Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Klima- und Umweltschutz,
Regionen und Wasserwirtschaft

Entwicklung einer Gesamtmethode zur Bestimmung von Mikroplastik in Abwässern

Projekt GeBeMA

Wien, 2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1010 Wien.
Autorinnen und Autoren: TU Wien: Helmut Rechberger, Stefan Spacek und Philipp Aschenbrenner; TU Graz: Günter Gruber, Bettina Neunteufel, Markus Pichler, Reinhard Klingenberg, Cajetan Beutle, Maximilian Moser, Harald Gerhold, Roland Fuchs, Bernd Stojanovic, Roman Grof, David Camhy, Erika Menasaka und Lukas Lenz; Umweltbundesamt: Philipp Hohenblum, Sebastian Köppel, Andrea Schuhmann, Laura Kröpfl, Markus Simon, Ievgeniia Lomako und Wolfgang Moche; BOKU: Marcel Liedermann, Sebastian Pessenlehner und Martin Hinterleitner.
Wien, 2025. Stand: 11. September 2025

Copyright und Haftung:
Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.
Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums und der Autorin / des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin / des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Inhalt

1 Einleitung 7

2 Literaturüberblick: Mikroplastik-Analytik auf Kläranlagen 9

3 AP 1.1 Auswahl geeigneter Probenahmestellen im Zulauf und Ablauf der Kläranlage Graz 11

3.1 Durchgeführte Arbeiten 11

3.1.1 Beschreibung des Zulauf- und Ablaufbereiches der Kläranlage Graz 12

3.1.2 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmeorte im Zulauf zur Kläranlage Graz 16

3.1.3 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahme-Horizonte im Zulauf zur Kläranlage Graz 21

3.1.4 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmeorte im Ablauf der Kläranlage Graz 25

3.1.5 24 h-Messkampagnen zur lokalen Kalibrierung der beiden stationär im Zulauf und Ablauf der Kläranlage Graz betriebenen UV/VIS-Spektrometer-Sonden 31

3.2 Resultate und Erkenntnisse 32

3.2.1 Ergebnisse der 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmeorte im Zulauf zur Kläranlage Graz 32

3.2.2 Ergebnisse der 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahme-Horizonte im Zulauf zur Kläranlage Graz 60

3.2.3 Ergebnisse der 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmeorte im Ablauf der Kläranlage Graz 86

3.2.4 Schlussfolgerungen für die Auswahl und Festlegung der MP-Probenahmestellen im Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz 112

4 AP 1.2 – Entwicklung eines MP-Probenahmesystems inkl. Vorversuche auf der Kläranlage Graz 117

4.1 Durchgeführte Arbeiten 117

4.1.1 Entwicklung eines MP-Probenahmesystems für den Zulauf der Kläranlage Graz 117

4.1.2 Entwicklung eines MP-Probenahmesystems für den Ablauf der Kläranlage Graz 122

4.1.3 Entwicklung von Wochenberichten zur Beschreibung und Charakterisierung der hydraulischen- und stofflichen Dynamik im Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz 128

5 AP 1.3 – Entwicklung von Filtrationssystemen zur Probenaufbereitung 132

5.1 Durchgeführte Arbeiten 132

5.1.1 Auswahl geeigneter Filtrationssysteme 132
5.1.2 Korbfiltersystem 132
5.1.3 Discfiltration 133
5.1.4 Vorversuche 134
5.2 Resultate und Erkenntnisse 135
5.2.1 Filtrationsversuche 135
5.2.2 Auswahl des Filtrationssystems und Ausblick 139
6 Probenahme-Ergebnisse auf der Kläranlage Graz 140
6.1 Phase I: Abschließende Tests der entwickelten Prototypen zur MP-Beprobung auf Kläranlagen im Jahr 2023 (AP 1.4) 140
6.1.1 Beschreibung der durchgeführten Tests im Jahr 2023 140
6.1.2 Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Probenahmen und Filtrationen während der Testphase 2023 im Zu- und Ablauf der ARA-Graz 141
6.2 Phase II: Anwendung der Methodik auf der ARA-Graz im Rahmen mehrerer Messkampagnen im Jahr 2024 (AP 2.1 bis AP 2.3) 145
6.2.1 AP 2.1: Erfassung von zwei MP-Fracht-Wochengängen bei angestrebten Trockenwetterbedingungen 145
6.2.2 AP 2.2: Erfassung von drei MP-Fracht-Tagesgängen bei angestrebten Trockenwetterbedingungen 155
6.2.3 AP 2.3: Erfassung von drei MP-Tagesfrachten bei angestrebten Regenwetterbedingungen 161
6.2.4 Erfassung von Blindwerten 165
7 Validierung der Gesamtmethodik auf der Kläranlage Wiener Neustadt (AP 2.4 und AP 2.5) 167
7.1 Beschreibung der Probenahmestellen im Zulauf und Ablauf der ARA-Wiener Neustadt 167
7.1.1 Beschreibung der Zulauf-Probenahmestelle auf der ARA-Wiener Neustadt (AP 2.4) 168
7.1.2 Beschreibung der Ablauf-Probenahmestelle auf der ARA-Wiener Neustadt zur Erfassung von MP-Tagesfrachten (AP 2.4) 171
7.1.3 Beschreibung der Ablauf-Probenahmestelle auf der ARA-Wiener Neustadt für die vergleichenden Netzmessungen (AP 2.5) 175
7.2 Ergebnisse aus den Validierungsmessungen auf der ARA-Wiener Neustadt 182
7.2.1 AP 2.4: Erfassung von zwei MP-Tagesfrachten bei angestrebten Trockenwetterbedingungen 182
7.2.2 AP 2.5: Ergebnisse der vergleichenden temporären Netzmessungen im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt 186

8 Ergebnisse Mikroplastik-Analytik in Zu- und Ablaufproben 191
8.1 Visuelle Eigenschaften der Proben 191
8.2 Beschreibung der Analyseverfahren 194
8.2.1 TED-GC-MS 194
8.2.2 EA-OEM 194
8.3 Vergleich der Analyseverfahren 195
8.3.1 Einleitung 195
8.3.2 24 h-Mischproben - Zulauf 196
8.3.3 24-h Mischproben - Ablauf 200
8.3.4 Netzbeprobung 204
8.4 Ermittelte Mikroplastik-Konzentrationen 207
8.4.1 24 h-Mischproben 207
8.4.2 4 x 6 h-Tagesproben 212
8.4.3 Netzbeprobung 216
8.5 Ermittelte Mikroplastik-Tagesfrachten und Mikroplastik-Entfernungsraten auf den beiden untersuchten Kläranlagen 218
8.6 Feinfraktion 10–20 µm 220
8.7 Blindwerte 222
8.8 Diskussion 223

9 AP 1.5 - Erstellung einer Standard Operation Procedure (SOP) für die Entwicklung einer Gesamtmethode 225
9.1 Allgemeine Übersicht 225
9.2 SOP-Paket 1: Probenahme 225
9.2.1 Festlegung der Probenahmestellen im Zu- und Ablauf einer Kläranlage 226
9.2.2 Verantwortlichkeiten 227
9.2.3 Erforderlicher Arbeitnehmer·innenschutz 227
9.2.4 Erforderliche Geräte und Werkzeuge für die MP-Probenahme im Zu- und Ablauf einer Kläranlage 228
9.2.5 Empfohlene Vorgehensweise bei der Probenahme 229
9.2.6 Auswahl der PN-Stellen am Beispiel der ARA-Graz 233
9.2.7 Beispielhafte Installation der beiden MP-Probenahmesysteme im Zulauf- und Ablaufbereich der ARA-Graz 235
9.3 SOP-Paket 2: Filtration 239
9.3.1 Verantwortlichkeiten 240
9.3.2 Erforderlicher Arbeitnehmer·innenschutz 240
9.3.3 Erforderliche Geräte und Werkzeuge für die Gewinnung von Feststoffproben aus dem Zu- und Ablauf einer Kläranlage für die MP-Bestimmung 240

9.3.4 Empfohlene Vorgehensweise bei den Filtrationen 242
9.3.5 Empfohlene Vorgehensweise bei der Reinigung der Scheibenfilter inkl. der Gewinnung der Feststoffproben 247
9.4 SOP-Paket 3: Probenaufbereitung 255
9.4.1 Einleitung 255
9.4.2 SOP 3a – Fenton-Oxidation für unbehandelte Kläranlagen-Zulaufproben 256
9.4.3 SOP 3b – Fenton-Oxidation für unbehandelte Kläranlagen-Ablaufproben 259
9.4.4 SOP 3c – Wiederholte Anwendung der Fenton-Oxidation auf Kläranlagen-Zulauf- und Ablaufproben 261
9.4.5 SOP 3d – Dichte-Separation 263
9.4.6 SOP 3e – Entfernung von Fett-Rückständen 265
9.4.7 SOP 3f – Entfernung von Cellulose-Rückständen 266
9.4.8 Diskussion und Ausblick 267
10 Fazit 268
11 Danksagungen 272
12 Anhang 273
Tabellenverzeichnis 274
Abbildungsverzeichnis 286
Literaturverzeichnis 296
Abkürzungen 299

1 Einleitung

Das Projekt GeBeMA hatte zum Ziel, eine Gesamtmethode zur Bestimmung von Mikroplastik (MP) in Abwässern von Kläranlagen zu entwickeln. Gesamtmethode bedeutet, dass eine durchgehende Methode von der Gewinnung repräsentativer Feststoffproben aus dem Abwasser, über die Probenaufbereitung bis zur Analytik entwickelt und validiert wurde. Die Gesamtmethode sollte praktikabel, kostengünstig und dazu geeignet sein, MP routinemäßig in Abwässern auf Kläranlagen bestimmen zu können. Unterziele des Projektes waren der Vergleich der zwei MP-Analysemethoden EA-OEM (Elemental Analysis- Overdetermined Equation Method) und Thermoextraktion-Desorption-Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (TED-GC-MS), die Anwendung der Gesamtmethode im Zu- und Ablauf einer Kläranlage eines Mischwassersystems und die Messung über längere Zeiträume, um die zeitliche Varianz von MP im Abwasser auf Kläranlagen zu untersuchen.

Zu Beginn (Schritt 1) befasste sich das Projekt mit der Gewinnung von repräsentativen Feststoffproben. Hierfür wurden zunächst mit den beiden Ersatzparametern Abfiltrierbare Stoffe AFS (> 0,45 µm) und Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) die Repräsentativität unterschiedlicher Probenahmestellen im Zu- und Ablauf der ARA-Graz im Detail auf Basis konventioneller automatischer Probenahmegeräte (PNG) und auch mittels UV/VIS-Spektrometersonden untersucht und daraufhin dann die Probenahmestellen auf der ARA-Graz festgelegt. Parallel dazu wurden zwei großvolumige, automatische MP-Probenahmesysteme für den Zu- und Ablaufbereich von Kläranlagen entwickelt, die in der Lage sind in ausreichender Menge mengenproportionale 24 h-Tagesmischproben für eine nachfolgende MP-Bestimmung zu ziehen. Da die vorkommenden Polymere unterschiedliche Dichten aufweisen und sich daher ungleich auf die verschiedenen Horizonte in einem Wasserstrom verteilen, wurden parallele Versuche mit unterschiedlichen Probenahmepunkten durchgeführt und Maßnahmen bzw. Empfehlungen entwickelt, um den Einfluss des Probenahmeortes (z. B. turbulent durchmischter Bereich) zu minimieren. Weiters wurde abgeklärt, wie die für die anschließenden Analysemethoden (EA-OEM, TED-GC-MS) erforderlichen Feststoffmengen gesammelt und inwieweit diese als repräsentativ angesehen werden können.

Diese Versuche und Entwicklungen wurden hauptsächlich auf der Kläranlage Graz durchgeführt. Die Probenahme erfolgte dabei sowohl im Zu- als auch im Ablauf, um einerseits Erfahrungen bei unterschiedlichen Belastungen (Trockenwetterfall bzw. Mischwasserfall) zu

bekommen, und um andererseits die Effizienz der MP-Entfernung bei verschiedenen hydraulischen Belastungszuständen abschätzen zu können. Weiters musste die Probenahmemethodik so entwickelt werden, dass auf jeden Fall sichergestellt ist, dass ausreichende Feststoffmassen für die nachfolgenden MP-Analysen mit beiden Methoden generiert werden.

In einem 2. Schritt wurden die Proben für die anschließenden MP-Analysen aufbereitet, wobei sich der Aufbereitungsprozess individuell nach der zuvor gewählten Probenahmemethode richten musste. Für die Aufkonzentrierung des Feststoffs aus den wässrigen Kläranlagen-Zu- und Ablaufproben wurden Filtrationsmethoden entwickelt und getestet, welche die praktische Durchführbarkeit für sehr hohe Probenvolumina ermöglichen. Weiters musste für den Methodenvergleich auf eine repräsentative Probenteilung geachtet werden, die durch Homogenisierung infolge einer geeigneten Aufmahlung erreicht wurde. Unterschiedliche Vorgehen zur Aufreinigung der Proben wurden getestet und eine Methode für eine Standard Operation Procedure (SOP) entwickelt.

In einem dritten Schritt wurden die Analyseproben mit zwei Methoden auf MP untersucht, darunter die bereits im Projekt TEMPEST (Clara et al., 2020) eingesetzte Elementaranalyse. (EA-OEM; TU Wien) und eine weitere (thermoanalytische) Methode, die es erlaubt, auch Polymertypen und ihre Massenanteile in der Feststoffprobe zu ermitteln (TED-GC-MS; UBA).

Abschließend wurde die auf der ARA-Graz entwickelte und mit mehreren Messkampagnen erprobte Gesamtmethodik noch auf der ARA-Wiener Neustadt im Rahmen von zwei 24 h-Messkampagnen im Zu- und Ablauf der Kläranlage und mit vier kurzzeitigen parallelen Netzmessungen nur im Ablauf der Kläranlage validiert.

Das Projekt hat Erkenntnisse über die Beprobung vom Zu- und Ablauf einer Kläranlage, den geeigneten Beprobungsort, die Beprobungsart, Unterschiede in der Kläranlagenbelastung im zeitlichen Verlauf innerhalb eines Tages und über mehrere Tage gebracht. Daraus wurde dann das zentrale Ergebnis, eine SOP für die Gesamtmethode zur Bestimmung von MP im Zu- und Ablauf von Kläranlagen, abgeleitet.

2 Literaturüberblick: Mikroplastik-Analytik auf Kläranlagen

Die zunehmende Relevanz von Mikroplastik (MP) in der Umwelt hat in den vergangenen Jahren zur Entwicklung erster internationaler Normen geführt, die eine Vereinheitlichung der Untersuchung von MP entlang des gesamten Prozesses, von der Probenahme bis zur Analyse, zum Ziel haben. Für dieses Projekt relevant ist die ISO 24187:2023 (2024), die grundlegende Parameter zur Analyse von MP in Umweltproben definiert. Die Norm enthält zentrale Anforderungen an Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse und geht dabei explizit auch auf Wasserproben ein. Es werden unter anderem Empfehlungen zu Probenvolumina sowie zur Auswahl geeigneter Maschenweiten für die Aufkonzentrierung des beprobten Feststoffes gegeben. MP (in den hier genannten Normen als „Mikrokunststoffe“ bezeichnet) wird im Größenbereich von 1 µm bis 5 mm definiert, wobei Partikel zwischen 1 mm und 5 mm als „große Mikrokunststoffe“ klassifiziert werden. Noch spezifischer behandelt die ISO 5667-27:2025 (2025) die Probenahme von MP in wässrigen Proben. Für Kläranlagen werden darin Empfehlungen zu Mindestprobenvolumina ausgesprochen – im Zulauf etwa 10 bis 100 Liter, im Ablauf aufgrund der erwarteten geringeren MP-Konzentrationen höhere Volumina als 100 Liter.

Ergänzend dazu befinden sich die Normen ISO 16094-2 (2023) und ISO 16094-3 (2024) derzeit noch in Ausarbeitung bzw. in der Genehmigungsphase. Sie befassen sich mit analytischen Verfahren zur Bestimmung von MP, insbesondere mittels spektroskopischer und thermoanalytischer Methoden. Eine von zwei in diesem Projekt angewandten Messverfahren, die Thermoextraktion-Desorption-Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (TED-GC-MS), ist dabei konkreter Gegenstand der ISO 16094-3. In dieser Norm wird Mikroplastik ebenfalls im Größenbereich von 1 µm bis 5 mm definiert, ohne eine zusätzliche Untergliederung in „große Mikrokunststoffe“.

Ergebnisse zu massenbasierter Analytik von MP in Kläranlagen ist bislang deutlich seltener publiziert worden als Untersuchungen, die auf der Anzahl detektierter Partikel basieren. Durch die Weiterentwicklung thermoanalytischer Verfahren, insbesondere der Pyrolyse-Gaschromatographie-Massenspektrometrie (Pyr-GC-MS) (Fischer und Scholz-Bottcher, 2017; 2019) und der TED-GC-MS (Dumichen et al., 2017; Eisentraut et al., 2018), liegt mittlerweile jedoch eine Reihe massenbasierter Studien vor (zum Beispiel: Primpke et al. 2020;

Goedecke et al. 2022; Roscher et al. 2022; Barkmann-Metaj et al. 2023). Die jeweils gemessenen MP-Konzentrationen sind dabei jedoch nicht immer unmittelbar miteinander vergleichbar, da sich insbesondere die in den jeweiligen Untersuchungen berücksichtigten Kunststoffpolymersorten teils deutlich unterscheiden. Roscher et al. 2022 berichten über MP-Konzentrationen im Ablauf von Kläranlagen von 0,3 mg/m³ bis 3,9 mg/m³ gemäß Pyr-GC-MS-Analysen (n = 12). Primpke et al. 2020 ermittelten Konzentrationen im Bereich von etwa 1 mg/m³ bis 2,5 mg/m³ (n = 4) im Ablauf von Kläranlagen.

3 AP 1.1 Auswahl geeigneter Probenahmestellen im Zulauf und Ablauf der Kläranlage Graz

Der erste Schritt der zu entwickelnden Gesamtmethode befasste sich mit der Gewinnung von repräsentativen mengenproportionalen Tagesmischproben aus dem Zu- und Ablauf von Kläranlagen, aus welchen auch MP-Gehalte routinemäßig in den Abwässern bestimmt werden sollten.

Dafür wurden im Jahr 2023 auf der Kläranlage Graz zunächst in mehreren Messkampagnen mit herkömmlichen automatischen Probenahmegeräten möglichst repräsentative Probenahmepunkte für die Gewinnung der angestrebten mengenproportionalen Tagesmischproben im Zulauf und im Ablauf der Kläranlage evaluiert.

Die Evaluierung erfolgte dabei sowohl laboranalytisch auf Basis der Parameter Abfiltrierbare Stoffe (AFS), als Abwasser-Summenparameter für die Feststoffgehalte, und des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB), als summarischen Leitparameter für die Quantifizierung der Gesamtverschmutzung von Abwässern, als auch mit der Unterstützung von UV/VIS-Spektrometer-Sonden, die in der Lage sind, mit einem Messintervall von 2 Minuten Äquivalenz-Konzentrationen für die AFS_{eq} und den CSB_{eq} zu messen.

3.1 Durchgeführte Arbeiten

Zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmestellen im Zulauf- und im Ablaufbereich der Kläranlage Graz wurden im Jahr 2023 die nachfolgenden sieben 24-h Messkampagnen durchgeführt:

Tabelle 1 Durchgeführte 24 h-Messkampagnen auf der ARA-Graz im Jahr 2023 zur Evaluierung geeigneter Probenahmestellen im Zulauf und Ablauf der Kläranlage.

Datum	Evaluierung	Bereich
Di 23./Mi 24.05.2023	4 verschiedene PN-Orte	Zulauf
Mi 24./Do 25.05.2023	4 verschiedene PN-Orte	Zulauf
Di 20./Mi 21.06.2023	4 verschiedene PN-Horizonte	Zulauf
Mi 21./Do 21.06.2023	4 verschiedene PN-Horizonte	Zulauf
Mo 24./Di 25.07.2023	4 verschiedene PN-Orte	Ablauf
Di 25./Mi 26.07.2023	4 verschiedene PN-Orte	Ablauf
Mi 02./03.08.2023	Lokale Kalibrierung der UV/VIS-Spektrometer-Sonden	Zulauf Ablauf

Zusätzlich zu den in der Tabelle 1 gelisteten sechs 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmeorte bzw. Probenahme-Horizonte in den Abflussquerschnitten im Zulauf und Ablauf der Kläranlage Graz wurde am Mi 02./Do 03.08.2023 noch eine zusätzliche siebte 24 h-Messkampagne zur lokalen Kalibrierung der stationär installierten und permanent betriebenen UV/VIS-Spektrometer-Sonden durchgeführt. Die auf der Kläranlage vorhandenen UV/VIS-Spektrometer-Sonden werden in dem Projekt zur Charakterisierung der Schmutzstoffdynamik während der Messkampagnen und der Untersuchungstage verwendet und genutzt. Diese sind in der Lage sogenannte Äquivalenz-Konzentrationen u. a. für den CSB_{eq} (Chemischer Sauerstoffbedarf) und für die AFS_{eq} (Abfiltrierbare Stoffe) mit einer zeitlichen Auflösung von 2 Minuten zu messen.

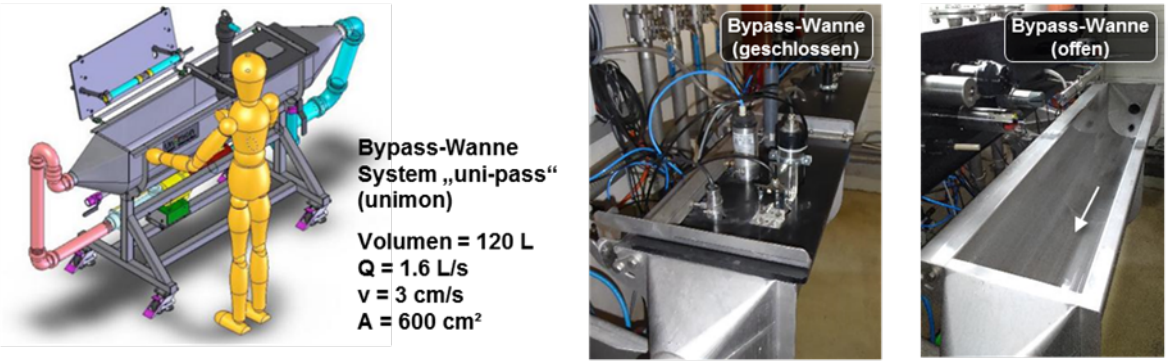
3.1.1 Beschreibung des Zulauf- und Ablaufbereiches der Kläranlage Graz

3.1.1.1 Beschreibung des Zulaufbereichs der Kläranlage Graz

Der Zulauf zur Kläranlage Graz teilt sich nach den beiden redundanten Schotterfängen auf insgesamt 3 Rechenstraßen auf, von denen aber zumeist nur jene beiden parallel betrieben werden, die mit einem Umlaufrechen ausgestattet sind. Die dritte mit einem Korbrechen ausgestattete Rechenstraße wird i. d. R. nicht betrieben und dient nur der Redundanz bei Stör- oder Revisionsfällen. Nach dem Durchfließen der Rechenanlage wird der Zulaufabwasserstrom auf 2 rechteckige parallele Gerinnestrecken zusammengeführt und zu den 3 belüfteten Sand- und Fettfängen weitergeleitet, die mittels eines Verteilgerinnes möglichst

gleichmäßig beschickt werden. Dafür wird der vereinte Zulaufabwasserstrom aus den beiden Rechteckgerinnen nach den Rechen jeweils mit 90 °C nach links und rechts umgeleitet, wodurch sich dort ein sehr gut durchmischter Bereich des gesamten Zulaufstroms ausbildet. Aus diesem sehr gut durchmischten Zulaufbereich vor den Sandfängen erfolgt auf der Kläranlage Graz seit dem Jahr 2017 mittels einer Exzenterschneckenpumpe eine kontinuierliche Ab- bzw. Zuleitung eines konstanten Teilstromes von 1–2 L/s zu einer eingehausten Bypass-Wanne (Abbildung 1), in der sich diverse On-line-Sensoren befinden und aus der auch die tägliche mengenproportionale Zulaufbeprobung für die Eigenüberwachung der Kläranlage mit einem automatischen Probenahmegerät erfolgt (Abbildung 2).

