

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

Langzeit-Monitoring für die Jahre 2021/2022

Zweiter Zwischenbericht zum Angebot 10010/2021/25709

Dezember 2022

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. Ute Ruhrberg (Projektleitung)
Telefon: 0208 40303-261
u.ruhrberg@iww-online.de

Timo Jentzsch, MSc.
Telefon: 0208 40303-262
t.jentzsch@iww-online.de

Julia Hesse, MSc.
Telefon: 0208 40303-350
j.hesse@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: Januar 2022 bis Dezember 2022

Die Ergebnisse des ersten Zwischenberichtes vom Dezember 2021 sind zur Nachverfolgung der Entwicklung im Gesamtzeitraum der zwei Jahre ebenfalls in diesem Bericht dargestellt.

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

[IWW\Bericht SBB 2022_IWW.docx](#)

Geschäftsführung: Lothar Schüller
Technische Leitung: Dr. David Schwesig



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 2021/2022 fanden vier Netzbeprobungen statt, im März 2021, im September 2021, im April 2022 und im November 2022. 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 im Jahr 2021 zu niedrigeren Werten als in den Vorjahren. Die Probenahmestelle 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg) wies dabei die höchsten Trübungserscheinungen bei beiden Terminen auf.

Im Untersuchungszeitraum 2022 zeigten die Netzbeprobungs-Stellen 3 (Römerstraße) und 1 (Landgraben) wieder deutlich höhere Trübungswerte und Partikelkonzentrationen. Auch bei der PN-Stelle 5 (Jodokusstraße) war wieder eine Zunahme der Partikelfracht zu verzeichnen. Die Netzstation 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg) zeigte dagegen den geringsten Partikelanteil. Diese Veränderungen in der Menge der mobilisierbaren Deckschichtbestandteile weisen unter Umständen auf ein beginnendes Deckschichtablösungsverhalten hin.

Außerdem konnte die im Projekt-Zeitraum des Jahres 2021 festgestellte Unstetigkeit bei der Calcitlösekapazität im Trinkwasser auch im Jahr 2022 beobachtet werden.

Empfehlungen

Auf Grundlage der bisherigen Datenlage wird folgende weitere Vorgehensweise empfohlen:

- Beibehaltung des beschlossenen Mischungsverhältnisses 50% WBV zu 50% WTV (auch im Hinblick auf die Planungssicherheit für künftige Maßnahmen)
- Fortführung des sukzessiven Austauschs von ungeschützten Graugussrohren gegen Rohre aus inertem Material (z. B. PE), der 2017 im Versorgungsgebiet des Wasserwerks begonnen hat. Damit wird die Gesamtoberfläche von ungeschützten Eisenwerkstoffen im Verteilungsnetz, die durch Korrosionsprozesse unter Umständen zu Rostwasserproblemen führen könnten, reduziert und somit auch die potentielle Menge an Rostwasser und dessen Partikelfracht vermindert.
- Entwicklung einer Spül-Strategie. Als Grundlage werden die Bestandspläne des Wasserwerks herangezogen. Dazu wird IWW gern ein Angebot unterbreiten. Dies beinhaltet darüber hinaus einerseits die wissenschaftliche Begleitung der von IWW konzipierten Spül-

maßnahmen, die von SBB-Mitarbeitern durchgeführt werden, und andererseits die Schulung der SBB-Mitarbeiter hinsichtlich der Durchführung und Bewertung von Trübungsmessungen während der Maßnahmen.

Offenbar sind in dem gesamten Versorgungsnetz unterschiedliche Mobilisierungsphasen festzustellen, die sowohl örtlich als auch zeitlich in ihren Ausprägungen deutlich variieren können. Die Ursachen für die unterschiedlich ausgeprägte Verteilung von mobilisierbaren Partikeln im Versorgungsnetz können beispielsweise im Zusammenhang mit lokal erhöhten Netzverbräuchen im unmittelbaren Vorfeld der Beprobung stehen. Die Entwicklung der Spül-Strategie soll als sicheres "Werkzeug" dienen, um möglicher künftiger Rostwasserbildung entgegen zu treten.

Weiterhin wird empfohlen, die Untersuchungen der Trinkwasserbeschaffenheit im Verteilungsgebiet durch die geplanten halbjährlichen Netzbeprobungen zunächst weiterzuführen. Deckschichtablösevorgänge können zu Rostwasserproblemen beim Endverbraucher führen. Daher ist die weitere Überwachung dringend angeraten.

Bei der Fortführung des Projektes sollte zudem ein Fokus auf die Analyse des Trinkwassers im Wasserwerk Eichenkamp gelegt werden, um die Calcitlösekapazität zu kontrollieren und um ein Wasser mit konstanter Beschaffenheit im Versorgungsnetz bei konstantem Mischungsverhältnis von 50 % WBV zu 50 % WTV zu gewährleisten. Zudem stellt sich die Frage, wie die Calcitlösekapazität bei den beiden Vorlieferanten eingestellt wird und wie diese Einstellung kontrolliert wird.

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

Mülheim an der Ruhr, den 29.12.2022

ppa.



Dr. David Schwesig

i. V.



Dr. Alexander Sonnenburg
komm. Bereichsleitung Wassernetze

i. A.



Dr. Ute Ruhrberg
Korrosionsschutz

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Hintergrund	4
1.1	Ziel des Projekts.....	5
1.2	Auftrag und Projektdurchführung.....	6
2	Datenerhebung und Datenanalyse	7
2.1	Auswahl der Probenahmestellen	7
2.2	Probenahmen von Wasserproben	8
2.2.1	Trinkwasser-Proben	8
2.2.2	Netzbeprobungen.....	9
2.3	Untersuchungsergebnisse	11
2.3.1	Proben aus dem Verteilungsnetz, visuelle Beurteilung und Trübung	11
2.3.1.1	Proben von der Beprobung im März 2021	11
2.3.1.2	Proben von der Beprobung im September 2021.....	14
2.3.1.3	Proben von der Beprobung im April 2022.....	17
2.3.1.4	Proben von der Beprobung im November 2022.....	20
2.3.2	Chemische Analyse der Wasserproben.....	23
2.3.3	Untersuchung der Partikelfracht	31
2.3.3.1	Ermittlung des Trübstoff-/Feststoff- und Schwebstoff-Anteils in den Wasserproben	31
2.3.3.2	Ermittlung der Partikelgröße und -verteilung.....	33
3	Schlussfolgerung – offene Fragen.....	38
4	Anhang.....	39

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. Dazu wird der Volumenstrom der jeweiligen Eingangswässer messtechnisch erfasst (MID) und innerhalb der Streuung verarbeitet. Die jeweilige Förderleistung der Pumpen wird über Frequenzumrichter geregelt. Im Automatikbetrieb ist so das Mischungsverhältnis (ab Anfang 2020: 50 % WBV zu 50 % WTV) gewährleistet. Das Wasser wird dann über zwei Werksausgänge mittels Pumpstation in das Versorgungsnetz gefördert und in die verschiedenen Versorgungszonen eingespeist. 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 getrübbten 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.

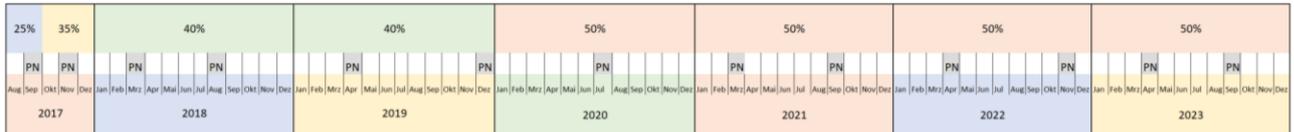


Abbildung 1: Zeitachse zur Entnahme von Spülwasserproben; begleitend zur stufenweisen Umstellung durchgeführte Beprobungen (2017 bis 2020) und zum Langzeit-Monitoring geplante Beprobungen (2021 bis 2023)

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 150	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.

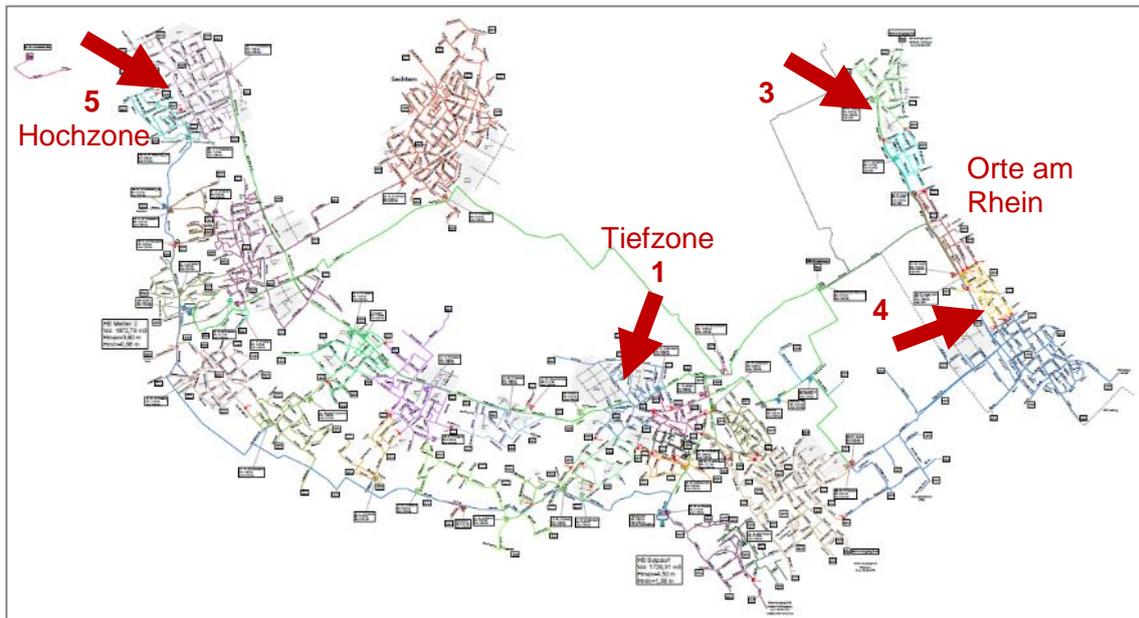


Abbildung 2: Übersichtsplan Wasserrohrnetz Bornheim

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

2.2 Probenahmen von Wasserproben

In den Jahren 2021 und 2022 fanden je zwei Beprobungstermine (Netzspülung mit gleichzeitiger Probenahme) statt.

- 30./31. März 2021
- 14./15. September 2021
- 12./13. April 2022
- 22./23. November 2022

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 etwa 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).

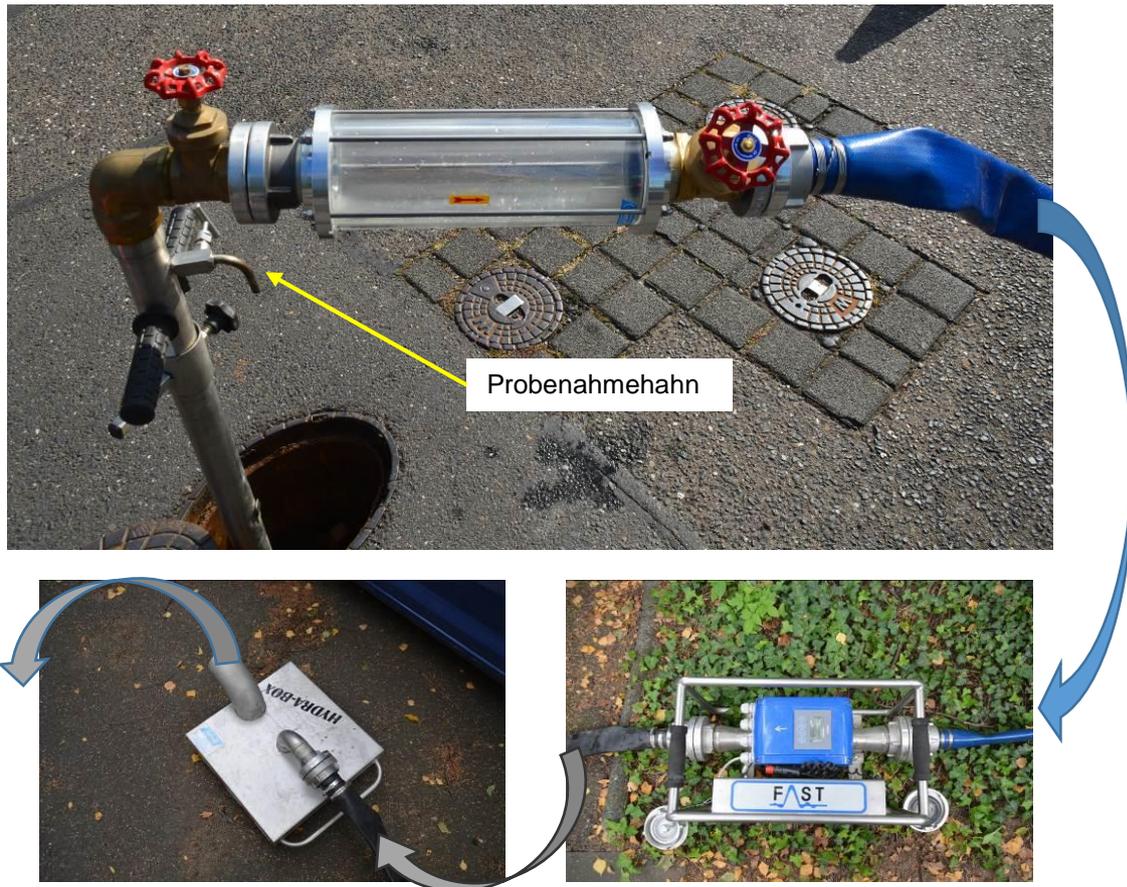


Abbildung 4: Netzspülung und Netzbeprobung mittels Standrohr

Beprobungen des Trinkwassers fanden an den vier zuvor bezeichneten Stellen innerhalb des Verteilungsnetzes statt. Bei der Probenahme wurde zunächst das Stagnationswasser aus dem Anschluss-Stich zum Standrohr (mindestens 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 und an Hand der ermittelten Trübungsmesswerte. 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.

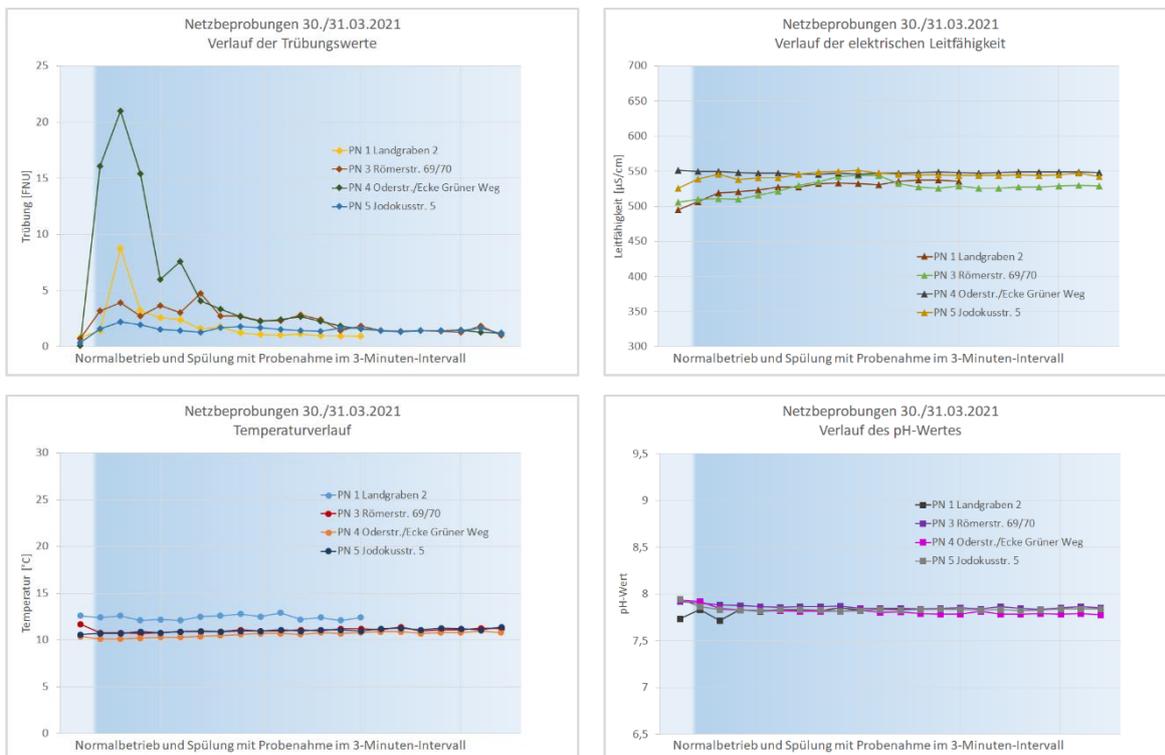


Abbildung 9: Vor-Ort-Parameter der Netzbeprobungen im März 2021

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 und der ermittelten Trübungsmesswerte 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.

