

Begleitende Untersuchungen zur Vermeidung korrosionschemischer Probleme im Rohrnetz nach der Umstellung der Wasserversorgung im Stadtgebiet Bornheim

Langzeit-Monitoring für das Jahr 2021

Zwischenbericht zum Angebot 10010/2021/25709

Dezember 2021

Auftraggeber: Stadtbetrieb Bornheim

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 Jentzsch, MSc.
Telefon: 0208 40303-262
t.jentzsch@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: März 2021 bis Dezember 2021

Zur besseren Lesbarkeit werden Berufsbezeichnungen nicht geschlechtsspezifisch unterschieden.
Es sind immer alle Geschlechter gleichberechtigt angesprochen.

[IWW\Bericht SBB 2021_IWW.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 Hoffman, Prof. Dr. Christoph Schüth



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

Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Projekt-Zeitraum 2021 fanden zwei Netzbeprobungen statt, im März und im September des Jahres. Die Ergebnisse sind im Anschluss der Vorgängerprojekte (siehe Abschlussbericht 2020 zu den Projekten 2017/24254 und 2019/24830) als Gesamtbild zu betrachten. Denn seit Anfang des Jahres 2020 wird nun konstant das Mischungsverhältnis von 50 % WBV zu 50 % WTV eingestellt.

Die Trübungsmessungen und die Partikeluntersuchungen führten insgesamt zu niedrigeren Werten als in den Vorjahren. Die Probenahmestelle 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg) wies dabei die höchsten Trübungserscheinungen bei beiden Terminen auf.

Außerdem konnte im Projekt-Zeitraum des Jahres 2021 eine Unstetigkeit bei der Calcitlösekapazität im Trinkwasser festgestellt werden.

Empfehlungen

Es wird empfohlen, die Untersuchungen der Trinkwasserbeschaffenheit im Verteilungsgebiet durch die geplanten halbjährlichen Netzbeprobungen weiterzuführen. Bei der Fortführung des Projektes sollte ein Fokus auf die Analyse des Trinkwassers im Wasserwerk Eichenkamp gelegt werden, um die Calcitlösekapazität zu kontrollieren und um ein konstantes Mischungsverhältnis von 50 % WBV zu 50 % WTV mit konstanter Beschaffenheit im Versorgungsnetz zu gewährleisten. Zudem stellt sich die Frage, wie das Mischungsverhältnis der beiden Vorlieferanten eingestellt wird und wie diese Einstellung kontrolliert wird.

Die Ursachen für die unterschiedlich ausgeprägte Verteilung von mobilisierbaren Partikeln im Versorgungsnetz sollten hinterfragt und ggf. untersucht werden.

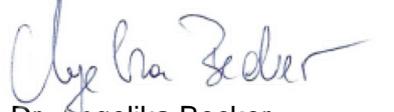
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser
Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH

Mülheim an der Ruhr, den 30.12.2021

ppa.


Dr. David Schwesig

i. V.


Dr. Angelika Becker
Bereichsleitung Wassernetze

i. A.


Dr. Ute Ruhrberg
Korrosionsschutz

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Hintergrund	3
1.1	Ziel des Projekts	4
1.2	Auftrag und Projektdurchführung	5
2	Datenerhebung und Datenanalyse	6
2.1	Auswahl der Probenahmestellen	6
2.2	Probenahmen von Wasserproben	7
2.2.1	Trinkwasser-Proben	7
2.2.2	Netzbeprobungen	8
2.3	Untersuchungsergebnisse	10
2.3.1	Proben aus dem Verteilungsnetz, visuelle Beurteilung und Trübung	10
2.3.1.1	Proben von der Beprobung im März 2021	10
2.3.1.2	Proben von der Beprobung im September 2021	13
2.3.2	Chemische Analyse der Wasserproben	16
2.3.3	Untersuchung der Partikelfracht	22
2.3.3.1	Ermittlung des Trübstoff-/Feststoff- und Schwebstoff-Anteils in den Wasserproben	22
2.3.3.2	Ermittlung der Partikelgröße und -verteilung	23
3	Schlussfolgerung – offene Fragen	26
4	Anhang	27

1 Einleitung und 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 zwei 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.

Aufgrund einer Störung im Bereich der Natronlauge-Dosieranlage und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Trinkwasserqualität wurde innerhalb der Stadt Bornheim darüber diskutiert, zukünftig Trinkwasser ausschließlich vom WTV zu beziehen und auf die Zumischung des härteren Wassers des WBV zu verzichten.

IWW stellte 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) zwei Konzepte der Umstellung vergleichend vor: 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 %.

Mit Beschluss vom 17.03.2017 entschied der Rat der Stadt Bornheim, das Mischungsverhältnis stufenweise umzustellen, mit dem Ziel 50 % WBV zu 50 % WTV ab 1. Januar 2020. Die Umstellung der Wasserversorgung im Stadtgebiet Bornheim wurde zur Vermeidung korrosionschemischer Probleme im Rohrnetz von IWW begleitend untersucht (siehe Abschlussbericht 2020 zu den Projekten 2017/24254 und 2019/24830).

Die ersten Beprobungen sowie die Analysen und Messungen an diesen Proben ergaben 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 zunächst keine besorgniserregende Veränderung festgestellt werden.

Auch später war festzustellen, dass bei Betrachtung der Partikelmessungen keine signifikanten Veränderungen auftraten, die auf Umbildungsprozesse innerhalb der Deckschichten an den Rohrrinnenwandungen hingedeutet hätten. So wurde im Normalbetrieb 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.

Bei der Beprobung im Dezember 2019 konnte jedoch ein leichter Anstieg im partikulären Anteil von Calcium und Silizium festgestellt werden. Dies konnte als ein Indiz dafür gedeutet werden, dass nach der bis dahin zweijährigen Betriebsweise mit Wasser des gleichen Mischungsverhältnisses (40% WTV) die Deckschichtbestandteile an den Rohrrinnenwandungen zum Teil abgelöst und als partikuläre Fracht ins Wasser gelangen konnten. Im Jahr 2020, beim zuletzt eingestellten Mischungsverhältnis (50% WBV zu 50% WTV), konnte eine weitere Zunahme der partikulär vorliegenden maximalen Eisenkonzentrationen in den untersuchten, maximal getrübten Spülwasserproben festgestellt werden.

1.1 Ziel des Projekts

Ziel der im Folgeprojekt durchzuführenden Langzeituntersuchung ist die Überprüfung, ob sich eine Erhöhung des Rostwasserrisikos nach einem längeren Betrieb des Wassers im Mischungsverhältnis (50% WBV zu 50% WTV) einstellt. Das Langzeitverhalten hinsichtlich der Deckschichtstabilität und einer möglichen Erhöhung des Rostwasserrisikos durch begünstigte Korrosionsprozesse soll durch begleitende Analysen des Wassers beobachtet werden. Daher soll ein fortgeführtes Monitoring der Wasserbeschaffenheit im Netz über einen dreijährigen Untersuchungszeitraum (2021 bis 2023) durchgeführt werden, mit Netzbeprobungen nach dem bewährten Verfahren, jeweils im Frühjahr und im Herbst (Abbildung 1). Die Ergebnisse aus diesen sechs Beprobungen (aus den Jahren 2021, 2022 und 2023), zusammen mit den zuvor ermittelten Ergebnissen (aus den Jahren 2017 bis 2020), können eine ausreichende Datenmenge darstellen, um eine prognostische Beurteilung hinsichtlich der Langzeitauswirkungen der Wasserumstellung zu ermöglichen.

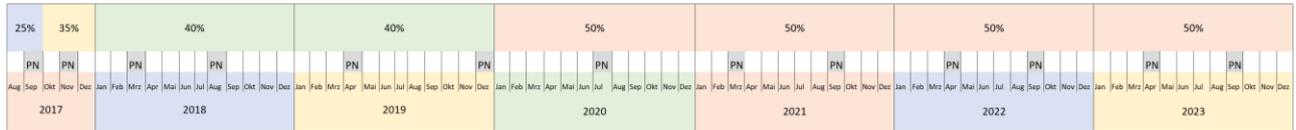


Abbildung 1: Zeitachse zur Entnahme von Spülwasserproben; begleitend zur stufenweisen Umstellung durchgeführte Beprobungen (2017 bis 2020) und zum Langzeit-Monitoring geplante Beprobungen (2021 bis 2023)

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 01.03.2021, Zeichen S 5.2 Hh, die Langzeitauswirkungen der Umstellung der Wasserversorgung im Stadtgebiet Bornheim zur Vermeidung korrosionschemischer Probleme im Rohrnetz begleitend zu untersuchen. Dazu wurden zwei Netzbeprobungen pro Jahr vereinbart.

2 Datenerhebung und Datenanalyse

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der Umstellung des Mischungsverhältnisses auf die Wasserbeschaffenheit dargestellt. Das geänderte, nun vorliegende Mischungsverhältnis 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, elektrische Leitfähigkeit, Härte usw.) führen.

2.1 Auswahl der Probenahmestellen

Im Verteilungsgebiet Bornheim wurden für das abgeschlossene Vorläuferprojekt fünf 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. Innerhalb des Projektzeitraums wurden einige Probenahmestellen verändert, eine wurde komplett zurückgebaut, so dass für das Langzeit-Projekt an den folgenden vier Stationen im Netz¹ die GG-Rohrleitungen gespült und beprobt wurden (Tabelle 1). Die ursprüngliche Nummerierung wurde beibehalten, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Daher existieren nun die Proben 1, 3, 4 und 5.

Tabelle 1: Stationen der festgelegten Netzspülungen und -beprobungen

Nr.	Netz-Station	Rohr-Dimension	Besonderheit
1	Landgraben 2, Bornheim	DN 100	Keine, gegenüber KiTa
2	Friedrichstr. 3a, Reisdorf	DN 100	Endstrang vor Schule inzwischen-weggefallen
3	Römerstr. 69/70, Widdig	DN 100	Gegenüber Feuerwache, Zonengrenze
4	Oderstr./Ecke Grüner Weg, Hersel	DN 100	Pendelzone, geringer Wasseraustausch
5	Jodokusstr. 5, Walberberg	DN 100	Neben Pferdeweide, Endstrang

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

Das Wasserrohrnetz von Bornheim ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Probenahmestellen sind über das gesamte Areal verteilt und bilden somit einen repräsentativen Teil des Netzes ab. Die Bereiche (Hochzone, Tiefzone, Rheinorte) sind mit mindestens einer PN-Stelle vertreten.

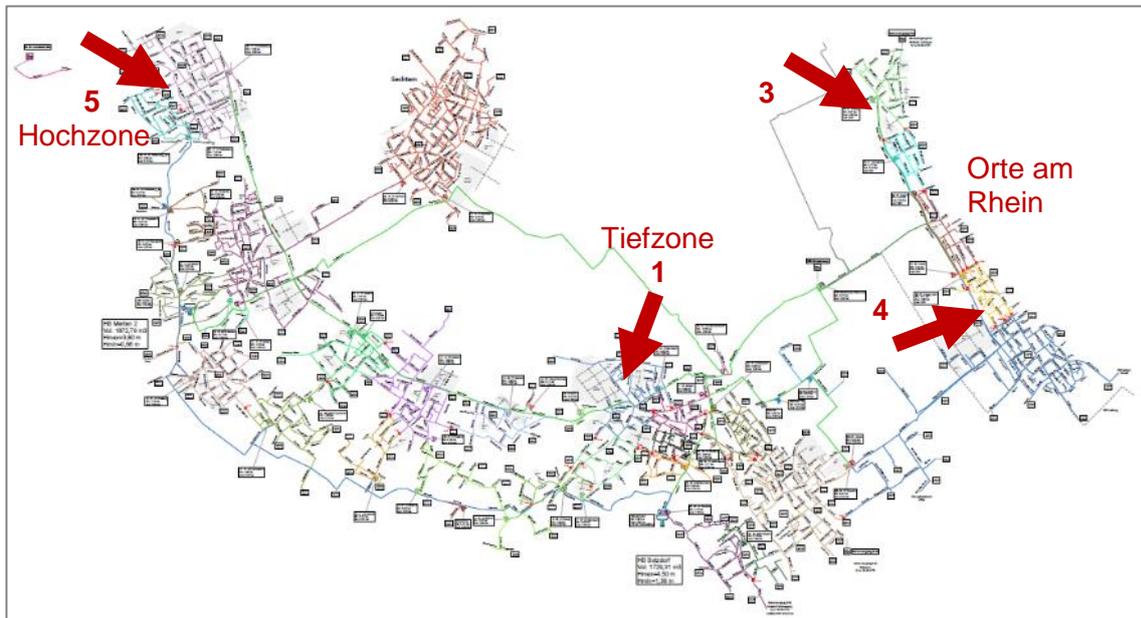


Abbildung 2: Übersichtsplan Wasserrohrnetz Bornheim

Die roten Pfeile zeigen ungefähr die geographischen Orte der Probenahmestellen an.