Abbildung 1 Zulauf-Bypass-Wanne zur messtechnischen Überwachung der Abwasserzulaufqualitäten zur Kläranlage Graz und aus welcher auch die automatische Beprobung der mengenproportionalen Tagesmischproben erfolgt.



Unter anderem sind in der Bypass-Wanne auch zwei UV/VIS-Spektrometer-Sonden stationär installiert, mit der u. a. Äquivalenz-Konzentrationen für den CSB_{eq} und für den AFS_{eq} mit einer zeitlichen Auflösung von 2 Minuten gemessen werden.

Nach dem Durchfließen der 3 in der Regel parallel betriebenen belüfteten Sand- und Fettfänge werden die Abwasserströme in einem ebenfalls gut durchmischten Vereinigungsbauwerk zusammengeführt und gelangen von dort in das Verteilgerinne zu den 4 Vorklärbecken der Kläranlage.

Abbildung 2 Zulauf-Bypass-Wanne mit der Exzenterschneckenpumpe und das stationäre automatische Probenahmegerät zur Gewinnung der mengenproportionalen 24 h-Zulaufproben für die tägliche Eigenüberwachung der Kläranlage.



3.1.1.2 Beschreibung des Ablaufbereichs der Kläranlage Graz

Auch die Probenahmestelle für den Ablauf der Kläranlage Graz für die tägliche Eigenüberwachung der Ablaufqualitäten der Kläranlage befindet sich in einem eigenen Ablaufgebäude nach der Vereinigung der Abläufe der 4 Nachklärbecken. Dabei erfolgt die automatische Ablaufprobenahme aus der Zuleitung zu einer Ablauf-Bypass-Wanne, welche ebenfalls kontinuierlich mit einer Exzenterschneckenpumpe mit einem Ablaufteilstrom beschickt wird und in welcher auch die Ablauf-On-line-Messsysteme der ARA-Graz installiert sind (Abbildung 3). Auch hier befinden sich u. a. zwei UV/VIS-Spektrometer-Sonden, mit denen u. a. Äquivalenz-Konzentrationen für den CSB_{eq} und für die AFS_{eq} mit einer zeitlichen Auflösung von 2 Minutenpermanent gemessen werden.

Der vereinte Ablaufstrom der Kläranlage aus den 4 Nachklärbecken gelangt schließlich über eine Überlaufschwelle entweder direkt oder über eine Wasserkraftschnecke in die Mur (Abbildung 4).

Abbildung 3 Ablauf-Bypass-Wanne mit der Exzenterschneckenpumpe und das stationäre automatische Probenahmegerät (rechts) zur Gewinnung der mengenproportionalen 24 h-Ablaufproben für die tägliche Eigenüberwachung der Kläranlage.



Abbildung 4 Ablaufbereich der Kläranlage Graz mit dem Ablaufgebäude (links) und dem Überlaufwehr direkt in die Mur (Mitte) oder rechts über die Wasserkraftschnecke.



3.1.2 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmeorte im Zulauf zur Kläranlage Graz

3.1.2.1 Beschreibung der 4 verschiedenen Probenahmeorte im Zulaufbereich während der beiden 24 h-Messkampagnen

Im Rahmen dieser beiden am Di 23./Mi 24.05.2023 und am Mi 24./Do 25.05.2023 jeweils von 08:00 bis 08:00 durchgeführten 24 h-Messkampagnen wurden mit 4 baugleichen, automatischen Probenahmegeräten (PNG) die nachfolgenden 4 Probenahmeorte im Zulaufbereich der Kläranlage Graz zeitgleich und mit identen Parametrierungen der 4 PNG miteinander verglichen:

- PNG1: Zulaufkanal links
- PNG2: Zulaufkanal rechts
- PNG3: Aus der vorhandenen Zulauf-Probenahme-Wanne der Kläranlage Graz
- PNG4: Nach den Sandfängen

Zusätzlich wurden während dieser beiden 24 h-Messkampagnen auch noch die stationäre UV/VIS-Spektrometer-Sonde in der Zulauf-Bypass-Wanne und zwei temporär installierte UV/VIS-Spektrometer-Sonden in den beiden Zulaufkanälen vor den Sandfängen installiert. Mit diesen 3 On-line-Sonden wurden die zeitlichen Verläufe der CSB_{eq}- und AFS_{eq}-Konzentrationen während der beiden 24 h-Messkampagnen mit einer zeitlichen Auflösung von 2 Minuten aufgezeichnet.

In der Abbildung 5 sind die beiden Probenahmegeräte PNG1 und PNG2 an den beiden rechteckigen Zulaufgerinnen vor dem Verteilgerinne zu den belüfteten Sand- und Fettfängen dargestellt.

Abbildung 5 Die beiden Probenahmegeräte PNG1 im linken und PNG2 im rechten Zulaufgerinne der ARA-Graz nach den Rechen und vor dem Verteilgerinne der belüfteten Sand- und Fettfänge.



Dabei wurden die Ansaugschläuche der beiden Probenahmegeräte sowie auch die beiden temporären UV/VIS-Spektrometer-Sonden, wie in der Abbildung 6 und in der Abbildung 7 für das PNG2 dargestellt, im Gerinnequerschnitt jeweils im Drittelpunkt unterhalb der Wasserspiegellinie installiert und während der beiden 24 h-Messkampagnen auch dort betrieben.

Als dritter und vierter Probenahmeort wurden bei diesen beiden 24 h-Vergleichsmess-Kampagnen zum einen die Zulauf-Bypass-Wanne (Abbildung 8) und zum anderen das Vereinigungsbauwerk nach der Vereinigung der Abläufe der 3 belüfteten Sand- und Fettfänge gewählt (Abbildung 9).

Abbildung 6 Installation des Ansaugschlauches des PNG2 und des UV/VIS-Spektrometers spec_12150088 im linken Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Messkampagne am Di 23./Mi 24.05.2023 und am Mi 24./Do 25.05.2023.

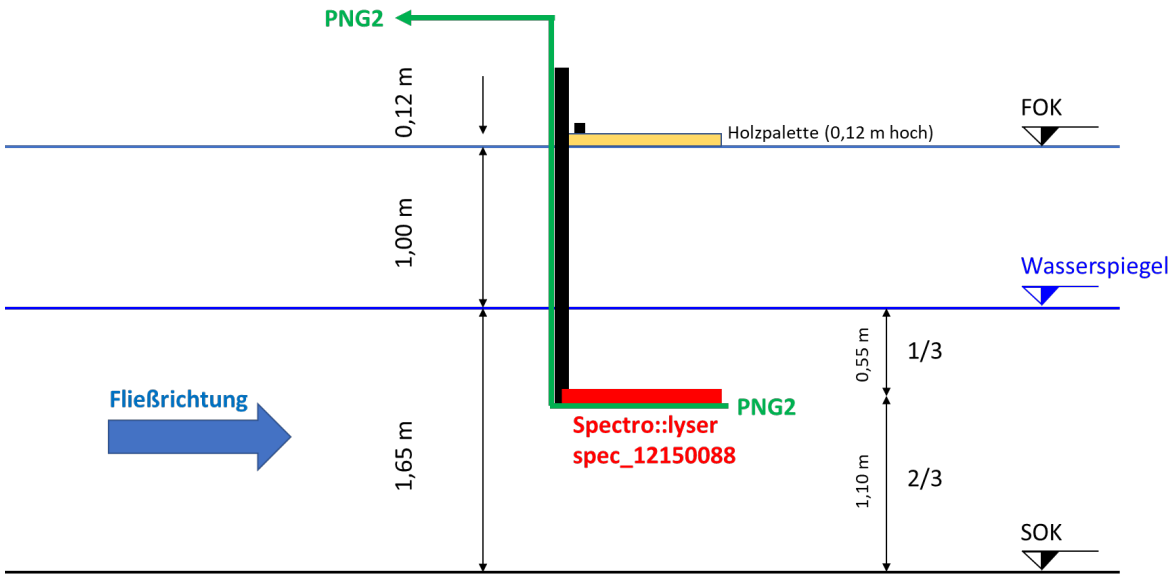


Abbildung 7 Fixierung des Ansaugschlauches für das PNG2 und der UV/VIS-Spektrometer-Sonde am Aluminium-Gestänge für das rechte Zulaufgerinne.



Abbildung 8 Das dritte verwendete Probenahmegerät PNG3, welches die Vergleichsproben direkt aus der Zulauf-Bypass-Wanne entnahm.



Abbildung 9 Das vierte verwendete Probenahmegerät PNG4, welches die Vergleichsproben aus dem Vereinigungsbauwerk nach der Vereinigung der Abläufe der 3 belüfteten Sand- und Fettfänge entnahm.



3.1.2.2 Ziel der beiden 24 h-Messkampagnen an 4 verschiedenen Probenahmeorten im Zulaufbereich der Kläranlage Graz

Ziel war der Vergleich der Laborergebnisse zwischen den 4 verwendeten Probenahmegeräten an den 4 unterschiedlichen Probenahmeorten auf Basis von 6 x 4 h-Mischproben für die beiden Parameter AFS und CSB. An den beiden Probenahmeorten im linken und rechten Zulaufgerinne konnte dieser Vergleich zusätzlich noch auf Basis der generierten UV/VIS-Tagesganglinien erfolgen.

3.1.2.3 Parametrierung der 4 verwendeten automatischen Probenahmegeräte während dieser beiden 24 h-Messkampagnen

Für die beiden 24 h-Vergleichsmesskampagnen wurden 4 baugleiche automatische Probenahmegeräte vom Typ TP5C der Fa. Maxx GmbH verwendet und folgendermaßen zeitgleich und identisch parametriert:

- Probenahmeart: Zeitproportional in 24 Probenahmeflaschen á ca. 1000 mL
- Zeitintervall: 10 min
- Teilprobenvolumen: 150 mL

Daraus ergaben sich für die angestrebten 6 x 4 h Mischproben jeweils ein Sollprobenvolumen von 900 mL pro Probenahmeflasche und 3600 mL für die analysierten 4 h-Mischproben, die dann jeweils sofort im Anschluss an die Probenahmen auf die Parameter AFS und CSB mittels Doppelbestimmungen laboranalytisch untersucht wurden.

Die Vergleichsbeprobungen fanden während der beiden 24 h-Messkampagnen jeweils zwischen 08:00 und 08:00 statt und damit auch zeitsynchron mit den täglichen mengenproportionalen Zulaufbeprobungen der Kläranlage für die Eigenüberwachung, welche in der Regel volumenproportional mit einem Probenteiler von 500 m³ und einem Teilprobenvolumen von 65 mL durchgeführt werden.

Die während der beiden 24 h-Messkampagnen zeitgleich generierten beiden 24 h-Zulauf-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der Kläranlage konnten damit auch mit den beiden 6 x 4 h-Tagesmischproben rechnerisch durch Mittelwertbildung miteinander verglichen werden.

3.1.3 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahme-Horizonte im Zulauf zur Kläranlage Graz

3.1.3.1 Beschreibung der 4 verschiedenen Probenahme-Horizonte im Zulaufbereich während der beiden 24 h-Messkampagnen

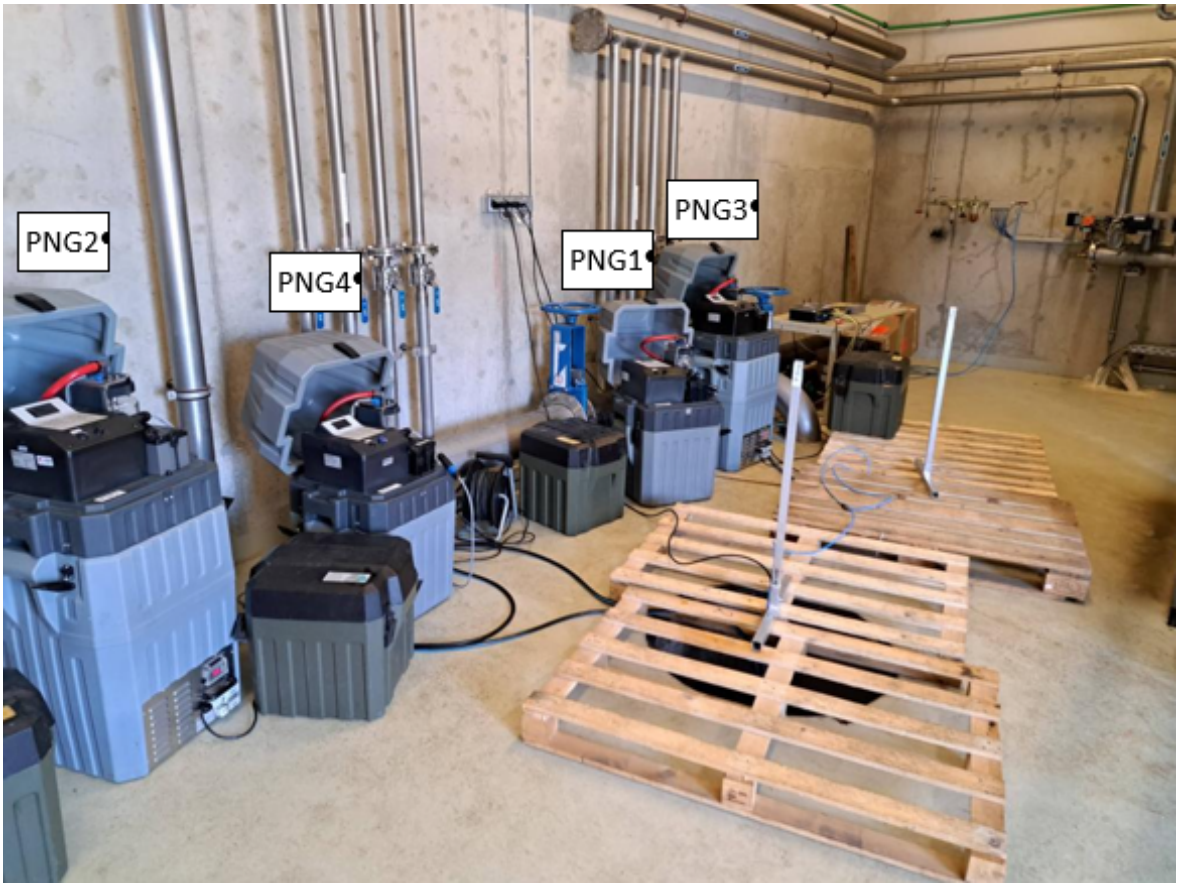
Im Rahmen dieser beiden am Di 20./Mi 21.06.2023 und am Mi 21./Do 22.06.2023 jeweils von 08:00 bis 08:00 durchgeführten 24 h-Messkampagnen wurden mit 4 baugleichen, automatischen PNG die nachfolgenden 4 Probenahme-Horizonte in den beiden Zulaufgerinnen im Zulaufbereich der Kläranlage Graz zeitgleich und mit identen Parametrierungen miteinander verglichen:

- PNG1: Zulaufkanal links im 1/3-Punkt unterhalb des Wasserspiegels
- PNG2: Zulaufkanal rechts im 1/3 Punkt unterhalb des Wasserspiegels
- PNG3: Zulaufkanal links im 2/3-Punkt unterhalb des Wasserspiegels
- PNG4: Zulaufkanal rechts im 2/3 Punkt unterhalb des Wasserspiegels

Zusätzlich wurden während dieser beiden 24 h-Messkampagnen auch wieder die stationäre UV/VIS-Spektrometer-Sonde in der Zulauf-Bypass-Wanne und zwei temporär installierte UV/VIS-Spektrometer-Sonden in den beiden Zulaufkanälen vor den Sandfängen ebenfalls wieder in den 1/3-Punkten unterhalb der Wasserspiegel installiert. Mit diesen 3 On-line-Sonden wurden die zeitlichen Verläufe der CSB_{eq}- und AFS_{eq}-Konzentrationen während der beiden 24 h-Messkampagnen mit einer zeitlichen Auflösung von 2 Minuten aufgezeichnet.

In der Abbildung 10 sind die vier Probenahmegeräte PNG1, PNG2, PNG3 und PNG4 an den beiden rechteckigen Zulaufgerinnen vor dem Verteilgerinne zu den belüfteten Sand- und Fettfängen dargestellt.

Abbildung 10 Die vier Probenahmegeräte PNG1, PNG2, PNG3 und PNG4 im Bereich der beiden rechteckigen Zulaufgerinne vor dem Verteilgerinne der belüfteten Sand- und Fettfänge.



Dabei wurden die Ansaugschläuche der beiden Probenahmegeräte PNG1 und PNG2 sowie auch die beiden temporären UV/VIS-Spektrometer-Sonden, wie in der Abbildung 11 und in der Abbildung 12 für das linke Zulaufgerinne und für das PNG1 und PNG3 dargestellt, im Gerinnequerschnitt jeweils im Drittelpunkt unterhalb der Wasserspiegellinie installiert und während der beiden 24 h-Messkampagnen auch dort betrieben. Die Ansaugschläuche für die beiden Probenahmegeräte PNG3 und PNG4 wurden während dieser beiden 24 h-Messkampagnen jeweils an den 2/3-Punkten unterhalb der Wasserspiegellinie installiert und betrieben (siehe für das PNG3 die Abbildung 11 und in der Abbildung 12).

Abbildung 11 Installation der Ansaugschläuche des PNG1 und PNG3 sowie des UV/VIS-Spektrometers im linken Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023 und am Mi 21./Do 22.06.2023.

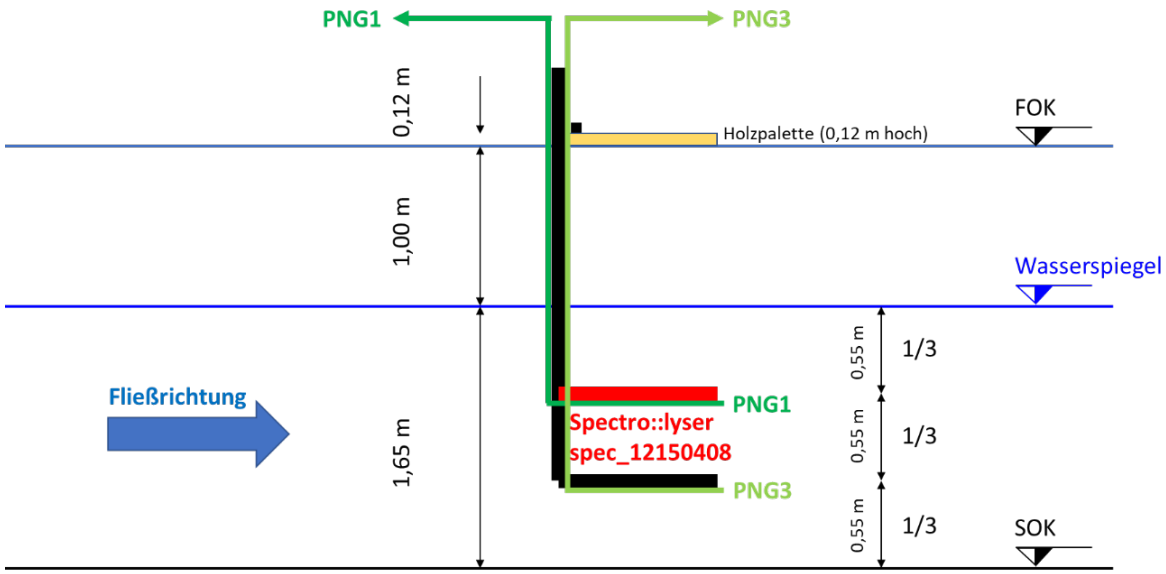
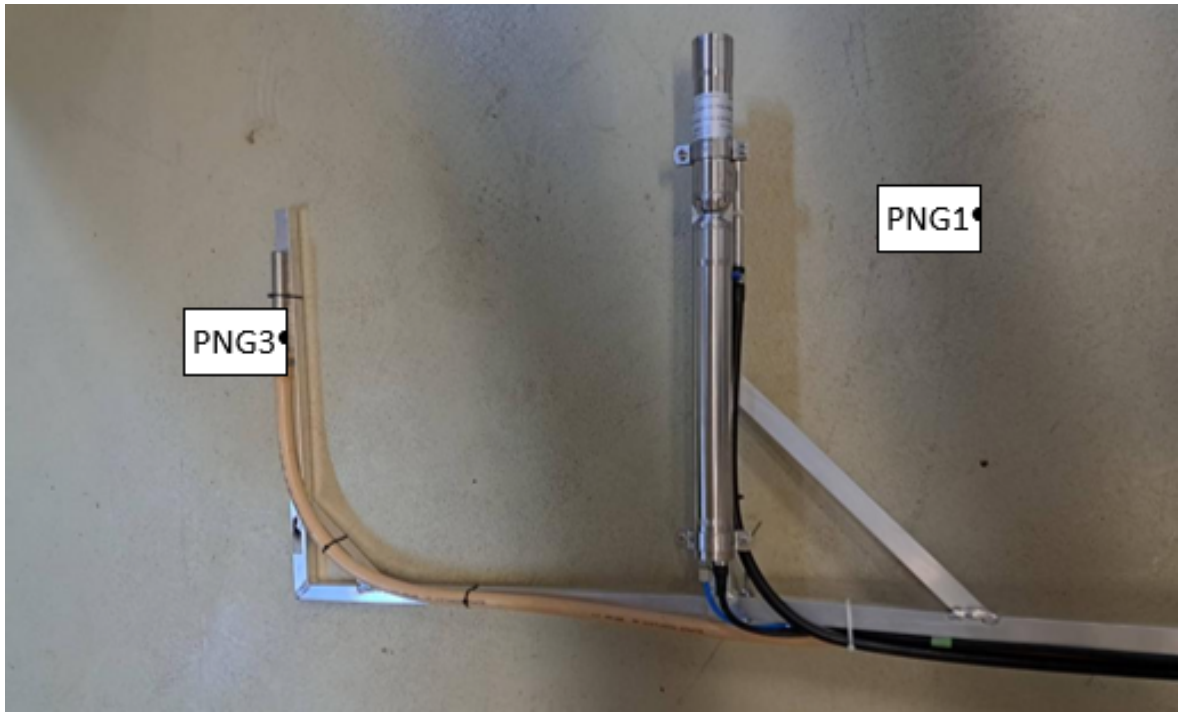


Abbildung 12 Fixierung der Ansaugschläuche für das PNG1 und PNG3 sowie der UV/VIS-Spektrometer-Sonde am Aluminium-Gestänge für das linke Zulaufgerinne.



