

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

Abschlussbericht 2020

Gutachten zu den Projekten 2017/24254
und 2019/24830

Dezember 2020

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

Timo Jentsch
Telefon: 0208 40303-262
t.jentsch@iww-online.de

Auftraggeber

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 Dezember 2020

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

[IWWENTWURF Verteilungsnetz Bornheim Abschluss 2020.docx](#)

Geschäftsführung: Lothar Schüller
Technische Leitung: Dr. David Schwesig

Wissenschaftliches Direktorium
Prof. Dr. Torsten C. Schmidt (Sprecher), Prof. Dr. Rainer Meckenstock,
Prof. Dr. Stefan Panglisch, Prof. Dr. Andreas Hoffjan, 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

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 zum Zeitpunkt der Probenahme auch nicht erfasst werden konnten.

Weitere Netzbeprobungen – jeweils zeitverzögert nach Umstellung der Wassermischungsverhältnisse – wurden geplant und durchgeführt. Die nächste Beprobung 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 und bis Dezember 2019 beibehalten wurde. Diese erste Beprobung lag demnach zeitlich etwa drei Monate nach der Umstellung.

Die Beprobungen vom März 2018 und die Analysen und Messungen an diesen Proben ergaben (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 von da an eingestellten Mischungsverhältnisses von 60% WBV-Wasser zu 40 % WTV-Wasser wurde über einen längeren Zeitraum durch mehrere Beprobungen beobachtet, ohne dass weitere Wasserveränderungen vorgenommen wurden. Ziel dieser Beprobungen war es, die Entwicklung hinsichtlich möglicher Umbildungsprozesse an den Deckschichten an den Innenwandungen der Rohrleitungen im Kontakt mit dem Wasser im so eingestellten Mischungsverhältnis zu beobachten und zu erfassen. Weitere Beprobungen erfolgten daher nach der Beprobung im März 2018 noch im August 2018, im April 2019 und im Dezember 2019.

Danach ist festzustellen, dass bei Betrachtung der Partikelmessungen keine signifikanten Veränderungen auftraten. Im Normalbetrieb wurde an allen Probenahmestellen eine geringe Partikelkonzentration (< 10.000 Stück pro ml) festgestellt. Durch den Spülbetrieb wurde die Partikelkonzentration deutlich erhöht, die sich aber in der Regel nach kurzer Zeit (3 bis 6 Minuten Spüldauer) schon wieder verringerte. Bis zum Erreichen der ursprünglichen geringen Partikelfracht wurde allerdings oft eine Spüldauer von etwa 60 Minuten benötigt.

Der Vergleich der gelösten zu den partikulär vorhandenen Analysenwerten lieferte bei der Betrachtung der vier Beprobungen – ohne Veränderung des Mischungsverhältnisses der Wasserzusammensetzung – eine Auffälligkeit. Bei der Beprobung im Dezember 2019 konnte ein leichter Anstieg im partikulären Anteil von Calcium und Silizium festgestellt werden. Dies kann als ein Indiz dafür gedeutet werden, dass nach der nunmehr zweijährigen Betriebsweise mit Wasser des gleichen Mischungsverhältnisses (40% WTV) die Deckschichtbestandteile an den Rohrwandungen zum Teil abgelöst und als partikuläre Fracht ins Wasser gelangen konnten.

Es sollte beobachtet werden, ob nach der letzten Umstellung des Mischungsverhältnisses auf 50% WTV weitere Deckschichtbestandteile abgelöst werden können. Die anschließende Netz-Beprobung wurde daher zeitnah durchgeführt, im Juli 2020, also wenige Monate nach der letzten Wasserumstellung.

Die ermittelten maximalen Eisenkonzentrationen (in partikulärer Form vorliegend) in den untersuchten, maximal getrübbten Spülwasserproben zeigen die Entwicklung über den gesamten Untersuchungszeitraum (siehe nachfolgende Abbildung).

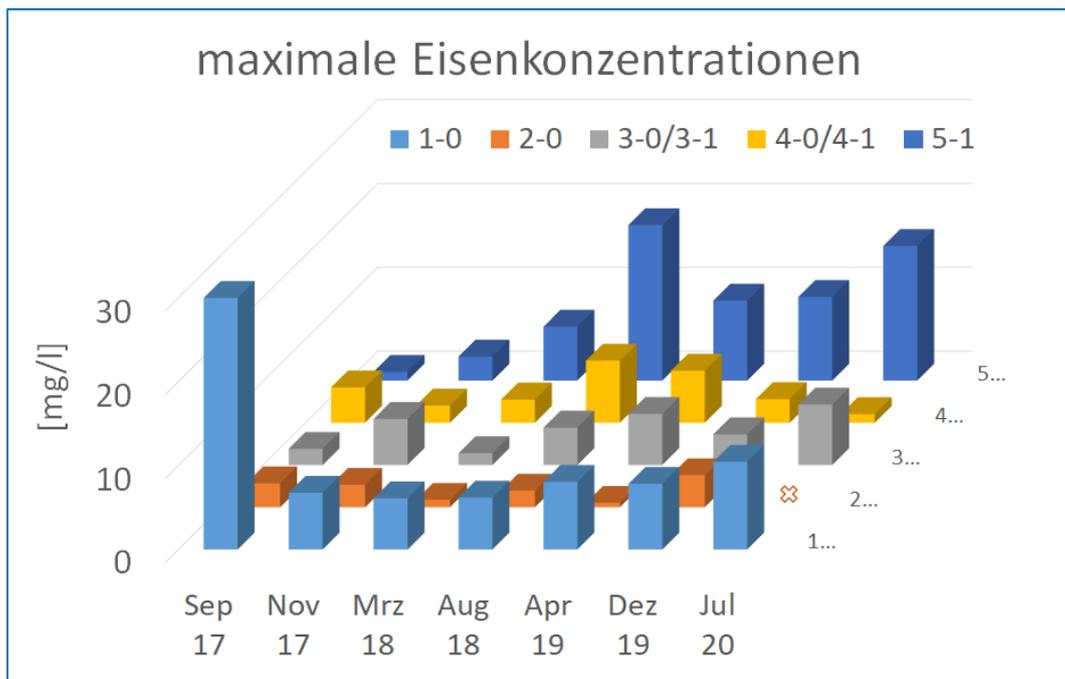


Abbildung (Zusammenfassung): Entwicklung der maximalen Eisenkonzentrationen

Die Werte der Eisenkonzentrationen zeigen keine einheitliche Entwicklung. Ein zunehmender Trend bei den Probenahmestellen 1 und 3 und 5 ist jedoch erkennbar, so dass eine weitere Beobachtung angeraten erscheint.

Empfehlungen

Im laufenden Umstellungsprozess der Mischungsverhältnisse der Wässer empfahl es sich, Netz-Beprobungen durchzuführen, um die Entwicklung beobachten zu können. Bei dem jetzt letztmalig umgestellten Mischungsverhältnis (50% WBV zu 50% WTV) sollte das Langzeitverhalten hinsichtlich der Deckschichtstabilität und einer möglichen Erhöhung des Rostwasserrisikos durch begünstigte Korrosionsprozesse im Fokus stehen. Dabei sollte die Anzahl der Beprobungen auf längere Intervalle angepasst werden. Ob sich eine Erhöhung des Rostwasserrisikos nach einem längeren Betrieb einstellt, lässt sich durch begleitende Analysen des Wassers überprüfen. Ein fortgeführtes Monitoring der Wasserbeschaffenheit im Netz ist deshalb empfehlenswert. Ein dreijähriger Untersuchungszeitraum (2021 bis 2023), innerhalb dessen Verlauf jeweils im Frühjahr und im Herbst eine Netzbeprobung nach dem dargestellten bewährten Verfahren durchgeführt werden sollte, wird als sinnvoll angesehen. Die Ergebnisse aus diesen sechs Beprobungen (aus den Jahren 2021, 2022 und 2023), zusammen mit den bereits vorliegenden Ergebnissen (aus den Jahren 2017 bis 2020), können eine ausreichende Datenmenge darstellen, um eine prognostische Beurteilung hinsichtlich der Langzeitauswirkungen der Wasserumstellung zu ermöglichen.

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

Mülheim an der Ruhr, den 30.12.2020

i. V.

i. A.

Dr. D. Schwesig

Dr. A. Becker
Bereichsleitung Wassernetze

Dr. U. Ruhrberg
Korrosionsschutz

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Hintergrund	6
1.2	Auftrag und Projektdurchführung	7
2	Entwicklung des Untersuchungskonzeptes (Detailplanung) und Auswahl der Probenahmestellen	8
3	Datenerhebung und Datenanalyse – Ermittlung der Situation jeweils nach Änderung der Wasserbeschaffenheit	11
3.1	Probenahmen von Wasserproben	11
3.1.1	Trinkwasser-Proben	12
3.1.2	Netzbeprobungen	13
3.2	Untersuchungsergebnisse	15
3.2.1	Proben aus dem Verteilungsnetz, visuelle Beurteilung und Trübung	15
3.2.1.1	Proben von der Beprobung im September 2017	15
3.2.1.2	Proben von der Beprobung im November 2017	19
3.2.1.3	Proben von der Beprobung im März 2018	22
3.2.1.4	Proben von der Beprobung im August 2018	27
3.2.1.5	Proben von der Beprobung im April 2019	31
3.2.1.6	Proben von der Beprobung im Dezember 2019	35
3.2.1.7	Proben von der Beprobung im Juli 2020	38
3.2.2	Chemische Analyse der Wasserproben	41
3.2.3	Untersuchungen der Partikelfracht	60
3.2.3.1	Ermittlung des Trübstoff-/Feststoff- und Schwebstoff-Anteils in den Wasserproben	60
3.2.3.2	Ermittlung der Partikelgröße	61
4	Schlussfolgerungen und Ausblick	73
5	Anhang	75
5.1	<u>Anhang 1</u> : Einzel-Diagramme der Partikelmessungen (2017 bis 2020)	75

5.2	<u>Anhang 2</u> : Schadensanalyse von Wasserzählergehäusen aus Messing mit sichtbaren Korrosionserscheinungen an der Außenoberfläche (2018).....	110
5.2.1	Hintergrund der Untersuchung und Proben	110
5.2.2	Präparation und Untersuchung.....	111
5.2.3	Einfluss der Wasserbeschaffenheit.....	115
5.2.4	Bewertung der Untersuchungsergebnisse	117

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 rheinnahe 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 weicheeren 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 im Jahr 2020 erreicht werden sollte.

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 sollten 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. Dies beinhaltete die Begleitung der Wasserumstellung der Stufe 1 bis zum Mischungsverhältnis 60 % WBV zu 40 % WTV bis Ende des Jahres 2018.

Mit Vorstellung der Projektergebnisse an der Betriebsausschuss-Sitzung am 19.09.2018 wurde die Fortführung der weiteren Wasserumstellung (Stufe 2) bis auf das Mischungsverhältnis 50 % WBV zu 50 % WTV vereinbart sowie die Begleitung der weiteren Umstellung durch weitere Netzbeprobungen und Analysen durch IWW – innerhalb dieses Folgeprojektes (gemäß der ursprünglichen Angebotsposition 3A „Minimal-Umfang“) – beauftragt.

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 sollte ggf. eine Beschränkung auf die sich dann abzeichnenden vier charakteristischen Probenahmestellen vorgenommen werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die fünf Stellen mit ihren jeweils charakteristischen Unterschieden das Gesamtbild am besten darstellen.

An den folgenden fünf Stationen im Netz wurden die GG-Rohrleitungen gespült und beprobt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Stationen der zunächst festgelegten 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.

Die geplanten Wassermischungsverhältnisse mit den dazugehörigen Umstellungszeitpunkten und möglichen Probenahmeterminen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Änderungen im Mischungsverhältnis und Beprobungen durch IWW

Mischungsverhältnis WBV : WTV	Umstellung	Beprobung und Analyse	
		geplant (lt. Angebot)	durchgeführt
75 : 25	Bis Sept. 2017	1	1
65 : 35	Sept. 2017 bis Dez. 2017	3	1
60 : 40	Jan. 2018 bis Dez. 2019	5	4
50 : 50	Ab Jan. 2020	3 (Langzeitverhalten)	1

Das Wasserrohrnetz von Bornheim ist in Abbildung 1 dargestellt.

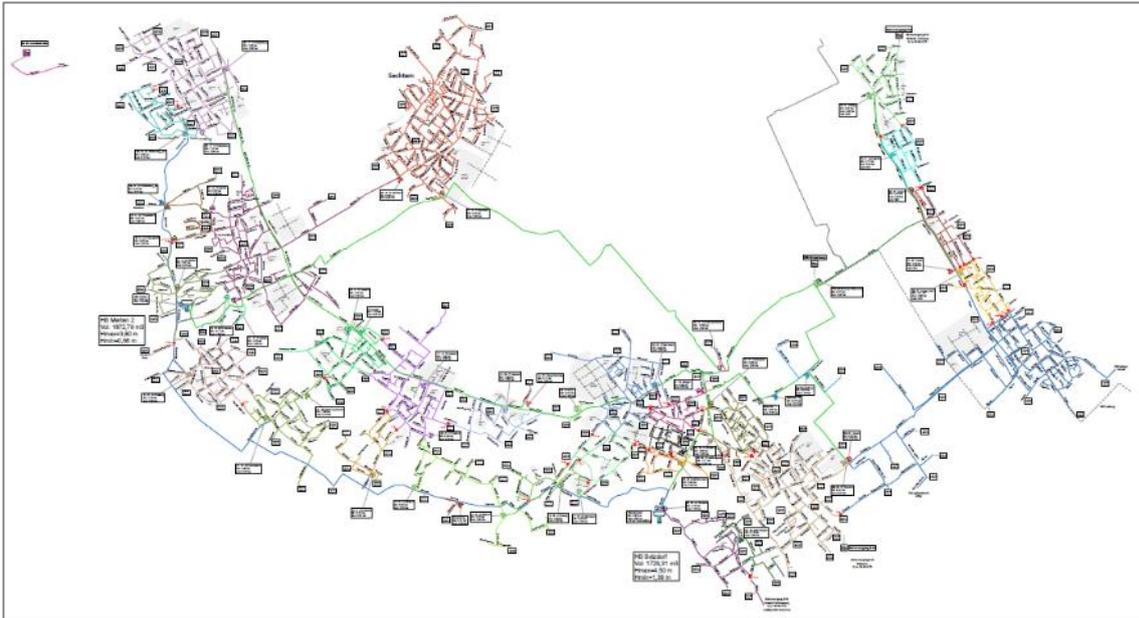


Abbildung 1: Übersichtsplan Wasserrohrnetz Bornheim

Ab 2019 (Umstellungsstufe 2) wurden die Probenahmestellen, an denen die Verrohrungen in der Zwischenzeit gegen Neuverrohrungen aus PE ausgetauscht worden waren, durch andere ersetzt. Dies waren:

- Römerstraße 69/70 (Hydrant H 150) – direkt neben der Zonentrennung – anstelle von Römerstraße 1A
Die Zonentrennung wurde vor der Probenahme geschlossen, damit das beprobte Wasser ausschließlich aus der Zone kam, in der auch die früher beprobte Probenahmestelle (Römerstraße 1A, Kindergarten) lag.
- Oderstraße, Ecke Grüner Weg anstelle von Gartenstraße 17

Ab Juli 2020 konnte die ursprüngliche Probenahmestelle 2 (Friedrichstr. 3a, Roisdorf) nicht beprobt werden, da sie rückgebaut worden war. Die verbleibenden 4 Probenahmestellen geben aber dennoch ein charakteristisches Abbild der Situation im Netz wieder, zumal ursprünglich auch nur 4 Stellen eingeplant worden waren.

Die Gesamtheit der Beprobungsstellen im Zusammenhang mit dem bisherigen Untersuchungszeitraum ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Stationen der insgesamt begleiteten Netzspülungen und -beprobungen

Beprobung	Sep 17	Nov 17	Mrz 18	Aug 18	Apr 19	Dez 19	Jul 20
Netz-Station							
1 Landgraben 2, Bornheim	X	X	X	X	X	X	X
2 Friedrichstr. 3a, Roisdorf	X	X	X	X	X	X	
3 Römerstr. 1A, Widdig Römertsr. 69/70, Widdig	X	X	X	X		X	X
4 Gartenstr. 17, Hersel Oderstr./Ecke Grüner Weg, Hersel	X	X	X	X		X	X
5 Jodokusstr. 5, Walberberg	X	X	X	X	X	X	X

Die zeitliche Darstellung der Wasserumstellungen und der bisher ausgeführten Probenahmezeitpunkte ist in Abbildung 2 zu sehen.

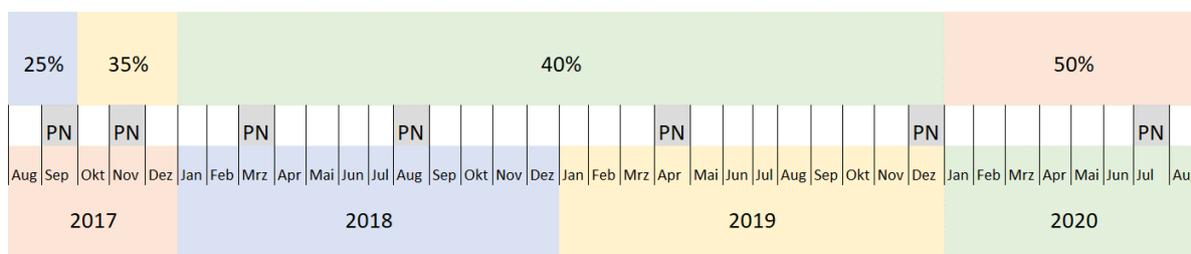


Abbildung 2: Zeitschiene mit Anteil an WTV-Wasser und Probenahmen (PN)

3 Datenerhebung und Datenanalyse – Ermittlung der Situation jeweils 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

Bis Ende 2018 fanden 4 Beprobungstermine statt.

Am 25. und 26.09.2017 fand ein erster Ortstermin zur Netzspülung mit gleichzeitiger Probenahme vor Ort statt, um den Ausgangs-Status zu erfassen. 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.

Eine vierte Spül- und Beprobungsmaßnahme durch IWW (Frau Dr. Ruhrberg und Herr Jentzsch) fand am 27. und 28. August 2018 statt, wobei nun keine erneute Wasserumstellung im Vorfeld erfolgte. Vielmehr sollte die Entwicklung im Netz unter gleichbleibendem Wassermischungsverhältnis nach der inzwischen vergangenen Betriebszeit beobachtet werden.

Von Anfang 2019 bis Ende 2020 fanden 3 Beprobungstermine statt.

Am 08. und 09. April 2019 fand ein Ortstermin zur Netzspülung mit gleichzeitiger Probenahme vor Ort statt.

Ebenso fand am 03. und 04. Dezember 2019 ein Ortstermin statt, zur Netzspülung mit gleichzeitiger Probenahme vor Ort – an denselben Probenahmestellen. Diese Beprobung hat am Ende der ersten Umstellungsstufe (Mischungsverhältnis 60:40) stattgefunden, und zwar unmittelbar vor Beginn der zweiten Umstellungsstufe (Mischungsverhältnis 50:50).

Am 28. und 29. Juli 2020 fand schließlich wieder ein Ortstermin statt, zur Netzspülung mit gleichzeitiger Probenahme vor Ort – an denselben Probenahmestellen. Dies war die erste (und bisher einzige) Beprobung des Systems nach Umstellung auf die zweite Stufe.

3.1.1 Trinkwasser-Proben

Im Wasserwerk Eichenkamp wurde bei jedem Probenahmetermin 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 im Wasserwerk ist in Abbildung 3 dargestellt.



Abbildung 3: 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 4 gezeigt: Standrohr – ggf. Probenahmehahn – Schauglas – C-Schlauch – Durchflussmessgerät/Wasserzähler – C-Schlauch – Ausfluss-Standhilfe (Hydra-Box).

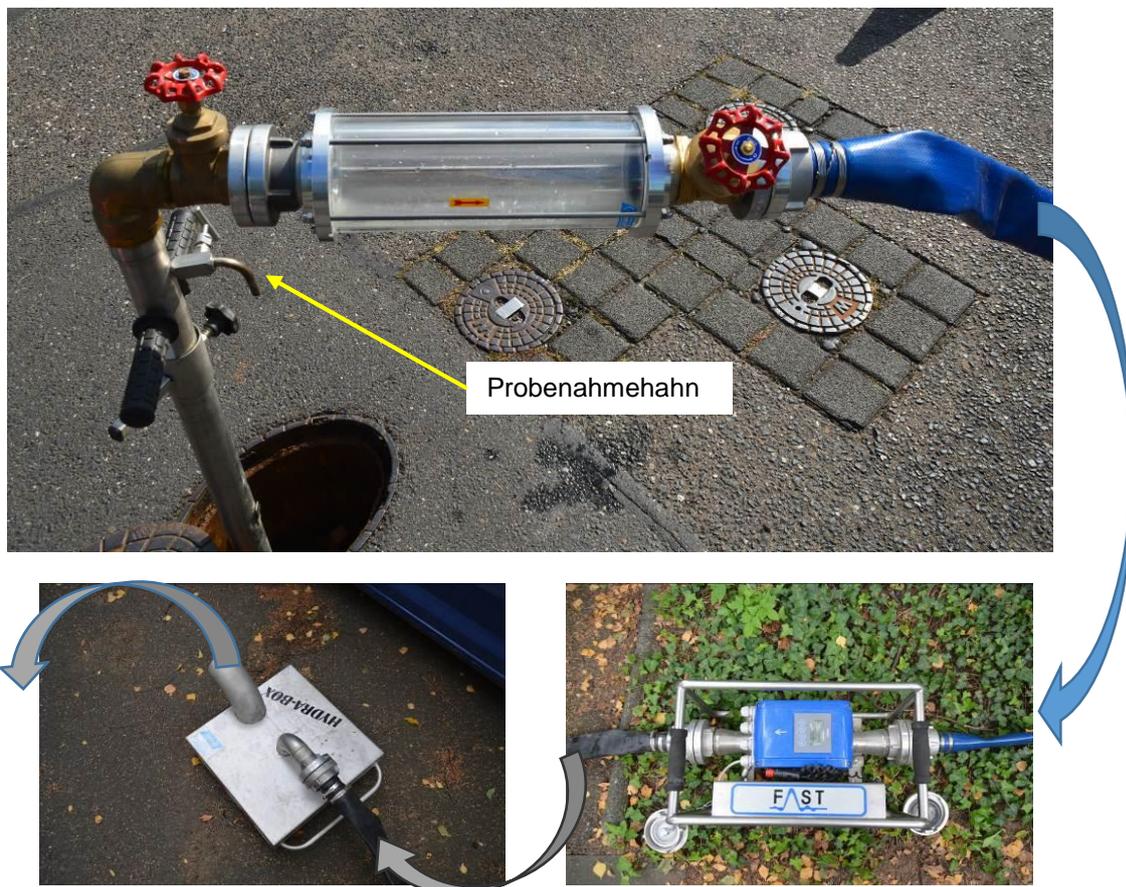


Abbildung 4: Netzspülung und Netzbeprobung mittels Standrohr

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 m³/h eingeregelt; bei Spülbetrieb wurde das Ventil vollständig geöffnet, so dass Fließgeschwindigkeiten von 38 bis 48 m³/h ermittelt werden konnten.

An den folgenden fünf Stationen im Netz¹ wurden die GG-Rohrleitungen gespült und beprobt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Stationen der Netzspülungen und -beprobungen

Nr.	Netz-Station	Rohr-Dimension	Besonderheit
1	<u>Bornheim:</u> Landgraben 2	DN 100	keine
2	<u>Roisdorf:</u> Friedrichstr. 3a	DN 100	Endstrang vor Schule
3	<u>Widdig:</u> Römerstr. 1a (bis 2018) Römerstr. 69/70 (ab 2019)	DN100 DN 150	Strangende vor Kindergarten Neben Zonentrennung
4	<u>Hersel:</u> Gartenstr. 17 (bis 2018) Oderstr., Ecke Grüner Weg (ab 2019)	DN 100 DN 100	Pendelzone, geringer Wasseraustausch
5	<u>Walberberg:</u> Jodokusstr. 5	DN 100	Neben Pferdeweide

¹ Die Netz-Stationen werden im folgenden Berichtstext auch Probenahmestellen genannt, abgekürzt PN-Stellen.

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 photographisch dokumentiert (Abbildung 5 bis Abbildung 9). 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 5). 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 5: Netzbeobachtung Landgraben, Sep. 17

Am Standort *Friedrichstr. 3a* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 6), 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 6: Netzbeprobung Friedrichstraße, Sep. 17

Am Standort *Römerstr. 1a* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich ebenfalls nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 7), 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 7: Netzbeprobung Römerstraße, Sep. 17

Am Standort *Gartenstr. 17* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich nur in den ersten beiden Spülproben Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 8), 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 8: Netzbeprobung Gartenstraße, Sep. 17

Am Standort *Jodokusstr. 5* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich keine Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 9), 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 9: 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 5 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 5: 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 6 aufgeführt (wobei die Trübungsmessungen der Probenahmen 4 und 5 im Labor durchgeführt worden waren).

Tabelle 6: 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 fotografisch dokumentiert (Abbildung 10 bis Abbildung 14).

Am Standort *Landgraben 2* war wieder in den ersten 3 Spülproben deutlich Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 10). 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 10: Netzbeobachtung Landgraben, Nov. 17

Am Standort *Friedrichstr. 3a* war auch wieder nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 11). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 2-N (Normalbetrieb), 2-0 (maximale Trübung) und 2-4 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 11: Netzbeobachtung Friedrichstraße, Nov. 17

Am Standort *Römerstr. 1a* war ebenfalls wieder nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 12). Der Hydrant befindet sich in einer geografischen 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 12: Netzbeprobung Römerstraße, Nov. 17

Am Standort *Gartenstr. 17* war nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 13). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (maximale Trübung) und 4-10 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 13: Netzbeprobung Gartenstraße, Nov. 17

Am Standort *Jodokusstr. 5* war augenscheinlich sichtbare Färbung/Trübung in der zweiten und dritten Probe nachzuweisen (Abbildung 14), 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 14: 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 7 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 7: 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 8 aufgeführt (wobei die Trübungsmessungen der Probenahmen 4 und 5 im Labor durchgeführt worden waren).

Tabelle 8: 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 15 bis Abbildung 19).

Am Standort *Landgraben 2* war in den ersten beiden Spülproben deutlich Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 15). 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 15: Netzbeprobung Landgraben, Mrz. 18

Am Standort *Friedrichstr. 3a* war zunächst der Sumpf, der in der Leitung stand, als stark gefärbte und getrübe Probe aufgefangen worden und anschließend verworfen worden (in Abbildung 16 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 16). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 2-N (Normalbetrieb), 2-0 (maximale Trübung) und 2-4 (nach Spülung) ausgewählt.

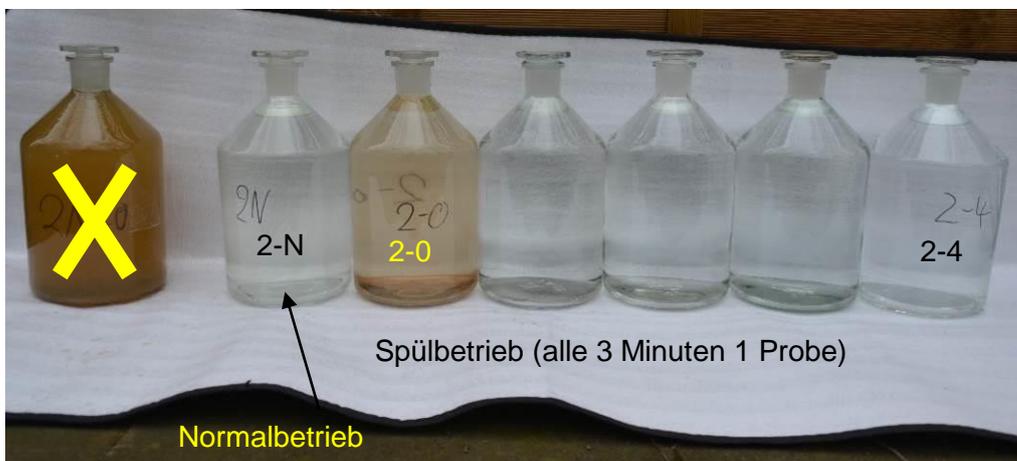


Abbildung 16: Netzbeprobung Friedrichstraße, Mrz. 18

Am Standort *Römerstr. 1a* war ebenfalls wieder nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 17). Der Hydrant befindet sich in einer geografischen 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 17: Netzbeprobung Römerstraße, Mrz. 18

Am Standort *Gartenstr. 17* war nur in den ersten beiden Spülproben Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 18). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (maximale Trübung) und 4-17 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 18: Netzbeprobung Gartenstraße, Mrz. 18

Am Standort *Jodokusstr. 5* war augenscheinlich deutlich sichtbare Färbung/Trübung in der zweiten und dritten Probe nachzuweisen (Abbildung 19), 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 19: 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 9 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 9: 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 10 aufgeführt.

Tabelle 10: 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 20).

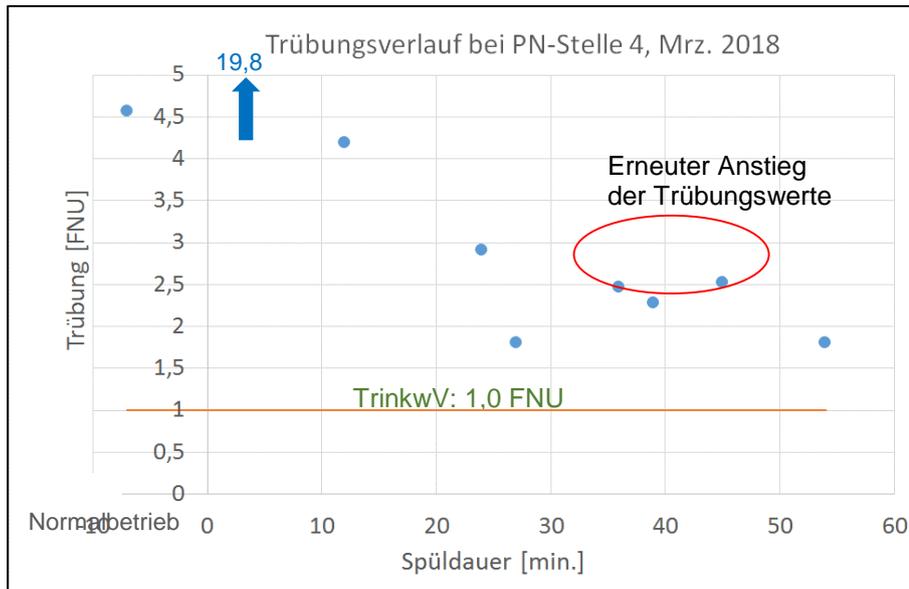


Abbildung 20: Trübungsmessungen bei der Spülung und Beprobung der Probenahmestelle 4

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

3.2.1.4 Proben von der Beprobung im August 2018

Die Netzbeprobungen erfolgten in gleicher Weise wie zuvor und die Ergebnisse wurden wieder fotografisch dokumentiert (Abbildung 21 bis Abbildung 25).

Am Standort *Landgraben 2* war in den ersten beiden Spülproben deutlich Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 21). Nach etwa 6 Minuten Spülzeit war rein visuell klares Wasser zu sehen. Die Kontrolle der Trübungsmesswerte vor Ort ergab, dass bei der Probe 1-10 ein Wert deutlich < 2,0 FNU vorlag (1,21 FNU). Daher wurde die Spülung beendet und für die weiteren Untersuchungen wurden die Proben 1-N (Normalbetrieb), 1-0 (maximale Trübung) und 1-10 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 21: Netzbeprobung Landgraben, Aug. 18

Am Standort *Friedrichstr. 3a* wurde im Normalbetrieb augenscheinlich gefärbtes Wasser gefördert. Ebenfalls war in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen, danach zeigte das Wasser klares Aussehen (Abbildung 22). Die Kontrolle der Trübungsmesswerte vor Ort ergab, dass bei der Probe 2-5 ein Wert $< 1,0$ FNU vorlag (0,689 FNU). Daher wurde die Spülung beendet und für die weiteren Untersuchungen wurden die Proben die Proben 2-N (Normalbetrieb), 2-0 (maximale Trübung) und 2-5 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 22: Netzbeprobung Friedrichstraße, Aug. 18

Am Standort *Römerstr. 1a* war im Normalbetrieb und nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung zu sehen (Abbildung 23). Das durch die Lage in einer geografischen Senke bedingte, häufig beobachtete Trübungsaufkommen konnte hier nicht bestätigt werden. Deshalb wurden 10 Spülproben genommen, die letzte nach einer halben Stunde Spülbetrieb. Die Kontrolle der Trübungsmesswerte vor Ort ergab, dass bei der Probe 3-10 ein Wert deutlich $< 2,0$ FNU vorlag (1,37 FNU). Daher wurde die Spülung beendet und für die weiteren Untersuchungen wurden die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (maximale Trübung) und 3-10 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 23: Netzbeprobung Römerstraße, Aug. 18

Am Standort *Gartenstr. 17* war nur in der ersten Spülprobe sichtbare Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 24). Begleitende Trübungsmessungen zeigten zwar abnehmende Tendenz, jedoch bei allen nachfolgenden Spülproben Werte $> 2,0$ FNU, bis zur Probe 4-20 mit 2,08 FNU nach einer Spüldauer von einer Stunde. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (maximale Trübung) und 4-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 24: Netzbeprobung Gartenstraße, Aug. 18

Am Standort *Jodokusstr. 5* war das Wasser im Normalbetrieb augenscheinlich klar. Deutlich sichtbare Färbung/Trübung war in der zweiten und dritten Spülprobe nachzuweisen (Abbildung 25), also nach erfolgter Spülung von etwa 3 bis 6 Minuten. Die erste Spülprobe 5-0 war nur schwach getrübt. Nach einer Spüldauer von 9 Minuten war das Wasser wieder klar. Begleitende Trübungsmessungen zeigten zwar abnehmende Tendenz, jedoch bei allen nachfolgenden Spülproben Werte $> 2,0$ FNU, bis zur Probe 5-20 mit 2,26 FNU nach einer Spüldauer von einer Stunde. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 5-N (Normalbetrieb), 5-0 und 5-1 und 5-2 (Trübung) sowie 5-20 (nach Spülung für die Dauer von einer Stunde) ausgewählt.



Abbildung 25: Netzbeprobung Jodokusstraße, Aug. 18

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

Die maximalen Trübungswerte der Probenahmen sind in Tabelle 11 aufgezeigt, im Vergleich zu den Werten bei Normalbetrieb.

Es zeigte sich, dass die Maximaltrübung jeweils zu Beginn der Spülungen auftrat, bei den Probenahmen 1 und 2 und 3 und 4 wurde sie in der ersten Spülprobe (direkt zu Beginn der Spülmaßnahme, Bezeichnung x-0) festgestellt, bei Probenahme 5 war die zweite Spülprobe (nach 3 Minuten Spüldauer, Bezeichnung 5-1) maximal trüb. Bei dieser Beprobung wurden zum Teil sehr hohe Trübungswerte in den Normalproben (2-N und 3-N) bestimmt. Möglicherweise wurde in diesen Proben der Sumpf des Hydranten mit erfasst.

Tabelle 11: Maximal-Trübungswerte im August 2018

Probe	1-N	1-0	2-N	2-0	3-N	3-0	4-N	4-0	5-N	5-0	5-1
Trübung [FNU]	0,18	33,7	35,1	9,69	28,9	30,3	3,85	46,8	1,0	56,3	99,8

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 12 aufgeführt.

Tabelle 12: Vor-Ort-Parameter im August 2018

Probe	Temperatur [°C]	pH-Wert	Leitfähigkeit [µS/cm]	Trübung [FNU]
1-N	16,9	7,390	617	0,179
1-0	18,2	7,509	619	33,7
1-10	16,2	7,502	619	1,21
2-N	21,7	7,522	645	35,1
2-0	21,9	7,507	609	9,69
2-5	20,9	7,513	619	0,689
3-N	22,2	7,486	646	28,9
3-0	18,2	7,454	639	30,3
3-10	16,6	7,364	647	1,37
4-N	17,2	7,422	638	3,85
4-0	17,3	7,472	640	46,8
4-20	16,6	7,400	643	2,08
5-N	24,8	7,553	614	1,00
5-0	22,8	7,523	649	56,3
5-1	22,7	7,504	646	99,8
5-2	21,8	7,514	649	47,6
5-20	20,9	7,506	641	2,26

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 2-N und 3-N (fett gedruckt) liegen mit 35,1 und 28,9 FNU deutlich über dem Grenzwert. Eine Trübung des Wassers wird ab Trübungswerten > 5 FNU 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. In beiden Proben lagen diese Gegebenheiten vor.