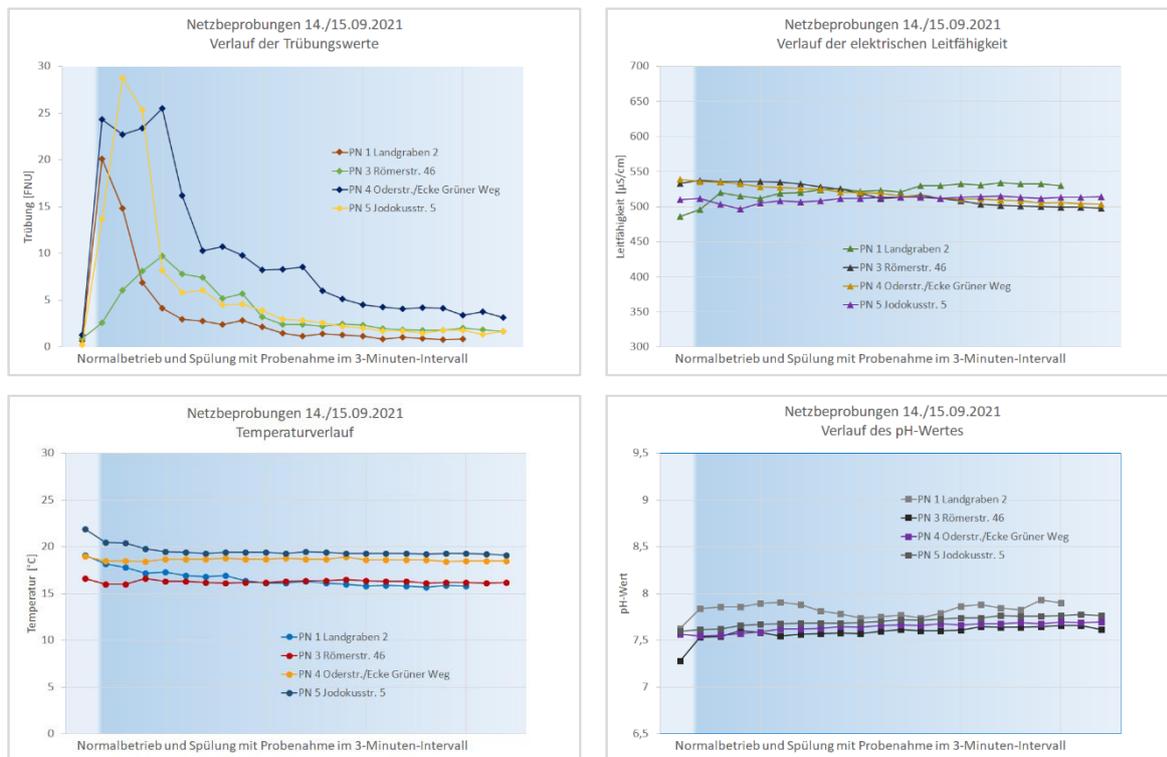


Abbildung 14: Vor-Ort-Parameter der Netzbeprobungen im Sept. 2021

2.3.1.3 Proben von der Beprobung im April 2022

Die Ergebnisse dieser Netzbeprobung wurden ebenfalls fotografisch dokumentiert (Abbildung 15 bis Abbildung 18) und an Hand des visuellen Erscheinungsbildes und der ermittelten Trübungsmesswerte zur weiteren Untersuchung ausgewählt.

Am Standort *Landgraben 2* war augenscheinlich in den ersten zwei Spülproben sichtbare Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 15). Nach 6 bis 9 Minuten Spüldauer wurde die Färbung deutlich schwächer und danach war 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 15: Netzbeobachtung Landgraben, Apr. 2022

Am Standort *Römerstr. 69/70* war augenscheinlich in den ersten vier Spülproben deutlich sichtbare orangefarbene Färbung – einhergehend mit Trübung – vorhanden (Abbildung 16). Nach 12 bis 15 Minuten Spüldauer war die Färbung signifikant schwächer, nach 18 Minuten Spüldauer war wieder klares Wasser zu sehen. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (maximale Trübung) und 3-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 16: Netzbeobachtung Römerstraße, Apr. 2022

Am Standort *Oderstr., Ecke Grüner Weg* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in den ersten vier Spülproben deutliche Färbung/Trübung nachzuweisen, in der nachfolgenden Probe wurden etwas schwächere Färbungs-/Trübungserscheinungen festgestellt und danach immer klarer werdendes Wasser (Abbildung 17). 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 17: Netzbeprobung Oderstraße, Ecke Grüner Weg, Apr. 2022

Am Standort *Jodokusstr. 5* war augenscheinlich deutlich sichtbare Färbung/Trübung in den ersten drei Proben nachzuweisen (Abbildung 18), 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 18: Netzbeprobung Jodokusstraße, Apr. 2022

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 4 aufgeführt. Zur besseren Lesbarkeit ist die Tabelle im Anhang 2 im Querformat noch einmal vergrößert dargestellt.

Tabelle 4: Vor-Ort-Parameter der Beprobung im Apr. 2022

PN 1 Landgraben 2					PN 3 Römerstr. 69/70					PN 4 Oderstr./Ecke Grüner Weg					PN 5 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	12,8	479	7,664	1,06	x-N	11,9	480	7,825	0,59	x-N	11,1	517	7,272	0,28	x-N	11,6	478	7,526	0,10
x-0	12,0	475	7,424	40,7	x-0	11,5	477	7,568	89,8	x-0	10,8	519	7,389	20,3	x-0	11,1	546	7,468	5,46
x-1	12,1	477	7,360	24,4	x-1	11,3	477	7,526	88,6	x-1	10,9	515	7,422	36,0	x-1	11,2	543	7,464	36,7
x-2	12,1	474	7,421	10,9	x-2	11,3	478	7,525	70,2	x-2	11,0	510	7,447	33,2	x-2	11,2	543	7,476	25,2
x-3	12,5	474	7,459	6,23	x-3	11,4	476	7,522	70,2	x-3	10,9	516	7,459	21,0	x-3	11,2	540	7,496	8,13
x-4	12,2	479	7,479	4,82	x-4	11,5	479	7,525	21,0	x-4	11,1	518	7,478	12,3	x-4	11,2	533	7,478	7,90
x-5	12,3	481	7,494	3,76	x-5	11,4	481	7,531	15,6	x-5	11,1	520	7,486	7,50	x-5	11,2	533	7,442	6,55
x-6	12,4	478	7,508	3,76	x-6	11,3	485	7,546	10,3	x-6	11,1	521	7,508	5,48	x-6	11,2	532	7,501	7,47
x-7	12,3	482	7,526	3,76	x-7	11,3	488	7,528	9,22	x-7	11,2	524	7,506	6,04	x-7	11,2	528	7,515	6,68
x-8	12,1	484	7,493	2,53	x-8	11,2	484	7,515	9,22	x-8	11,2	525	7,518	7,70	x-8	11,3	528	7,519	5,01
x-9	11,9	486	7,454	2,22	x-9	11,3	487	7,534	7,43	x-9	11,1	526	7,525	6,70	x-9	11,3	527	7,534	6,77
x-10	12,0	487	7,532	1,93	x-10	11,4	491	7,554	7,73	x-10	11,1	524	7,551	4,74	x-10	11,3	527	7,55	7,17
x-11	12,2	486	7,527	1,58	x-11	11,4	493	7,576	6,09	x-11	11,2	526	7,549	5,61	x-11	11,4	525	7,56	4,30
x-12	12,5	483	7,527	1,34	x-12	11,4	494	7,562	5,91	x-12	11,4	527	7,574	6,55	x-12	11,4	527	7,567	3,85
x-13	12,4	485	7,562	1,35	x-13	11,3	491	7,549	5,94	x-13	11,2	529	7,585	5,97	x-13	11,4	526	7,567	3,07
x-14	12,1	491	7,537	1,12	x-14	11,3	499	7,546	5,84	x-14	11,3	529	7,549	5,21	x-14	11,3	531	7,547	2,64
x-15	12,2	489	7,539	1,03	x-15	11,4	524	7,557	5,64	x-15	11,3	530	7,536	4,28	x-15	11,2	537	7,552	2,33
x-16	12,6	490	7,610	1,08	x-16	11,5	513	7,562	5,77	x-16	11,6	529	7,527	4,24	x-16	11,3	537	7,499	2,19
x-17	12,5	491	7,582	1,22	x-17	11,4	518	7,576	4,22	x-17	11,4	530	7,541	4,05	x-17	11,3	536	7,490	2,18
x-18	12,3	489	7,592	0,94	x-18	11,6	516	7,588	4,49	x-18	11,6	530	7,591	3,80	x-18	11,3	535	7,512	1,91
x-19	12,2	491	7,587	0,85	x-19	11,4	516	7,597	3,77	x-19	11,6	530	7,583	3,70	x-19	11,3	532	7,513	1,80
x-20	12,6	493	7,614	0,96	x-20	11,4	515	7,604	2,95	x-20	11,4	532	7,572	3,60	x-20	11,6	529	7,526	1,64

Die graphische Darstellung der Vor-Ort-Parameter (Abbildung 19) 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 7,5 ermittelt worden.

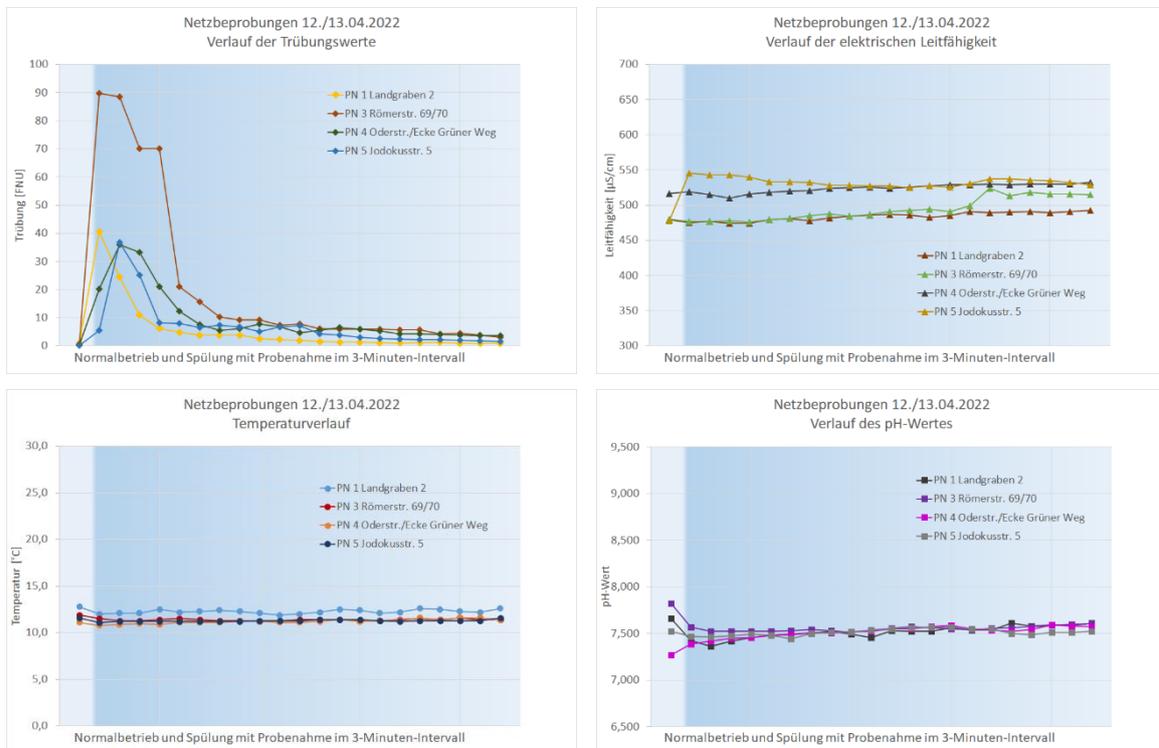


Abbildung 19: Vor-Ort-Parameter der Netzbeprobungen im Apr. 2022

2.3.1.4 Proben von der Beprobung im November 2022

Die Ergebnisse dieser Netzbeprobung wurden ebenfalls fotografisch dokumentiert (Abbildung 20 bis Abbildung 23) und an Hand des visuellen Erscheinungsbildes und der ermittelten Trübungsmesswerte zur weiteren Untersuchung ausgewählt.

Am Standort *Landgraben 2* war augenscheinlich in den ersten beiden Spülproben sichtbare Färbung/Trübung vorhanden (Abbildung 20). Die nachfolgende Probe zeigte schwächere Färbungs-/Trübungserscheinungen und 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 1-19 (geringste Trübung nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 20: Netzbeobachtung Landgraben, Nov. 2022

Am Standort *Römerstr. 69/70* 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 danach immer klarer werdendes Wasser (Abbildung 21). Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 3-N (Normalbetrieb), 3-0 (maximale Trübung) und 3-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 21: Netzbeobachtung Römerstraße, Nov. 2022

Am Standort *Oderstr., Ecke Grüner Weg* war zum Zeitpunkt der Probenahme augenscheinlich in allen Spülproben kaum Färbung/Trübung (Abbildung 22) nachzuweisen, die höchsten Trübungswerte konnten in der Probe nach 27 Minuten Spüldauer gemessen werden (Probe 4-9 mit 8,9 FNU). Nach einer Stunde Spüldauer lag der Trübungswert immer noch oberhalb von 3 FNU. Daher wurden für die weiteren Untersuchungen die Proben 4-N (Normalbetrieb), 4-0 (Spülbeginn), 4-9 (maximale Trübung) und 4-20 (nach Spülung) ausgewählt.



Abbildung 22: Netzbeprobung Oderstraße, Ecke Grüner Weg, Nov. 2022

Am Standort *Jodokusstr. 5* war augenscheinlich deutlich sichtbare Färbung/Trübung in den ersten drei Proben nachzuweisen (Abbildung 23), also nach erfolgter Spülung bis etwa 6 Minuten. Die Probe 5-1 wies mit Abstand 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 23: Netzbeprobung Jodokusstraße, Nov. 2022

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 5 aufgeführt. Zur besseren Lesbarkeit ist die Tabelle im Anhang 2 im Querformat noch einmal vergrößert dargestellt.

Tabelle 5: Vor-Ort-Parameter der Beprobung im Nov. 2022

PN 1 Landgraben 2				PN 3 Römerstr. 69/70				PN 4 Oderstr./Ecke Grüner Weg				PN 5 Jodokusstr. 5			
Probe x = 1	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Probe x = 3	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Probe x = 4	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH	Probe x = 5	Temperatur [°C]	Leitfähigkeit [µS/cm]	pH
x-N	12	568	7,509	x-N	12,2	569	7,512	x-N	12,4	559	7,551	x-N	12,5	546	7,491
x-0	12,2	573	7,438	x-0	12,6	566	7,539	x-0	12,6	552	7,507	x-0	12,2	551	7,496
x-1	12,3	589	7,449	x-1	12,4	583	7,478	x-1	12,5	555	7,496	x-1	12,4	546	7,495
x-2	12,2	576	7,443	x-2	12,3	598	7,474	x-2	12,5	558	7,497	x-2	12,2	538	7,5
x-3	12,2	579	7,441	x-3	12,2	603	7,453	x-3	12,6	557	7,497	x-3	12,2	544	7,494
x-4	12,1	577	7,464	x-4	12,2	537	7,477	x-4	12,5	556	7,501	x-4	12,1	550	7,503
x-5	12,2	579	7,426	x-5	12,2	544	7,484	x-5	12,5	556	7,497	x-5	12,2	544	7,498
x-6	12,2	582	7,433	x-6	12,2	548	7,477	x-6	12,5	554	7,519	x-6	12,3	542	7,495
x-7	12,2	580	7,451	x-7	12,2	548	7,485	x-7	12,6	554	7,534	x-7	12,3	540	7,499
x-8	12,2	583	7,44	x-8	12,2	552	7,504	x-8	12,7	553	7,538	x-8	12,2	540	7,507
x-9	12,2	581	7,43	x-9	12,2	570	7,494	x-9	12,6	557	7,518	x-9	12,3	539	7,506
x-10	12,2	582	7,445	x-10	12,2	590	7,477	x-10	12,4	558	7,521	x-10	12,3	540	7,509
x-11	12,2	583	7,453	x-11	12,2	601	7,457	x-11	12,5	556	7,53	x-11	12,2	541	7,517
x-12	12,2	584	7,449	x-12	12,2	601	7,465	x-12	12,3	556	7,542	x-12	12,3	544	7,515
x-13	12,1	584	7,465	x-13	12,2	594	7,465	x-13	12,5	556	7,518	x-13	12,3	549	7,52
x-14	12,1	583	7,469	x-14	12,2	589	7,459	x-14	12,6	555	7,514	x-14	12,3	554	7,533
x-15	12,1	583	7,474	x-15	12,2	584	7,458	x-15	12,4	555	7,521	x-15	12,3	557	7,522
x-16	12,2	583	7,468	x-16	12,2	582	7,471	x-16	12,5	553	7,516	x-16	12,3	558	7,549
x-17	12,2	582	7,449	x-17	12,2	582	7,471	x-17	12,6	554	7,519	x-17	12,2	558	7,525
x-18	12,1	582	7,445	x-18	12,2	581	7,470	x-18	12,7	553	7,522	x-18	12,2	557	7,513
x-19	12,1	580	7,465	x-19	12,2	582	7,467	x-19	12,5	553	7,552	x-19	12,2	557	7,521
x-20	12,1	580	7,476	x-20	12,2	583	7,465	x-20	12	551	7,56	x-20	12,3	557	7,521

Die graphische Darstellung der Vor-Ort-Parameter (Abbildung 24) 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 Konstanz. Und beim pH-Wert – Kurven mit Quadrat-Symbolen – ist bei allen Messungen ein etwa gleich bleibender Wert von pH 7,5 ermittelt worden.