3.1.3.2 Ziel der beiden 24 h-Messkampagnen an 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulaufbereich der Kläranlage Graz

Ziel war der Vergleich der Laborergebnisse zwischen den 4 verwendeten Probenahmegeräten an den 4 unterschiedlichen Probenahme-Horizonten auf Basis von 6 x 4 h-Mischproben für die beiden Parameter AFS und CSB. An den beiden Probenahme-Horizonten im linken und rechten Zulaufgerinne jeweils in den 1/3-Punkten unterhalb des Wasserspiegels konnte dieser Vergleich zusätzlich auch noch auf Basis der generierten UV/VIS-Tagesganglinien erfolgen.

3.1.3.3 Parametrierung der 4 verwendeten automatischen Probenahmegeräte während dieser beiden 24 h-Messkampagnen

Für die beiden 24 h-Vergleichsmesskampagnen wurden 4 baugleiche automatische Probenahmegeräte vom Typ TP5C der Fa. Maxx GmbH verwendet und folgendermaßen zeitgleich und identisch parametriert:

- Probenahmeart: Zeitproportional in 24 Probenahmeflaschen á ca. 1000 mL
- Zeitintervall: 10 min
- Teilprobenvolumen: 150 mL

Daraus ergaben sich für die angestrebten 6 x 4 h Mischproben jeweils ein Sollprobenvolumen von 900 mL pro Probenahmeflasche und 3600 mL für die analysierten 4 h-Mischproben, die dann jeweils sofort im Anschluss an die Probenahmen auf die Parameter AFS und CSB mittels Doppelbestimmungen laboranalytisch untersucht wurden.

Die Vergleichsbeprobungen fanden während der beiden 24 h-Messkampagnen jeweils zwischen 08:00 und 08:00 statt und damit auch zeitsynchron mit den täglichen mengenproportionalen Zulaufbeprobungen der Kläranlage für die Eigenüberwachung, welche in der Regel volumenproportional mit einem Probenteiler von 500 m³ und einem Teilprobenvolumen von 65 mL durchgeführt werden.

Die während der beiden 24 h-Messkampagnen zeitgleich generierten beiden 24 h-Zulauf-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der Kläranlage konnten damit auch mit den beiden 6 x 4 h-Tagesmischproben rechnerisch durch Mittelwertbildung miteinander verglichen werden.

3.1.4 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmeorte im Ablauf der Kläranlage Graz

3.1.4.1 Beschreibung der 4 verschiedenen Probenahmeorte im Ablaufbereich während der beiden 24 h-Messkampagnen

Im Rahmen dieser beiden am Mo 24./Di 25.07.2023 und am Di 25./Mi 26.07.2023 jeweils von 08:00 bis 08:00 durchgeführten 24 h-Messkampagnen wurden mit 4 baugleichen, automatischen PNG die nachfolgenden 4 Probenahmeorte im Ablaufbereich der Kläranlage Graz zeitgleich und mit identen Parametrierungen miteinander verglichen:

- PNG1: Aus der vorhandenen Ablauf-Probenahme-Wanne der Kläranlage Graz
- PNG2: Von der Räumerbrücke eines der 4 Nachklärbecken aus
- PNG3: Vor der Überlaufschwelle 1,80 m über der Sohloberkante (SOK)
- PNG4: Vor der Überlaufschwelle 0,80 m über der Sohloberkante (SOK)

Zusätzlich wurden während dieser beiden 24 h-Messkampagnen auch noch die stationäre UV/VIS-Spektrometer-Sonde in der Ablauf-Bypass-Wanne und zwei temporär installierte UV/VIS-Spektrometer-Sonden an den beiden Probenahmeorten vor der Überlaufschwelle, einmal 1,80 m (PNG3) und einmal 0,80 m (PNG4) über der Sohloberkante (SOK) des Ablaufgerinnes, installiert (Abbildung 19). Mit diesen 3 On-line-Sonden wurden die zeitlichen Verläufe der CSB_{eq}- und AFS_{eq}-Konzentrationen während der beiden 24 h-Messkampagnen mit einer zeitlichen Auflösung von 2 Minuten aufgezeichnet.

In der Abbildung 13 ist das Probenahmegerät PNG1 an der Ablauf-Probenahme-Wanne und in der Abbildung 14 das Probenahmegerät PNG2 auf der Räumerbrücke eines der 4 Nachklärbecken dargestellt. In der Abbildung 15 ist auch der von der Räumerbrücke aus installierte Probenahmeschlauch zu sehen, der ca. 20 cm unterhalb der Wasseroberfläche in dem Nachklärbecken fixiert wurde und was auch in etwa der Abzugshöhe der Ablaufwassermengen über die getauchten Ablaufrohre entspricht.

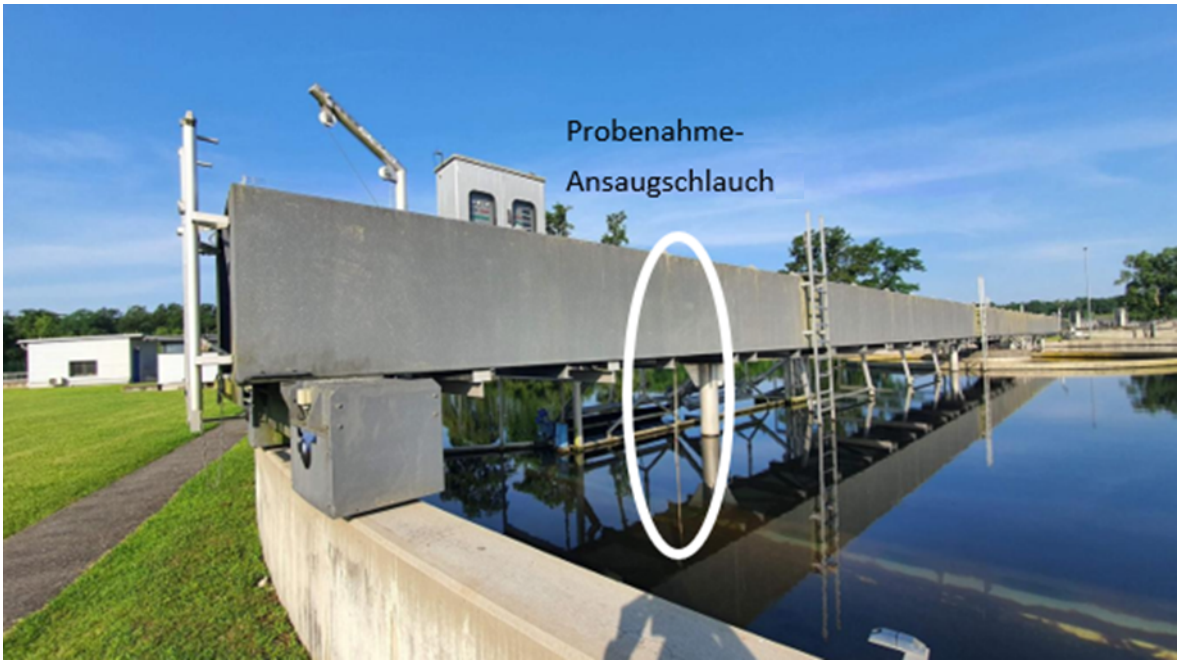
Abbildung 13 Das Probenahmegerät PNG1 (links) an der Ablauf-Probenahme-Wanne, aus welcher im Rahmen der Eigenüberwachung auch die täglichen 24 h-Tagesmischproben mit dem stationären PNG (rechts) gewonnen werden.



Abbildung 14 Das auf der Räumerbrücke eines der 4 Nachklärbecken installierte PNG2.



Abbildung 15 Räumerbrücke und installierter Probenahme-Ansaugschlauch, mit dem die automatischen Vergleichsprobenahmen mit dem PNG2 durchgeführt wurden.



Die beiden Probenahmegeräte PNG3 und PNG4 wurden bei diesen beiden 24 h-Messkampagnen im Gerinnequerschnitt des vereinten Ablaufgerinnes unmittelbar vor der zentralen Ablauf-Überlaufschwelle installiert (siehe Abbildung 16, Abbildung 17 und Abbildung 19).

Dabei zog das PNG3 die Vergleichsproben 1,80 m über der Sohloberkante (SOK) ab, was in etwa wieder dem 1/3-Punkt der Abflusstiefe entsprach, und das PNG4 0,80 m über SOK. Die Ansaugpunkte der beiden Probenahmegeräte wurden wieder an einem Aluminium-Gestänge fixiert, an welchem temporär für die beiden 24 h-Messkampagnen auch wieder die beiden UV/VIS-Spektrometer-Sonden installiert wurden (Abbildung 18).

Abbildung 16 Ansaugbereich für das PNG3 und PNG4 im Ablaufbereich des vereinten Ablaufs aus den 4 Nachklärbecken unmittelbar vor der Überlaufschwelle in die Mur.



Abbildung 17 Die beiden Probenahmegeräte PNG3 und PNG4 im Ablaufbereich der Kläranlage Graz, die bei diesen Vergleichsmesskampagnen aus unterschiedlichen Höhen (1,80 m über SOK das PNG3 und 0,80 m das PNG4) die Vergleichsproben gezogen hatten.

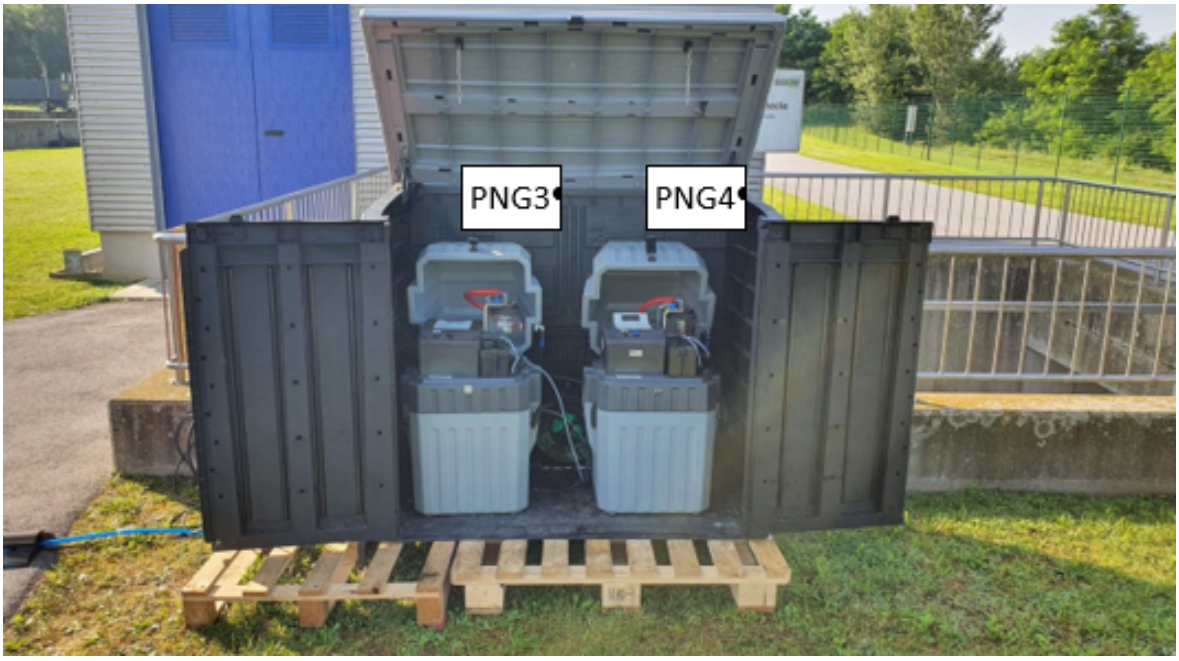


Abbildung 18 Die beiden in unterschiedlichen Höhen fixierten Probenahme-Ansaugschläuche des PNG3 und des PNG4 am für die Fixierung verwendeten Aluminium-Gestänge, an welchem auch die beiden UV/VIS-Spektrometer installiert wurden.

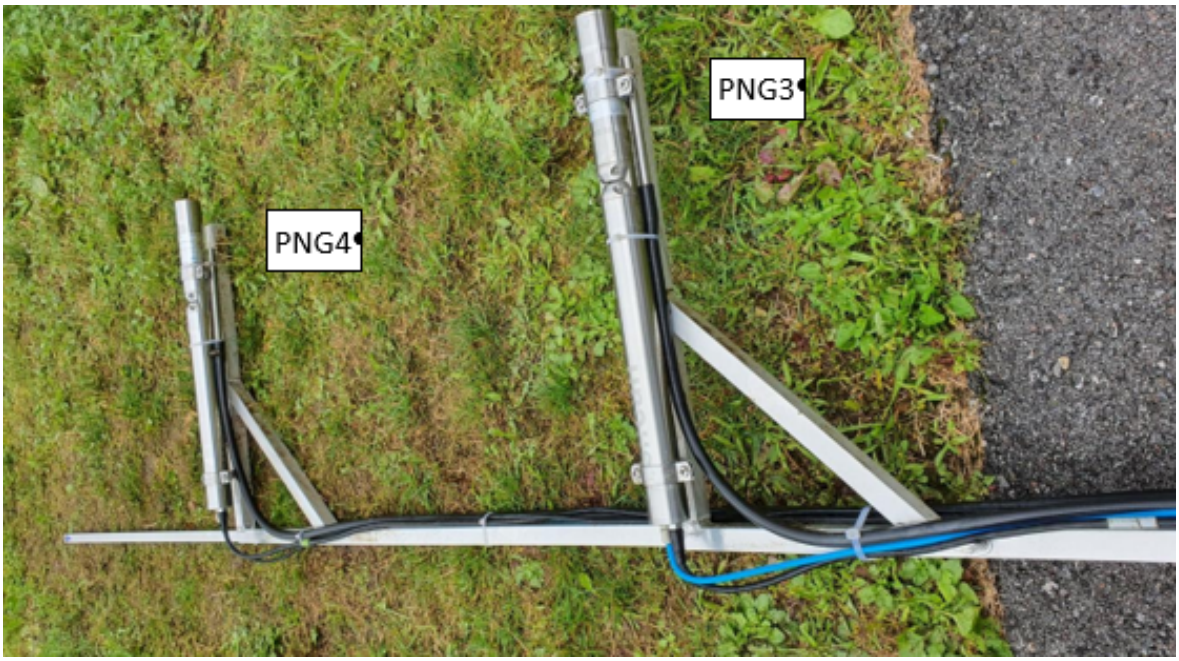
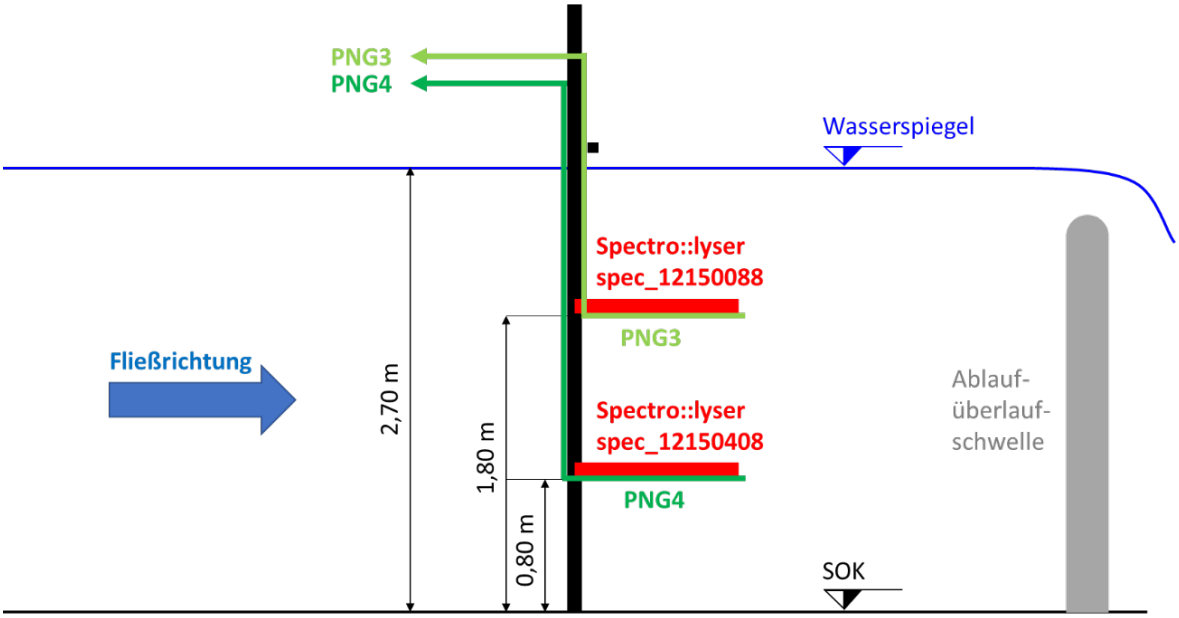


Abbildung 19 Installation der beiden Ansaugschläuche des PNG3 und des PNG4 sowie der beiden UV/VIS-Spektrometer im vereinten Ablaufgerinne vor der Überlaufschwelle.



3.1.4.2 Ziel der beiden 24 h-Messkampagnen an 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der Kläranlage Graz

Ziel war der Vergleich der Laborergebnisse zwischen den 4 verwendeten Probenahmegeräten an den 4 unterschiedlichen Probenahmeorten auf Basis von 6 x 4 h-Mischproben für die beiden Parameter AFS und CSB. An den beiden Probenahmeorten im Ablaufbereich der Kläranlage vor der zentralen Überlaufschwelle konnte dieser Vergleich zusätzlich noch auf Basis der generierten UV/VIS-Tagesganglinien in zwei unterschiedlichen Wassertiefen (1,80 m über SOK und 0,80 m über SOK) durchgeführt werden.

3.1.4.3 Parametrierung der 4 verwendeten automatischen Probenahmegeräte während dieser beiden 24 h-Messkampagnen

Für die beiden 24 h-Vergleichsmesskampagnen wurden 4 baugleiche automatische Probenahmegeräte vom Typ TP5C der Fa. Maxx GmbH verwendet und folgendermaßen zeitgleich und identisch parametriert:

- Probenahmeart: Zeitproportional in 24 Probenahmeflaschen á ca. 1000 mL
- Zeitintervall: 10 min
- Teilprobenvolumen: 150 mL

Daraus ergaben sich für die angestrebten 6 x 4 h Mischproben jeweils ein Sollprobenvolumen von 900 mL pro Probenahmeflasche und 3600 mL für die analysierten 4 h-Mischproben, die dann jeweils sofort im Anschluss an die Probenahmen auf die Parameter AFS und CSB mittels Doppelbestimmungen laboranalytisch untersucht wurden.

Die Vergleichsbeprobungen fanden während der beiden 24 h-Messkampagnen jeweils zwischen 08:00 und 08:00 statt und damit auch zeitsynchron mit den täglichen mengenproportionalen Ablaufbeprobungen der Kläranlage für die Eigenüberwachung, welche in der Regel volumenproportional mit einem Probenteiler von 500 m³ und einem Teilprobenvolumen von 68 mL durchgeführt werden.

Die während der beiden 24 h-Messkampagnen zeitgleich generierten beiden 24 h-Ablauf-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der Kläranlage konnten damit auch mit den beiden 6 x 4 h-Tagesmischproben rechnerisch durch Mittelwertbildung miteinander verglichen werden.

3.1.5 24 h-Messkampagnen zur lokalen Kalibrierung der beiden stationär im Zulauf und Ablauf der Kläranlage Graz betriebenen UV/VIS-Spektrometer-Sonden

Zusätzlich zu den in der Tabelle 1 gelisteten sechs 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmeorte bzw. Probenahme-Horizonte in den Abflussquerschnitten im Zulauf und im Ablauf der Kläranlage Graz wurde im Jahr 2023 am Mi 02./Do 03.08.2023 noch eine siebte 24 h-Messkampagne zeitgleich im Zu- und Ablauf der Kläranlage zur lokalen Kalibrierung der beiden dort jeweils stationär installierten UV/VIS-Spektrometer-Sonden durchgeführt. Beide auf der Kläranlage vorhandenen On-line-Sonden wurden in dem Projekt zur Charakterisierung der Schmutzstoffdynamik während der Messkampagnen und der Untersuchungstage verwendet und genutzt. Diese sind in der Lage sogenannte Äquivalenz-Konzentrationen u. a. für den CSB_{eq} und für die AFS_{eq} mit einer zeitlichen Auflösung von 2 Minuten zu messen.

Diese lokale 24 h-Kalibrierungsmesskampagne hatte den Zweck, die Genauigkeit der von den beiden stationär installierten UV/VIS-Spektrometer-Sonden generierten Äquivalenz-Konzentrationen zu verbessern, welche auf Basis der beiden globalen Kalibrationsmodelle „INFLU004V16T“ für den Zulauf und „EFF40003V18T“ für den Ablauf der Kläranlage Graz betrieben wurden.

Aus den Ergebnissen der durchgeführten, vergleichenden Beprobungen im Zulauf- und Ablauf der Kläranlage Graz wurden schließlich die beiden Probenahmeorte und Probenahmestellen für die MP-Beprobungen des Zulaufs und des Ablaufs auf der Kläranlage Graz final festgelegt. Der analytische Vergleich der Repräsentativität wurde dabei auf Basis der durchgeführten laboranalytischen AFS- und CSB-Untersuchungen während der 6 vergleichenden 24 h-Messkampagnen durchgeführt, welcher durch die zeitlich hochaufgelösten UV/VIS-Spektrometer-Ganglinien während der durchgeführten 6 x 24 h-Messkampagnen unterstützt werden konnte.

3.2 Resultate und Erkenntnisse

3.2.1 Ergebnisse der 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmeorte im Zulauf zur Kläranlage Graz

Im Rahmen dieser beiden am Di 23./Mi 24.05.2023 und am Mi 24./Do 25.05.2023 jeweils von 08:00 bis 08:00 durchgeführten 24 h-Messkampagnen wurden mit 4 baugleichen, automatischen PNG die nachfolgenden 4 Probenahmeorte im Zulaufbereich der Kläranlage Graz zeitgleich und mit identen Parametrierungen der 4 PNG miteinander verglichen:

- PNG1: Zulaufkanal links
- PNG2: Zulaufkanal rechts
- PNG3: Aus der vorhandenen Zulauf-Probenahme-Wanne der Kläranlage Graz
- PNG4: Nach den Sandfängen

Zusätzlich wurden während dieser beiden 24 h-Messkampagnen auch noch die stationäre UV/VIS-Spektrometer-Sonde in der Zulauf-Bypass-Wanne und zwei temporär installierte UV/VIS-Spektrometer-Sonden jeweils in den 1/3-Punkten der Abflusstiefe in den beiden Zulaufkanälen vor den Sandfängen verwendet und genutzt. Mit diesen 3 On-line-Sonden wurden die zeitlichen Verläufe der CSB_{eq}- und AFS_{eq}-Konzentrationen während der beiden 24 h-Messkampagnen mit einer zeitlichen Auflösung von 2 Minuten aufgezeichnet.

3.2.1.1 Ergebnisse der 24 h-Probenahmen an den 4 unterschiedlichen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz

In der Tabelle 2 bis zur Tabelle 9 sind die ausgeliterten Probenahmevolumina der mit jeweils 24 Stück Probenahmeflaschen bestückten 4 Probenahmegeräte PNG1, PNG2, PNG3 und PNG4 über die 6 x 4 h-Zeitperioden der beiden 24 h-Messkampagnen zusammengefasst. Dabei sollte das Soll-Probenvolumen in jeder Probenahmeflasche bei der voreingestellten zeitproportionalen Teilprobenentnahme von 150 mL alle 10 min im Idealfall jeweils 6 x 150 mL = 900 mL betragen, was mit akzeptablen Abweichungen zumeist erreicht werden konnte. Dort, wo die Abweichungen von den 900 mL Soll-Probenahmeflaschen-Volumen größer waren, waren diese Abweichungen allerdings relativ konstant, was auf eine stabile Teilprobenentnahme während der 60-minütigen Befüllung der Probenahmeflaschen mit etwas reduzierten Teilprobenvolumina hinwies.