3.2.1.5 Proben von der Beprobung im April 2019

Die Ergebnisse der Netzbeprobung wurden fotografisch dokumentiert (Abbildung 26 bis Abbildung 30). 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 2 Spülproben deutlich Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 26). Nach etwa 9 Minuten Spülzeit war jedoch wieder klares Wasser zu sehen. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 1-N (Normalbetrieb), 1-0 (Spülungsbeginn), 1-1 (maximale Färbung) und 1-17 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 26: Netzbeprobung Landgraben, Apr. 19

Am Standort *Friedrichstr. 3a* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 27), obwohl an dieser Stelle häufig über Trübungsprobleme geklagt worden war. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 2-N (Normalbetrieb), 2-0 (Spülungsbeginn und gleichzeitig maximale Trübung) und 2-5 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 27: Netzbeprobung Friedrichstraße, Apr. 19

Am Standort *Römerstr. 69/70* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in der ersten Spülprobe (nach 3 Minuten) die höchste Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 28).

Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (Spülungsbeginn), 3-1 (maximale Färbung) und 3-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 28: Netzbeprobung Römerstraße, Apr. 19

Am Standort *Oderstr., Ecke Grüner Weg* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in den ersten vier Spülproben Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 29). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (Spülungsbeginn), 4-1 (maximale Färbung) und 4-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 29: Netzbeprobung Oderstraße, Ecke Grüner Weg, Apr. 19

Am Standort *Jodokusstr. 5* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in den Proben nach 3 und nach 6 Minuten Spülung die höchste Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 30). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 5-N (Normalbetrieb), 5-0 (Spülungsbeginn), 5-1 und 5-2 (maximale Färbung) sowie 5-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 30: Netzbeprobung Jodokusstraße, Apr. 19

Bei allen Proben wurden vor-Ort-Parameter bestimmt, und zwar Trübung Leitfähigkeit, pH-Wert und Temperatur.

Die maximalen Trübungswerte der Probenahmen sind in Tabelle 13 aufgezeigt.

Es zeigte sich, dass die Maximaltrübung bei den Probenahmen durchaus nach unterschiedlichen Spülzeiten festzustellen war.

Tabelle 13: Maximal-Trübungswerte im April 2019

Probe	1-6	2-0	3-3	4-1	5-2
Trübung [FNU]	7,01	7,77	50,5	44,2	41,2

Die Ergebnisse der Vor-Ort-Messungen in den jeweils ersten Proben (Normalbetrieb) und letzten Proben (nach Spülung) sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Tabelle 14: Vor-Ort-Parameter im April 2019

Probe	Temperatur [°C]	pH-Wert	Leitfähigkeit [µS/cm]	Trübung [FNU]
1-N	12,2	7,60	571	0,89
1-17	11,8	7,61	529	1,66
2-N	12,0	7,44	580	1,53
2-5	11,7	7,51	544	1,24
3-N	11,9	7,66	597	1,05
3-20	11,5	7,52	548	6,32
4-N	12,0	7,63	572	0,76
4-20	11,8	7,55	543	2,94
5-N	12,4	7,69	514	1,17
5-20	11,9	7,62	565	2,34

Als Besonderheiten zu den Probenahmestellen lässt sich folgendes berichten:

An der PN-Stelle 3 (Römerstraße 69/70), im Bereich der Zonentrennung, wurden in allen Spülproben erhöhte Trübungswerte > 10 FNU festgestellt. Erst die Probe 3-20 wies eine Trübung < 10 FNU auf (6,32 FNU).

Bei der PN-Stelle 4 (Oderstr., Ecke Grüner Weg) handelt es sich um ein Schieberkreuz. Das Wasser wird dort aus 3 verschiedenen Richtungen gezogen: Oderstraße, Grüner Weg und Rheindorfer Straße.

Bei der PN-Stelle 5 (Judokusstr.) hatte etwa vier bis sechs Wochen vor dem Zeitpunkt der Probenahme ein Feuerwehreinsatz stattgefunden, bei dem der Hydrant als Löschwasser-Lieferant genutzt wurde. Auf Grund der anschließenden Meldung von Braunfärbung des Wassers in vielen Haushalten musste hier nachgespült werden.

3.2.1.6 Proben von der Beprobung im Dezember 2019

Die Netzbeprobungen erfolgten in gleicher Weise wie im April und die Ergebnisse wurden wieder photographisch dokumentiert (Abbildung 31 bis Abbildung 35).

Am Standort *Landgraben 2* war in den ersten 2 Spülproben deutlich Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 31), in der dritten und vierten Probe war visuell noch eine geringfügige Trübung bzw. Färbung zu erkennen. Ab der fünften Probe, also nach 12 Minuten Spülzeit war wieder klares Wasser zu sehen. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 1-N (Normalbetrieb), 1-0 (maximale Trübung) und 1-13 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 31: Netzbeobachtung Landgraben, Dez. 19

Am Standort *Friedrichstr. 3a* war – wie in den vorangegangenen Beprobungen – nur in der ersten Spülprobe Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 32). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 2-N (Normalbetrieb), 2-0 (maximale Trübung) und 2-11 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 32: Netzbeobachtung Friedrichstraße, Dez. 19

Am Standort *Römerstr. 69/70* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in der ersten Spülprobe (nach 3 Minuten) die höchste Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 33). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (Spülungsbeginn), 3-1 (maximale Färbung) und 3-16 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 33: Netzbeprobung Römerstraße, Dez. 19

Am Standort *Oderstr., Ecke Grüner Weg* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in den ersten vier Spülproben Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 34). In Probe 4-8 war klares Wasser erkennbar, danach (etwa bis zur Probe 4-16) war wieder eine geringfügige Färbung/Trübung zu beobachten, die sich bis zur letzten Probe (4-20) allmählich wieder verlor. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (maximale Färbung) und 4-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 34: Netzbeprobung Oderstraße, Ecke Grüner Weg, Dez. 19

Am Standort *Jodokusstr. 5* war augenscheinlich sichtbare Färbung/Trübung in der zweiten und dritten Probe nachzuweisen (Abbildung 35), also nach erfolgter Spülung von etwa 3 Minuten. Die Probe 5-0 war nur schwach getrübt. Nach einer Spüldauer von 9 Minuten, ab Probe 5-3, war das Wasser fast klar, nur noch schwach gefärbt. Ab Probe 5-14 war das Wasser augenscheinlich klar. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 5-N (Normalbetrieb), 5-0 und 5-1 (stärkste Trübung) sowie 5-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 35: Netzbeprobung Jodokusstraße, Dez. 19

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

Die maximalen Trübungswerte der Probenahmen sind in Tabelle 15 aufgezeigt.

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

Tabelle 15: Maximal-Trübungswerte im Dezember 2019

Probe	1-0	2-0	3-1	4-0	5-1
Trübung [FNU]	39,7	66,3	21,4	23,5	56,8

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 16 aufgeführt.

Tabelle 16: Vor-Ort-Parameter im Dezember 2019

Probe	Temperatur [°C]	pH-Wert	Leitfähigkeit [µS/cm]	Trübung [FNU]
1-N	10,7	7,65	598	1,65
1-13	11,0	7,63	624	1,09
2-N	10,0	7,64	629	0,74
2-11	10,5	7,62	602	1,04
3-N	10,3	7,67	555	0,86
3-16	11,0	7,59	622	1,80
4-N	9,8	7,41	649	0,32
4-20	10,2	7,61	589	3,77
5-N	8,4	7,69	573	0,26
5-20	9,8	7,66	602	2,62

Betrachtet man die Ergebnisse der vor Ort durchgeführten Trübungsmessungen, dann liegen die meisten Werte in den Normalbetrieb-Proben unterhalb 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 Spülungen der Probenahmestelle 1 und 2 und 3 zeigten in den ersten Proben hohe Trübungen, die dann schnell abnahmen, so dass die letzte Probe Trübungswerte zwischen 1 und 2 NTU aufwies. Bei den Probenahmestellen 4 und 5 zeigte sich im Verlauf des Spülprozesses eine nur langsame Abnahme der Trübungswerte, so dass selbst nach einer Stunde Spülzeit noch Trübungswerte von 3,77 bzw. 2,62 NTU zu verzeichnen waren.

3.2.1.7 Proben von der Beprobung im Juli 2020

Die Netzbeprobungen erfolgten in gleicher Weise wie zuvor und die Ergebnisse wurden wieder fotografisch dokumentiert (Abbildung 36 bis Abbildung 39).

Am Standort Landgraben 2 war in den ersten 2 Spülproben deutlich Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 36), in der dritten und vierten Probe war visuell noch eine Trübung bzw. Färbung zu erkennen, die bis zur 7. Probe immer geringfügiger zu erkennen war. Ab der achten Probe, also nach 21 Minuten Spülzeit war wieder vollständig klares Wasser zu sehen. Für die weiteren Untersuchungen wurden die Proben 1-N (Normalbetrieb), 1-0 (maximale Trübung) und 1-13 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 36: Netzbeobachtung Landgraben, Juli 20

Am Standort *Friedrichstr. 3a* war die Probenahmestelle rückgebaut worden, eine Wasserspülung und Beprobung war daher hier nicht möglich.

Am Standort *Römerstr. 69/70* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in den ersten vier Spülproben (bis zu einer Spülzeit von 9 Minuten) deutliche Färbung/Trübung (Abbildung 37) nachzuweisen, die höchste war in der ersten Probe. Daher wurden für die weiteren

Untersuchungen die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (maximale Färbung) und 3-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 37: Netzbeprobung Römerstraße, Juli 20

Am Standort *Oderstr., Ecke Grüner Weg* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in den ersten zwei Spülproben eine geringfügige Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 38). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (Spülungsbeginn), 4-1 (maximale Trübung) und 4-9 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 38: Netzbeprobung Oderstraße, Ecke Grüner Weg, Juli 20

Am Standort *Jodokusstr. 5* war augenscheinlich sichtbare Färbung/Trübung in der zweiten und dritten Probe nachzuweisen (Abbildung 39), also nach erfolgter Spülung von etwa 3 Minuten. Die Probe 5-0 war nur schwach getrübt. Nach einer Spüldauer von 9 Minuten, ab Probe 5-3, war das Wasser fast klar, nur noch schwach gefärbt. Ab Probe 5-14 war das Wasser augenscheinlich klar. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 5-N (Normalbetrieb), 5-0 und 5-1 (stärkste Färbung/Trübung) sowie 5-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 39: Netzbeprobung Jodokusstraße, Juli 20

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

Die maximalen Trübungswerte der Probenahmen sind in Tabelle 17 aufgezeigt.

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

Tabelle 17: Maximal-Trübungswerte im Juli 2020

Probe	1-0	3-0	4-1	5-1
Trübung [FNU]	58,4	76,6	6,9	86,3

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 18 aufgeführt.

Tabelle 18: Vor-Ort-Parameter im Juli 2020

Probe	Temperatur [°C]	pH-Wert	Leitfähigkeit [µS/cm]	Trübung [FNU]
1-N	18,8	7,88	511	0,20
1-13	16,4	7,80	501	1,39
3-N	22,3	7,90	515	1,44
3-20	16,7	7,75	541	2,34
4-N	21,2	7,90	562	1,37
4-9	20,6	7,76	541	1,25
5-N	23,4	7,92	519	3,36
5-20	20,6	7,80	539	2,58

Betrachtet man die Ergebnisse der vor Ort durchgeführten Trübungsmessungen, dann liegen die meisten Werte in den Normalbetrieb-Proben diesmal 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). Das heißt, bei den Probenahmestellen

3 und 4 und 5 war bereits im Normalbetrieb eine ausreichend große Menge an mobilisierten Partikeln im Wasser, dass eine Grenzwertüberschreitung verursacht werden konnte. Die Spülungen der Probenahmestelle 3 und 5 zeigten in den ersten Proben hohe Trübungen, die dann nur langsam abnahmen, so dass selbst nach einer Stunde Spülzeit noch Trübungswerte von 2,34 bzw. 2,58 NTU zu verzeichnen waren. Bei den Probenahmestellen 1 und 4 zeigte sich im Verlauf des Spülprozesses eine schnellere Abnahme der Trübungswerte, so dass die letzten Proben mit augenscheinlich klarem Wasser nach einer Spülzeit von 39 Minuten bzw. 27 Minuten erreicht wurden, mit Trübungswerten geringfügig über 1,0 NTU.

3.2.2 Chemische Analyse der Wasserproben

Die vor Ort genommenen Wasserproben von Trinkwasser sowie die Proben aus den Netzbe-
probungen (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 50930-6² und DIN EN 12502-5³ 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 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 Analyseergebnisse (ausgewählte, korrosionsrelevante Parameter) der Trinkwasserproben sind in Tabelle 19 und Tabelle 20 im Vergleich zu den im Internet veröffentlichten Durchschnittswerten aus 2016 und der aktuellen Analyse (März 2020) 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.

² DIN 50930-6:2013-10: Korrosion der Metalle – Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wasser – Teil 6: Bewertungsverfahren und Anforderungen hinsichtlich der hygienischen Eignung in Kontakt mit Trinkwasser

³ 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

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.

Tabelle 19: Analyseergebnisse der Trinkwasserproben bis 2018

Parameter	Durchschnitt 2016	Wasserwerk Eichenkamp Sep. 17	Wasserwerk Eichenkamp Nov. 17	Wasserwerk Eichenkamp Mrz. 18	Wasserwerk Eichenkamp Aug. 18
Elektr. Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	585	630	551	585	602
pH-Wert	7,3	7,42	7,46	7,42	7,35
Säurekapazität $K_{S4,3}$ [mmol/l]	3,6	3,08	2,55	2,89	3,05
Basekapazität $K_{B8,2}$ [mmol/l]	0,84	0,26	0,22	0,26	0,33
Calcium [mmol/l]	1,95	1,72	1,47	1,64	69,7
Chlorid [mg/l]	57	60,3	58,2	55,1	54,8
Nitrat [mg/l]	22	18,6	15,7	17,8	20,6
Sulfat [mg/l]	67	58,4	48,6	54,8	56,8
TOC [mg/l]	0,89	0,46	0,59	0,79	0,53
Sauerstoff [mg/l]	3,6				
Calcitlösekapazität mg/l CaCO_3 (berechnet)	0 (Gleichgewicht)	5,44	8,47	8,99	9,08
Anionenquotient S_1 (berechnet)	0,93	1,04	1,14	1,03	1,00

Die Calcitlösekapazität liegt bis 2018 oberhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 5 mg/l – mit zunehmender Tendenz. Eine steigende Neigung zur Lösung vorhandener Deckschichten an den Rohrrinnenoberflächen war somit zunächst gegeben.

Tabelle 20: Analyseergebnisse der Trinkwasserproben ab 2019

Parameter	Wasserwerk Eichenkamp Apr. 19	Wasserwerk Eichenkamp Dez. 19	Wasserwerk Eichenkamp Jul. 20	Durchschnitt aktuelle Ana- lyse 2020
Temperatur [°C]	12,0	11,8	13,4	9,7
Elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	564	555	543	511
Trübung [FNU]	0,04	0,15	0,11	< 0,1
pH-Wert	7,59	7,73	7,75	7,8
Säurekapazität $K_{S4,3}$ [mmol/l]	2,78	2,69	2,83	2,4
Basekapazität $K_{B8,2}$ [mmol/l]	0,14	0,14	0,13	0,52
Calcium [mmol /l]	61,6	64,9	61,3	51
Chlorid [mg/l]	54,2	58,7	48,6	49
Nitrat [mg/l]	17,9	17,3	19,4	16
Sulfat [mg/l]	49,7	49,1	50,9	48
TOC [mg/l]	0,45	0,58	0,49	0,62
Sauerstoff [mg/l]				8,8
Calcitlösekapazität mg/l $CaCO_3$ (berech- net)	4,5	2,3	-3,9	
Anionenquotient S_1 (berechnet)	1,03	1,10	0,97	1,10

Die Calcitlösekapazität lag ab 2019 unterhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 5 mg/l. Im Juli 2020 erwies sich das Wasser rechnerisch sogar als Calcit-abscheidend. Eine Neigung zur Lösung vorhandener Deckschichten an den Rohrinneoberflächen ist somit nicht mehr ausgeprägt. Zu Beginn der Untersuchungen im Jahr 2017 lag der Wert noch deutlich im Calcit-lösenden Bereich, oberhalb von 5 mg/l.

Die metallischen Bestandteile, die in den Wasserproben in gelöster und partikulärer Form enthalten waren, geben Aufschluss über bereits stattgefundenene Prozesse der Korrosion bzw. der Mobilisierung von Sedimenten.

Die Gegenüberstellung der für die Beurteilung der Trübungsproblematik gelösten und partikulären Metall-Bestandteile der Netzbeprobungen ist nachfolgend dargestellt, zunächst für die September 2017-Beprobung ist in Tabelle 21.

Tabelle 21: Analyseergebnisse 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	< 0,010	70,7	< 0,100	8,82
4-0	partikulär	4,22	0,014	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 21 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 22 dargestellt. Die Gegenüberstellungen der für die Beurteilung der Trübungsproblematik gelösten und partikulären Metall-Bestandteile der März 2018-Beprobung und der August 2018-Beprobung sind in Tabelle 23 und Tabelle 24 dargestellt.

In den folgenden Tabellen – Tabelle 22, Tabelle 23 und Tabelle 24 – sind die auffällig hohen partikulären Bestandteile wieder durch Fett**druck** hervorgehoben. Außerdem fallen bei den Beprobungen aus November 2017 und März 2018 jeweils in der Probe 5-N vergleichsweise niedrigere Calcium- und Silikat-Gehalte insgesamt auf (durch *Kursiv*druck gekennzeichnet), die sich in der gelösten Phase befinden. In der Beprobung vom August 2018 liegen die Werte zwar auch etwas niedriger aber im Normalbereich.

Tabelle 22: Analyseergebnisse 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 23: Analyseergebnisse 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

Tabelle 24: Analyseergebnisse der Wasserproben Aug. 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	70,8	< 0,100	9,56
1-N	partikulär	0,015	< 0,010	1,4	< 0,100	0,15
1-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	70,7	< 0,100	9,51
1-0	partikulär	6,19	0,029	0,5	0,45	1,19
1-10	gelöst	< 0,010	< 0,010	71,1	< 0,100	9,51
1-10	partikulär	0,197	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
2-N	gelöst	0,028	< 0,010	73,9	< 0,100	9,55
2-N	partikulär	1,98	< 0,010	0,0	< 0,100	0,27
2-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	68,5	< 0,100	9,33
2-0	partikulär	1,331	< 0,010	0,0	< 0,100	0,17
2-5	gelöst	0,018	< 0,010	70,2	< 0,100	8,91
2-5	partikulär	0,086	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
3-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	74,6	< 0,100	9,71
3-N	partikulär	4,47	0,032	0,0	0,15	0,69
3-0	gelöst	0,043	< 0,010	73,8	< 0,100	9,74
3-0	partikulär	3,65	0,014	0,0	0,14	0,46
3-10	gelöst	0,025	< 0,010	74,4	< 0,100	9,75
3-10	partikulär	0,232	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
4-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	73,5	< 0,100	9,70
4-N	partikulär	0,145	< 0,010	0,0	< 0,100	0,05
4-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	74,1	< 0,100	9,79
4-0	partikulär	7,41	0,029	0,0	0,38	1,01
4-20	gelöst	0,01	< 0,010	74,0	< 0,100	9,73
4-20	partikulär	0,36	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
5-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	70	< 0,100	9,34
5-N	partikulär	0,078	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0
5-0	gelöst	0,024	< 0,010	75,5	< 0,100	9,70
5-0	partikulär	8,81	0,023	0,0	0,37	1,40
5-1	gelöst	< 0,010	< 0,010	75,0	< 0,100	9,64
5-1	partikulär	18,54	0,022	0,0	0,70	2,76
5-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	73,6	< 0,100	9,58
5-20	partikulär	0,31	< 0,010	0,0	< 0,100	0,0

Die Gegenüberstellung der für die Beurteilung der Trübungsproblematik gelösten und partikulären Metall-Bestandteile der Beprobung vom April 2019 ist in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Analyseergebnisse der Wasserproben Apr. 19 – 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	0,013	0	62	0	9,12
1-N	partikulär	0,194	0	0	0	0
1-0	gelöst	0	0	59,3	0	8,58
1-0	partikulär	8,060	0,016	0,3	0,55	1,52
1-1	gelöst	0	0	57,9	0	8,56
1-1	partikulär	6,519	0,013	0,5	0,41	1,24
1-17	gelöst	0,014	0	57,5	0	8,55
1-17	partikulär	0,299	0	0,1	0	0,11
2-N	gelöst	0	0	61,5	0	8,88
2-N	partikulär	0,204	0	0	0	0
2-0	gelöst	0,029	0	58,2	0	8,67
2-0	partikulär	0,532	0,014	0	0	0,23
2-5	gelöst	0,024	0	59,8	0	8,80
2-5	partikulär	0,142	0	0	0	0,02
3-N	gelöst	0	0	66,5	0	9,24
3-N	partikulär	0,210	0	0	0	0
3-0	gelöst	0	0	65,2	0	9,08
3-0	partikulär	4,212	0	0	0,21	0,70
3-1	gelöst	0	0	64,4	0	9,08
3-1	partikulär	6,097	0,012	0	0,30	1,02
3-20	gelöst	0,074	0	60,6	0	8,73
3-20	partikulär	0,855	0	0	0	0,21
4-N	gelöst	0	0	64,6	0	9,08
4-N	partikulär	0,072	0	0	0	0
4-0	gelöst	0	0	64,6	0	9,11
4-0	partikulär	4,238	0,011	0	0,20	0,69
4-1	gelöst	0	0	64,9	0	9,13
4-1	partikulär	6,216	0,0225	0	0,29	1,07
4-20	gelöst	0,011	0	59,9	0	8,82
4-20	partikulär	0,523	0	0	0	0,05
5-N	gelöst	0	0	55,7	0	8,00
5-N	partikulär	0,081	0	0	0	0
5-0	gelöst	0	0	58,7	0	8,78
5-0	partikulär	2,017	0	0	0,10	0,35
5-1	gelöst	0	0	58,7	0	8,74
5-1	partikulär	9,537	0	0,1	0,47	1,66
5-2	gelöst	0	0	62,3	0	8,96
5-2	partikulär	6,555	0,014	0	0,30	1,24
5-20	gelöst	0	0	64,3	0	9,09
5-20	partikulär	0,368	0	0	0	0

Die Analysenergebnisse 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 eher von der Remobilisierung suspendierter Partikel.

Calcium und Silikat liegen dagegen eindeutig überwiegend gelöst vor. 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 den am stärksten Partikel-beladenen Proben nachvollziehen. In Tabelle 25 sind die auffällig hohen partikulären Bestandteile durch Fettdruck hervorgehoben.

Die Gegenüberstellung der für die Beurteilung der Trübungsproblematik gelösten und partikulären Metall-Bestandteile der Beprobung vom Dezember 2019 ist in Tabelle 26 dargestellt. In Tabelle 27 ist die Gegenüberstellung der für die Beurteilung der Trübungsproblematik gelösten und partikulären Metall-Bestandteile der Beprobung vom Juli 2020 aufgeführt.

Auch in Tabelle 26 und in Tabelle 27 sind die auffällig hohen partikulären Bestandteile durch Fettdruck hervorgehoben.

Tabelle 26: Analyseergebnisse der Wasserproben Dez. 19 – 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	0	67,1	0	9,30
1-N	partikulär	0,358	0	4,1	0	0,70
1-0	gelöst	0	0	68,3	0	9,23
1-0	partikulär	7,831	0,026	4,7	0,49	2,37
1-13	gelöst	0	0	72,8	0	9,76
1-13	partikulär	0,202	0	4,4	0	0,84
2-N	gelöst	0,011	0	73,0	0	9,40
2-N	partikulär	0,085	0	4,8	0	0,70
2-0	gelöst	0	0,021	74,5	0	9,51
2-0	partikulär	3,816	0,041	4,4	0,18	1,49
2-11	gelöst	0,014	0	69,6	0	9,43
2-11	partikulär	0,158	0	3,5	0	0,67
3-N	gelöst	0	0	60,7	0	8,59
3-N	partikulär	0,178	0	3,7	0	0,66
3-0	gelöst	0,011	0	67,8	0	9,44
3-0	partikulär	2,456	0	3,0	0,13	0,86
3-1	gelöst	0,019	0	71,9	0	9,80
3-1	partikulär	3,655	0	3,8	0,23	1,20
3-16	gelöst	0,053	0	71,9	0	9,79
3-16	partikulär	0,315	0	3,7	0	0,61
4-N	gelöst	0	0	76,2	0	10,2
4-N	partikulär	0,037	0	2,8	0	0,40
4-0	gelöst	0	0	74,0	0	9,84
4-0	partikulär	2,829	0	4,3	0,14	1,26
4-20	gelöst	0,012	0	68,0	0	9,60
4-20	partikulär	0,711	0	2,0	0	0,50
5-N	gelöst	0	0	63,9	0	9,01
5-N	partikulär	0,032	0	2,2	0	0,32
5-0	gelöst	0,020	0	76,3	0	10,1
5-0	partikulär	8,037	0,015	2,9	0,43	2,00
5-1	gelöst	0,022	0	73,5	0	9,73
5-1	partikulär	9,978	0,017	3,6	0,52	2,47
5-20	gelöst	0	0	69,6	0	9,59
5-20	partikulär	0,437	0	3,2	0	0,61

Tabelle 27: Analyseergebnisse der Wasserproben Jul. 20 – 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	0	54,3	0	8,75
1-N	partikulär	0,017	0	0,6	0	0,16
1-0	gelöst	0	0	54,0	0	8,72
1-0	partikulär	10,46	0,028	1,0	0,58	1,98
1-13	gelöst	0,012	0	54,1	0	8,72
1-13	partikulär	0,227	0	0,7	0	0,17
3-N	gelöst	0	0	55,1	0	8,63
3-N	partikulär	0,164	0	1,0	0	0,19
3-0	gelöst	0	0,029	50,4	0	8,60
3-0	partikulär	7,212	0	0,6	0	0,95
3-20	gelöst	0,020	0	60,4	0	9,13
3-20	partikulär	0,506	0	0,5	0	0,24
4-N	gelöst	0	0	63,3	0	9,43
4-N	partikulär	0,104	0	0,8	0	0,13
4-0	gelöst	0	0	63,5	0	9,42
4-0	partikulär	0,877	0	0,3	0	0,27
4-1	gelöst	0	0	61,9	0	9,30
4-1	partikulär	1,039	0	0,5	0	0,31
4-9	gelöst	0	0	61,4	0	9,35
4-9	partikulär	0,219	0	0,1	0	0,07
5-N	gelöst	0	0	56,1	0	8,84
5-N	partikulär	0,232	0	0,6	0	0,17
5-0	gelöst	0	0	60,1	0	9,09
5-0	partikulär	6,425	0,022	0,7	0,35	1,41
5-1	gelöst	0	0	61,0	0	9,15
5-1	partikulär	16,06	0,065	1,1	0,73	3,25
5-20	gelöst	0	0	60,2	0	9,13
5-20	partikulär	0,440	0	0,3	0	0,13

Eine graphische Darstellung der Verteilung von gelösten und partikulären Anteilen verdeutlicht, dass Eisen fast ausschließlich in partikulärer Form, Calcium fast ausschließlich in gelöster Form und Silikat überwiegend in gelöster Form vorliegen.

Abbildung 40, Abbildung 41 und Abbildung 42 zeigen die Verteilungen der Maximalgehalte für Eisen, Calcium und Silikat in Absolutwerten und in prozentualer Aufteilung, für die ersten vier Netzbeprobungen an den fünf PN-Stellen bei dem sich ändernden Mischungsverhältnis in der Wassereinspeisung bis Ende 2018 (von ursprünglich 75% WBV zu 25% WTV bis zum Verhältnis 60% WBV zu 40% WTV).

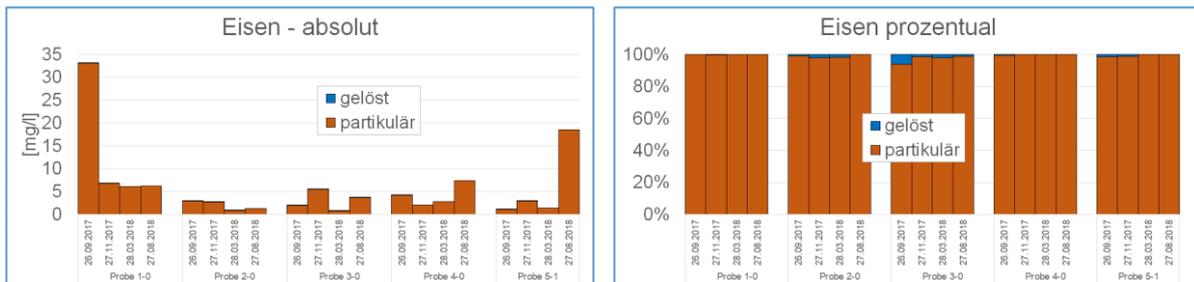


Abbildung 40: Aufteilung Eisenanteile, gelöst und partikulär, bis 2018

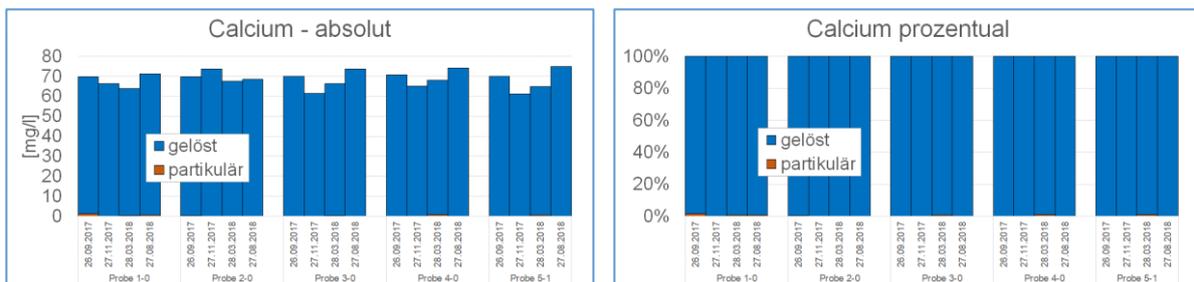


Abbildung 41: Aufteilung Calciumanteile, gelöst und partikulär, bis 2018

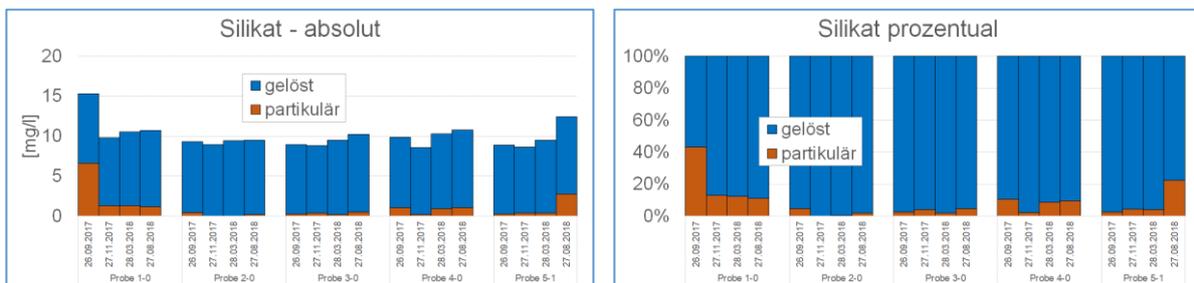


Abbildung 42: Aufteilung Silikatanteile, gelöst und partikulär, bis 2018

Mangan und Phosphat lagen ausschließlich partikulär vor, jedoch in so geringer Konzentration, dass eine graphische Darstellung obsolet ist.

Abbildung 43 zeigt die Verteilung der Maximalgehalte für Eisen, in Absolutwerten und in prozentualer Aufteilung, für die vier Netzbeprobungen an den fünf PN-Stellen bei dem gleichbleibenden Mischungsverhältnis in der Wassereinspeisung (60% WBV zu 40% WTV) in den Jahren 2018 und 2019. Hier ist die Entwicklung im Rohrnetz zu sehen, bei gleichbleibender Wasserbeschaffenheit und mit langsamen Umbildungsprozessen innerhalb der Rohrwand-Deckschichten.

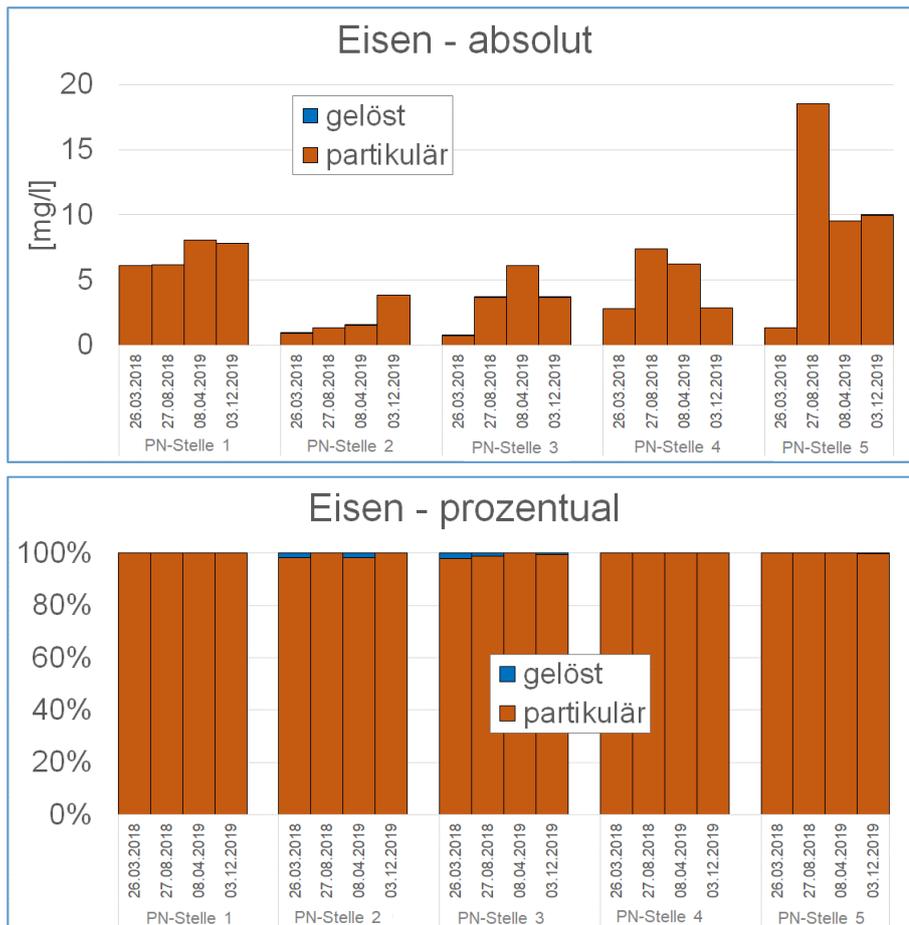


Abbildung 43: Aufteilung Eisenanteile, gelöst und partikulär, Verteilung 60%-40%

Mangan und Phosphat lagen nach wie vor ausschließlich partikulär vor, auch jetzt in so geringer Konzentration, dass eine graphische Darstellung obsolet ist. Die Konzentrationen von Mangan lagen im Jahr 2019 im Bereich von 0,00 bis 0,04 mg/l. Die Konzentrationen von Phosphat lagen im Jahr 2019 im Bereich von 0,00 bis 0,55 mg/l.

Abbildung 44 zeigt die Verteilung bei den gleichen Beprobungen für Calcium, in Absolutwerten und in prozentualer Aufteilung. Und Abbildung 45 zeigt die Verteilung für Silikat, in Absolutwerten und in prozentualer Aufteilung.