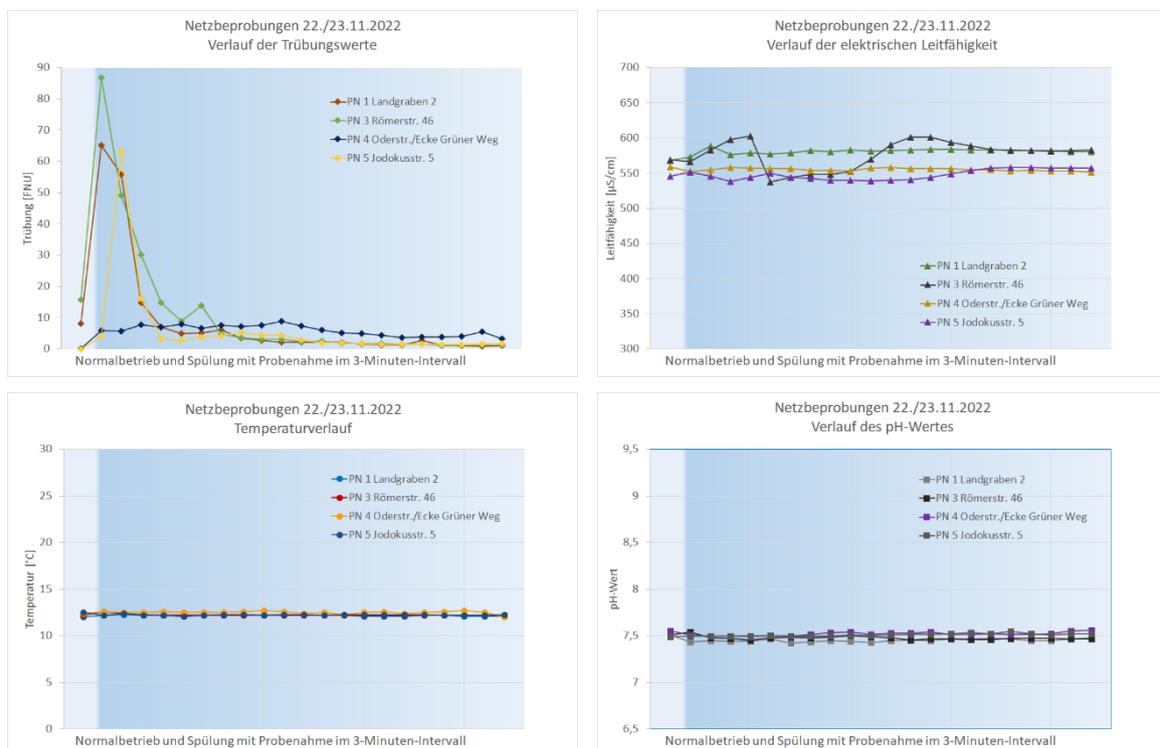


Abbildung 24: Vor-Ort-Parameter der Netzbeprobungen im Nov. 2022

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 ($c(\text{Ca}^{2+})$)

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
Obwohl diese Norm inzwischen zurückgezogen wurde, sind die dort gemachten Angaben für die Bewertung von korrosionsrelevanten Parametern der Wasserbeschaffenheit nach wie vor sinnvoll.

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 6 im Vergleich zu den im Internet veröffentlichten Durchschnittswerten aus den aktuellen Analysen (März 2021 und Juni 2022) 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 2022 sind in Tabelle 6 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, 2021 und 2022 angegeben.

Tabelle 6: Analysenergebnisse der Trinkwasserproben seit 2016 vom Wasserwerk Eichenkamp im Vergleich zu veröffentlichten Durchschnittsanalysen (Ø)

Parameter	2016 Ø	Sep. 2017	Nov. 2017	Mrz. 2018	Aug. 2018	Apr. 2019	Dez. 2019	Jul. 2020	2020 Ø	Mrz. 2021	Sep. 2021	2021 Ø	Apr. 2022	Nov. 2022	2022 Ø	
Mischungsverhältnis % WTV zu % WBV	25	25	35	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50	
	75	75	65	60	60	60	60	50	50	50	50	50	50	50	50	
Temperatur [°C]							12,0	11,8	13,4	9,7	12,2	13,3	10,2	11,8	11,9	13,2
Elektr. Leitfähigkeit [µS/cm]	585	630	551	585	602	564	555	543	511	530	530	490	543	560	496	
Trübung [FNU]							0,04	0,15	0,11	< 0,1	0,12	0,27	< 0,1	< 0,1		
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	7,52	7,49	7,4	
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	2,62	2,71	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	0,17	0,21		
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	56,6	60,9	51	
Chlorid [mg/l]	57	60,3	58,2	55,1	54,8	54,2	58,7	48,6	49	51,4	51,7	49	49,3	52,8	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	19,3	19,1	19	
Sulfat [mg/l]	67	58,4	48,6	54,8	56,8	49,7	49,1	50,9	48	50,1	49,5	46	50,1	48,9	42	
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	0,93	0,51		
Sauerstoff [mg/l]	3,6								8,8			7,6				
Calcitlösekapazität mg/l CaCO₃ (berechnet)	0 (Gleichgewicht)	5,44	8,47	8,99	9,08	4,5	2,3	-3,9	-0,9 (Gleichgewicht)	1,34	-2,24	16,6	5,9	10,3	10,0	
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	1,05	1,04	1,16	

Der pH-Wert ist im Laufe der Zeit bis zum Jahr 2020 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. Im Jahr 2022 pendelte er sich bei pH 7,5 ein. Gleichzeitig hat die Basekapazität $K_{B8,2}$ zunächst entsprechend abgenommen und liegt nun – nach einigen Schwankungen – im Jahr 2022 bei 0,21 mmol/l. Die im Internet veröffentlichten Durchschnitts-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 nicht überschreiten⁴ sollte. Eine Calcitlösekapazität von 10 mg/l CaCO_3 sollte deshalb nicht überschritten werden, weil unter diesen Bedingungen die Neigung zur Lösung vorhandener Deckschichten an den Rohroberflächen 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 oder im September 2021, von Vorteil ist (Vermeidung der Abgabe von AZ-Fasern an das Trinkwasser).

Die Calcitlösekapazität lag bei der im Internet 2021 veröffentlichten Analyse (16,6 mg/l CaCO_3) 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 entsprach daher zu dieser Zeit nicht den Vorgaben der Trinkwasserverordnung. Die Lösung vorhandener Deckschichten ist unter diesen Bedingungen erfahrungsgemäß größer als technisch unvermeidbar. Die Wasserbeschaffenheit im April 2022 wies eine deutlich geringere Calcitlösekapazität auf (5,9 mg/l CaCO_3), im November 2022 war allerdings wieder der tolerierte Grenzwert von 10 mg/l erreicht.

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 7, für die September 2021-Beprobung in Tabelle 8, für die April 2022-Beprobung in Tabelle 9 und für die November 2022-Beprobung in Tabelle 10.

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 7: 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 8: 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

Tabelle 9: Analysenergebnisse der Wasserproben Apr. 2022 – Metalle – Gegenüberstellung: gelöste und partikuläre Bestandteile

Probe	Parameter	Eisen [mg/l]	Mangan [mg/l]	Calcium [mg/l]
1-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	50,5
1-N	partikulär	0,255	< 0,010	0,1
1-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	50,1
1-0	partikulär	7,64	0,016	0,4
1-20	gelöst	0,021	< 0,010	54,5
1-20	partikulär	0,161	< 0,010	0,1
3-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	51,0
3-N	partikulär	0,064	< 0,010	0,0
3-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	49,7
3-0	partikulär	15,6	0,045	0,0
3-20	gelöst	0,022	< 0,010	55,9
3-20	partikulär	0,356	< 0,010	0,1
4-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	56,0
4-N	partikulär	0,044	< 0,010	0,0
4-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	56,4
4-0	partikulär	2,944	0,017	0,0
4-1	gelöst	< 0,010	< 0,010	56,2
4-1	partikulär	4,663	0,033	0,0
4-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	58,0
4-20	partikulär	0,657	< 0,010	0,3
5-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	52,1
5-N	partikulär	0,028	< 0,010	0,1
5-0	gelöst	0,016	< 0,010	59,9
5-0	partikulär	3,232	0,011	0,2
5-1	gelöst	< 0,010	< 0,010	59,7
5-1	partikulär	4,089	0,019	0,1
5-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	57,7
5-20	partikulär	0,270	< 0,010	0,1

Tabelle 10: Analysenergebnisse der Wasserproben Nov. 2022 – Metalle – Gegenüberstellung: gelöste und partikuläre Bestandteile

Probe	Parameter	Eisen [mg/l]	Mangan [mg/l]	Calcium [mg/l]
1-N	gelöst	0,015	< 0,010	57,4
1-N	partikulär	1,694	0,016	0,1
1-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	61,8
1-0	partikulär	11,67	< 0,010	0,2
1-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	62,6
1-20	partikulär	0,212	< 0,010	0,4
3-N	gelöst	0,088	0,043	63,0
3-N	partikulär	0,937	< 0,010	0,2
3-0	gelöst	0,018	0,016	66,8
3-0	partikulär	7,498	< 0,010	0
3-20	gelöst	0,067	< 0,010	63,5
3-20	partikulär	0,186	< 0,010	0
4-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	59,9
4-N	partikulär	0,029	< 0,010	0,3
4-0	gelöst	< 0,010	< 0,010	59,9
4-0	partikulär	0,686	< 0,010	0
4-1	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,9
4-1	partikulär	1,55	0,013	0
4-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,1
4-20	partikulär	0,628	< 0,010	0,1
5-N	gelöst	< 0,010	< 0,010	60,9
5-N	partikulär	< 0,010	< 0,010	0
5-0	gelöst	0,017	< 0,010	58,8
5-0	partikulär	7,782	0,013	0,1
5-1	gelöst	< 0,010	< 0,010	59,8
5-1	partikulär	12,10	0,021	0
5-20	gelöst	< 0,010	< 0,010	61,3
5-20	partikulär	0,346	< 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. Mangan liegt insgesamt in nur sehr geringen Mengen vor. In den Proben, in denen ein hoher partikulärer Eisengehalt bestimmt werden konnte, wurde oft auch eine messbare Mangankonzentration festgestellt.

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 den Tabellen (Tabelle 7, Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 10) 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 Beprobungen in den Jahren 2021 und 2022 ist im Vergleich zu den letzten Beprobungen des Vorgängerprojektes in Tabelle 11 zusammengefasst.

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. Im Untersuchungszeitraum 2022 konnten jedoch erneut größere Mengen an abfiltrierbaren Stoffen ermittelt werden (maximal 30 mg/l).

Sedimentierte Partikel (absetzbare Stoffe) waren im Zeitraum 2021/2022 kaum festzustellen.

Tabelle 11: 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	
1-0	Apr. 22	18	
1-0	Nov. 22	21	0,1
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	
3-0	Apr. 22	34	0,1
3-0	Nov. 22	24	
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	
4-0	Apr. 22	8,6	
4-1	Apr. 22	13	
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	
5-0	Apr. 22	5,4	
5-1	Apr. 22	9,5	
5-0	Nov. 22	10	
5-1	Nov. 22	30	

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 33 bis Abbildung 48). 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 25 bis Abbildung 32).

Für die Beprobungen im Jahr 2021 lässt sich folgendes zusammenfassen: 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.

Für die Beprobungen im Jahr 2022 lässt sich folgendes zusammenfassen: Im April 2022 war die größte Partikelanzahl mit ca. 580.000 Stück pro Milliliter in der Probe 3-0 festzustellen, womit ein deutlicher Anstieg der Gesamtpartikelfracht an dieser PN-Stelle zu verzeichnen war. Auch die Probe 1-0 wies eine erhebliche Fracht von etwa 410.000 Stück pro Milliliter auf. Im November 2022 war die größte Partikelanzahl mit etwas mehr als 260.000 Stück pro Milliliter ebenfalls in der Probe 3-0 festzustellen, wobei die Fracht gegenüber der April-Beprobung auf weniger als die Hälfte der Partikelanzahl gesunken ist. Die Probe 1-0 wies gleichermaßen hohe Frachten auf (ca. 260.000 Stück pro Milliliter). Die Probe 5-1 folgte mit einer Partikelanzahl von 213.000 Stück pro Milliliter. Die PN-Stelle 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg) zeigte die geringste Partikelkonzentration im Vergleich zu den anderen PN-Stellen, jedoch war im Verlauf der Spülaktion hier – im Gegensatz zu den stetig abfallenden Werten bei den anderen Probenreihen – ein Maximum in der Probe 4-9 (nach 27 Minuten Spüldauer) zu verzeichnen.

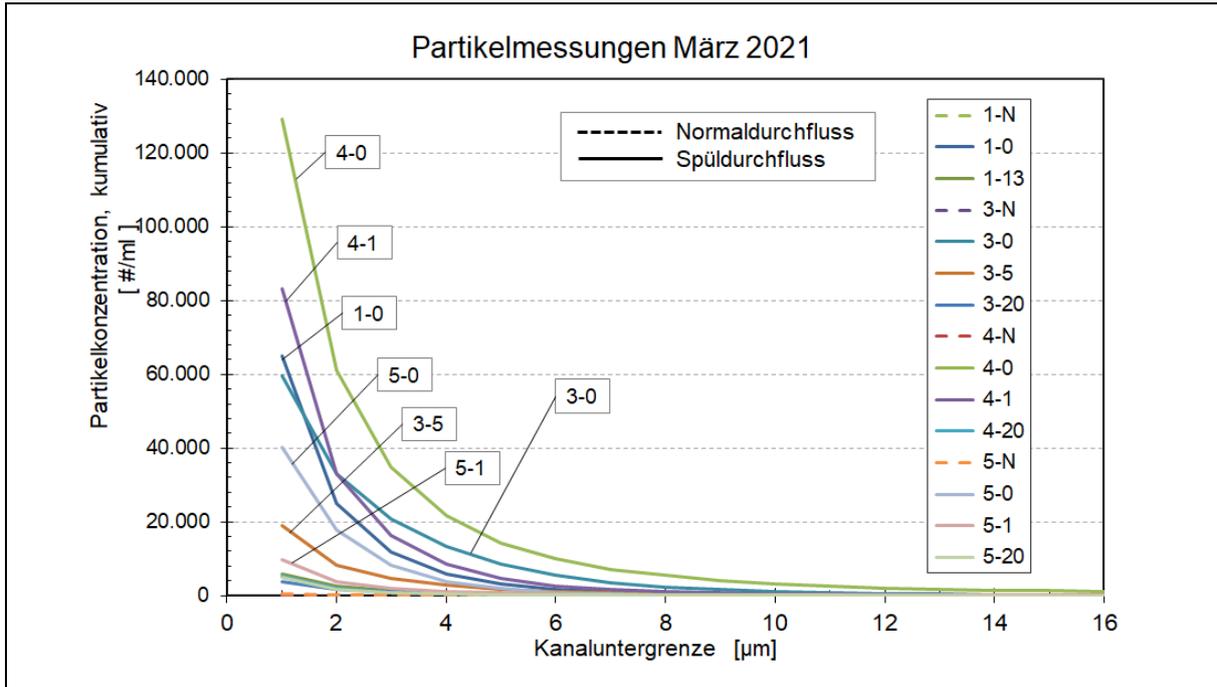


Abbildung 25: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, März 2021

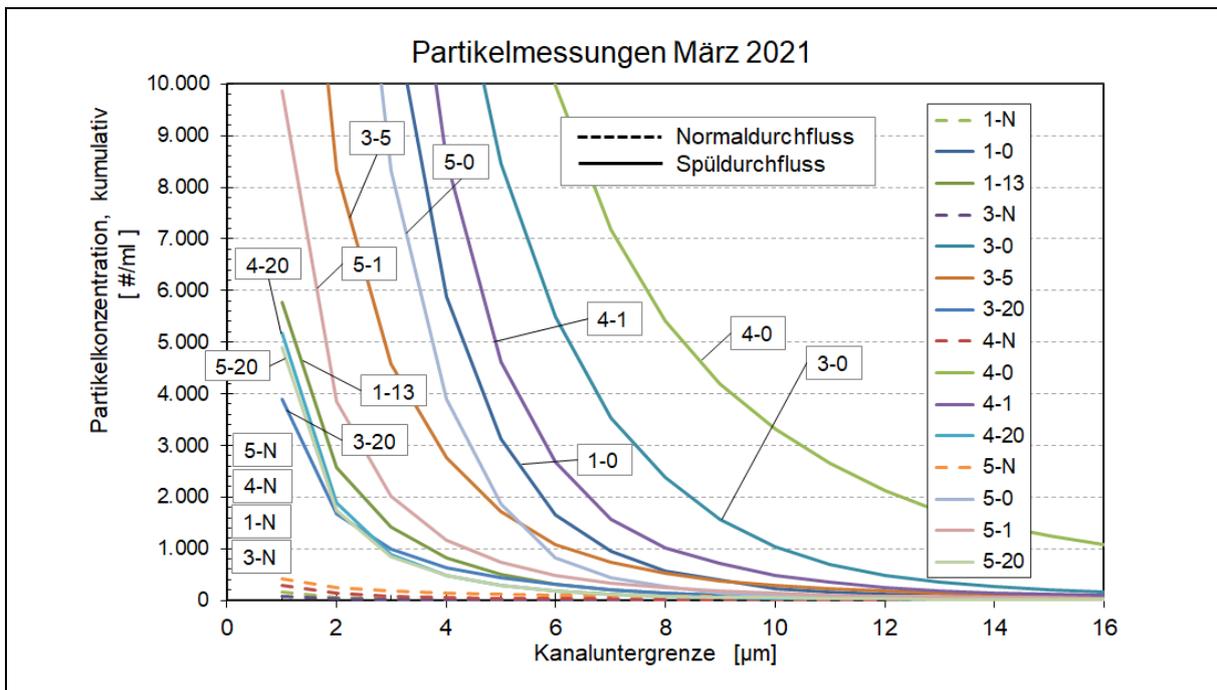


Abbildung 26: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, März 2021

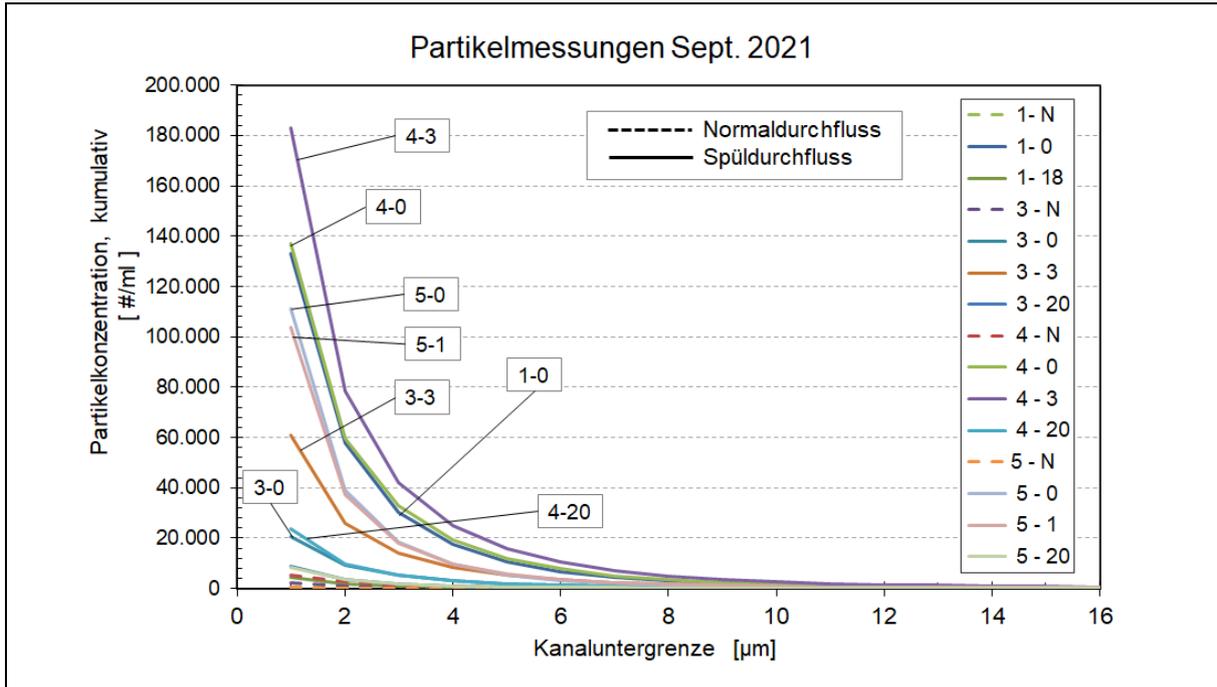


Abbildung 27: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, September 2021