Von den 4 h-Mischproben von ca. 4 x 900 mL = 3.600 mL Probenvolumen wurden jeweils 500 mL zur Herstellung einer zeitproportionalen 24 h-Tagesmischprobe verwendet, woraus jeweils 3000 mL zeitproportionale Tagesprobenvolumina resultierten, die neben den einzelnen 4 h-Mischproben ebenfalls labortechnisch auf die AFS- und CSB-Konzentrationen hin analysiert wurden. Diese konnten von der Größenordnung her auch mit den korrespondierenden, mengenproportional gezogenen 24 h-Tagesmischproben der Kläranlage aus der Eigenüberwachung verglichen werden.

Tabelle 2 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 im 1/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023 und am Mi 24./Do 25.05.2023.

Di 23./Mi 24.05.2023 **PNG1 - Zulauf links**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	980 mL	990 mL	950 mL	980 mL
12:00–16:00	950 mL	900 mL	930 mL	650 mL
16:00–20:00	940 mL	970 mL	990 mL	960 mL
20:00–24:00	970 mL	970 mL	980 mL	990 mL
00:00–04:00	970 mL	960 mL	970 mL	980 mL
04:00–08:00	960 mL	970 mL	960 mL	950 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 3 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 im 1/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023.

Mi 24./Do 25.05.2023 **PNG1 - Zulauf links**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	970 mL	990 mL	990 mL	980 mL
12:00–16:00	940 mL	930 mL	950 mL	620 mL
16:00–20:00	1050 mL	1050 mL	1050 mL	1050 mL
20:00–24:00	1000 mL	990 mL	1000 mL	980 mL
00:00–04:00	990 mL	1000 mL	1000 mL	910 mL

Mi 24./Do 25.05.2023 PNG1 - Zulauf links	PN-Flasche 1	PN-Flasche 2	PN-Flasche 3	PN-Flasche 4
04:00–08:00	1040 mL	1030 mL	1050 mL	1040 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 4 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2 im 1/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023.

Di 23./Mi 24.05.2023 PNG2 - Zulauf rechts	PN-Flasche 1	PN-Flasche 2	PN-Flasche 3	PN-Flasche 4
08:00–12:00	790 mL	800 mL	790 mL	790 mL
12:00–16:00	790 mL	790 mL	790 mL	780 mL
16:00–20:00	780 mL	790 mL	790 mL	790 mL
20:00–24:00	790 mL	810 mL	800 mL	800 mL
00:00–04:00	800 mL	780 mL	780 mL	790 mL
04:00–08:00	790 mL	780 mL	760 mL	780 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 5 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2 im 1/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023.

Mi 24./Do 25.05.2023 PNG2 - Zulauf rechts	PN-Flasche 1	PN-Flasche 2	PN-Flasche 3	PN-Flasche 4
08:00–12:00	800 mL	790 mL	790 mL	800 mL
12:00–16:00	790 mL	785 mL	790 mL	790 mL
16:00–20:00	790 mL	790 mL	750 mL	810 mL
20:00–24:00	800 mL	790 mL	770 mL	800 mL
00:00–04:00	790 mL	790 mL	780 mL	790 mL
04:00–08:00	790 mL	800 mL	790 mL	790 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 6 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 aus der Zulauf-Probenahme-Wanne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023, aus welcher auch die tägliche 24 h-Zulaufbeprobung der ARA-Graz im Rahmen der Eigenüberwachung stattfindet.

Di 23./Mi 24.05.2023				
PNG3 - aus Wanne	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	910 mL	920 mL	960 mL	960 mL
12:00–16:00	915 mL	840 mL	900 mL	700 mL
16:00–20:00	890 mL	890 mL	950 mL	970 mL
20:00–24:00	890 mL	870 mL	900 mL	880 mL
00:00–04:00	980 mL	950 mL	980 mL	990 mL
04:00–08:00	910 mL	910 mL	890 mL	970 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 7 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 aus der Zulauf-Probenahme-Wanne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023, aus welcher auch die tägliche 24 h-Zulaufbeprobung der ARA-Graz im Rahmen der Eigenüberwachung stattfindet.

Mi 24./Do 25.05.2023				
PNG3 - aus Wanne	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	930 mL	990 mL	950 mL	990 mL
12:00–16:00	1000 mL	960 mL	950 mL	860 mL
16:00–20:00	890 mL	990 mL	1000 mL	950 mL
20:00–24:00	890 mL	860 mL	930 mL	900 mL
00:00–04:00	980 mL	960 mL	980 mL	950 mL
04:00–08:00	910 mL	960 mL	910 mL	980 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 8 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 aus dem Vereinigungsgerinne nach den 3 belüfteten Sand- und Fettfängen während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023.

Di 23./Mi 24.05.2023 **PNG4 - nach SF**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	890 mL	890 mL	920 mL	890 mL
12:00–16:00	870 mL	890 mL	890 mL	940 mL
16:00–20:00	890 mL	920 mL	910 mL	900 mL
20:00–24:00	910 mL	910 mL	920 mL	910 mL
00:00–04:00	910 mL	920 mL	920 mL	910 mL
04:00–08:00	910 mL	900 mL	910 mL	920 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 9 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 aus dem Vereinigungsgerinne nach den 3 belüfteten Sand- und Fettfängen während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023.

Mi 24./Do 25.05.2023 **PNG4 - nach SF**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	910 mL	940 mL	920 mL	910 mL
12:00–16:00	880 mL	910 mL	900 mL	870 mL
16:00–20:00	900 mL	880 mL	900 mL	900 mL
20:00–24:00	910 mL	900 mL	910 mL	910 mL
00:00–04:00	900 mL	920 mL	910 mL	900 mL
04:00–08:00	900 mL	900 mL	900 mL	940 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

In der Tabelle 10 bis zur Tabelle 17 sind die Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der mit den Probenahmegeräten PNG1, PNG2, PNG3 und PNG4 gewonnenen 6 x 4 h-Mischproben während der beiden 24 h-Messkampagnen zusammengefasst.

In den Tabellen dargestellt sind jeweils die Ergebnisse der laboranalytischen AFS- und CSB-Doppelbestimmungen der 4 h-Mischproben und die daraus resultierenden Mittelwerte.

Weiters sind in den Tabellen auch noch die Ergebnisse der Tagesmischproben enthalten, die jeweils zeitproportional aus den 6 x 4 h-Mischroben zusammengemischt wurden. Diese wiederum können mit den Laborergebnissen der korrespondierenden, mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung verglichen werden (Tabelle 18), die neben den hydraulischen Tageszulaufmengen und den mittleren Tagestemperaturen im Zulauf in den grafischen Auswertungen und Vergleichen ab der Abbildung 20 bis zu der Abbildung 23 enthalten sind.

Tabelle 10 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus dem linken Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023.

Di 23./Mi 24.05.2023 PNG1 - Zulauf links	**AFS_1 [mg/L]**	**AFS_2 [mg/L]**	**AFS_{MW} [mg/L]**	**CSB_1 [mg/L]**	**CSB_2 [mg/L]**	**CSB_{MW} [mg/L]**
08:00–12:00	964	938	951	1572	1562	1567
12:00–16:00	420	398	409	960	1024	992
16:00–20:00	1136	1128	1132	860	850	855
20:00–24:00	302	294	298	508	540	524
00:00–04:00	166	160	163	360	348	354
04:00–08:00	230	182	206	338	332	335
Tagesmischprobe	474	474	474	796	752	774

Tabelle 11 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus dem linken Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023.

Mi 24./Do 25.05.2023 PNG1 - Zulauf links	**AFS_1 [mg/L]**	**AFS_2 [mg/L]**	**AFS_{MW} [mg/L]**	**CSB_1 [mg/L]**	**CSB_2 [mg/L]**	**CSB_{MW} [mg/L]**
08:00–12:00	570	596	583	940	950	945
12:00–16:00	222	246	234	440	434	437
16:00–20:00	440	496	468	433	427	430
20:00–24:00	318	292	305	402	410	406
00:00–04:00	212	244	228	400	406	403

Mi 24./Do 25.05.2023 PNG1 - Zulauf links	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
04:00–08:00	142	128	135	243	249	246
Tagesmischprobe	314	296	305	468	479	474

Tabelle 12 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 aus dem rechten Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023.

Di 23./Mi 24.05.2023 PNG2 - Zulauf rechts	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	648	616	632	1120	1130	1125
12:00–16:00	430	434	432	950	960	955
16:00–20:00	860	914	887	620	635	628
20:00–24:00	220	220	220	395	399	397
00:00–04:00	152	150	151	395	385	390
04:00–08:00	154	174	164	248	240	244
Tagesmischprobe	368	372	370	644	639	642

Tabelle 13 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 aus dem rechten Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023.

Mi 24./Do 25.05.2023 PNG2 - Zulauf rechts	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	494	498	496	735	740	738
12:00–16:00	254	264	259	428	454	441
16:00–20:00	376	354	365	395	389	392
20:00–24:00	288	316	302	406	410	408
00:00–04:00	264	246	255	396	387	392
04:00–08:00	140	158	149	201	202	202
Tagesmischprobe	242	258	250	433	439	436

Tabelle 14 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus der Zulauf-PN-Wanne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023.

Di 23./Mi 24.05.2023 PNG3 - aus Wanne	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	658	696	677	1100	1080	1090
12:00–16:00	372	362	367	760	800	780
16:00–20:00	692	692	692	560	570	565
20:00–24:00	242	212	227	438	422	430
00:00–04:00	138	126	132	327	317	322
04:00–08:00	118	140	129	245	242	244
Tagesmischprobe	414	386	400	580	586	583

Tabelle 15 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus der Zulauf-PN-Wanne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023.

Mi 24./Do 25.05.2023 PNG3 - aus Wanne	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	634	654	644	884	890	887
12:00–16:00	692	712	702	678	692	685
16:00–20:00	334	336	335	392	389	391
20:00–24:00	340	318	329	560	577	569
00:00–04:00	232	248	240	360	354	357
04:00–08:00	138	164	151	196	199	198
Tagesmischprobe	422	444	433	516	521	519

Tabelle 16 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem Verteilgerinne nach den belüfteten Sand- und Fettfängen während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023.

Di 23./Mi 24.05.2023 PNG4 - nach den SF	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	712	698	705	1240	1260	1250
12:00–16:00	382	390	386	920	940	930
16:00–20:00	798	824	811	600	620	610
20:00–24:00	238	246	242	452	447	450
00:00–04:00	180	186	183	399	411	405
04:00–08:00	134	136	135	299	301	300
Tagesmischprobe	424	440	432	658	666	662

Tabelle 17 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem Verteilgerinne nach den belüfteten Sand- und Fettfängen während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023.

Mi 24./Do 25.05.2023 PNG4 - nach den SF	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	468	480	474	724	740	732
12:00–16:00	486	462	474	516	530	523
16:00–20:00	340	342	341	410	414	412
20:00–24:00	280	290	285	412	426	419
00:00–04:00	272	280	276	438	450	444
04:00–08:00	174	180	177	273	261	267
Tagesmischprobe	302	320	311	470	478	474

Tabelle 18 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen aus den korrespondierenden, mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz.

PNG - ARA-Zulauf	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
Di 23./Mi 24.05.2023	366	358	362	673	659	666
Mi 24./Do 25.05.2023	210	234	222	321	333	327

3.2.1.2 Vergleich der 6 x 4 h-Probenahmen an den 4 unterschiedlichen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz auf Basis der AFS- und CSB-Laboranalysen

In der Tabelle 19 und in der Tabelle 20 sind jeweils die Mittelwerte der AFS-Laborwerte an den 4 verschiedenen Probenahmeorten und an den beiden Untersuchungstagen Di 23.05./Mi 24.05.2023 und Mi 24.05./Do 25.05.2023 vergleichend gegenübergestellt. In diesen beiden Tabellen sind in der letzten Spalte auch die AFS-Laborwerte aus der mengenproportionalen 24 h-Eigenüberwachung der ARA-Graz enthalten.

Tabelle 19 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023 sowie mit dem AFS-Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (ARA-EÜ).

Di 23./Mi 24.05.2023	PNG1	PNG2	PNG3	PNG4	PNG-ZL
Zeitbereich	**ZL-Kanal links**	**ZL-Kanal rechts**	**Zulauf-PN-Wanne**	**Nach den SF**	**ARA-EÜ**
08:00–12:00	951	632	677	705	
12:00–16:00	409	432	367	386	
16:00–20:00	1132	887	692	811	
20:00–24:00	298	220	227	242	
00:00–04:00	163	151	132	183	
04:00–08:00	206	164	129	135	
Tagesmischprobe	474	370	400	432	362

Tabelle 20 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023 sowie mit dem AFS-Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (ARA-EÜ).

Mi 24./Do 25.05.2023 Zeitbereich	PNG1 ZL-Kanal links	PNG2 ZL-Kanal rechts	PNG3 Zulauf-PN-Wanne	PNG4 Nach den SF	PNG-ZL ARA-EÜ
08:00–12:00	583	496	644	474	
12:00–16:00	234	259	702	474	
16:00–20:00	468	365	335	341	
20:00–24:00	305	302	329	285	
00:00–04:00	228	255	240	276	
04:00–08:00	135	149	151	177	
Tagesmischprobe	305	250	433	311	222

In der Abbildung 20 sind sowohl die 6 x 4 h-AFS-Laborwerte als auch die Tagesmittelwerte an den 4 verschiedenen Probenahmeorten für den Untersuchungstag Di 23.05./Mi 24.05.2023 grafisch gegenübergestellt und in der Abbildung 21 jene für den Untersuchungstag Mi 24.05./Do 25.05.2023. Dabei wurden in den beiden Abbildungen auch jeweils die hydraulischen Zulaufmengen, die durchschnittliche Zulauftemperatur und die aus der Eigenüberwachung resultierende mengenproportionale AFS-Konzentration hinzugefügt. Dabei weisen die beiden relativ hohen hydraulischen Zulaufmengen und die vergleichsweise geringen AFS-Zulaufkonzentrationen auf Regenwetterbedingungen oder auf Entleerungen des zentralen Speicherkanals (ZSK) hin.

Abbildung 20 Vergleich der Mittelwerte der AFS-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum Di 23.05./Mi 24.05.2023.

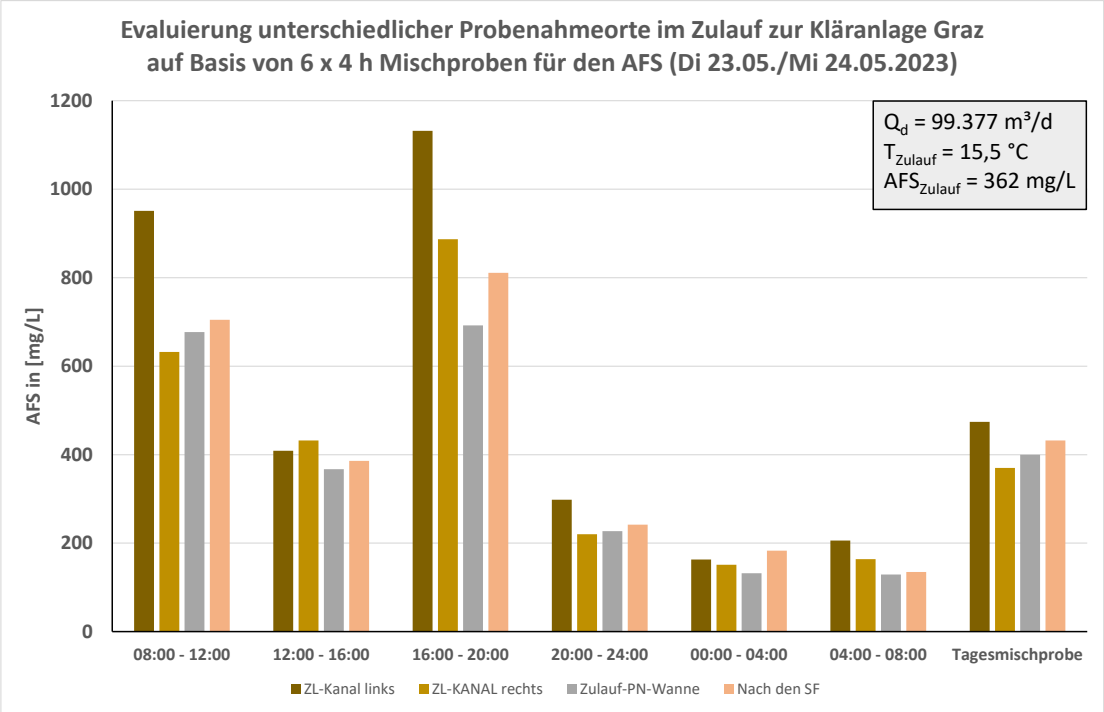
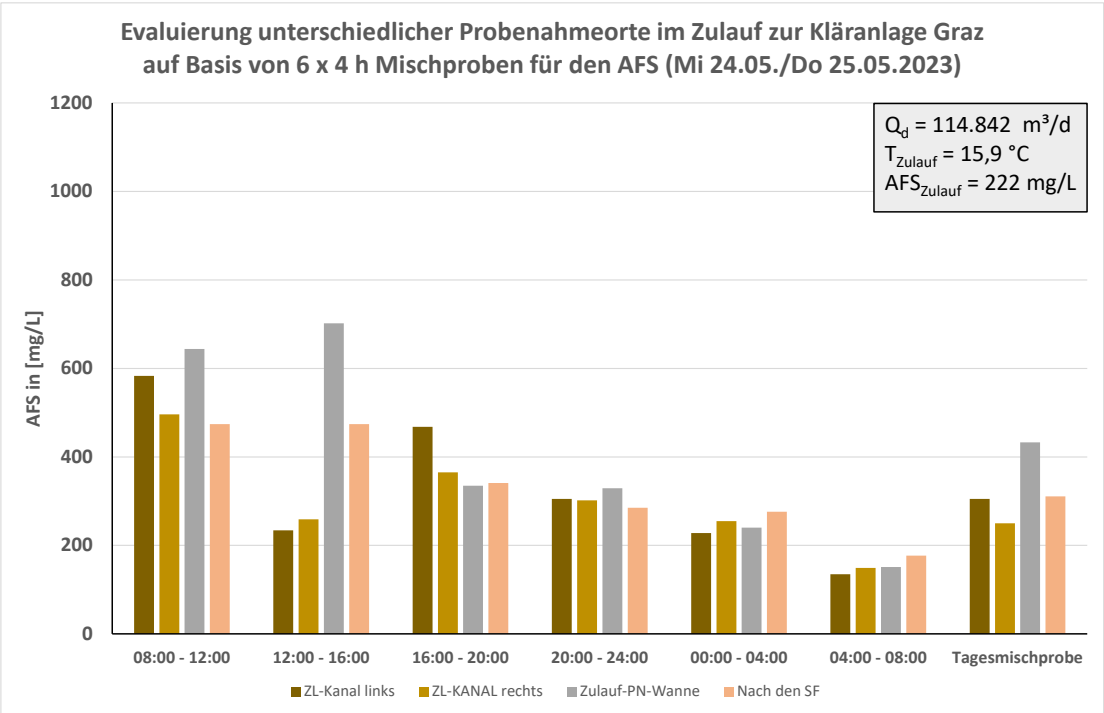


Abbildung 21 Vergleich der Mittelwerte der AFS-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum Mi 24.05./Do 25.05.2023.



Die 6 x 4 h-AFS-Laborwerte an den 4 untersuchten Probenahmestellen wichen an den beiden Untersuchungstagen in Abhängigkeit von den 4 h-Perioden zum Teil deutlich voneinander ab. Dabei waren die AFS-Konzentrationen im linken Zulaufgerinne zumeist höher als im rechten Zulaufgerinne, was auf inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen hinweist. Aus diesem Grund wurde 2017 auch der Ansaugbereich für die Beschickung der Zulauf-Probenahme-Wanne nach der Vereinigung der beiden Zulaufgerinne vor der Verteilung auf die 3 belüfteten Sand- und Fettfänge gewählt, weil sich dort eine gut durchmischte Umlenkwalze ausbildet. Die AFS-Konzentrationen nach den Sandfängen ergaben im Vergleich zur Zulauf-Probenahme-Wanne ein uneinheitliches Bild, wiesen aber zumeist etwas geringere Werte auf, was sicherlich mit der Eliminationsleistung der mineralischen Fraktionen in den Sandfängen erklärt werden kann.

In der Tabelle 21 und in der Tabelle 22 sind jeweils die Mittelwerte der CSB-Laborwerte an den 4 verschiedenen Probenahmeorten und an den beiden Untersuchungstagen Di 23.05./Mi 24.05.2023 und Mi 24.05./Do 25.05.2023 vergleichend gegenübergestellt. In diesen beiden Tabellen sind in der letzten Spalte auch die CSB-Laborwerte aus der mengenproportionalen 24 h-Eigenüberwachung der ARA-Graz enthalten.

Tabelle 21 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023 sowie mit dem CSB-Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (ARA-EÜ).

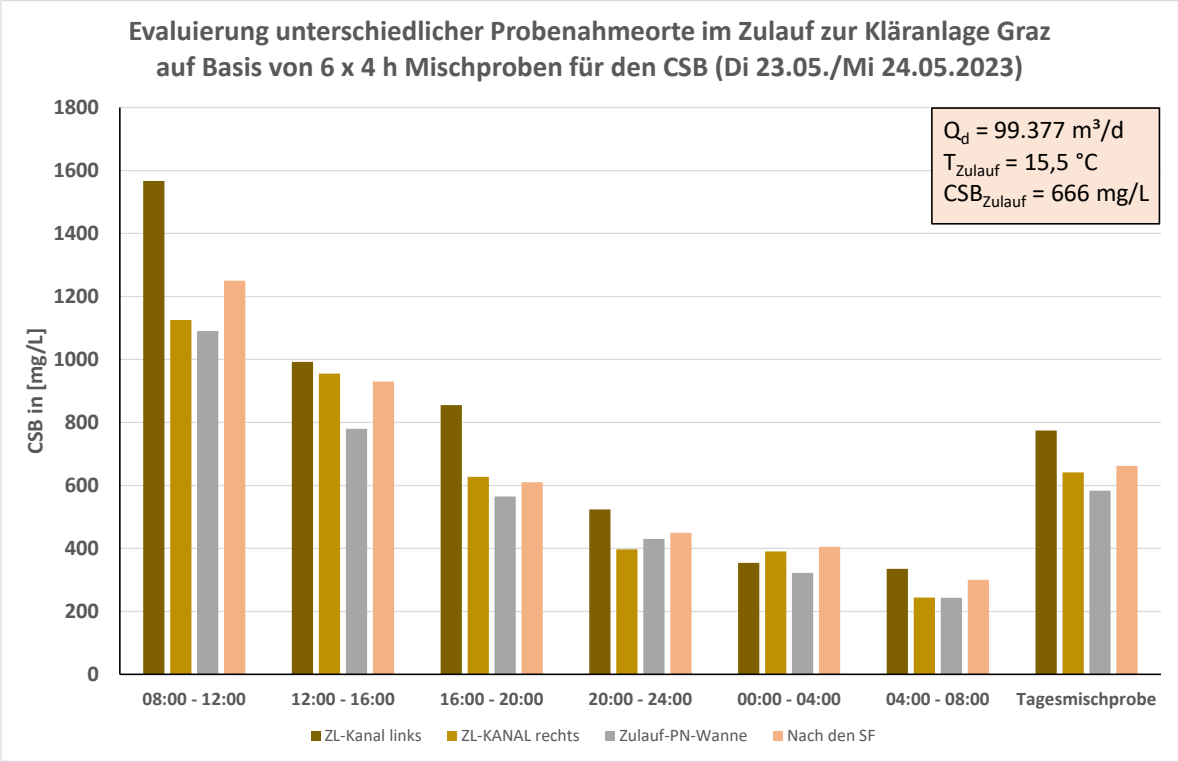
Di 23./Mi 24.05.2023	**PNG1**	**PNG2**	**PNG3**	**PNG4**	**PNG-ZL**
Zeitbereich	**ZL-Kanal links**	**ZL-Kanal rechts**	**Zulauf-PN-Wanne**	**Nach den SF**	**ARA-EÜ**
08:00–12:00	1567	1125	1090	1250	
12:00–16:00	992	955	780	930	
16:00–20:00	855	628	565	610	
20:00–24:00	524	397	430	450	
00:00–04:00	354	390	322	405	
04:00–08:00	335	244	244	300	
Tagesmischprobe	774	642	583	662	666

Tabelle 22 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023 sowie mit dem CSB-Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (ARA-EÜ).