2.2 Probenahmen von Wasserproben

Im Jahr 2021 fanden zwei Beprobungstermine (Netzspülung mit gleichzeitiger Probenahme) statt.

- 30./31. März
- 14./15. September

2.2.1 Trinkwasser-Proben

Bei jedem Probenahmetermin wurde im Wasserwerk Eichenkamp eine Wasserprobe am Ausgang nach der ehemaligen 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

2.2.2 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 Probenahme flaschen 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).

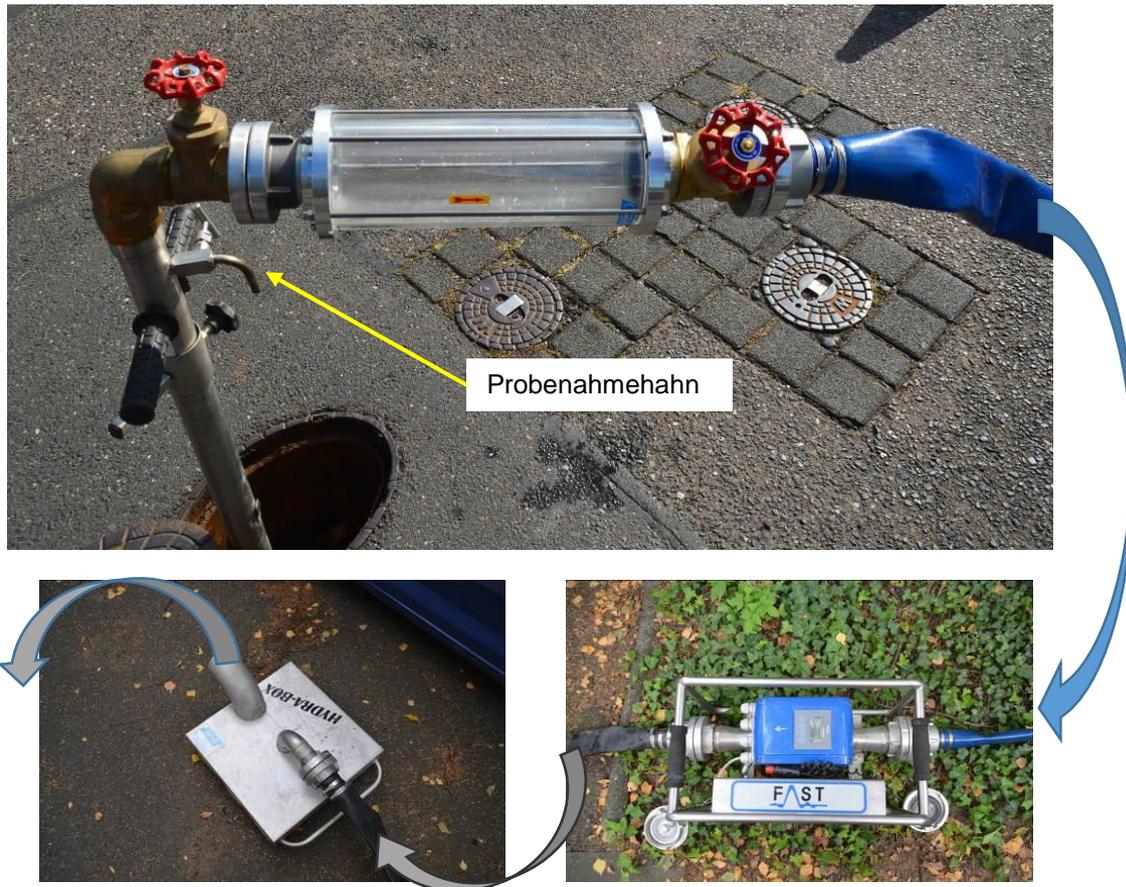


Abbildung 4: Netzspülung und Netzbeprobung mittels Standrohr

Beprobungen des Trinkwassers fanden an den vier zuvor bezeichneten Stellen innerhalb des Verteilungsnetzes statt. Bei der Probenahme wurde zunächst das Stagnationswasser aus dem Anschluss-Stich zum Standrohr (ca. 20 Liter) abfließen gelassen, dann eine Probe im Normalbetrieb genommen und anschließend die Spülung durchgeführt, bei der im Abstand von 3 Minuten weitere Proben genommen wurden. Bei Normalbetrieb wurde eine Fließgeschwindigkeit von etwa $2 \text{ m}^3/\text{h}$ eingeregelt; bei Spülbetrieb wurde das Ventil vollständig geöffnet, so dass Fließgeschwindigkeiten von 27 bis $44 \text{ m}^3/\text{h}$ ermittelt werden konnten.

2.3 Untersuchungsergebnisse

2.3.1 Proben aus dem Verteilungsnetz, visuelle Beurteilung und Trübung

2.3.1.1 Proben von der Beprobung im März 2021

Die Ergebnisse der Netzbeprobung wurden photographisch dokumentiert (Abbildung 5 bis Abbildung 8). Die 2-Liter-Flaschen wurden hierzu auf einem weißen Untergrund aufgestellt. Die zeitliche Reihenfolge der Probenahme 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 Spülproben nur sehr geringfügige Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 5). Nach 6 bis 9 Minuten Spüldauer 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 5: Netzbeobachtung Landgraben, März 2021

Am Standort *Römerstr. 69/70* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in allen Spülproben kaum Färbung/Trübung (Abbildung 6) nachzuweisen, die höchsten Trübungswerte konnten in der Probe nach 15 Minuten Spüldauer gemessen werden. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (Spülbeginn), 3-5 (maximale Trübung) und 3-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 6: Netzbeprobung Römerstraße, März 2021

Am Standort *Oderstr., Ecke Grüner Weg* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in den ersten drei Spülproben eine geringfügige Färbung/Trübung nachzuweisen (Abbildung 7). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (Spülbeginn), 4-1 (maximale Trübung) und 4-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 7: Netzbeprobung Oderstraße, Ecke Grüner Weg, März 2021

Am Standort *Jodokusstr. 5* war augenscheinlich schwach sichtbare Färbung/Trübung in den ersten drei Proben nachzuweisen (Abbildung 8), also nach erfolgter Spülung bis etwa 6 Minuten. Die Probe 5-1 wies die stärkste Trübung auf. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 5-N (Normalbetrieb), 5-0 (Spülbeginn), 5-1 (maximale Trübung) und 5-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 8: Netzbeprobung Jodokusstraße, März 2021

Bei allen Proben wurden vor Ort folgende Parameter bestimmt

- Temperatur [°C]
- pH-Wert
- elektrische Leitfähigkeit (bei 25°C) [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
- Trübung [FNU]

Die Messwerte der Vor-Ort-Parameter sind in Tabelle 2 aufgeführt. Zur besseren Lesbarkeit ist die Tabelle im Anhang 2 im Querformat noch einmal vergrößert dargestellt.

Tabelle 2: Vor-Ort-Parameter der Beprobung im März 2021

Landgraben 2				Römerstr. 69/70				Oderstr./Ecke Grüner Weg				Jodokusstr. 5							
Probe x = 1	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 3	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 4	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 5	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]
x-N	12,6	495	7,735	0,81	x-N	11,7	506	7,923	0,71	x-N	10,4	551	7,932	0,09	x-N	10,6	526	7,947	0,33
x-0	12,4	507	7,834	1,42	x-0	10,8	510	7,903	3,19	x-0	10,1	550	7,919	16,1	x-0	10,7	539	7,866	1,56
x-1	12,6	519	7,714	8,77	x-1	10,8	511	7,882	3,89	x-1	10,1	550	7,85	21,0	x-1	10,7	546	7,837	2,23
x-2	12,1	521	7,833	3,19	x-2	10,7	510	7,881	2,71	x-2	10,2	548	7,831	15,4	x-2	10,9	538	7,828	1,95
x-3	12,2	523	7,814	2,59	x-3	10,8	516	7,868	3,67	x-3	10,3	547	7,83	5,97	x-3	10,8	541	7,823	1,55
x-4	12,1	527	7,829	2,41	x-4	10,9	522	7,859	3,03	x-4	10,3	547	7,821	7,60	x-4	10,9	541	7,836	1,41
x-5	12,5	527	7,828	1,61	x-5	10,9	530	7,868	4,72	x-5	10,4	546	7,815	4,06	x-5	11,0	546	7,834	1,27
x-6	12,6	532	7,823	1,75	x-6	10,9	535	7,867	2,75	x-6	10,5	546	7,814	3,34	x-6	10,9	549	7,826	1,69
x-7	12,8	533	7,855	1,24	x-7	11,1	542	7,872	2,74	x-7	10,6	547	7,815	2,69	x-7	11,0	550	7,815	1,81
x-8	12,5	532	7,829	1,08	x-8	11,0	544	7,848	2,31	x-8	10,7	546	7,829	2,27	x-8	11,0	551	7,825	1,70
x-9	12,9	531	7,835	1,04	x-9	11,0	544	7,845	2,29	x-9	10,7	547	7,801	2,40	x-9	11,1	547	7,836	1,51
x-10	12,2	536	7,833	1,14	x-10	11,1	532	7,848	2,82	x-10	10,6	547	7,81	2,67	x-10	11,0	546	7,826	1,43
x-11	12,4	537	7,837	0,99	x-11	11,0	527	7,841	2,43	x-11	10,8	548	7,792	2,27	x-11	11,1	545	7,832	1,39
x-12	12,1	537	7,844	0,94	x-12	11,2	526	7,847	1,42	x-12	10,7	549	7,784	1,83	x-12	11,1	545	7,842	1,65
x-13	12,4	536	7,838	0,93	x-13	11,2	529	7,855	1,85	x-13	10,8	548	7,787	1,61	x-13	11,0	544	7,834	1,65
x-14					x-14	11,1	526	7,840	1,45	x-14	10,9	547	7,817	1,41	x-14	11,2	544	7,829	1,45
x-15					x-15	11,4	526	7,863	1,40	x-15	10,9	548	7,787	1,33	x-15	11,3	544	7,833	1,32
x-16					x-16	11,0	527	7,850	1,41	x-16	10,7	549	7,784	1,42	x-16	11,1	545	7,825	1,41
x-17					x-17	11,1	527	7,837	1,39	x-17	10,8	549	7,794	1,42	x-17	11,3	544	7,830	1,43
x-18					x-18	11,1	529	7,855	1,26	x-18	10,8	549	7,787	1,47	x-18	11,2	545	7,842	1,41
x-19					x-19	11,3	530	7,868	1,86	x-19	11,0	549	7,79	1,29	x-19	11,1	547	7,841	1,66
x-20					x-20	11,2	529	7,851	1,02	x-20	10,8	548	7,777	1,20	x-20	11,4	542	7,840	1,18

Die graphische Darstellung der Vor-Ort-Parameter (Abbildung 9) lässt im Verlauf der Trübungsmessungen – Kurven mit Rauten-Symbolen – die fallenden Werte nach dem anfänglichen Anstieg (zu Beginn der Spülung) gut erkennen. Die Leitfähigkeitsmessungen – Kurven mit Dreieck-Symbolen – weisen eine gewisse Schwankung auf. Die Temperaturverläufe – Kurven mit Kreis-Symbolen – zeigen in etwa Konstanz. Und beim pH-Wert – Kurven mit Quadrat-Symbolen – ist bei allen Messungen ein etwa gleich bleibender Wert von pH 7,8 ermittelt worden.

