster Form. Dies gilt insbesondere für den Parameter Eisen, so dass bei der Trübungsproblematik weniger von einem korrosionsbedingten Einfluss auszugehen ist, sondern von der Remobilisierung suspendierter Partikel.

Höhere Anteile an Härtebildnern (Calcium) und Inhibitorkomponenten (Phosphat, Silikat) korrespondieren mit höheren Anteilen an partikulär vorliegendem Eisen, so dass ein nicht unerheblicher Anteil der Partikel aus Teilen der Eisendeckschicht besteht. Dieser Effekt lässt sich insbesondere an der stark Partikel-beladenen Probe 1-0 nachvollziehen. In Tabelle 10 sind die auffällig hohen partikulären Bestandteile durch **Fett**druck hervorgehoben.

Die Gegenüberstellung der für die Beurteilung der Trübungsproblematik gelösten und partikulären Metall-Bestandteile der November 2017-Beprobung ist in Tabelle 11 dargestellt. Und die Gegenüberstellung der für die Beurteilung der Trübungsproblematik gelösten und partikulären Metall-Bestandteile der März 2018-Beprobung ist in Tabelle 12 dargestellt.

Auch in den folgenden Tabellen, Tabelle 11 und Tabelle 12, sind die auffällig hohen partikulären Bestandteile durch Fett**druck** hervorgehoben. Außerdem fallen bei beiden Beprobungen in der Probe 5-N vergleichsweise niedrigere Calcium- und Silikat-Gehalte insgesamt auf (durch *Kursiv*druck gekennzeichnet), die sich in der gelösten Phase befinden.

Tabelle 11: Analysenergebnisse der Wasserproben Nov. 17 – Metalle – Gegenüberstellung der gelösten und partikulären Bestandteile

Probe	Parameter	Eisen [mg/l]	Mangan [mg/l]	Calcium [mg/l]	Phosphat [mg/l]	Silikat [mg/l]
1-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	67,4	< 0,100	8,56
1-N	partikulär	0,05	< 0,010	0,0	< 0,100	0,07
1-0	gelöst	0,02	< 0,010	66,4	< 0,100	8,55
1-0	partikulär	6,77	0,024	0,0	0,39	1,26
1-11	gelöst	0,02	< 0,010	70,1	< 0,100	8,71
1-11	partikulär	0,28	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
2-N	gelöst	0,03	< 0,010	75,1	< 0,100	9,19
2-N	partikulär	0,30	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
2-0	gelöst	0,05	< 0,010	73,7	< 0,100	8,95
2-0	partikulär	2,68	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
2-4	gelöst	0,02	< 0,010	72,9	< 0,100	8,78
2-4	partikulär	0,09	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
3-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,3	< 0,100	8,06
3-N	partikulär	0,68	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
3-0	gelöst	0,08	< 0,010	61,5	< 0,100	8,47
3-0	partikulär	5,50	0,014	0,0	< 0,100	0,35
3-20	gelöst	0,02	< 0,010	61,5	< 0,100	8,35
3-20	partikulär	0,37	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
4-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	70,4	< 0,100	8,67
4-N	partikulär	0,08	< 0,010	0,0	< 0,100	0,03
4-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	65,1	< 0,100	8,41
4-0	partikulär	2,06	< 0,010	0,0	0,11	0,17
4-10	gelöst	< 0,010	< 0,010	61,7	< 0,100	8,31
4-10	partikulär	0,21	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
5-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	49,4	< 0,100	7,52
5-N	partikulär	0,17	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
5-0	gelöst	0,01	< 0,010	66,4	< 0,100	8,59
5-0	partikulär	0,39	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
5-1	gelöst	0,03	< 0,010	61,1	< 0,100	8,28
5-1	partikulär	2,86	0,020	0,0	0,12	0,37
5-2	gelöst	0,03	< 0,010	59,9	< 0,100	8,14
5-2	partikulär	1,99	0,022	0,0	< 0,100	0,26
5-10	gelöst	0,02	< 0,010	63,6	< 0,100	8,38
5-10	partikulär	0,22	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0

Tabelle 12: Analysenergebnisse der Wasserproben Mrz. 18 – Metalle – Gegenüberstellung der gelösten und partikulären Bestandteile

Probe	Parameter	Eisen [mg/l]	Mangan [mg/l]	Calcium [mg/l]	Phosphat [mg/l]	Silikat [mg/l]
1-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	62,2	< 0,100	9,16
1-N	partikulär	0,011	< 0,010	0,8	< 0,100	0,08
1-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	63,6	< 0,100	9,21
1-0	partikulär	6,10	0,019	0,3	0,59	1,29
1-11	gelöst	< 0,010	< 0,010	64,2	< 0,100	9,25
1-11	partikulär	0,19	< 0,010	0,0	< 0,100	0,09
2-N	gelöst	0,011	< 0,010	66,7	< 0,100	9,25
2-N	partikulär	0,34	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
2-0	gelöst	0,016	< 0,010	67,5	< 0,100	9,41
2-0	partikulär	0,89	< 0,010	0,0	< 0,100	0,02
2-4	gelöst	0,021	< 0,010	59,7	< 0,100	8,91
2-4	partikulär	0,07	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
3-N	gelöst	0,013	< 0,010	65,2	< 0,100	9,18
3-N	partikulär	1,42	< 0,010	0,1	< 0,100	0,23
3-0	gelöst	0,016	< 0,010	66,1	< 0,100	9,32
3-0	partikulär	0,73	< 0,010	0,3	< 0,100	0,16
3-10	gelöst	0,012	< 0,010	67,7	< 0,100	9,51
3-10	partikulär	0,30	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
4-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	67,1	< 0,100	9,39
4-N	partikulär	0,187	< 0,010	0,8	< 0,100	0,34
4-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	67,4	< 0,100	9,41
4-0	partikulär	2,78	< 0,010	0,7	0,18	0,89
4-17	gelöst	< 0,010	< 0,010	67,8	< 0,100	9,50
4-17	partikulär	0,31	< 0,010	0,2	< 0,100	0,11
5-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	46,0	< 0,100	7,38
5-N	partikulär	2,16	< 0,010	0,0	< 0,100	0,17
5-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	64,3	< 0,100	9,13
5-0	partikulär	1,35	< 0,010	0,5	< 0,100	0,38
5-1	gelöst	< 0,010	< 0,010	65,7	< 0,100	9,26
5-1	partikulär	6,43	< 0,010	0,7	0,29	1,34
5-13	gelöst	< 0,010	< 0,010	66,3	< 0,100	9,30
5-13	partikulär	0,28	< 0,010	0,5	< 0,100	0,09

Eine graphische Darstellung der Verteilung von gelösten und partikulären Anteilen – gezeigt an allen bisher durchgeführten Probenahmen – verdeutlicht, dass Eisen fast ausschließlich in partikulärer Form, Calcium fast ausschließlich in gelöster Form und Silikat überwiegend in gelöster Form vorliegen.

Abbildung 20 zeigt die Verteilung für Eisen, in Absolutwerten und in prozentualer Aufteilung, an den jeweils am stärksten getrübbten Proben der Netzspülung. Das sind für die Probenahmestellen 1 bis 4 die Proben sofort nach Beginne der Spülung (Bezeichnung x-0) und für die Probenahmestelle 5 die Probe nach 3 Minuten Spülung (Bezeichnung 5-1).

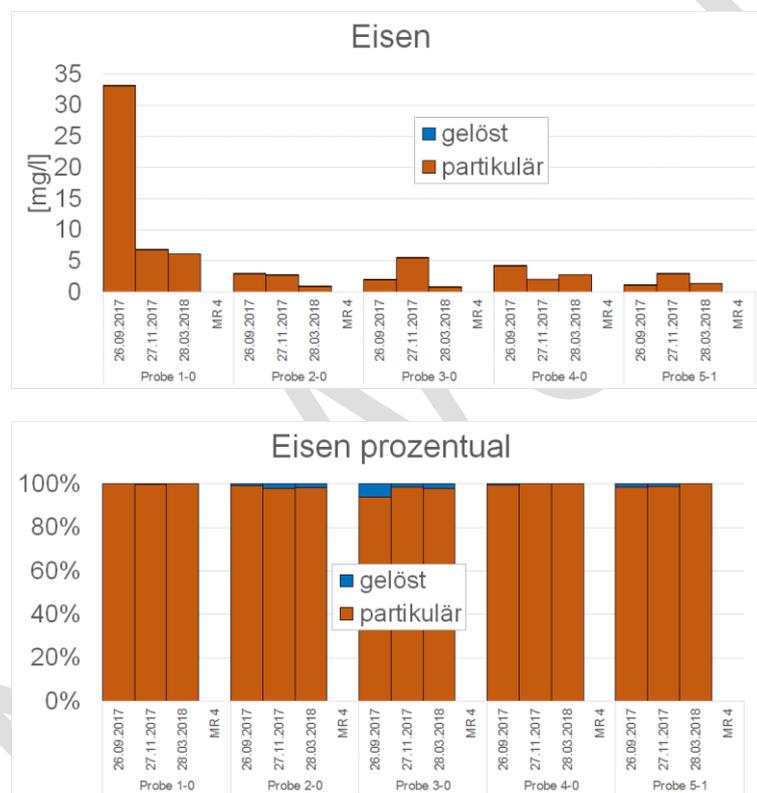


Abbildung 20: Aufteilung Eisenanteile, gelöst und partikulär

Abbildung 21 zeigt die Verteilung für Calcium, in Absolutwerten und in prozentualer Aufteilung. Und Abbildung 22 zeigt die Verteilung für Silikat, in Absolutwerten und in prozentualer Aufteilung.

Mangan und Phosphat liegen ausschließlich partikulär vor, jedoch in so geringer Konzentration, dass eine graphische Darstellung obsolet ist. Die Konzentrationen von Mangan liegen im Bereich von 0,00 bis 0,02 mg/l, maximal – einmalig – 0,08 mg/l. Die Konzentrationen von Phosphat liegen im Bereich von 0,0 bis 0,4 mg/l, maximal – einmalig – 2,1 mg/l.