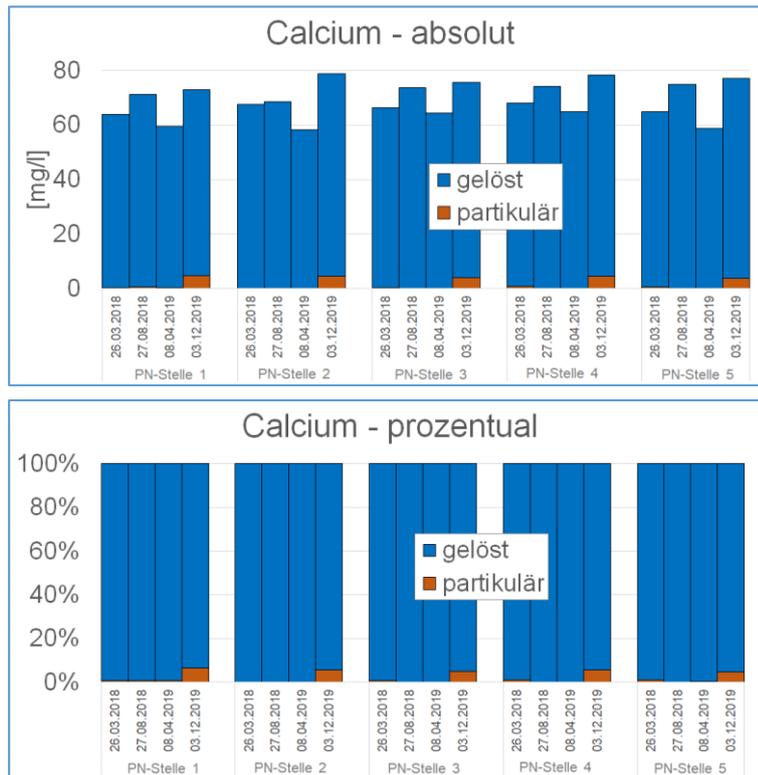


Abbildung 44: Aufteilung Calciumanteile, gelöst und partikulär, Verteilung 60%-40%

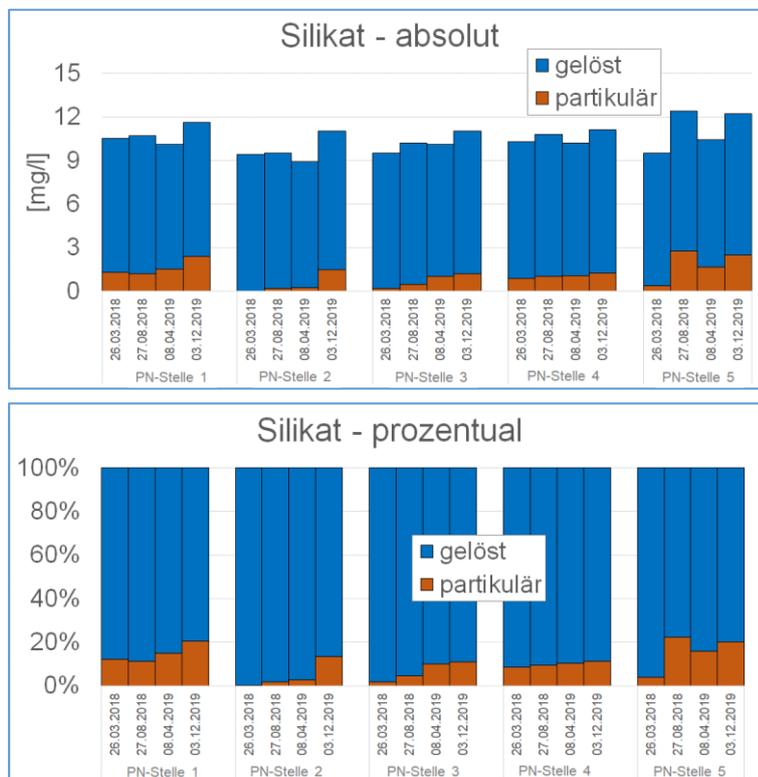


Abbildung 45: Aufteilung Silikatanteile, gelöst und partikulär, Verteilung 60%-40%

Die entsprechenden Darstellungen der Ergebnisse für Eisen, Calcium und Silikat aus der Beprobung vom Juli 2020 – bei erstmaliger Beprobung im Mischungsverhältnis von 50% WBV zu 50% WTV – sind in Abbildung 46, Abbildung 47 und Abbildung 48 gezeigt.

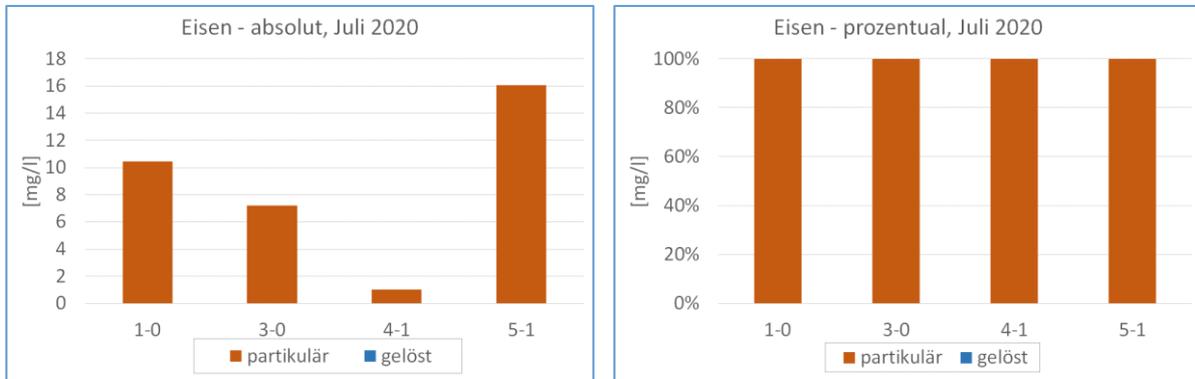


Abbildung 46: Aufteilung Eisenanteile, gelöst und partikulär, Juli 2020

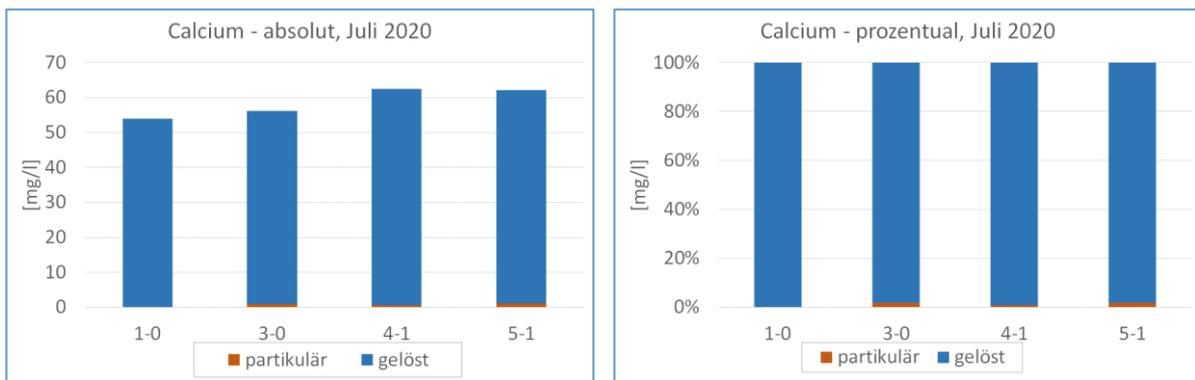


Abbildung 47: Aufteilung Calciumanteile, gelöst und partikulär, Juli 2020

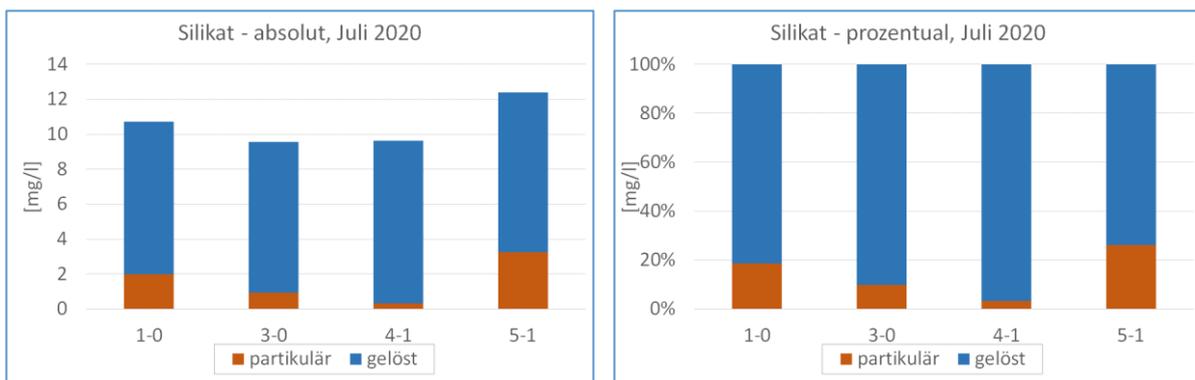


Abbildung 48: Aufteilung Silikatanteile, gelöst und partikulär, Juli 2020

Die Aufteilung der gelösten und partikulären Bestandteile unterschied sich in den Proben vom Juli 2020 nicht wesentlich von den vorhergegangenen Proben. Allerdings wies der Calciumgehalt, der bisher zwischen 60 mg/l und etwa 75 mg/l geschwankt hatte, in den maximal getrübbten Proben vom Juli 2020 Werte zwischen 54 mg/l und 62 mg/l auf. Möglicherweise ist dies bereits dem höheren Anteil an weicherem Talsperrenwasser geschuldet.

Bei den Eisengehalten konnten wieder Werte von > 10 mg/l festgestellt werden, alle 100 % partikulär vorliegend. Die Entwicklung der maximalen absoluten Eisenkonzentration über den gesamten bisherigen Untersuchungszeitraum ist in Abbildung 49 dargestellt.

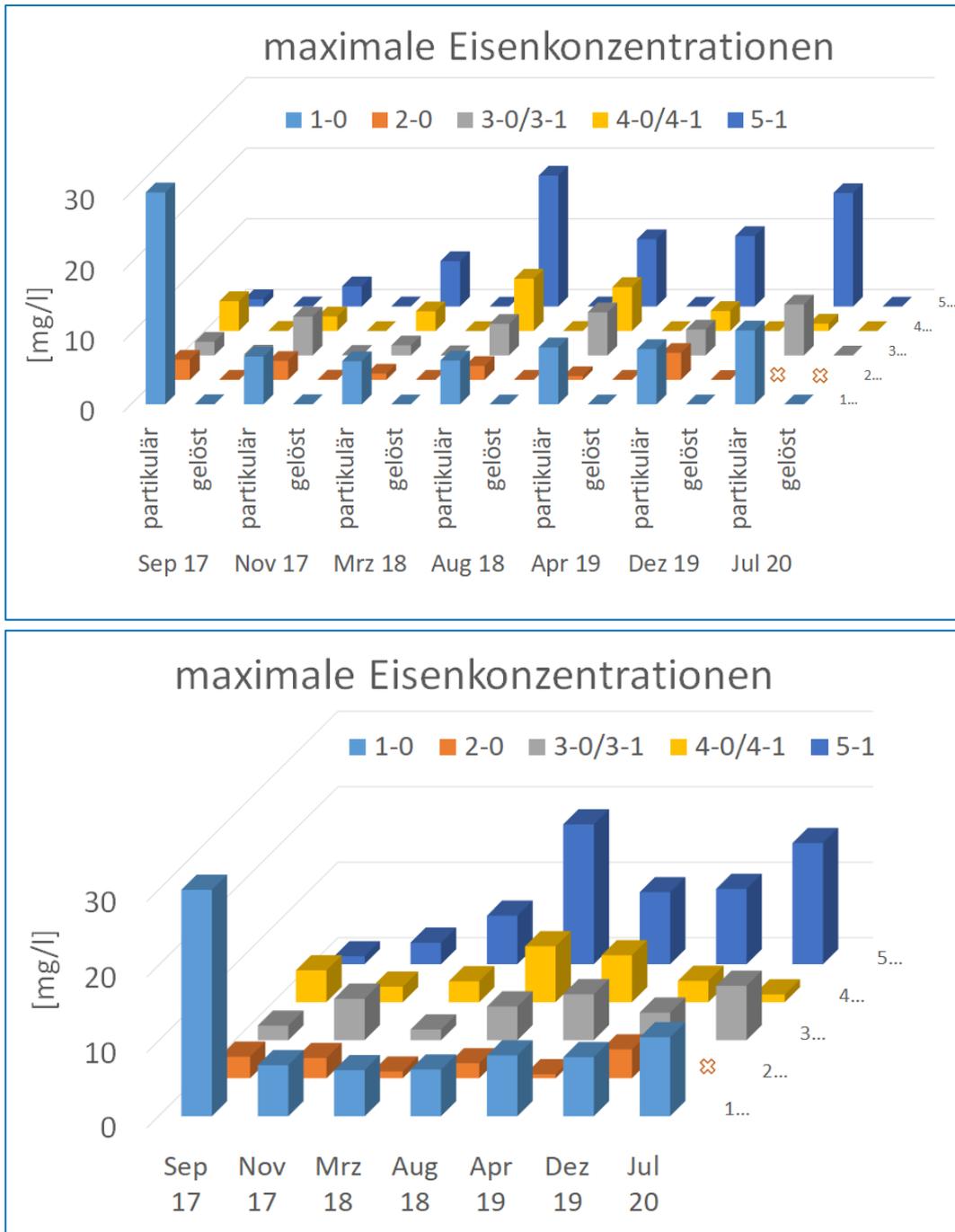


Abbildung 49: Entwicklung der maximalen Eisenkonzentrationen

Das untere Bild zeigt – zur besseren Erkennbarkeit der Entwicklung – die Eisenkonzentration nur in partikulärer Form (gelöstes Eisen war in allen Proben nur in geringem Anteil enthalten).

Eine leichte Tendenz zu zunehmender Mobilisierung von Partikeln ist zu erkennen, insbesondere bei den Probenahmestellen 1 und 5. Probenahmestelle 3 verhält sich indifferent, Probenahmestelle 4 zeigt abnehmende Tendenz. Eine weitere Beobachtung über einen längeren Zeitraum – mit größeren Zeitintervallen zwischen den Beprobungen – erscheint angeraten, um die weitere Entwicklung in Rohrnetz zu verfolgen. Ob sich dies zu Rostwasserproblemen entwickelt, sollte durch weiteres Monitoring verfolgt werden.

3.2.3 Untersuchungen der Partikelfracht

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

Zur genaueren Spezifikation der partikulären Bestandteile der Proben wurden die Wasserproben untersucht. Das Ergebnis für die letzten fünf Beprobungen ist in Tabelle 28 zusammengefasst.

Tabelle 28: Feststoffmengenanalyse

Probe-Nr.	PN-Datum	Abfiltrierbare Stoffe [mg/l]	Absetzbare Stoffe [mg/l]
1-0	Mrz. 18	13	
1-0	Aug. 18	16	
1-0	Apr. 19	17	
1-0	Dez. 19	20	0,1
1-0	Jul 20	27	
1-1	Apr. 19	18	
2-N	Aug. 18	8,8	0,1
2-0	Mrz. 18	14	
2-0	Aug. 18	15	0,2
2-0	Apr. 19	8	
2-0	Dez. 19	12	
3-N	Aug. 18	11	
3-0	Aug. 18	17	0,1
3-0	Apr. 19	11	0,1
3-0	Dez. 19	6	
3-0	Jul 20	11	
3-1	Apr. 19	16	
3-1	Dez. 19	7,5	
4-N	Mrz. 18	17	
4-N	Aug. 18	10	
4-N	Apr. 19	18	
4-0	Mrz. 18	9,9	
4-0	Aug. 18	28	0,1
4-0	Apr. 19	15	
4-0	Dez. 19	7,2	
4-1	Apr. 19	16	0,1
5-0	Dez. 19	11	
5-0	Jul 20	15	
5-1	Mrz. 18	11	
5-1	Aug. 18	18	
5-1	Apr. 19	19	
5-1	Dez. 19	21	
5-1	Jul 20	23	
5-2	Apr. 19	15	

Es handelt sich um 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 (sedimentierte Partikel), die sich am Boden absetzen. 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. Über den gesamten Zeitraum der Untersuchungen und auch in den Proben der letzten Beprobung konnten zum Teil erhebliche Mengen an abfiltrierbaren Stoffen (Partikeln) nachgewiesen werden. Sedimentierte Partikel (absetzbare Stoffe) waren seltener und in deutlich geringerer Menge festzustellen.

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 als Einzel-Diagramme im Anhang dargestellt (Abbildung 65 bis Abbildung 69 für die Proben vom September 2017, Abbildung 70 bis Abbildung 74 für die Proben vom November 2017, Abbildung 75 bis Abbildung 79 für die Proben vom März 2018, Abbildung 80 bis Abbildung 84 für die Proben vom August 2018, Abbildung 85 bis Abbildung 89 für die Proben vom April 2019, Abbildung 90 bis Abbildung 94 für die Proben vom Dezember 2019 und Abbildung 95 bis Abbildung 98 für die Proben im Juli 2020). 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 jeweiligen Netzproben die kumulativen Partikelkonzentrationen gemeinsam dargestellt.

Für die Netzproben vom September 2017 die kumulativen Partikelkonzentrationen dargestellt, in Abbildung 50 die Konzentrationen aller Partikel, in Abbildung 51 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.

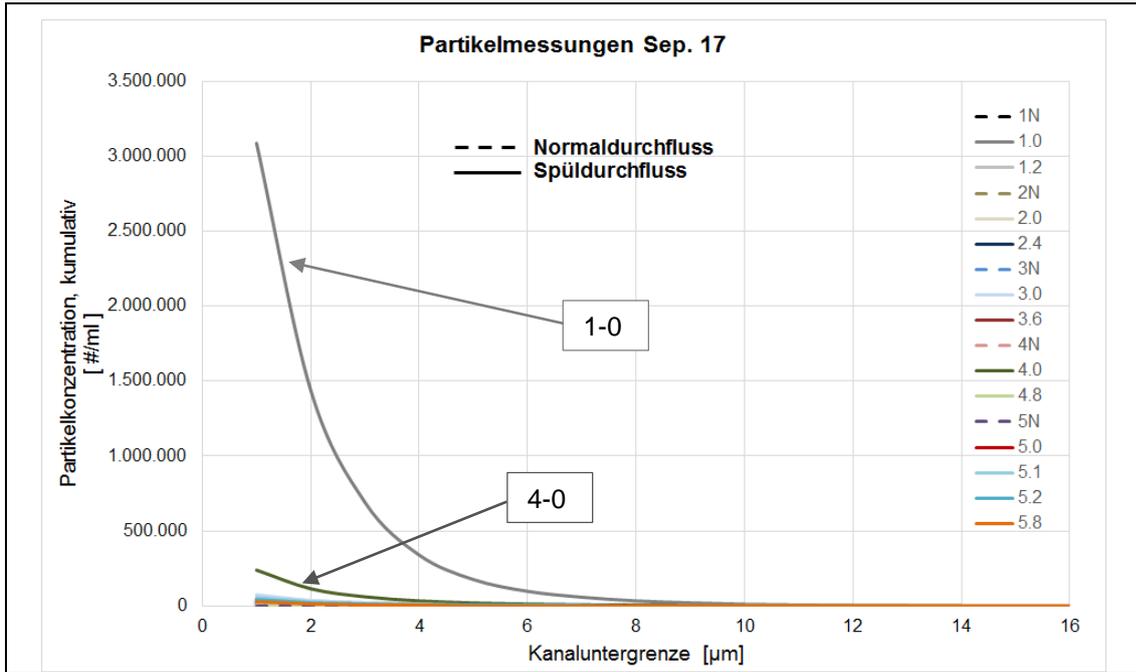


Abbildung 50: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, Sep. 17

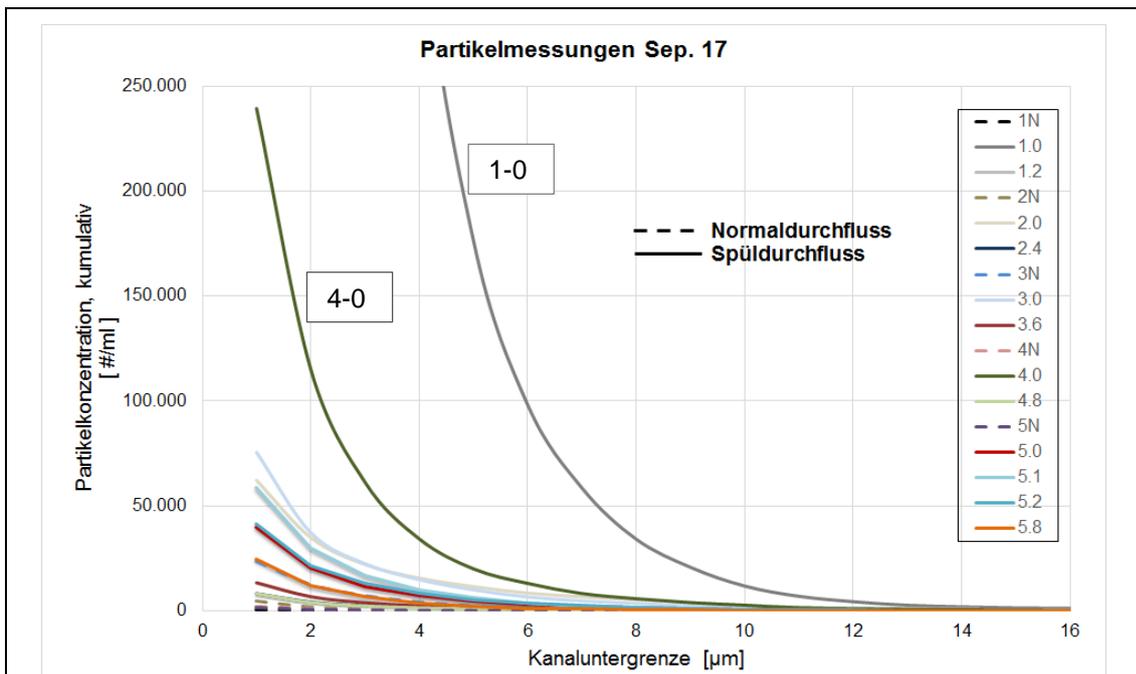


Abbildung 51: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, Sep. 17

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 µm 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 52).

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 hiervon fällt etwa die Hälfte auf Partikelgrößen $< 1 \mu\text{m}$ (Abbildung 52).

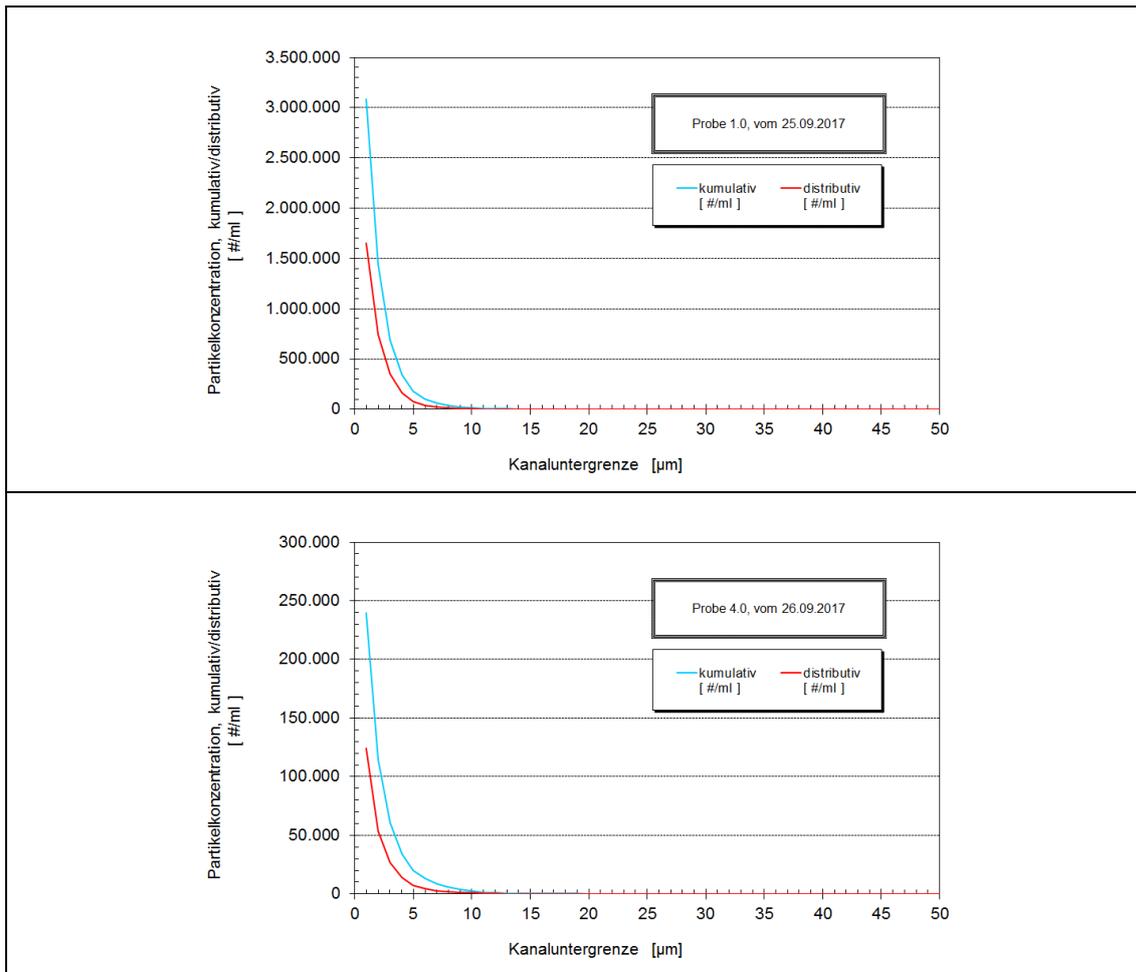


Abbildung 52: Kumulative und distributive Partikelkonzentrationen der Proben 1-0 und 4-0, Beprobung Sep. 17

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 53 die Konzentrationen aller Partikel, in Abbildung 54 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. Die Proben aus dem Normalbetrieb zeigten bei allen beprobten

Hydranten Konzentrationen von weniger als 9.000 Stück pro ml. Dabei sind Partikel mit Partikelgrößen > 10 µm kaum noch feststellbar. Daher endet in den Diagrammen bis Ende 2018 die x-Achse bei der Kanaluntergrenze von 16 µm.

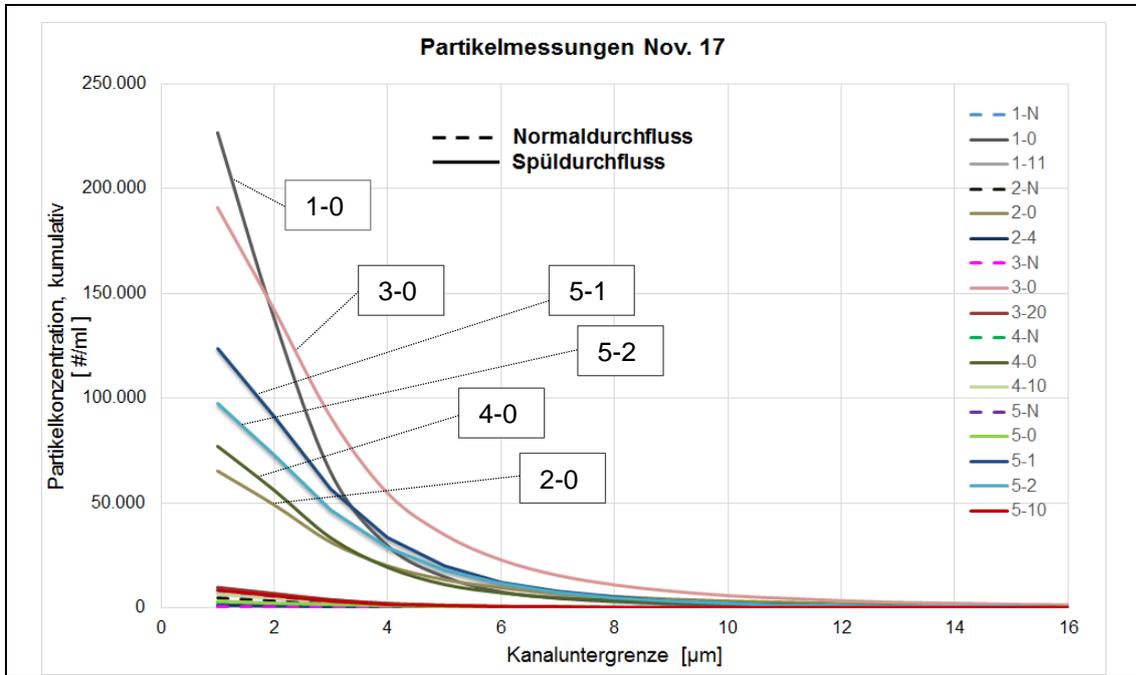


Abbildung 53: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, Nov. 17

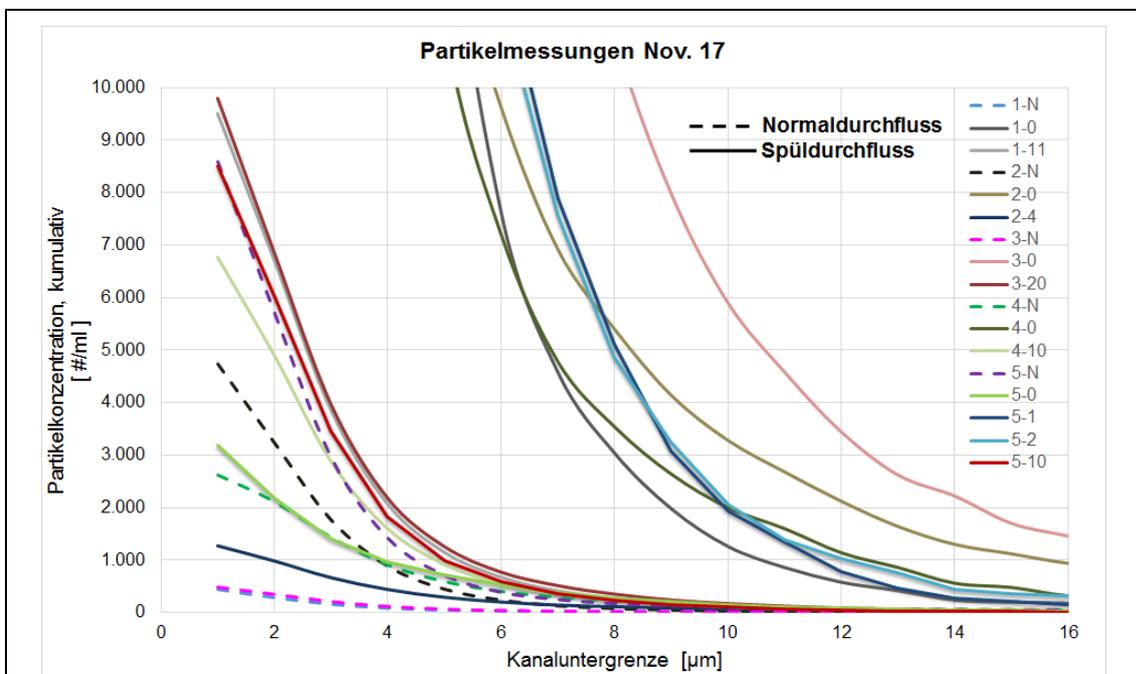


Abbildung 54: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, Nov. 17

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 55 die Konzentrationen aller Partikel, in Abbildung 56 ein Ausschnitt davon im Wertebereich bis 10.000 Partikel pro Milliliter, in dem alle Kurven getrennt voneinander erkennbar sind.

Hier ist erkennbar, dass die meisten Proben (alle bis auf die drei 1-0, 5-1 und 4-0) ebenfalls nur geringe Partikelkonzentrationen (< 50.000 pro ml) aufweisen. Die drei am stärksten belasteten Proben zeigten Konzentration von etwa 100.000 bis maximal 290.000 Stück pro ml.

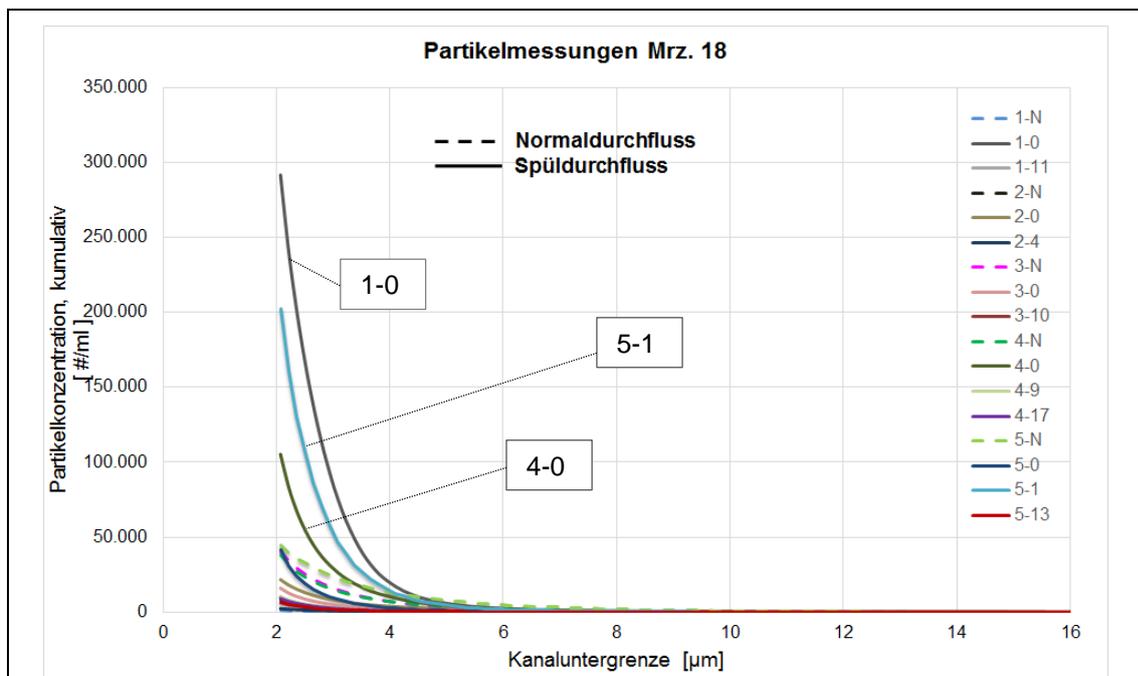


Abbildung 55: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, März 18

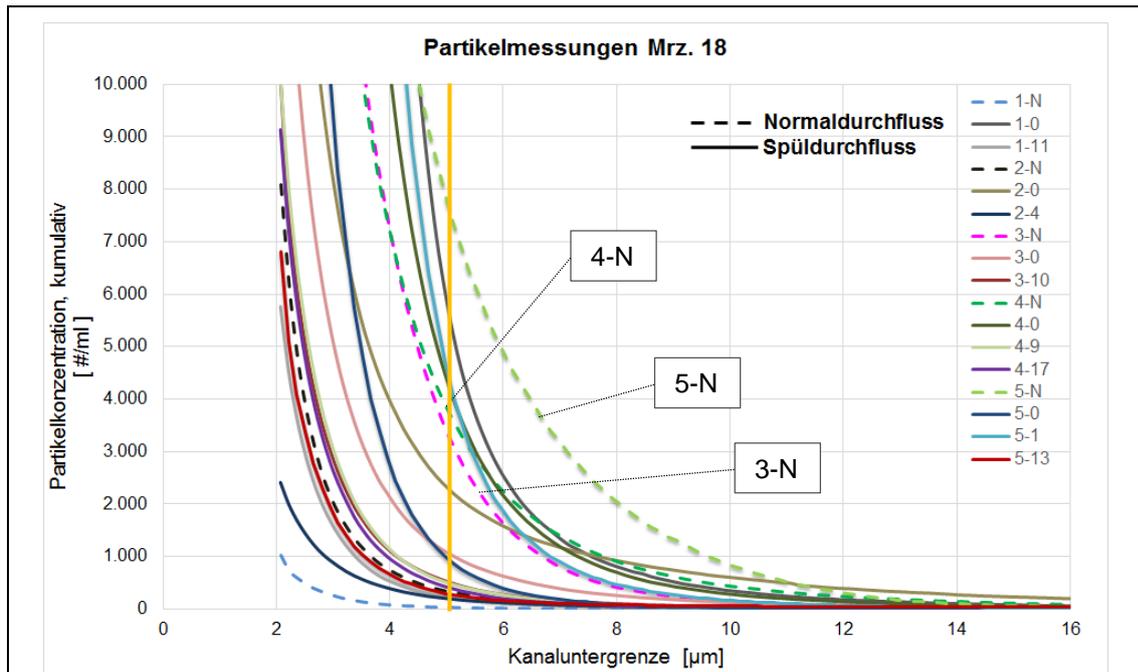


Abbildung 56: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, März 18

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 (siehe senkrechte gelbe Linie im Diagramm) in den Proben 3-N und 4-N und etwa 8000 Partikel dieser Größe in der Probe 5-N bestimmt worden.