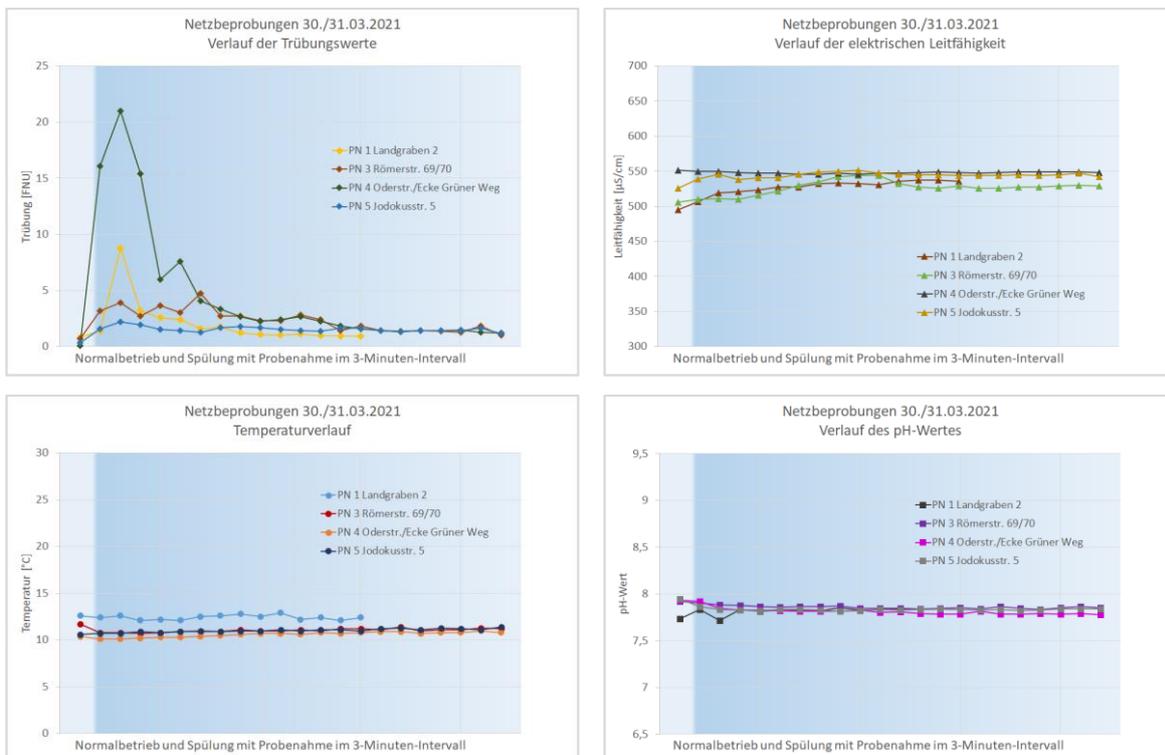


Abbildung 9: Vor-Ort-Parameter der Netzbeprobungen im März 2021

2.3.1.2 Proben von der Beprobung im September 2021

Die Ergebnisse dieser Netzbeprobung wurden ebenfalls fotografisch dokumentiert (Abbildung 10 bis Abbildung 13) und an Hand des visuellen Erscheinungsbildes zur weiteren Untersuchung ausgewählt.

Am Standort *Landgraben 2* war augenscheinlich in den ersten drei Spülproben sichtbare Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 10). Nach 9 bis 12 Minuten Spüldauer war wieder klares Wasser zu sehen. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 1-N (Normalbetrieb), 1-0 (maximale Trübung) und 1-18 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 10: Netzbeobachtung Landgraben, Sept. 2021

Am Standort *Römerstr. 69/70* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in allen Spülproben kaum Färbung/Trübung (Abbildung 11) nachzuweisen, die höchsten Trübungswerte konnten in der Probe nach 15 Minuten Spüldauer gemessen werden. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (Spülbeginn), 3-3 (maximale Trübung) und 3-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 11: Netzbeobachtung Römerstraße, Sept. 2021

Am Standort *Oderstr., Ecke Grüner Weg* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in den ersten vier Spülproben deutliche Färbung/Trübung nachzuweisen, in den drei nachfolgenden wurden etwas schwächere Färbungs-/Trübungserscheinungen festgestellt und da-

nach immer klarer werdendes Wasser (Abbildung 12). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (Spülbeginn), 4-3 (maximale Trübung) und 4-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 12: Netzbeprobung Oderstraße, Ecke Grüner Weg, Sept. 2021

Am Standort *Jodokusstr. 5* war augenscheinlich deutlich sichtbare Färbung/Trübung in den ersten drei Proben nachzuweisen (Abbildung 13), also nach erfolgter Spülung bis etwa 6 Minuten. Die Probe 5-1 wies die stärkste Trübung auf. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 5-N (Normalbetrieb), 5-0 (Spülbeginn), 5-1 (maximale Trübung) und 5-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 13: Netzbeprobung Jodokusstraße, Sept. 2021

Bei allen Proben wurden vor Ort folgende Parameter bestimmt

- Temperatur [°C]
- pH-Wert
- elektrische Leitfähigkeit (bei 25°C) [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
- Trübung [FNU]

Die Messwerte der Vor-Ort-Parameter sind in Tabelle 3 aufgeführt. Zur besseren Lesbarkeit ist die Tabelle im Anhang 2 im Querformat noch einmal vergrößert dargestellt.

Tabelle 3: Vor-Ort-Parameter der Beprobung im Sept. 2021

Landgraben 2				14.09.2021				Römerstr. 46				14.09.2021				Oderstr./Ecke Grüner Weg				15.09.2021				Jodokusstr. 5				15.09.2021			
Probe x = 1	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 3	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 4	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 5	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 5	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 5	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]		
x-N	19,1	486	7,631	0,66	x-N	16,6	533	7,28	0,94	x-N	19	539	7,567	1,27	x-N	21,9	510	7,6	0,25												
x-0	18,2	496	7,841	20,1	x-0	16,0	537	7,534	2,56	x-0	18,5	536	7,549	24,3	x-0	20,5	512	7,615	13,7												
x-1	17,8	520	7,86	14,8	x-1	16,0	536	7,541	6,05	x-1	18,5	535	7,551	22,7	x-1	20,4	503	7,624	28,7												
x-2	17,2	515	7,857	6,86	x-2	16,6	536	7,601	8,11	x-2	18,4	532	7,572	23,4	x-2	19,8	497	7,66	25,3												
x-3	17,3	512	7,892	4,16	x-3	16,3	536	7,584	9,72	x-3	18,7	528	7,59	25,5	x-3	19,5	505	7,671	8,2												
x-4	16,9	519	7,906	2,97	x-4	16,3	535	7,548	7,82	x-4	18,7	527	7,622	16,2	x-4	19,4	508	7,68	5,8												
x-5	16,8	520	7,884	2,78	x-5	16,2	532	7,567	7,41	x-5	18,7	526	7,624	10,3	x-5	19,3	507	7,683	6,05												
x-6	16,9	524	7,813	2,39	x-6	16,1	528	7,573	5,21	x-6	18,8	525	7,625	10,7	x-6	19,4	508	7,682	4,5												
x-7	16,4	526	7,782	2,81	x-7	16,2	525	7,576	5,67	x-7	18,7	521	7,644	9,82	x-7	19,4	512	7,684	4,55												
x-8	16,1	522	7,742	2,13	x-8	16,2	519	7,574	3,21	x-8	18,7	520	7,639	8,25	x-8	19,4	512	7,693	3,86												
x-9	16,1	523	7,75	1,44	x-9	16,3	512	7,594	2,42	x-9	18,8	519	7,656	8,32	x-9	19,3	513	7,702	2,97												
x-10	16,3	521	7,769	1,18	x-10	16,4	513	7,618	2,37	x-10	18,7	515	7,666	8,53	x-10	19,5	513	7,723	2,82												
x-11	16,1	530	7,742	1,42	x-11	16,4	517	7,604	2,2	x-11	18,7	514	7,656	6,01	x-11	19,4	513	7,717	2,57												
x-12	16	530	7,788	1,27	x-12	16,5	512	7,604	2,49	x-12	18,9	512	7,68	5,13	x-12	19,3	512	7,726	2,24												
x-13	15,8	532	7,861	1,13	x-13	16,4	508	7,609	2,31	x-13	18,6	511	7,663	4,52	x-13	19,3	513	7,742	2,01												
x-14	15,9	531	7,88	0,82	x-14	16,3	503	7,648	1,94	x-14	18,6	511	7,675	4,28	x-14	19,3	514	7,742	1,71												
x-15	15,8	534	7,844	1,05	x-15	16,3	502	7,641	1,82	x-15	18,6	509	7,676	4,05	x-15	19,3	515	7,764	1,71												
x-16	15,7	532	7,829	0,88	x-16	16,1	501	7,639	1,76	x-16	18,6	508	7,688	4,23	x-16	19,2	513	7,759	1,46												
x-17	15,9	532	7,931	0,78	x-17	16,2	500	7,649	1,75	x-17	18,4	505	7,675	4,11	x-17	19,3	512	7,757	1,79												
x-18	15,8	530	7,903	0,84	x-18	16,2	499	7,662	2,03	x-18	18,5	506	7,697	3,41	x-18	19,3	513	7,762	1,77												
x-19					x-19	16,1	499	7,662	1,81	x-19	18,5	504	7,692	3,79	x-19	19,2	513	7,775	1,34												
x-20					x-20	16,2	498	7,618	1,65	x-20	18,5	503	7,697	3,16	x-20	19,1	514	7,766	1,65												

Die graphische Darstellung der Vor-Ort-Parameter (Abbildung 14) lässt im Verlauf der Trübungsmessungen – Kurven mit Rauten-Symbolen – die fallenden Werte nach dem anfänglichen Anstieg (zu Beginn der Spülung) gut erkennen. Die Leitfähigkeitsmessungen – Kurven mit Dreieck-Symbolen – weisen eine gewisse Schwankung auf. Die Temperaturverläufe – Kurven mit Kreis-Symbolen – zeigen in etwa Konstanz. Und beim pH-Wert – Kurven mit Quadrat-Symbolen – ist bei allen Messungen ein etwa gleich bleibender Wert von pH 7,7 ermittelt worden.

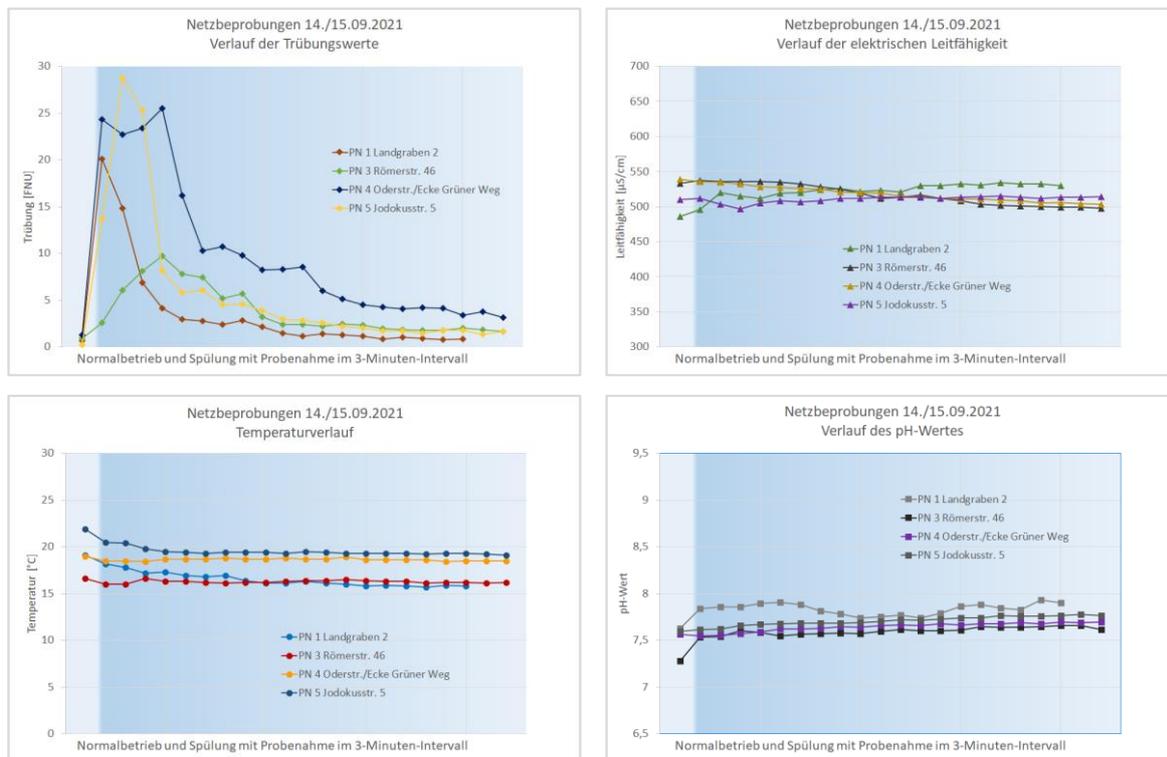


Abbildung 14: Vor-Ort-Parameter der Netzbeprobungen im Sept. 2021

2.3.2 Chemische Analyse der Wasserproben

Die am Wasserwerksausgang genommenen Trinkwasserproben sowie ausgewählte Proben aus den Netzbeprobungen 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 CaCO_3 (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 mit vorangestelltem „Kleiner-Zeichen“ (<) Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze des jeweiligen Analysenverfahrens an. 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 O_2
- pH-Wert > 7,0
- $K_{\text{S}_{4,3}} > 2 \text{ mmol/l}$
- Calciumkonzentration > 1 mmol/l ($\text{c}(\text{Ca}^{2+})$)

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

Die Analysenergebnisse (ausgewählte, korrosionsrelevante Parameter) der Trinkwasserproben sind in Tabelle 4 im Vergleich zu den im Internet veröffentlichten Durchschnittswerten aus der aktuellen Analyse (März 2021) dargestellt.