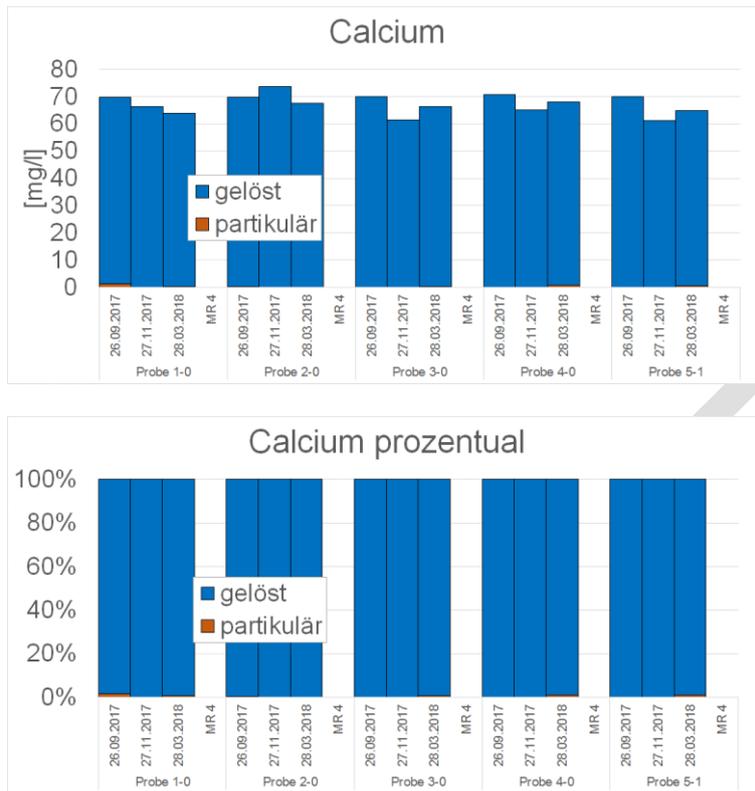


Abbildung 21: Aufteilung Calciumanteile, gelöst und partikulär

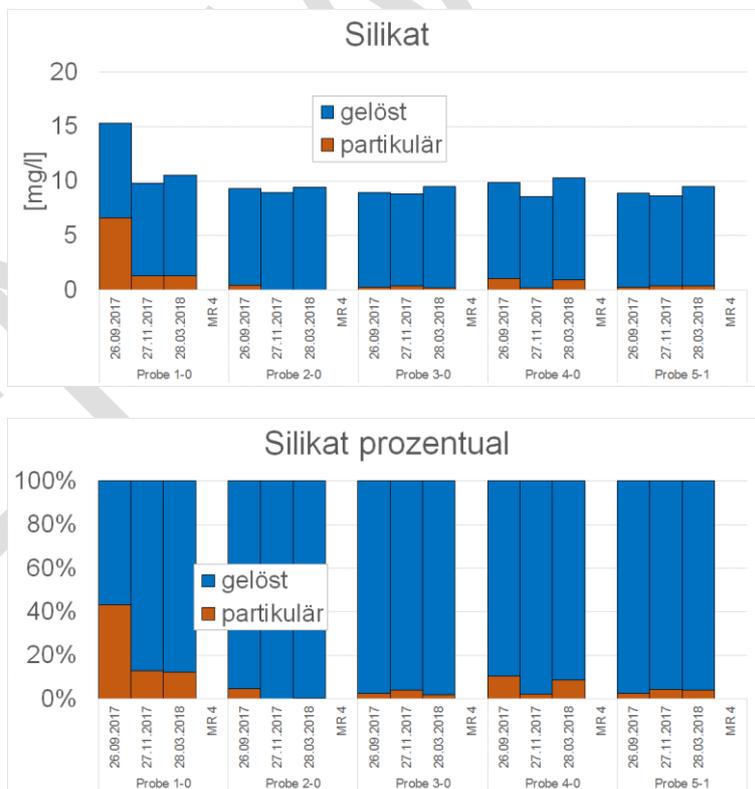


Abbildung 22: Aufteilung Silikatanteile, gelöst und partikulär

3.2.3 Untersuchungen der Partikelfracht

3.2.3.1 Ermittlung des Trübstoff-/Feststoff- und Schwebstoff-Anteils in den Wasserproben

Zur genaueren Spezifikation der partikulären Bestandteile der Proben wurden die Wasserproben, in denen bei der Spülung deutliche Trübungen festgestellt werden konnten, hinsichtlich der Anteile an abfiltrierbaren Stoffen (Sink-, Schweb- und Schwimmstoffe, Partikel), die eine sichtbare Trübung verursachen, und absetzbaren Stoffen (sedimentierbare Partikel), die sich am Boden absetzen, untersucht. Das Ergebnis ist in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Feststoffmengenanalyse

Probe-Nr.	PN-Datum	Abfiltrierbare Stoffe [mg/l]	Absetzbare Stoffe [mg/l]
1-0	Sep. 17	61	0,6
1-0	Nov. 17	13	-
1-0	Mrz. 18	13	-
2-0	Sep. 17	31	0,3
2-0	Nov. 17	25	-
2-0	Mrz. 18	14	-
3-0	Sep. 17	15	0,1
3-0	Nov. 17	19	0,1
4-N	Nov. 17	6,1	-
4-N	Mrz. 18	17	-
4-0	Sep. 17	19	0,1
4-0	Nov. 17	6,7	-
4-0	Mrz. 18	9,9	-
5-1	Nov. 17	6,5	-
5-1	Mrz. 18	11	-
5-2	Nov. 17	6,4	-

Alle übrigen Proben wiesen keine abfiltrierbaren oder absetzbaren Stoffe in nachweisbarer Konzentration auf.

Die Analysenergebnisse bestätigen die Einschätzung, dass es sich bei den trübungsrelevanten Partikeln um leicht mobilisierbare Ablagerungs-Partikel handelt.

3.2.3.2 Ermittlung der Partikelgröße

Zur Ermittlung der Partikelgrößen und der Verteilung in den einzelnen Wasserproben wurde das Messverfahren der Laserlichtblockade (Klotz: Abakus mobil) angewendet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Diagrammen im Anhang dargestellt (Abbildung 30 bis Abbildung 34 für die Proben vom September 2017 und Abbildung 35 bis Abbildung 39 für die Proben vom November 2017). Dabei zeigen die linken Diagramme jeweils die relative (prozentuale) Verteilung der Partikel hinsichtlich Anzahl, Oberfläche und Volumen; die rechten Diagramme zeigen jeweils die absoluten Partikelkonzentrationen, kumulativ und distributiv.

Zur vergleichenden Einschätzung sind in den folgenden Diagrammen für die Netzproben vom September 2017 die kumulativen Partikelkonzentrationen dargestellt, in Abbildung 23 die Konzentrationen aller Partikel, in Abbildung 24 ein Ausschnitt davon, der die Konzentration der Probe 1-0 nur bis zur Partikelgröße $> 5 \mu\text{m}$ zeigt, in dem aber mehrere Kurven der geringeren Konzentrationen getrennt voneinander erkennbar sind.

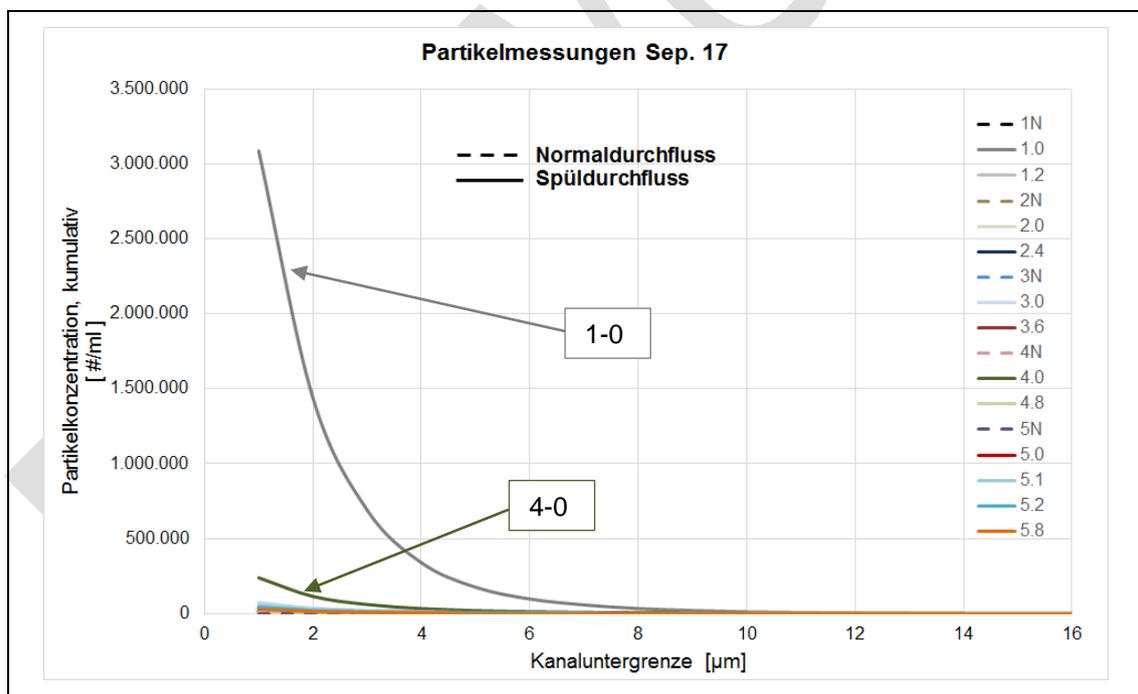


Abbildung 23: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, Sep. 17

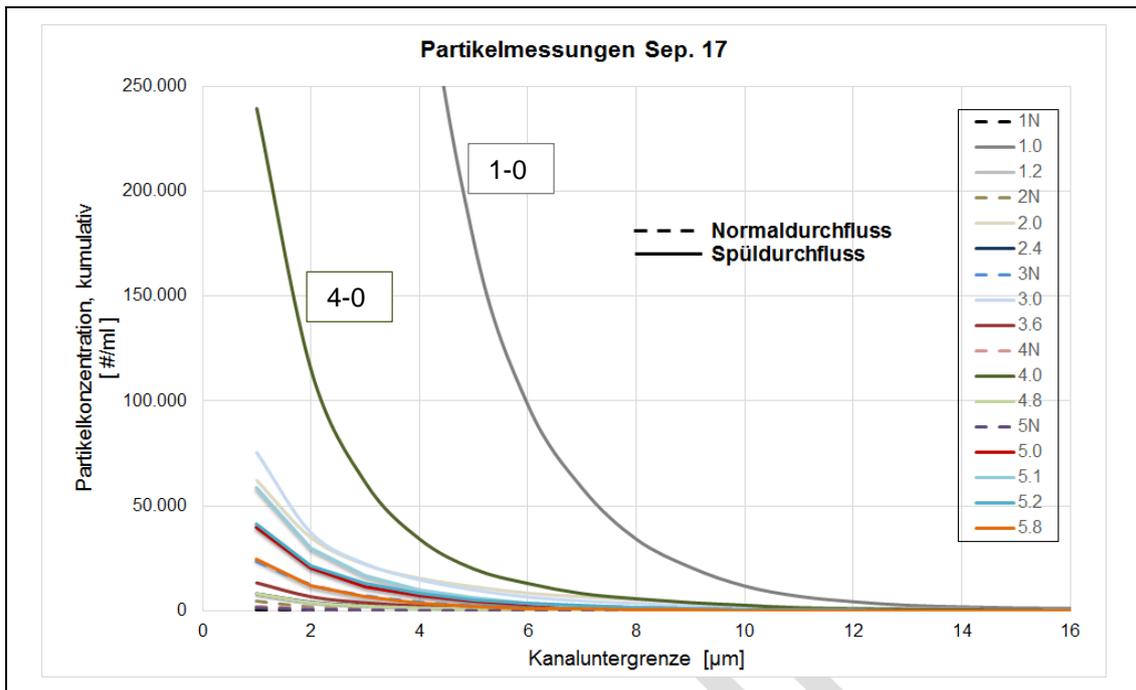


Abbildung 24: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, Sep. 17

Erkennbar ist, dass alle Proben – bis auf die beiden Proben 1-0 und 4-0 – nur geringe Partikelkonzentrationen aufweisen, bis maximal 75.000 Stück pro ml. Dabei sind Partikel mit Partikelgrößen $> 10 \mu\text{m}$ kaum noch feststellbar.

In der Probe 1-0 sind kumulativ etwa 3,1 Millionen Partikel pro ml enthalten, wovon etwa die Hälfte eine Größe von $< 1 \mu\text{m}$ aufweist. Das ergibt sich aus dem Vergleich der kumulativen und distributiven Konzentrationsverteilung (Abbildung 25).

Für Probe 4-0 lassen sich ähnliche Aussagen treffen. Der Unterschied zu Probe 1-0 besteht lediglich in der kumulativen Gesamtmenge von 240.000 Partikel pro ml. Auch hier von fällt etwa die Hälfte auf Partikelgrößen $< 1 \mu\text{m}$ (Abbildung 25).