Die Auswertung der Partikelverteilung für die Netzproben vom August 2018 ist nachfolgend dargestellt. Zur vergleichenden Einschätzung sind in den folgenden Diagrammen für die Netzproben vom August 2018 die kumulativen Partikelkonzentrationen dargestellt, in Abbildung 57 die Konzentrationen aller Partikel, in Abbildung 58 ein Ausschnitt davon im Wertebereich bis 10.000 Partikel pro Milliliter, in dem alle Kurven getrennt voneinander erkennbar sind.

Die Partikelfracht hat sich im Vergleich zu den vorherigen Untersuchungen erhöht. Vorher betrug die maximal feststellbare Partikelkonzentration etwa 300.000 Stück pro ml (mit der einzigen Ausnahme der Messung 1-0 im September 2017 mit 3,1 Millionen pro ml). Aber auch hier, in den Messungen der Beprobung vom August 2018, wiesen die meisten Proben nur geringe Partikelkonzentrationen (< 64.000 pro ml) auf. Die fünf am stärksten belasteten Proben zeigten Konzentration von etwa 214.000 bis maximal 865.000 Stück pro ml.

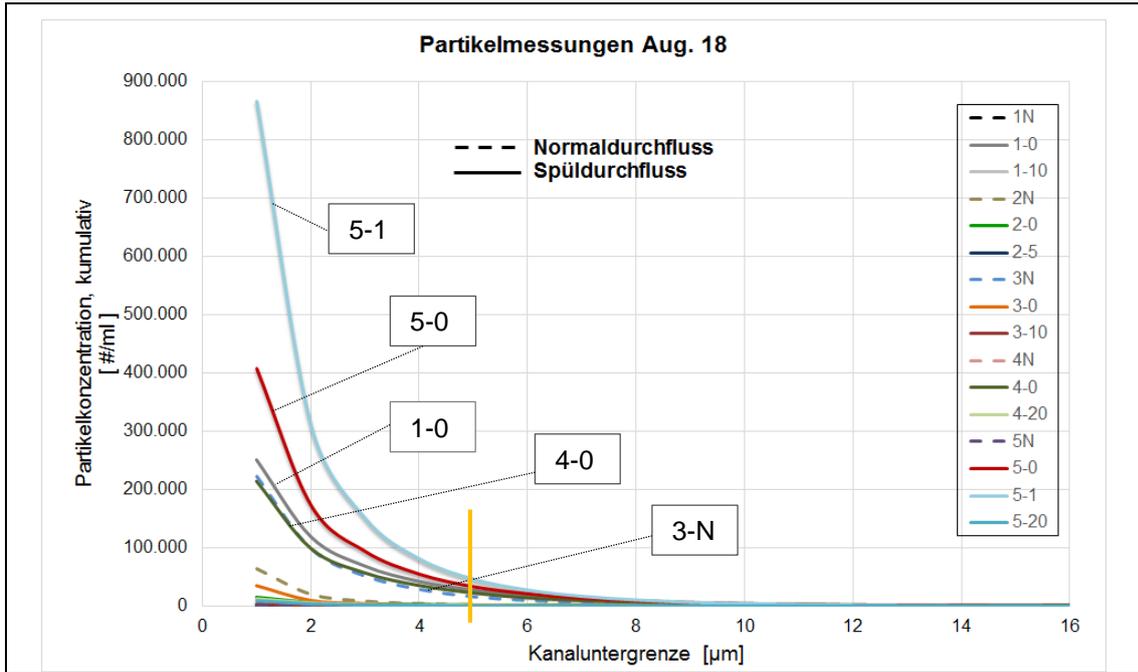


Abbildung 57: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, August 18

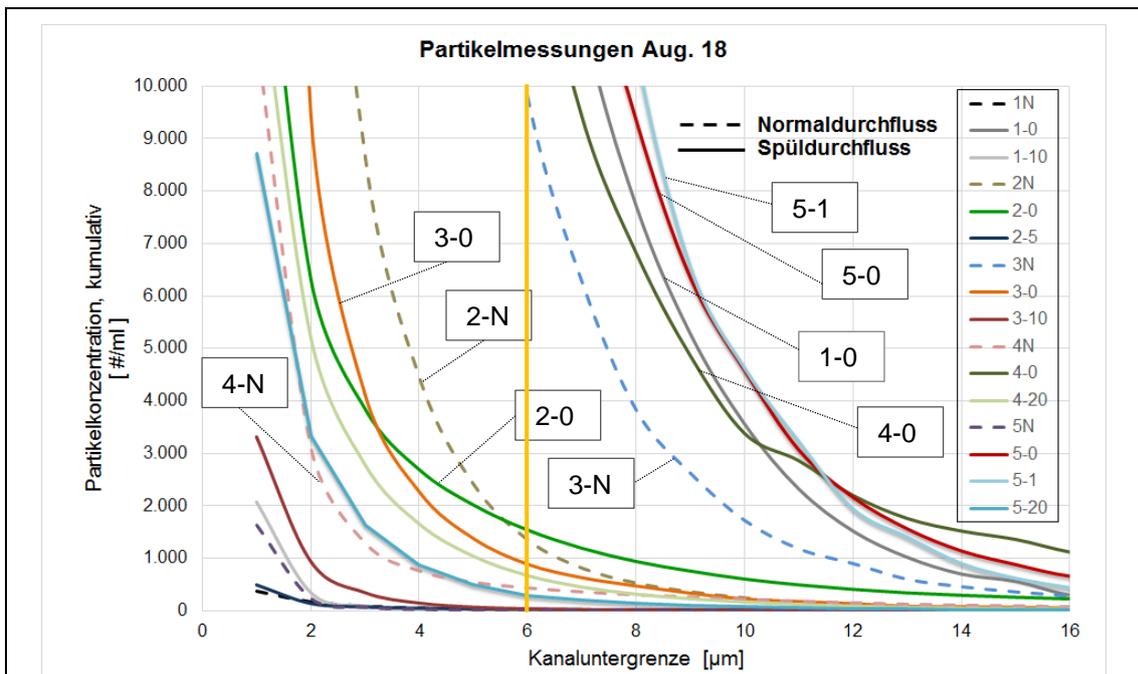


Abbildung 58: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, August 18

Es fällt auf, dass im Normalbetrieb zum Teil noch größere Partikel in höheren Mengen feststellbar sind als in den Messungen im März 2018. So sind entsprechend den senkrechten gelben Linien in den Diagrammen bei 5 µm und 6 µm Partikel-Durchmesser in den erkennbar Partikel-beladenen Normalbetriebproben folgende Konzentrationen festzustellen (Tabelle 29).

Tabelle 29: Beispiele aus Normalbetriebproben für Partikelkonzentrationen [Stück pro ml] in Abhängigkeit von der Partikelgröße

Probenahme-Datum	Normalbetrieb-Probe	5 µm Kanaluntergrenze	6 µm Kanaluntergrenze
Mrz. 2018	3-N	3.850	1.650
	4-N	4.200	2.200
	5-N	8.000	5.000
Aug. 2018	2-N	2.400	1.350
	3-N	16.000	10.000
	4-N	500	440

Abbildung 59 zeigt die Konzentrationen aller Partikel der untersuchten Proben vom April 2019, in Abbildung 60 ist ein Ausschnitt davon dargestellt, im Wertebereich bis 10.000 Partikel pro Milliliter, in dem alle Kurven getrennt voneinander erkennbar sind.

Hier ist erkennbar, dass es sich bei den am stärksten belasteten Proben um die jeweils ersten Spülproben handelt, nach 0 bis 3 Minuten Spülzeit (Probenbezeichnung x-0 bzw. x-1). Diese zeigten Konzentration von etwa 30.000 Stück pro ml (Probe 2-0) bis maximal 570.000 Stück pro ml (Probe 1-0).

Die Proben aus dem Normalbetrieb zeigten bei allen beprobten Hydranten Konzentrationen von weniger als 5.000 Stück pro ml. Dabei sind Partikel mit Partikelgrößen > 10 µm kaum noch feststellbar. Daher endet in den Diagrammen ab 2019 die x-Achse bei der Kanaluntergrenze von 10 µm.

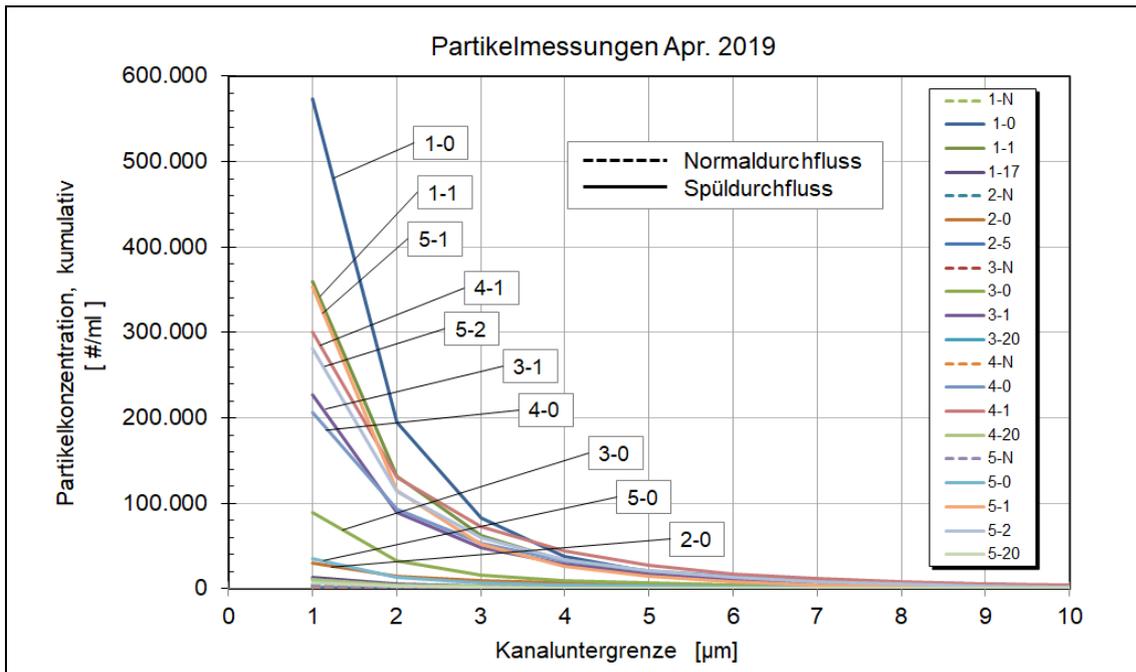


Abbildung 59: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, Apr. 19

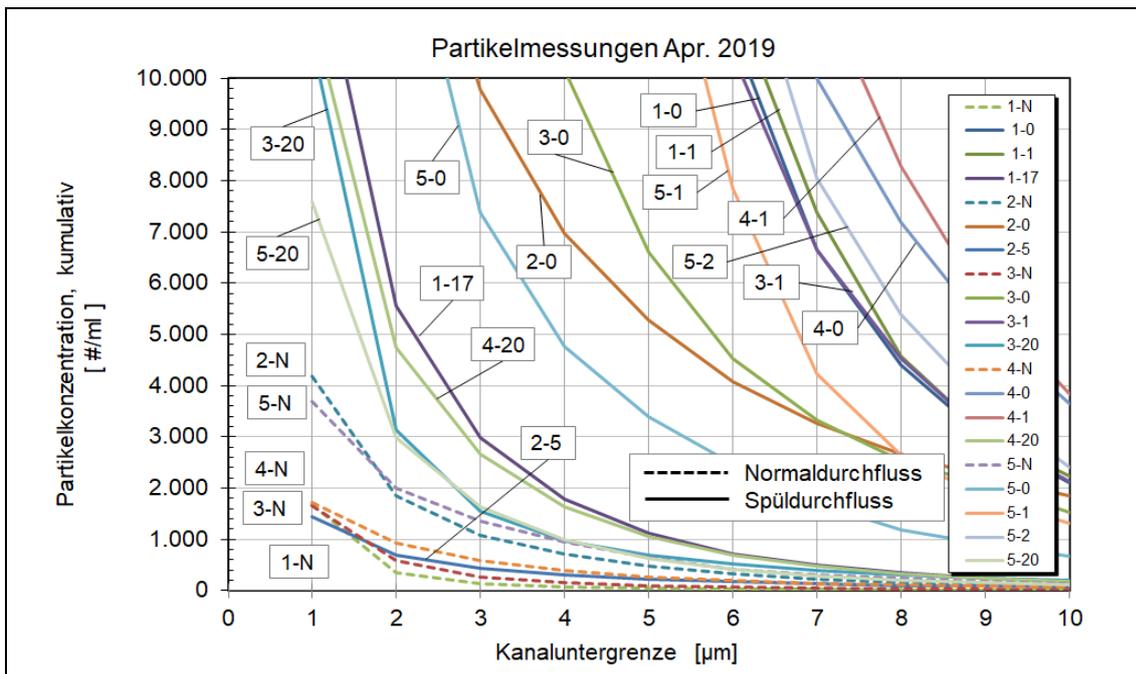


Abbildung 60: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, Apr. 19

Die Auswertung der Partikelverteilung für die Netzproben vom Dezember 2019 ist in den folgenden Diagrammen dargestellt. Zur vergleichenden Einschätzung sind ebenfalls die kumulativen Partikelkonzentrationen dargestellt, in Abbildung 61 die Konzentrationen aller Partikel, in Abbildung 62 ein Ausschnitt davon im Wertebereich bis 10.000 Partikel pro Milliliter, in dem alle Kurven getrennt voneinander erkennbar sind.

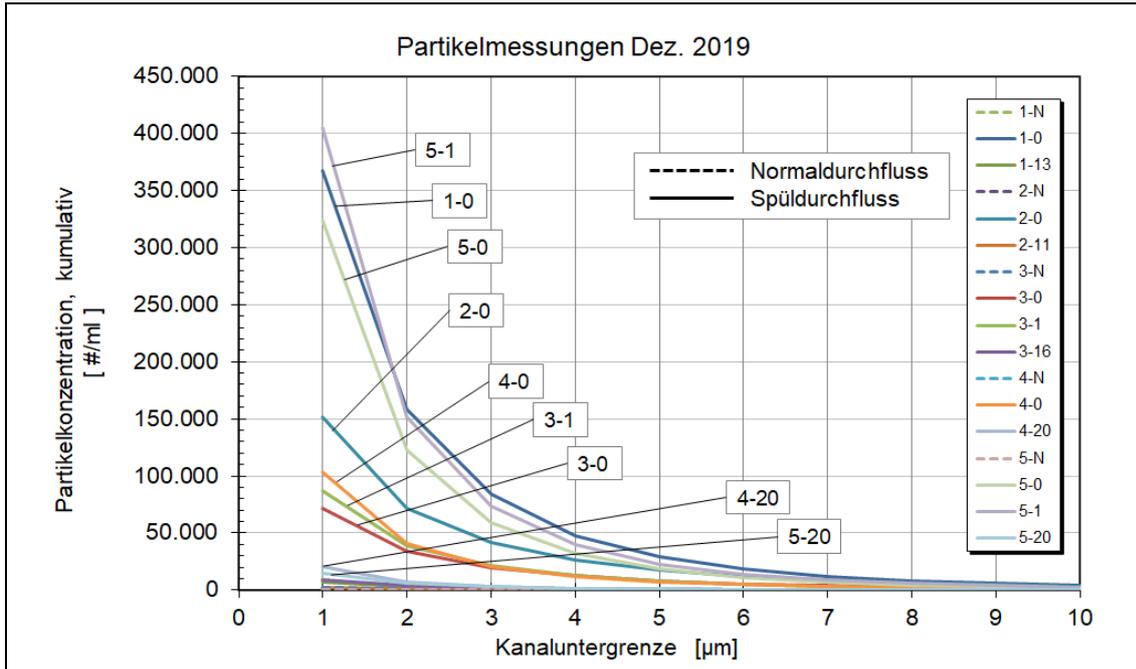


Abbildung 61: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, Dez. 19

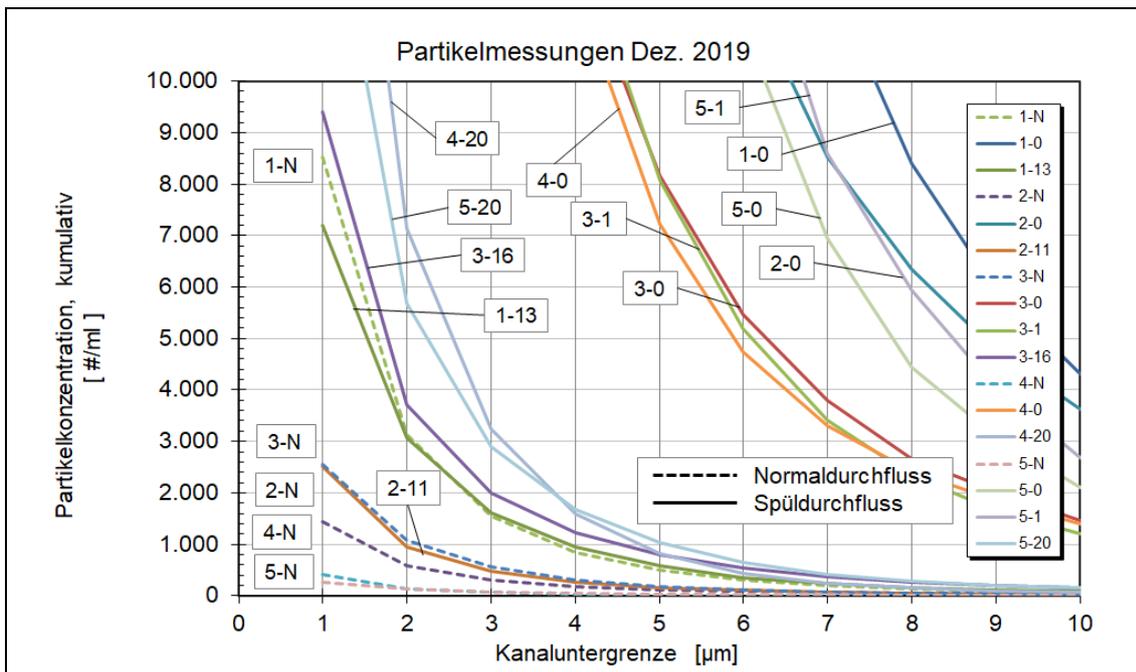


Abbildung 62: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, Dez. 19

Auch hier zeigten die jeweils ersten Spülproben, nach 0 bis 3 Minuten Spülzeit (Probenbezeichnung x-0 bzw. x-1) die höchsten Konzentration, von etwa 70.000 Stück pro ml (Probe 3-0) bis maximal 400.000 Stück pro ml (Probe 5-1). Die Proben aus dem Normalbetrieb zeigten bei allen beprobten Hydranten Konzentrationen von weniger als 9.000 Stück pro ml, meist

weniger als 3.000 Stück pro ml. Dabei sind Partikel mit Partikelgrößen > 10 µm kaum noch feststellbar.

Die Auswertung der Partikelverteilung für die Netzproben vom Juli 2020 ist in den folgenden Diagrammen dargestellt. Zur vergleichenden Einschätzung sind wieder die kumulativen Partikelkonzentrationen dargestellt, in Abbildung 63 die Konzentrationen aller Partikel, in Abbildung 64 ein Ausschnitt davon im Wertebereich bis 10.000 Partikel pro Milliliter, in dem alle Kurven getrennt voneinander erkennbar sind.

Auch hier zeigten die jeweils ersten Spülproben, nach 0 bis 3 Minuten Spülzeit (Probenbezeichnung x-0 bzw. x-1) die höchsten Konzentration, von etwa 30.000 Stück pro ml (Probe 4-0) bis maximal 680.000 Stück pro ml (Probe 1-0). Die Proben aus dem Normalbetrieb zeigten bei allen beprobten Hydranten Konzentrationen von weniger als 3.500 Stück pro ml. Dabei sind Partikel mit Partikelgrößen > 10 µm kaum noch feststellbar.

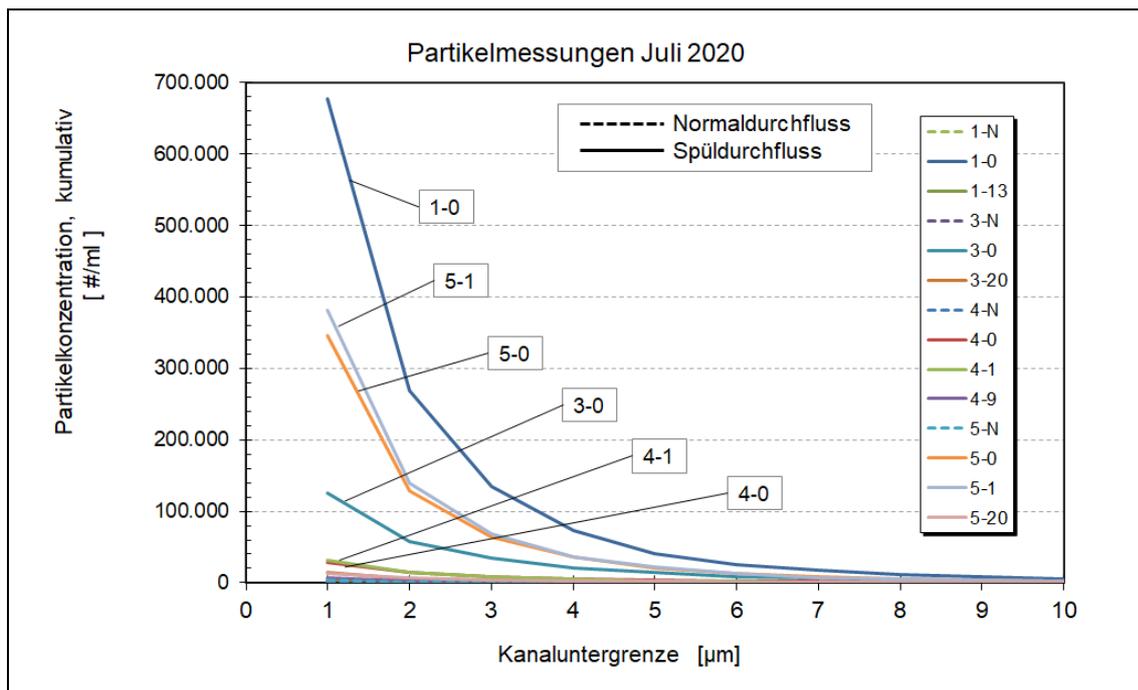


Abbildung 63: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, Juli 20

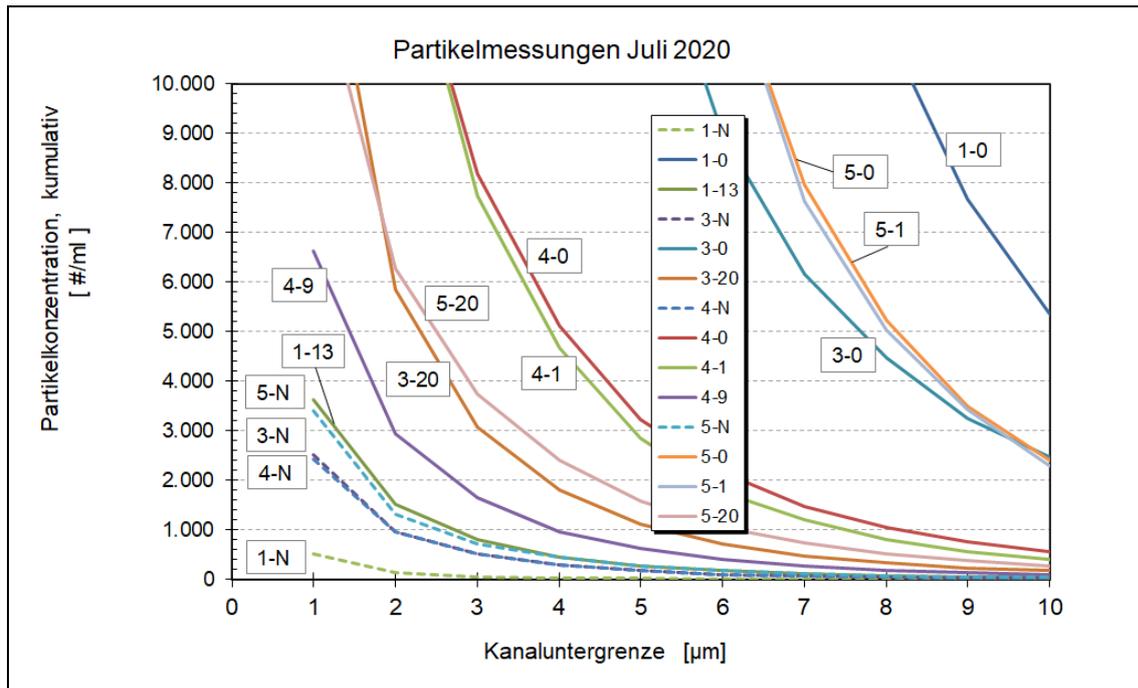


Abbildung 64: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, Juli 20

Die Partikelfracht hat sich im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen nicht wesentlich verändert. Die maximal feststellbaren Partikelkonzentrationen blieben in etwa in der gleichen Größenordnung von etwa 230.000 Stück pro ml (Probe 1-0 im Nov. 17) über etwa 580.000 Stück pro ml (Probe 1-0 im Apr. 19) und etwa 370.000 Stück pro ml (Probe 1-0 im Dez. 19) bis nun etwa 680.000 Stück pro ml (Probe 1-0 im Jul. 20). Die Probe 1-0 zeigte meistens die höchsten Partikelkonzentrationen, lediglich in der Probe 5-1 lagen die Partikelkonzentrationen gelegentlich höher, und zwar im Aug. 18 bei 860.000 Stück pro ml und im Dez. 19 bei 400.000 Stück pro ml.

Interessant ist bei der Probenahmestelle 1, dass die erste Spülprobe (Probe 1-0) jeweils vergleichsweise sehr hohe Partikelkonzentrationen aufweist, im Normalbetrieb und am Ende der Spülung sind die Werte allerdings oft im Vergleich zu den anderen Stellen sehr niedrig. Die Spülaktionen an dieser Probenahmestelle erwiesen sich somit als äußerst effektiv.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

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 zum Zeitpunkt der Probenahme auch nicht erfasst werden konnten.

Weitere Netzbeprobungen – jeweils zeitverzögert nach Umstellung der Wassermischungsverhältnisse – wurden geplant und durchgeführt. Die nächste Beprobung 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 und bis Dezember 2019 beibehalten wurde. Diese erste Beprobung lag demnach zeitlich etwa drei Monate nach der Umstellung.

Die Beprobungen vom März 2018 und die Analysen und Messungen an diesen Proben ergaben (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 von da an eingestellten Mischungsverhältnisses von 60% WBV-Wasser zu 40 % WTV-Wasser wurde über einen längeren Zeitraum durch mehrere Beprobungen beobachtet, ohne dass weitere Wasserveränderungen vorgenommen wurden. Ziel dieser Beprobungen war es, die Entwicklung hinsichtlich möglicher Umbildungsprozesse an den Deckschichten an den Innenwandungen der Rohrleitungen im Kontakt mit dem Wasser im so eingestellten Mischungsverhältnis zu beobachten und zu erfassen. Weitere Beprobungen erfolgten daher nach der Beprobung im März 2018 noch im August 2018, im April 2019 und im Dezember 2019.

Danach ist festzustellen, dass bei Betrachtung der Partikelmessungen keine signifikanten Veränderungen auftraten. Im Normalbetrieb wurde an allen Probenahmestellen eine geringe Partikelkonzentration (< 10.000 Stück pro ml) festgestellt. Durch den Spülbetrieb wurde die Partikelkonzentration deutlich erhöht, die sich aber in der Regel nach kurzer Zeit (3 bis 6 Minuten Spüldauer) schon wieder verringerte. Bis zum Erreichen der ursprünglichen geringen Partikelfracht wurde allerdings oft eine Spüldauer von etwa 60 Minuten benötigt.

Der Vergleich der gelösten zu den partikulär vorhandenen Analysenwerten lieferte bei der Betrachtung der vier Beprobungen – ohne Veränderung des Mischungsverhältnisses der Wasserzusammensetzung – eine Auffälligkeit. Bei der Beprobung im Dezember 2019 konnte ein leichter Anstieg im partikulären Anteil von Calcium und Silizium festgestellt werden. Dies kann als ein Indiz dafür gedeutet werden, dass nach der nunmehr zweijährigen Betriebsweise mit Wasser des gleichen Mischungsverhältnisses (40% WTV) die Deckschichtbestandteile an den Rohrwandungen zum Teil abgelöst und als partikuläre Fracht ins Wasser gelangen konnten.

Es sollte beobachtet werden, ob nach der letzten Umstellung des Mischungsverhältnisses auf 50% WTV weitere Deckschichtbestandteile abgelöst werden können. Die anschließende Netz-Beprobung wurde daher zeitnah durchgeführt, im Juli 2020, also wenige Monate nach der letzten Wasserumstellung.

Ob sich eine Erhöhung des Rostwasserrisikos nach einem längeren Betrieb einstellt, lässt sich durch begleitende Analysen des Wassers überprüfen. Ein fortgeführtes Monitoring der Wasserbeschaffenheit im Netz ist daher empfehlenswert.

5 Anhang

- Anhang 1: Einzel-Diagramme der Partikelmessungen (2017 bis 2020)
- Anhang 2: Schadensanalyse von Wasserzählergehäusen aus Messing mit sichtbaren Korrosionserscheinungen an der Außenoberfläche (2018)

5.1 Anhang 1: Einzel-Diagramme der Partikelmessungen (2017 bis 2020)

Zur Ermittlung der Partikelgrößen und der Verteilung in den einzelnen Wasserproben wurde das Messverfahren der Laserlichtblockade (Klotz: Abakus mobil) angewendet.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen Bis Ende 2018 sind in den folgenden Diagrammen dargestellt, für die Beprobung im September 2017 in Abbildung 65 bis Abbildung 69, für die Beprobung im November 2017 in Abbildung 70 bis Abbildung 74, für die Beprobung im März 2018 in Abbildung 75 bis Abbildung 79 und für die Beprobung im August 2018 in den folgenden Diagrammen dargestellt (Abbildung 80 bis Abbildung 84).

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen ab 2019 sind für die Beprobung im April 2019 in Abbildung 85 bis Abbildung 89 dargestellt, für die Beprobung im Dezember 2019 in Abbildung 90 bis Abbildung 94 und für die Beprobung im Juli 2020 in Abbildung 95 bis Abbildung 98.

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 (bis 2018 rote Kurve, ab 2019 grüne 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. Also sind mindestens 95 % aller Partikel kleiner als 10 µm im Durchmesser.

Die prozentuale Verteilung der Oberflächen und des Volumens stellt sich differenzierter dar. In den Proben mit Normaldurchfluss, in denen die Partikelkonzentrationen naturgemäß am geringsten vorlagen, war ein höherer prozentualer Anteil an Partikeln mit größerer Oberfläche und größerem Volumen feststellbar. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass die durch die Spülaktionen mobilisierten Partikel, die in größerer Konzentration beim Spüldurchfluss ermittelt werden konnten, im Wesentlichen aus Partikeln mit kleinerem Volumen und kleinerer Oberfläche bestanden.