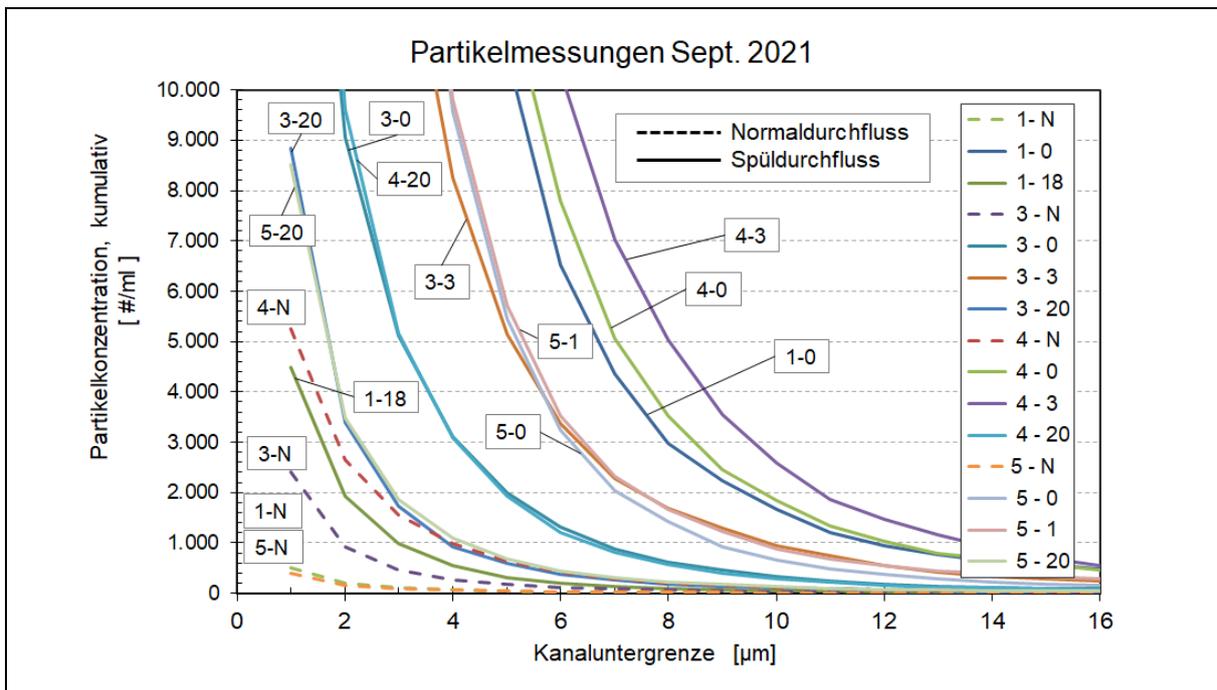


Abbildung 28: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, September 2021

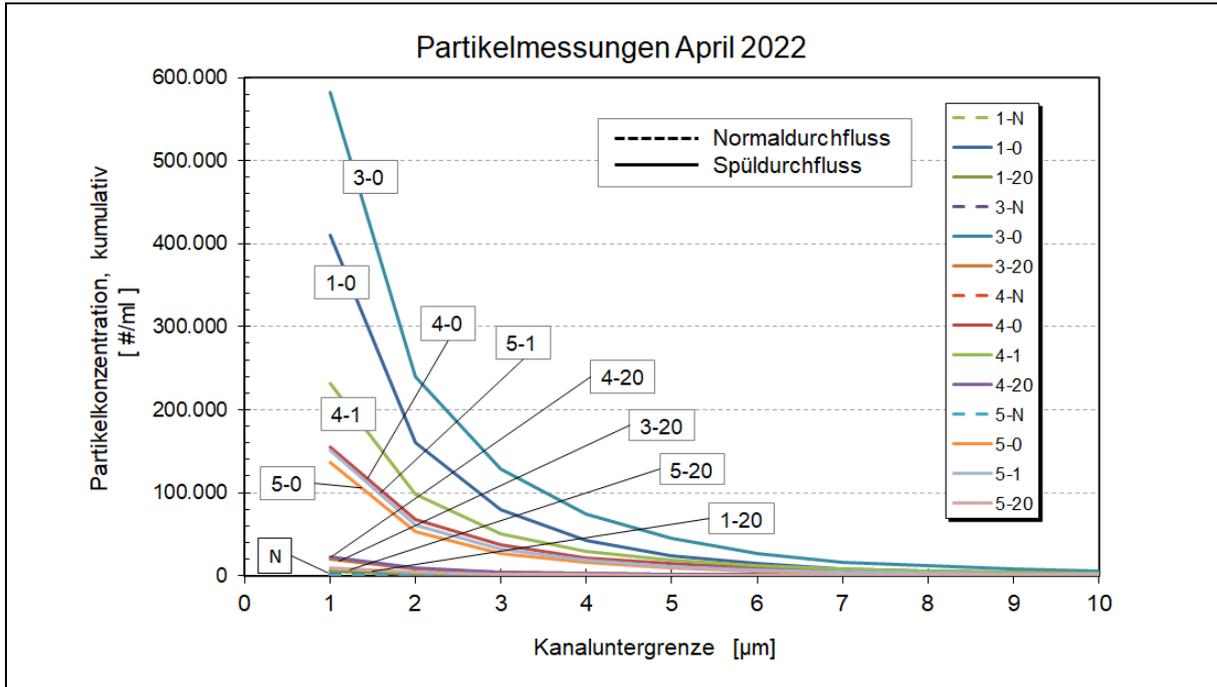


Abbildung 29: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, April 2022

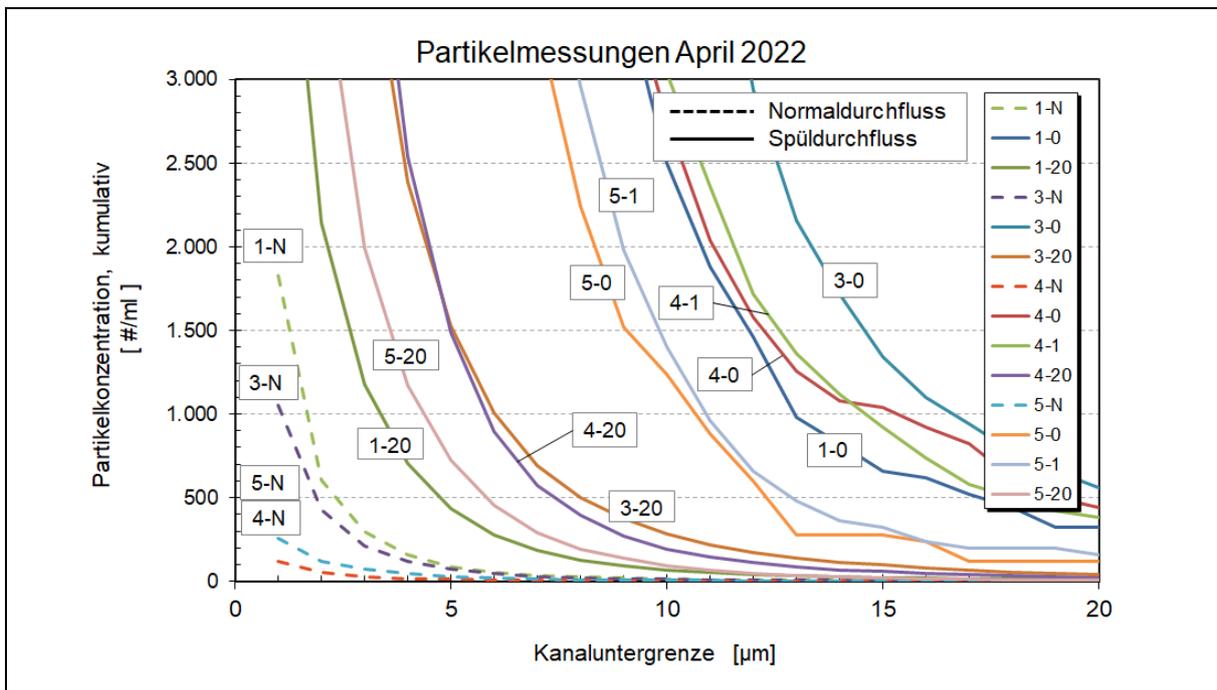


Abbildung 30: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, April 2022

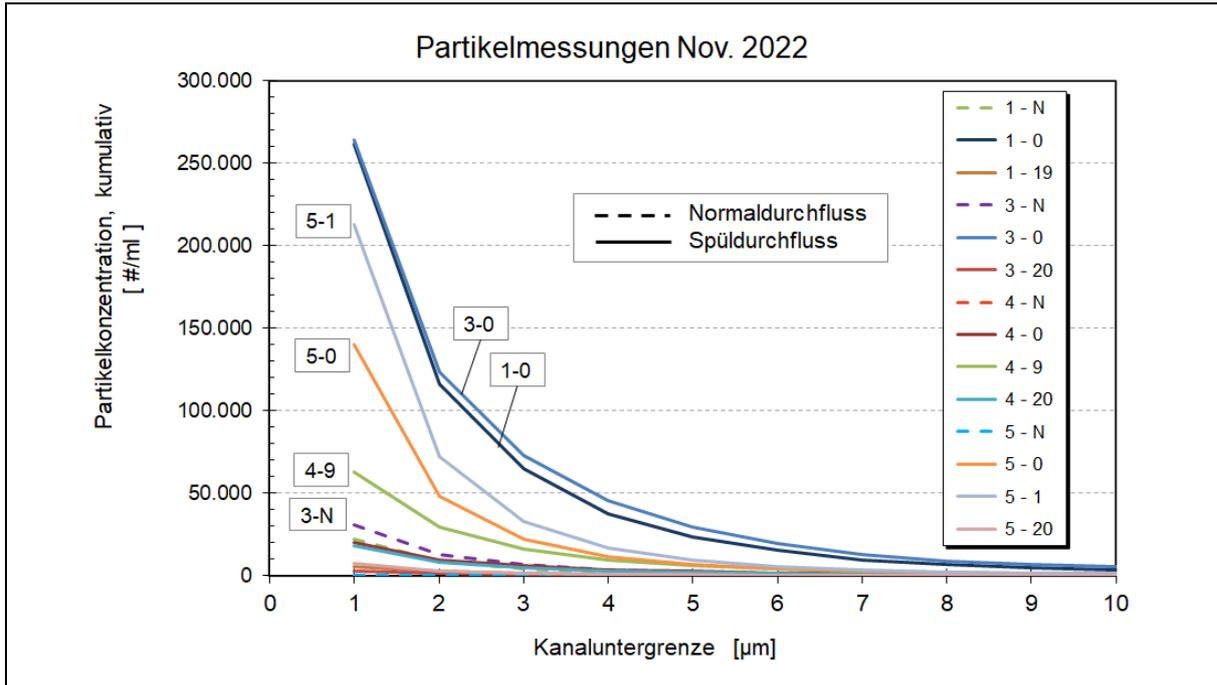


Abbildung 31: Partikelgrößenverteilung, Gesamtdarstellung, November 2022

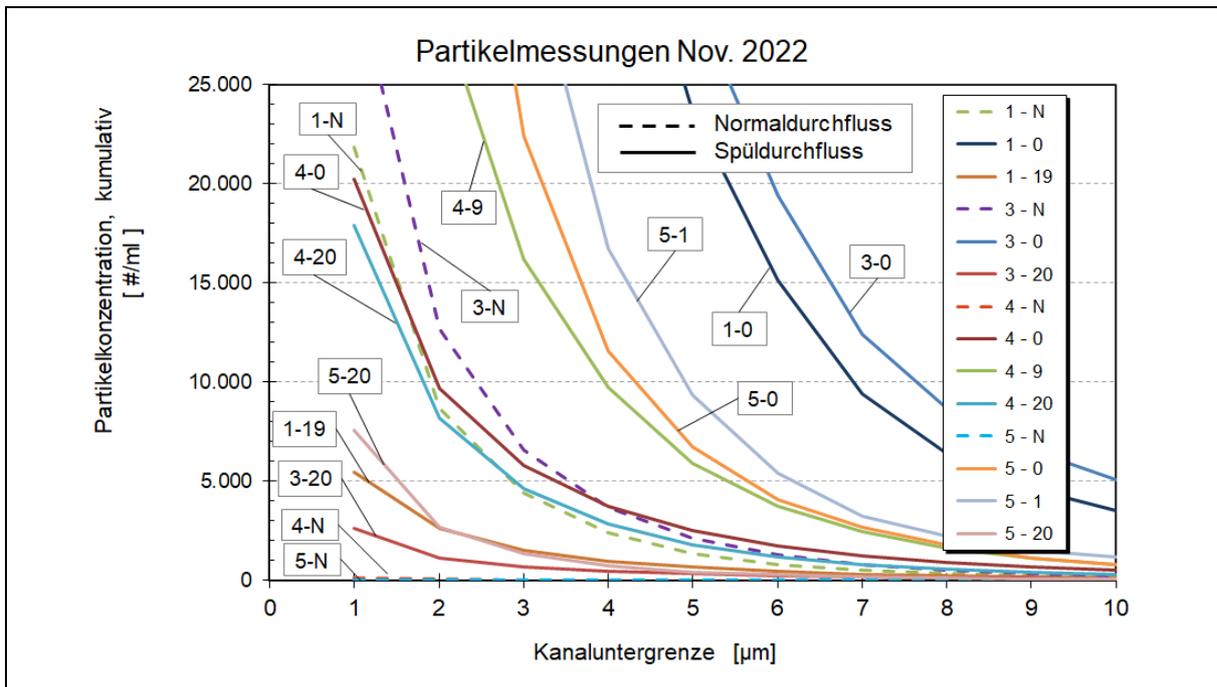


Abbildung 32: Partikelgrößenverteilung, Ausschnittdarstellung, November 2022

3 Schlussfolgerung – offene Fragen

Im Vergleich zu den Ergebnissen des Vorgängerprojektes sind im Jahr 2021 die Werte der Trübungsmessungen/Partikelmessungen – 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.

Im Jahr 2022 zeigte die PN-Stelle 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg) dagegen sehr geringe Partikelfrachten, so dass eine weitergehende Untersuchung dieses Teils des Versorgungsnetzes obsolet erscheint. Jedoch sind in den PN-Stellen 3 (Römerstraße) und 1 (Landgraben) wieder erhöhte Werte zu verzeichnen. Die zunächst festgestellte Verringerung der Partikelfracht kann für diesen Untersuchungszeitraum (2022) nicht bestätigt werden. In den Proben der Netzstation 5 (Jodokusstraße) wurden ähnlich hohe Partikelfrachten ermittelt.

Offenbar sind in dem gesamten Versorgungsnetz unterschiedliche Mobilisierungsphasen festzustellen, die sowohl örtlich als auch zeitlich in ihren Ausprägungen deutlich variieren können.

Die Unstetigkeit in der Calcitlösekapazität wirft Fragen hinsichtlich der Einstellungen der Wasserqualitäten der Vorlieferanten auf, um ein Wasser mit konstanter Beschaffenheit bei konstantem Mischungsverhältnis von 50 % WBV zu 50 % WTV zu gewährleisten, das seit Ende des Jahres 2019 bzw. Anfang des Jahres 2020 eingeregelt wird.

4 Anhang

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Einzel-Diagramme der Partikelmessungen in den Jahren 2021 und 2022

Anhang 2: Vor-Ort Parameter der Beprobungen in den Jahren 2021 und 2022

Anhang 1: Einzel-Diagramme der Partikelmessungen in den Jahren 2021 und 2022

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 33 bis Abbildung 36 dargestellt, für die Beprobung im September 2021 in Abbildung 37 bis Abbildung 40, für die Beprobung im April 2022 in Abbildung 41 bis Abbildung 44 und für die Beprobung im November 2022 in Abbildung 45 bis Abbildung 48.