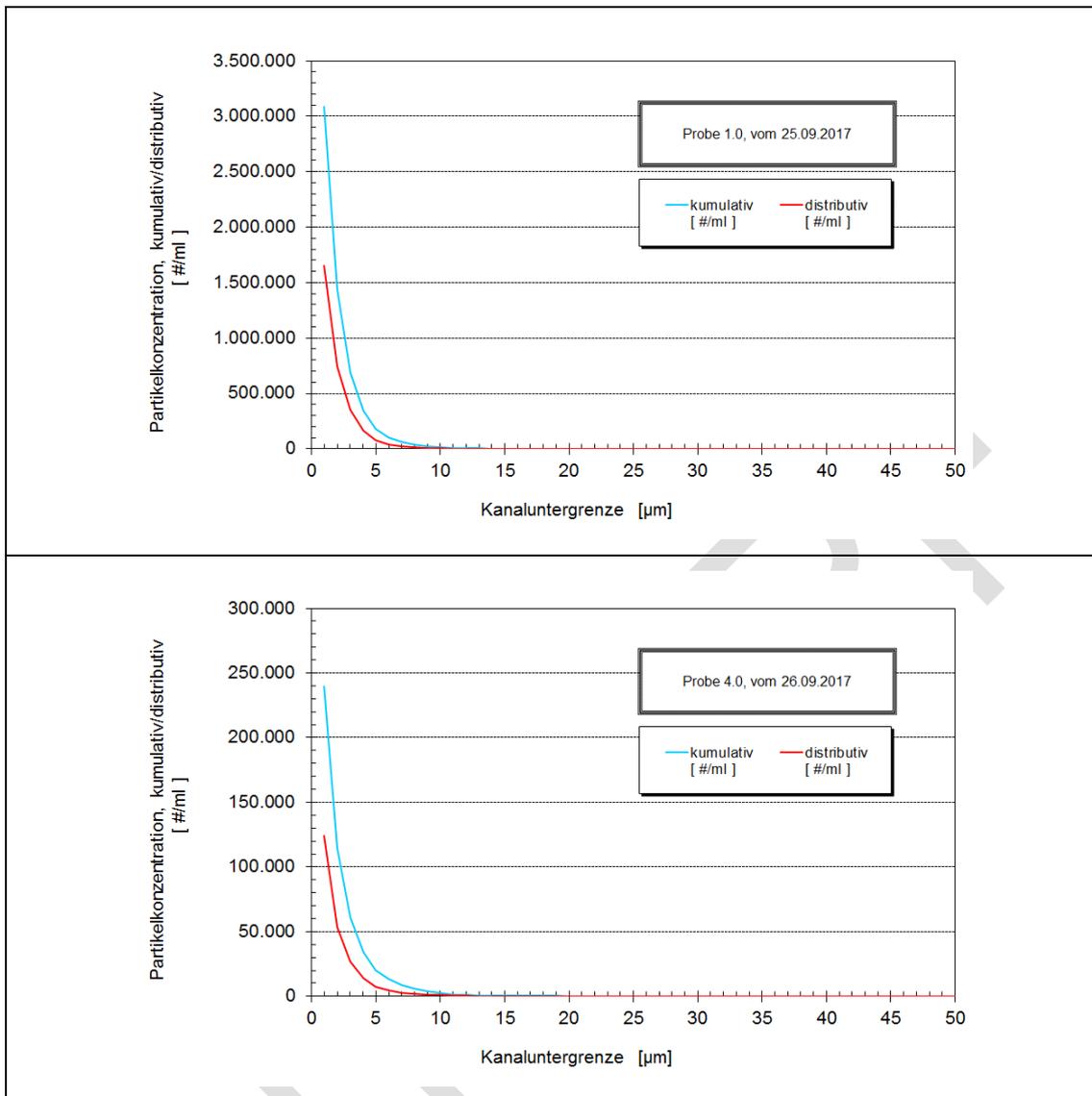


Abbildung 25: Kumulative und distributive Partikelkonzentrationen der Proben 1-0 und 4-0, Beprobung Sep. 17

Die Auswertung der Partikelverteilung für die Netzproben vom November 2017 ist nachfolgend dargestellt. Zur vergleichenden Einschätzung sind in den folgenden Diagrammen für die Netzproben vom November 2017 die kumulativen Partikelkonzentrationen dargestellt, in Abbildung 26 die Konzentrationen aller Partikel, in Abbildung 27 ein Ausschnitt davon im Wertebereich bis 10.000 Partikel pro Milliliter, in dem alle Kurven getrennt voneinander erkennbar sind.

Hier ist erkennbar, dass alle Proben ebenfalls nur geringe Partikelkonzentrationen aufweisen. Die jeweils am stärksten belasteten Proben zeigten Konzentration von etwa 70.000 bis maximal 230.000 Stück pro ml.

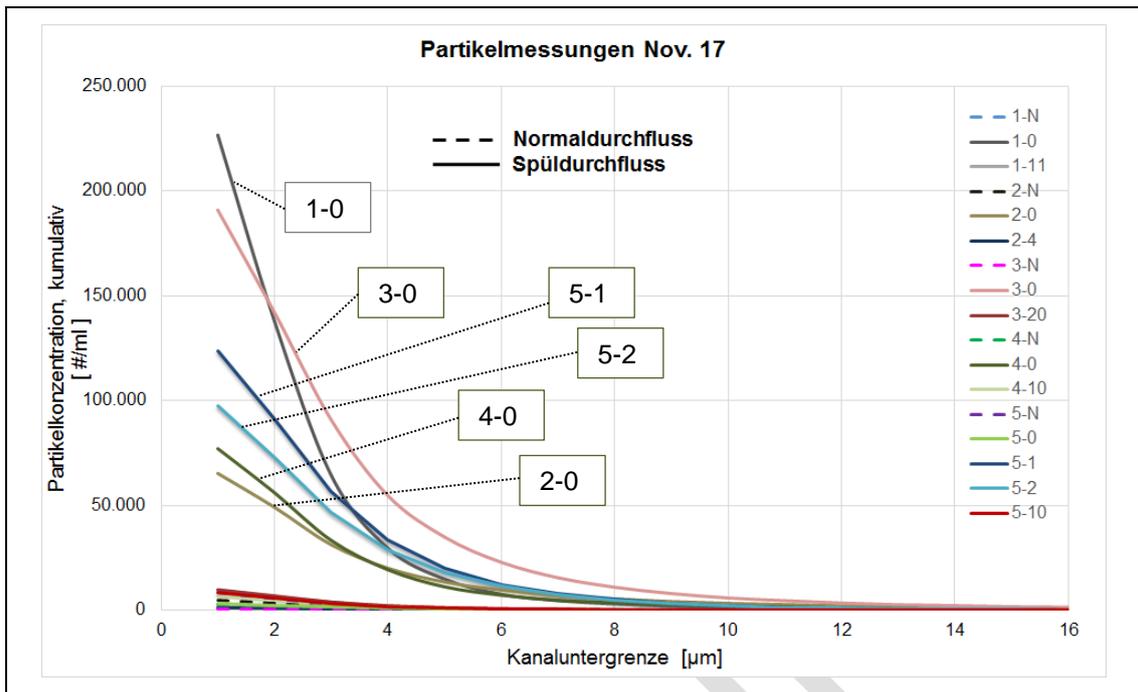


Abbildung 26: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, Nov. 17

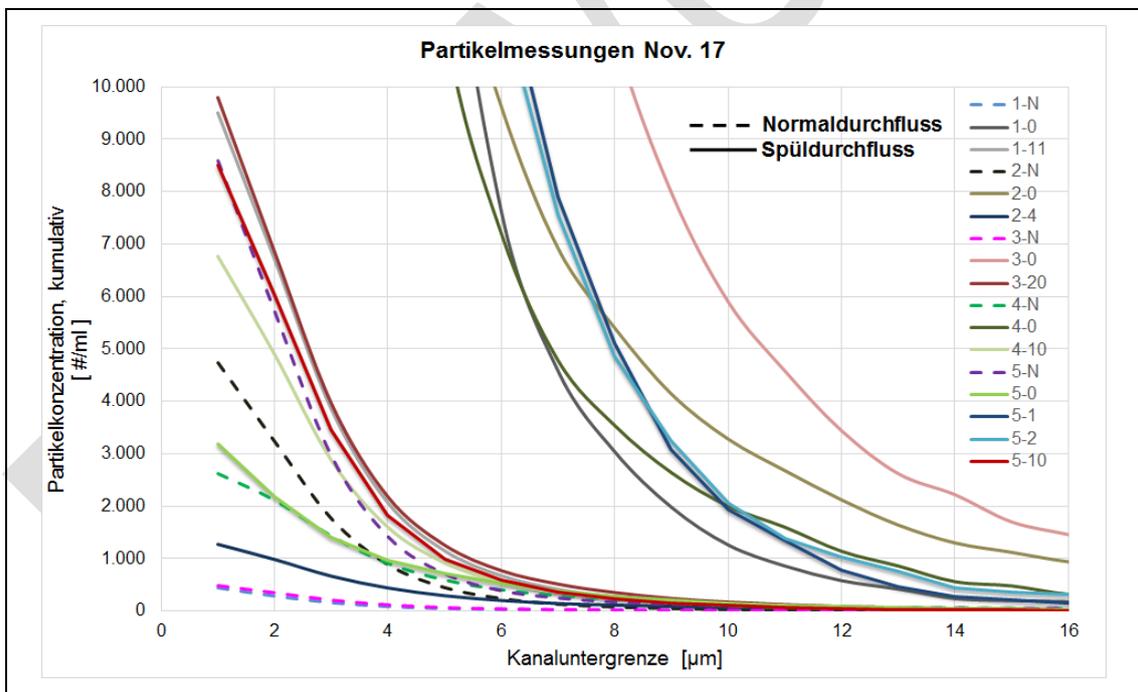


Abbildung 27: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, Nov. 17

Die Proben aus dem Normalbetrieb und am Ende der Spülaktion zeigten bei allen beprobten Hydranten Konzentrationen von weniger als 10.000 Stück pro ml. Dabei sind Partikel mit Partikelgrößen > 10 µm kaum noch feststellbar.

Die Auswertung der Partikelverteilung für die Netzproben vom März 2018 ist nachfolgend dargestellt. Zur vergleichenden Einschätzung sind in den folgenden Diagrammen für die Netzproben vom März 2018 die kumulativen Partikelkonzentrationen dargestellt, in Abbildung 28 die Konzentrationen aller Partikel, in Abbildung 29 ein Ausschnitt davon im Wertebereich bis 10.000 Partikel pro Milliliter, in dem alle Kurven getrennt voneinander erkennbar sind.

Hier ist erkennbar, dass alle Proben ebenfalls nur geringe Partikelkonzentrationen (< 50.000 pro ml) aufweisen. Die jeweils am stärksten belasteten Proben zeigten Konzentration von etwa 100.000 bis maximal 290.000 Stück pro ml.