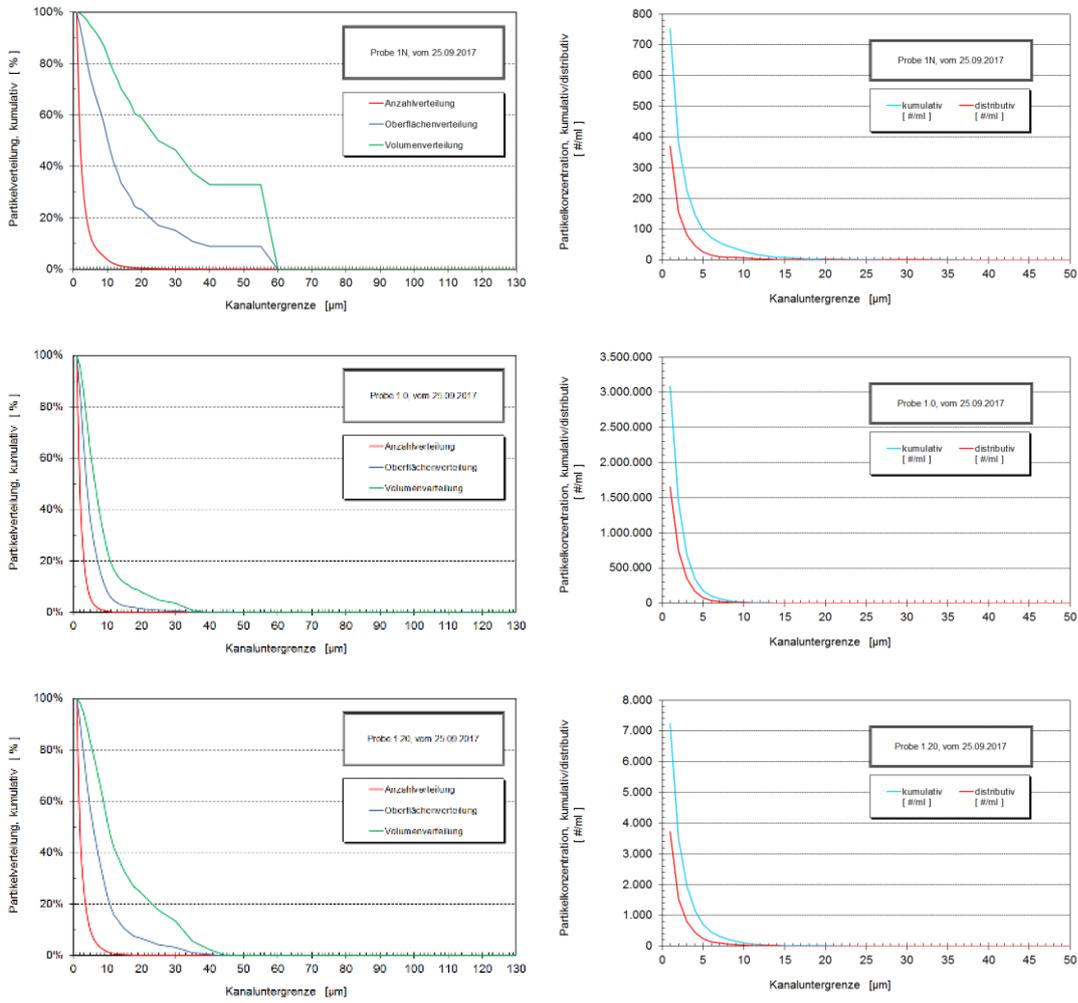


Abbildung 65: Partikelmessungen der Proben (Sep. 17) der Netzstation 1 (Landgraben)

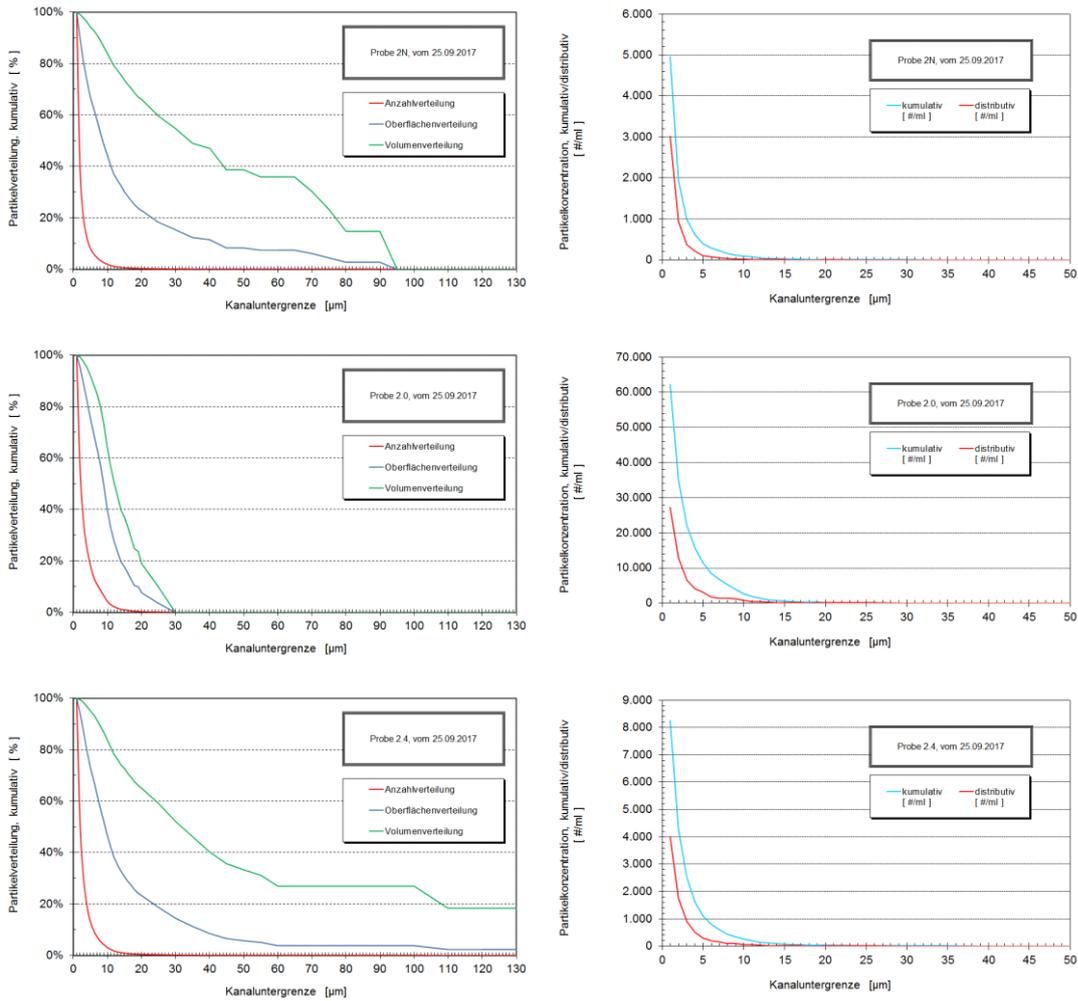


Abbildung 66: Partikelmessungen der Proben (Sep. 17) der Netzstation 2 (Friedrichstraße)

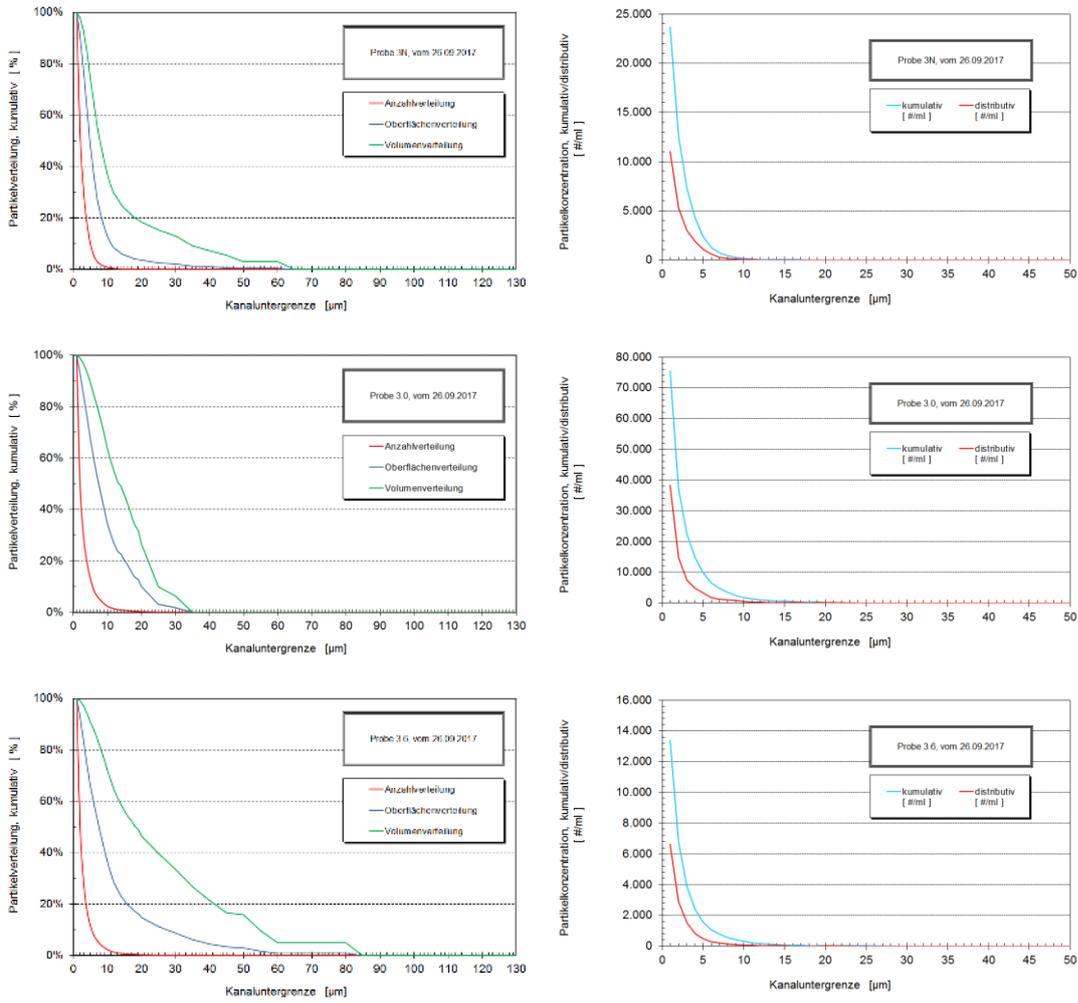


Abbildung 67: Partikelmessungen der Proben (Sep. 17) der Netzstation 3 (Römerstraße)

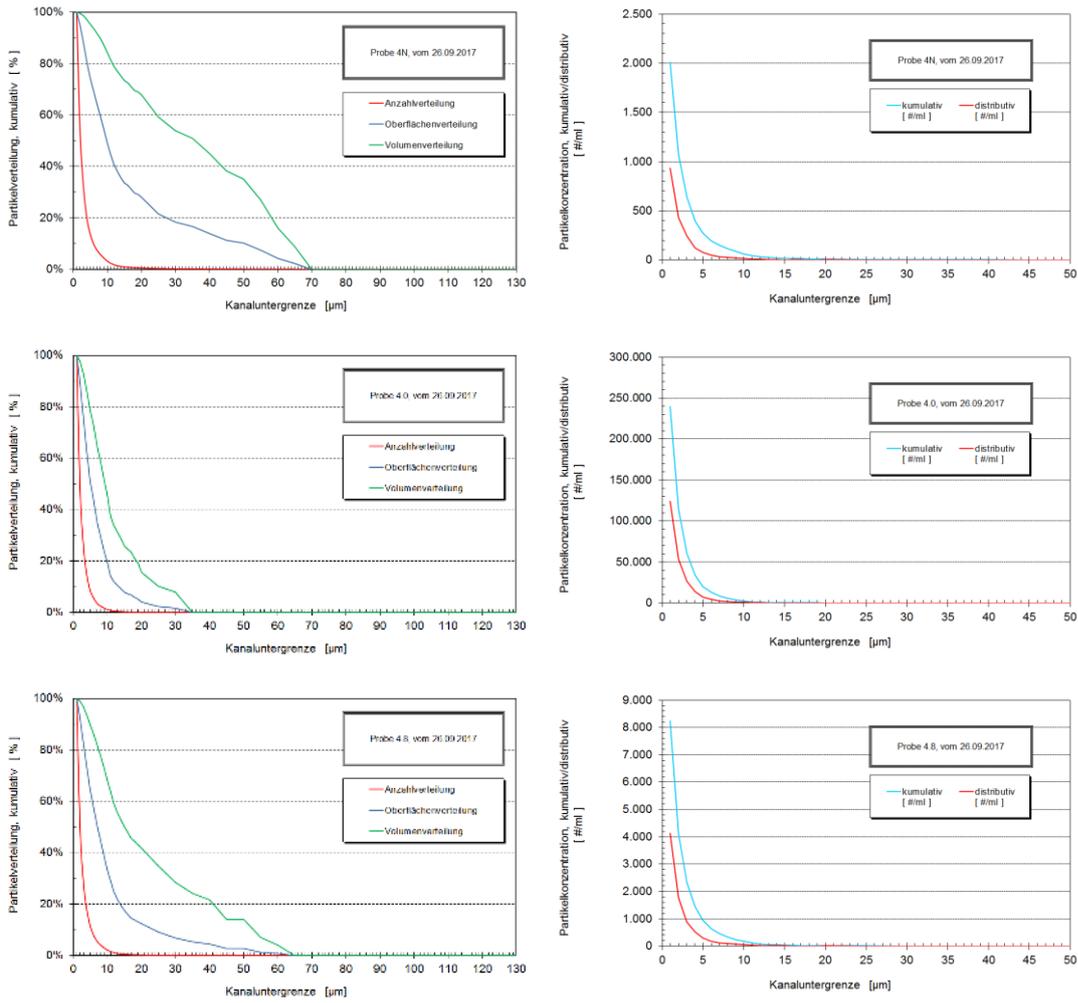


Abbildung 68: Partikelmessungen der Proben (Sep. 17) der Netzstation 4 (Gartenstraße)

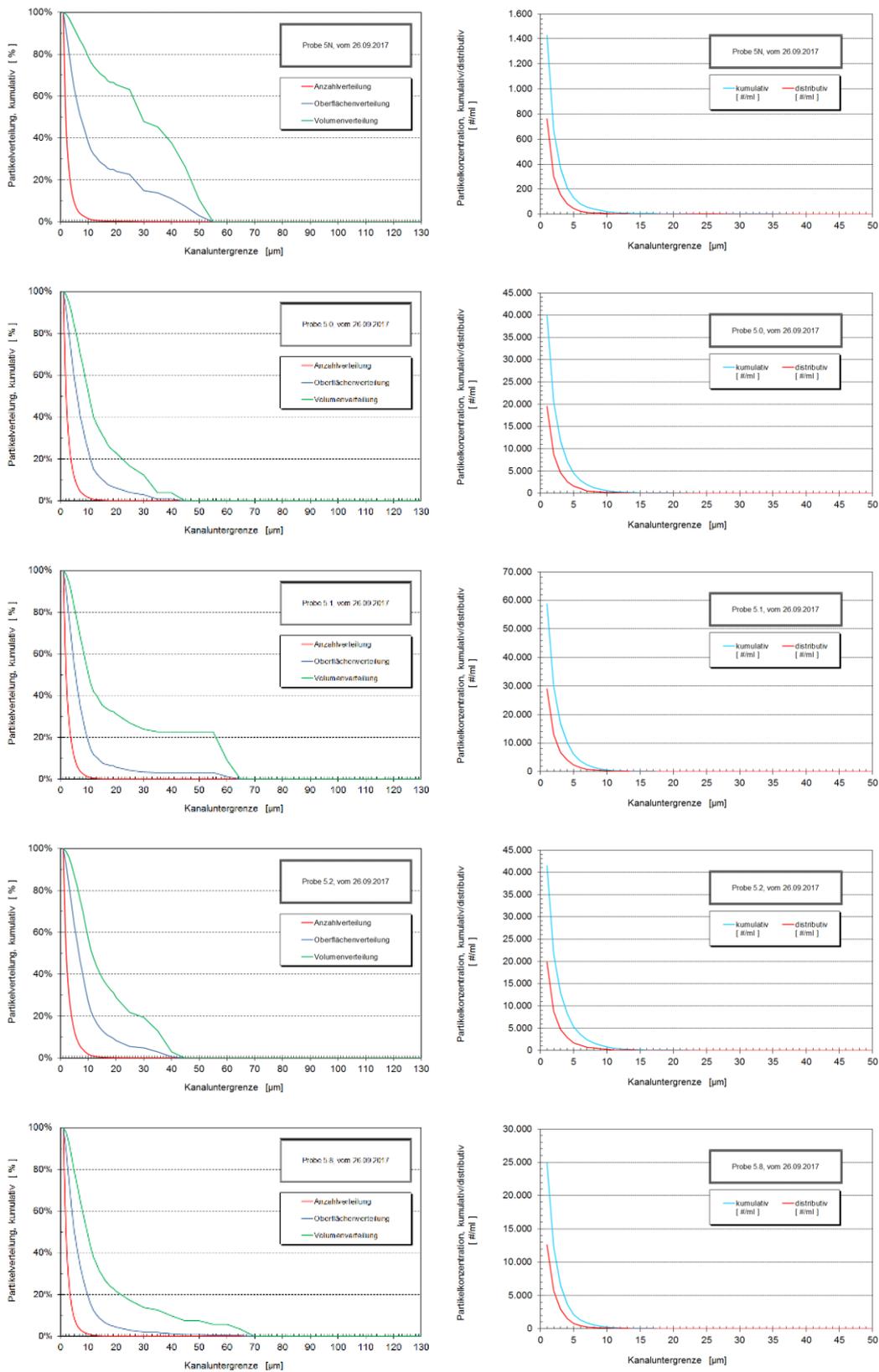


Abbildung 69: Partikelmessungen der Proben (Sep. 17) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

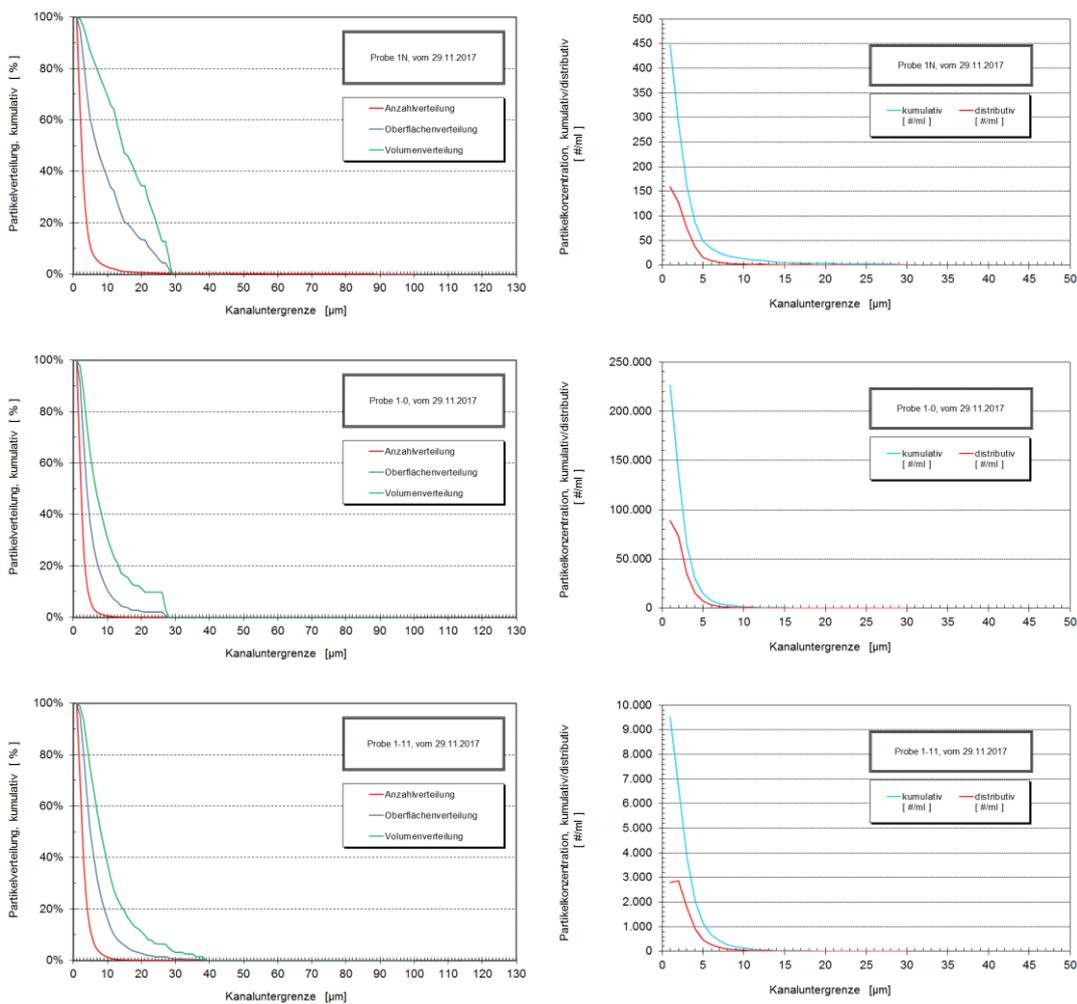


Abbildung 70: Partikelmessungen der Proben (Nov. 17) der Netzstation 1 (Landgraben)

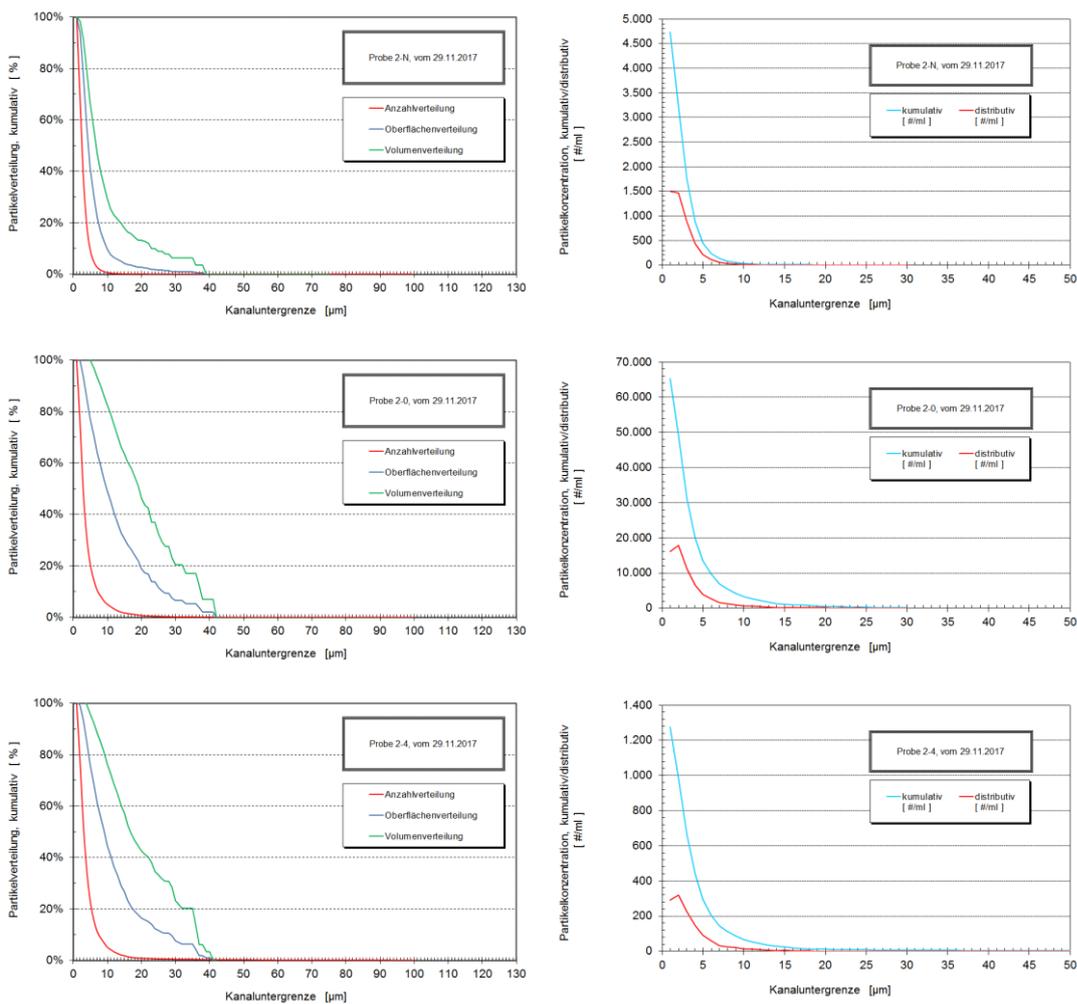


Abbildung 71: Partikelmessungen der Proben (Nov. 17) der Netzstation 2 (Friedrichstraße)

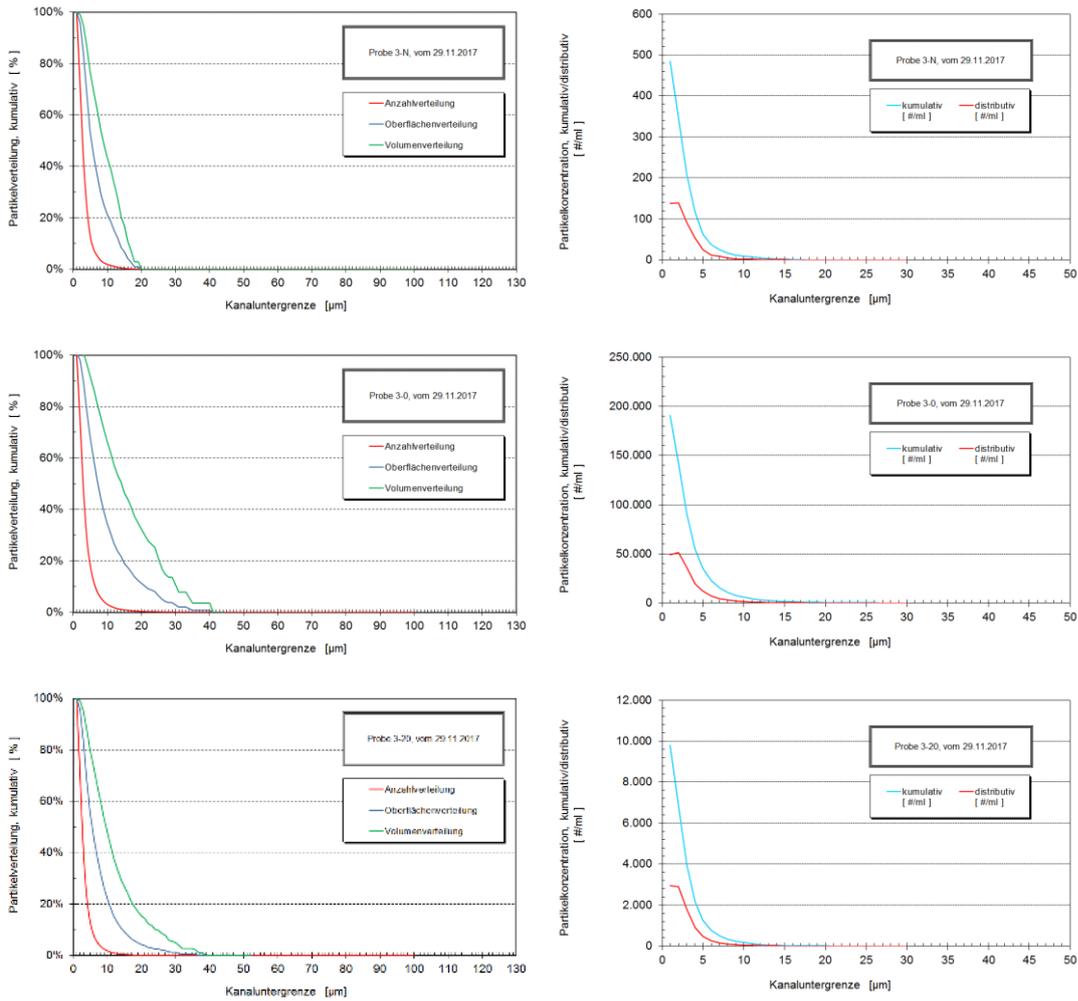


Abbildung 72: Partikelmessungen der Proben (Nov. 17) der Netzstation 3 (Römerstraße)

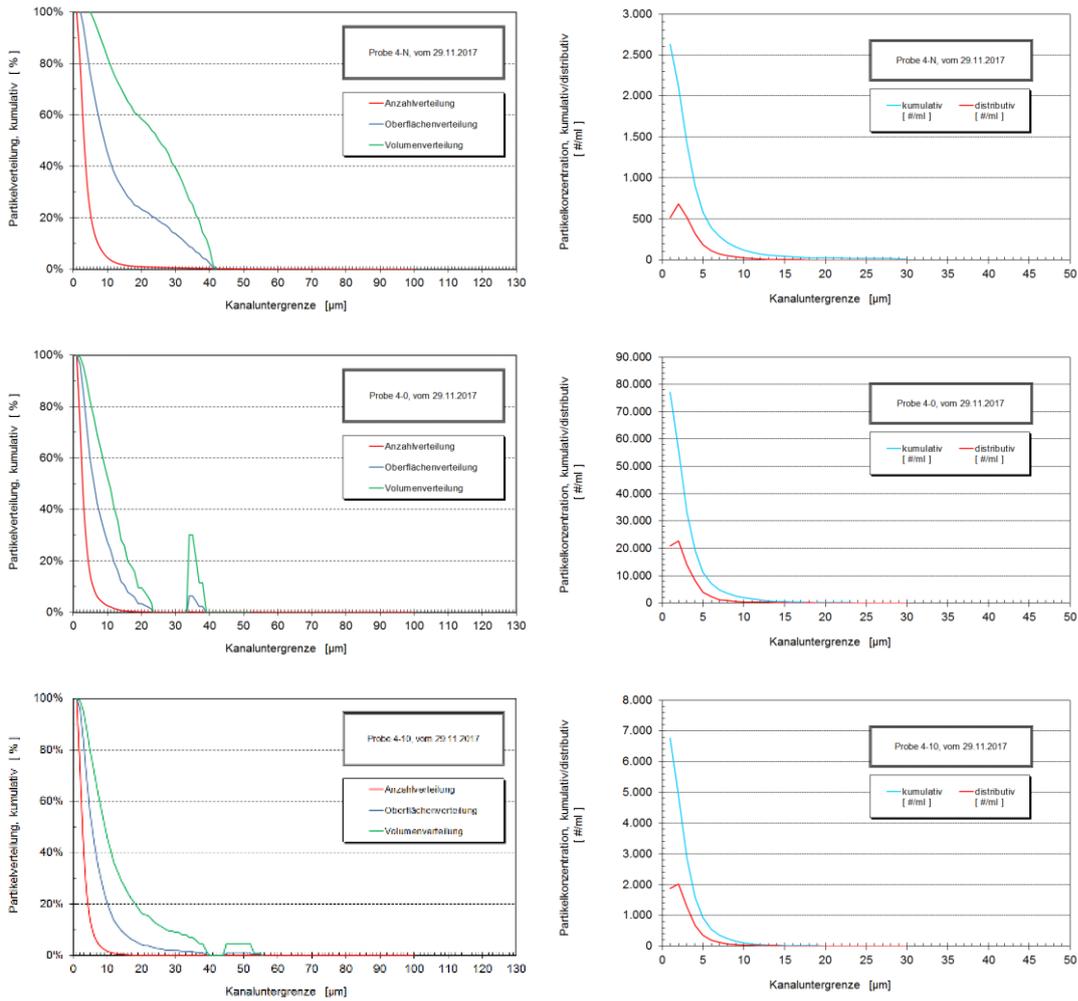


Abbildung 73: Partikelmessungen der Proben (Nov. 17) der Netzstation 4 (Gartenstraße)

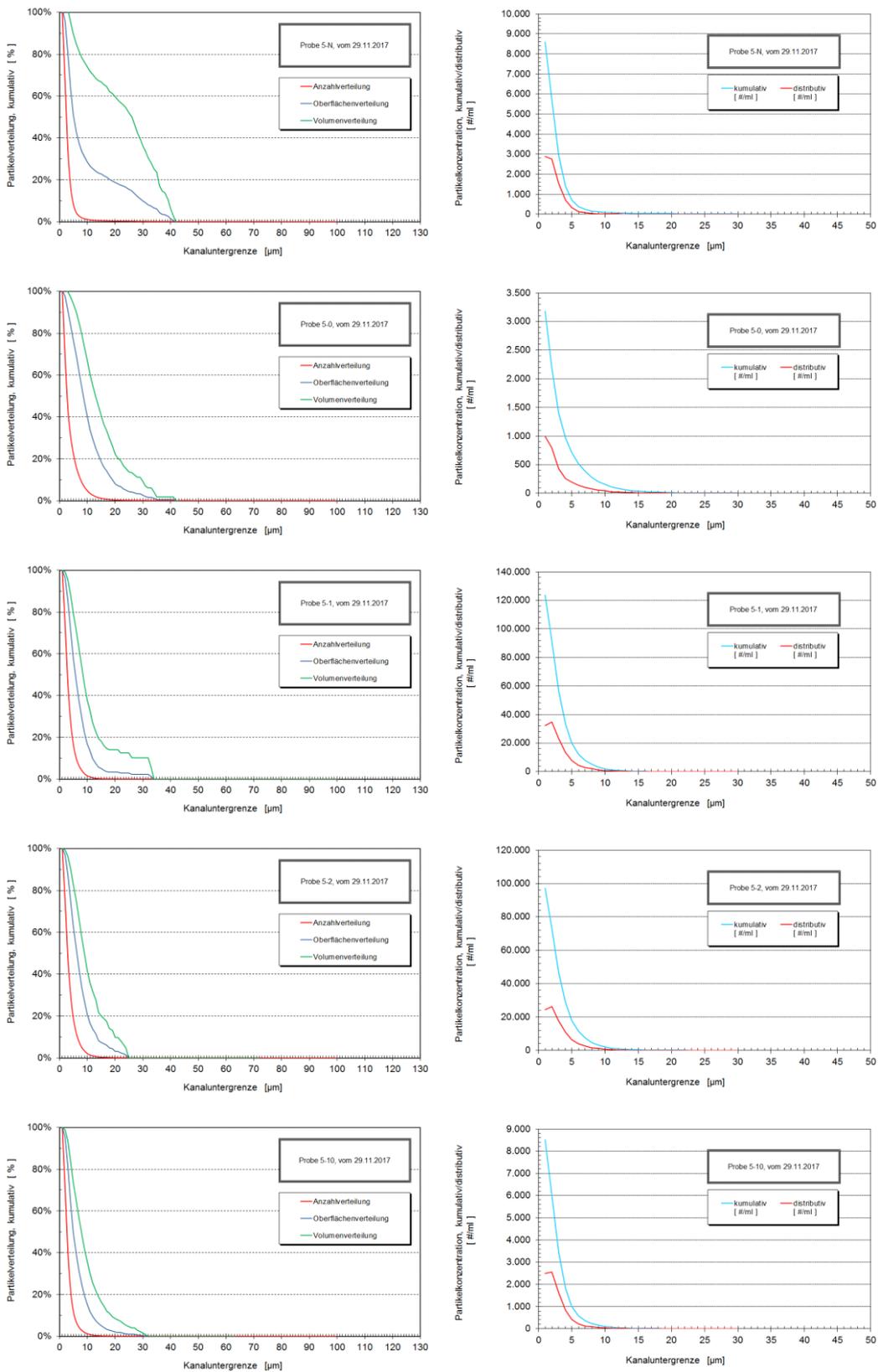


Abbildung 74: Partikelmessungen der Proben (Nov. 17) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

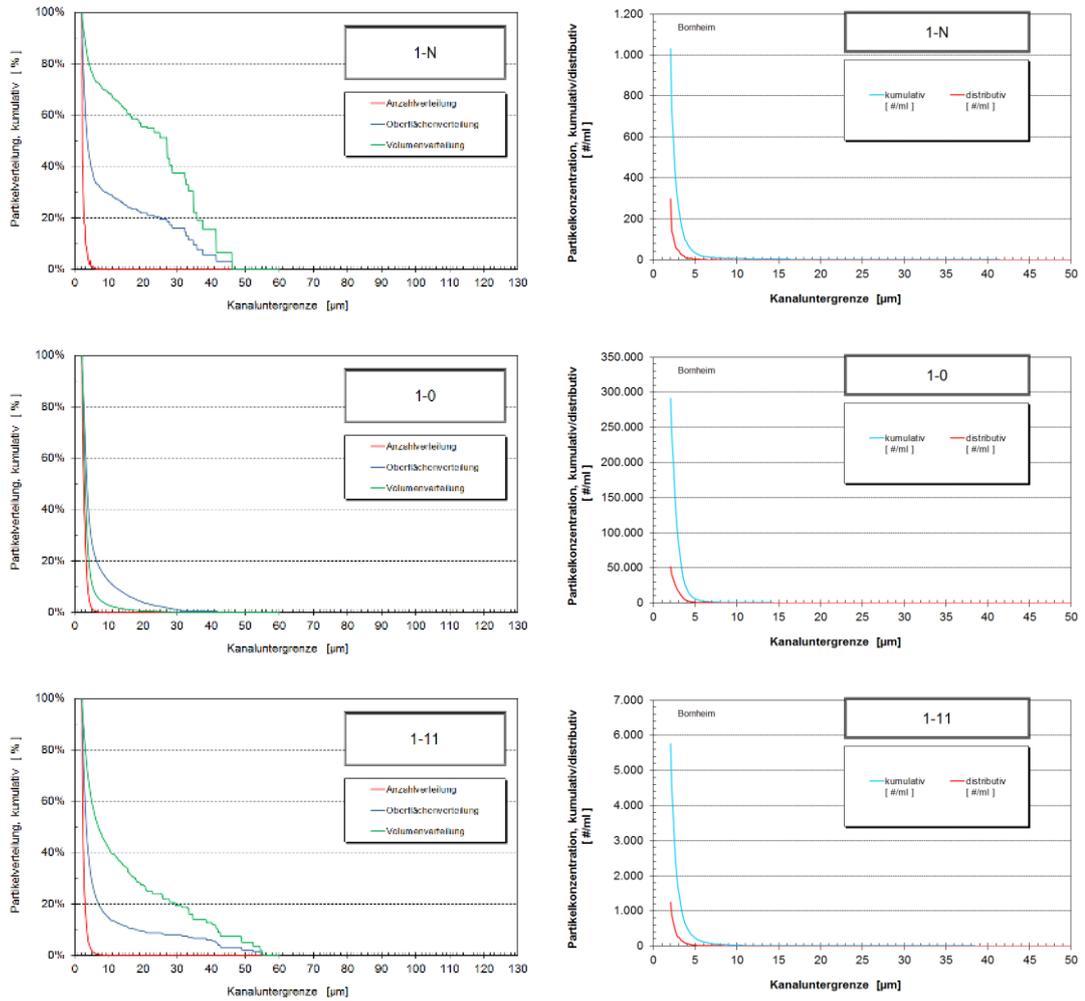


Abbildung 75: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 1 (Landgraben) vom März 2018

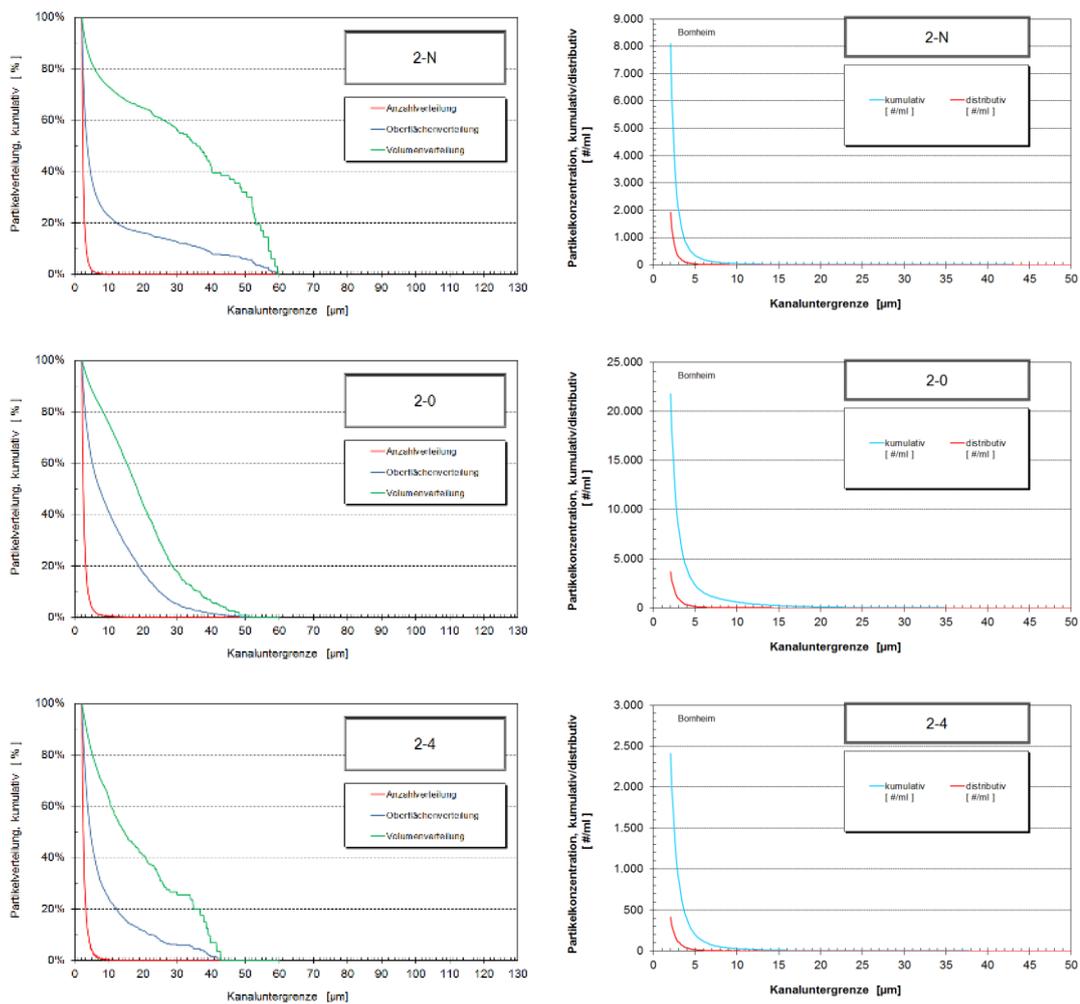


Abbildung 76: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 2 (Friedrichstraße) vom März 2018