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.

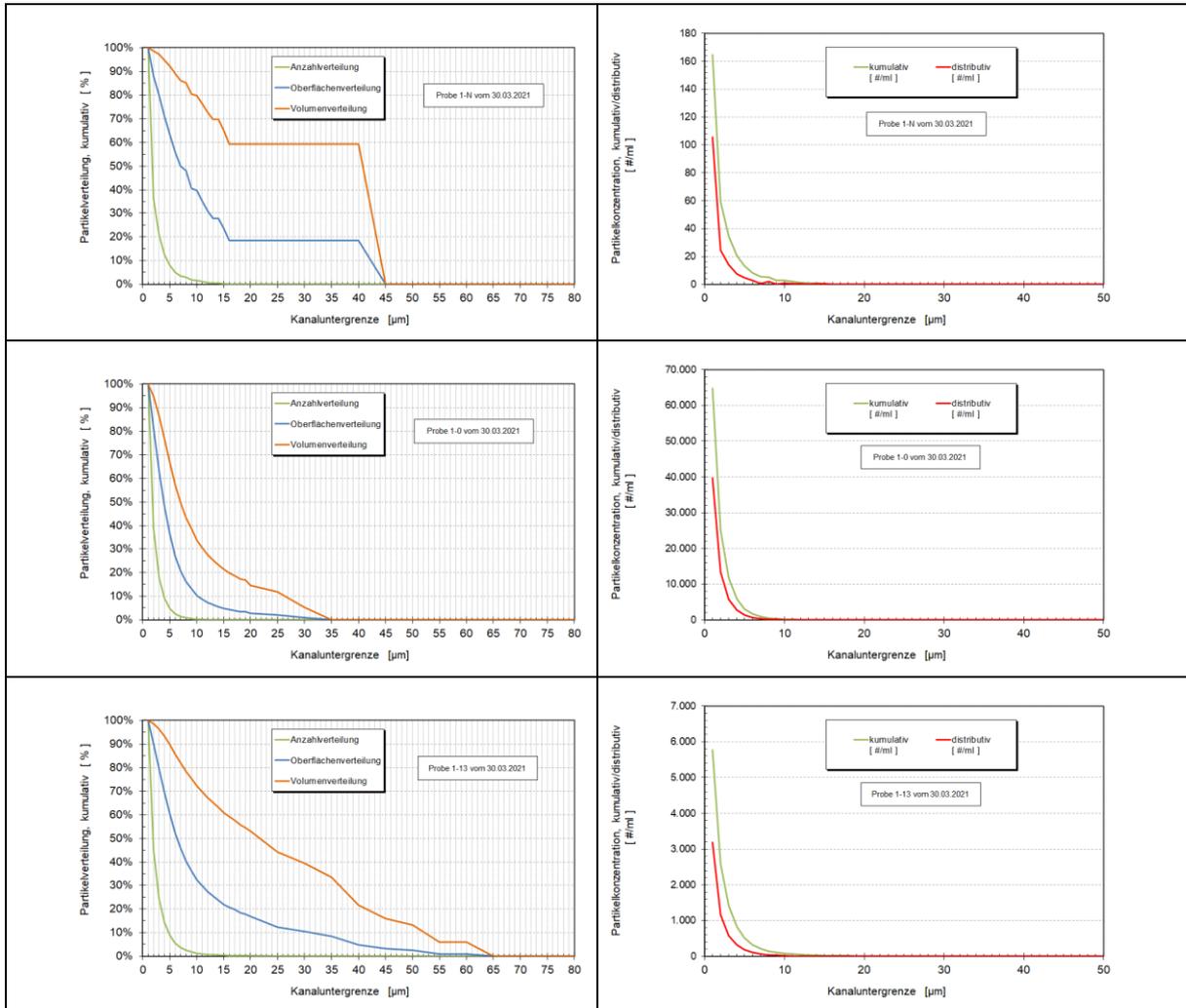


Abbildung 33: Partikelmessungen der Proben (Mrz. 21) der Netzstation 1 (Landgraben)

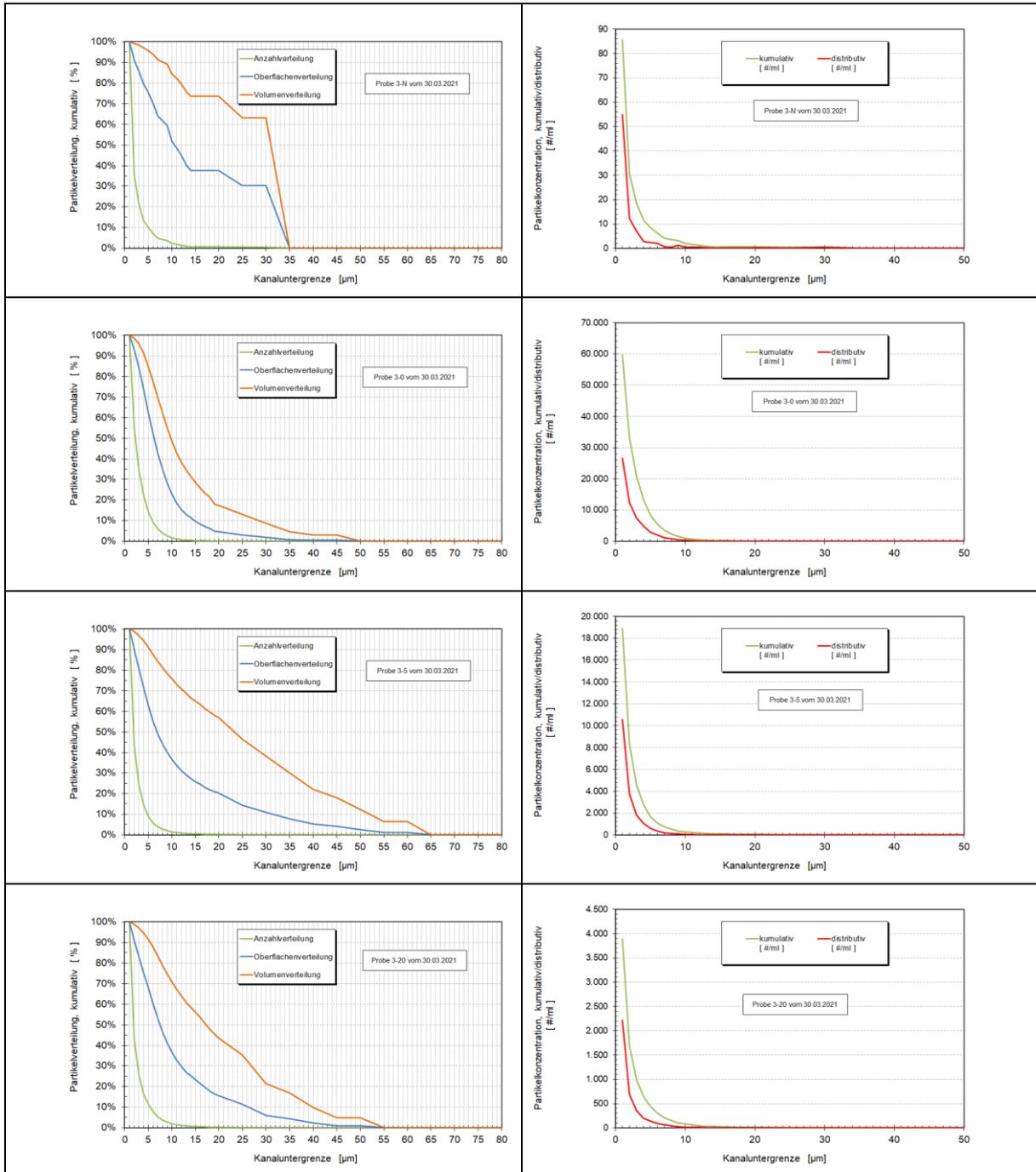


Abbildung 34: Partikelmessungen der Proben (Mrz. 21) der Netzstation 3 (Römerstraße)

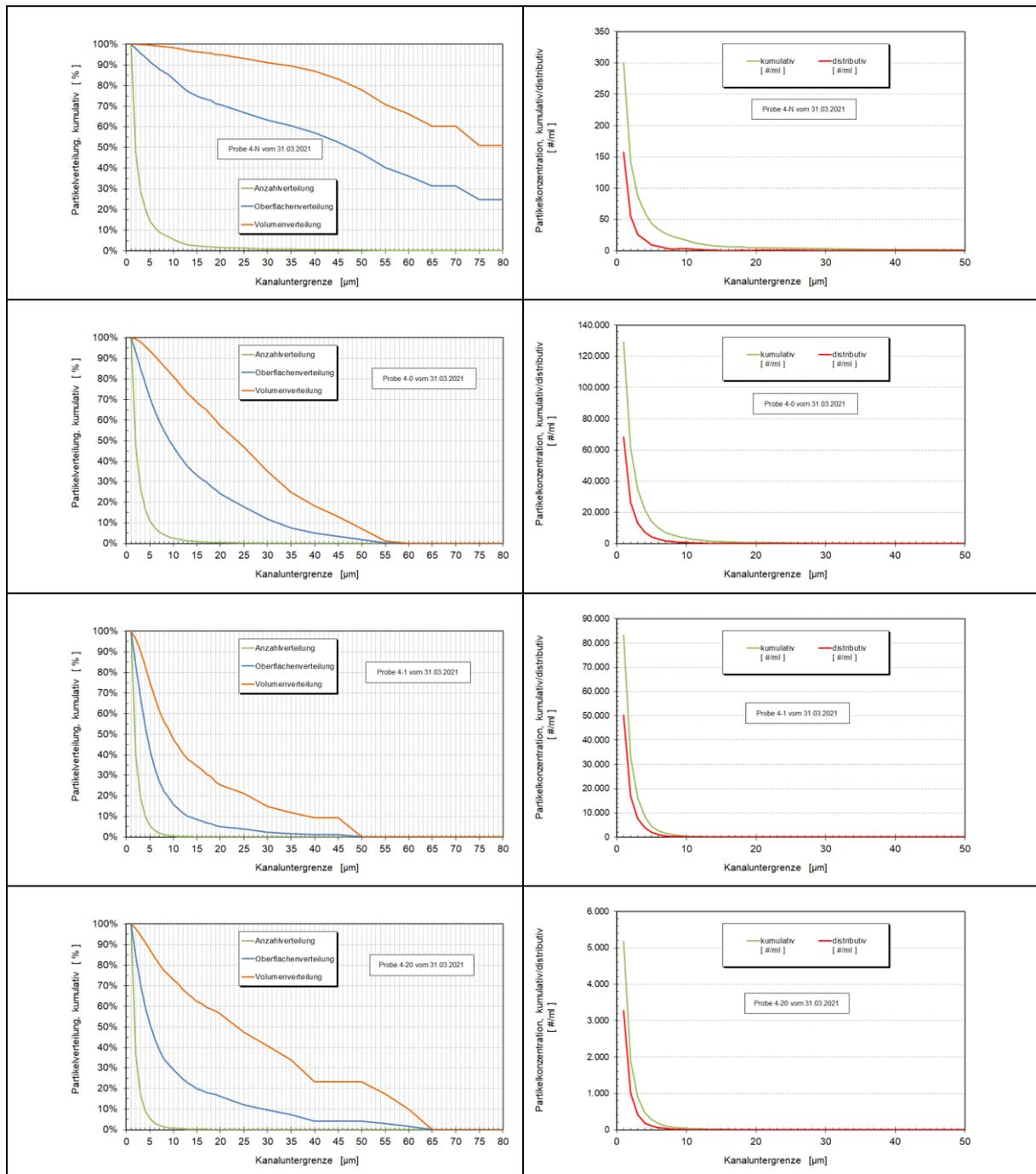


Abbildung 35: Partikelmessungen der Proben (Mrz. 21) der Netzstation 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg)

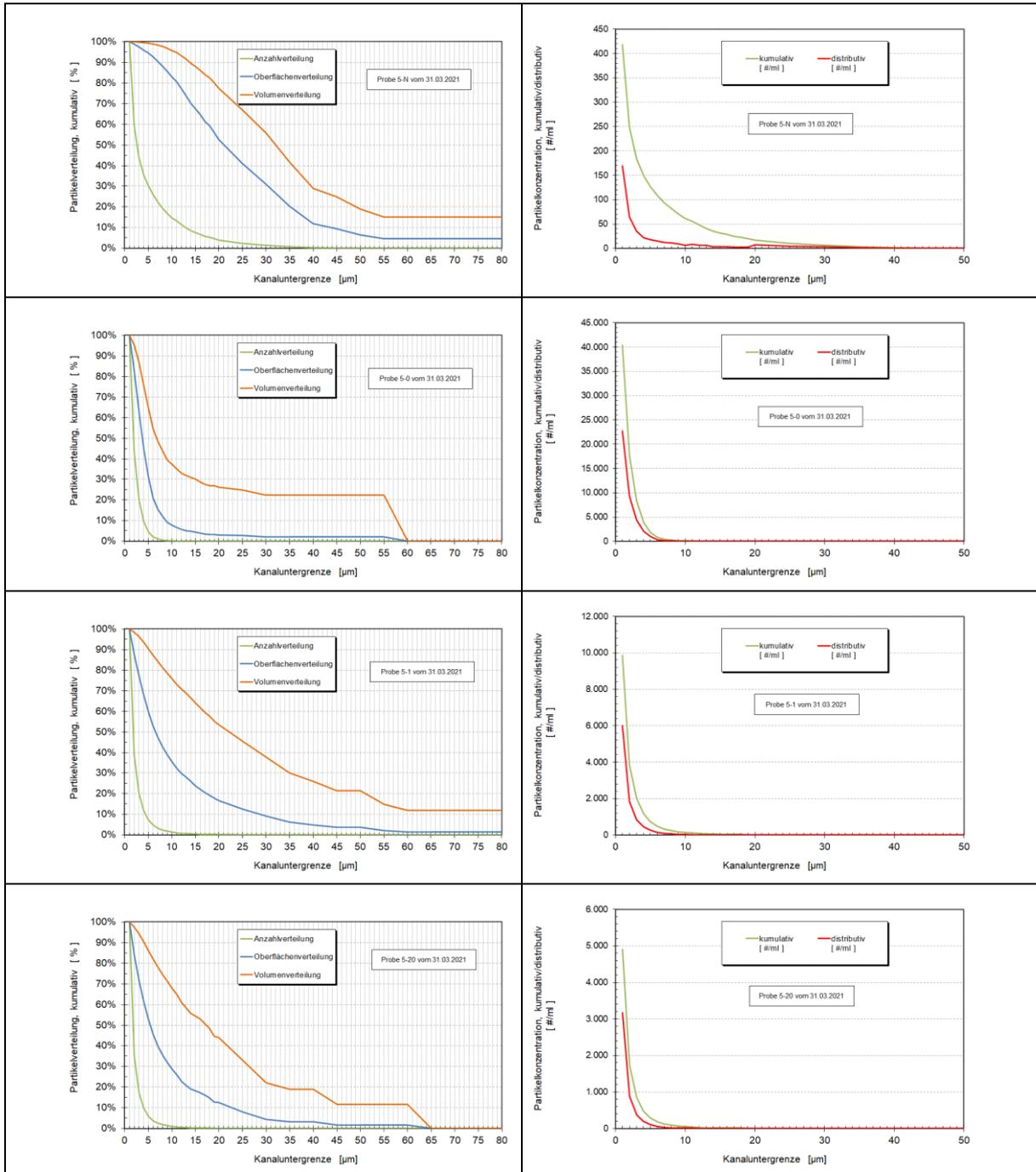


Abbildung 36: Partikelmessungen der Proben (Mrz. 21) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

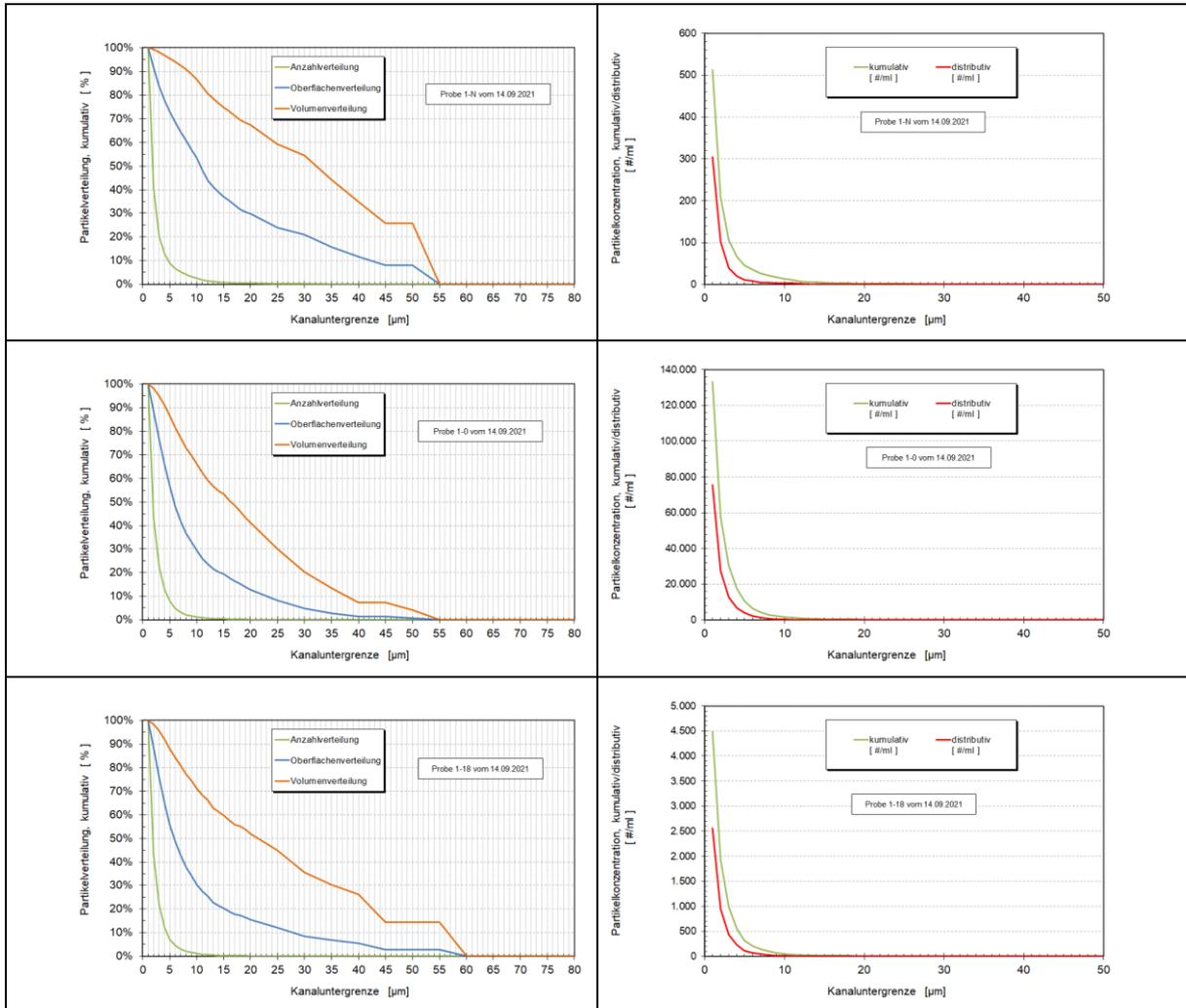


Abbildung 37: Partikelmessungen der Proben (Sept. 21) der Netzstation 1 (Landgraben)