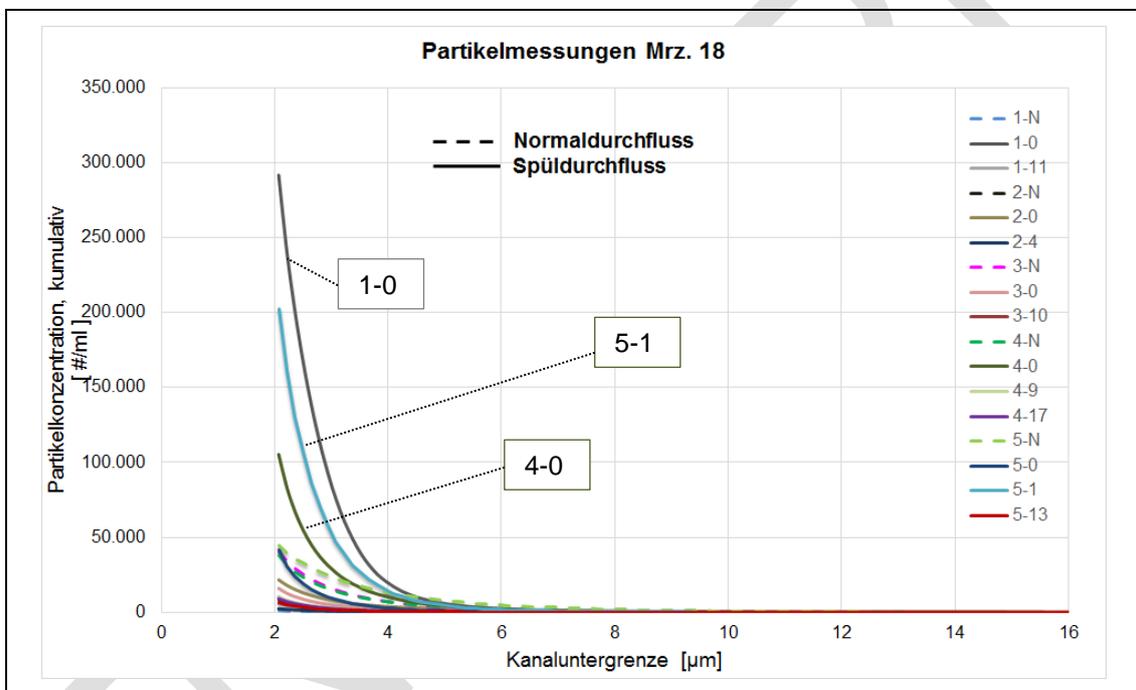


Abbildung 28: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, März 18

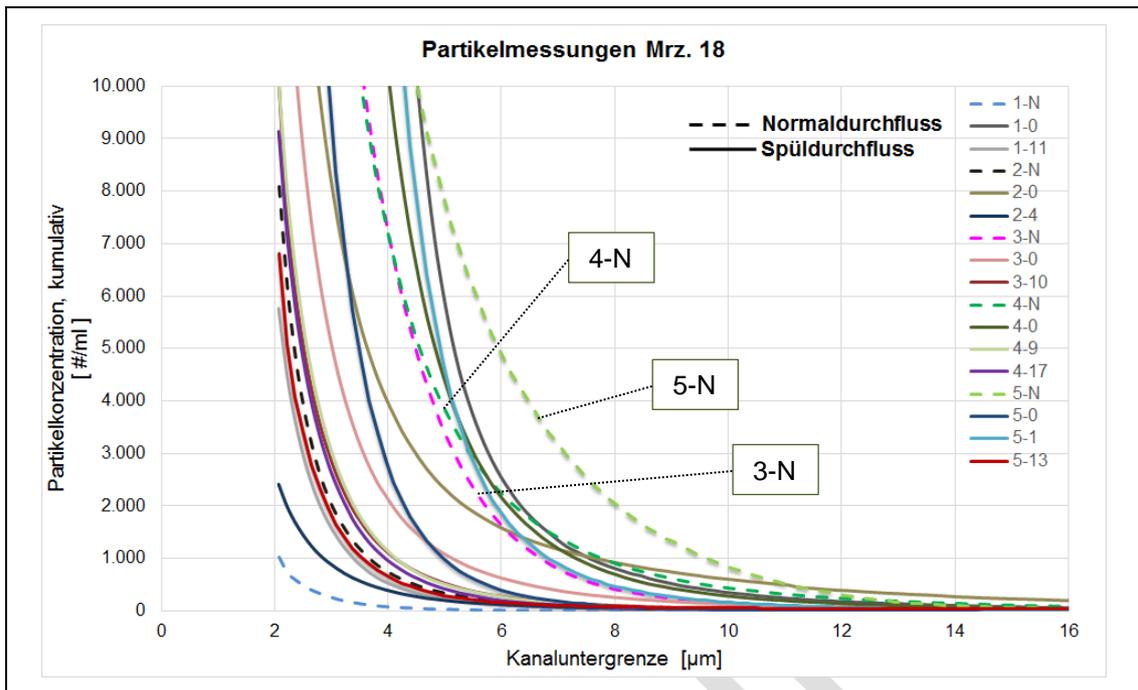


Abbildung 29: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, März 18

Hier fällt auf, dass im Vergleich zu den vorherigen Messungen bereits im Normalbetrieb größere Partikel in höheren Mengen feststellbar sind. So sind etwa 4000 Partikel pro Milliliter mit Größen von beispielsweise 5 µm Durchmesser in den Proben 3-N und 4-N und etwa 8000 Partikel dieser Größe in der Probe 5-N bestimmt worden.

4 Schlussfolgerung und Ausblick auf Basis des vorliegenden Kenntnisstandes

Die erste Umstellung des Mischungsverhältnisses von 75% WBV-Wasser zu 25 % WTV-Wasser auf 65% WBV-Wasser zu 35 % WTV-Wasser hat nach der vorliegenden Datenlage keine signifikante Erhöhung der Partikelfracht und somit von Rostwasserproblemen bewirkt. Es ist jedoch dabei zu bedenken, dass die Probenahme im November in recht kurzer zeitlicher Nähe zum Umstellungszeitpunkt stattgefunden hat, so dass sich Langzeitauswirkungen (wie z. B. Deckschichtumgestaltungen) nicht vollzogen haben und daher auch nicht erfasst werden konnten.

Weitere Netzbehebungen – jeweils zeitverzögert nach Umstellung der Wassermischungsverhältnisse – wurden geplant. Die nächste Behebung fand bereits Ende März 2018 statt, bei einem vorliegenden Mischungsverhältnis von 60% WBV-Wasser zu 40 % WTV-Wasser, das gegen Ende Dezember 2017 eingestellt worden war. Die Behebung lag demnach zeitlich etwa drei Monate nach der Umstellung.

Die Behebungen vom März 2018 und die Analysen und Messungen an diesen Proben ergab nach der vorliegenden Datenlage innerhalb der bisher verstrichenen Zeit keine signifikante Erhöhung des Rostwasserrisikos. Sowohl in der Menge und Beschaffenheit der Partikelfracht als auch bei dem Verhältnis von gelösten zu partikulären Korrosionsprodukten bzw. Deckschichtbestandteilen konnte zum derzeitigen Untersuchungsstand keine besorgniserregende Veränderung festgestellt werden.

Die Entwicklung während des nun eingestellten Mischungsverhältnisses von 60% WBV-Wasser zu 40 % WTV-Wasser soll über einen längeren Zeitraum durch mehrere Behebungen beobachtet werden, ohne dass weitere Wasserveränderungen vorgenommen werden. Ziel dieser nächsten Behebungen ist es, die Entwicklung hinsichtlich möglicher Umbildungsprozesse an den Deckschichten an den Innenwandungen der Rohrleitungen im Kontakt mit dem Wasser im nun eingestellten Mischungsverhältnis zu beobachten und zu erfassen. Die nächsten Behebungen werden für etwa Ende August und Mitte Dezember in Betracht gezogen.

5 Anhang

Zur Ermittlung der Partikelgrößen und der Verteilung in den einzelnen Wasserproben wurde das Messverfahren der Laserlichtblockade (Klotz: Abakus mobil) angewendet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind für die Beprobung im September 2017 in den folgenden Diagrammen dargestellt (Abbildung 30 bis Abbildung 34). Dabei zeigen die linken Diagramme jeweils die relative (prozentuale) Verteilung der Partikel hinsichtlich Anzahl, Oberfläche und Volumen; die rechten Diagramme zeigen jeweils die absoluten Partikelkonzentrationen, kumulativ und distributiv.

Die Anzahlverteilung (rote Kurve im linken Diagramm) stellt sich bei allen Proben nahezu gleich dar. Im Bereich der Kanaluntergrenzen oberhalb von 10 μm befinden sich weniger als 5 % der Partikel.

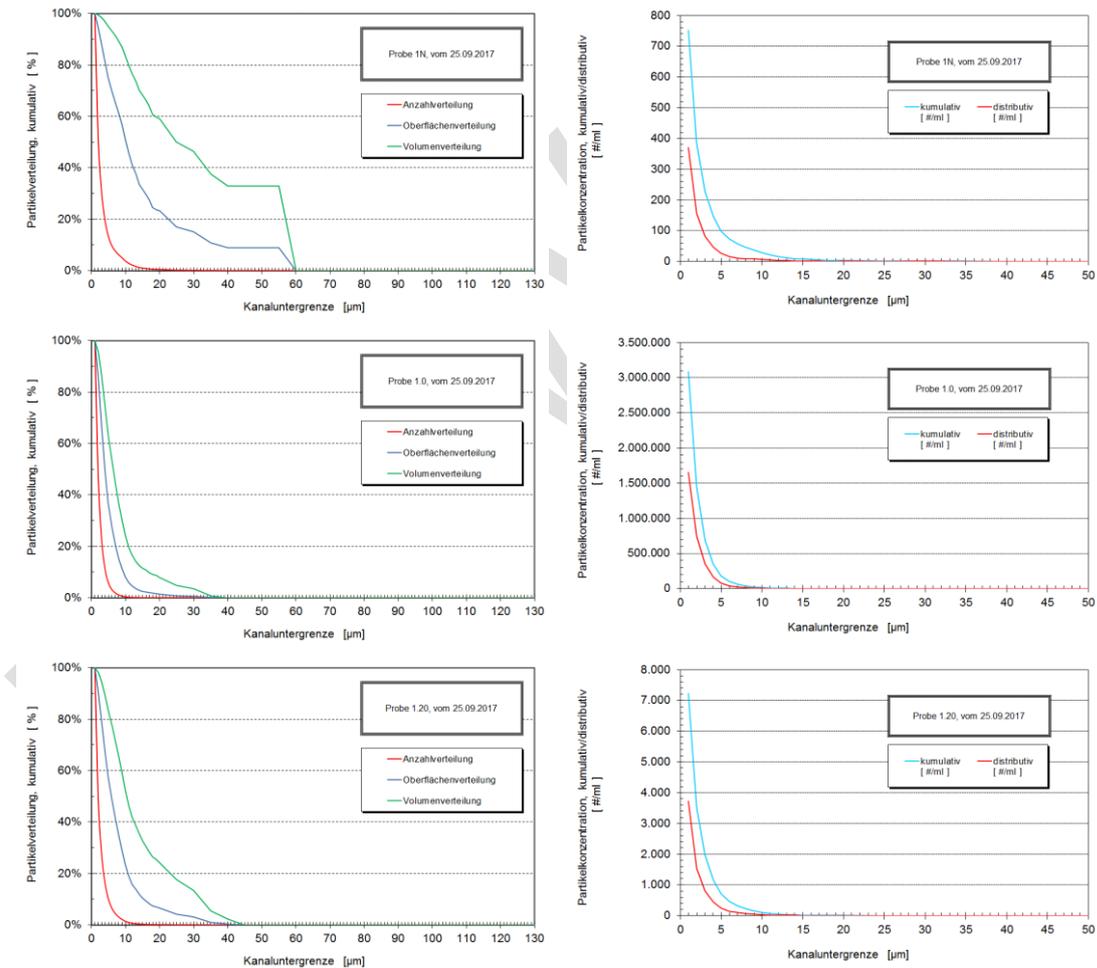


Abbildung 30: Partikelmessungen der Proben (Sep. 17) der Netzstation 1 (Landgraben)

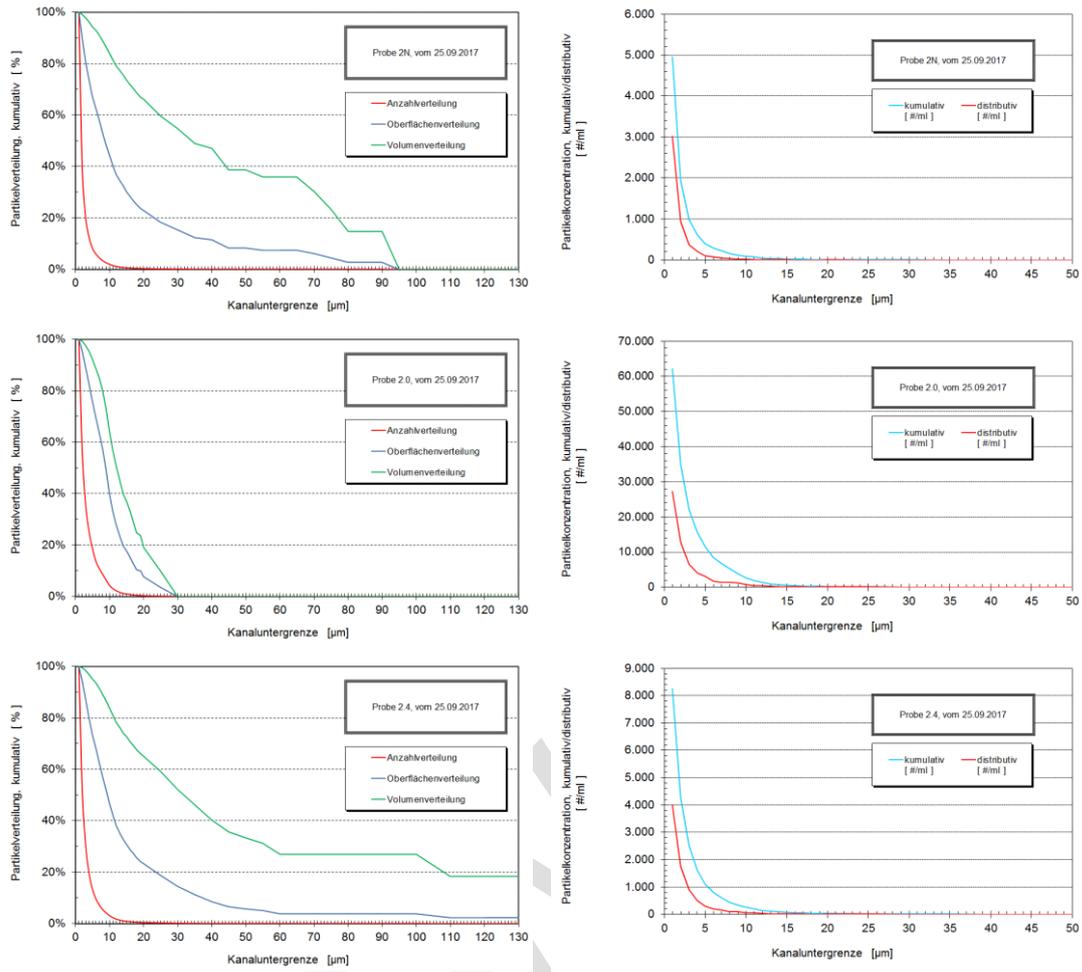


Abbildung 31: Partikelmessungen der Proben (Sep. 17) der Netzstation 2 (Friedrichstraße)