Mi 24./Do 25.05.2023 Zeitbereich	PNG1 ZL-Kanal links	PNG2 ZL-Kanal rechts	PNG3 Zulauf-PN-Wanne	PNG4 Nach den SF	PNG-ZL ARA-EÜ
08:00–12:00	945	738	887	732	
12:00–16:00	437	441	685	523	
16:00–20:00	430	392	391	412	
20:00–24:00	406	408	569	419	
00:00–04:00	403	392	357	444	
04:00–08:00	246	202	198	267	
Tagesmischprobe	474	436	519	474	327

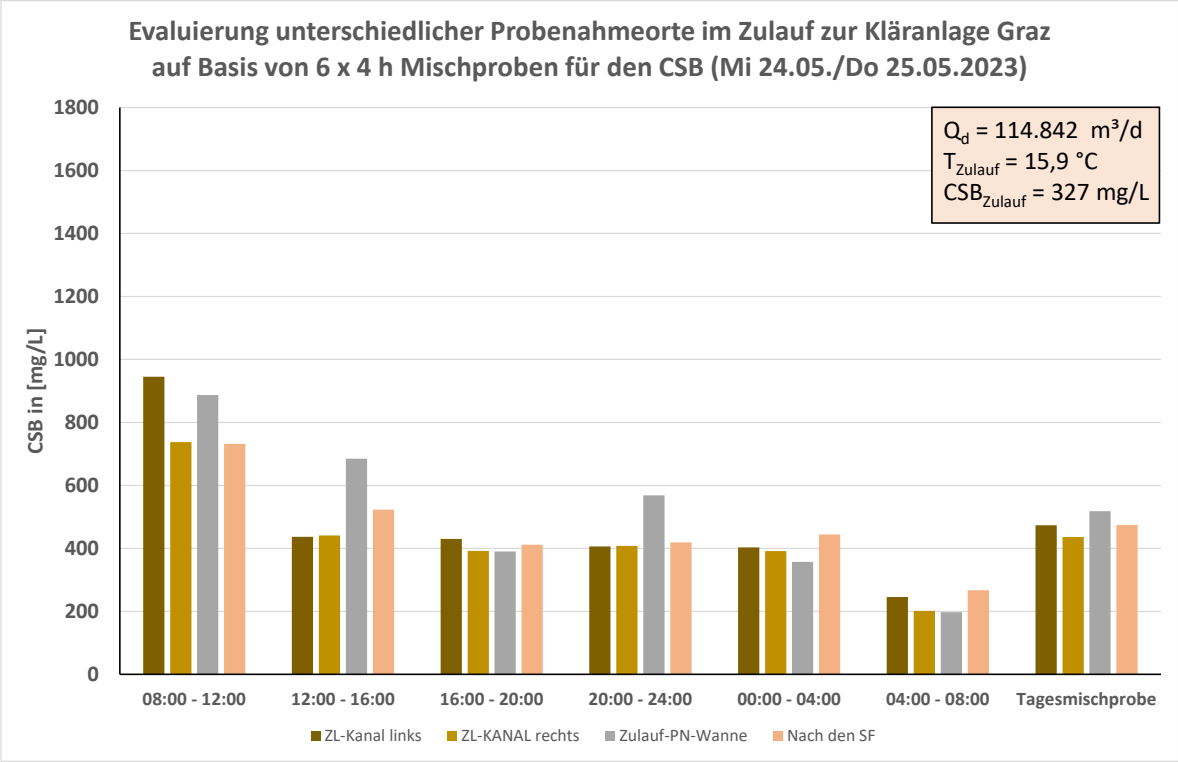
In der Abbildung 22 sind sowohl die 6 x 4 h-CSB-Laborwerte als auch die Tagesmittelwerte an den 4 verschiedenen Probenahmeorten für den Untersuchungstag Di 23.05./Mi 24.05.2023 grafisch gegenübergestellt und in der Abbildung 23 jene für den Untersuchungstag Mi 24.05./Do 25.05.2023. Dabei wurden in den beiden Abbildungen auch jeweils die hydraulischen Tageszulaufmengen, die durchschnittliche Zulauftemperatur und die aus der Eigenüberwachung resultierende mengenproportionale CSB-Konzentration hinzugefügt. Dabei weisen die beiden relativ hohen hydraulischen Tageszulaufmengen und die vergleichsweise geringen CSB-Zulaufkonzentrationen auf Regenwetterbedingungen oder auf Entleerungen des ZSK hin.

Abbildung 22 Vergleich der Mittelwerte der CSB-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum Di 23.05./Mi 24.05.2023.



Die 6 x 4 h-CSB-Laborwerte an den 4 untersuchten Probenahmestellen wichen an den beiden Untersuchungstagen in Abhängigkeit von den 4 h-Perioden zum Teil deutlich voneinander ab. Dabei waren die CSB-Konzentrationen im linken Zulaufgerinne zumeist höher als im rechten Zulaufgerinne, was auf inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen hinweist. Aus diesem Grund wurde 2017 auch der Ansaugbereich für die Beschickung der Zulauf-Probenahme-Wanne nach der Vereinigung der beiden Zulaufgerinne vor der Verteilung auf die 3 belüfteten Sand- und Fettfänge gewählt, weil sich dort eine gut durchmischte Umlenkwalze ausbildet. Die CSB-Konzentrationen nach den Sandfängen waren zumeist etwas höher als jene aus der Zulauf-Probenahme-Wanne, was auf eine gute Durchmischung der vereinigten Sandfang-Abläufe hinweist. Aus der Zulauf-Probenahme-Wanne erfolgen auch die täglichen mengenproportionalen Beprobungen der 24 h-Tagesmischproben für die Eigenüberwachung der Kläranlage.

Abbildung 23 Vergleich der Mittelwerte der CSB-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum Mi 24.05./Do 25.05.2023.



3.2.1.3 Vergleich der 6 x 4 h-Probenahmen an den 4 unterschiedlichen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz mit den UV/VIS-Messungen

Parallel zu den konventionellen Probenahmen und anschließender AFS- und CSB-Laboranalytik über die 6 x 4 h-Zeiträume der beiden Untersuchungstage dieser Messkampagne wurden während der beiden 24 h-Messkampagnen jeweils 3 der Abwasserzulaufströme bzw. Probenahmeorte zeitgleich auch mit UV/VIS-Spektrometer-Sonden gemessen, die in der Lage sind, sog. Äquivalenz-Konzentrationen für die AFS_{eq} und den CSB_{eq} mit einer zeitlichen Auflösung von 2 min zu messen. Aus den daraus resultierenden 120 Einzelmessungen pro 4 h-Zeitraum wurden im Anschluss die Mittelwerte gebildet und mit den zeitproportionalen 4 h-Mischproben verglichen. Dabei wurden jeweils für die ARA-Graz entwickelte globale Kalibrationen verwendet, die mehr oder weniger gut die laboranalytisch bestimmbaren Konzentrationen abbilden. Eine lokale Kalibration der Spektrometer-Sonden an die vorherrschenden Abwassermatrizen war zunächst nicht vorgesehen.

Während dieser Messkampagne wurden die folgenden UV/VIS-Spektrometer-Sonden an drei der untersuchten Probenahmeorte verwendet:

- PNG1 (Zulaufkanal links im 1/3-Punkt):
  Mobiler 2 mm „spec_12150408“ mit der globalen Kalibration INFLU004V16T
- PNG2 (Zulaufkanal rechts im 1/3-Punkt):
  Mobiler 2 mm „spec_12150088“ mit der globalen Kalibration INFLU004V16T
- PNG3 (Zulauf-Probenahme-Wanne):
  Stationärer 2 mm „spec_17400003“ mit der globalen Kalibration INFLU004V16T
  Stationärer i::scan „i_22050538“ mit einer globalen Werkseinstellung

Die beiden mobilen UV/VIS-Spektrometer-Sonden mit den Seriennummern „spec_12150408“ und „spec_12150088“ wurden unmittelbar vor den durchgeführten Messkampagnen von der Firma Badger Meter (vormals s::can) komplett serviciert und als absolut gleichwertig befunden. D. h., dass in vergleichbaren Abwassermedien mit derselben aktivierten globalen Kalibration vergleichbare Äquivalenz-Konzentrationen für die AFS_{eq} und den CSB_{eq} zu erwarten sind. Diese beiden Sonden wurden jeweils nur während der beiden Untersuchungstage der durchgeführten Messkampagnen betrieben.

In der Zulauf-Probenahme-Wanne (PNG3) waren stationär die UV/VIS-Spektrometer-Sonde mit der Seriennummern „spec_17400003“ sowie auch ein i::scan mit der Seriennummer „22050538“ installiert, der u. a. auch AFS_{eq}- und CSB_{eq}-Konzentrationen misst. Diese beiden On-line-Sonden sind zur Betriebsüberwachung permanent in der Zulauf-Probenahme-Wanne installiert und messen dort auch mit einem Messintervall von 2 Minuten kontinuierlich die Äquivalenz-Konzentrationen für die AFS_{eq} und den CSB_{eq}.

3.2.1.3.1 Vergleich der AFS_{eq}-UV/VIS-Messungen mit den zeitgleichen AFS-Probenahme- und Laborwerten

In der Tabelle 23 und in der Tabelle 24 sind die AFS_{eq}-Konzentrationen auf Basis der rechnerisch ermittelten 4 h-UV/VIS-Spektrometer-Mittelwerten den parallel durchgeführten 4 h-Probenahmen und AFS-Laboranalysen während der beiden Untersuchungstage Di 23./Mi 24.05.2023 und Mi 24./Do 25.05.2023 gegenübergestellt.

Tabelle 23 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023.

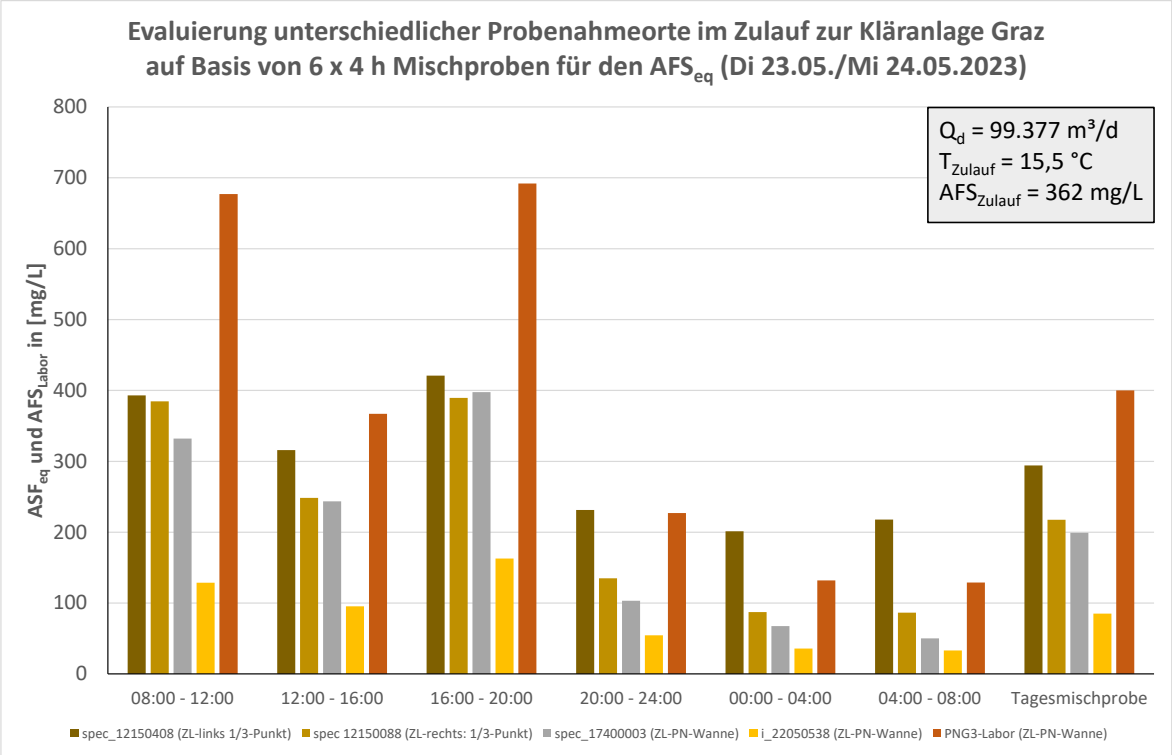
Di 23./Mi 24.05.2023 Zeitbereich	spec 12150408 PNG1 ZL-links	spec 12150088 PNG2 ZL-rechts	spec 17400003 PNG3 ZL-PN-Wanne	i::scan 22050538 PNG3 ZL-PN-Wanne	Labor PNG3 ZL-PN-Wanne	Labor PN EÜ
08:00–12:00	393	385	332	129	677	
12:00–16:00	316	249	244	96	367	
16:00–20:00	421	389	398	163	692	
20:00–24:00	231	135	103	54	227	
00:00–04:00	201	87	67	36	132	
04:00–08:00	218	86	50	33	129	
Tagesmischprobe	294	218	199	85	400	362

Tabelle 24 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023.

Mi 24./Do 25.05.2023 Zeitbereich	spec 12150408 PNG1 ZL-links	spec 12150088 PNG2 ZL-rechts	spec 17400003 PNG3 ZL-PN-Wanne	i::scan 22050538 PNG3 ZL-PN-Wanne	Labor PNG3 ZL-PN-Wanne	Labor PN EÜ
08:00–12:00	344	260	230	104	644	
12:00–16:00	195	157	122	80	702	
16:00–20:00	176	127	81	47	335	
20:00–24:00	241	115	64	43	329	
00:00–04:00	244	117	71	41	240	
04:00–08:00	188	74	9	22	151	
Tagesmischprobe	232	142	96	56	433	222

In der Abbildung 24 sind die 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen für den Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023 gegenübergestellt und in der Abbildung 25 die vollkommenen AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen an diesem Untersuchungstag dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 99.377 m³/d deutlicher Regenwettereinfluss vorlag.

Abbildung 24 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023.



Deutlich zu erkennen ist dabei, dass alle 4 UV/VIS-Spektrometer-Mittelwerte die parallel ermittelten Probenahme- und Laborwerte deutlich unterschätzt hatten, was auf eine schlechte Anpassung der verwendeten globalen Kalibrationen an die vorherrschende Abwassermatrix schließen lässt.

Von den beiden jeweils in den 1/3-Punkten installierten mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links ergaben jene im linken Zulaufgerinne klar höhere Werte, wodurch auf inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen geschlossen werden muss.

Tagsüber lagen die 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte der UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links in ähnlichen Bereichen wie die 4 h-Mittelwerte des in der Zulauf-Probenahme-Wanne installierten UV/VIS-Spektrometers spec_17400003, was sich während der Nachtstunden änderte und wo die AFS_{eq}-Werte dieser stationären Sonde deutlich unterhalb der Mittelwerte der beiden mobilen Sonden lagen. In allen 4 h-Perioden waren die AFS_{eq}-Konzentrationen des i::scans am geringsten.

In den 4 AFS_{eq}-Verläufen der Abbildung 25 fällt im Vergleich der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometer in den beiden Zulaufgerinnen auf, dass die AFS_{eq}-Konzentrationen im linken Zulaufgerinne deutlich stärker streuten als jene im rechten, was auf turbulentere Verhältnisse im linken Zulaufgerinne schließen lässt.

In der Abbildung 26 sind die 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen für den Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023 gegenübergestellt und in der Abbildung 27 die vollkommenen AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen an diesem Untersuchungstag dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 114.842 m^3/d deutlicher Regenwettereinfluss vorlag.

Deutlich zu erkennen ist dabei, dass alle 4 UV/VIS-Spektrometer-Werte die parallel ermittelten Probenahme- und Laborwerte auch an diesem Untersuchungstag wieder deutlich unterschätzt hatten, was auf eine schlechte Anpassung der verwendeten globalen Kalibrationen an die vorherrschende Abwassermatrix schließen lässt.

Abbildung 25 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Di 23./Mi 24.05.2023.

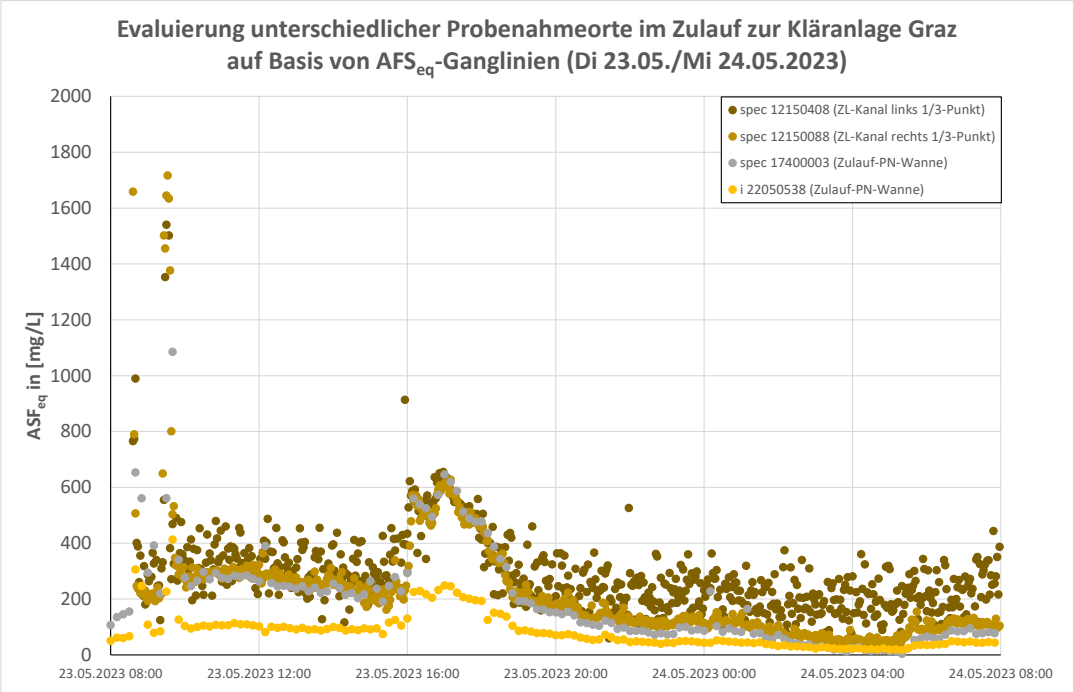
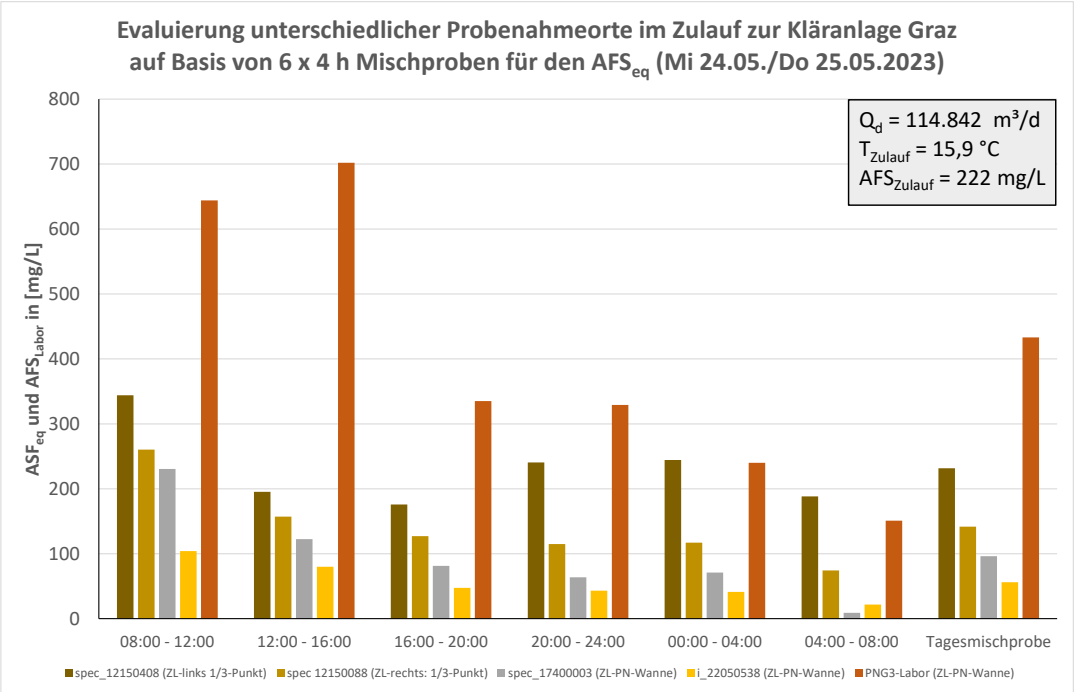


Abbildung 26 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023.