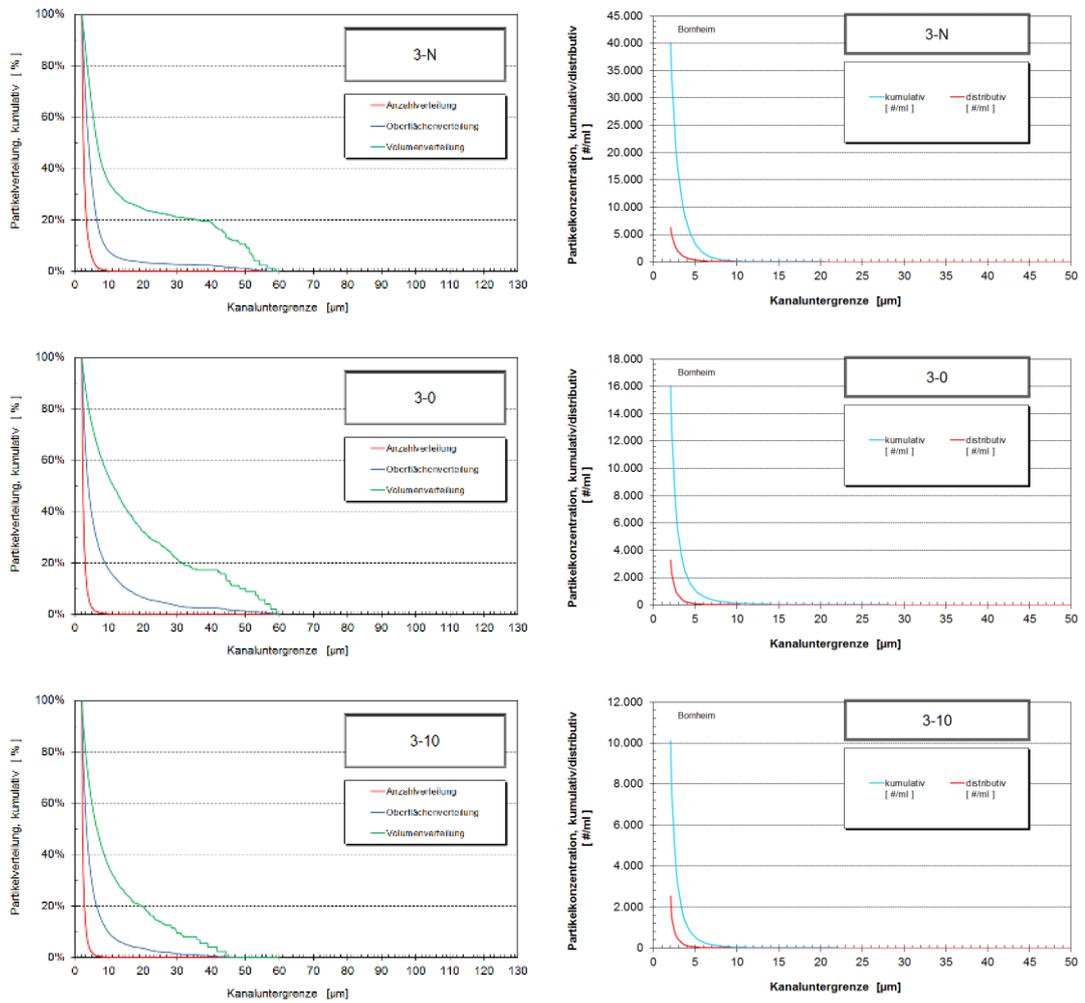


Abbildung 77: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 3 (Römerstraße) vom März 2018

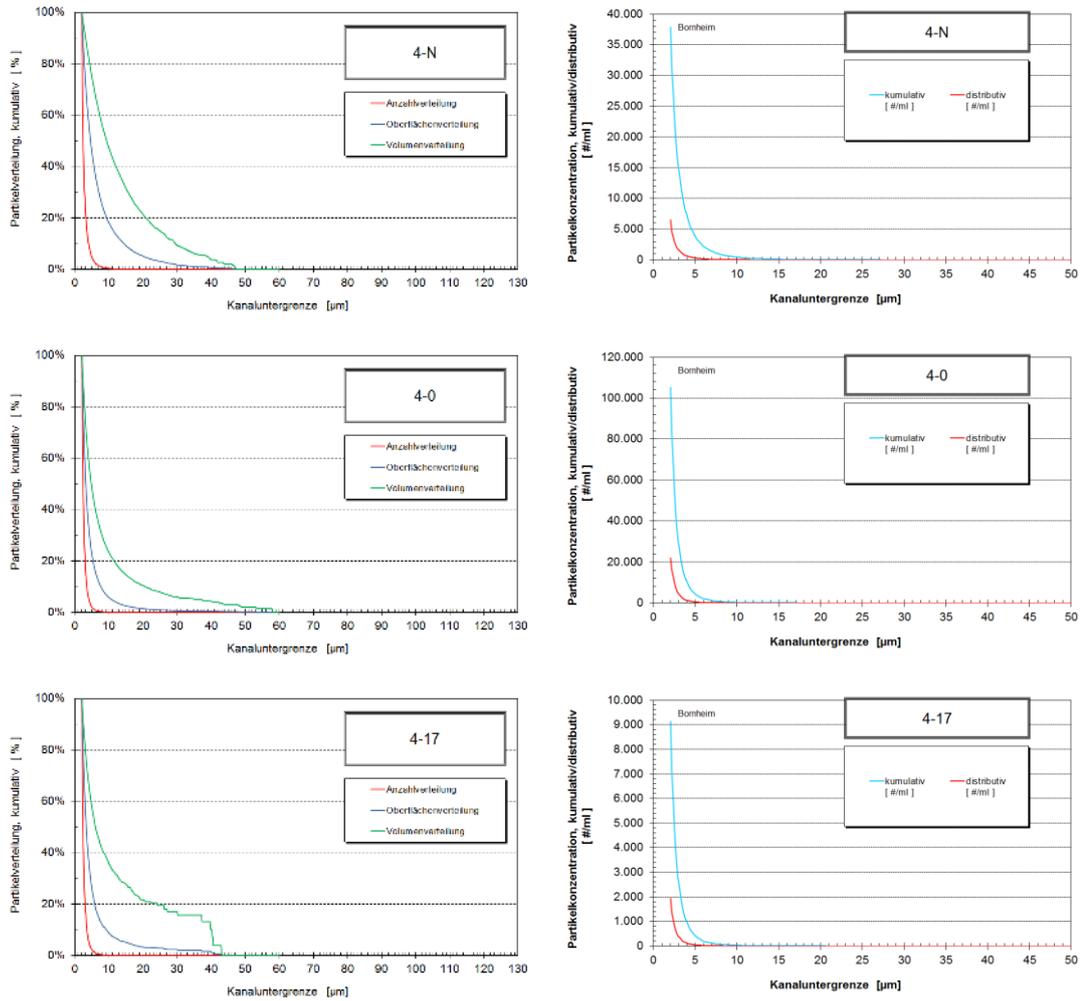


Abbildung 78: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 4 (Gartenstraße) vom März 2018

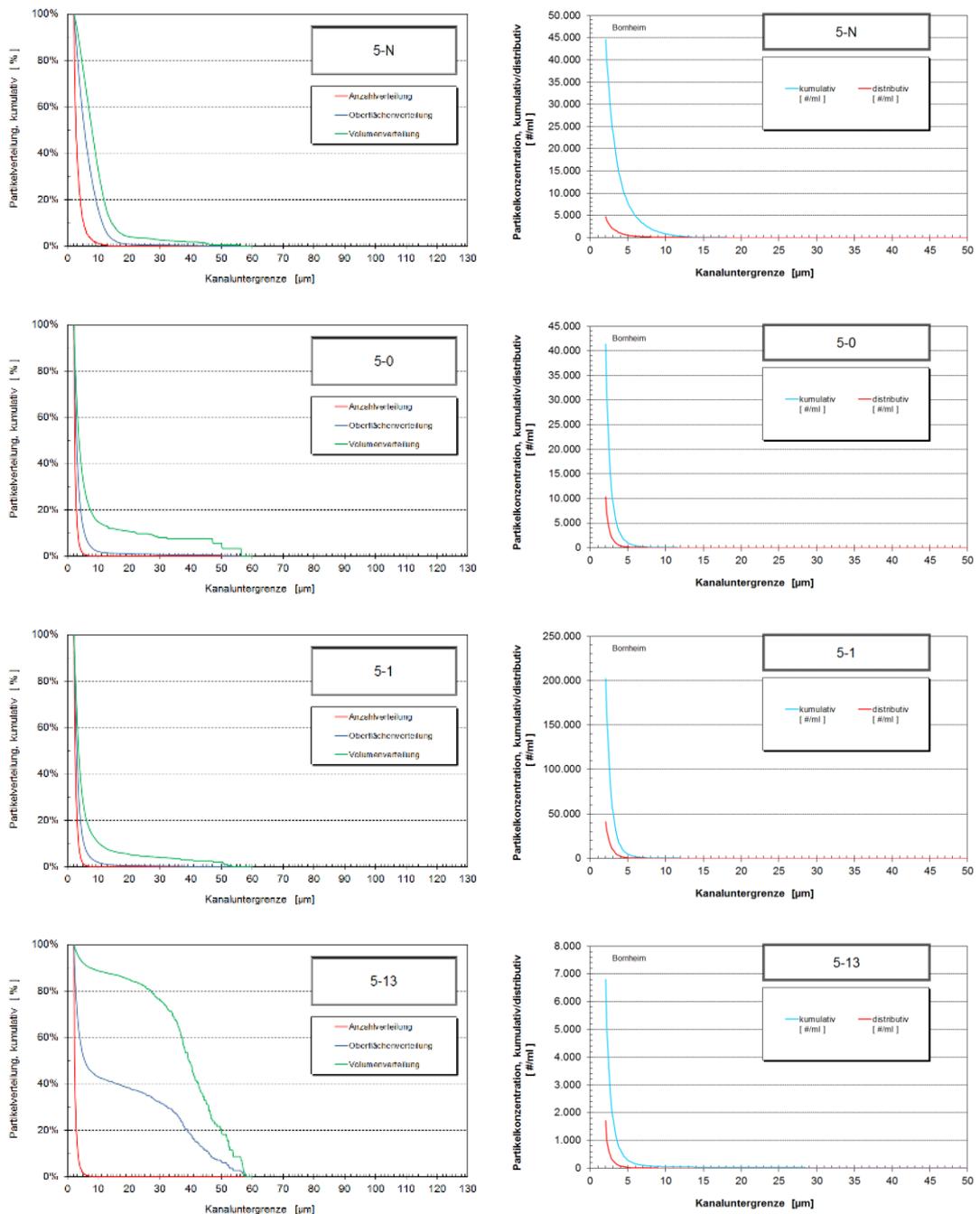


Abbildung 79: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 5 (Jodokusstraße) vom März 2018

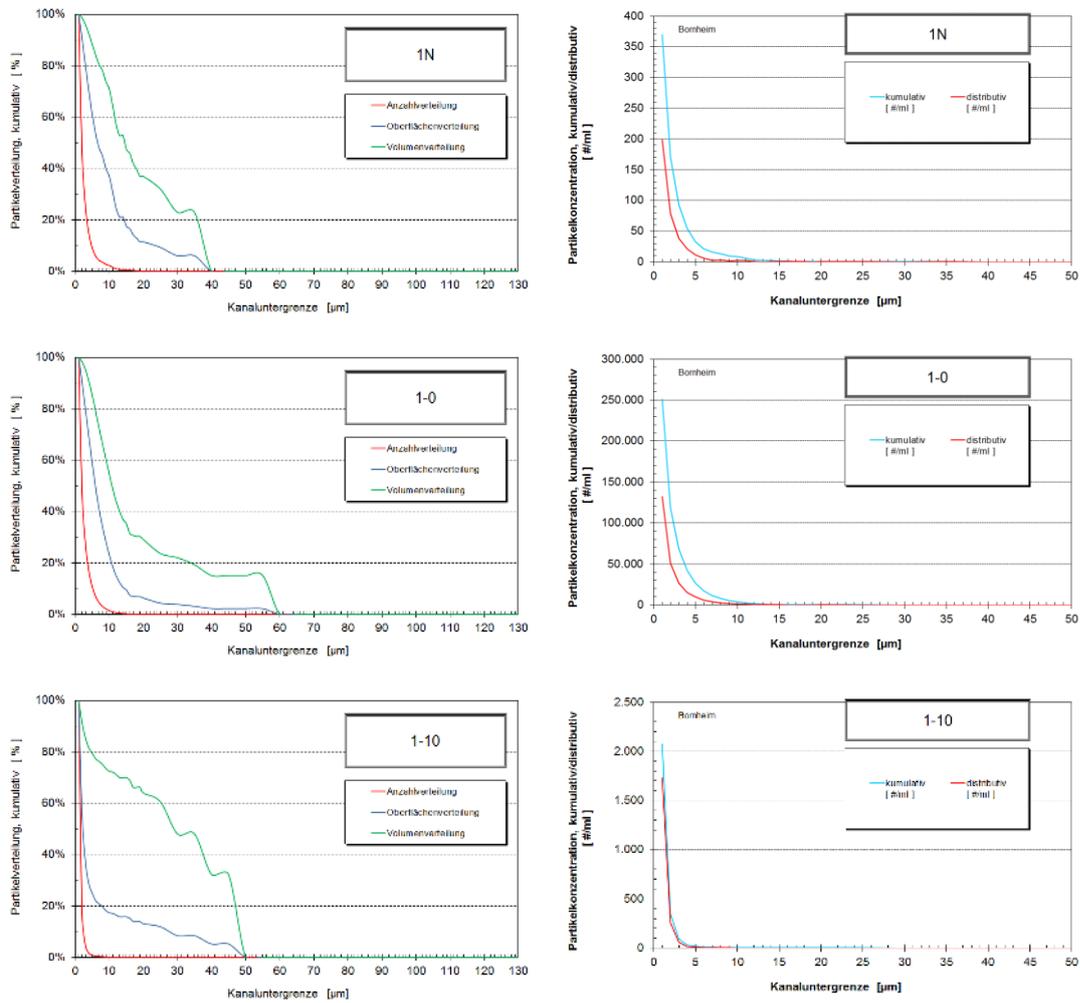


Abbildung 80: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 1 (Landgraben) vom August 2018

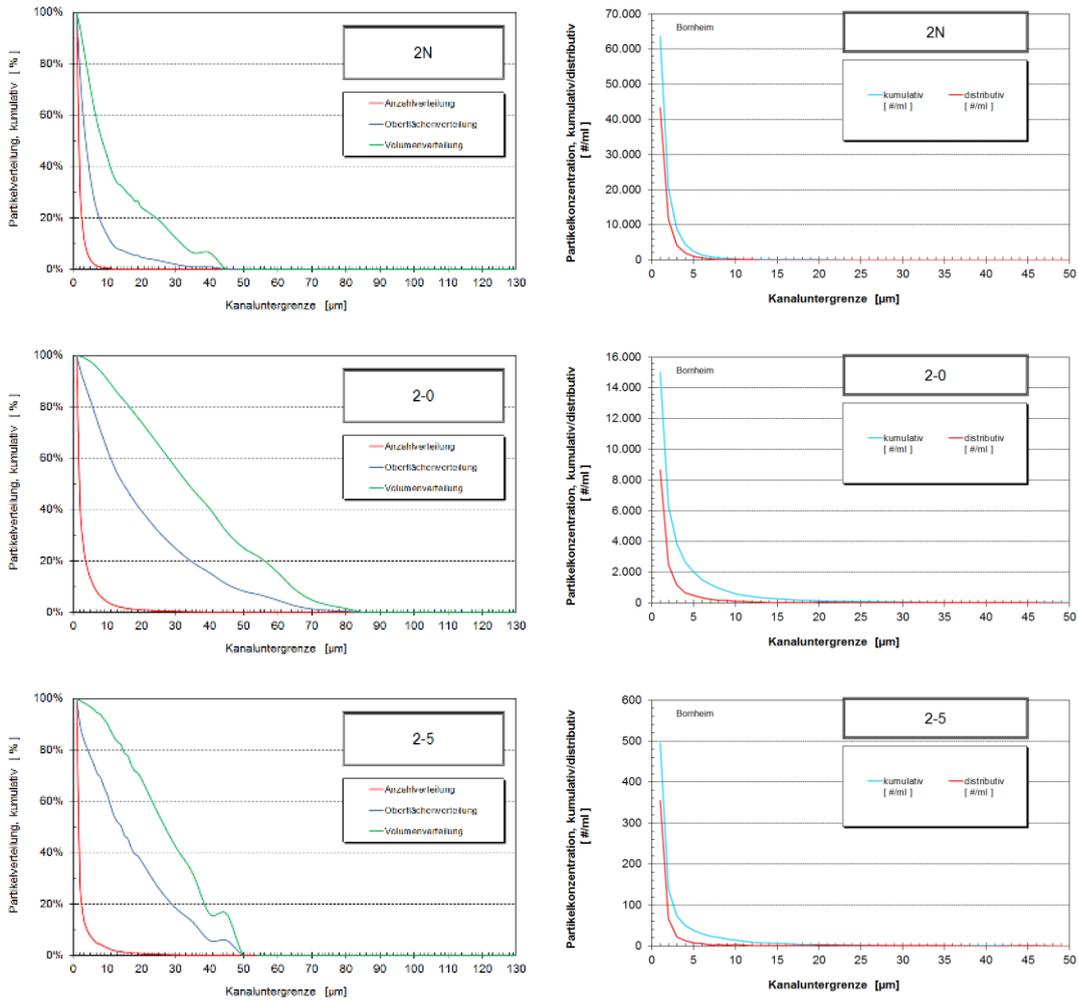


Abbildung 81: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 2 (Friedrichstraße) vom August 2018

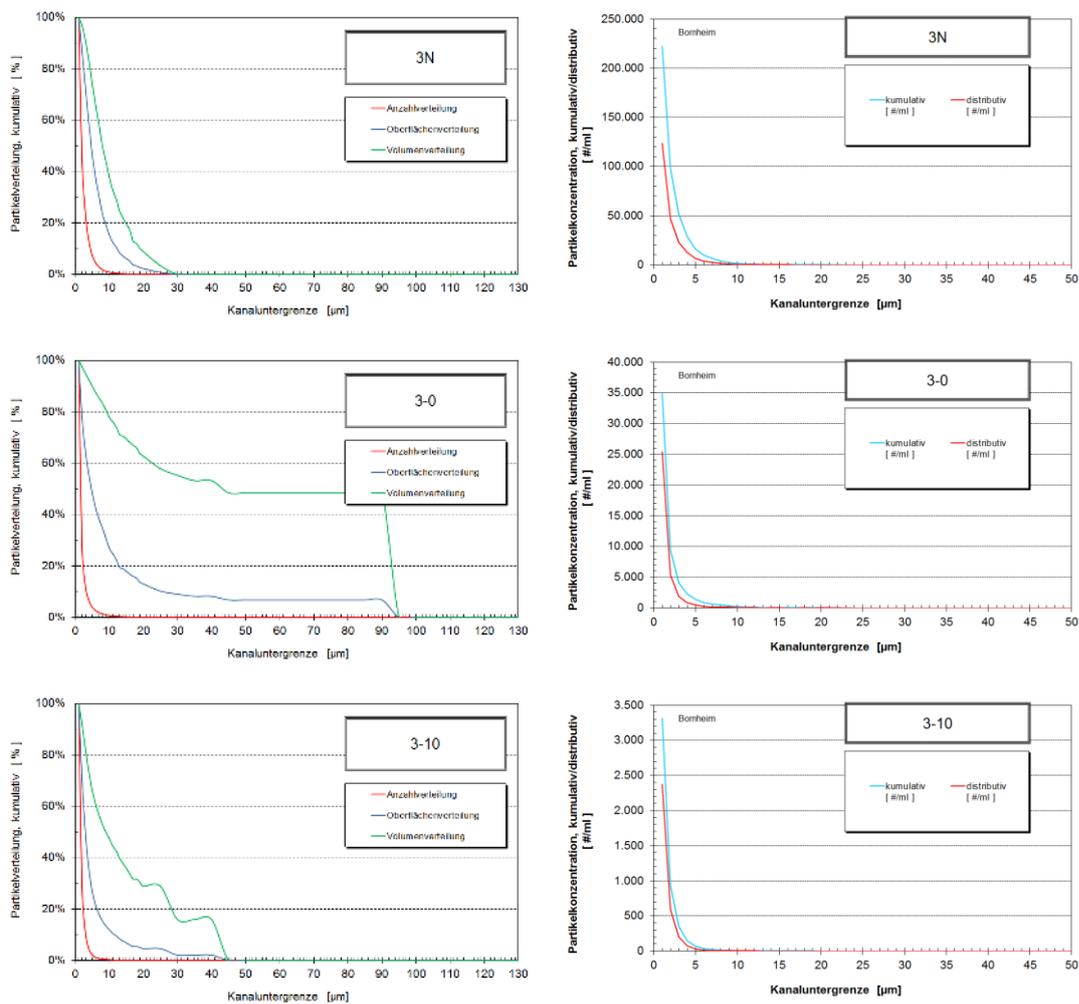


Abbildung 82: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 3 (Römerstraße) vom August 2018

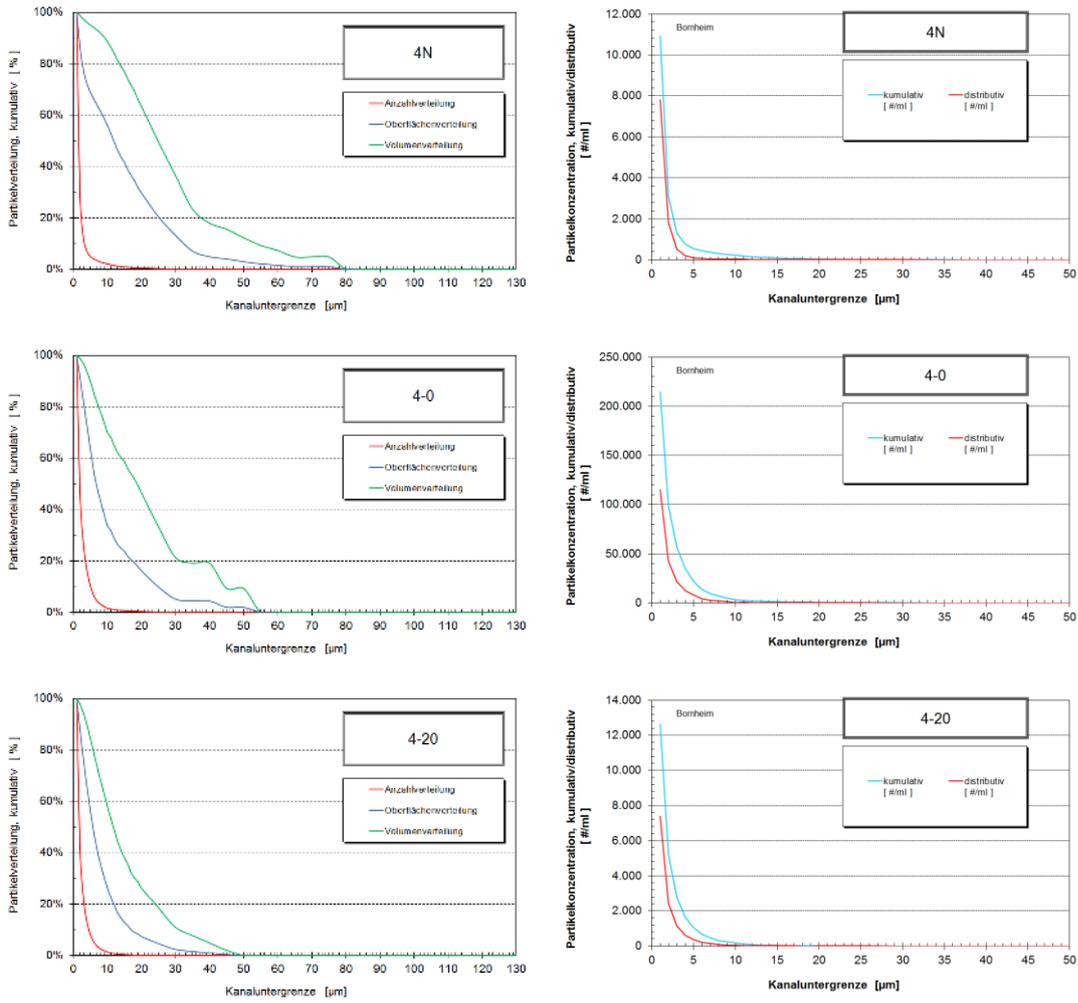


Abbildung 83: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 4 (Gartenstraße) vom August 2018

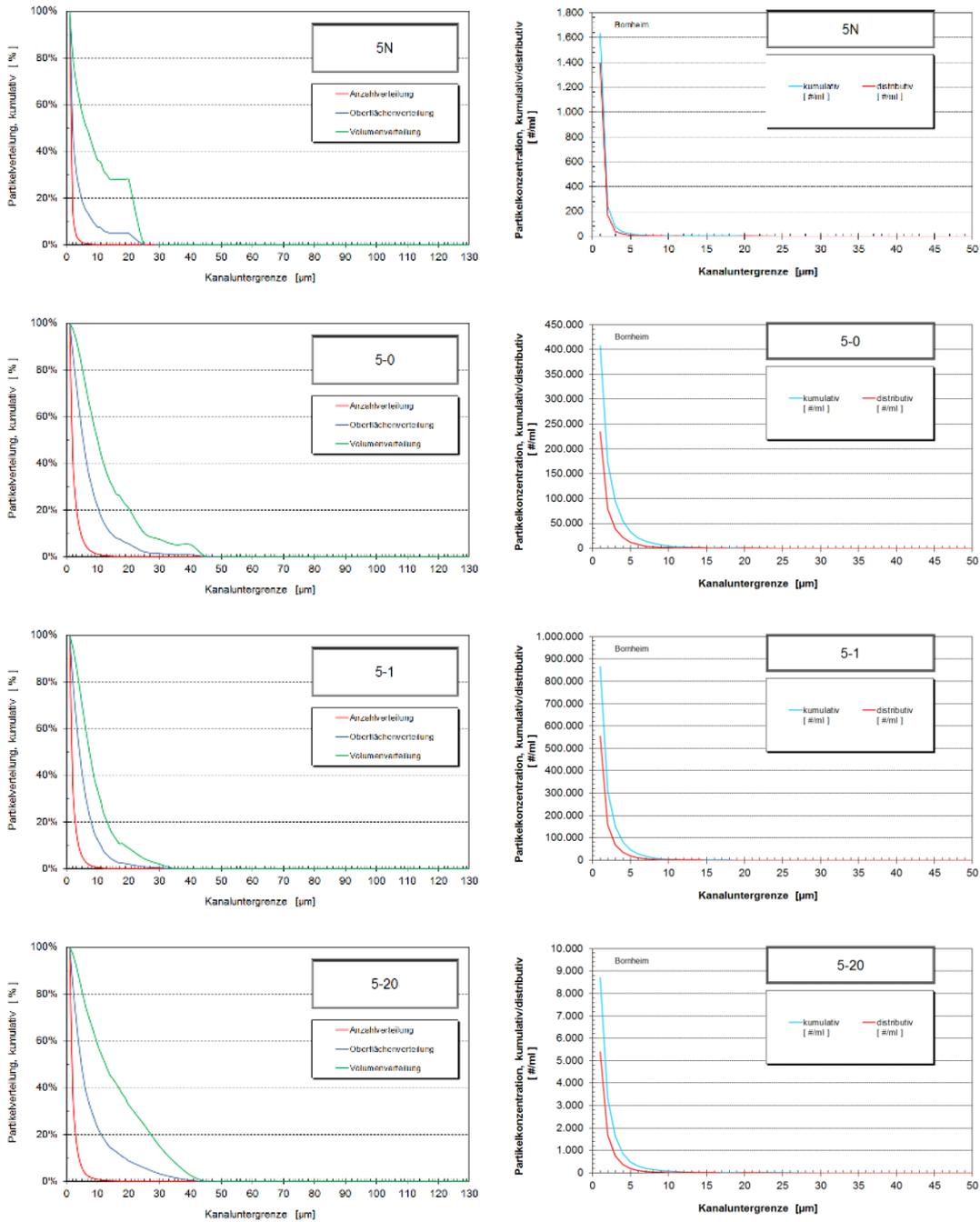


Abbildung 84: Partikelmessungen der Proben der Netzstation 5 (Jodokusstraße) vom August 2018

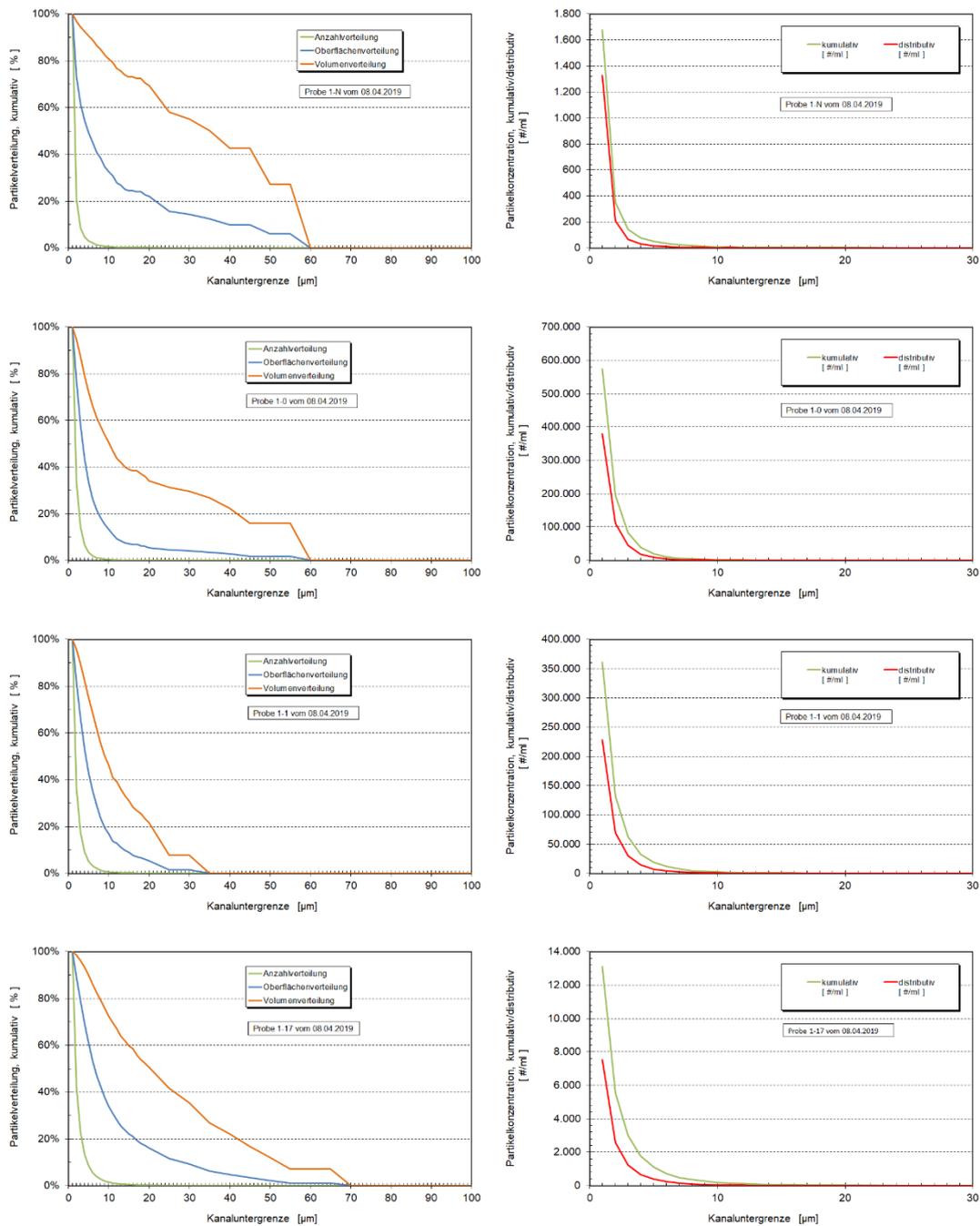


Abbildung 85: Partikelmessungen der Proben (Apr. 19) der Netzstation 1 (Landgraben)

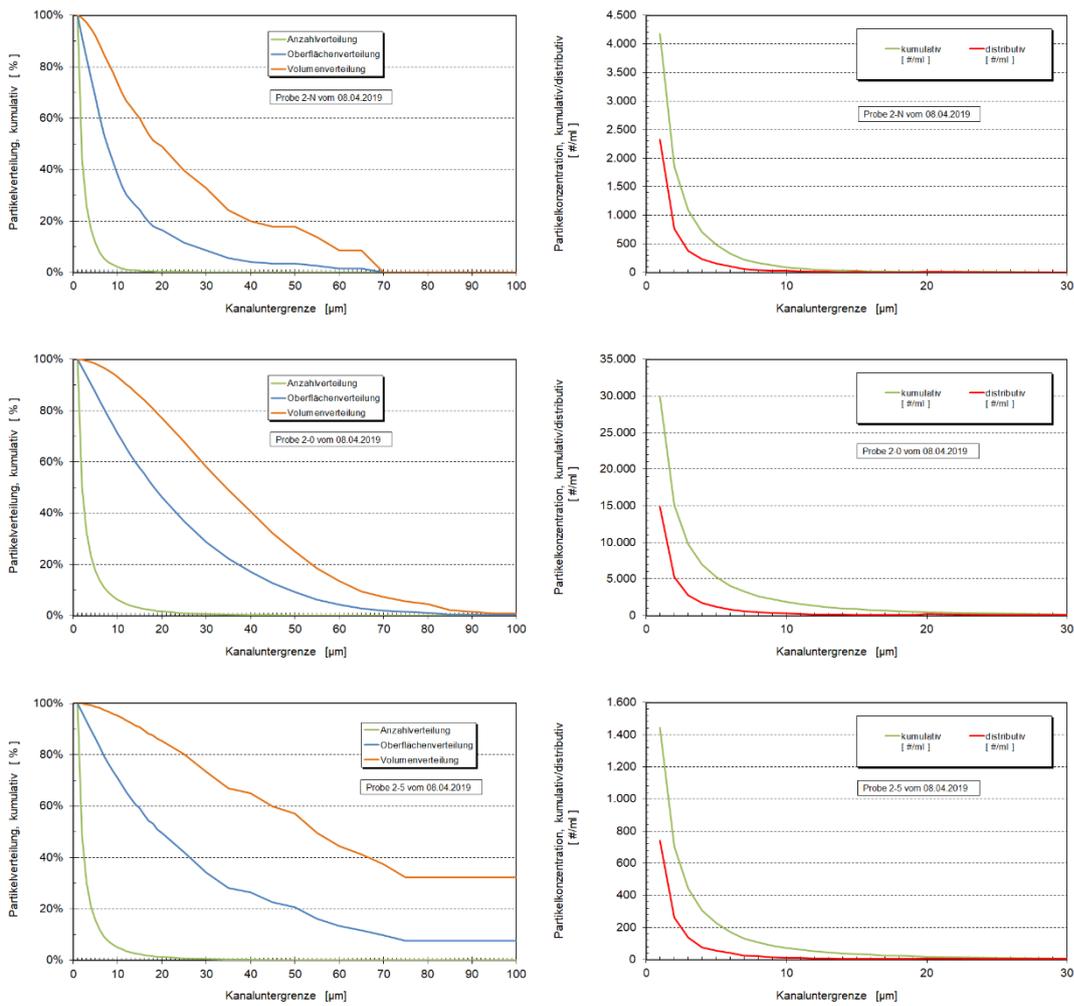


Abbildung 86: Partikelmessungen der Proben (Apr. 19) der Netzstation 2 (Friedrichstraße)