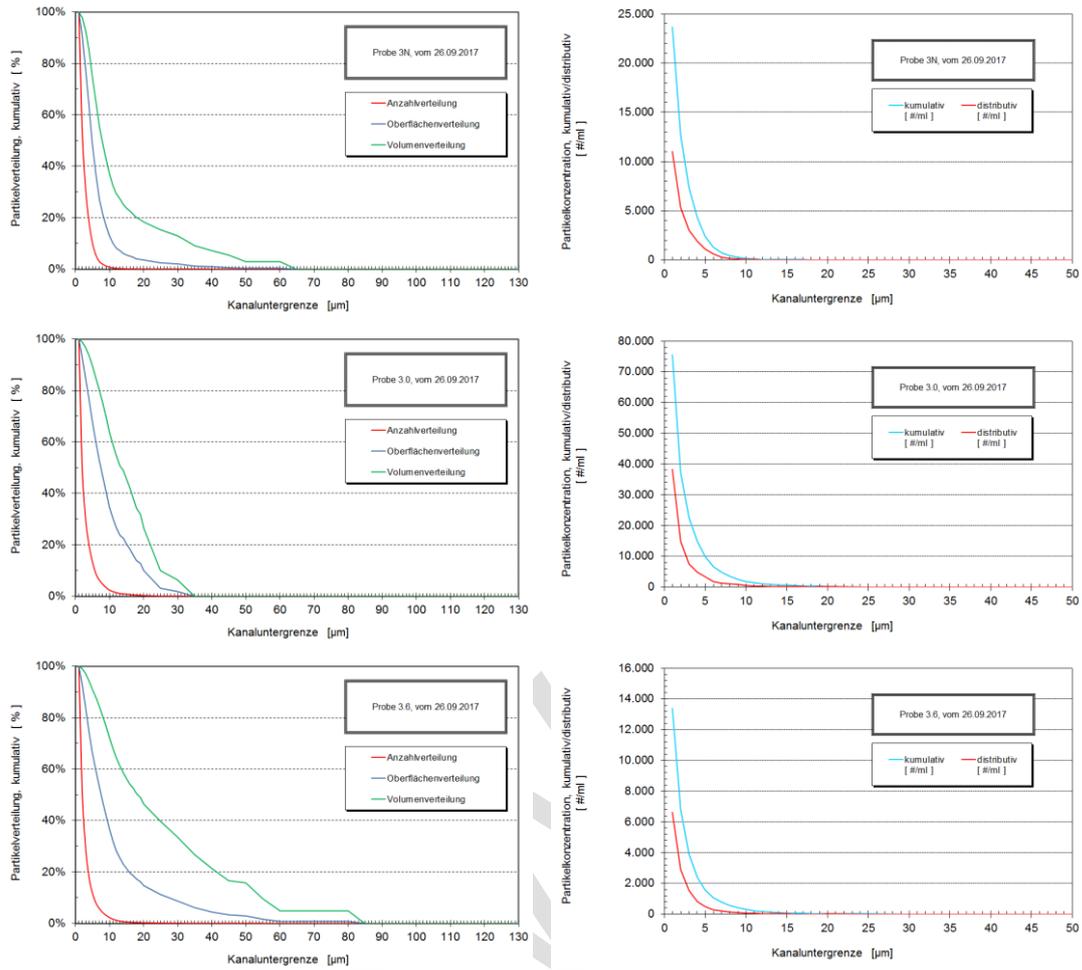


Abbildung 32: Partikelmessungen der Proben (Sep. 17) der Netzstation 3 (Römerstraße)

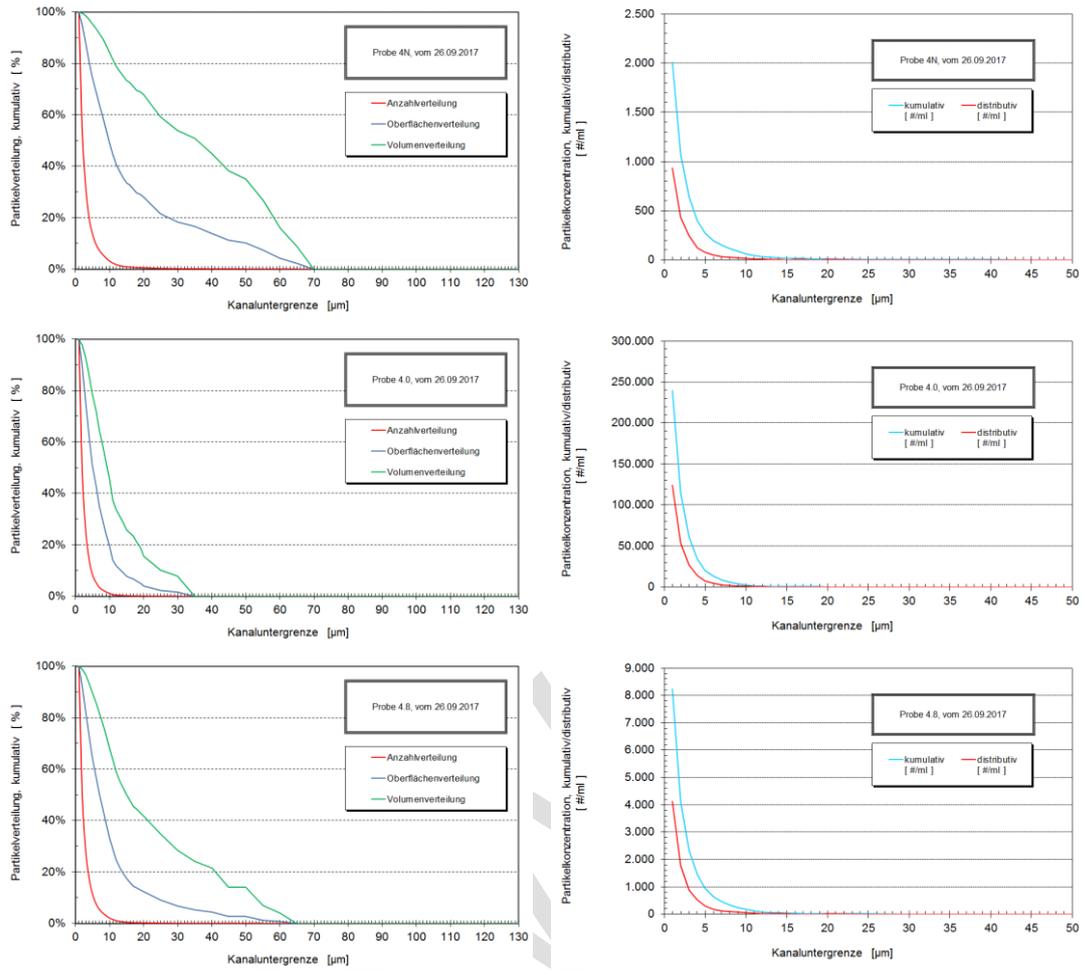


Abbildung 33: Partikelmessungen der Proben (Sep. 17) der Netzstation 4 (Gartenstraße)

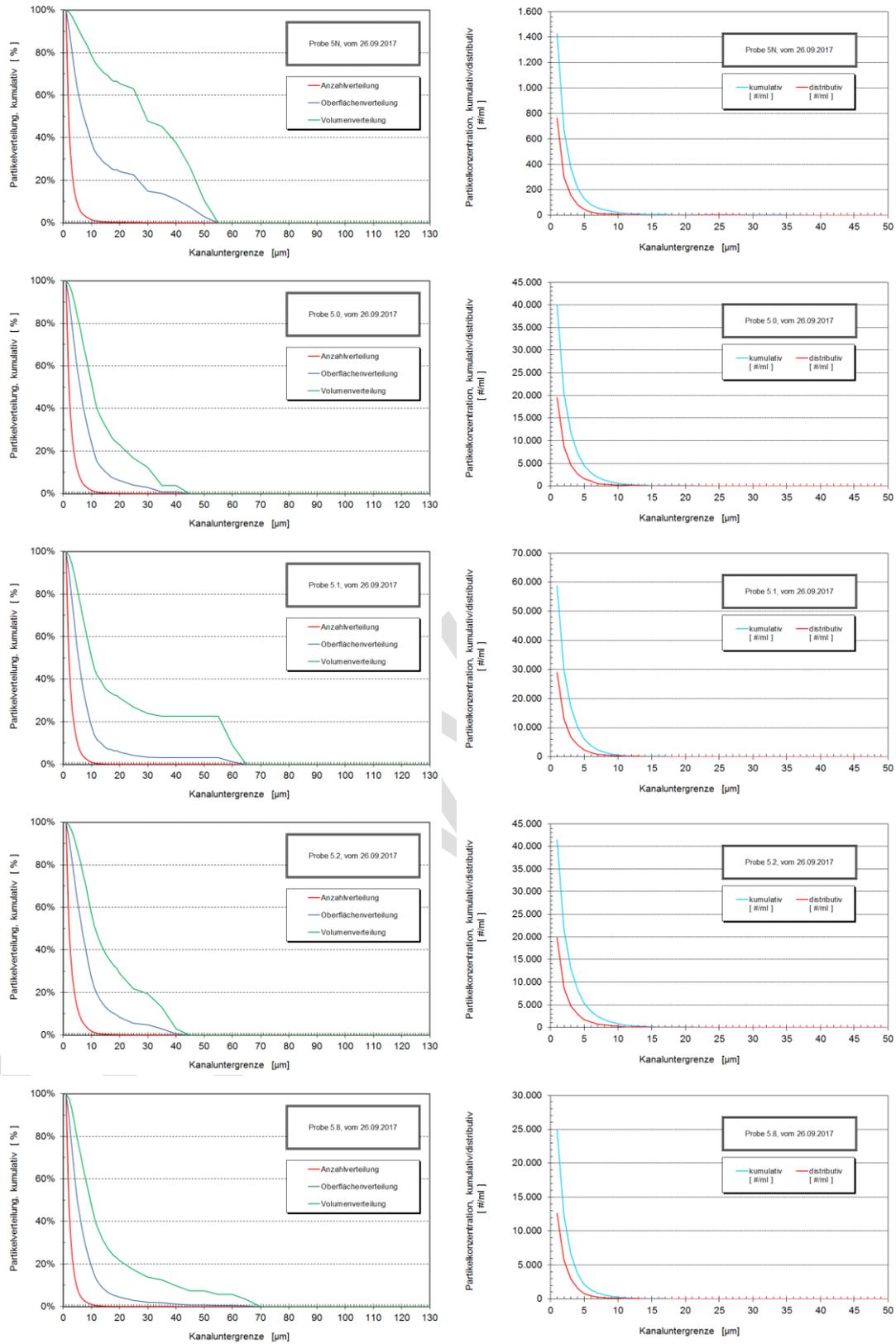


Abbildung 34: Partikelmessungen der Proben (Sep. 17) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

Die Ergebnisse der Partikel-Untersuchungen sind für die Beprobung im November 2017 in den folgenden Diagrammen dargestellt (Abbildung 35 bis Abbildung 39). Dabei zeigen die linken Diagramme jeweils die relative (prozentuale) Verteilung der Partikel hinsichtlich Anzahl, Oberfläche und Volumen; die rechten Diagramme zeigen jeweils die absoluten Partikelkonzentrationen, kumulativ und distributiv.