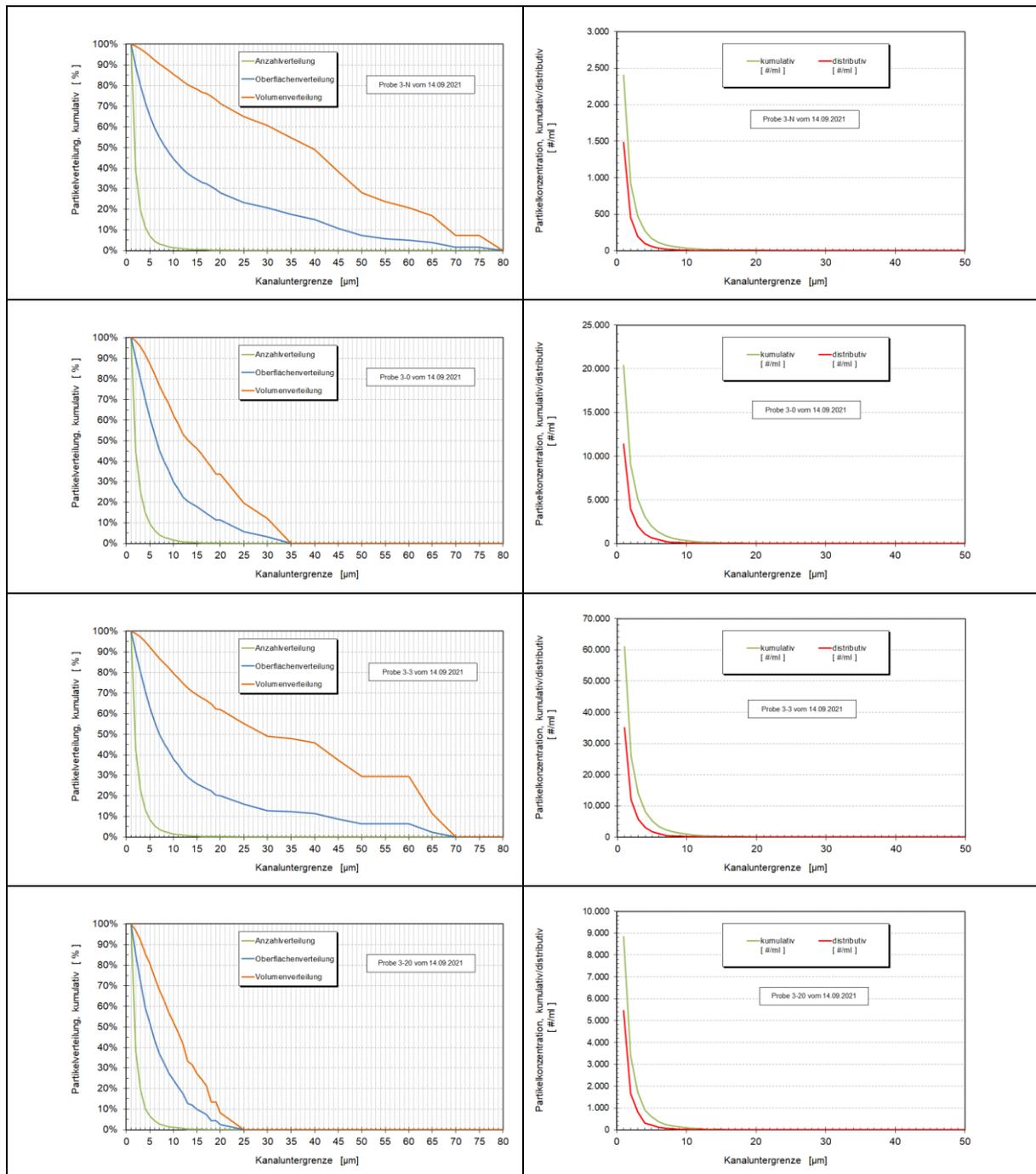


Abbildung 38: Partikelmessungen der Proben (Sept. 21) der Netzstation 3 (Römerstraße)

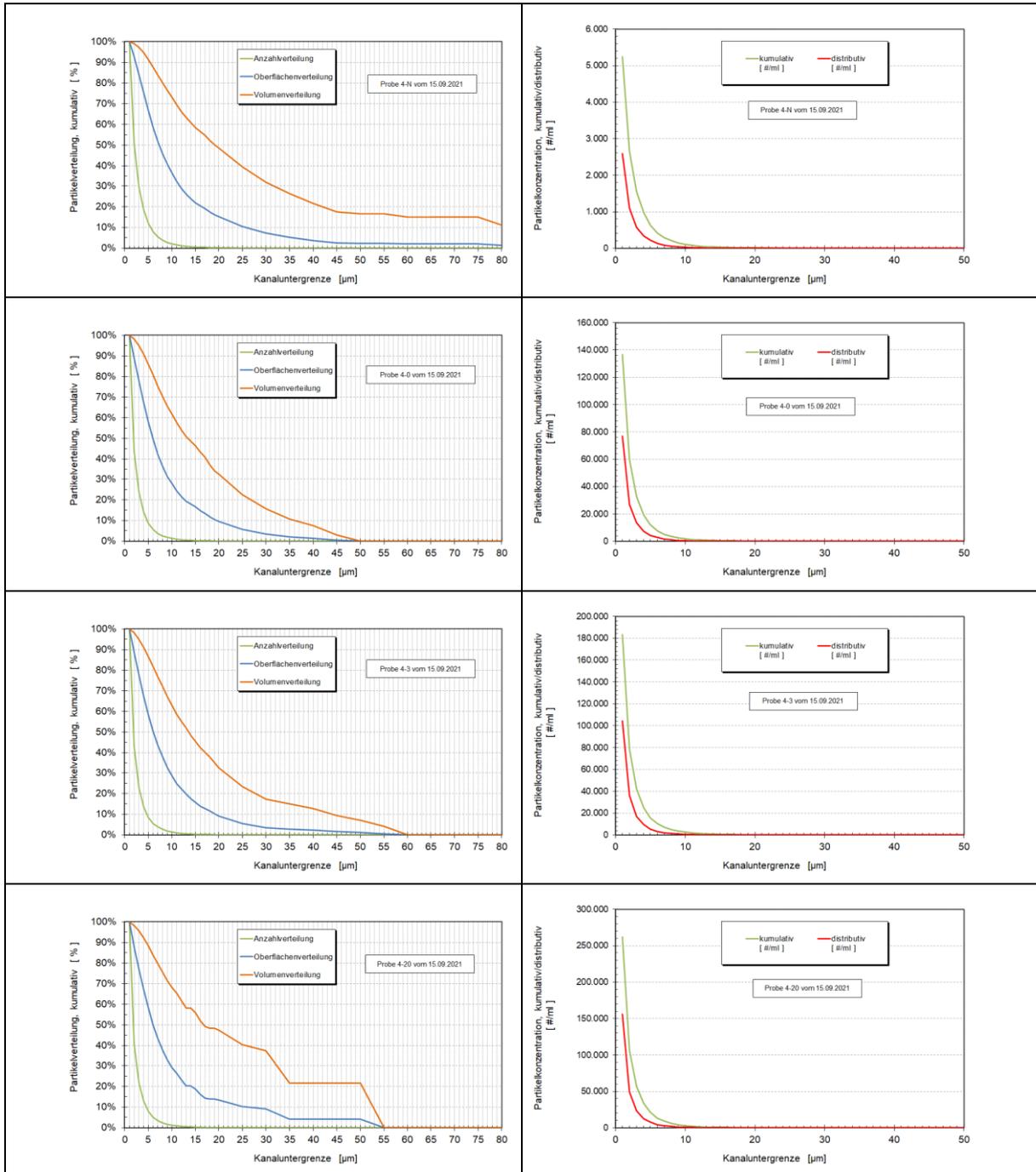


Abbildung 39: Partikelmessungen der Proben (Sept. 21) der Netzstation 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg)

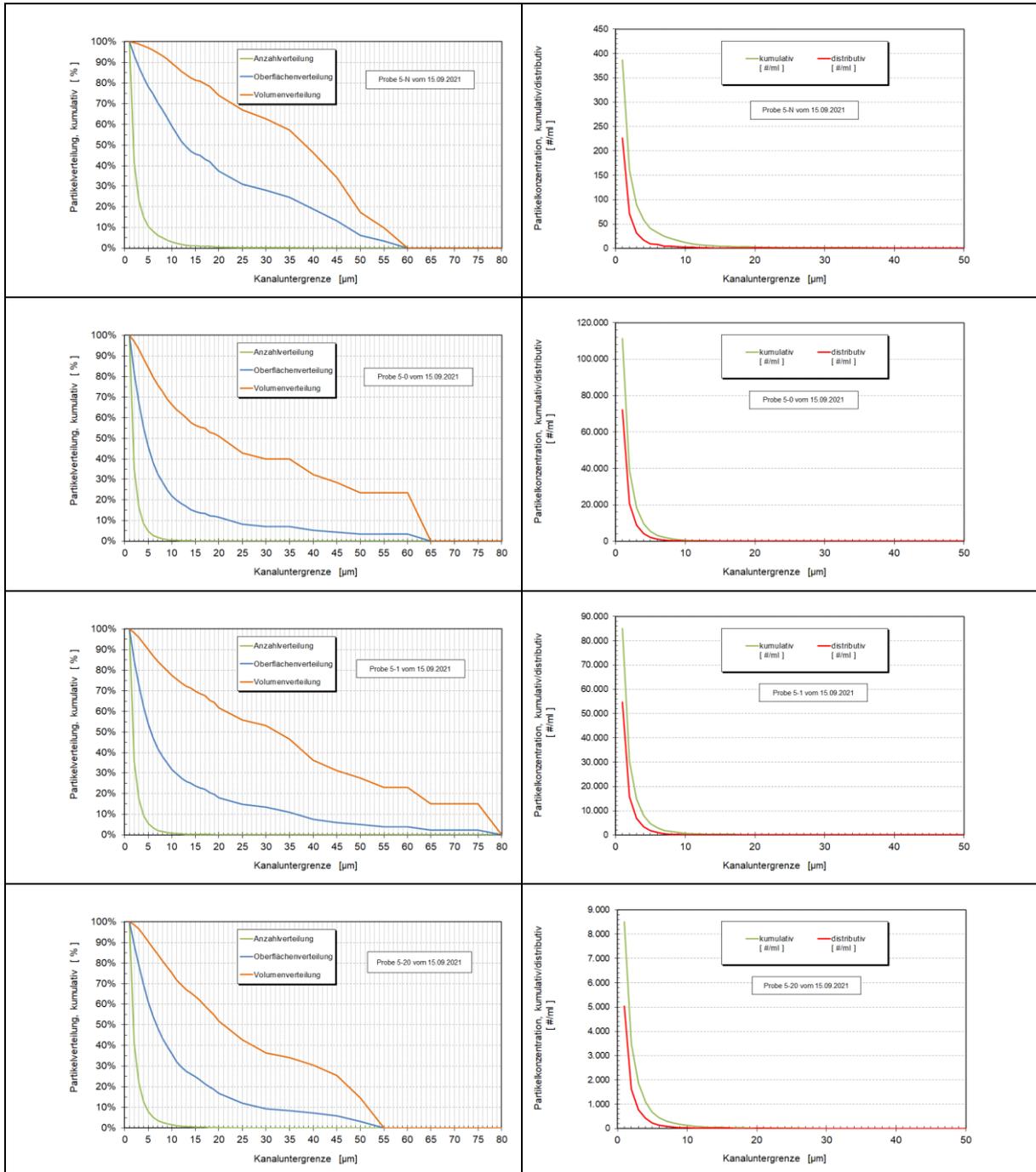


Abbildung 40: Partikelmessungen der Proben (Sept. 21) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

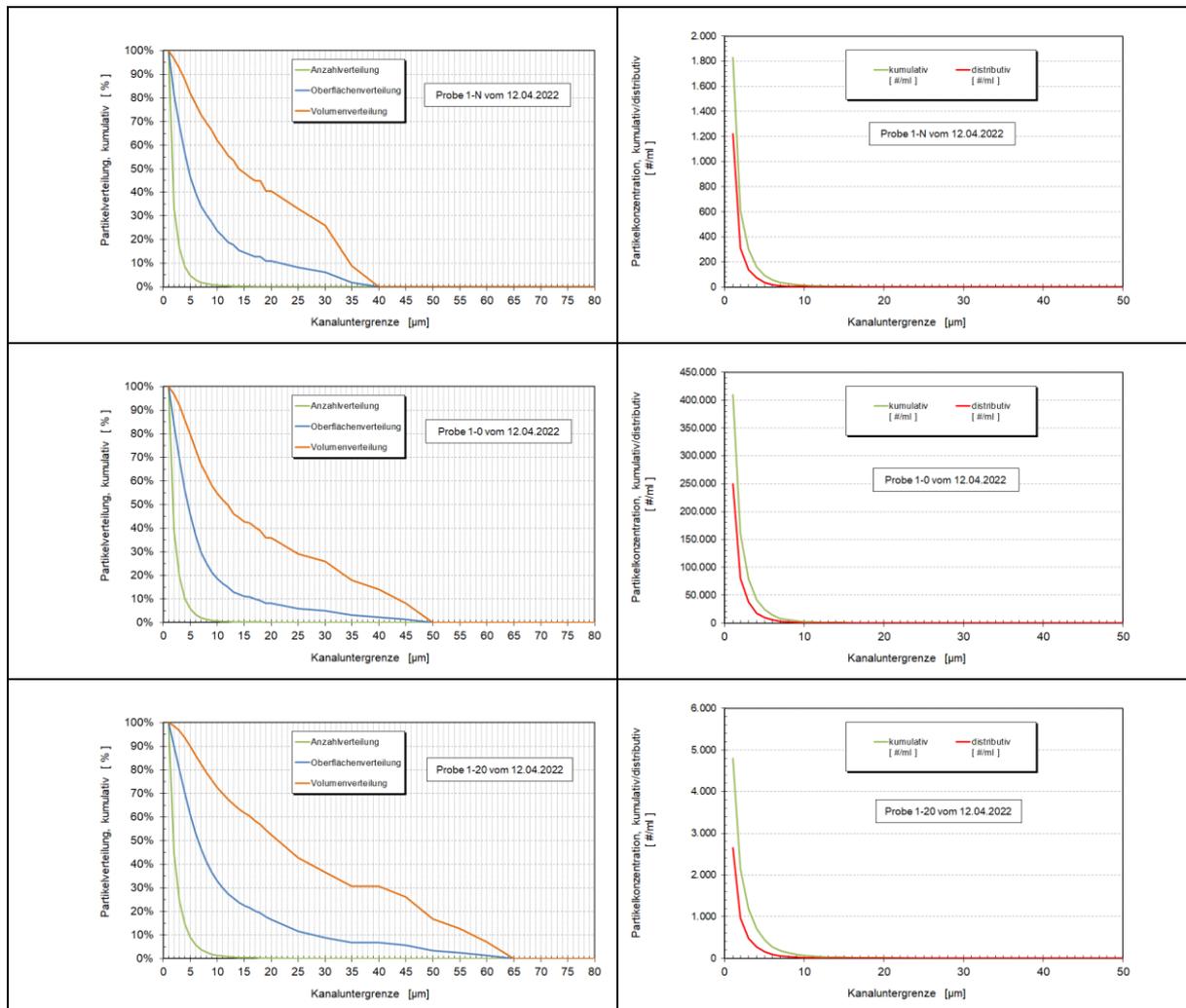


Abbildung 41: Partikelmessungen der Proben (Apr. 22) der Netzstation 1 (Landgraben)