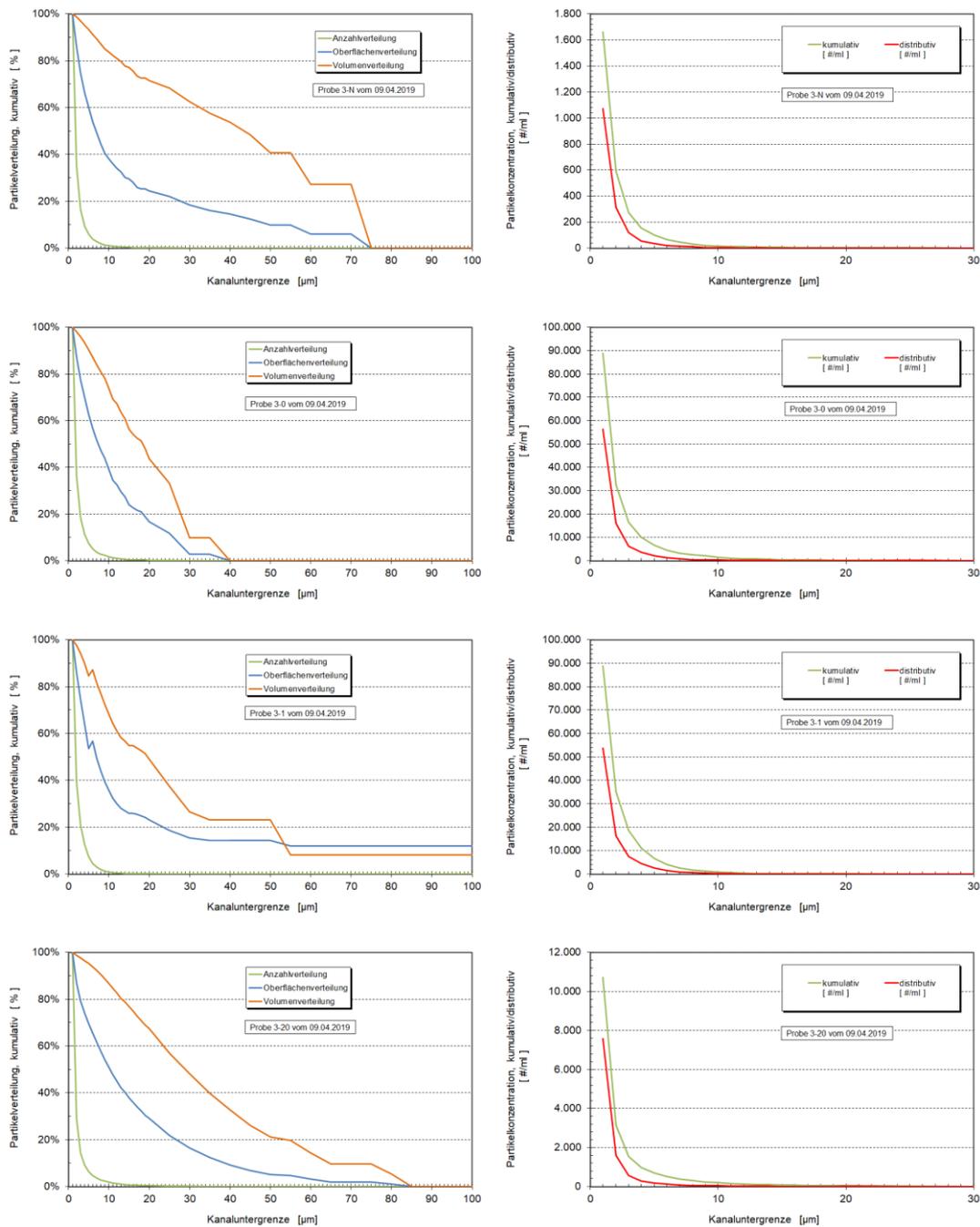


Abbildung 87: Partikelmessungen der Proben (Apr. 19) der Netzstation 3 (Römerstraße)

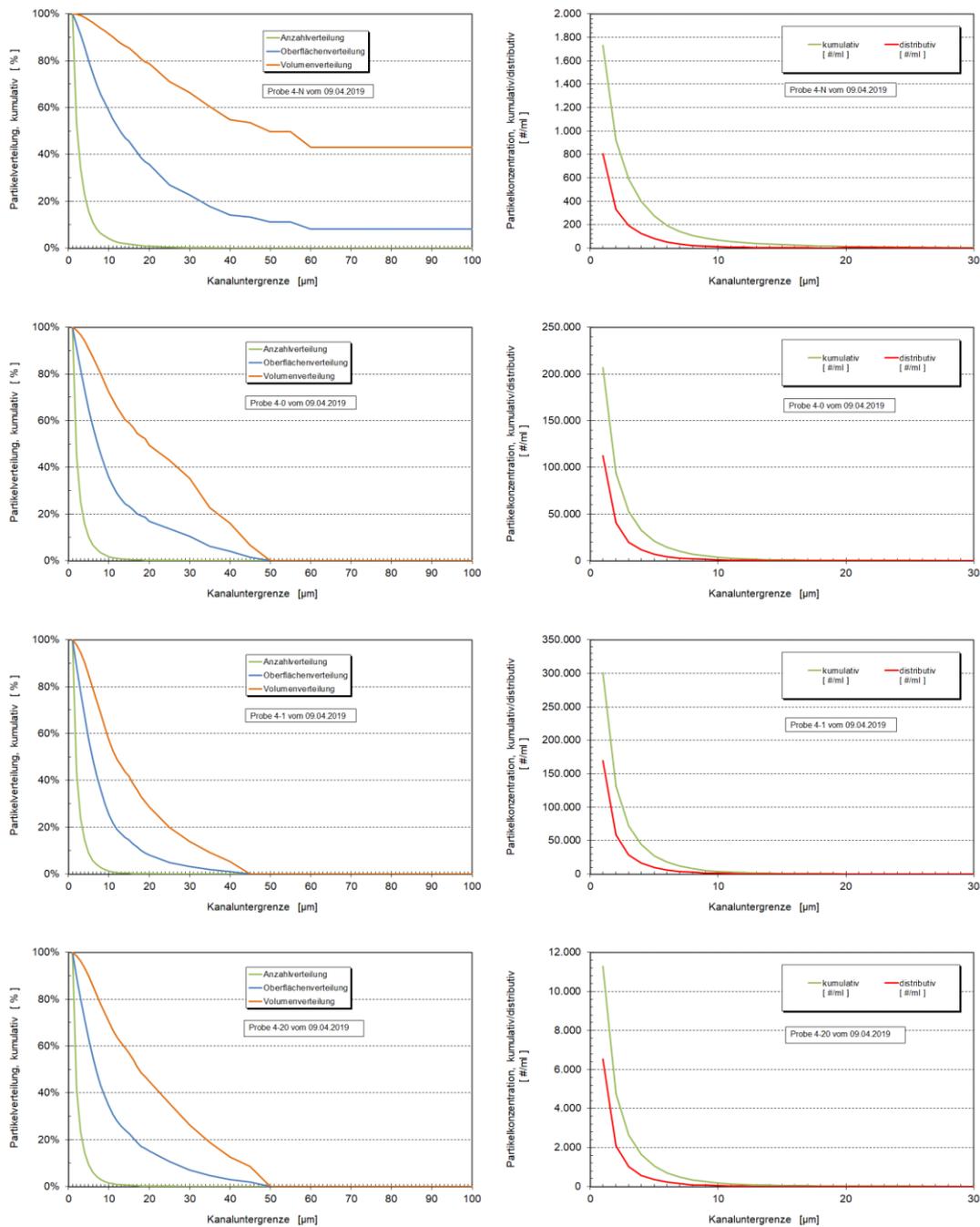


Abbildung 88: Partikelmessungen der Proben (Apr. 19) der Netzstation 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg)

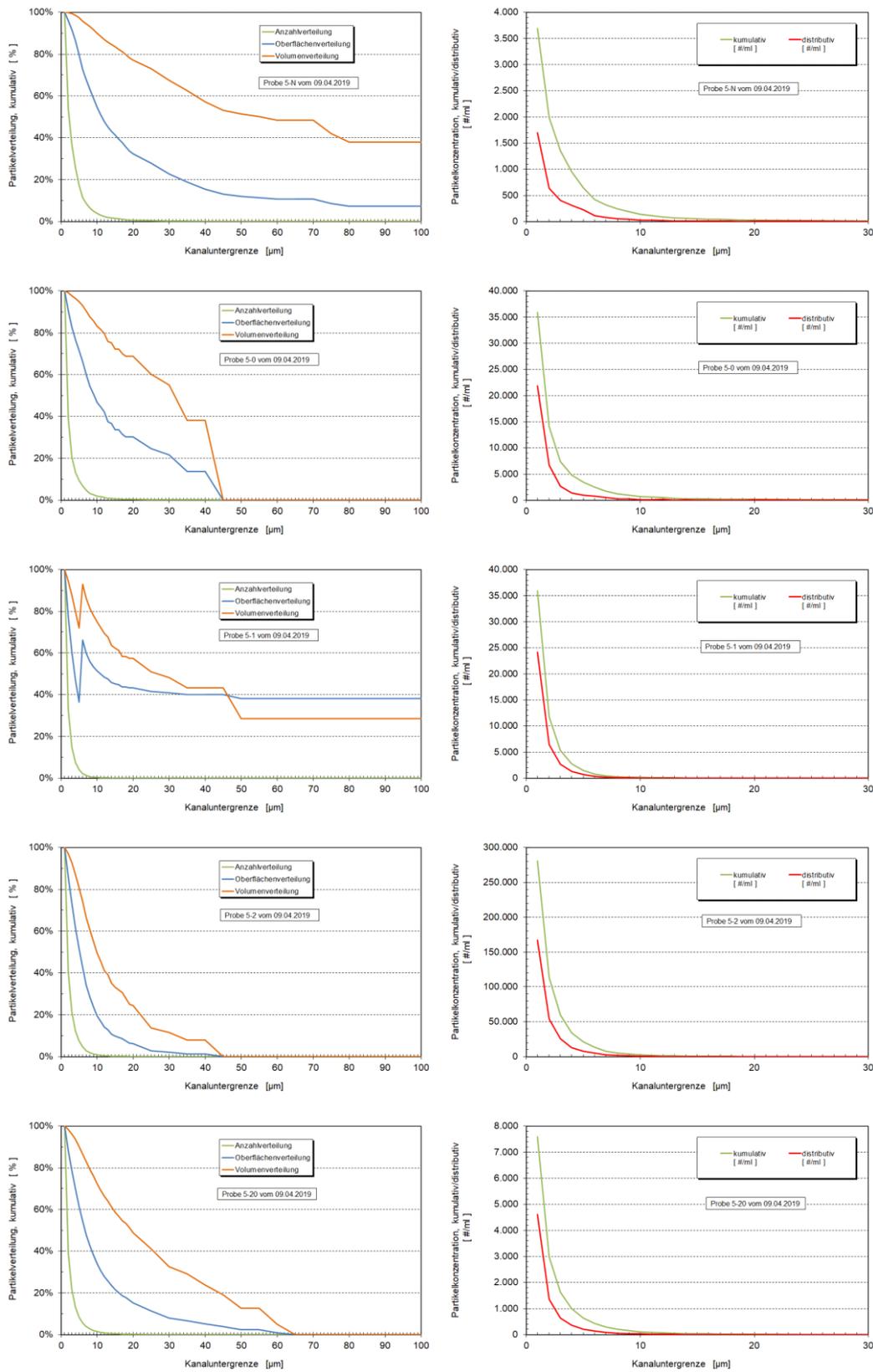


Abbildung 89: Partikelmessungen der Proben (Apr. 19) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

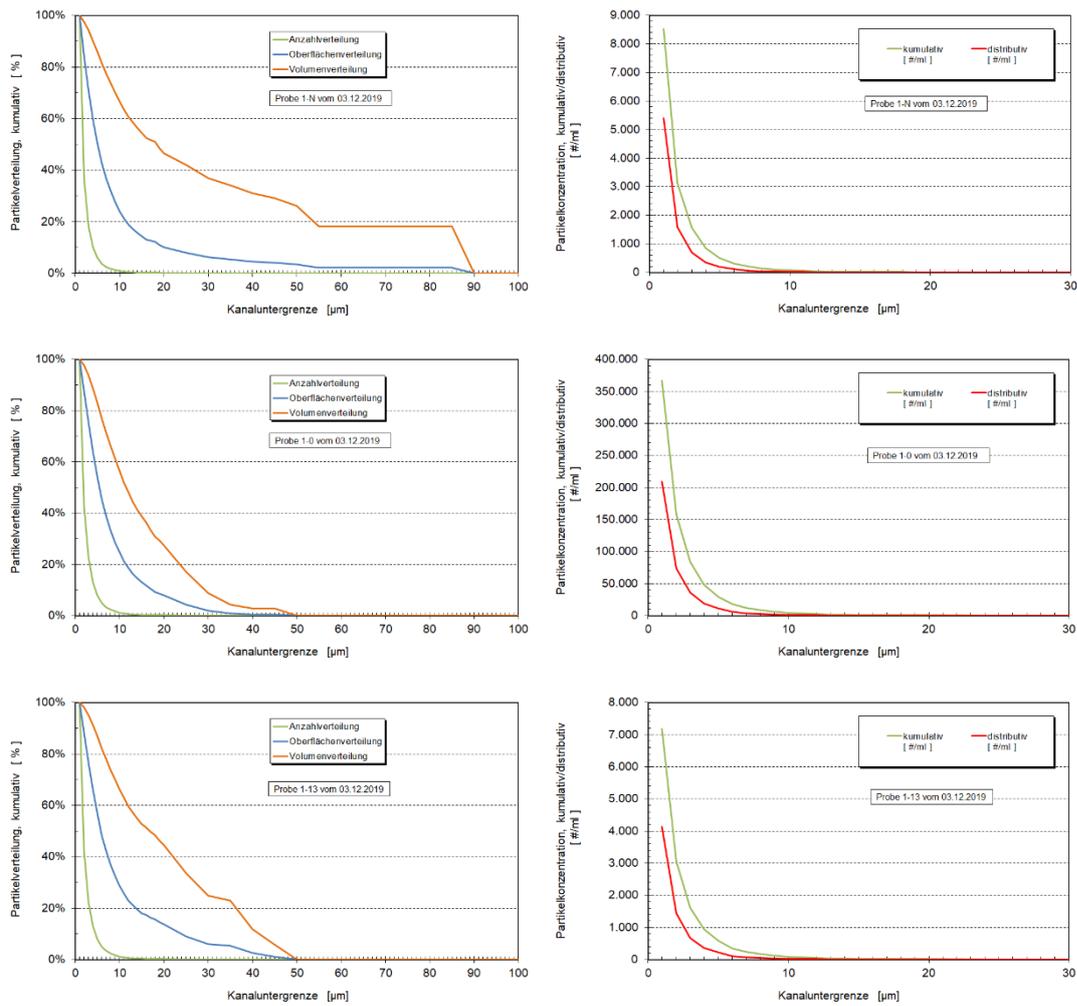


Abbildung 90: Partikelmessungen der Proben (Dez. 19) der Netzstation 1 (Landgraben)

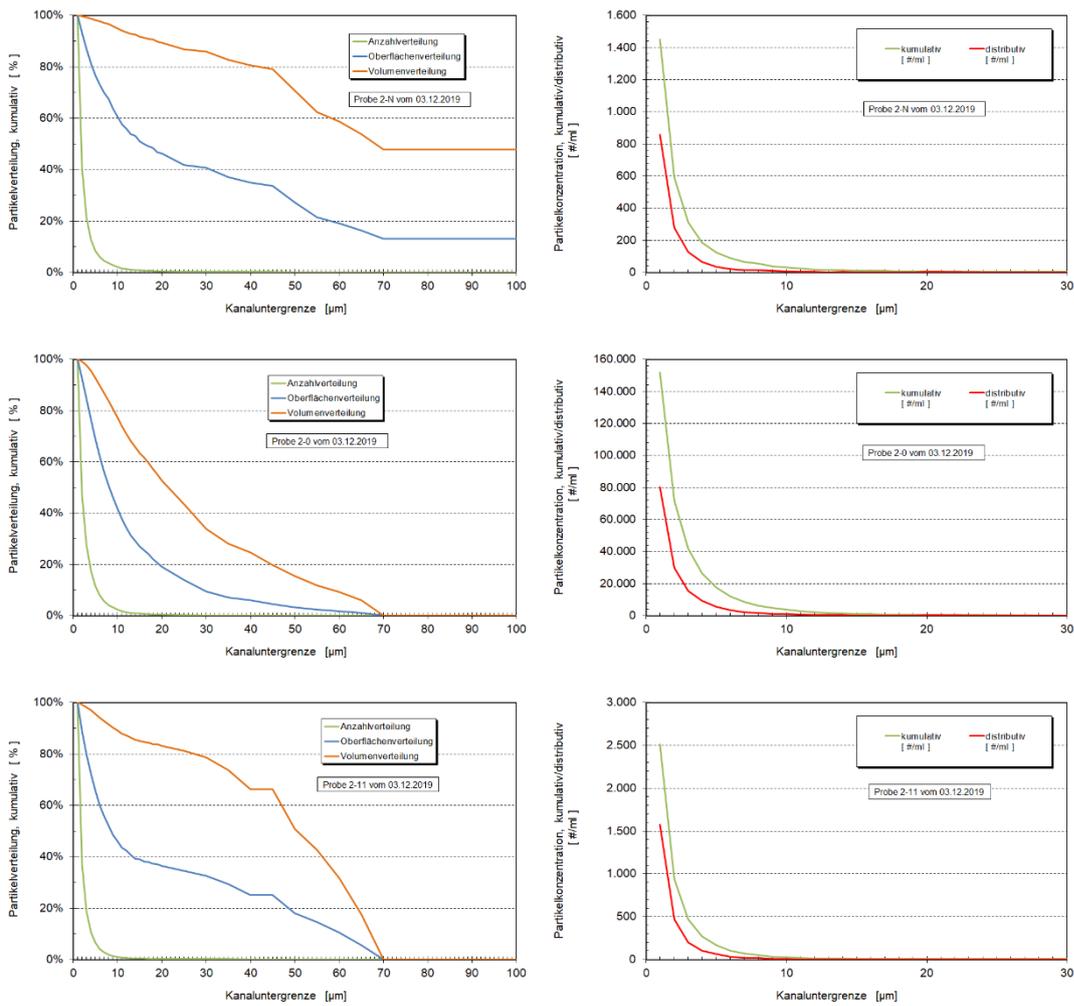


Abbildung 91: Partikelmessungen der Proben (Dez. 19) der Netzstation 2 (Friedrichstraße)

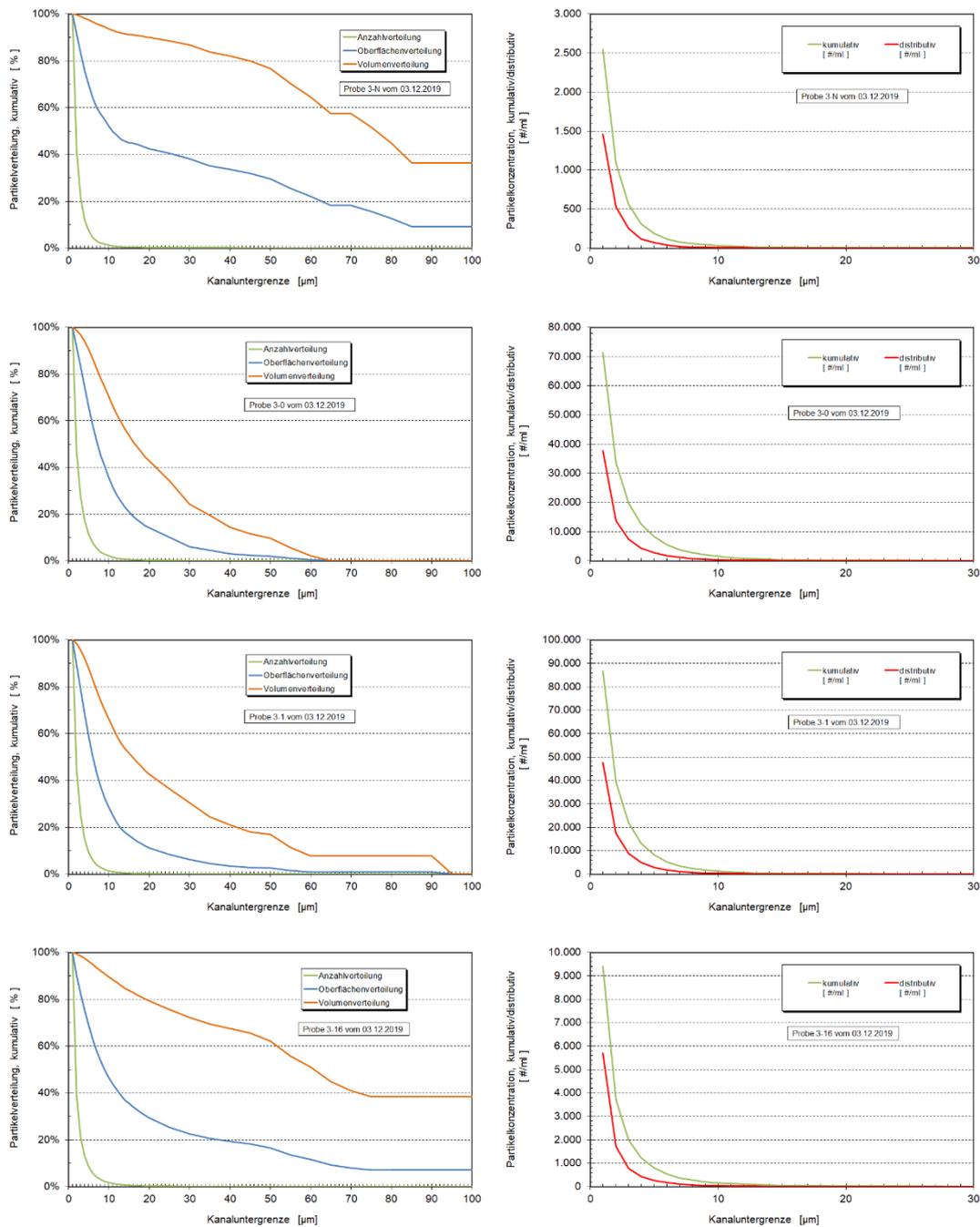


Abbildung 92: Partikelmessungen der Proben (Dez. 19) der Netzstation 3 (Römerstraße)

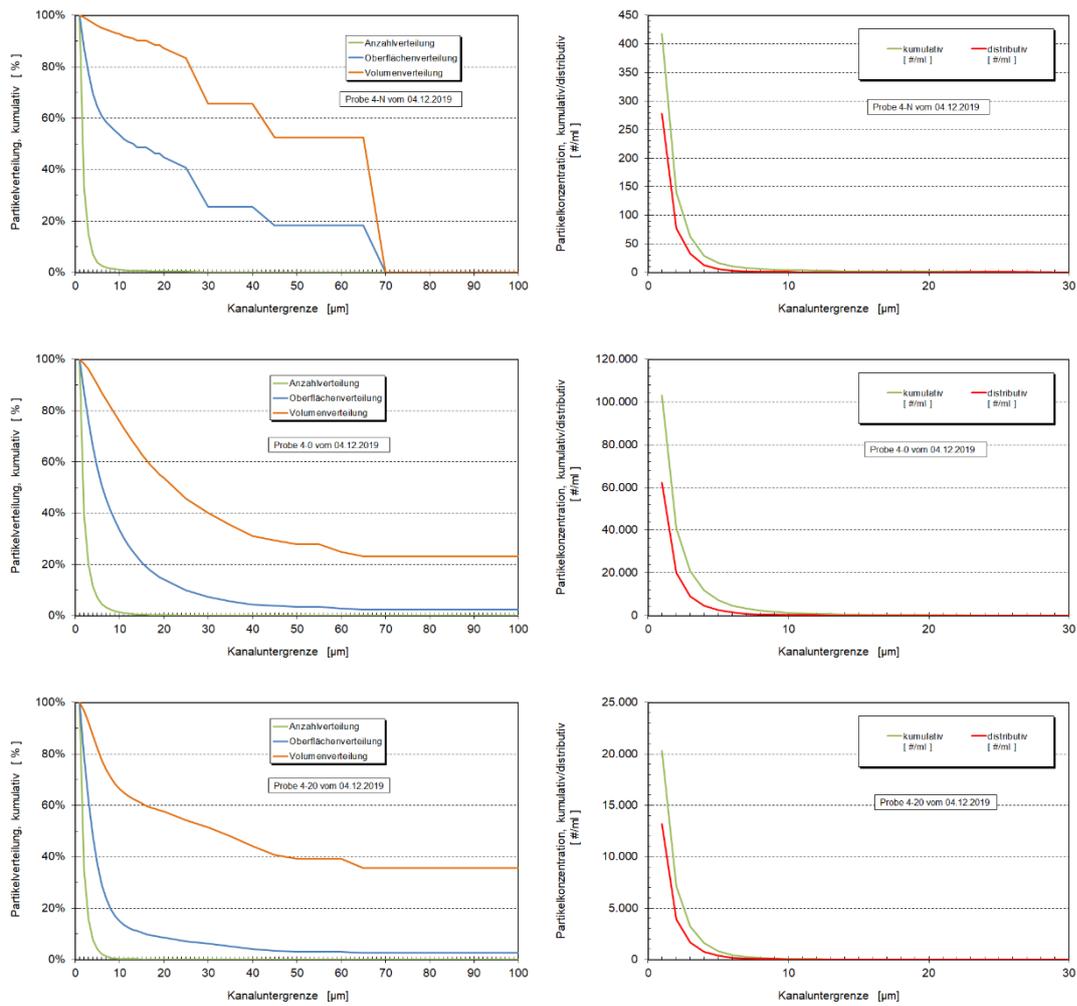


Abbildung 93: Partikelmessungen der Proben (Dez. 19) der Netzstation 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg)

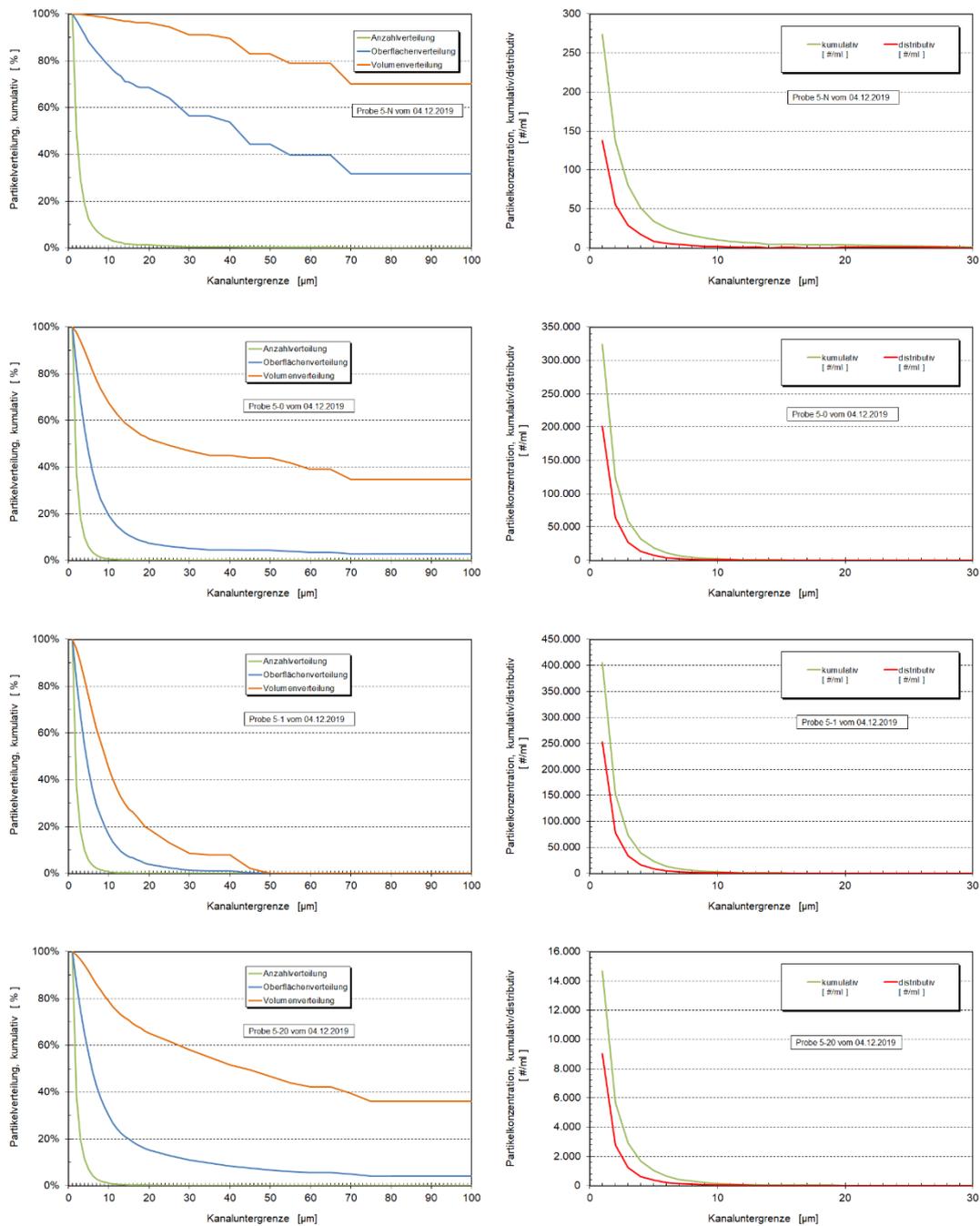


Abbildung 94: Partikelmessungen der Proben (Dez. 19) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

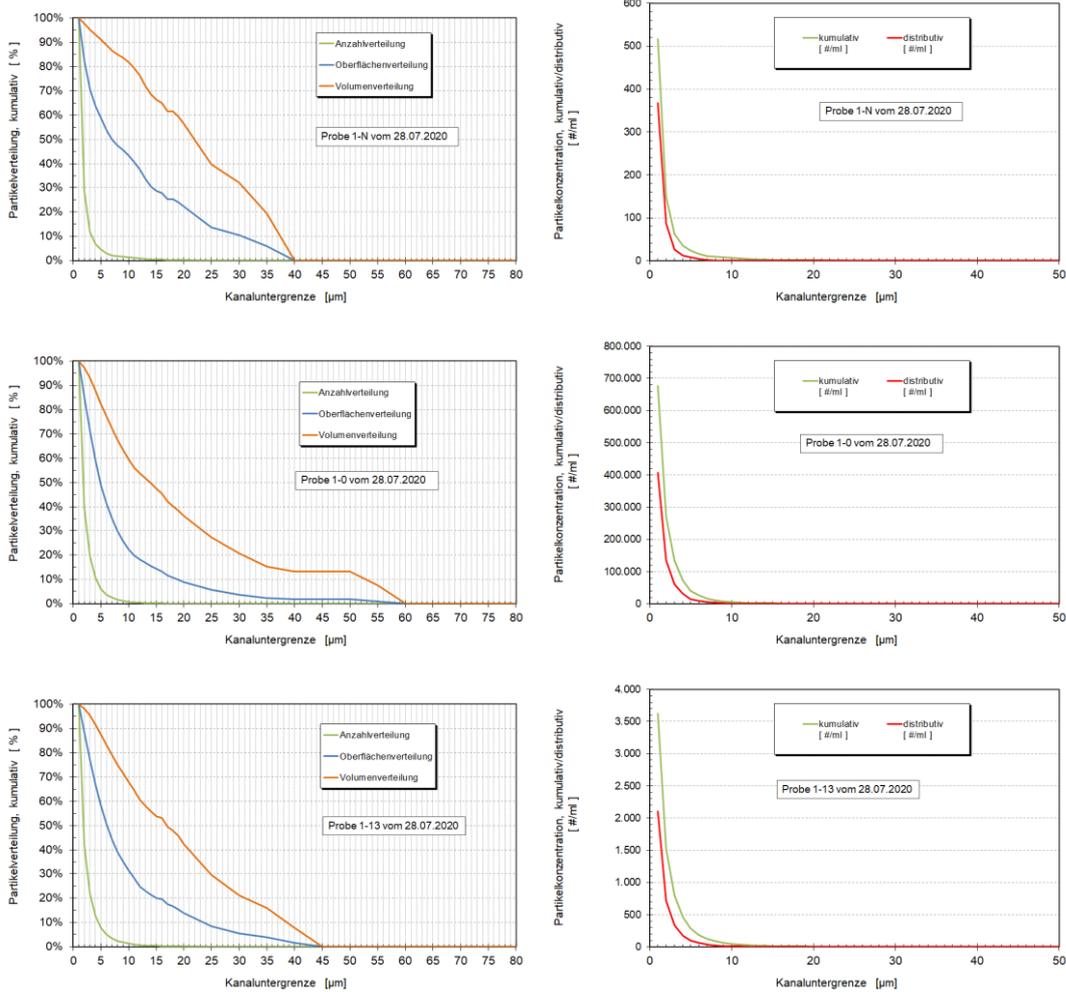


Abbildung 95: Partikelmessungen der Proben (Juli 20) der Netzstation 1 (Landgraben)

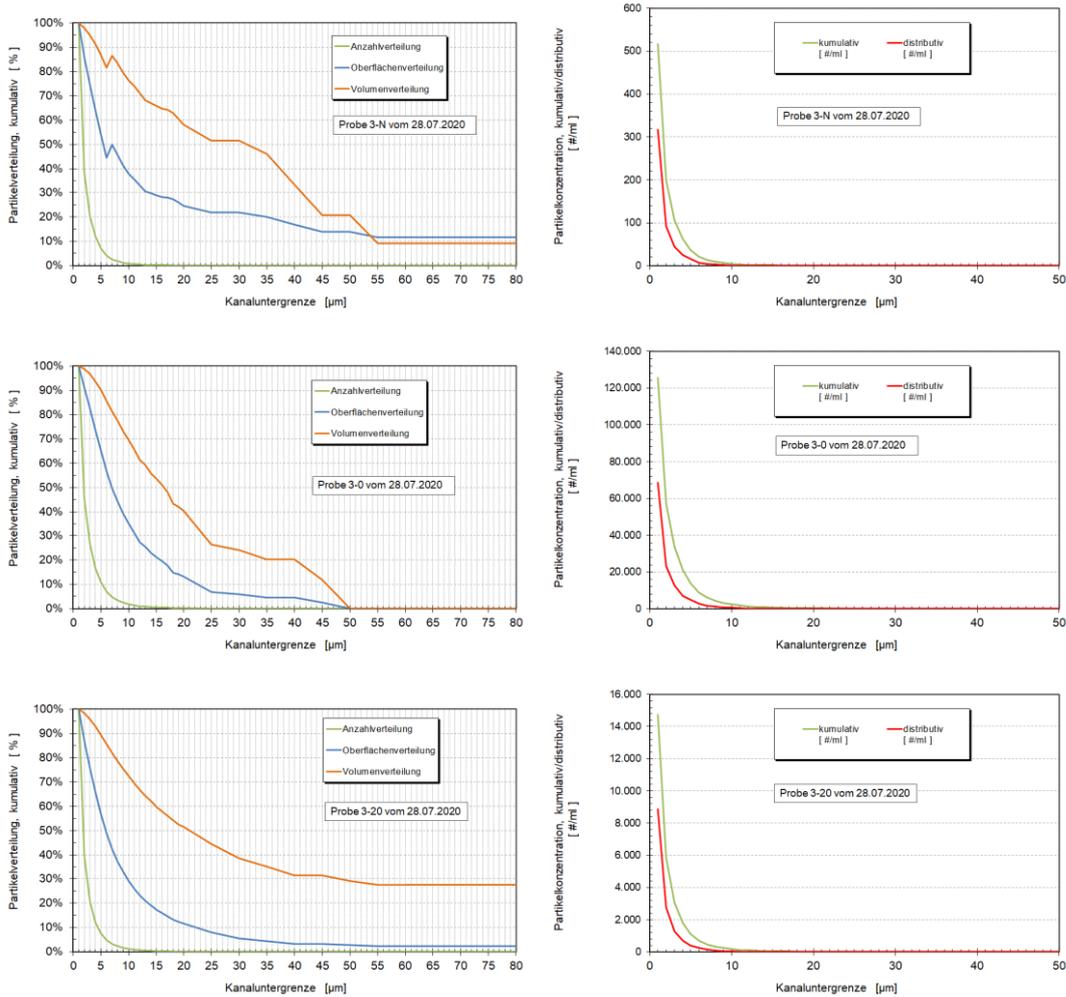


Abbildung 96: Partikelmessungen der Proben (Juli 20) der Netzstation 3 (Römerstraße)