Die Anzahlverteilung (rote Kurve im linken Diagramm) stellt sich bei allen Proben nahezu gleich dar. Im Bereich der Kanaluntergrenzen oberhalb von 10 μm befinden sich weniger als 5 % der Partikel.

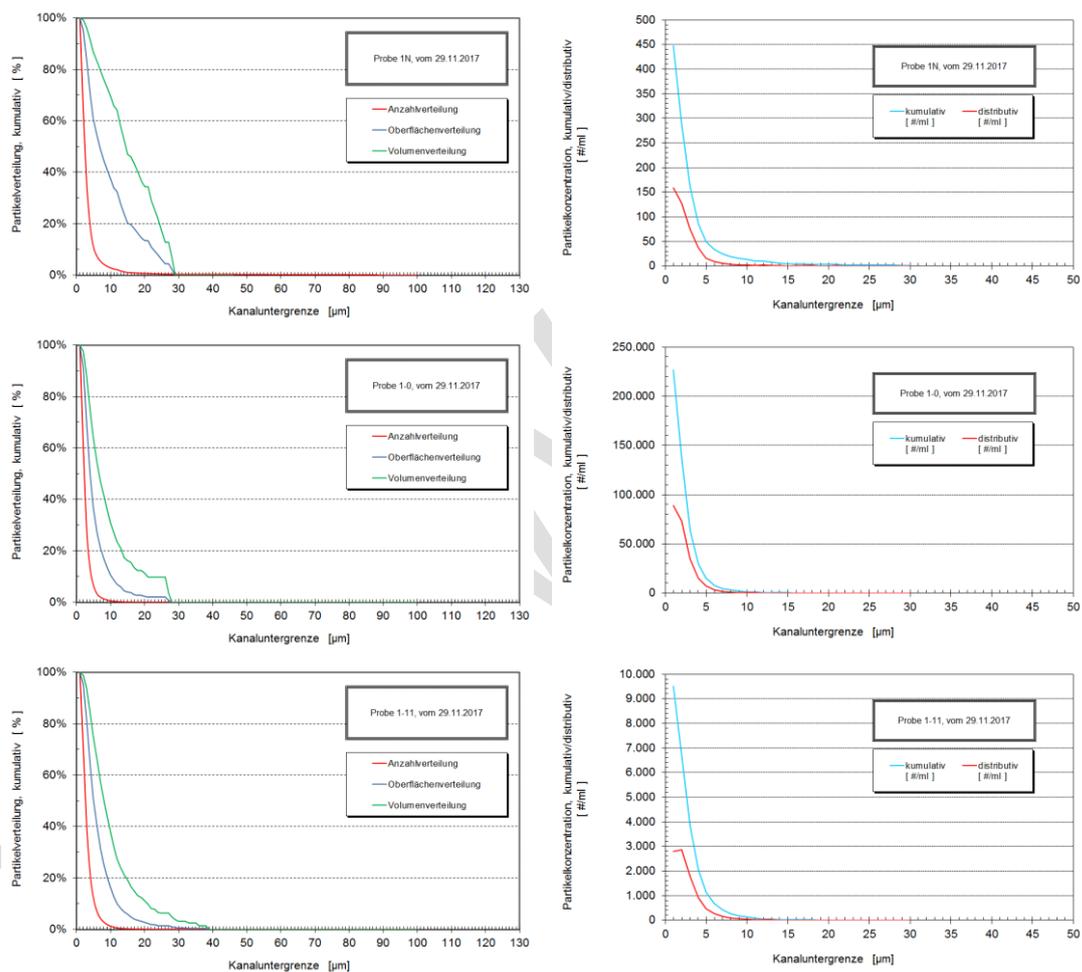


Abbildung 35: Partikelmessungen der Proben (Nov. 17) der Netzstation 1 (Landgraben)

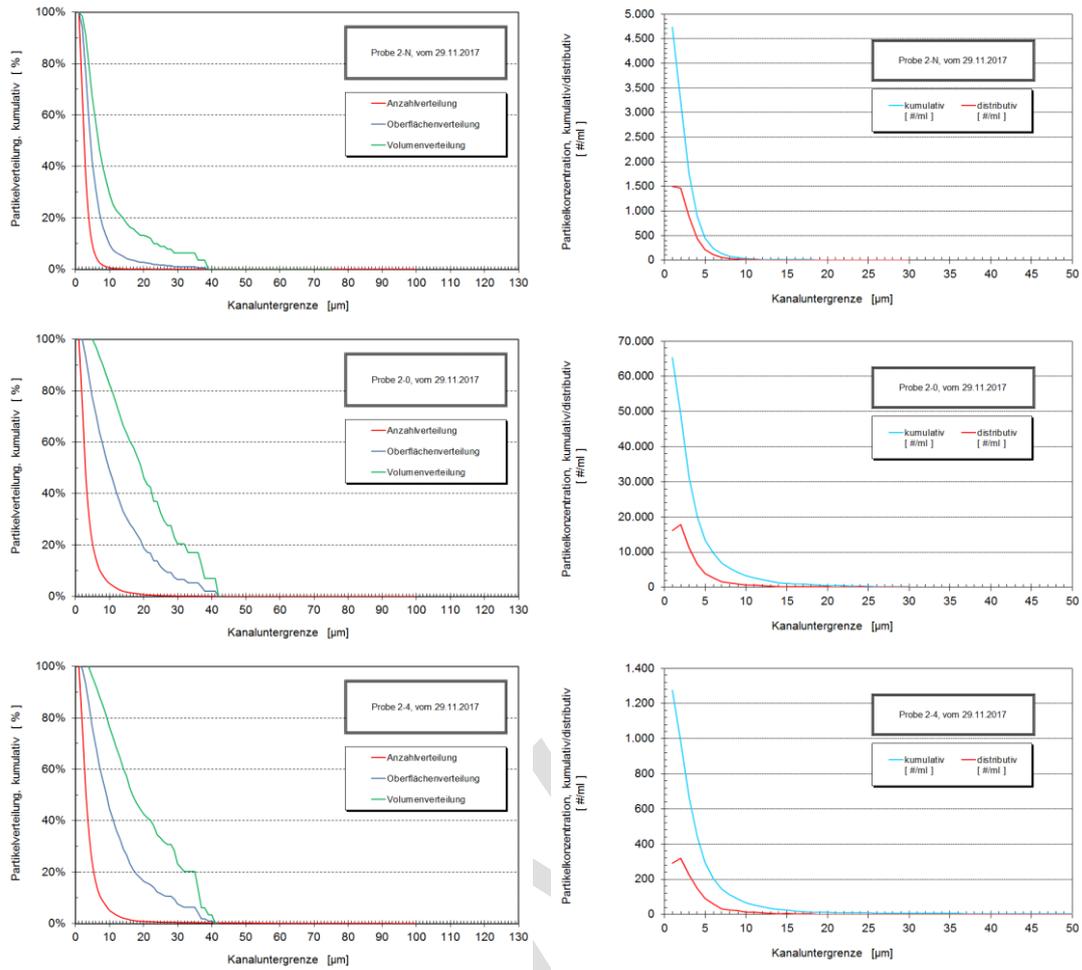


Abbildung 36: Partikelmessungen der Proben (Nov. 17) der Netzstation 2 (Friedrichstraße)

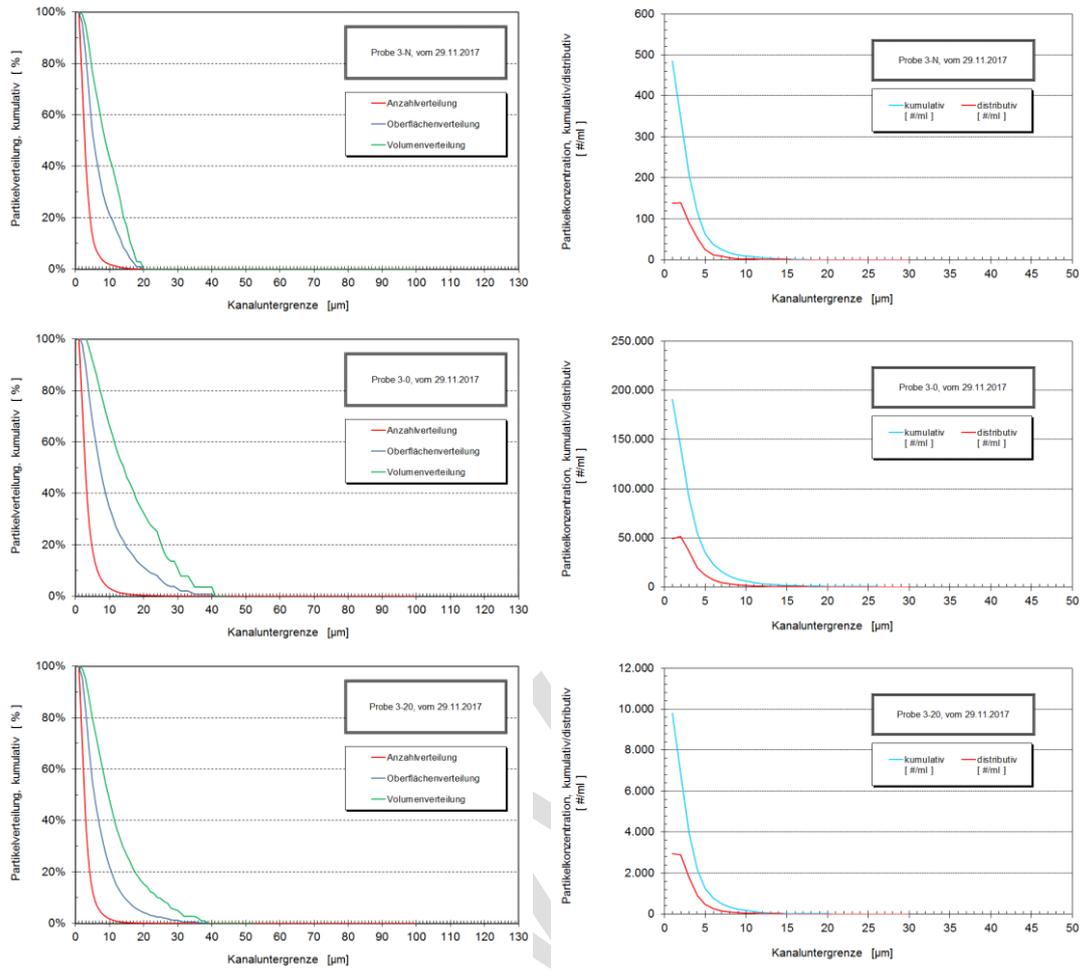


Abbildung 37: Partikelmessungen der Proben (Nov. 17) der Netzstation 3 (Römerstraße)