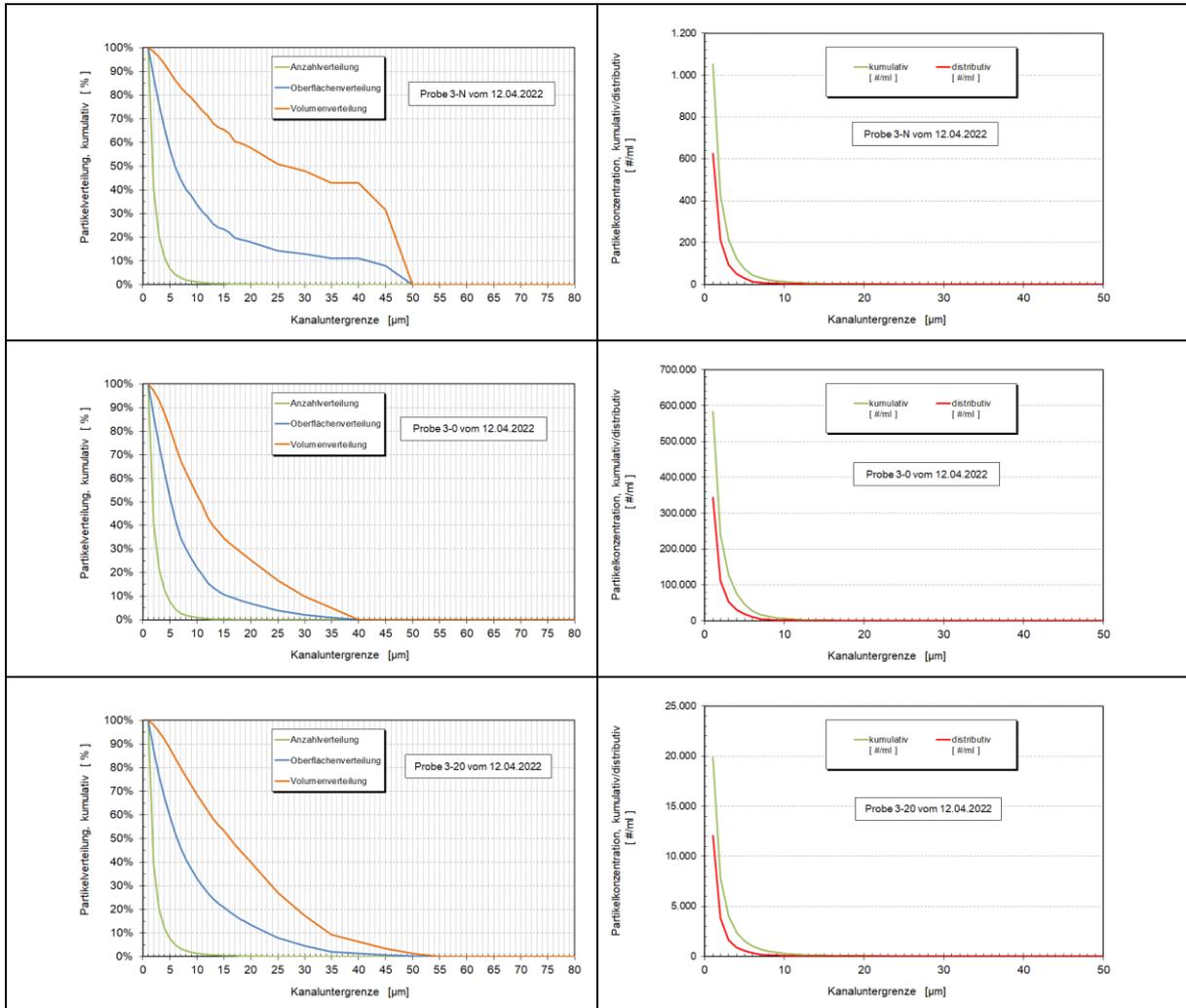


Abbildung 42: Partikelmessungen der Proben (Apr. 22) der Netzstation 3 (Römerstraße)

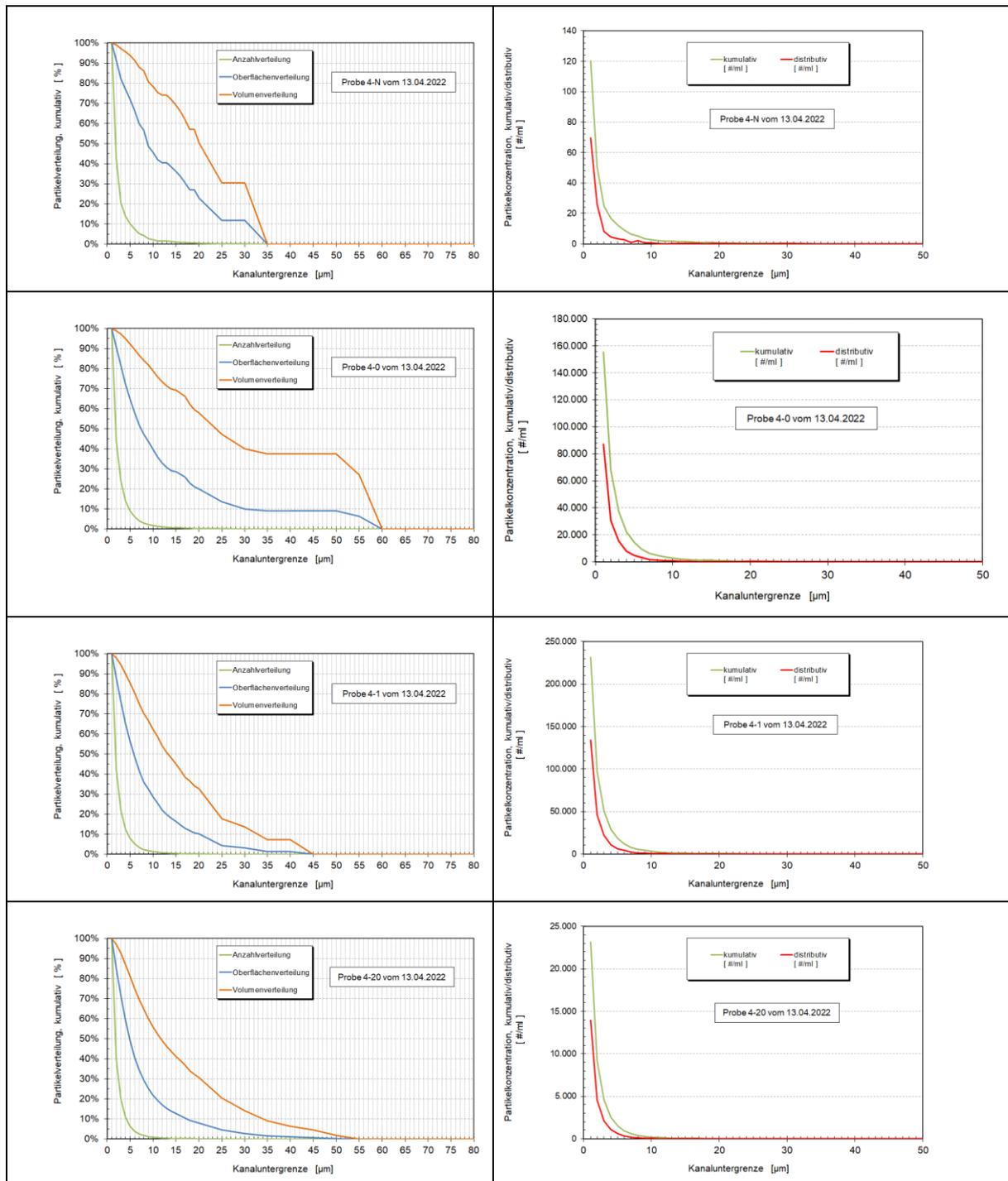


Abbildung 43: Partikelmessungen der Proben (Apr. 22) der Netzstation 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg)

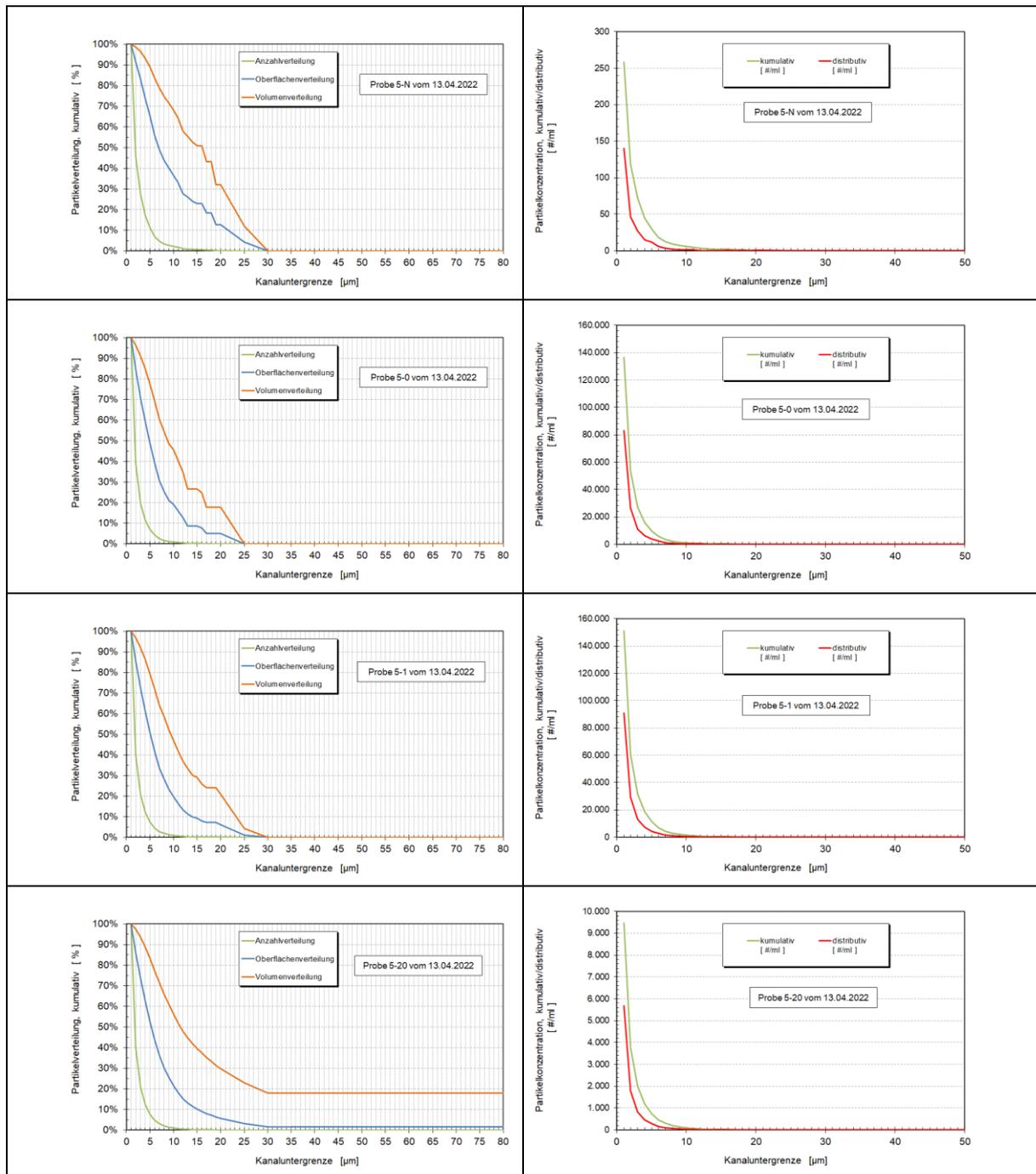


Abbildung 44: Partikelmessungen der Proben (Apr. 22) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

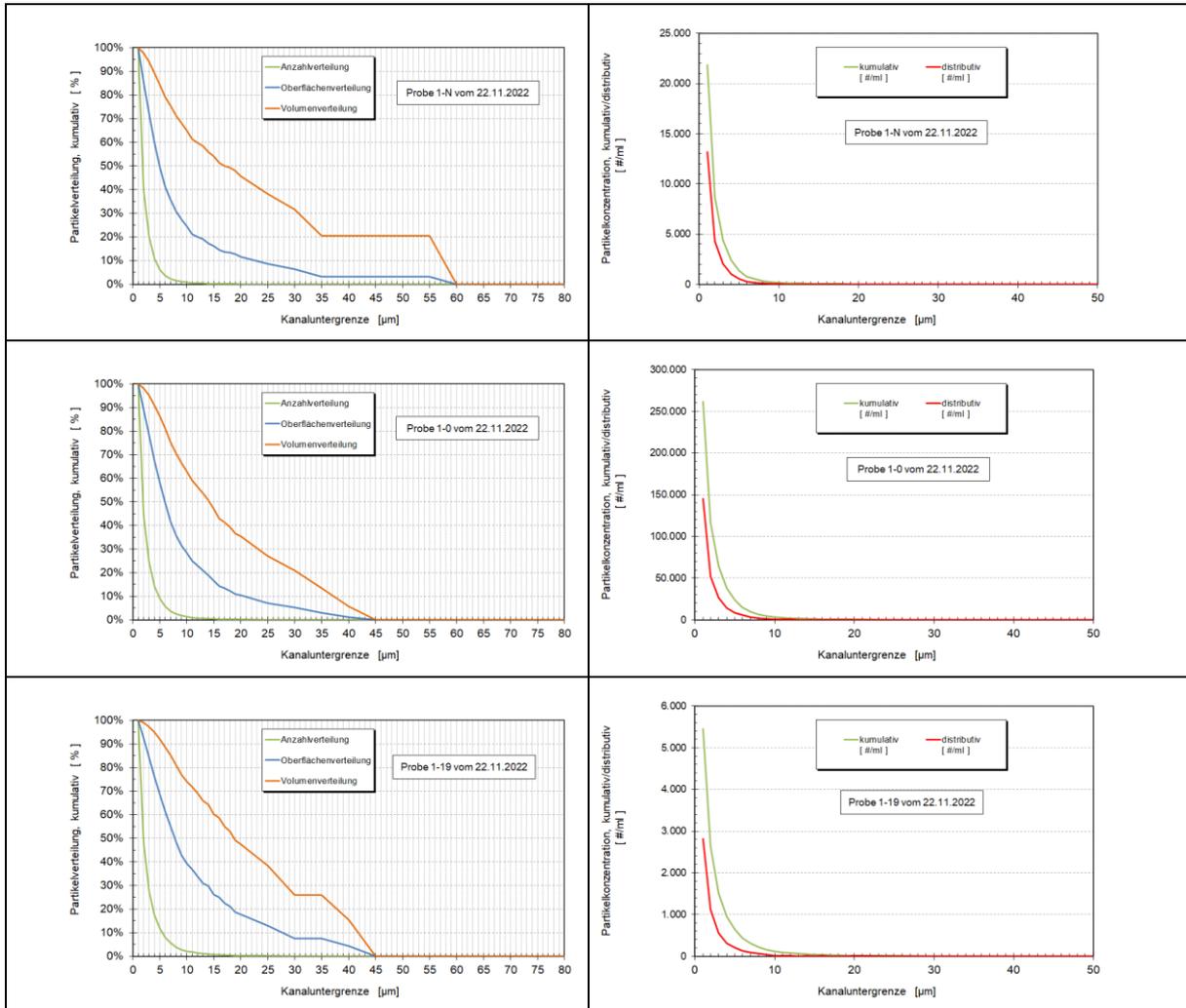


Abbildung 45: Partikelmessungen der Proben (Nov. 22) der Netzstation 1 (Landgraben)

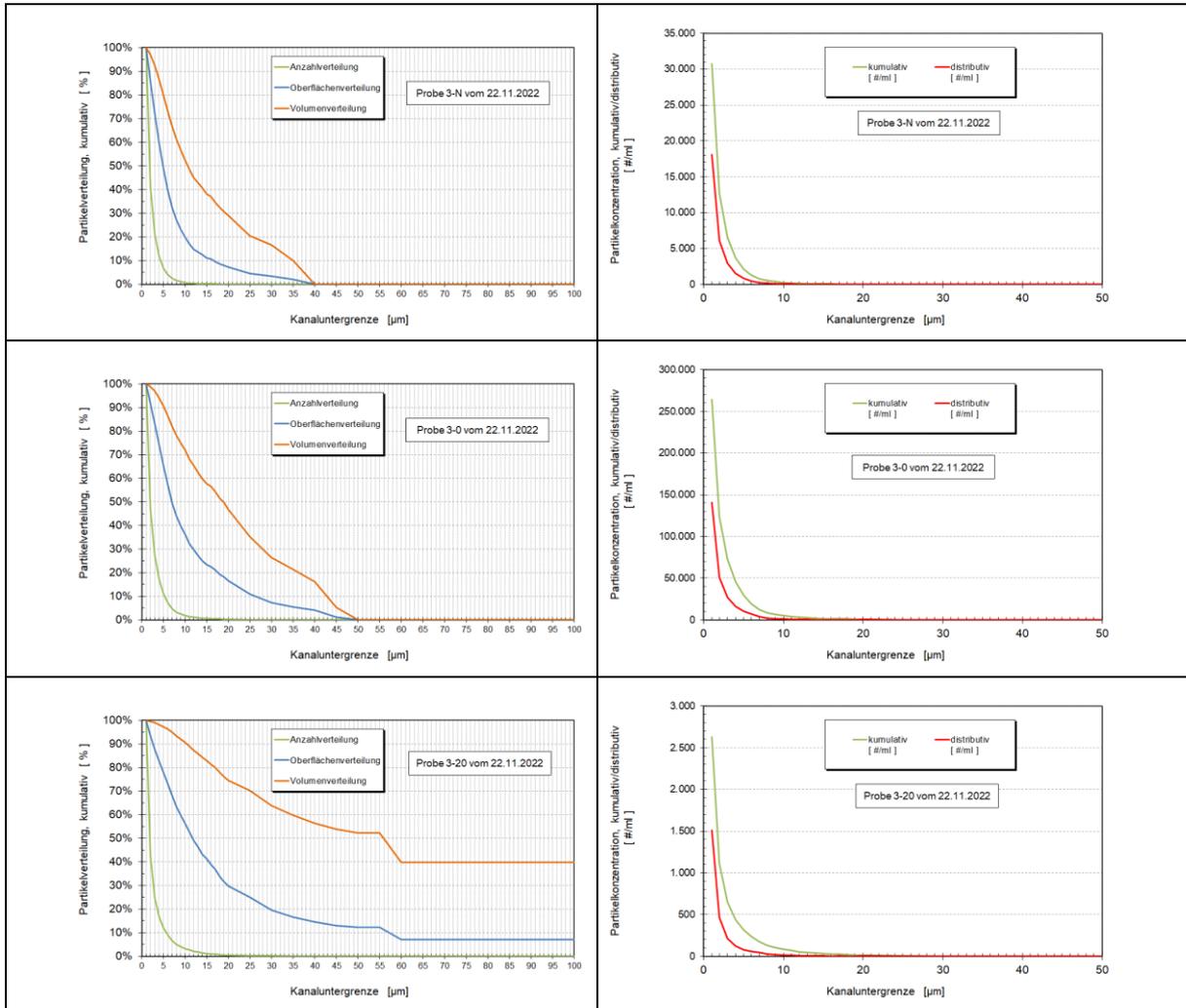


Abbildung 46: Partikelmessungen der Proben (Nov. 22) der Netzstation 3 (Römerstraße)