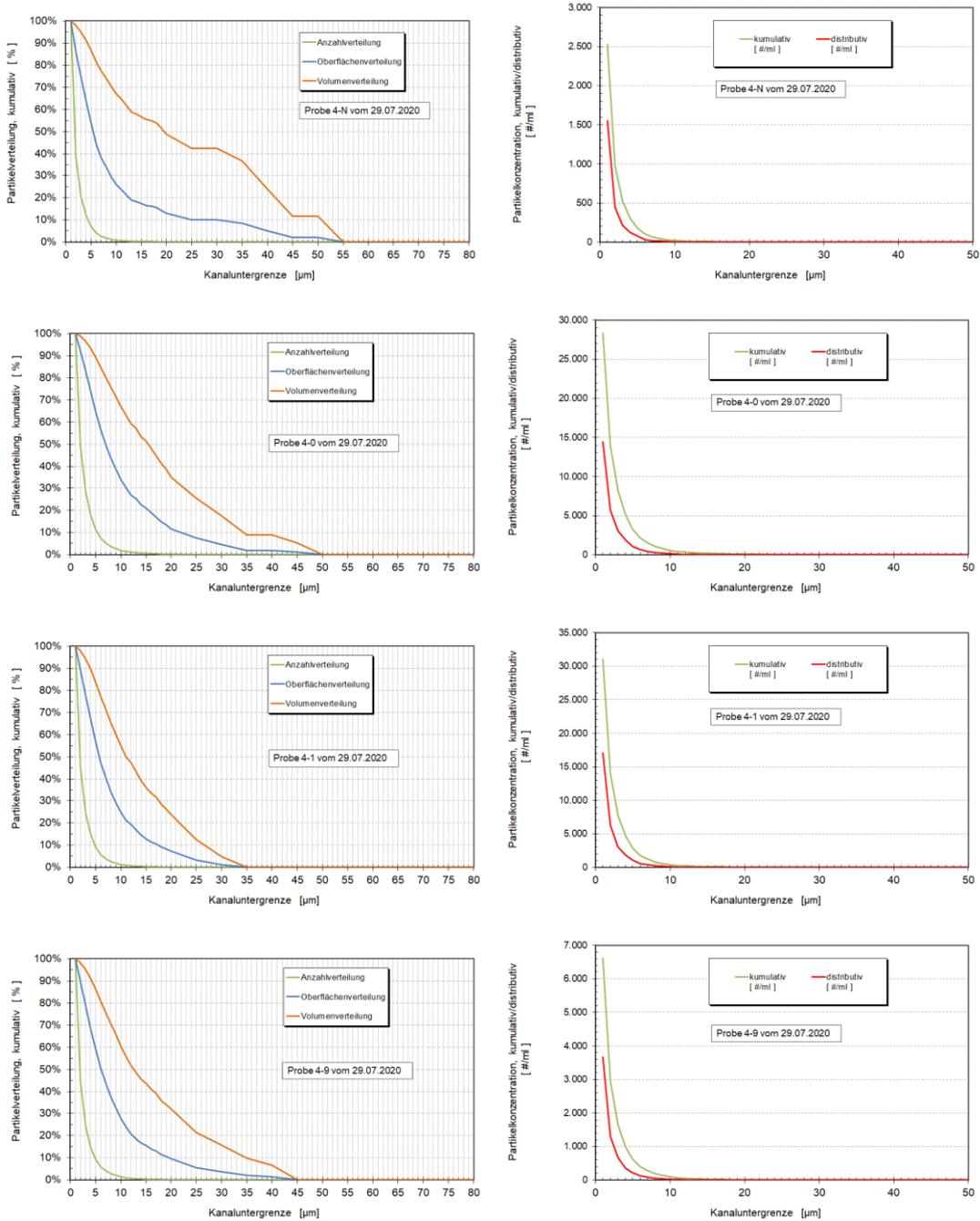


Abbildung 97: Partikelmessungen der Proben (Juli 20) der Netzstation 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg)

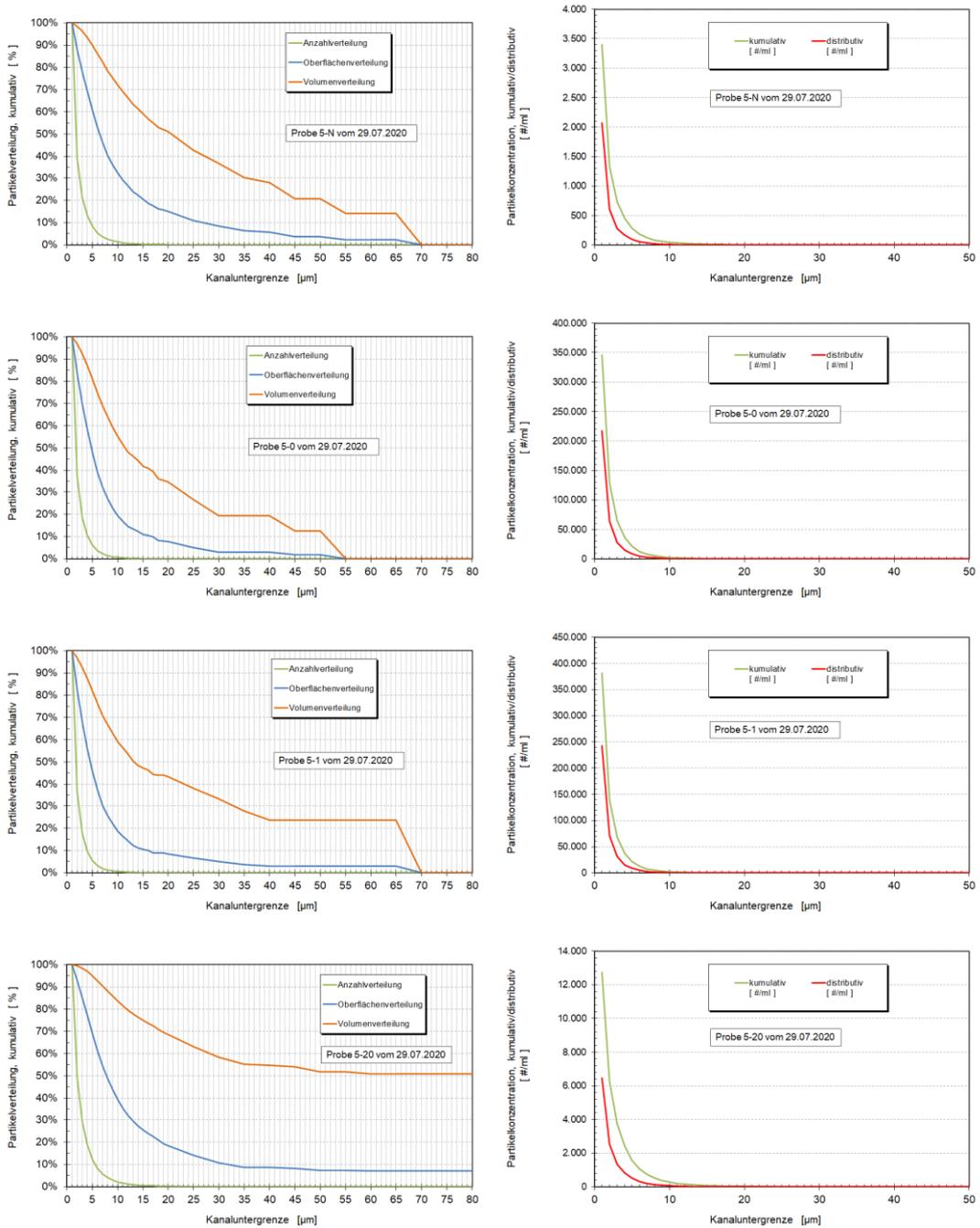


Abbildung 98: Partikelmessungen der Proben (Juli 20) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

5.2 Anhang 2: Schadensanalyse von Wasserzählergehäusen aus Messing mit sichtbaren Korrosionserscheinungen an der Außenoberfläche (2018)

5.2.1 Hintergrund der Untersuchung und Proben

Bei vier Wasserzählern für Kaltwasser wurden Auffälligkeiten der Apparate festgestellt, die visuell von außen als Korrosionsschäden an den Messing-Gehäusen ausgemacht werden konnten. Die Defekte wurden innerhalb des zeitlichen Bereiches der Umstellung des Mischungsverhältnisses festgestellt und hatten einen vorzeitigen Ausfall – verkürzte Betriebsdauer – auf Grund von Undichtigkeiten zur Folge. Diese Wasserzähler wurden ausgebaut und dem IWW zur Untersuchung zur Verfügung gestellt.

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse und der bisherigen Wasseranalysen soll beurteilt werden, ob ein Zusammenhang bezüglich der Umstellung des Mischungsverhältnisses mit dem Defekt der Wasserzähler besteht. Nachfolgend sind die spezifischen Angaben der jeweiligen Wasserzähler tabellarisch aufgeführt.

Tabelle 30: Aufstellung der defekten Wasserzähler

Probe	Ort	Straße	Datum	Einbaujahr	Hersteller	Stand
1	Merten	Rochusstraße 7	23.07.2018	2017	Ernst Heitland GmbH & Co. KG	262 m ³
2	Merten	Weihersstraße 21	02.08.2018	2015	Manthey-GmbH	145 m ³
3	Sechtem	Münstergarten 6	14.08.2018	2017	Ernst Heitland GmbH & Co. KG	99 m ³
4	Bornheim	Königsstraße 34	09.08.2018	2017	Manthey-GmbH	102 m ³

In Abbildung 99 sind alle Wasserzähler mit äußerlich sichtbaren Korrosionsschäden aufgeführt. Die Kennzeichnung entspricht der tabellarischen Anordnung.

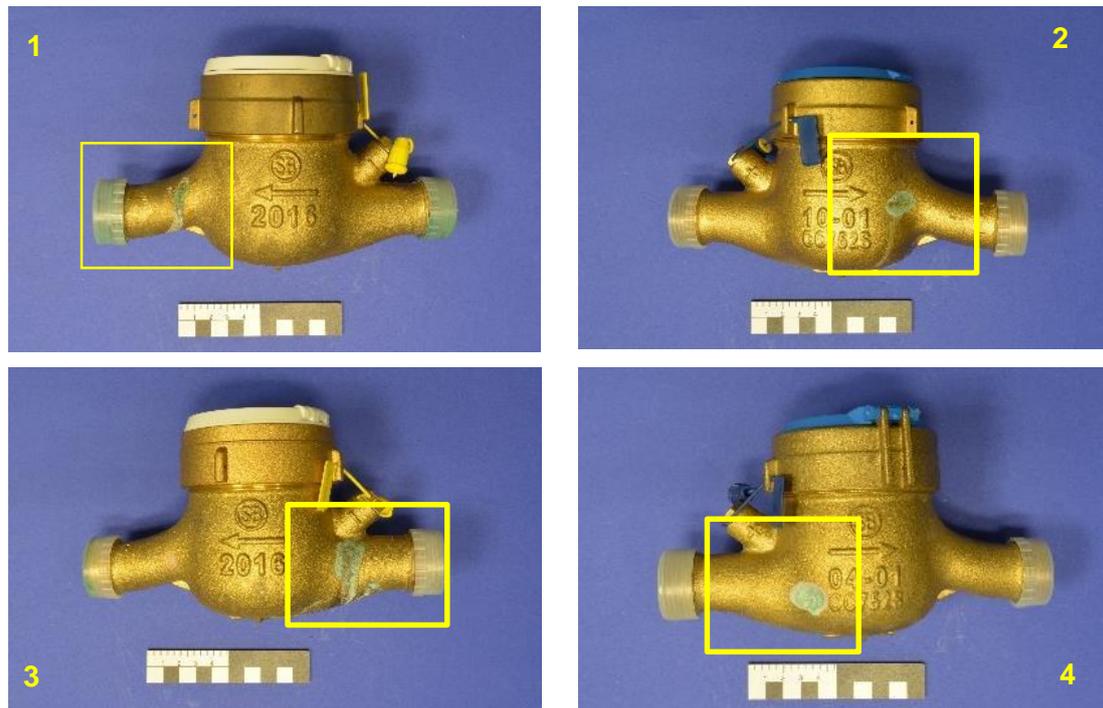


Abbildung 99: Defekte Wasserzähler

5.2.2 Präparation und Untersuchung

Für die detaillierte Untersuchung wurde exemplarisch Probe 1 präpariert. Dabei handelt es sich um einen Mehrstrahlzähler des Typs M 100. In Abbildung 100 sind die alternative Seite der Probe und der Schaden vor und nach der Präparation dargestellt. In Bild a ist kein weiterer äußerlicher Schaden auszumachen. In Bild b ist der Zählerstand und der Hersteller des Wasserzählers zu erkennen. Bild c zeigt das äußere Schadensbild in detaillierterer Darstellung. In Bild d ist Probe 1 im Anschluss der Schadenspräparation zu sehen. Dazu wurde auf der Austrittsseite des Nassläufers der Einrohranschluss im Bereich der Schadensstelle entfernt. Beide untersuchten Probenstellen sind in Bild d oberhalb des Einrohranschlusses zu sehen. Im unteren Bild f ist die Oberflächeninnenseite der unteren Schalenhälfte dokumentiert. Aufgrund der korrosionsbedingten Volumenvergrößerung sind dort mehrere Korrosionspusteln zu erkennen.

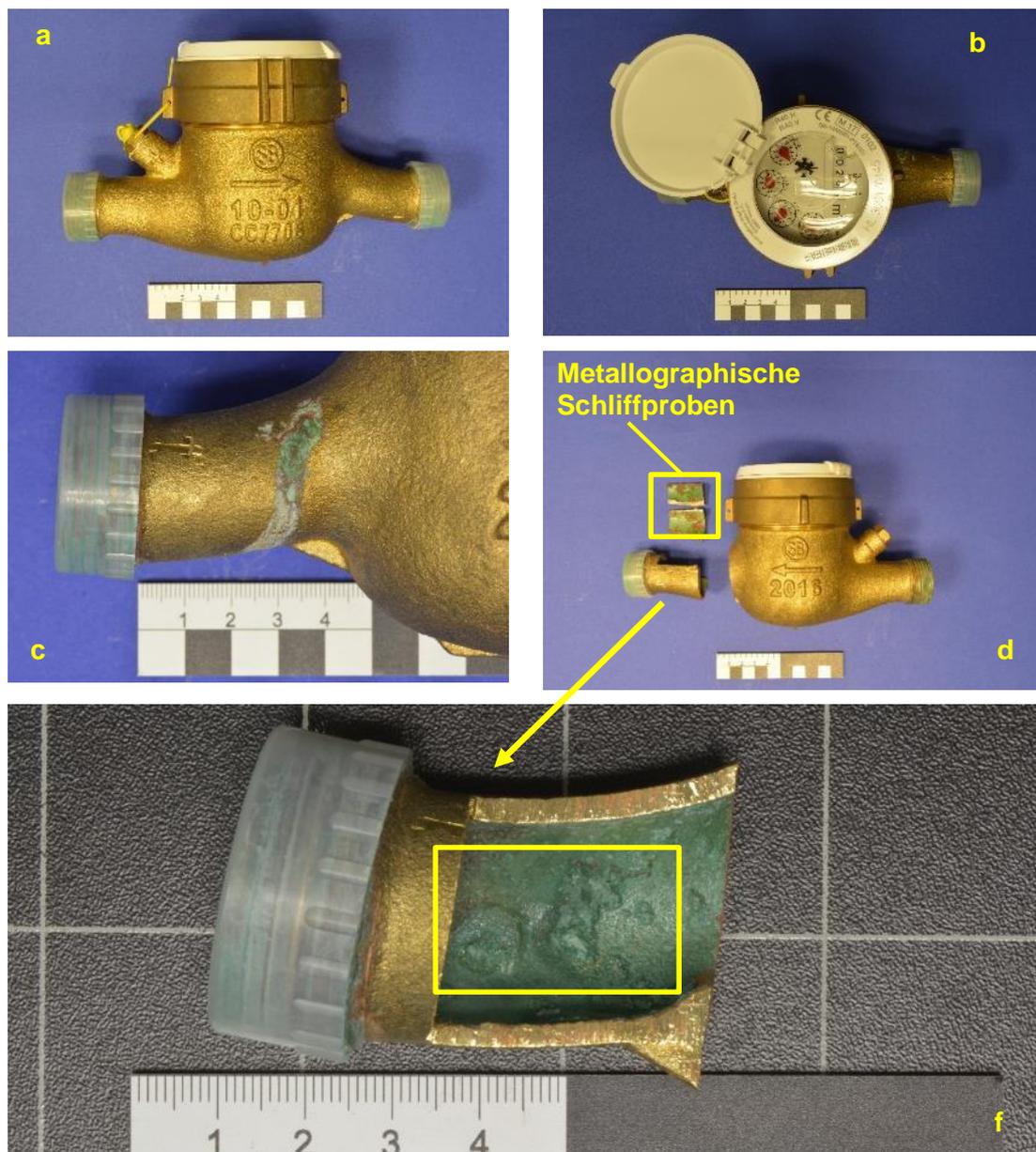


Abbildung 100: Probe 1 – Merten, Rochusstraße 7

Für die mikroskopische Untersuchung wurde das herauspräparierte Probenstück an den Schnittkanten schleifend bearbeitet und im Anschluss mit Ethanol gereinigt. Nach der Trocknung ist die Probe unter Vakuum mit Epoxidharz in eine zylindrische Probenform eingebettet worden. Für die Sichtbarmachung des Schadens wurde durch mechanischen Materialabtrag mit den Schleifkörnungen 320 und 1200 die Schadensstelle zielpräpariert. Mittels Feinschliff mit einer 9 μm Diamantsuspension sind restliche Verformungen der Planschlifffläche soweit reduziert worden, dass die Probe im Anschluss poliert werden konnte. Durch das Polieren mit einer 3 μm Diamantsuspension wurden die Verformungen vorhergehender Arbeitsgänge beseitigt. Beim letzten Arbeitsschritt durch Oxidpolieren ist kolloidales Siliziumoxid mit einer Korngröße von 0,04 μm und dem Zusatz von Ammoniak und Wasserstoffperoxid verwendet

worden. Bei den jeweiligen Feinschleif- und Polierverfahren sind geeignete Poliertücher eingesetzt worden.

In Abbildung 101 sind die Ergebnisse dokumentiert. Anhand des Schadensbilds ist zu erkennen, dass der Angriff von der Gehäuse-Innenseite, von der Wasserseite ausgeht. Zu erkennen ist ein Durchbruch bis zur Außenseite der Wand. Sowohl das obere Bild als auch das Bild unten links wurden im Digitalmikroskop mittels Dunkelfeldaufnahmen aufgenommen. Dabei bleiben farbliche Merkmale des Werkstoffs erhalten. Der korrosiv beeinträchtigte Bereich auf der Wasserseite schimmert in den Aufnahmen goldig. Im Bereich der Durchbruchmitte sind farblich rot (kupferfarben) ausgeprägte Stellen zu erkennen.

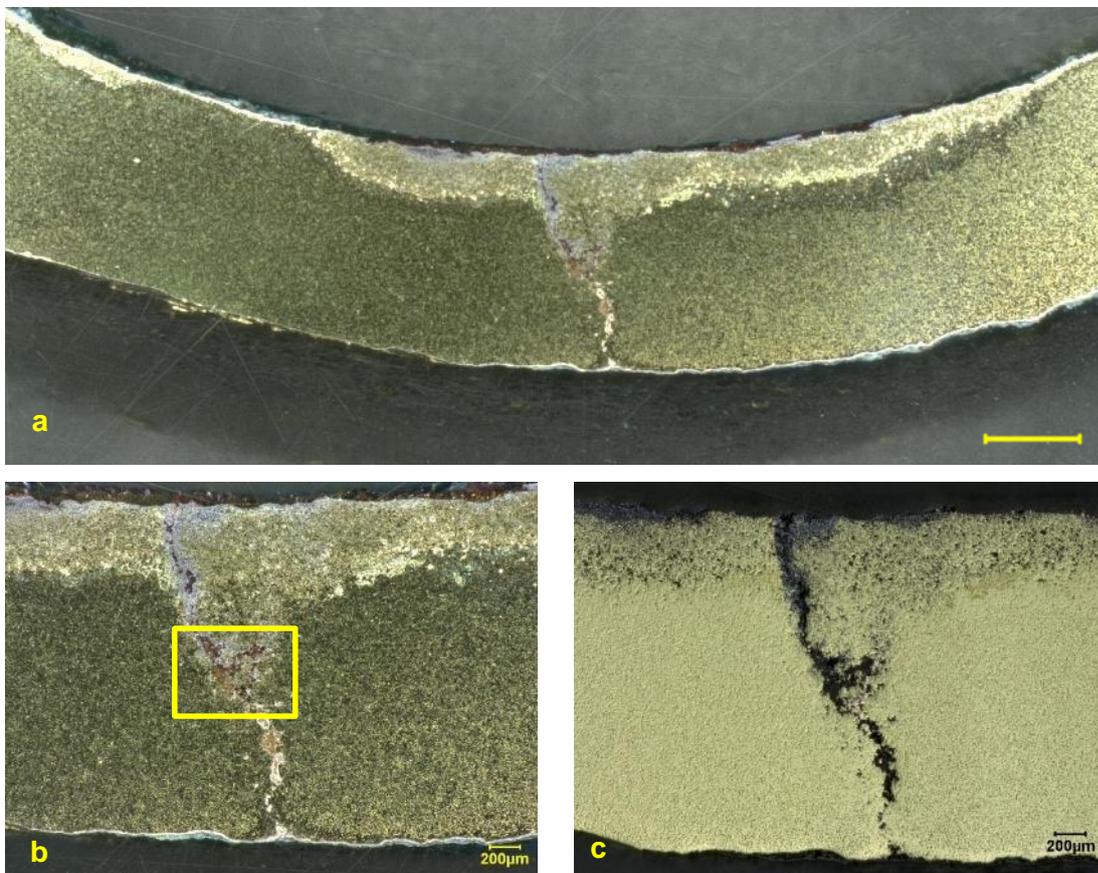


Abbildung 101: Digitalmikroskop-Aufnahmen

In Bild c ist derselbe Bereich wie in Bild b dokumentiert. Hierbei handelt es sich um eine Hellfeldaufnahme, bei der der Bereich der Oberfläche kontrastreicher dargestellt wird. Poröse Stellen werden dadurch sichtbar gemacht.

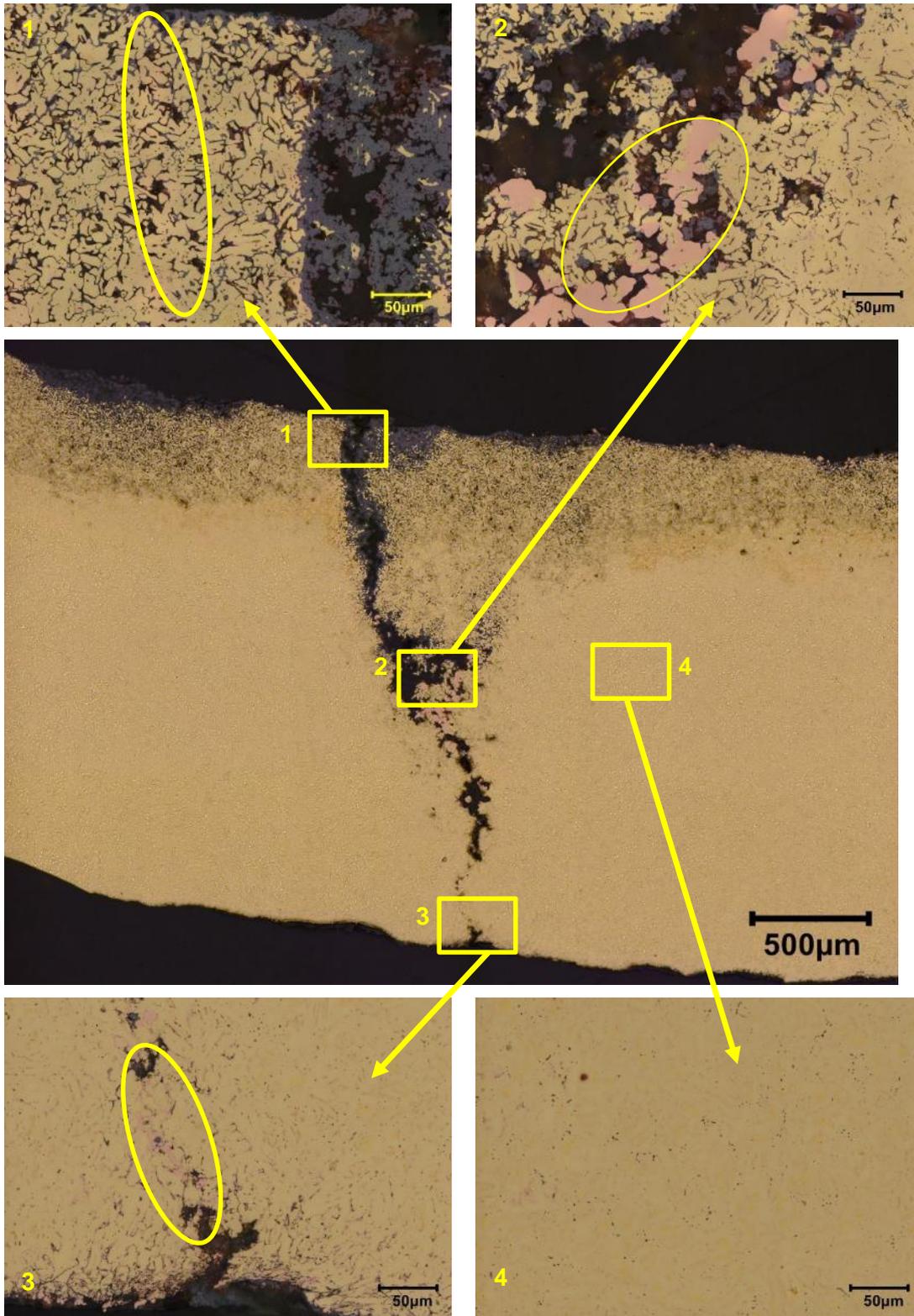


Abbildung 102: Lasermikroskop Aufnahmen

In Abbildung 102 sind einzelne Bereiche der Schadensstelle im Detail mittels Lasermikroskop dokumentiert. Es handelt sich dabei um Hellfeldaufnahmen. Bild 1 zeigt einen angegriffenen Bereich im Bereich des Durchbruchs. Darauf ist deutlich die poröse Struktur zu erkennen und farblich rot angelaufene Stellen. In Bild 2 und 3 sind ebenfalls Stellen vorhanden, die farblich rot (kupferfarben) ausgeprägt sind und im porösen Bereich festzustellen sind. Bild 4 gibt das weitestgehend unbeeinflusste Gefüge wieder.

5.2.3 Einfluss der Wasserbeschaffenheit

Für die Bewertung wurde die aktuelle Wasseranalyse aus dem Wasserwerk in Eichenkamp herangezogen. Erfahrungsgemäß wird Entzinkung von Messing durch hohe Gehalte an Chlorid und eine niedrige Säurekapazität ($K_{S4,3}$) des Wassers begünstigt. Diese Zusammenhänge wurden bereits in den 1960er Jahren von Turner⁴ in einem gleichnamigen Diagramm beschrieben (Untersuchung des nicht entzinkungsbeständigen Standardmessings CW 614N), welches auch heute noch vielfältig Anwendung findet, um die Entzinkungsneigung in Abhängigkeit von der Wasserbeschaffenheit abschätzen zu können.

Nach neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen⁵ ist bei der Bewertung der Entzinkungsneigung zusätzlich zum Chlorid-Gehalt auch der Sulfat-Gehalt eines Wassers zu berücksichtigen, insbesondere wenn der aus den Daten ermittelte Bewertungsparameter sehr nahe an der Grenzkurve des Diagramms liegt (diese beschreibt den Zusammenhang des Verhältnisses Chlorid bzw. Chlorid und Sulfat zu Säurekapazität $K_{S4,3}$).

Auf dieser Grundlage wurde ein Turner-Diagramm erstellt, in welches die genannten Parameter des Wassers eingezeichnet wurden. Dieses ist in Abbildung 103 dargestellt.

Trägt man die Werte für Chlorid und Säurekapazität ($K_{S4,3}$) von September 2017 in das Diagramm ein, so erhält man einen Bewertungswert, der in dem Diagramm mit dem grünen Punkt („Karo“) gekennzeichnet ist. Der Bewertungswert liegt grenzwertig im entzinkungsgefährdeten Bereich, in unmittelbarer Nähe der Grenzlinie.

Unter der zusätzlichen Berücksichtigung des Sulfat-Gehaltes verschiebt sich der Bewertungswert in den kritischen Entzinkungsbereich zu dem Messpunkt darüber (grünes Karo, schwarz umrandet).

⁴ Turner, M. E. D.: The Influence of water composition on the dezincification of duplex brass fittings; Proc. Soc. Wat. Treatm. Exam.; 1965, 14:81

⁵ van Loyen, D., Schubert, I., Nissing, W.: Armaturen vor ihrem Einsatz testen – Einfluss von Neutralsalzen auf Schwermetallmigration und Korrosion; Teil 3, in: Sanitär+Heizungstechnik, Heft 01/2008

Genauso wurde mit den Messpunkten für die Wasserbeschaffenheiten vom November 2017, März 2018 und August 2018 verfahren.

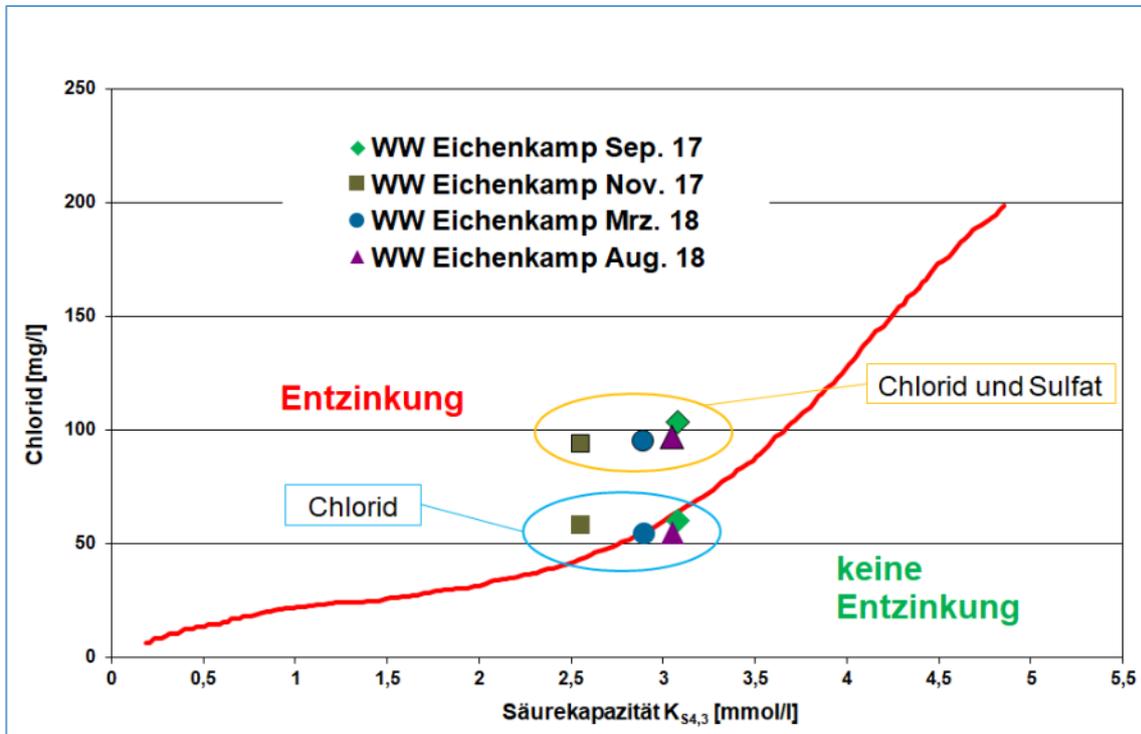


Abbildung 103: Turner-Diagramm (modifiziert)

Bei Betrachtung der Bewertungswerte, die nur Chlorid in Abhängigkeit von der Säurekapazität berücksichtigen, hatte die erste Umstellung eine Verschiebung tiefer in den Entzinkungsbe-
reich hinein (olivfarbenes Quadrat) zur Folge, die weitere Umstellung erreichte wieder die
Grenzlinie (blauer Kreispunkt), die letzte Umstellung (violettes Dreieck) zeigte eine geringfü-
gige Verschiebung in den entzinkungsbeständigen Bereich. Alle Werte liegen jedoch in der
Nähe der Grenzlinie, so dass der Sulfateinfluss hinzugenommen wird (gleiche Markierungen,
schwarz umrandet). Damit liegen alle Bewertungswerte deutlich im Bereich der Entzinkungs-
neigung im Turner-Diagramm für nicht-entzinkungsresistente Messing-Werkstoffe.

Bei dem im Rahmen der orientierenden Schadensanalyse untersuchten Wasserzähler Nr. 1
handelt es sich allerdings um einen als entzinkungsbeständig eingestuftem Werkstoff, so dass
hier das Turner-Diagramm grundsätzlich nicht anwendbar ist. Unter den hier angegebenen
wasserseitigen Rahmenbedingungen sollte dieser Werkstoff normalerweise nicht zur Entzin-
kung neigen.

5.2.4 Bewertung der Untersuchungsergebnisse

Bei der selektiven Korrosion von Messing („Entzinkung“) wird Zink aus der Legierung herausgelöst, wobei weiße Korrosionsprodukte entstehen und poröses Kupfer im ursprünglichen Metallverbund zurück verbleibt. Dadurch treten eine Änderung der Farben (messinggelb zu kupferrot) und eine Verminderung der mechanischen Belastbarkeit ein. Je höher der Kupfergehalt im Werkstoff ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit von Entzinkung. Bei den porösen Angriffsstellen handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach um Gefügebestandteile der zinkreicheren β -Phase, die anfällig für Entzinkung sind.

Der Materialangriff durch Entzinkung kann in einem α - β -Mischgefüge mit einem großen Anteil an β -Phase, bei dem die β -Körner wohlmöglich auch noch zusammenhängend ausgebildet sind, sehr schnell voranschreiten. Ein α - β -Mischgefüge mit einem großen Anteil an α -Phase, wobei die β -Körner von α -Körnern umschlossen werden, kann einem Entzinkungsfortschritt wirksam entgegentreten.

Das unbeeinflusste Gefüge innerhalb des Werkstoffs in der Mitte des Bauteils zeigt eben diese Struktur: kleine β -Körner, die von α -Körnern umgeben sind. Hier ist ein Entzinkungsfortschritt unwahrscheinlich.

In den Angriffsbereichen, also am Bauteilrand, insbesondere an der Innenseite des Gehäuses, von wo der Korrosionsangriff startete, sind im Gefügebild langgezogene β -Körner zu sehen, die zudem zusammenhängend bis in den Werkstoff hinein vorliegen und nur von etwa gleichgroßen und in gleicher Weise angeordneten α -Körnern benachbart sind.

Als wasserseitige Ursachen können im Allgemeinen niedrige Gehalte an Hydrogencarbonat-Ionen und ein hohes Verhältnis von Chlorid- zu Hydrogencarbonat-Ionen ausgemacht werden. Eine geringe Fließgeschwindigkeit und Stagnationsbedingungen fördern die Bildung von Ablagerungen, die zu Pfropfenentzinkung führen können.

Eine wasserseitige Ursache für die vorliegenden Schadensfälle, also eine Verschiebung der Wasserbeschaffenheit in den Entzinkungsneigungsbereich des Turner-Diagramms, kann nicht als ausschlaggebende Ursache angenommen werden, da bereits das Ausgangswasser – unter Berücksichtigung des Chlorid- und des Sulfat-Gehaltes in Abhängigkeit von der Säurekapazität – deutlich im Entzinkungsbereich lag. Die kurzzeitige Erhöhung der Entzinkungsneigung nach der ersten Umstellung hat sich in der Zwischenzeit wieder nivelliert. Außerdem sind die Erkenntnisse, die aus dem Turner-Diagramm gewonnen werden können, auf dem hier vorliegenden entzinkungsbeständigen Werkstoff grundsätzlich nicht anwendbar.