Zur Bewertung des Rostwasserbildungspotenzials wird in der Regel der Anionenquotient S_1 herangezogen, der die Wechselwirkung zwischen korrosionsfördernden und korrosionshemmenden Wasserparametern beschreibt (die Wasserparameter Chlorid (Cl), Sulfat (SO_4) und Nitrat (NO_3) wirken korrosionsfördernd, Hydrogencarbonat (HCO_3) korrosionshemmend). Der Anionenquotient S_1 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 (HCO_3^-) entspricht der Säurekapazität bis pH 4,3. Der Anionenquotient S_1 zeigt – als Abschätzung – eine erhöhte Korrosionsneigung im Hinblick auf die Bildung von Rostwasser für un- und niedriglegierte Eisenwerkstoffe an, wenn $S_1 > 1$. Bei Werten von $S_1 \leq 0,5$ ist mit einer geringen Korrosionsneigung zu rechnen.

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 auch schon 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.

Wasseranalysen von 2016 bis 2021 sind in Tabelle 4 dargestellt. Die Wasserproben im Wasserwerk Eichenkamp wurden im Rahmen des Vorgängerprojektes und des aktuellen Projektes genommen. Zum Vergleich sind Internet-Veröffentlichungen der Durchschnittsanalysen von den Jahren 2016, 2020 und 2021 angegeben.

Tabelle 4: Analysenergebnisse der Trinkwasserproben seit 2016 vom Wasserwerk Eichenkamp im Vergleich zu veröffentlichten Durchschnittsanalysen

Parameter	2016 Internet	Sep. 2017	Nov. 2017	Mrz. 2018	Aug. 2018	Apr. 2019	Dez. 2019	Jul. 2020	2020 Internet	Mrz. 2021	Sep. 2021	2021 Internet
Mischungsverhältnis % WTV zu % WBV	25	25	35	40	40	40	40	50	50	50	50	50
	75	75	65	60	60	60	60	50	50	50	50	50
Temperatur [°C]						12,0	11,8	13,4	9,7	12,2	13,3	10,2
Elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	585	630	551	585	602	564	555	543	511	530	530	490
Trübung [FNU]						0,04	0,15	0,11	< 0,1		0,12	0,27
pH-Wert	7,3	7,42	7,46	7,42	7,35	7,59	7,73	7,75	7,8	7,82	7,32	7,2
Säurekapazität $K_{S4,3}$ [mmol/l]	3,6	3,08	2,55	2,89	3,05	2,78	2,69	2,83	2,4	2,74	2,69	2,2
Basekapazität $K_{B8,2}$ [mmol/l]	0,84	0,26	0,22	0,26	0,33	0,14	0,14	0,13	0,52	0,11	0,05	0,30
Calcium [mmol/l]	1,95	1,72	1,47	1,64	1,74	1,54	1,62	1,53	1,27	1,44	1,48	1,38
Chlorid [mg/l]	57	60,3	58,2	55,1	54,8	54,2	58,7	48,6	49	51,4	51,7	49
Nitrat [mg/l]	22	18,6	15,7	17,8	20,6	17,9	17,3	19,4	16	18,9	18,7	17
Sulfat [mg/l]	67	58,4	48,6	54,8	56,8	49,7	49,1	50,9	48	50,1	49,5	46
TOC [mg/l]	0,89	0,46	0,59	0,79	0,53	0,45	0,58	0,49	0,62	0,49	0,55	0,50
Sauerstoff [mg/l]	3,6								8,8			7,6
Calcitlösekapazität mg/l CaCO₃ (berechnet)	0 (Gleich- gewicht)	5,44	8,47	8,99	9,08	4,5	2,3	-3,9	-0,9 (Gleich- gewicht)	1,34	-2,24	16,6
Anionenquotient S_1 (berechnet)	0,93	1,04	1,14	1,03	1,00	1,03	1,10	0,97	1,10	1,02	1,04	1,19

Der pH-Wert ist im Laufe der Zeit stetig angestiegen, von pH 7,3 im Jahr 2016 auf pH 7,8 im Jahr 2020. (Im Jahr 2021 fiel er dann wieder auf pH 7,3.) Gleichzeitig hat die Basekapazität $K_{B8,2}$ entsprechend abgenommen. Die Internet-Analysen weichen ein wenig von diesen Ergebnissen ab. Die Säurekapazität $K_{S4,3}$ weist in dem Zeitraum starke Schwankungen auf.

Die Calcitlösekapazität sollte planmäßig bei einem Wert eingestellt werden, der den Höchstwert von 10 mg/l CaCO_3^4 nicht überschreiten sollte. Eine Calcitlösekapazität von 10 mg/l CaCO_3 sollte nicht überschritten werden, da unter diesen Bedingungen die Neigung zur Lösung vorhandener Deckschichten an den Rohrrinnenoberflächen ansteigt. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die noch im Verteilungsnetz befindlichen Asbestzementrohre zu berücksichtigen, für deren Korrosionsverhalten die Verteilung eines geringfügig calcitabscheidenden Wassers, wie z. B. im Juli 2020 von Vorteil ist (Vermeidung der Abgabe von AZ-Fasern an das Trinkwasser).

Die Calcitlösekapazität lag bei der im Internet 2021 veröffentlichten Analyse deutlich oberhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 5 mg/l und oberhalb des zulässigen Höchstwertes von 10 mg/l CaCO_3 bei Verteilung von Mischwässern bzw. oberhalb der tolerierten Werte für die Calcitlösekapazität durch das örtliche Gesundheitsamt. Die Wasserbeschaffenheit entspricht daher nicht den Vorgaben der Trinkwasserverordnung. Die Lösung vorhandener Deckschichten ist unter diesen Bedingungen erfahrungsgemäß größer als technisch unvermeidbar.

Die metallischen Bestandteile, die in den Wasserproben in gelöster und partikulärer Form enthalten waren, geben Aufschluss über bereits stattgefundene 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, für die März 2021-Beprobung in Tabelle 5, für die September 2021-Beprobung in Tabelle 6.

⁴ Per Absprache mit dem Gesundheitsamt Bornheim wird eine Calcitlösekapazität von 10 mg/l CaCO_3 am Wasserwerksausgang toleriert (H2U aqua-plan-Ing: Gutachten vom 07.03.2014, Begutachtung und Bewertung einer Vollversorgung der Bornheimer Wasserversorgung mit WTV-Wasser).

Tabelle 5: Analysenergebnisse der Wasserproben Mrz. 2021 – Metalle – Gegenüberstellung: gelöste und partikuläre Bestandteile

Probe	Parameter	Eisen [mg/l]	Mangan [mg/l]	Calcium [mg/l]
1-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	51,4
1-N	partikulär	0,01	< 0,010	0,0
1-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	53,3
1-0	partikulär	1,18	< 0,010	0,2
1-13	gelöst	0,02	< 0,010	58,8
1-13	partikulär	0,12	< 0,010	0,0
3-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	53,1
3-N	partikulär	0,03	< 0,010	0,1
3-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	53,7
3-0	partikulär	0,29	< 0,010	0,1
3-5	gelöst	< 0,010	< 0,010	56,9
3-5	partikulär	0,39	< 0,010	0,1
3-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	57,0
3-20	partikulär	0,21	< 0,010	0,0
4-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,5
4-N	partikulär	0,02	< 0,010	0,0
4-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,6
4-0	partikulär	1,72	< 0,010	0,0
4-1	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,0
4-1	partikulär	1,88	< 0,010	0,3
4-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,4
4-20	partikulär	0,20	< 0,010	0,0
5-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	58,2
5-N	partikulär	0,04	< 0,010	0,2
5-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	59,5
5-0	partikulär	0,23	< 0,010	0,0
5-1	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,0
5-1	partikulär	0,27	< 0,010	0,0
5-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,5
5-20	partikulär	0,19	< 0,010	0,0

Tabelle 6: Analysenergebnisse der Wasserproben Sept. 2021 – Metalle – Gegenüberstellung: gelöste und partikuläre Bestandteile

Probe	Parameter	Eisen [mg/l]	Mangan [mg/l]	Calcium [mg/l]
1-N	gelöst	0,011	< 0,010	52,0
1-N	partikulär	0,011	< 0,010	0,4
1-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	54,7
1-0	partikulär	3,01	< 0,010	0,4
1-18	gelöst	< 0,010	< 0,010	59,1
1-18	partikulär	0,135	< 0,010	0,0
3-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	59,2
3-N	partikulär	0,089	< 0,010	0,0
3-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	59,3
3-0	partikulär	0,497	< 0,010	0,4
3-3	gelöst	0,011	< 0,010	59,6
3-3	partikulär	1,029	0,012	0,0
3-20	gelöst	0,015	< 0,010	53,9
3-20	partikulär	0,206	< 0,010	0,0
4-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,0
4-N	partikulär	0,043	< 0,010	0,3
4-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,5
4-0	partikulär	3,623	0,026	0,0
4-3	gelöst	< 0,010	< 0,010	58,7
4-3	partikulär	4,463	0,041	0,1
4-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	55,2
4-20	partikulär	0,576	< 0,010	0,1
5-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	56,3
5-N	partikulär	0,023	< 0,010	0,1
5-0	gelöst	0,022	< 0,010	55,5
5-0	partikulär	4,329	< 0,010	0,1
5-1	gelöst	< 0,010	< 0,010	55,7
5-1	partikulär	4,041	0,010	0,2
5-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	57,3
5-20	partikulär	0,230	< 0,010	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 Mobilisierung suspendierter Partikel.

Calcium und Silikat liegen dagegen eindeutig überwiegend gelöst vor. Höhere Anteile an partikulär vorliegendem Eisen zeigen an, 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 5 und Tabelle 6 sind die auffällig hohen partikulären Bestandteile durch Fettdruck hervorgehoben.

2.3.3 Untersuchung der Partikelfracht

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

Zur genaueren Spezifikation der partikulären Bestandteile der Proben wurden die Wasserproben untersucht. Das Ergebnis für die beiden Beprobungen im Jahr 2021 ist im Vergleich zu den letzten Beprobungen des Vorgängerprojektes in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Feststoffmengenanalyse

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

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 hier dargestellten Zeitraum der Untersuchungen konnten zum Teil erhebliche Mengen an abfiltrierbaren Stoffen (Partikeln) nachgewiesen werden. Die im Untersuchungszeitraum 2021 festgestellten Mengen an abfiltrierbaren Stoffen (in der Tabelle in Fettdruck dargestellt) lagen allerdings deutlich geringer als in den Vorgängerjahren.

Sedimentierte Partikel (absetzbare Stoffe) waren 2021 nicht mehr festzustellen.

2.3.3.2 Ermittlung der Partikelgröße und -verteilung

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 1 dargestellt (Abbildung 19 bis Abbildung 26). 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 (Abbildung 15 bis Abbildung 18).

Im März 2021 war die größte Partikelanzahl mit ca. 130.000 Stück pro Milliliter in der Probe 4-0 festzustellen, im September 2021 war die größte Partikelanzahl mit etwas mehr als 180.000 Stück pro Milliliter in der Probe 4-3 festzustellen. Im Allgemeinen zeigte die PN-Stelle 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg) die größte Partikelkonzentration im Vergleich zu den anderen PN-Stellen. Absolut betrachtet konnten aber in den Partikelmessungen geringere Konzentrationen ermittelt werden als in den Vorgängerprojekten, in denen häufig mehrere 100.000 Stück pro Milliliter bestimmt wurden.