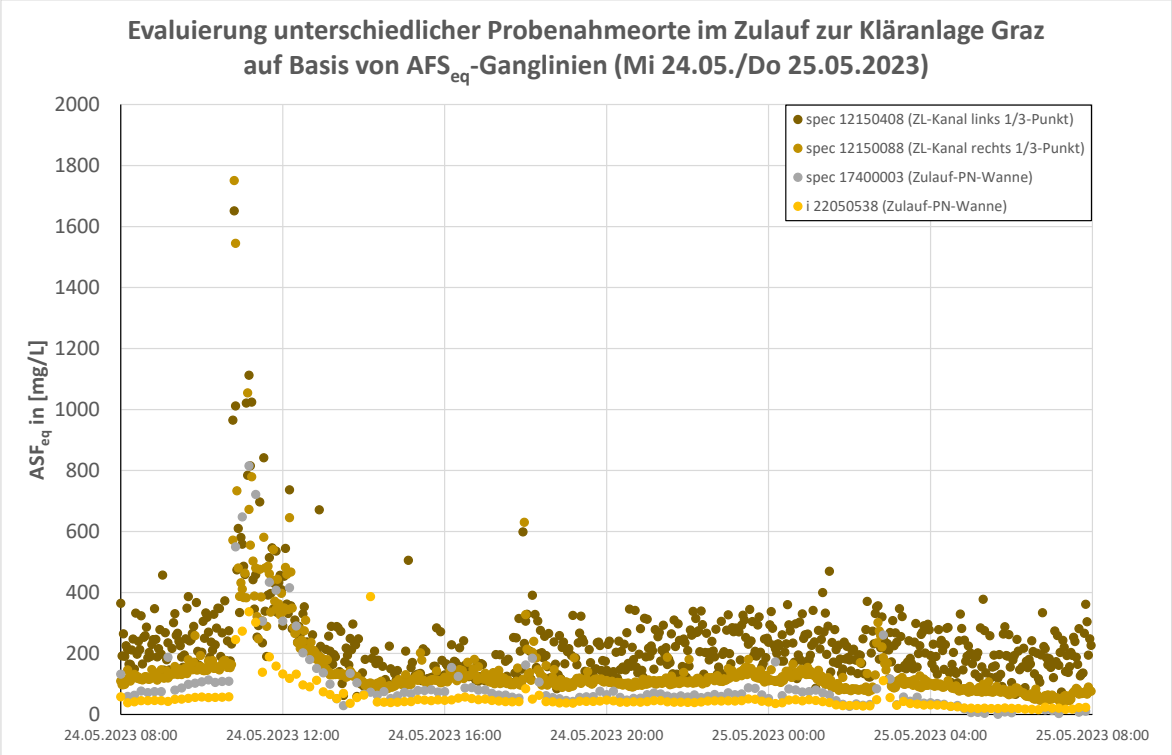


Von den beiden jeweils in den 1/3-Punkten installierten mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links ergaben jene im linken Zulaufgerinnen klar höhere Werte, wodurch auf inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen geschlossen werden muss.

Die 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links lagen durchwegs über den 4 h-Mittelwerten des in der Zulauf-Probenahme-Wanne permanent installierten UV/VIS-Spektrometers spec_17400003. In allen 4 h-Perioden waren die AFS_{eq}-Konzentrationen des i::scans am geringsten.

In den 4 AFS_{eq}-Verläufen der Abbildung 27 fällt im Vergleich der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometer in den beiden Zulaufgerinnen auf, dass die AFS_{eq}-Konzentrationen im linken Zulaufgerinne deutlich stärker streuten als jene im rechten, was auf turbulentere Verhältnisse im linken Zulaufgerinne schließen lässt.

Abbildung 27 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Mi 24./Do 25.05.2023.



3.2.1.3.2 Vergleich der CSB_{eq}-UV/VIS-Messungen mit den zeitgleichen CSB-Probenahme- und Laborwerten

In der Tabelle 25 und in der Tabelle 26 sind die CSB_{eq}-Konzentrationen auf Basis der rechnerisch ermittelten 4 h-UV/VIS-Spektrometer-Mittelwerten den parallel durchgeführten 4 h-Probenahmen und CSB-Laboranalysen während der beiden Untersuchungstage Di 23./Mi 24.05.2023 und Mi 24./Do 25.05.2023 gegenübergestellt.

Tabelle 25 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023.

Di 23./Mi 24.05.2023 Zeitbereich	spec 12150408 PNG1 ZL-links	spec 12150088 PNG2 ZL-rechts	spec 17400003 PNG3 ZL-PN-Wanne	i::scan 22050538 PNG3 ZL-PN-Wanne	Labor PNG3 ZL-PN-Wanne	Labor PN EÜ
08:00–12:00	537	678	611	373	1090	
12:00–16:00	483	499	491	294	780	
16:00–20:00	503	469	481	343	565	
20:00–24:00	320	264	231	170	430	
00:00–04:00	277	198	168	125	322	
04:00–08:00	293	202	154	118	244	
Tagesmischprobe	398	377	356	237	583	666

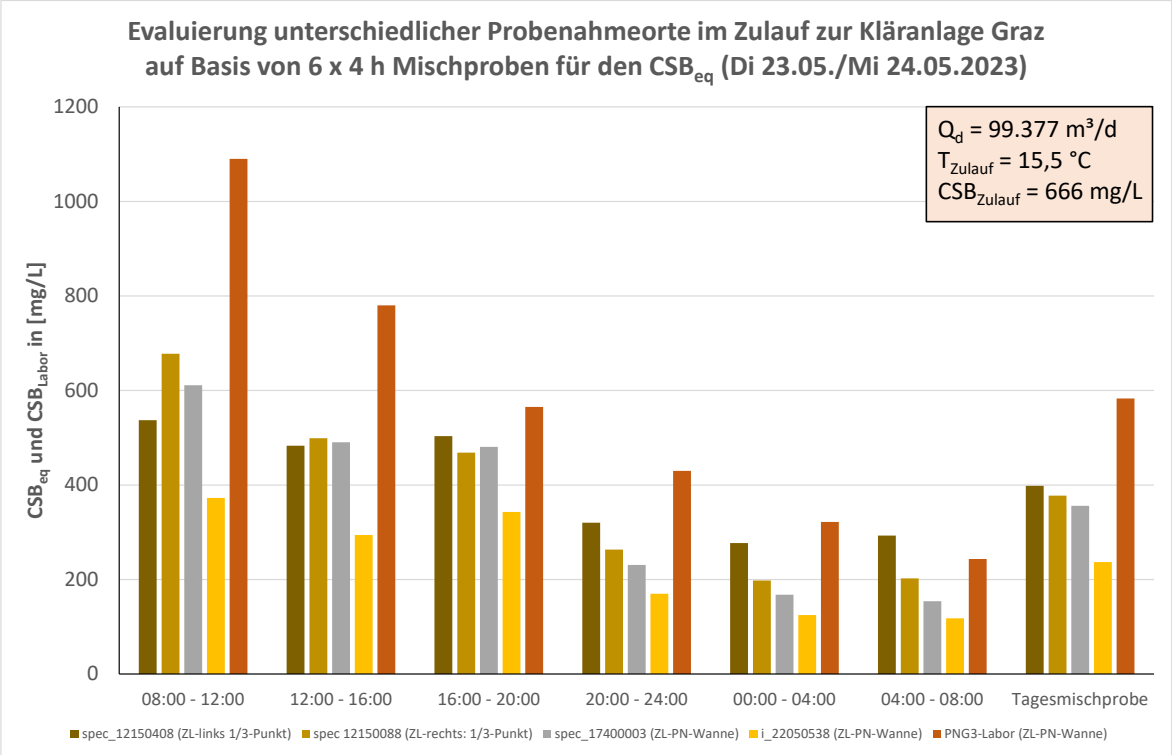
Tabelle 26 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023.

Mi 24./Do 25.05.2023 Zeitbereich	spec 12150408 PNG1 ZL-links	spec 12150088 PNG2 ZL-rechts	spec 17400003 PNG3 ZL-PN-Wanne	i::scan 22050538 PNG3 ZL-PN-Wanne	Labor PNG3 ZL-PN-Wanne	Labor PN EÜ
08:00–12:00	470	440	399	260	887	
12:00–16:00	328	258	219	172	685	

Mi 24./Do 25.05.2023 Zeitbereich	spec 12150408 PNG1 ZL-links	spec 12150088 PNG2 ZL-rechts	spec 17400003 PNG3 ZL-PN-Wanne	i::scan 22050538 PNG3 ZL-PN-Wanne	Labor PNG3 ZL-PN-Wanne	La- bor PN EÜ
16:00–20:00	292	229	175	135	391	
20:00–24:00	328	243	184	145	569	
00:00–04:00	309	237	169	135	357	
04:00–08:00	252	184	91	89	198	
Tagesmischprobe	330	265	206	156	519	327

In der Abbildung 28 sind die 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen für den Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023 gegenübergestellt und in der Abbildung 29 die vollkommenen CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen an diesem Untersuchungstag dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 99.377 m³/d deutlicher Regenwettereinfluss vorlag.

Abbildung 28 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023.



Deutlich zu erkennen ist dabei, dass alle 4 UV/VIS-Spektrometer-Mittelwerte die parallel ermittelten Probenahme- und Laborwerte deutlich unterschätzt hatten, was auf eine schlechte Anpassung der verwendeten globalen Kalibrationen an die vorherrschende Abwassermatrix schließen lässt.

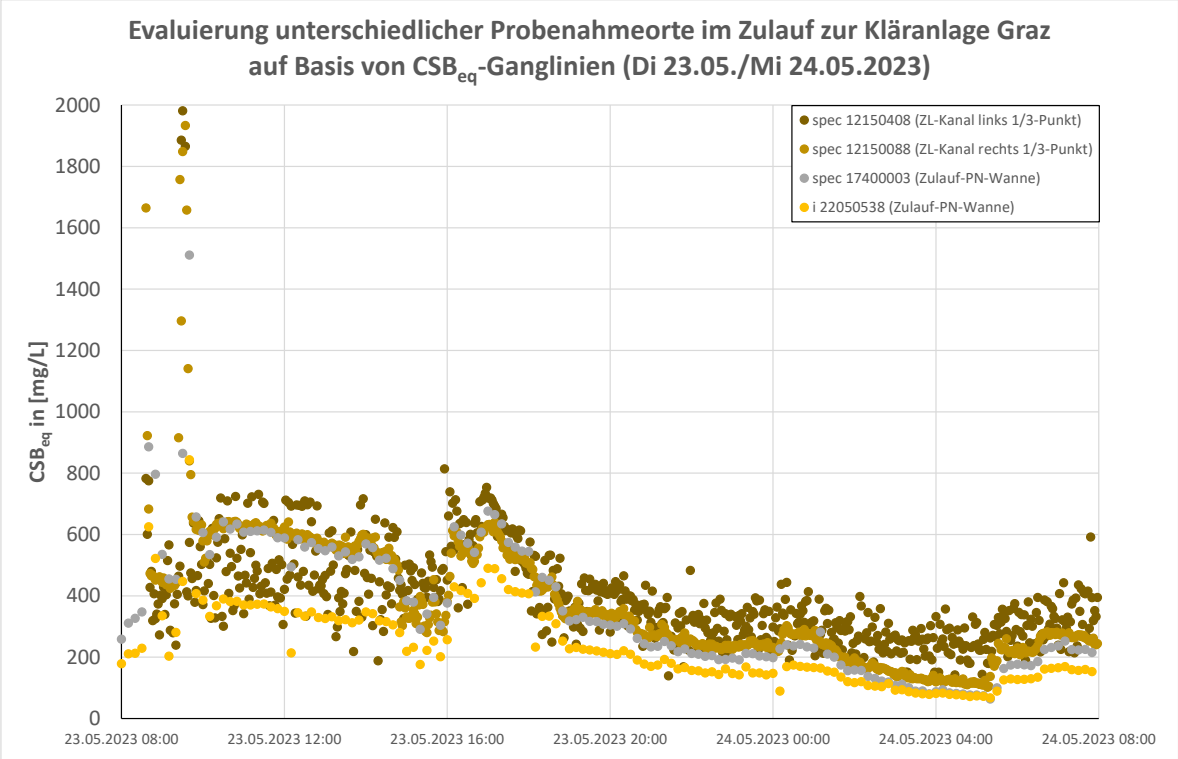
Von den beiden jeweils in den 1/3-Punkten installierten mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links ergaben jene im linken Zulaufgerinne zumeist höhere CSB_{eq}-Mittelwerte, wodurch auf inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen geschlossen werden muss.

Tagsüber lagen die 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte der UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links in ähnlichen Bereichen wie die 4 h-Mittelwerte des in der Zulauf-Probenahme-Wanne installierten UV/VIS-Spektrometers spec_17400003, was sich während der Nachtstunden änderte und wo die AFS_{eq}-Werte dieser stationären Sonde deutlich

unterhalb der Mittelwerte der beiden mobilen Sonden lagen. In allen 4 h-Perioden waren die CSB_{eq}-Konzentrationen des i::scans am geringsten.

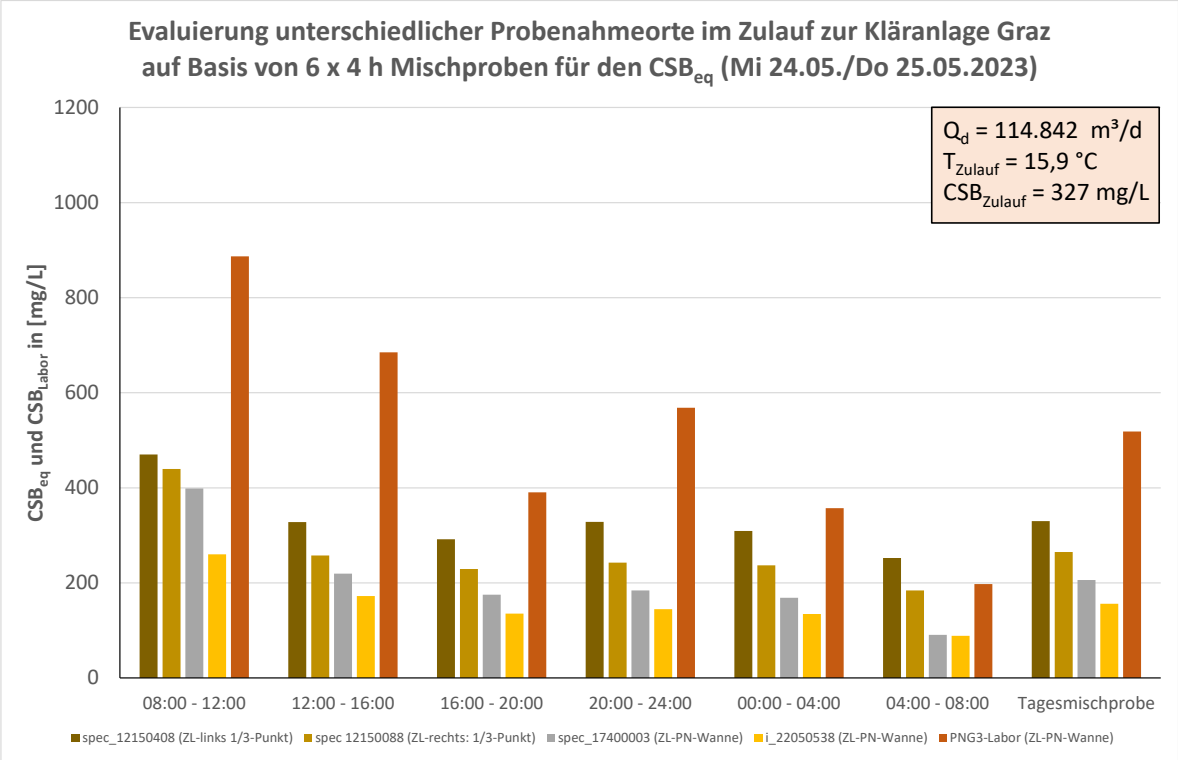
In den 4 CSB_{eq}-Verläufen der Abbildung 29 fällt im Vergleich der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometer in den beiden Zulaufgerinnen auf, dass die CSB_{eq}-Konzentrationen im linken Zulaufgerinne deutlich stärker streuten als jene im rechten, was auf turbulentere Verhältnisse im linken Zulaufgerinne schließen lässt.

Abbildung 29 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Di 23./Mi 24.05.2023.



In der Abbildung 30 sind die 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen für den Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023 gegenübergestellt und in der Abbildung 31 die vollkommenen CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen an diesem Untersuchungstag dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 114.842 m^3/d deutlicher Regenwettereinfluss vorlag.

Abbildung 30 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023.



Deutlich zu erkennen ist dabei, dass alle 4 UV/VIS-Spektrometer-Werte die parallel ermittelten Probenahme- und Laborwerte auch an diesem Untersuchungstag wieder deutlich unterschätzt hatten, was auf eine schlechte Anpassung der verwendeten globalen Kalibrationen an die vorherrschende Abwassermatrix schließen lässt.

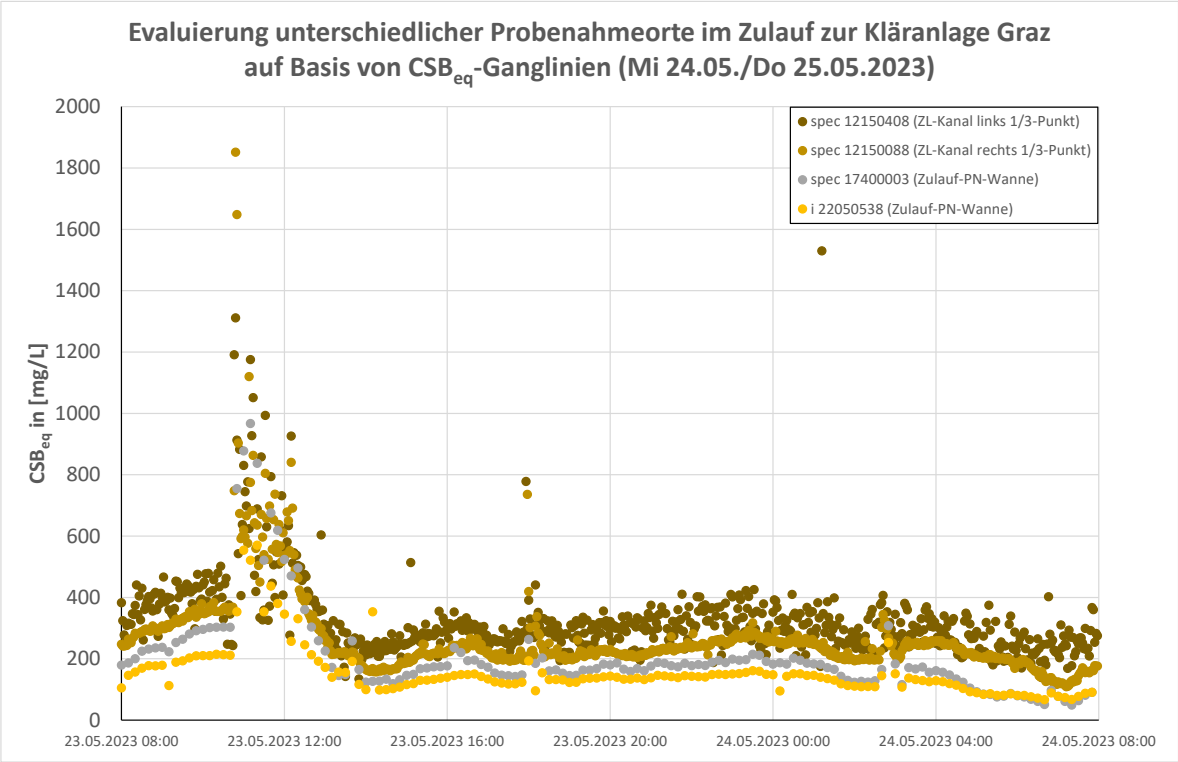
Von den beiden jeweils in den 1/3-Punkten installierten mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links ergaben jene im linken Zulaufgerinne klar höhere Werte, wodurch auf inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen geschlossen werden muss.

Die 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links lagen durchwegs über den 4 h-Mittelwerten des in der Zulauf-Probenahme-Wanne permanent installierten UV/VIS-Spektrometers spec_17400003. In allen 4 h-Perioden waren die CSB_{eq}-Konzentrationen des i::scans am geringsten.

In den 4 CSB_{eq}-Verläufen der Abbildung 31 fällt im Vergleich der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometer in den beiden Zulaufgerinnen auf, dass die CSB_{eq}-Konzentrationen im linken

Zulaufgerinne deutlich stärker streuten als jene im rechten, was auf turbulentere Verhältnisse im linken Zulaufgerinne schließen lässt.

Abbildung 31 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Mi 24./Do 25.05.2023.



3.2.2 Ergebnisse der 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahme-Horizonte im Zulauf zur Kläranlage Graz

Im Rahmen dieser beiden am Di 20./Mi 21.06.2023 und am Mi 21./Do 22.06.2023 jeweils von 08:00 bis 08:00 durchgeführten 24 h-Messkampagnen wurden mit 4 baugleichen, automatischen PNG die nachfolgenden 4 unterschiedlichen Probenahme-Horizonte im Zulaufbereich der Kläranlage Graz zeitgleich und mit identen Parametrierungen der 4 PNG miteinander verglichen:

- PNG1: Zulaufkanal links im 1/3-Punkt unterhalb des Wasserspiegels
- PNG2: Zulaufkanal rechts im 1/3 Punkt unterhalb des Wasserspiegels
- PNG3: Zulaufkanal links im 2/3-Punkt unterhalb des Wasserspiegels
- PNG4: Zulaufkanal rechts im 2/3 Punkt unterhalb des Wasserspiegels

Zusätzlich wurden während dieser beiden 24 h-Messkampagnen auch noch die stationäre UV/VIS-Spektrometer-Sonde in der Zulauf-Bypass-Wanne und zwei temporär installierte UV/VIS-Spektrometer-Sonden jeweils in den 1/3-Punkten der Abflusstiefe in den beiden Zulaufkanälen vor den Sandfängen verwendet und genutzt. Mit diesen 3 On-line-Sonden wurden die zeitlichen Verläufe der CSB_{eq}- und AFS_{eq}-Konzentrationen während der beiden 24 h-Messkampagnen mit einer zeitlichen Auflösung von 2 Minuten aufgezeichnet.

3.2.2.1 Ergebnisse der 24 h-Probenahmen in den 4 unterschiedlichen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz

In der Tabelle 27 bis zur Tabelle 34 sind die ausgeliterten Probenahmevolumina der mit jeweils 24 Stück Probenahmeflaschen bestückten 4 Probenahmegeräte PNG1, PNG2, PNG3 und PNG4 über die 6 x 4 h-Zeitperioden der beiden 24 h-Messkampagnen zusammengefasst. Dabei sollte das Soll-Probenvolumen in jeder Probenahmeflasche bei der voreingestellten zeitproportionalen Teilprobenentnahme von 150 mL alle 10 min im Idealfall jeweils 6 x 150 mL = 900 mL betragen, was zumeist mit akzeptablen Abweichungen erreicht werden konnte. Dort, wo die Abweichungen von den 900 mL Soll-Probenahmeflaschen-Volumen größer waren, waren diese Abweichungen allerdings relativ konstant, was auf eine stabile Teilprobenentnahme während der 60-minütigen Befüllung der Probenahmeflaschen mit etwas reduzierten Teilprobenvolumina hinwies.

Von den 4 h-Mischproben von ca. 4 x 900 mL = 3.600 mL Probenvolumen wurden jeweils 500 mL zur Herstellung einer zeitproportionalen 24 h-Tagesmischprobe verwendet, woraus jeweils 3000 mL zeitproportionale Tagesprobenvolumina resultierten, die neben den einzelnen 4 h-Mischproben ebenfalls labortechnisch auf die AFS- und CSB-Konzentrationen hin analysiert wurden. Diese konnten von der Größenordnung her auch mit den korrespondierenden, mengenproportional gezogenen 24 h-Tagesmischproben der Kläranlage aus der Eigenüberwachung verglichen werden.

Tabelle 27 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 im 1/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023.

Di 20./Mi 21.06.2023 **PNG1 - ZL links 1/3**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	900 mL	880 mL	960 mL	800 mL
12:00–16:00	840 mL	880 mL	870 mL	870 mL
16:00–20:00	920 mL	870 mL	890 mL	900 mL
20:00–24:00	860 mL	840 mL	840 mL	840 mL
00:00–04:00	830 mL	830 mL	810 mL	840 mL
04:00–08:00	830 mL	820 mL	840 mL	850 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 28 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 im 1/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023.