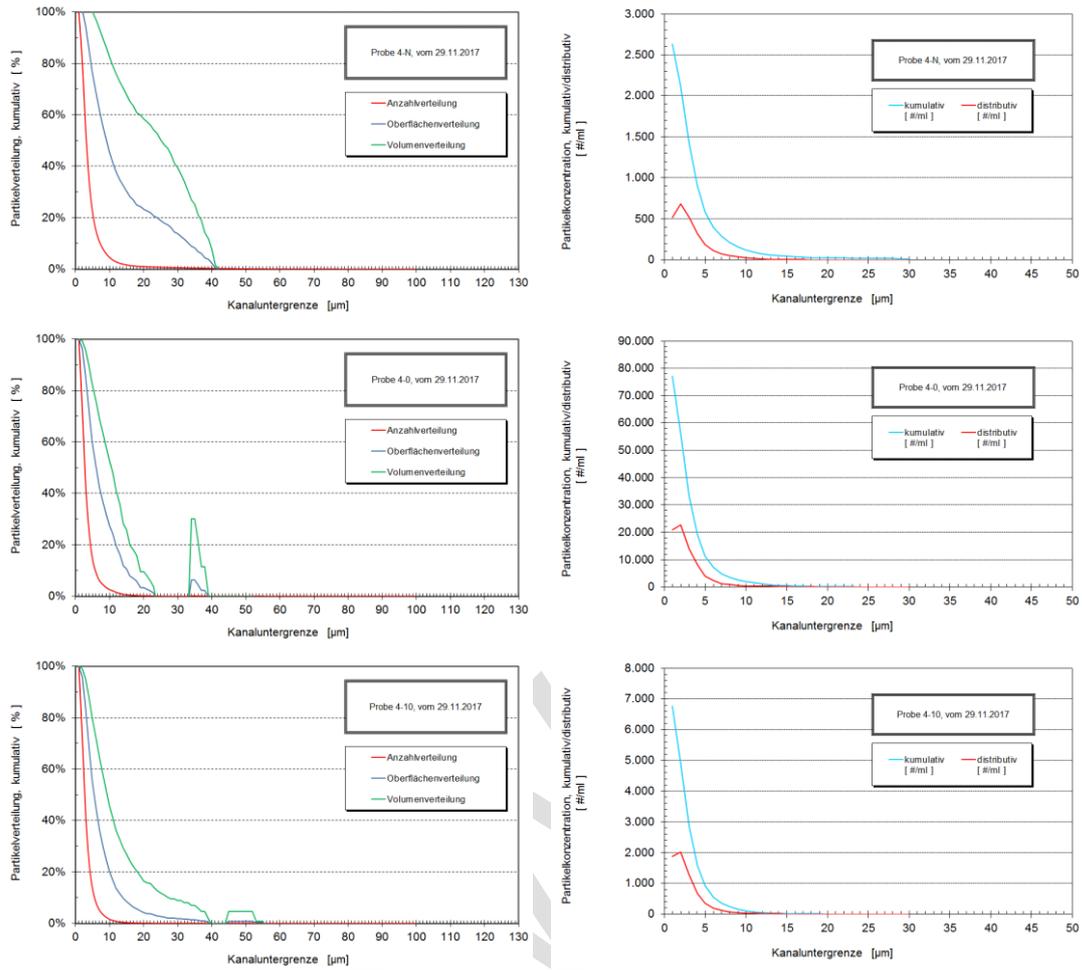


Abbildung 38: Partikelmessungen der Proben (Nov. 17) der Netzstation 4 (Gartenstraße)

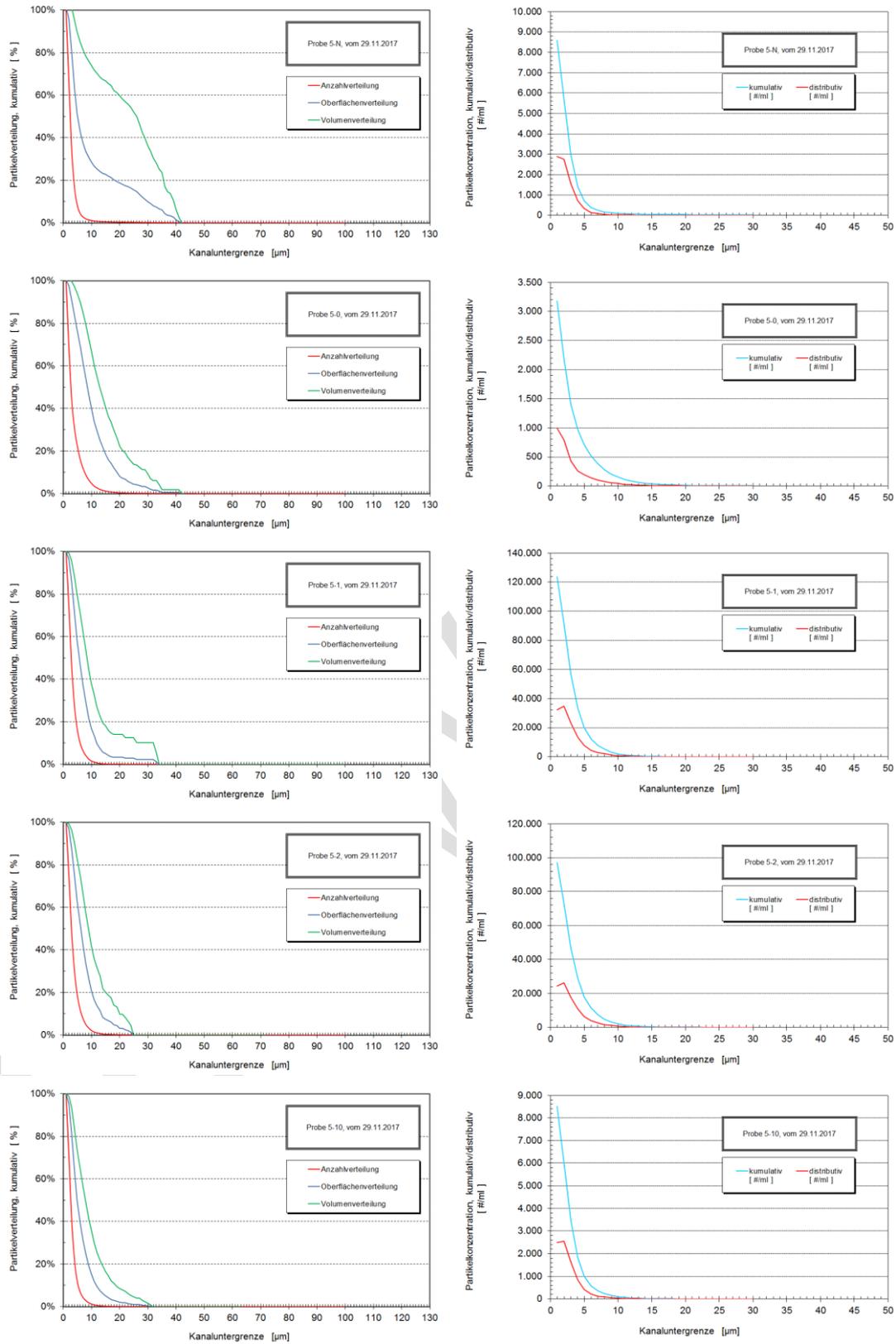


Abbildung 39: Partikelmessungen der Proben (Nov. 17) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

Die Ergebnisse der Partikel-Untersuchungen sind für die Beprobung im März 2018 in den folgenden Diagrammen dargestellt (Abbildung 40 bis Abbildung 44). Dabei zeigen die linken Diagramme jeweils die relative (prozentuale) Verteilung der Partikel hinsichtlich Anzahl, Oberfläche und Volumen; die rechten Diagramme zeigen jeweils die absoluten Partikelkonzentrationen, kumulativ und distributiv.

Die Anzahlverteilung (rote Kurve im linken Diagramm) stellt sich bei allen Proben nahezu gleich dar. Im Bereich der Kanaluntergrenzen oberhalb von 10 µm befinden sich weniger als 5 % der Partikel. Bei der Oberflächen- und Volumenverteilung sind dagegen durchaus Unterschiede feststellbar.

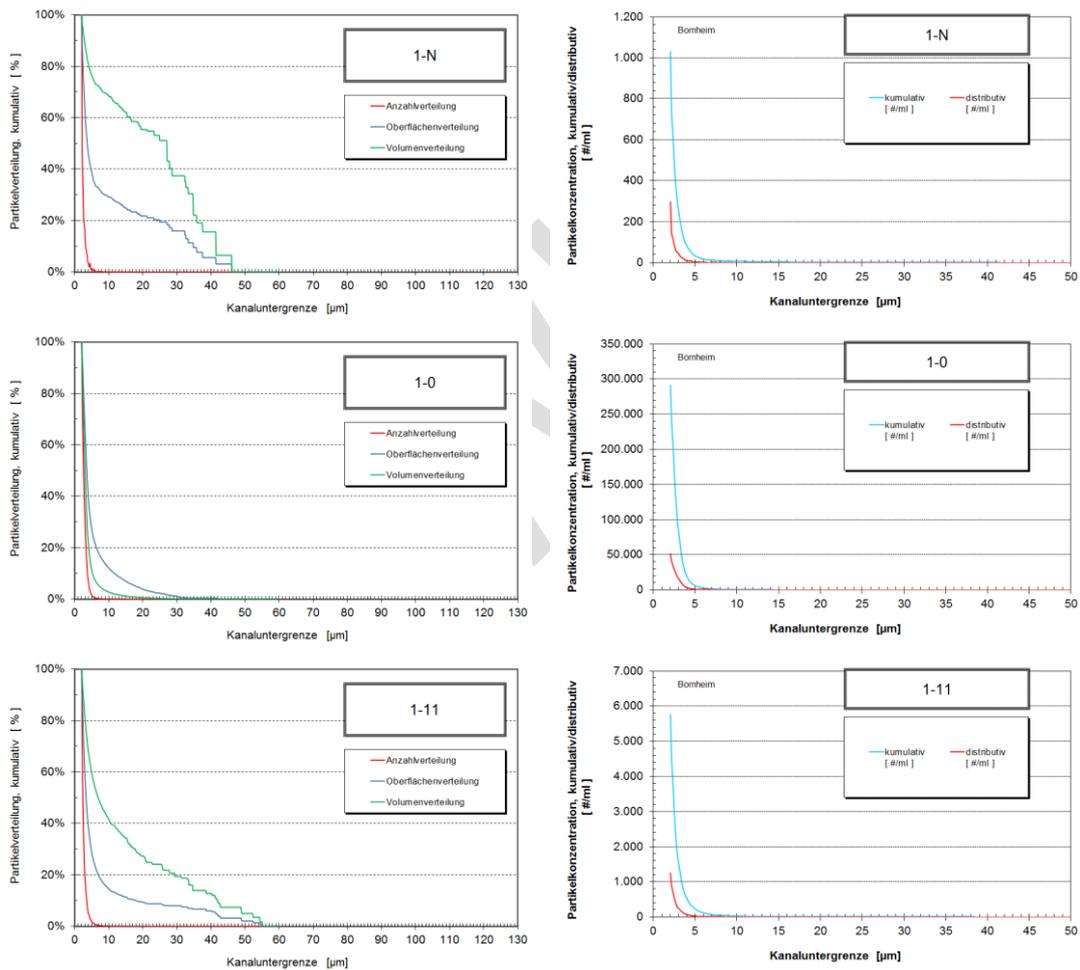


Abbildung 40: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 1 (Landgraben) vom März 2018

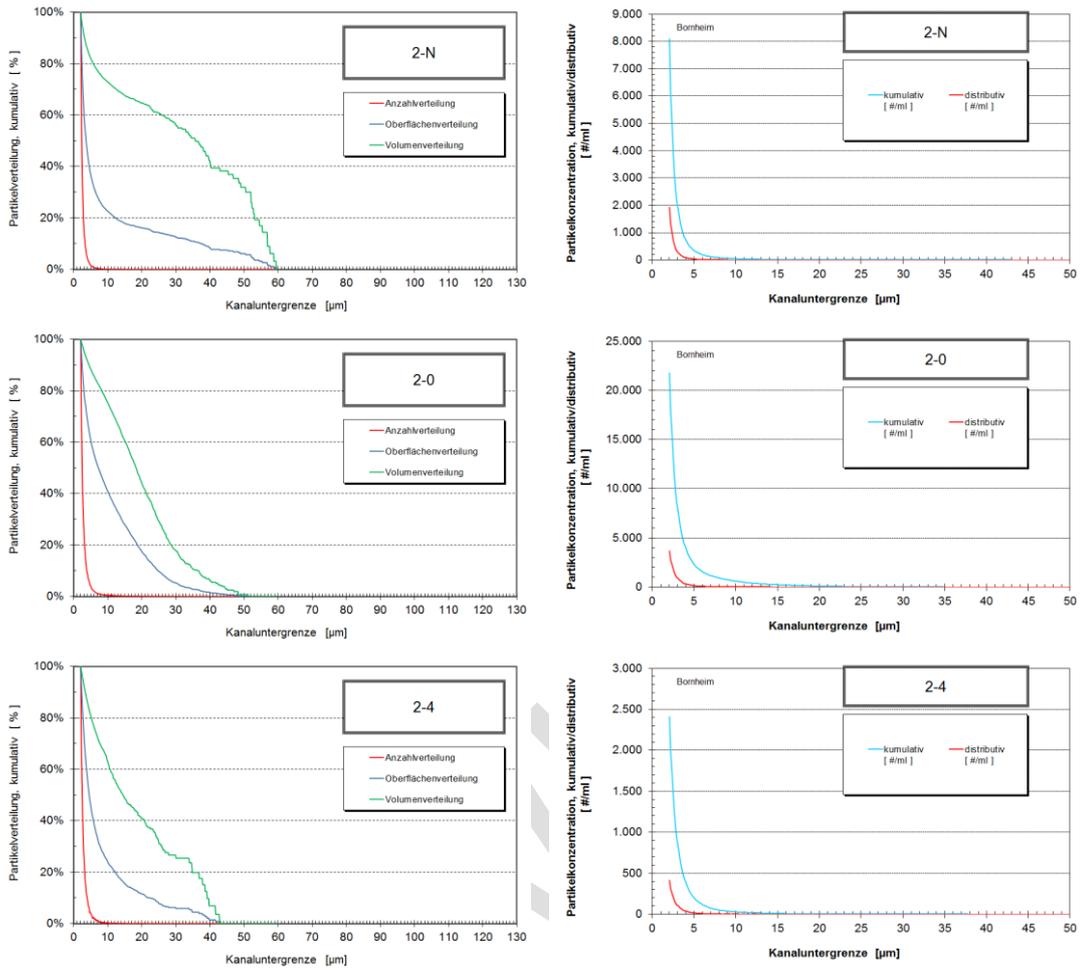


Abbildung 41: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 2 (Friedrichstraße) vom März 2018