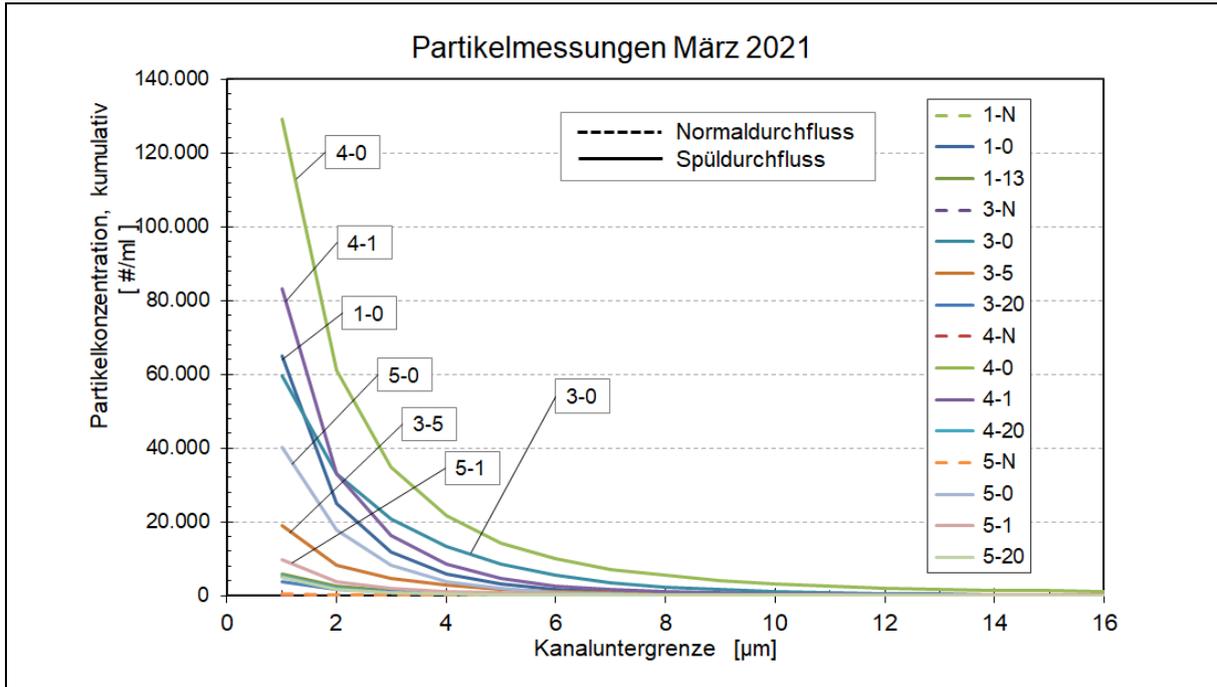


Abbildung 15: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, März 2021

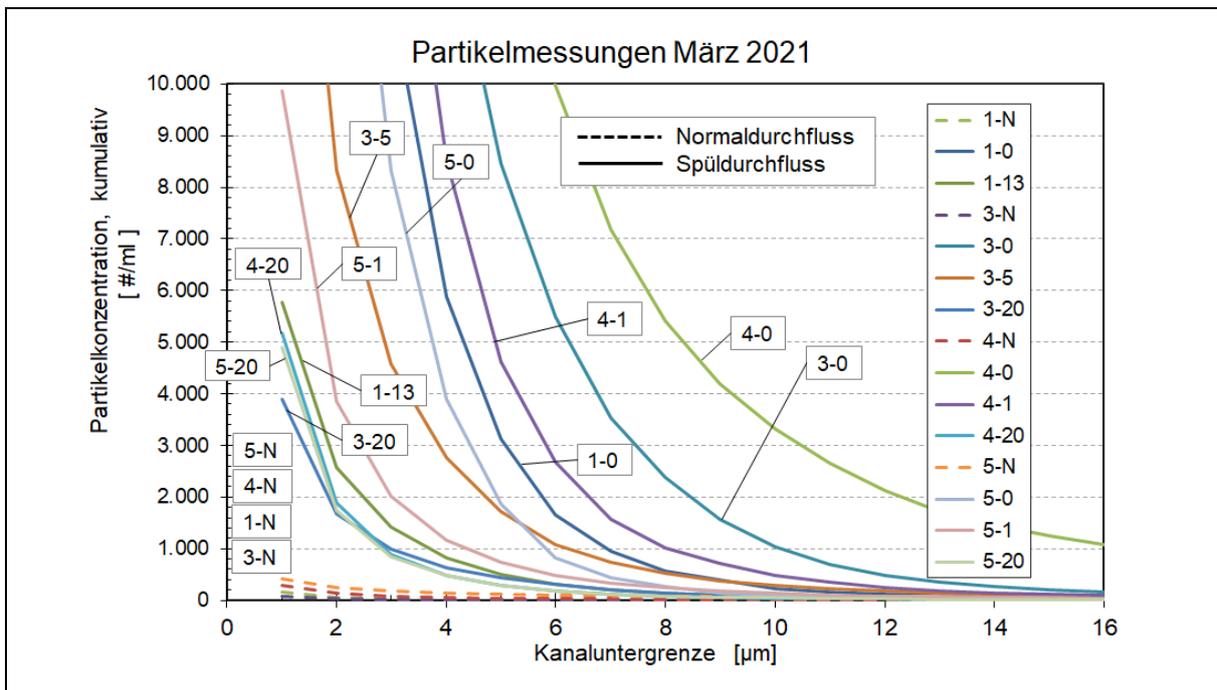


Abbildung 16: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, März 2021

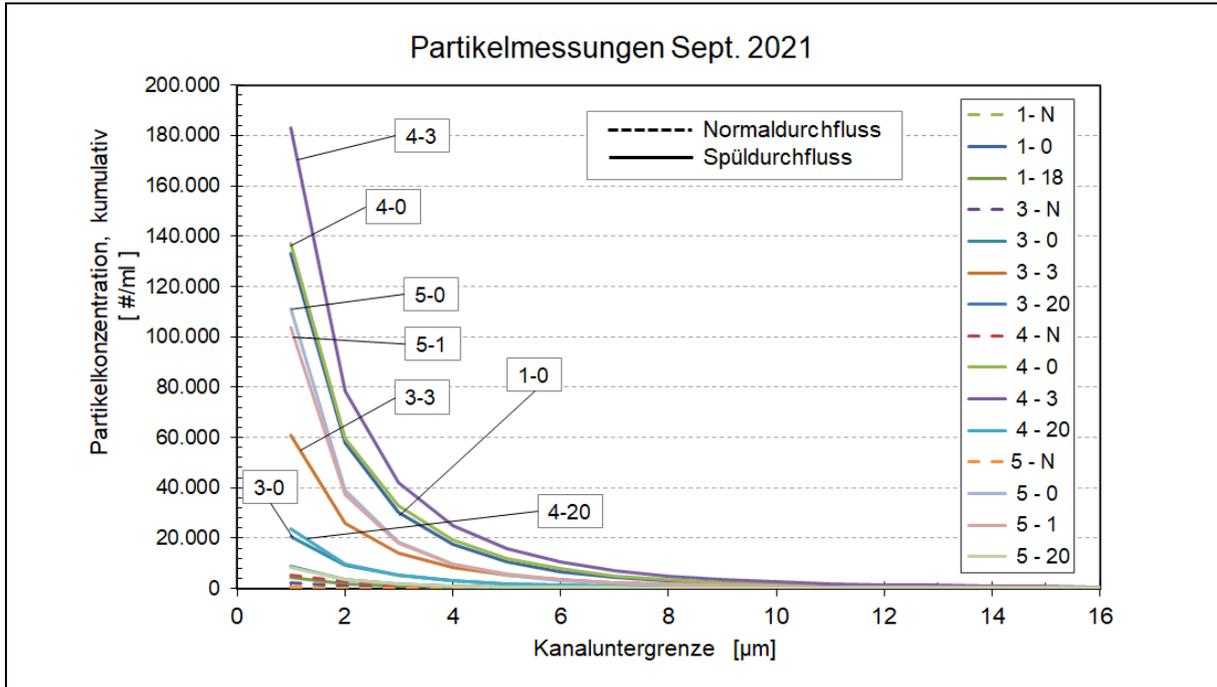


Abbildung 17: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, September 2021

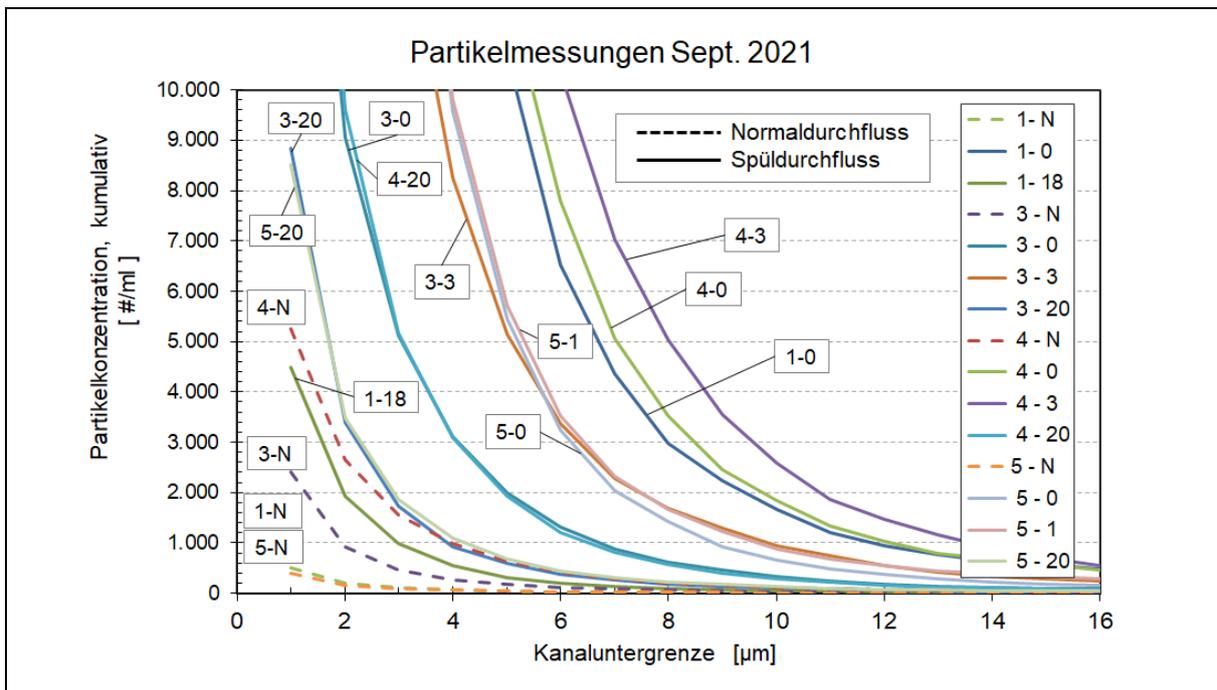


Abbildung 18: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, September 2021

3 Schlussfolgerung – offene Fragen

Im Vergleich zu den Ergebnissen des Vorgängerprojektes sind die Werte der Trübungsmessungen – absolut gesehen – insgesamt gesunken. Die Probenahmestelle 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg) zeigte – relativ zu den anderen PN-Stellen – die höchsten Trübungserscheinungen bei beiden Terminen. Die Ursachen für die Anhäufung von mobilisierbaren Partikeln in diesem Teil des Versorgungsnetzes sollten hinterfragt und ggf. untersucht werden.

Die Unstetigkeit in der Calcitlösekapazität wirft Fragen hinsichtlich der Einhaltung des vorgegebenen Mischungsverhältnisses von 50 % WBV zu 50 % WTV auf, das seit Ende des Jahres 2019 eingeregelt wurde. Mit Ende des Jahres 2021 sollte dieses Mischungsverhältnis demnach seit zwei Jahren konstant vorliegen.

4 Anhang

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Einzel-Diagramme der Partikelmessungen 2021

Anhang 2: Vor-Ort Parameter der Beprobungen im Jahr 2021

Anhang 1: Einzel-Diagramme der Partikelmessungen 2021

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

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind für die Beprobung im März 2021 in Abbildung 19 bis Abbildung 22 dargestellt, für die Beprobung im September 2021 in Abbildung 23 bis Abbildung 26.

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 (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.