Mi 21./Do 22.06.2023 **PNG1 - ZL links 1/3**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	940 mL	920 mL	900 mL	890 mL
12:00–16:00	910 mL	900 mL	850 mL	830 mL
16:00–20:00	870 mL	810 mL	840 mL	920 mL
20:00–24:00	880 mL	870 mL	880 mL	880 mL
00:00–04:00	870 mL	900 mL	870 mL	920 mL

Mi 21./Do 22.06.2023 PNG1 - ZL links 1/3	PN-Flasche 1	PN-Flasche 2	PN-Flasche 3	PN-Flasche 4
04:00–08:00	860 mL	870 mL	900 mL	880 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 29 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2 im 1/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023.

Di 20./Mi 21.06.2023 PNG2 - ZL rechts 1/3	PN-Flasche 1	PN-Flasche 2	PN-Flasche 3	PN-Flasche 4
08:00–12:00	750 mL	800 mL	750 mL	750 mL
12:00–16:00	750 mL	700 mL	800 mL	740 mL
16:00–20:00	740 mL	760 mL	770 mL	700 mL
20:00–24:00	740 mL	750 mL	700 mL	740 mL
00:00–04:00	740 mL	740 mL	750 mL	730 mL
04:00–08:00	730 mL	730 mL	740 mL	740 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 30 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2 im 1/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023.

Mi 21./Do 22.06.2023 PNG2 - ZL rechts 1/3	PN-Flasche 1	PN-Flasche 2	PN-Flasche 3	PN-Flasche 4
08:00–12:00	760 mL	740 mL	730 mL	740 mL
12:00–16:00	760 mL	800 mL	740 mL	740 mL
16:00–20:00	740 mL	760 mL	740 mL	750 mL
20:00–24:00	730 mL	740 mL	710 mL	730 mL
00:00–04:00	730 mL	720 mL	730 mL	730 mL
04:00–08:00	730 mL	725 mL	700 mL	730 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 31 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 im 2/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023.

Di 20./Mi 21.06.2023 **PNG3 - ZL links 2/3**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	700 mL	700 mL	700 mL	700 mL
12:00–16:00	700 mL	700 mL	700 mL	670 mL
16:00–20:00	700 mL	710 mL	690 mL	700 mL
20:00–24:00	710 mL	720 mL	720 mL	710 mL
00:00–04:00	710 mL	710 mL	710 mL	710 mL
04:00–08:00	700 mL	700 mL	710 mL	700 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 32 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 im 2/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023.

Mi 21./Do 22.06.2023 **PNG3 - ZL links 2/3**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	680 mL	680 mL	690 mL	690 mL
12:00–16:00	680 mL	680 mL	680 mL	690 mL
16:00–20:00	680 mL	690 mL	690 mL	680 mL
20:00–24:00	680 mL	680 mL	680 mL	680 mL
00:00–04:00	680 mL	680 mL	670 mL	680 mL
04:00–08:00	680 mL	670 mL	680 mL	670 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 33 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 im 2/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023.

Di 20./Mi 21.06.2023 **PNG4- ZL rechts 2/3**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	800 mL	850 mL	800 mL	810 mL
12:00–16:00	810 mL	810 mL	820 mL	810 mL
16:00–20:00	800 mL	810 mL	810 mL	810 mL
20:00–24:00	810 mL	810 mL	810 mL	810 mL
00:00–04:00	810 mL	810 mL	810 mL	810 mL
04:00–08:00	810 mL	805 mL	800 mL	800 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 34 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 im 2/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023.

Mi 21./Do 22.06.2023 **PNG4 - ZL rechts 2/3**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	810 mL	805 mL	810 mL	810 mL
12:00–16:00	810 mL	760 mL	860 mL	810 mL
16:00–20:00	800 mL	810 mL	850 mL	810 mL
20:00–24:00	810 mL	790 mL	830 mL	780 mL
00:00–04:00	810 mL	800 mL	830 mL	790 mL
04:00–08:00	790 mL	800 mL	810 mL	790 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

In der Tabelle 35 bis zur Tabelle 42 sind die Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der mit den Probenahmegeräten PNG1, PNG2, PNG3 und PNG4 gewonnenen 6 x 4 h-Mischproben während der beiden 24 h-Messkampagnen zusammengefasst.

In den Tabellen dargestellt sind jeweils die Ergebnisse der laboranalytischen AFS- und CSB-Doppelbestimmungen der 4 h-Mischproben und die daraus resultierenden Mittelwerte.

Weiters sind in den Tabellen auch noch die Ergebnisse der Tagesmischproben enthalten, die jeweils zeitproportional aus den 6 x 4 h-Mischroben zusammengemischt wurden. Diese wiederum können mit den Laborergebnissen der korrespondierenden, mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung verglichen werden (Tabelle 43), die neben den hydraulischen Tageszulaufmengen und den mittleren Tagestemperaturen im Zulauf in den grafischen Auswertungen und Vergleichen ab der Abbildung 32 bis zu der Abbildung 35 enthalten sind.

Tabelle 35 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus dem linken Zulaufgerinne im 1/3-Punkt während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023.

Di 20./Mi 21.06.2023 PNG1 - ZL links 1/3	**AFS_1 [mg/L]**	**AFS_2 [mg/L]**	**AFS_{MW} [mg/L]**	**CSB_1 [mg/L]**	**CSB_2 [mg/L]**	**CSB_{MW} [mg/L]**
08:00–12:00	778	666	722	1058	1046	1052
12:00–16:00	400	436	418	904	896	900
16:00–20:00	490	460	475	792	753	773
20:00–24:00	428	422	425	712	810	761
00:00–04:00	364	328	346	659	661	660
04:00–08:00	340	374	357	457	463	460
Tagesmischprobe	352	340	346	734	727	731

Tabelle 36 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus dem linken Zulaufgerinne im 1/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023.

Mi 21./Do 22.06.2023 PNG1 - ZL links 1/3	**AFS_1 [mg/L]**	**AFS_2 [mg/L]**	**AFS_{MW} [mg/L]**	**CSB_1 [mg/L]**	**CSB_2 [mg/L]**	**CSB_{MW} [mg/L]**
08:00–12:00	366	364	365	748	700	724
12:00–16:00	380	358	369	776	787	782
16:00–20:00	306	324	315	780	783	782
20:00–24:00	424	420	422	989	950	970
00:00–04:00	312	324	318	678	673	676

Mi 21./Do 22.06.2023 PNG1 - ZL links 1/3	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
04:00–08:00	192	184	188	525	832	679
Tagesmischprobe	302	320	311	735	739	737

Tabelle 37 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 aus dem rechten Zulaufgerinne im 1/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023.

Di 20./Mi 21.06.2023 PNG2 - ZL rechts 1/3	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	472	508	490	615	614	615
12:00–16:00	386	300	343	670	708	689
16:00–20:00	522	474	498	744	712	728
20:00–24:00	402	350	376	808	776	792
00:00–04:00	292	328	310	707	698	703
04:00–08:00	362	356	359	358	358	358
Tagesmischprobe	268	276	272	585	610	598

Tabelle 38 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 aus dem rechten Zulaufgerinne im 1/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023.

Mi 21./Do 22.06.2023 PNG2 - ZL rechts 1/3	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	362	370	366	757	759	758
12:00–16:00	352	340	346	832	816	824
16:00–20:00	284	288	286	771	760	766
20:00–24:00	338	348	343	897	915	906
00:00–04:00	308	310	309	690	676	683
04:00–08:00	138	144	141	490	492	491
Tagesmischprobe	264	240	252	714	771	743

Tabelle 39 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus dem linken Zulaufgerinne im 2/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023.

Di 20./Mi 21.06.2023 PNG3 - ZL links 2/3	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	760	828	794	1158	1142	1150
12:00–16:00	490	428	459	878	827	853
16:00–20:00	508	538	523	704	696	700
20:00–24:00	482	550	516	743	784	764
00:00–04:00	442	444	443	684	695	690
04:00–08:00	288	275	282	386	379	383
Tagesmischprobe	324	338	331	719	725	722

Tabelle 40 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus dem linken Zulaufgerinne im 2/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023.

Mi 21./Do 22.06.2023 PNG3 - ZL links 2/3	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	390	390	390	770	718	744
12:00–16:00	348	422	385	877	897	887
16:00–20:00	312	296	304	775	762	769
20:00–24:00	360	364	362	850	848	849
00:00–04:00	298	300	299	673	680	677
04:00–08:00	156	144	150	526	532	529
Tagesmischprobe	310	280	295	726	729	728

Tabelle 41 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem rechten Zulaufgerinne im 2/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023.

Di 20./Mi 21.06.2023 PNG4 - ZL rechts 2/3	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	498	434	466	697	645	671
12:00–16:00	480	356	418	690	680	685
16:00–20:00	498	504	501	757	804	781
20:00–24:00	444	382	413	739	732	736
00:00–04:00	322	380	351	666	657	662
04:00–08:00	284	294	289	360	367	364
Tagesmischprobe	260	274	267	609	615	612

Tabelle 42 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem rechten Zulaufgerinne im 2/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023.

Mi 21./Do 22.06.2023 PNG4 - ZL rechts 2/3	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	334	346	340	742	746	744
12:00–16:00	356	360	358	877	861	869
16:00–20:00	302	334	318	760	778	769
20:00–24:00	336	338	337	806	826	816
00:00–04:00	288	300	294	645	637	641
04:00–08:00	110	104	107	463	460	462
Tagesmischprobe	278	274	276	754	691	723

Tabelle 43 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen aus den korrespondierenden, mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz.

PNG - ARA-Zulauf	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
Di 20./Mi 21.06.2023	356	356	356	725	712	719
Mi 21./Do 22.06.2023	330	314	322	712	744	728

3.2.2.2 Vergleich der 6 x 4 h-Probenahmen in den 4 unterschiedlichen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz auf Basis der AFS- und CSB-Laboranalysen

In der Tabelle 44 sind jeweils die Mittelwerte der AFS-Laborwerte in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten der beiden Zulaufgerinne zur ARA-Graz und an den beiden Untersuchungstagen Di 20.06./Mi 21.06.2023 und Mi 21.06./Do 22.06.2023 vergleichend gegenübergestellt. In der Tabelle 44 sind in der letzten Spalte auch die AFS-Laborwerte aus der mengenproportionalen 24 h-Eigenüberwachung der ARA-Graz enthalten.

Tabelle 44 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz am Untersuchungstag Di 20./Mi 21.06.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ).

Di 20./Mi 21.06.2023	PNG1	PNG2	PNG3	PNG4	PNG-ZL
Zeitbereich	ZL-Kanal links (1/3)	ZL-Kanal rechts (1/3)	ZL-Kanal links (2/3)	ZL-Kanal rechts (2/3)	ARA-EÜ
08:00–12:00	722	490	794	466	
12:00–16:00	418	343	459	418	
16:00–20:00	475	498	523	501	
20:00–24:00	425	376	516	413	
00:00–04:00	346	310	443	351	
04:00–08:00	357	359	282	289	
Tagesmischprobe	346	272	331	267	356

Tabelle 45 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz am Untersuchungstag Mi 21./Do 22.06.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ).

Mi 21./Do 22.06.2023	PNG1	PNG2	PNG3	PNG4	PNG-ZL
Zeitbereich	ZL-Kanal links (1/3)	ZL-Kanal rechts (1/3)	ZL-Kanal links (2/3)	ZL-Kanal rechts (2/3)	ARA-EÜ
08:00–12:00	365	366	390	340	
12:00–16:00	369	346	385	358	
16:00–20:00	315	286	304	318	
20:00–24:00	422	343	362	337	
00:00–04:00	318	309	299	294	
04:00–08:00	188	141	150	107	
Tagesmischprobe	311	252	295	276	322

In der Abbildung 32 sind sowohl die 6 x 4 h-AFS-Laborwerte als auch die Tagesmittelwerte in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz für den Untersuchungstag Di 20.06./Mi 21.06.2023 grafisch gegenübergestellt und in der Abbildung 33 jene für den Untersuchungstag Mi 21.06./Do 22.06.2023.

Dabei wurden in den beiden Abbildungen auch jeweils die hydraulischen Tageszulaufmengen, die durchschnittlichen Tageszulauftemperaturen und auch die aus der Eigenüberwachung (EÜ) resultierenden mengenproportionalen AFS-Konzentrationen für die beiden Untersuchungstage hinzugefügt. Dabei weisen die beiden hydraulischen Tageszulaufmengen an den beiden Untersuchungstagen dieser Messkampagne auf typische Trockenwetterbedingungen hin.

Die 6 x 4 h-AFS-Laborwerte in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten in den beiden Zulaufgerinnen wichen an den beiden Untersuchungstagen in Abhängigkeit von den 4 h-Perioden zum Teil deutlich voneinander ab. Dabei waren zumeist die AFS-Konzentrationen im linken Zulaufgerinne höher als im rechten Zulaufgerinne und auch jene in den 2/3-Punkten jeweils etwas höher als in den 1/3-Punkten, was auf sehr inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen hinweist. Aus diesem Grund wurde 2017 auch der Ansaugbereich für die Beschickung der Zulauf-Probenahme-Wanne nach der Vereinigung der beiden Zulaufgerinne vor der Verteilung auf die 3 belüfteten Sand- und Fettfänge gewählt, weil sich dort eine gut durchmischte Umlenkwalze ausbildet.

Abbildung 32 Vergleich der 4 h-AFS-Mittelwerte und der Tagesmischproben in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zeitraum Di 20.06./Mi 21.06.2023.

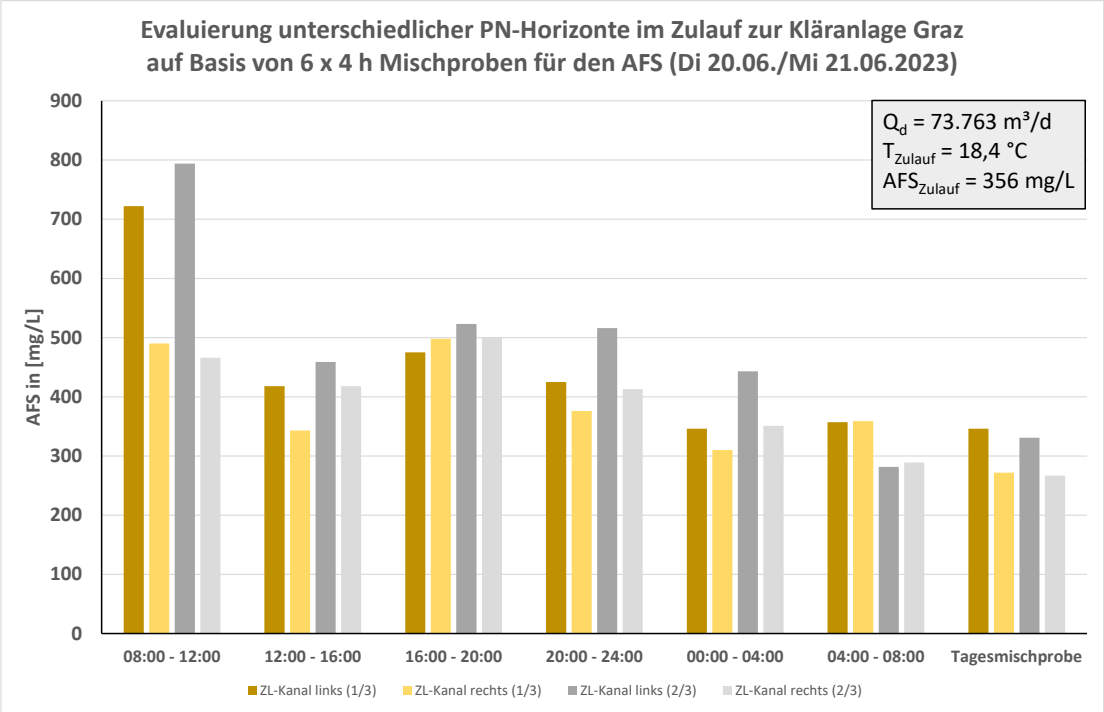
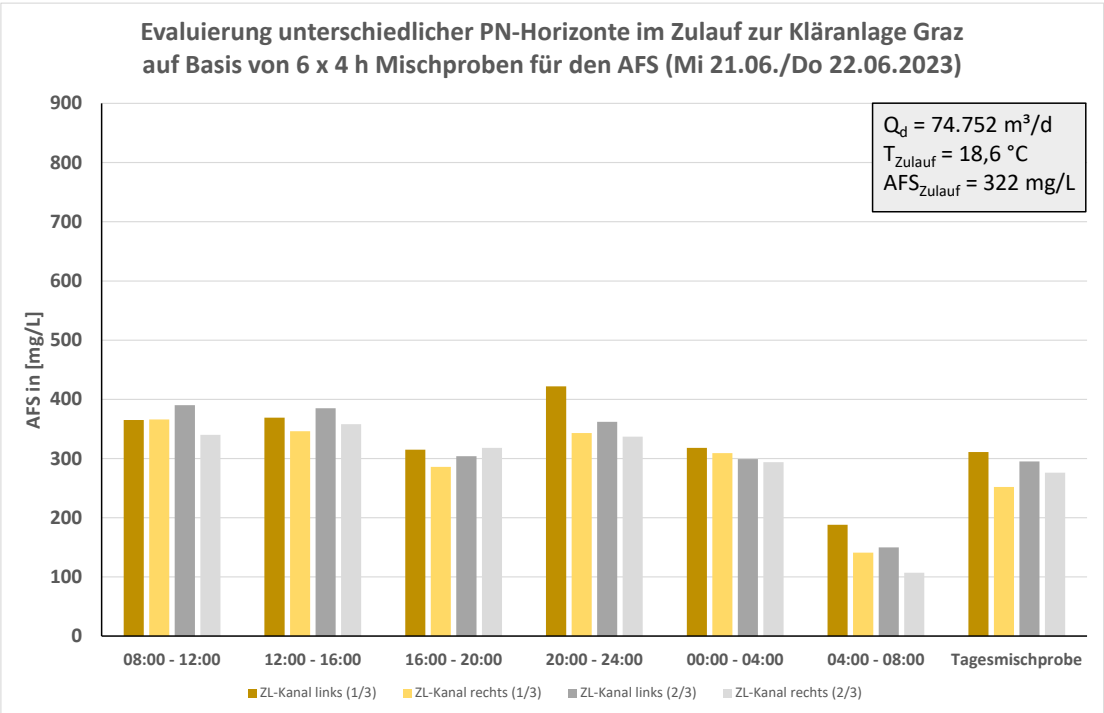


Abbildung 33 Vergleich der 4 h-AFS-Mittelwerte und der Tagesmischproben in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zeitraum Mi 21.06./Do 22.06.2023.



In der Tabelle 46 sind jeweils die Mittelwerte der CSB-Laborwerte in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten und an den Untersuchungstagen Di 20.06./Mi 21.06.2023 und Mi 21.06./Do 22.06.2023 vergleichend gegenübergestellt. In der Tabelle 46 sind in der letzten Spalte die CSB-Laborwerte aus der mengenproportionalen 24 h-EÜ der ARA-Graz enthalten.

Tabelle 46 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz am Untersuchungstag Di 20./Mi 21.06.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ).

Di 20./Mi 21.06.2023 Zeitbereich	PNG1 ZL-Kanal links (1/3)	PNG2 ZL-Kanal rechts (1/3)	PNG3 ZL-Kanal links (2/3)	PNG4 ZL-Kanal rechts (2/3)	PNG-ZL ARA-EÜ
08:00–12:00	1052	615	1150	671	
12:00–16:00	900	689	853	685	
16:00–20:00	773	728	700	781	
20:00–24:00	761	792	764	736	
00:00–04:00	660	703	690	662	
04:00–08:00	460	358	383	364	
Tagesmischprobe	731	598	722	612	719

Tabelle 47 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz am Untersuchungstag Mi 21./Do 22.06.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ).

Mi 21./Do 22.06.2023 Zeitbereich	PNG1 ZL-Kanal links (1/3)	PNG2 ZL-Kanal rechts (1/3)	PNG3 ZL-Kanal links (2/3)	PNG4 ZL-Kanal rechts (2/3)	PNG-ZL ARA-EÜ
08:00–12:00	724	758	744	744	
12:00–16:00	782	824	887	869	
16:00–20:00	782	766	769	769	
20:00–24:00	970	906	849	816	
00:00–04:00	676	683	677	641	
04:00–08:00	679	491	529	462	
Tagesmischprobe	737	743	728	723	728

In der Abbildung 34 sind sowohl die 6 x 4 h-CSB-Laborwerte als auch die Tagesmittelwerte in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz für den Untersuchungstag Di 20.06./Mi 21.06.2023 grafisch gegenübergestellt und in der Abbildung 35 jene für den Untersuchungstag Mi 21.06./Do 22.06.2023.

Dabei wurden in den beiden Abbildungen auch jeweils die hydraulischen Tageszulaufmengen, die durchschnittlichen Tageszulauftemperaturen und auch die aus der EÜ resultierenden mengenproportionalen CSB-Konzentrationen für die beiden Untersuchungstage hinzugefügt. Dabei weisen die beiden hydraulischen Tageszulaufmengen an den beiden Untersuchungstagen dieser Messkampagne auf typische Trockenwetterbedingungen hin.

Die 6 x 4 h-CSB-Laborwerte in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten in den beiden Zulaufgerinnen wichen an den beiden Untersuchungstagen in Abhängigkeit von den 4 h-Perioden zumeist voneinander ab. Dabei waren die CSB-Konzentrationen im linken Zulaufgerinne häufig etwas höher als im rechten Zulaufgerinne. Bei den unterschiedlichen Probenahme-Horizonten in den beiden Gerinnen gab es beim CSB keine einheitliche Tendenz zwischen den 1/3- und 2/3-Punkten. Beide Umstände weisen auf sehr inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen hin. Aus diesem Grund wurde 2017 auch der Ansaugbereich für die Beschickung der Zulauf-Probenahme-Wanne nach der Vereinigung der beiden Zulaufgerinne vor der Verteilung auf die 3 belüfteten Sand- und Fettfänge gewählt, weil sich dort eine gut durchmischte Umlenkwalze ausbildet.

Abbildung 34 Vergleich der 4 h-CSB-Mittelwerte und der Tagesmischproben in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum Di 20.06./Mi 21.06.2023.