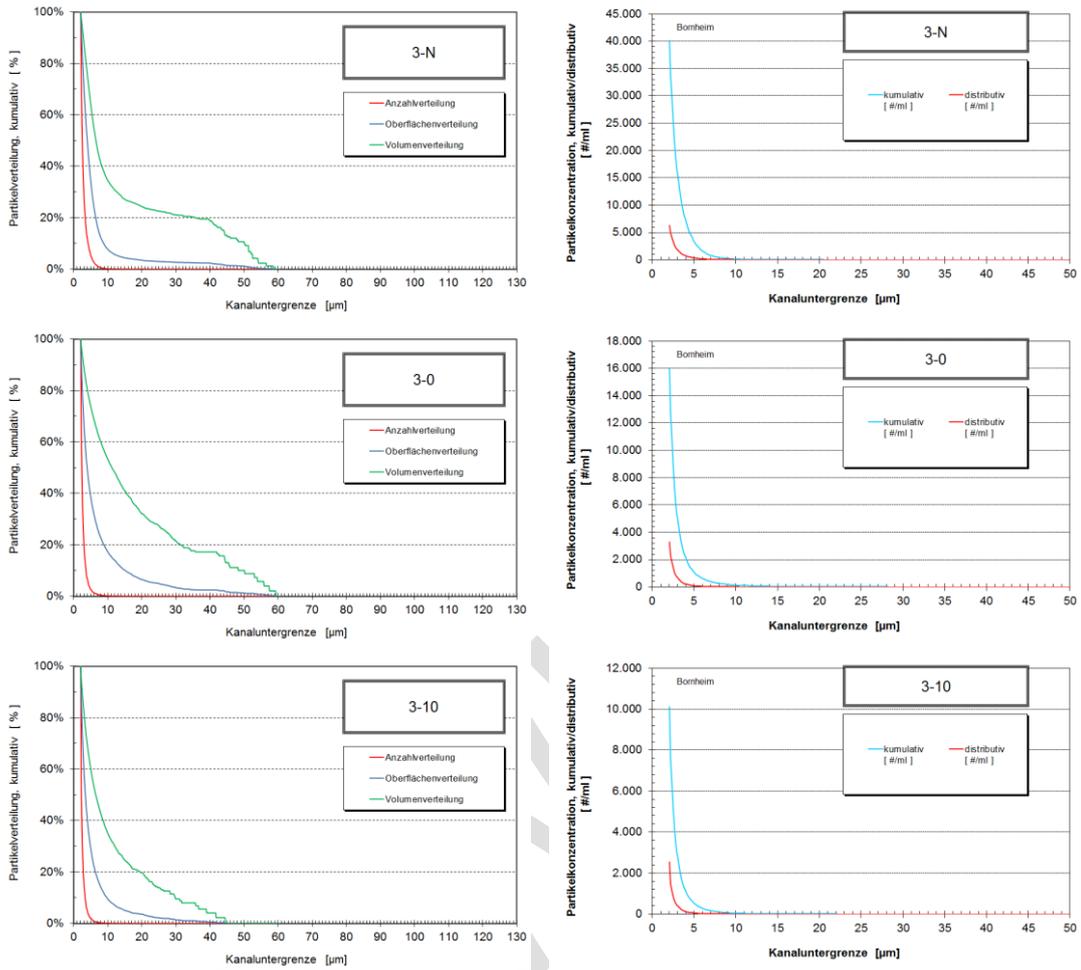


Abbildung 42: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 3 (Römerstraße) vom März 2018

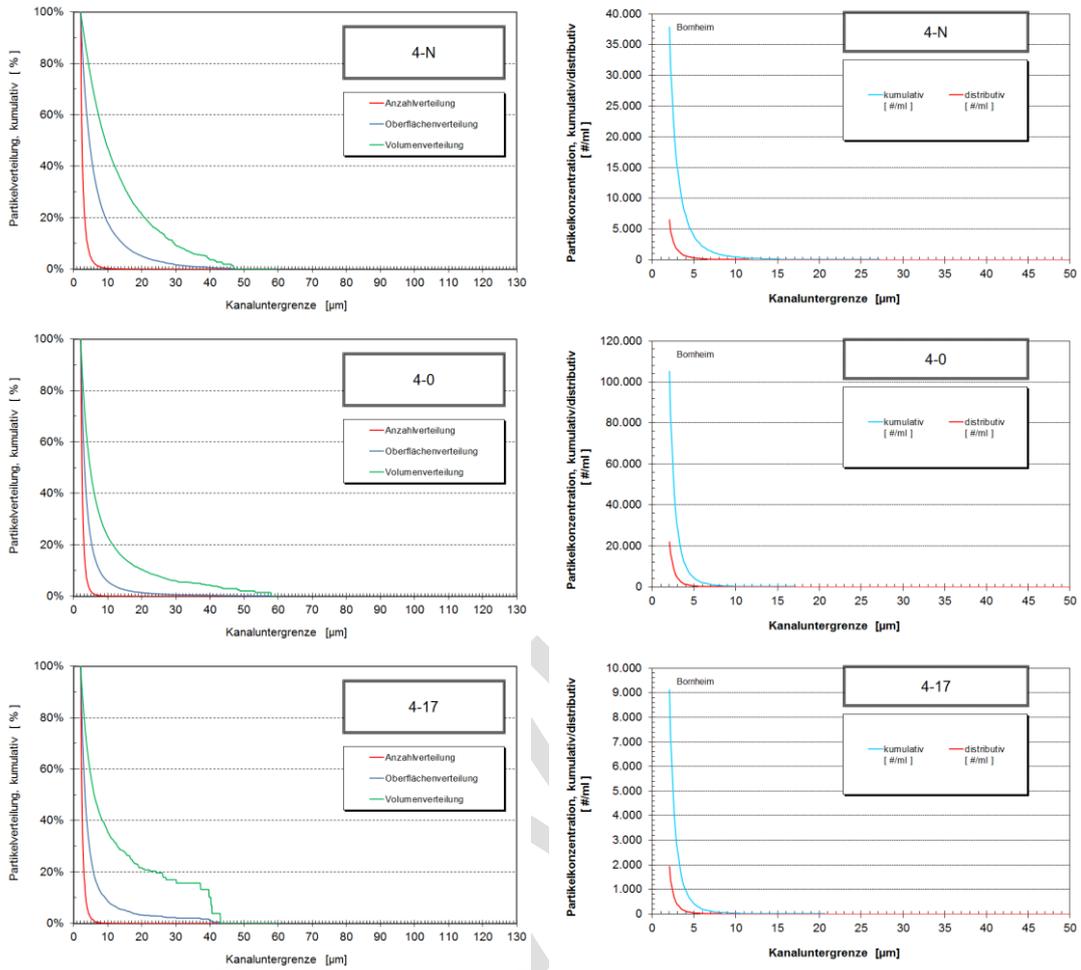


Abbildung 43: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 4 (Gartenstraße) vom März 2018

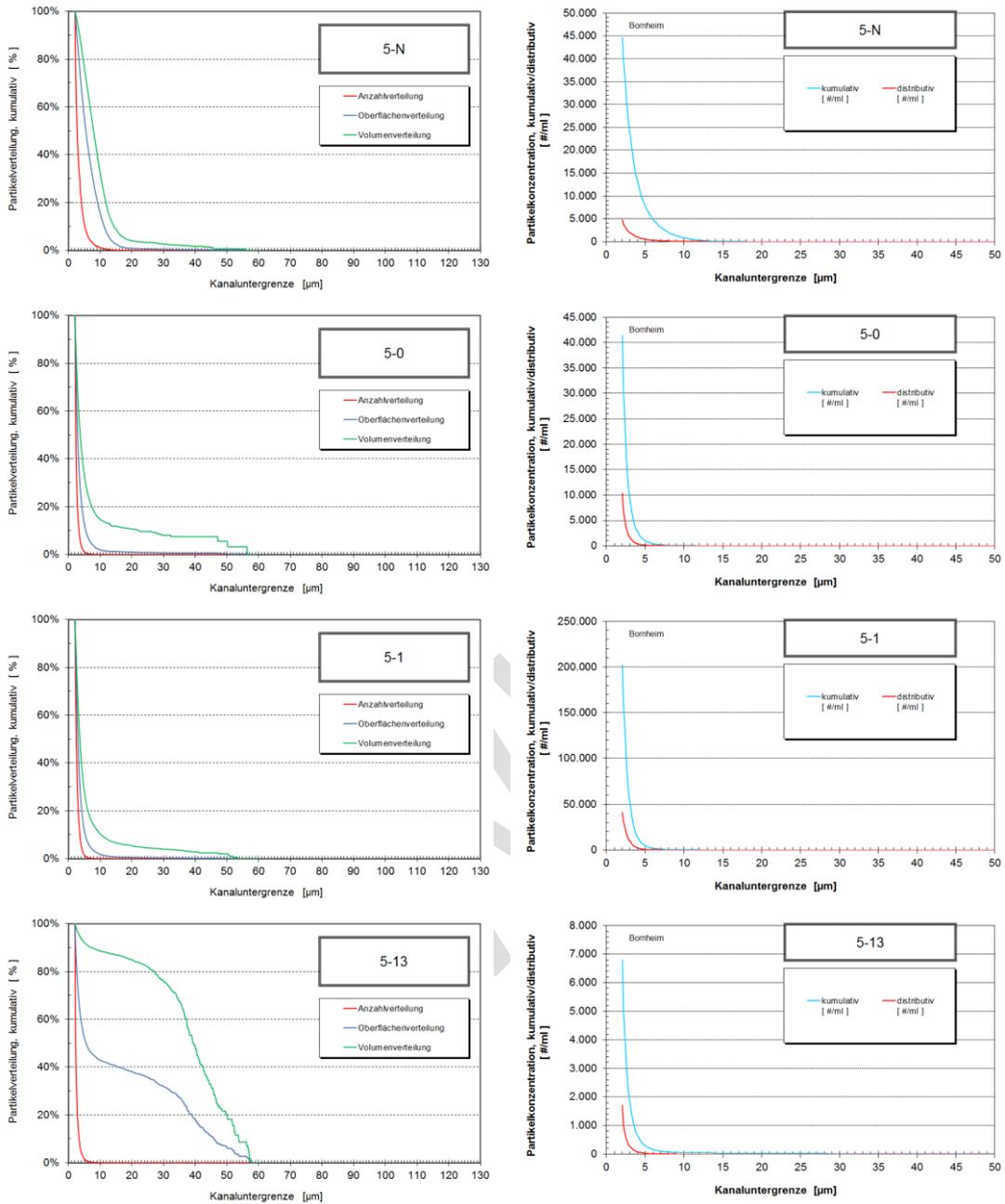


Abbildung 44: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 5 (Jodokusstraße) vom März 2018