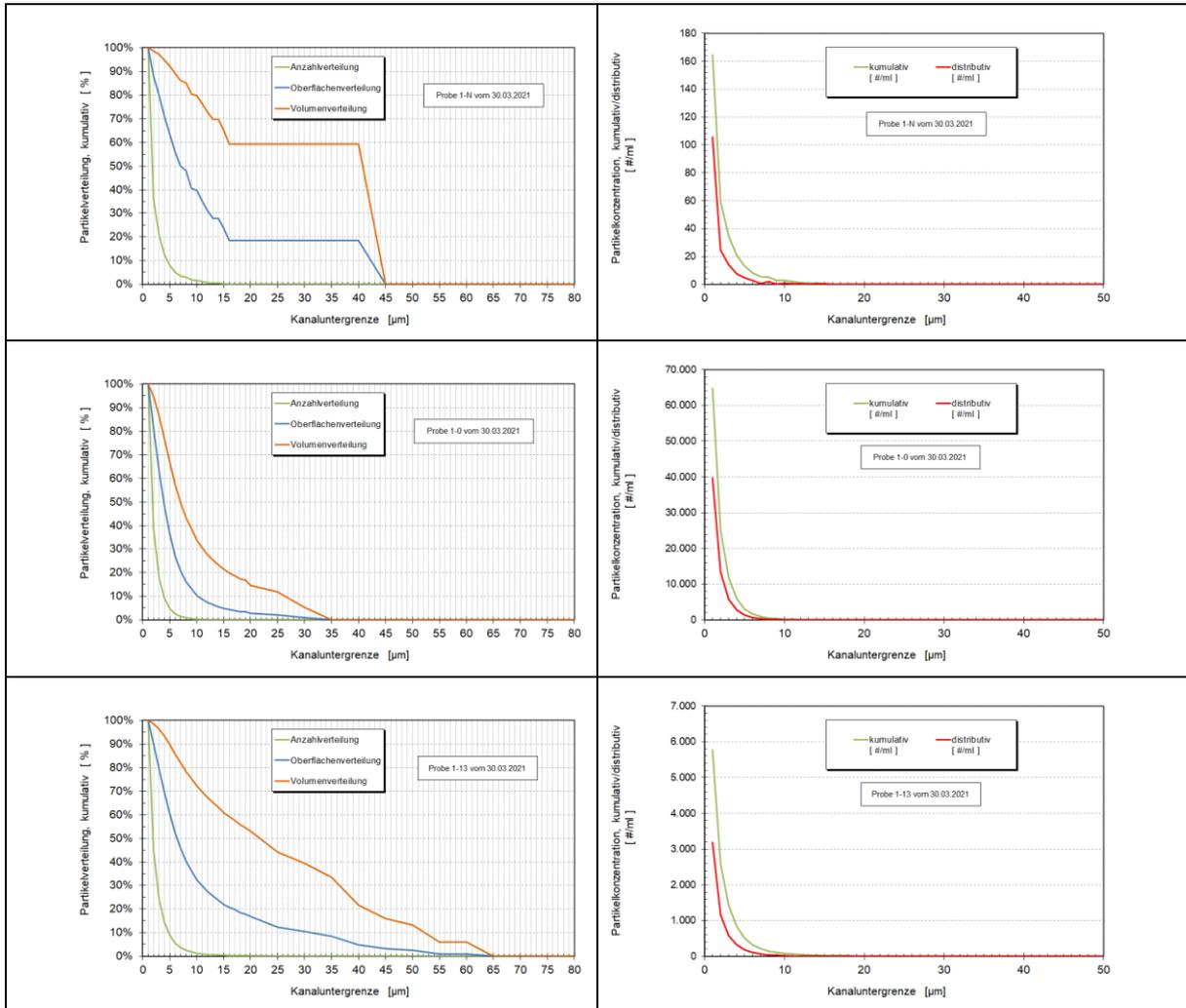


Abbildung 19: Partikelmessungen der Proben (Mrz. 21) der Netzstation 1 (Landgraben)

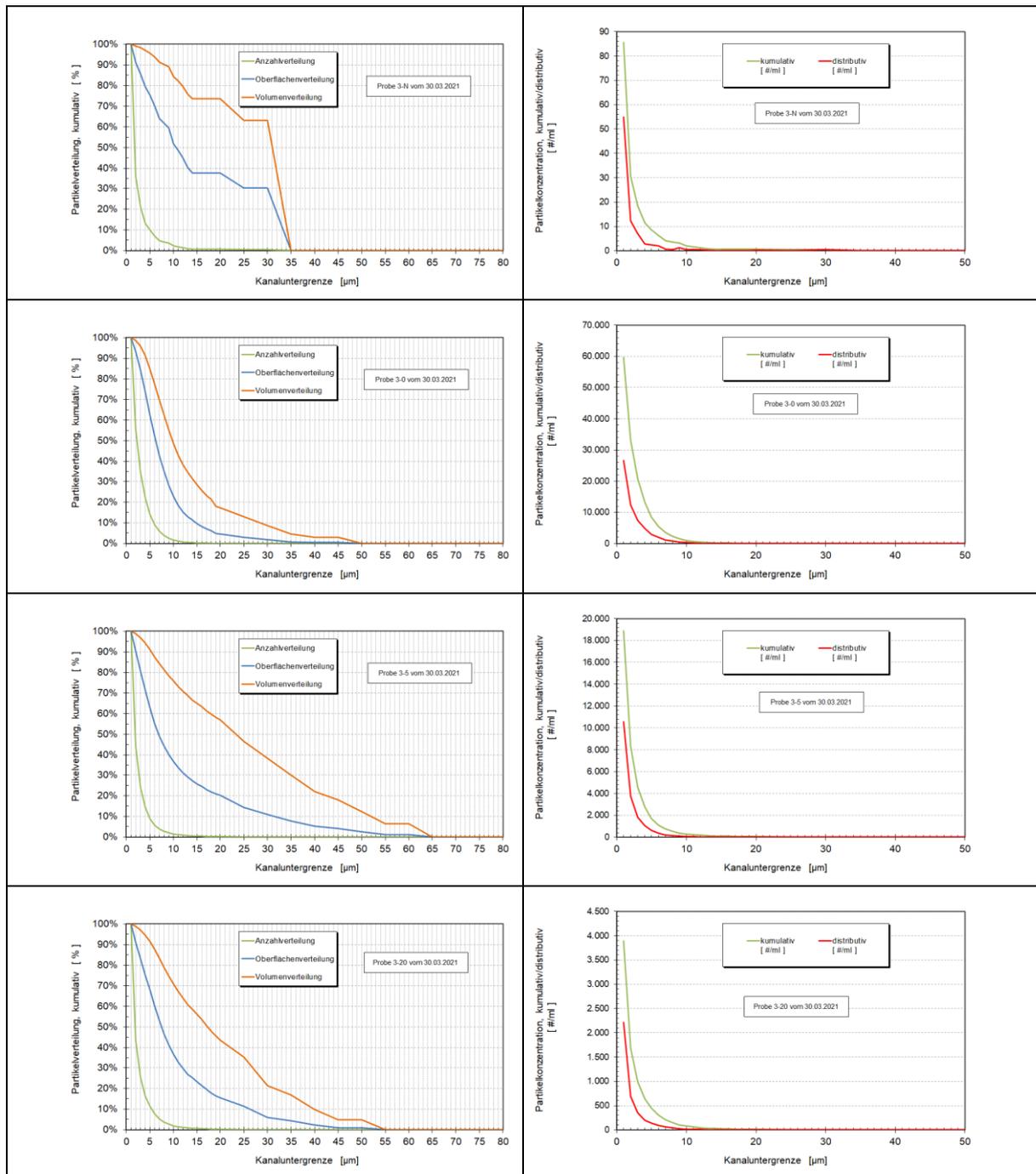


Abbildung 20: Partikelmessungen der Proben (Mrz. 21) der Netzstation 3 (Römerstraße)

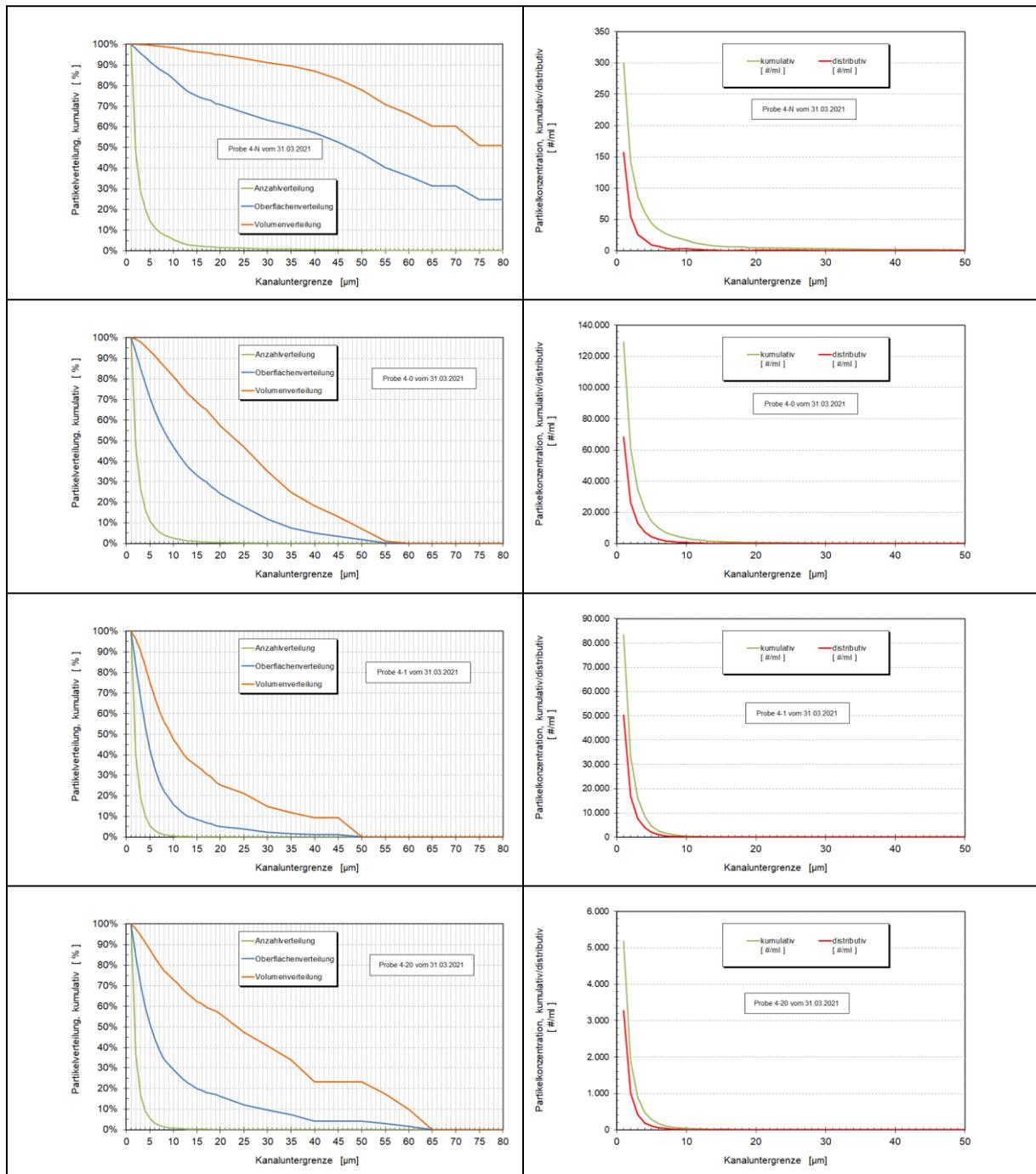


Abbildung 21: Partikelmessungen der Proben (Mrz. 21) der Netzstation 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg)

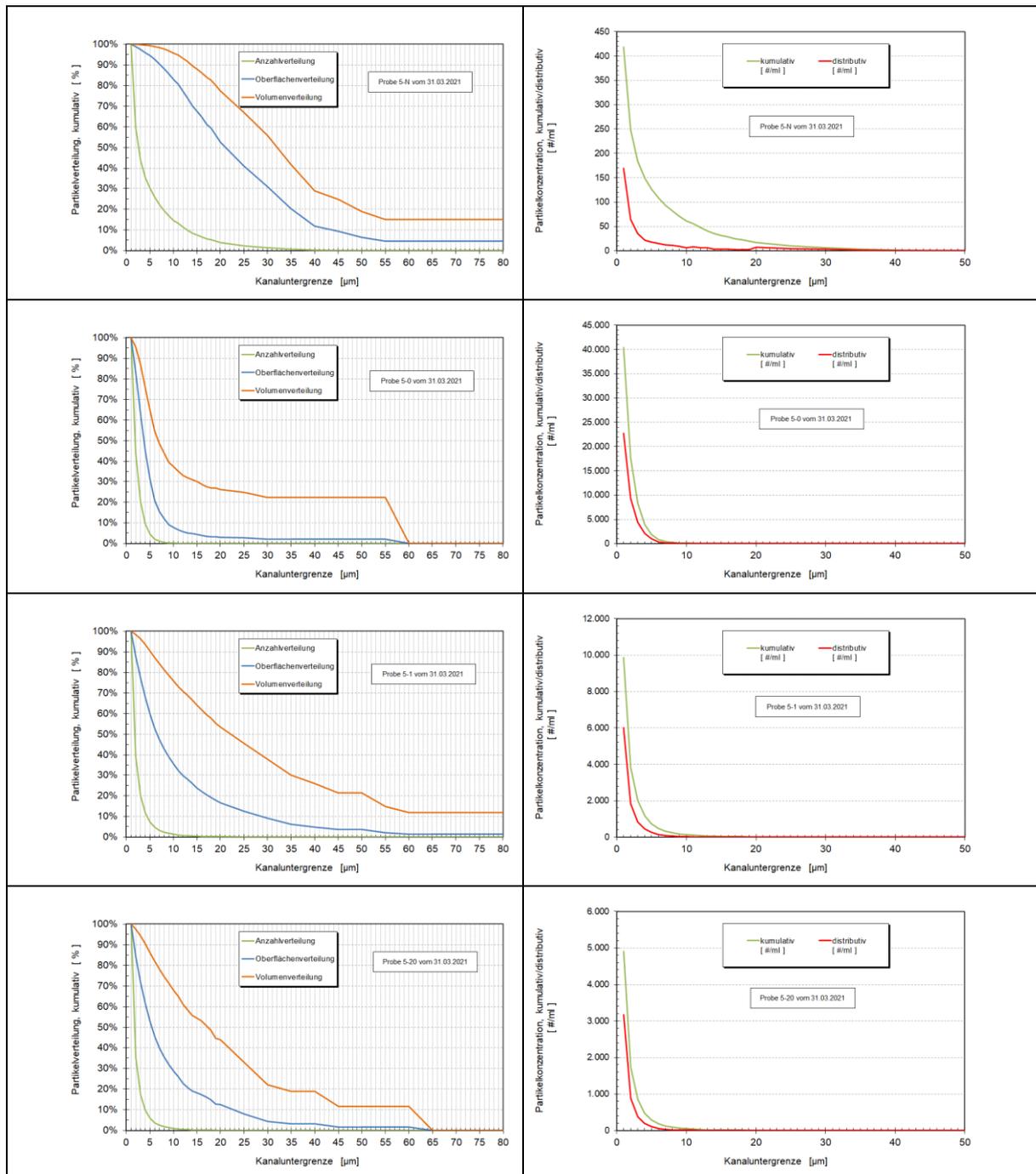


Abbildung 22: Partikelmessungen der Proben (Mrz. 21) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