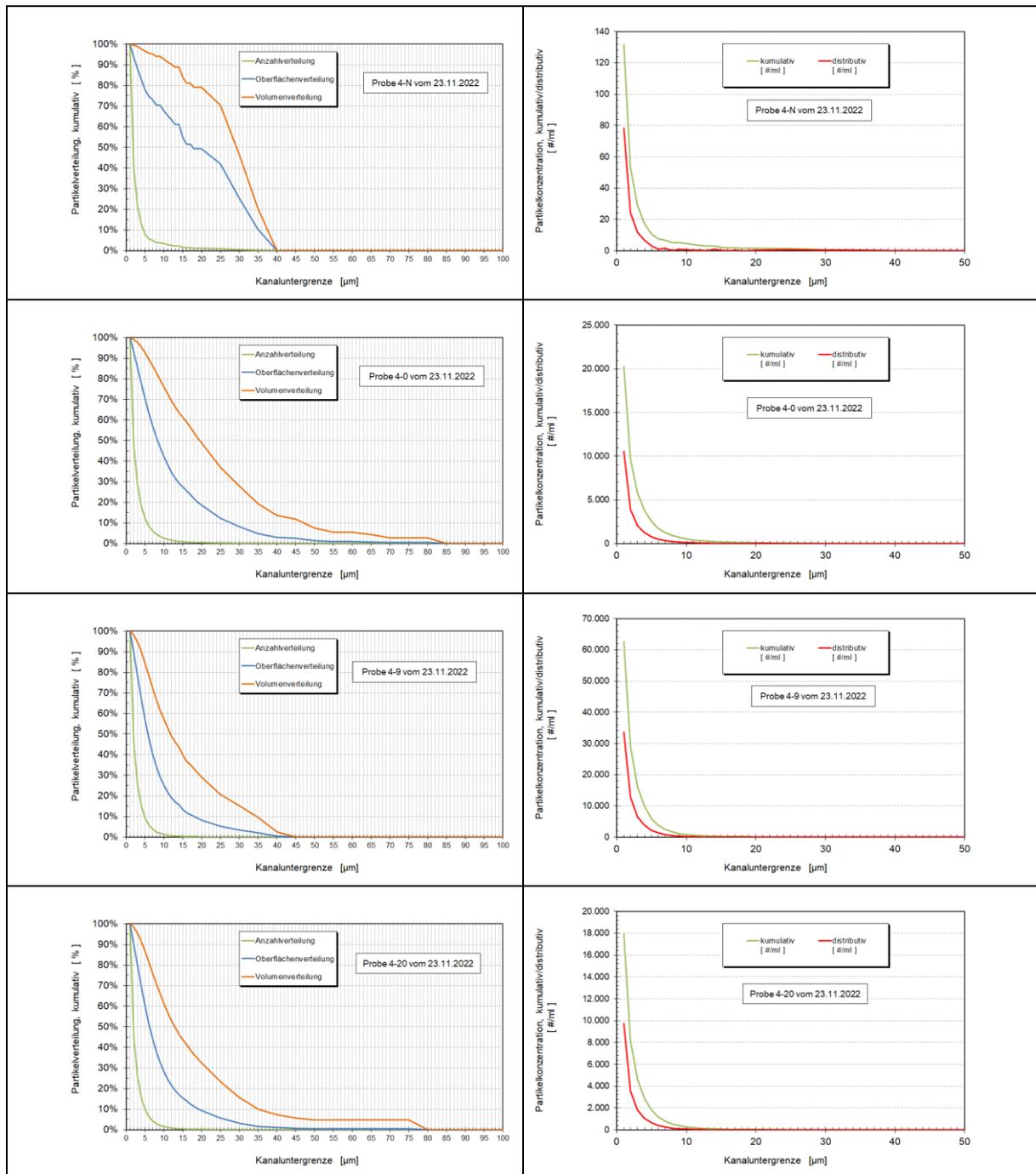


Abbildung 47: Partikelmessungen der Proben (Nov. 22) der Netzstation 4 (Oderstraße, Ecke Grüner Weg)

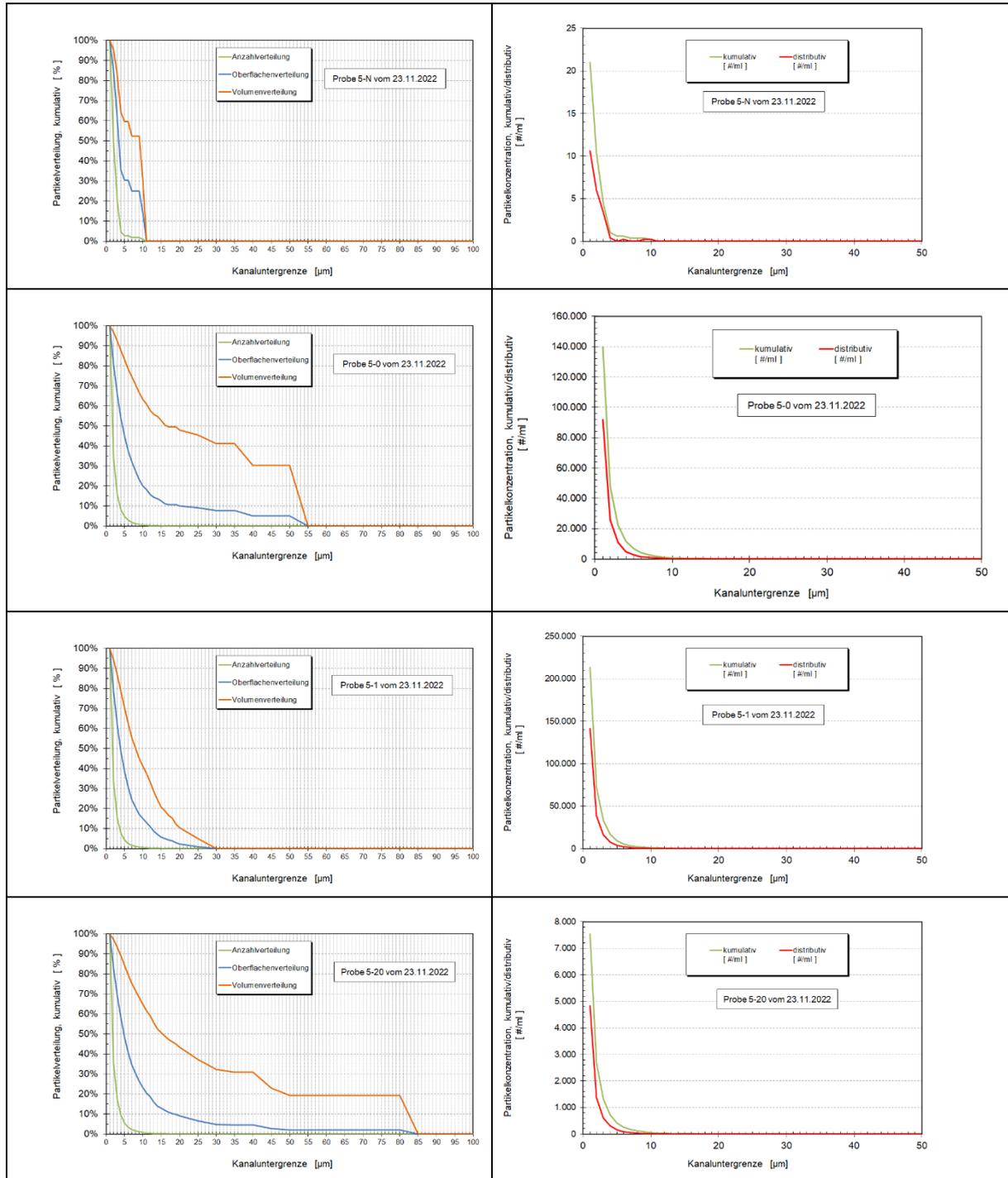


Abbildung 48: Partikelmessungen der Proben (Nov. 22) der Netzstation 5 (Jodokusstraße)

Anhang 2: Vor-Ort Parameter der Beprobungen in den Jahren 2021 und 2022

Die im Abschnitt 2.3.1 dargestellten Tabellen mit den gemessenen Vor-Ort-Parametern der Beprobungen im März und im September 2021 sowie im April und November 2022 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					Römerstr. 46					Oderstr./Ecke Grüner Weg					Jodokusstr. 5				
14.09.2021					14.09.2021					15.09.2021					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

Vor-Ort-Parameter der Beprobung im April 2022

PN 1 Landgraben 2				12.04.2022				PN 3 Römerstr. 69/70				12.04.2022				PN 4 Oderstr./Ecke Grüner Weg				13.04.2022				PN 5 Jodokusstr. 5				13.04.2022			
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	12,8	479	7,664	1,06	x-N	11,9	480	7,825	0,59	x-N	11,1	517	7,272	0,28	x-N	11,6	478	7,526	0,10												
x-0	12,0	475	7,424	40,7	x-0	11,5	477	7,568	89,8	x-0	10,8	519	7,389	20,3	x-0	11,1	546	7,468	5,46												
x-1	12,1	477	7,360	24,4	x-1	11,3	477	7,526	88,6	x-1	10,9	515	7,422	36,0	x-1	11,2	543	7,464	36,7												
x-2	12,1	474	7,421	10,9	x-2	11,3	478	7,525	70,2	x-2	11,0	510	7,447	33,2	x-2	11,2	543	7,476	25,2												
x-3	12,5	474	7,459	6,23	x-3	11,4	476	7,522	70,2	x-3	10,9	516	7,459	21,0	x-3	11,2	540	7,496	8,13												
x-4	12,2	479	7,479	4,82	x-4	11,5	479	7,525	21,0	x-4	11,1	518	7,478	12,3	x-4	11,2	533	7,478	7,90												
x-5	12,3	481	7,494	3,76	x-5	11,4	481	7,531	15,6	x-5	11,1	520	7,486	7,50	x-5	11,2	533	7,442	6,55												
x-6	12,4	478	7,508	3,76	x-6	11,3	485	7,546	10,3	x-6	11,1	521	7,508	5,48	x-6	11,2	532	7,501	7,47												
x-7	12,3	482	7,526	3,76	x-7	11,3	488	7,528	9,22	x-7	11,2	524	7,506	6,04	x-7	11,2	528	7,515	6,68												
x-8	12,1	484	7,493	2,53	x-8	11,2	484	7,515	9,22	x-8	11,2	525	7,518	7,70	x-8	11,3	528	7,519	5,01												
x-9	11,9	486	7,454	2,22	x-9	11,3	487	7,534	7,43	x-9	11,1	526	7,525	6,70	x-9	11,3	527	7,534	6,77												
x-10	12,0	487	7,532	1,93	x-10	11,4	491	7,554	7,73	x-10	11,1	524	7,551	4,74	x-10	11,3	527	7,55	7,17												
x-11	12,2	486	7,527	1,58	x-11	11,4	493	7,576	6,09	x-11	11,2	526	7,549	5,61	x-11	11,4	525	7,56	4,30												
x-12	12,5	483	7,527	1,34	x-12	11,4	494	7,562	5,91	x-12	11,4	527	7,574	6,55	x-12	11,4	527	7,567	3,85												
x-13	12,4	485	7,562	1,35	x-13	11,3	491	7,549	5,94	x-13	11,2	529	7,585	5,97	x-13	11,4	526	7,567	3,07												
x-14	12,1	491	7,537	1,12	x-14	11,3	499	7,546	5,84	x-14	11,3	529	7,549	5,21	x-14	11,3	531	7,547	2,64												
x-15	12,2	489	7,539	1,03	x-15	11,4	524	7,557	5,64	x-15	11,3	530	7,536	4,28	x-15	11,2	537	7,552	2,33												
x-16	12,6	490	7,610	1,08	x-16	11,5	513	7,562	5,77	x-16	11,6	529	7,527	4,24	x-16	11,3	537	7,499	2,19												
x-17	12,5	491	7,582	1,22	x-17	11,4	518	7,576	4,22	x-17	11,4	530	7,541	4,05	x-17	11,3	536	7,490	2,18												
x-18	12,3	489	7,592	0,94	x-18	11,6	516	7,588	4,49	x-18	11,6	530	7,591	3,80	x-18	11,3	535	7,512	1,91												
x-19	12,2	491	7,587	0,85	x-19	11,4	516	7,597	3,77	x-19	11,6	530	7,583	3,70	x-19	11,3	532	7,513	1,80												
x-20	12,6	493	7,614	0,96	x-20	11,4	515	7,604	2,95	x-20	11,4	532	7,572	3,60	x-20	11,6	529	7,526	1,64												

Vor-Ort-Parameter der Beprobung im November 2022

PN 1 Landgraben 2					PN 3 Römerstr. 69/70					PN 4 Oderstr./Ecke Grüner Weg					PN 5 Jodokusstr. 5				
22.11.2022					22.11.2022					23.11.2022					23.11.2022				
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	568	7,509	8,07	x-N	12,2	569	7,512	15,7	x-N	12,4	559	7,551	0,13	x-N	12,5	546	7,491	0
x-0	12,2	573	7,438	65,2	x-0	12,6	566	7,539	86,7	x-0	12,6	552	7,507	5,88	x-0	12,2	551	7,496	4,07
x-1	12,3	589	7,449	55,9	x-1	12,4	583	7,478	49,1	x-1	12,5	555	7,496	5,67	x-1	12,4	546	7,495	63,3
x-2	12,2	576	7,443	14,8	x-2	12,3	598	7,474	30,2	x-2	12,5	558	7,497	7,85	x-2	12,2	538	7,5	16,1
x-3	12,2	579	7,441	7,08	x-3	12,2	603	7,453	14,9	x-3	12,6	557	7,497	7,01	x-3	12,2	544	7,494	3,27
x-4	12,1	577	7,464	4,93	x-4	12,2	537	7,477	8,90	x-4	12,5	556	7,501	7,86	x-4	12,1	550	7,503	2,82
x-5	12,2	579	7,426	5,16	x-5	12,2	544	7,484	13,9	x-5	12,5	556	7,497	6,67	x-5	12,2	544	7,498	3,88
x-6	12,2	582	7,433	6,09	x-6	12,2	548	7,477	4,87	x-6	12,5	554	7,519	7,59	x-6	12,3	542	7,495	4,24
x-7	12,2	580	7,451	3,51	x-7	12,2	548	7,485	3,63	x-7	12,6	554	7,534	7,13	x-7	12,3	540	7,499	5,36
x-8	12,2	583	7,44	2,71	x-8	12,2	552	7,504	3,16	x-8	12,7	553	7,538	7,60	x-8	12,2	540	7,507	4,32
x-9	12,2	581	7,43	2,16	x-9	12,2	570	7,494	3,08	x-9	12,6	557	7,518	8,94	x-9	12,3	539	7,506	4,47
x-10	12,2	582	7,445	2,17	x-10	12,2	590	7,477	2,36	x-10	12,4	558	7,531	7,36	x-10	12,3	540	7,509	2,88
x-11	12,2	583	7,453	2,18	x-11	12,2	601	7,457	2,56	x-11	12,5	556	7,53	6,07	x-11	12,2	541	7,517	2,04
x-12	12,2	584	7,449	2,17	x-12	12,2	601	7,465	1,88	x-12	12,3	556	7,542	5,22	x-12	12,3	544	7,515	2,06
x-13	12,1	584	7,465	1,61	x-13	12,2	594	7,465	1,75	x-13	12,5	556	7,518	5,01	x-13	12,3	549	7,52	1,75
x-14	12,1	583	7,469	1,24	x-14	12,2	589	7,459	1,76	x-14	12,6	555	7,514	4,45	x-14	12,3	554	7,533	1,50
x-15	12,1	583	7,474	1,32	x-15	12,2	584	7,458	1,39	x-15	12,4	555	7,521	3,75	x-15	12,3	557	7,522	1,44
x-16	12,2	583	7,468	2,67	x-16	12,2	582	7,471	1,62	x-16	12,5	553	7,516	3,93	x-16	12,3	558	7,549	1,63
x-17	12,2	582	7,449	1,29	x-17	12,2	582	7,471	1,11	x-17	12,6	554	7,519	3,86	x-17	12,2	558	7,525	1,41
x-18	12,1	582	7,445	0,96	x-18	12,2	581	7,470	1,32	x-18	12,7	553	7,522	3,95	x-18	12,2	557	7,513	1,50
x-19	12,1	580	7,465	0,91	x-19	12,2	582	7,467	1,26	x-19	12,5	553	7,552	5,45	x-19	12,2	557	7,521	1,57
x-20	12,1	580	7,476	1,06	x-20	12,2	583	7,465	1,29	x-20	12	551	7,56	3,32	x-20	12,3	557	7,521	1,82