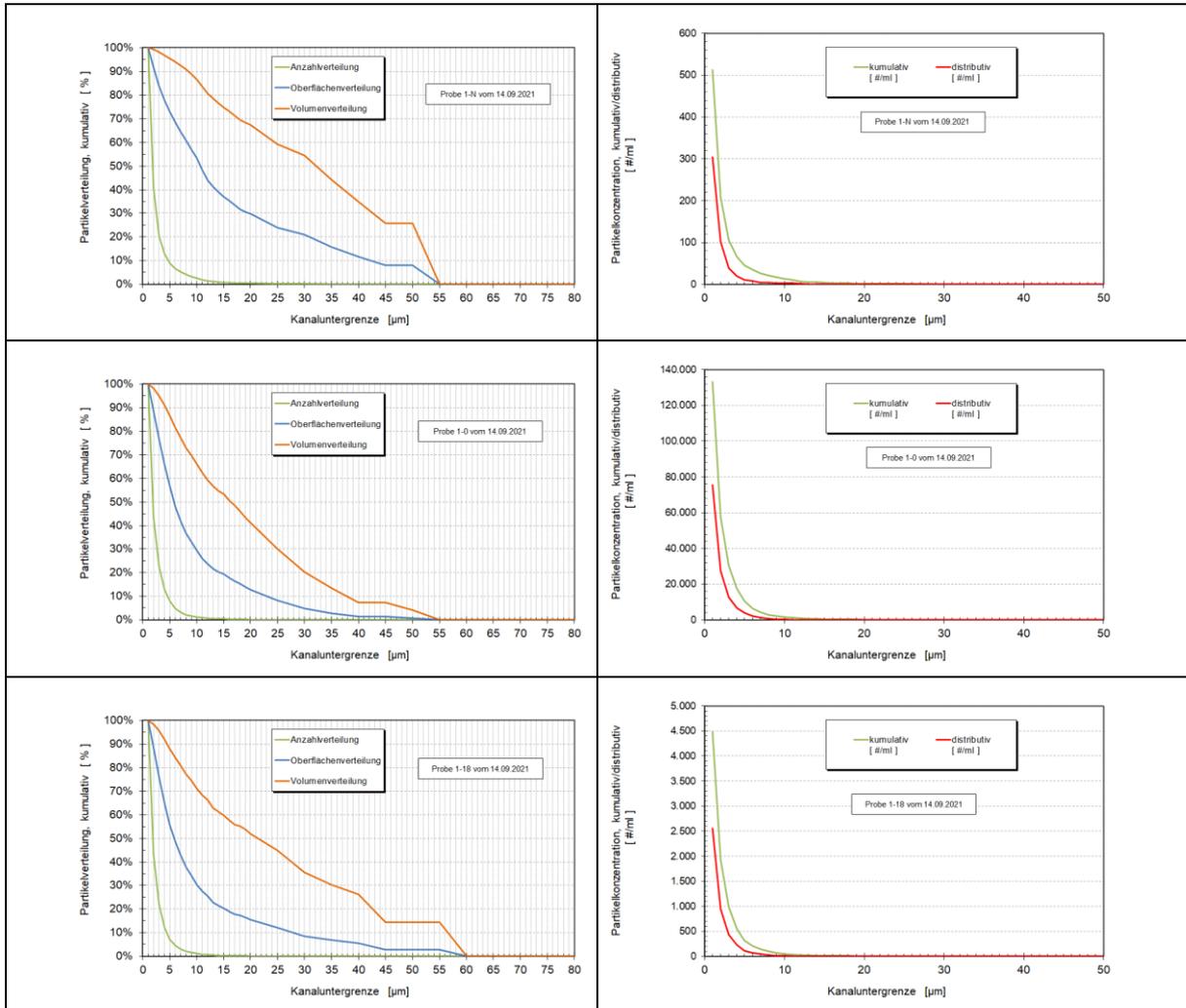


Abbildung 23: Partikelmessungen der Proben (Sept. 21) der Netzstation 1 (Landgraben)

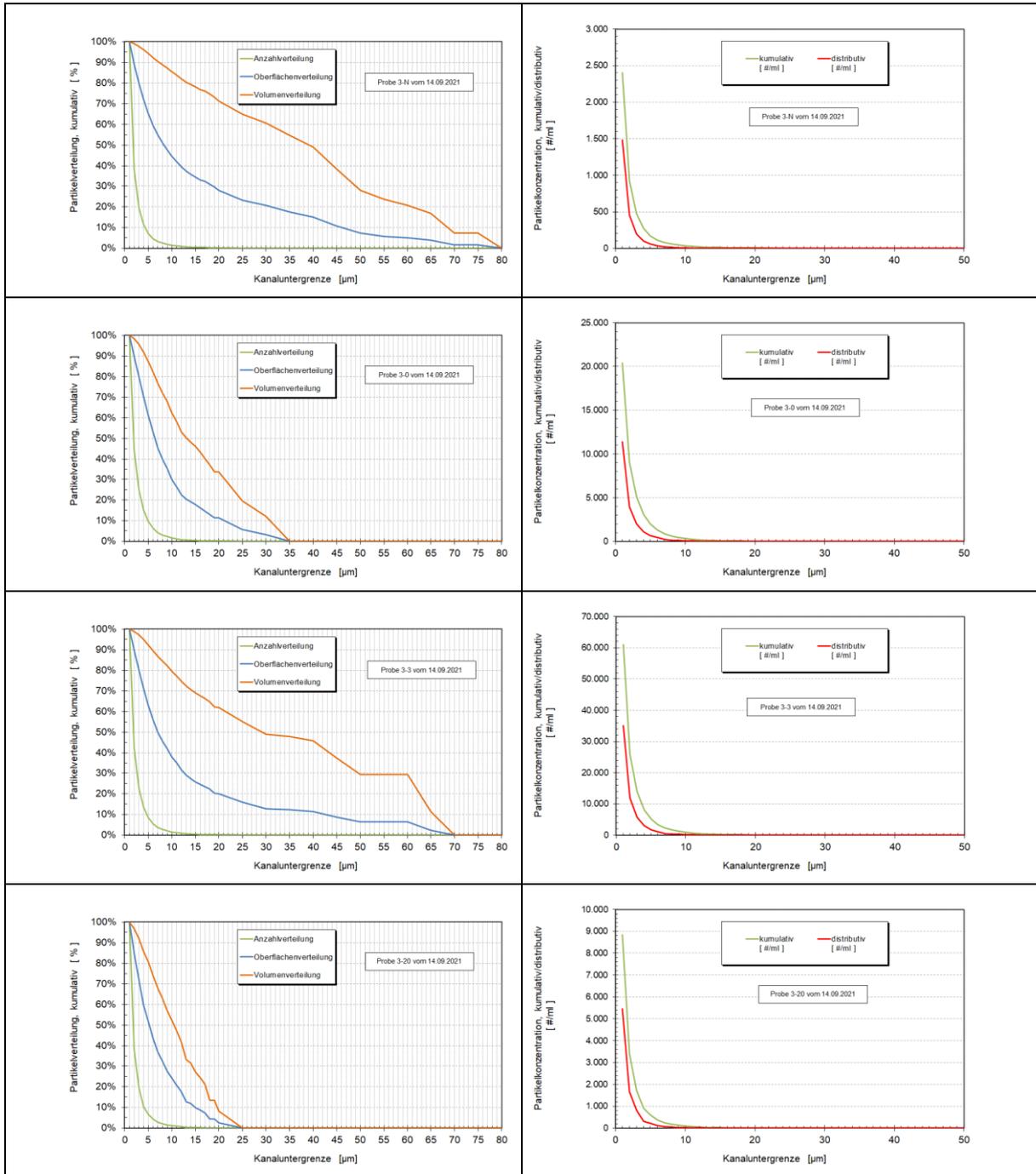


Abbildung 24: Partikelmessungen der Proben (Sept. 21) der Netzstation 3 (Römerstraße)

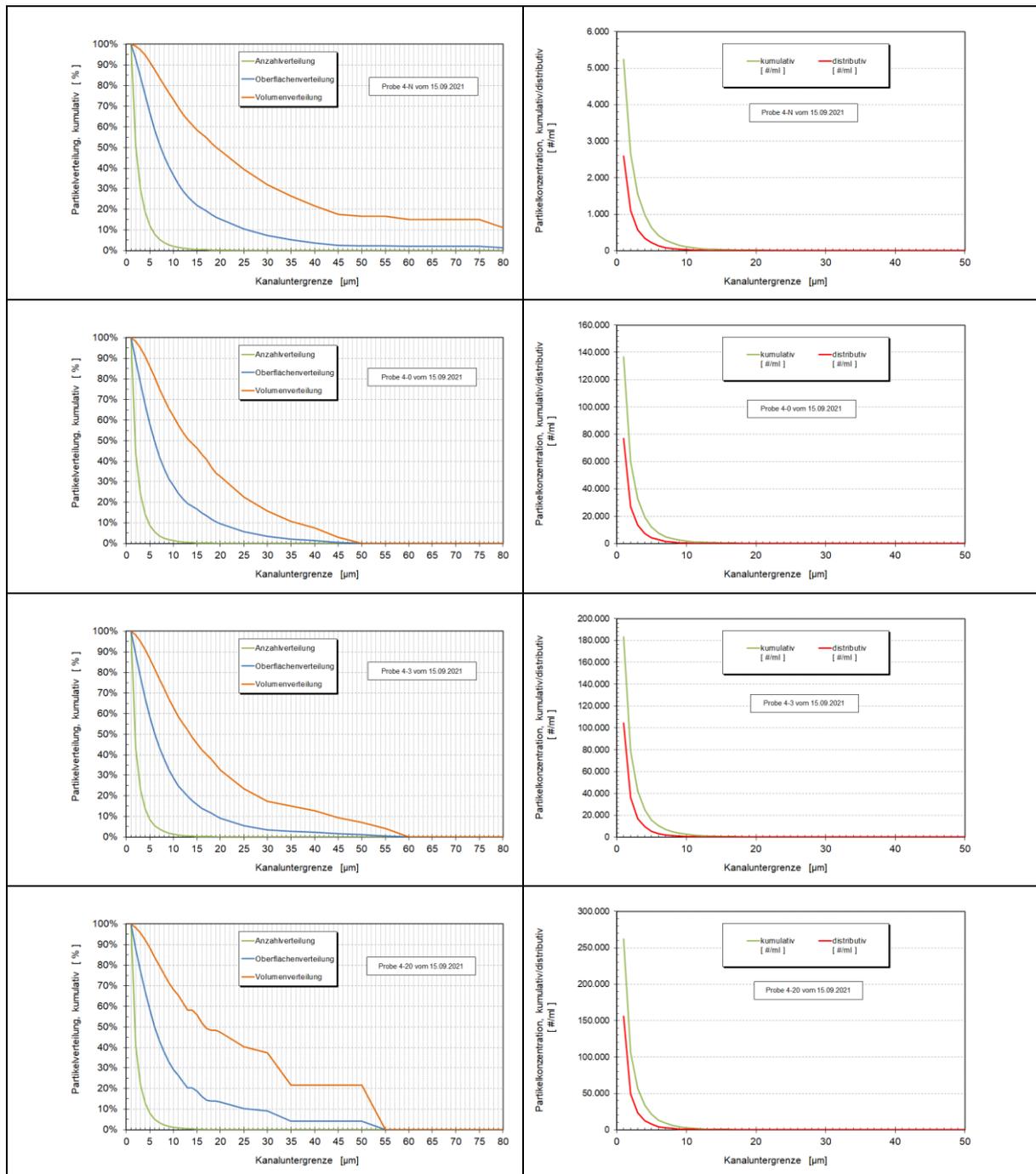


Abbildung 25: Partikelmessungen der Proben (Sept. 21) der Netzstation 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg)

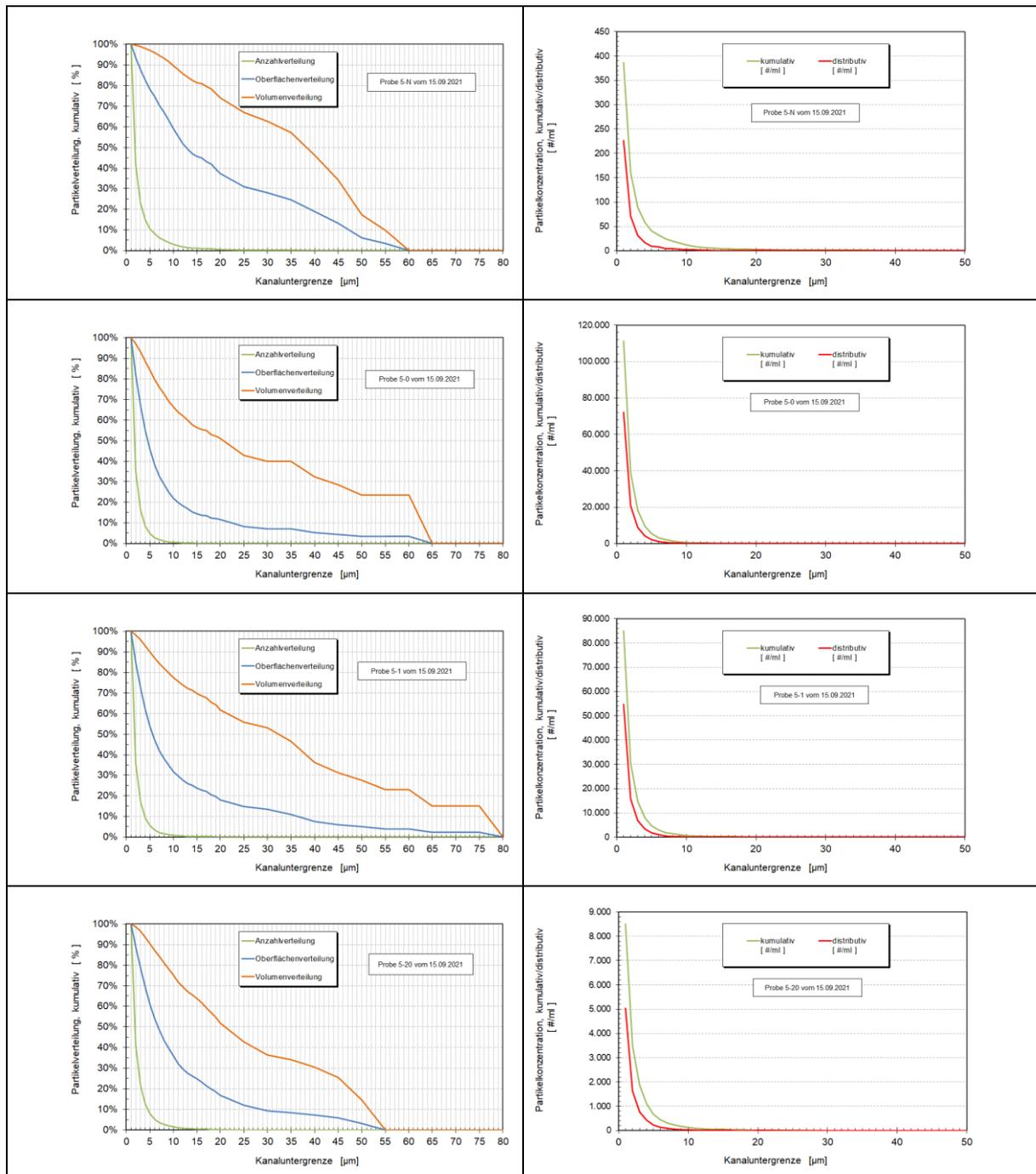


Abbildung 26: Partikelmessungen der Proben (Sept. 21) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

Anhang 2: Vor-Ort Parameter der Beprobungen im Jahr 2021

Die im Abschnitt 2.3.1 dargestellten Tabellen mit den gemessenen Vor-Ort-Parametern der Beprobungen im März und im September 2021 sind hier noch einmal aufgeführt.

Vor-Ort-Parameter der Beprobung im März 2021

Landgraben 2					Römerstr. 69/70					Oderstr./Ecke Grüner Weg					Jodokusstr. 5				
30.03.2021					30.03.2021					31.03.2021					31.03.2021				
Probe x = 1	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 3	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 4	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 5	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]
x-N	12,6	495	7,735	0,81	x-N	11,7	506	7,923	0,71	x-N	10,4	551	7,932	0,09	x-N	10,6	526	7,947	0,33
x-0	12,4	507	7,834	1,42	x-0	10,8	510	7,903	3,19	x-0	10,1	550	7,919	16,1	x-0	10,7	539	7,866	1,56
x-1	12,6	519	7,714	8,77	x-1	10,8	511	7,882	3,89	x-1	10,1	550	7,85	21,0	x-1	10,7	546	7,837	2,23
x-2	12,1	521	7,833	3,19	x-2	10,7	510	7,881	2,71	x-2	10,2	548	7,831	15,4	x-2	10,9	538	7,828	1,95
x-3	12,2	523	7,814	2,59	x-3	10,8	516	7,868	3,67	x-3	10,3	547	7,83	5,97	x-3	10,8	541	7,823	1,55
x-4	12,1	527	7,829	2,41	x-4	10,9	522	7,859	3,03	x-4	10,3	547	7,821	7,60	x-4	10,9	541	7,836	1,41
x-5	12,5	527	7,828	1,61	x-5	10,9	530	7,868	4,72	x-5	10,4	546	7,815	4,06	x-5	11,0	546	7,834	1,27
x-6	12,6	532	7,823	1,75	x-6	10,9	535	7,867	2,75	x-6	10,5	546	7,814	3,34	x-6	10,9	549	7,826	1,69
x-7	12,8	533	7,855	1,24	x-7	11,1	542	7,872	2,74	x-7	10,6	547	7,815	2,69	x-7	11,0	550	7,815	1,81
x-8	12,5	532	7,829	1,08	x-8	11,0	544	7,848	2,31	x-8	10,7	546	7,829	2,27	x-8	11,0	551	7,825	1,70
x-9	12,9	531	7,835	1,04	x-9	11,0	544	7,845	2,29	x-9	10,7	547	7,801	2,40	x-9	11,1	547	7,836	1,51
x-10	12,2	536	7,833	1,14	x-10	11,1	532	7,848	2,82	x-10	10,6	547	7,81	2,67	x-10	11,0	546	7,826	1,43
x-11	12,4	537	7,837	0,99	x-11	11,0	527	7,841	2,43	x-11	10,8	548	7,792	2,27	x-11	11,1	545	7,832	1,39
x-12	12,1	537	7,844	0,94	x-12	11,2	526	7,847	1,42	x-12	10,7	549	7,784	1,83	x-12	11,1	545	7,842	1,65
x-13	12,4	536	7,838	0,93	x-13	11,2	529	7,855	1,85	x-13	10,8	548	7,787	1,61	x-13	11,0	544	7,834	1,65
x-14					x-14	11,1	526	7,840	1,45	x-14	10,9	547	7,817	1,41	x-14	11,2	544	7,829	1,45
x-15					x-15	11,4	526	7,863	1,40	x-15	10,9	548	7,787	1,33	x-15	11,3	544	7,833	1,32
x-16					x-16	11,0	527	7,850	1,41	x-16	10,7	549	7,784	1,42	x-16	11,1	545	7,825	1,41
x-17					x-17	11,1	527	7,837	1,39	x-17	10,8	549	7,794	1,42	x-17	11,3	544	7,830	1,43
x-18					x-18	11,1	529	7,855	1,26	x-18	10,8	549	7,787	1,47	x-18	11,2	545	7,842	1,41
x-19					x-19	11,3	530	7,868	1,86	x-19	11,0	549	7,79	1,29	x-19	11,1	547	7,841	1,66
x-20					x-20	11,2	529	7,851	1,02	x-20	10,8	548	7,777	1,20	x-20	11,4	542	7,840	1,18

Vor-Ort-Parameter der Beprobung im September 2021

Landgraben 2				14.09.2021				Römerstr. 46				14.09.2021				Oderstr./Ecke Grüner Weg				15.09.2021				Jodokusstr. 5				15.09.2021			
Probe x = 1	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 3	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 4	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]	Probe x = 5	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Trübung [FNU]												
x-N	19,1	486	7,631	0,66	x-N	16,6	533	7,28	0,94	x-N	19	539	7,567	1,27	x-N	21,9	510	7,6	0,25												
x-0	18,2	496	7,841	20,1	x-0	16,0	537	7,534	2,56	x-0	18,5	536	7,549	24,3	x-0	20,5	512	7,615	13,7												
x-1	17,8	520	7,86	14,8	x-1	16,0	536	7,541	6,05	x-1	18,5	535	7,551	22,7	x-1	20,4	503	7,624	28,7												
x-2	17,2	515	7,857	6,86	x-2	16,6	536	7,601	8,11	x-2	18,4	532	7,572	23,4	x-2	19,8	497	7,66	25,3												
x-3	17,3	512	7,892	4,16	x-3	16,3	536	7,584	9,72	x-3	18,7	528	7,59	25,5	x-3	19,5	505	7,671	8,2												
x-4	16,9	519	7,906	2,97	x-4	16,3	535	7,548	7,82	x-4	18,7	527	7,622	16,2	x-4	19,4	508	7,68	5,8												
x-5	16,8	520	7,884	2,78	x-5	16,2	532	7,567	7,41	x-5	18,7	526	7,624	10,3	x-5	19,3	507	7,683	6,05												
x-6	16,9	524	7,813	2,39	x-6	16,1	528	7,573	5,21	x-6	18,8	525	7,625	10,7	x-6	19,4	508	7,682	4,5												
x-7	16,4	526	7,782	2,81	x-7	16,2	525	7,576	5,67	x-7	18,7	521	7,644	9,82	x-7	19,4	512	7,684	4,55												
x-8	16,1	522	7,742	2,13	x-8	16,2	519	7,574	3,21	x-8	18,7	520	7,639	8,25	x-8	19,4	512	7,693	3,86												
x-9	16,1	523	7,75	1,44	x-9	16,3	512	7,594	2,42	x-9	18,8	519	7,656	8,32	x-9	19,3	513	7,702	2,97												
x-10	16,3	521	7,769	1,18	x-10	16,4	513	7,618	2,37	x-10	18,7	515	7,666	8,53	x-10	19,5	513	7,723	2,82												
x-11	16,1	530	7,742	1,42	x-11	16,4	517	7,604	2,2	x-11	18,7	514	7,656	6,01	x-11	19,4	513	7,717	2,57												
x-12	16	530	7,788	1,27	x-12	16,5	512	7,604	2,49	x-12	18,9	512	7,68	5,13	x-12	19,3	512	7,726	2,24												
x-13	15,8	532	7,861	1,13	x-13	16,4	508	7,609	2,31	x-13	18,6	511	7,663	4,52	x-13	19,3	513	7,742	2,01												
x-14	15,9	531	7,88	0,82	x-14	16,3	503	7,648	1,94	x-14	18,6	511	7,675	4,28	x-14	19,3	514	7,742	1,71												
x-15	15,8	534	7,844	1,05	x-15	16,3	502	7,641	1,82	x-15	18,6	509	7,676	4,05	x-15	19,3	515	7,764	1,71												
x-16	15,7	532	7,829	0,88	x-16	16,1	501	7,639	1,76	x-16	18,6	508	7,688	4,23	x-16	19,2	513	7,759	1,46												
x-17	15,9	532	7,931	0,78	x-17	16,2	500	7,649	1,75	x-17	18,4	505	7,675	4,11	x-17	19,3	512	7,757	1,79												
x-18	15,8	530	7,903	0,84	x-18	16,2	499	7,662	2,03	x-18	18,5	506	7,697	3,41	x-18	19,3	513	7,762	1,77												
x-19					x-19	16,1	499	7,662	1,81	x-19	18,5	504	7,692	3,79	x-19	19,2	513	7,775	1,34												
x-20					x-20	16,2	498	7,618	1,65	x-20	18,5	503	7,697	3,16	x-20	19,1	514	7,766	1,65												