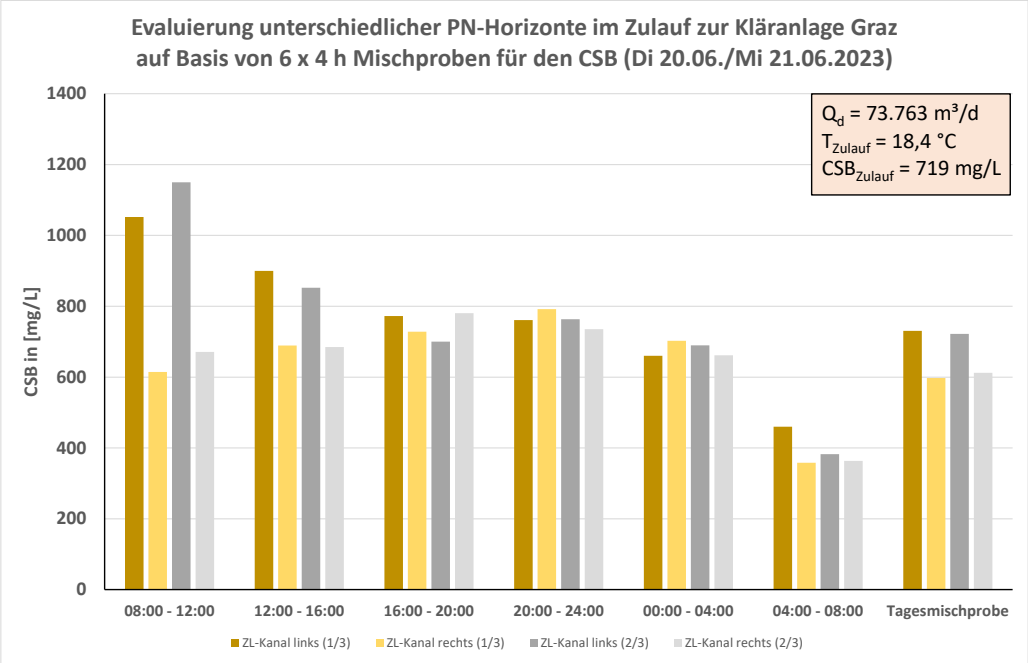
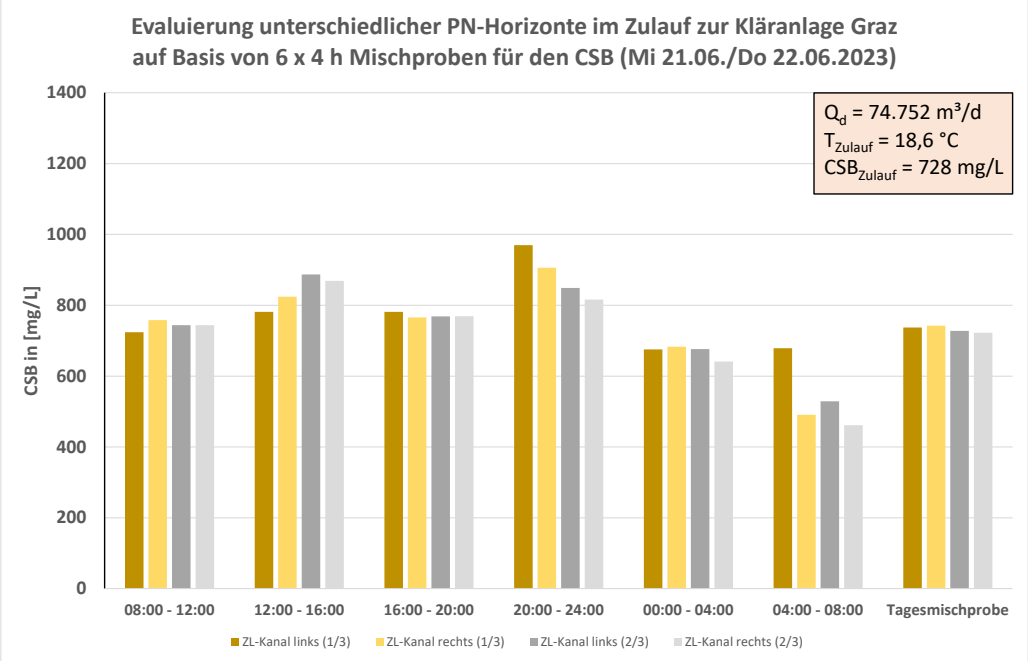


Abbildung 35 Vergleich der 4 h-CSB-Mittelwerte und der Tagesmischproben in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum im Zeitraum Mi 21.06./Do 22.06.2023.



3.2.2.3 Vergleich der 6 x 4 h-UV/VIS-Messungen bei der Untersuchung unterschiedlicher Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz

Parallel zu den konventionellen Probenahmen und anschließender AFS- und CSB-Laboranalytik über die 6 x 4 h-Zeiträume der beiden Untersuchungstage dieser Messkampagne wurden während der beiden 24 h-Messkampagnen zwei Probenahme-Horizonte zeitgleich auch mit UV/VIS-Spektrometer-Sonden gemessen, die in der Lage sind, sog. Äquivalenz-Konzentrationen für die AFS_{eq} und den CSB_{eq} mit einer zeitlichen Auflösung von 2 min zu messen. Aus den daraus resultierenden 120 Einzelmessungen pro 4 h-Zeitraum wurden im Anschluss die Mittelwerte gebildet und diese miteinander verglichen. Dabei wurden jeweils für die ARA-Graz entwickelte globale Kalibrationen verwendet, die mehr oder weniger gut die laboranalytisch bestimmbaren Konzentrationen abbilden. Eine lokale Kalibration der Spektrometer-Sonden an die vorherrschenden Abwassermatrizen war zunächst nicht vorgesehen.

Während dieser Messkampagne wurden die folgenden UV/VIS-Spektrometer-Sonden an drei der untersuchten Probenahmeorte verwendet:

- PNG1 (Zulaufkanal links im 1/3-Punkt):
  Mobiler 2 mm „spec_12150408“ mit der globalen Kalibration INFLU004V16T
- PNG2 (Zulaufkanal rechts im 1/3-Punkt):
  Mobiler 2 mm „spec_12150088“ mit der globalen Kalibration INFLU004V16T
- PNG3 (Zulauf-Probenahme-Wanne):
  Stationärer 2 mm „spec_17400003“ mit der globalen Kalibration INFLU004V16T
  Stationärer i::scan „i_22050538“ mit einer globalen Werkseinstellung

Die beiden mobilen UV/VIS-Spektrometer-Sonden mit den Seriennummern „spec_12150408“ und „spec_12150088“ wurden unmittelbar vor den durchgeführten Messkampagnen von der Firma Badger Meter (vormals s::can) komplett serviciert und als absolut gleichwertig befunden. D. h., dass in vergleichbaren Abwassermedien mit derselben aktivierten globalen Kalibration vergleichbare Äquivalenz-Konzentrationen für die AFS_{eq} und den CSB_{eq} zu erwarten sind. Diese beiden Sonden wurden jeweils nur während der beiden Untersuchungstage der durchgeführten Messkampagnen betrieben.

In der Zulauf-Probenahme-Wanne waren stationär die UV/VIS-Spektrometer-Sonde mit der Seriennummern „spec_17400003“ sowie auch ein i::scan mit der Seriennummer

„i_22050538“ installiert, der u. a. auch AFS_{eq}- und CSB_{eq}-Konzentrationen misst. Diese beiden On-line-Sonden sind zur Betriebsüberwachung permanent in der Zulauf-Probenahme-Wanne installiert und messen dort auch mit einem Messintervall von 2 Minuten die Äquivalenz-Konzentrationen für die AFS_{eq} und den CSB_{eq}.

3.2.2.3.1 Vergleich der AFS_{eq}-UV/VIS-Messungen

In der Tabelle 48 und in der Tabelle 49 sind die 4 verschiedenen AFS_{eq}-Konzentrationen auf Basis der rechnerisch ermittelten 4 h-UV/VIS-Spektrometer-Mittelwerte während der beiden Untersuchungstage Di 20./Mi 21.06.2023 und Mi 21./Do 22.06.2023 gegenübergestellt.

Tabelle 48 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen am Di 20./Mi 21.06.2023.

Di 20./Mi 21.06.2023	spec 12150408 PNG1	spec 12150088 PNG2	spec 17400003 PNG3	i::scan 22050538 PNG3	Labor PN
Zeitbereich	ZL-links	ZL-rechts	ZL-PN-Wanne	ZL-PN-Wanne	EÜ
08:00–12:00	369	264	231	115	
12:00–16:00	296	269	205	95	
16:00–20:00	316	281	181	89	
20:00–24:00	426	267	158	81	
00:00–04:00	374	238	132	70	
04:00–08:00	365	182	54	43	
Tagesmischprobe	358	250	160	82	356

Tabelle 49 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen am Mi 21./Do 22.06.2023.

Mi 21./Do 22.06.2023	spec 12150408 PNG1	spec 12150088 PNG2	spec 17400003 PNG3	i::scan 22050538 PNG3	Labor PN
Zeitbereich	ZL-links	ZL-rechts	ZL-PN-Wanne	ZL-PN-Wanne	EÜ
08:00–12:00	540	272	172	81	

Mi 21./Do 22.06.2023 Zeitbereich	spec 12150408 PNG1 ZL-links	spec 12150088 PNG2 ZL-rechts	spec 17400003 PNG3 ZL-PN-Wanne	i::scan 22050538 PNG3 ZL-PN-Wanne	Labor PN EÜ
12:00–16:00	512	291	196	92	
16:00–20:00	565	275	189	91	
20:00–24:00	640	293	178	90	
00:00–04:00	629	243	154	81	
04:00–08:00	686	208	81	56	
Tagesmischprobe	595	264	162	82	322

In der Abbildung 36 sind die 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen für den Untersuchungstag Di 20./Mi 21.06.2023 vergleichend gegenübergestellt und in der Abbildung 37 die vollkommenen AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen an diesem Untersuchungstag dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 73.763 m³/d Trockenwetterbedingungen herrschten.

Abbildung 36 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen am Untersuchungstag Di 20./Mi 21.06.2023.

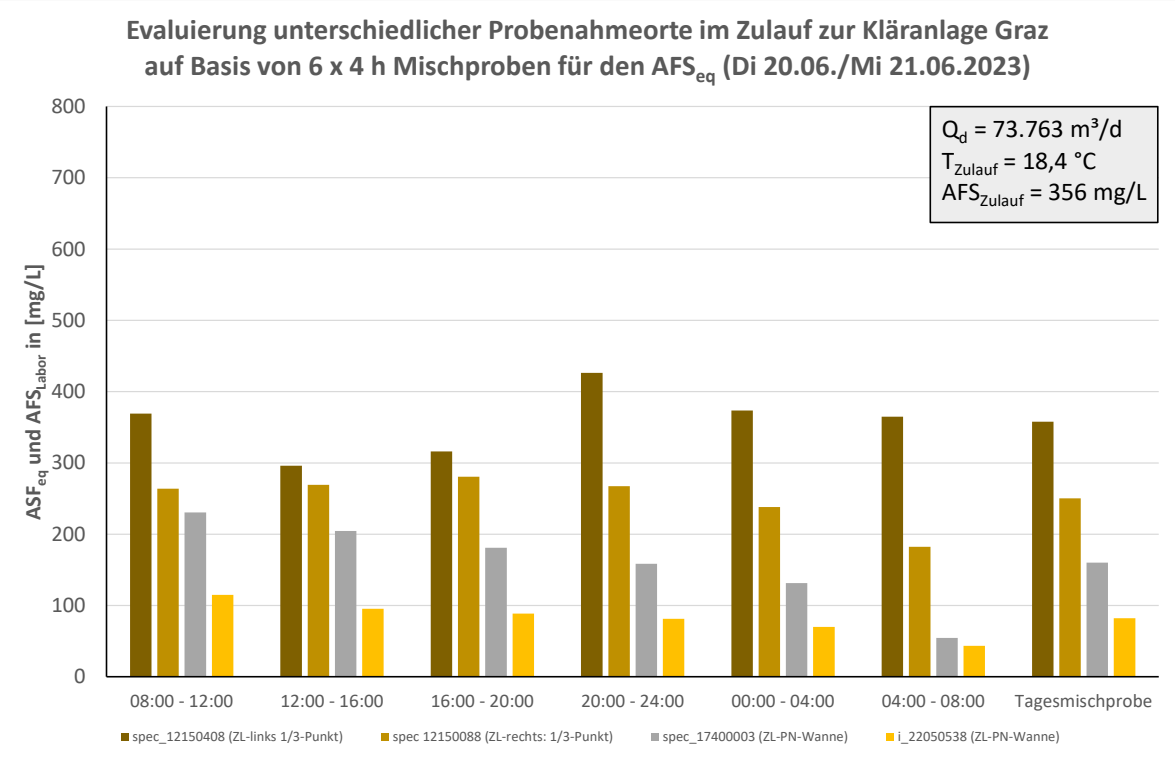
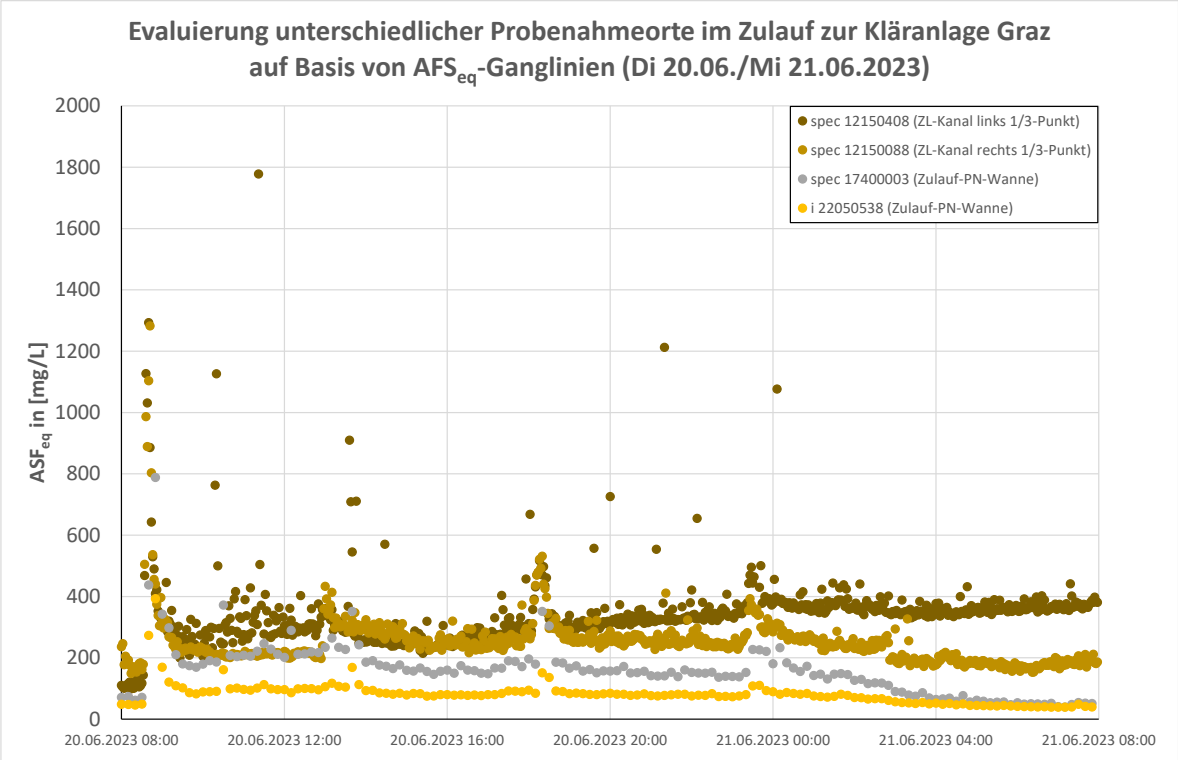


Abbildung 37 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Di 20./Mi 21.06.2023.



Von den beiden jeweils in den 1/3-Punkten installierten mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen links und rechts ergaben jene im linken Zulaufgerinne deutlich höhere Werte, was inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen vermuten lässt.

Die 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte der UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links waren deutlich höher als die 4 h-Mittelwerte des in der Zulauf-Probenahme-Wanne installierten UV/VIS-Spektrometers spec_17400003. In allen 4 h-Perioden waren die AFS_{eq}-Konzentrationen des i::scans am geringsten.

In den 4 AFS_{eq}-Verläufen der Abbildung 37 fällt im Vergleich der 4 UV/VIS-Spektrometer-Sonden auf, dass die AFS_{eq}-Konzentrationen an diesem Trockenwetter-Untersuchungstag nicht so stark streuten wie an den vorangegangenen Untersuchungstagen. Am stärksten streuten aber auch an diesem Untersuchungstag die AFS_{eq}-Konzentrationen im linken Zulaufgerinne.

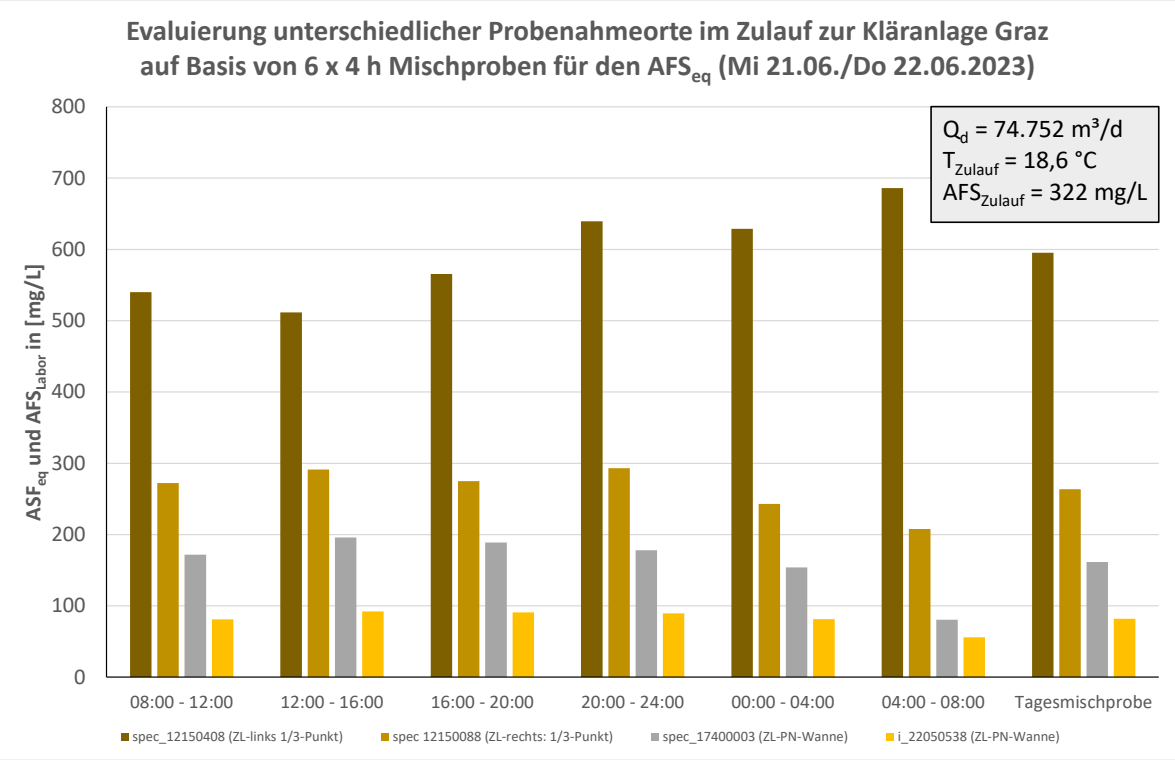
In der Abbildung 38 sind die 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen für den Untersuchungstag Mi 21./Do 22.06.2023 vergleichend gegenübergestellt

und in der Abbildung 39 die vollkommenen AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen an diesem Untersuchungstag dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 74.752 m³/d ebenfalls Trockenwetterbedingungen herrschten.

Von den beiden jeweils in den 1/3-Punkten installierten mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links ergaben jene im linken Zulaufgerinne an diesem Untersuchungstag wieder deutlich höhere Werte als im rechten, was auf inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen schließen lässt.

Die 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links lagen durchwegs über den 4 h-Mittelwerten des in der Zulauf-Probenahme-Wanne permanent installierten UV/VIS-Spektrometers spec_17400003. In allen 4 h-Perioden waren die AFS_{eq}-Konzentrationen des i::scans am geringsten.

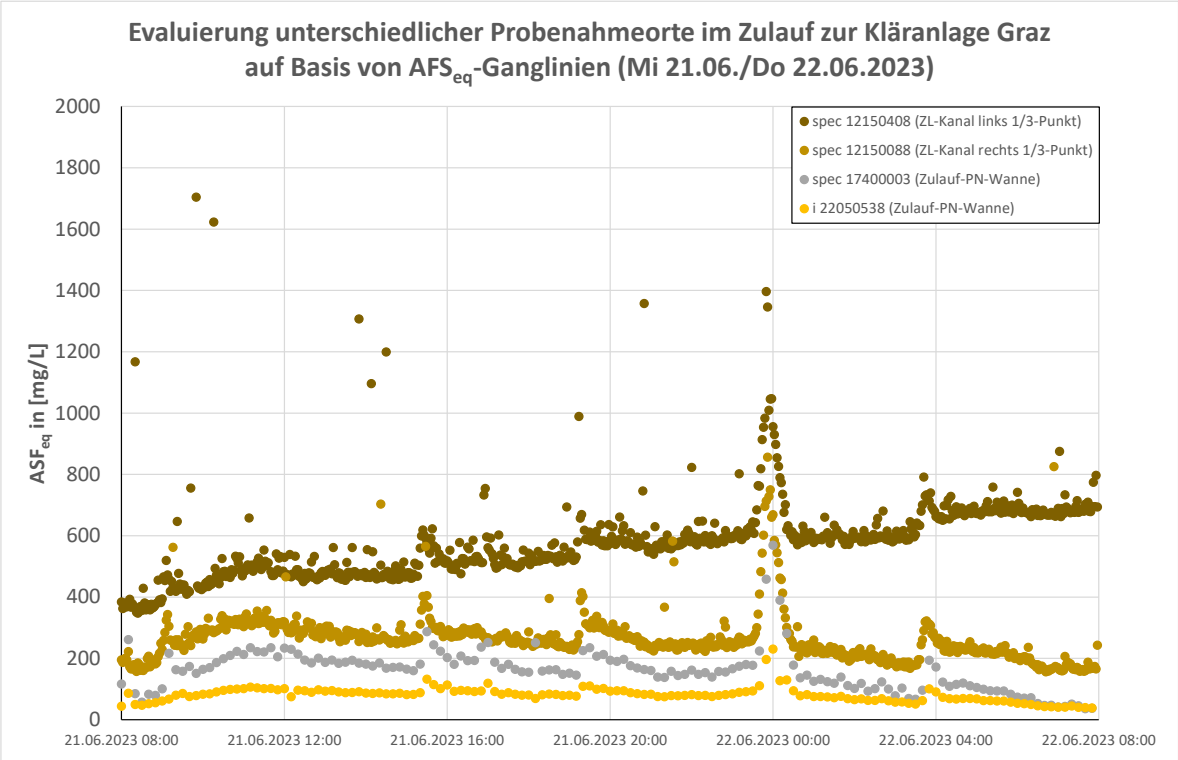
Abbildung 38 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 21./Do 22.06.2023.



In den 4 AFS_{eq}-Verläufen der Abbildung 39 fällt im Vergleich der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometer in den beiden Zulaufgerinnen auf, dass beide AFS_{eq}-Konzentrationsverläufe

an diesem Untersuchungstag relativ stabil waren und wenig streuten und die AFS_{eq}-Konzentrationen im linken Zulaufgerinne deutlich höher lagen als im rechten, was auf sehr inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen schließen lässt.

Abbildung 39 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Mi 21./Do 22.06.2023.



3.2.2.3.2 Vergleich der CSB_{eq}-UV/VIS-Messungen

In der Tabelle 50 und in der Tabelle 51 sind die 4 verschiedenen CSB_{eq}-Konzentrationen auf Basis der rechnerisch ermittelten 4 h-UV/VIS-Spektrometer-Mittelwerte während der beiden Untersuchungstage Di 20./Mi 21.06.2023 und Mi 21./Do 22.06.2023 gegenübergestellt.

Tabelle 50 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen am Di 20./Mi 21.06.2023.

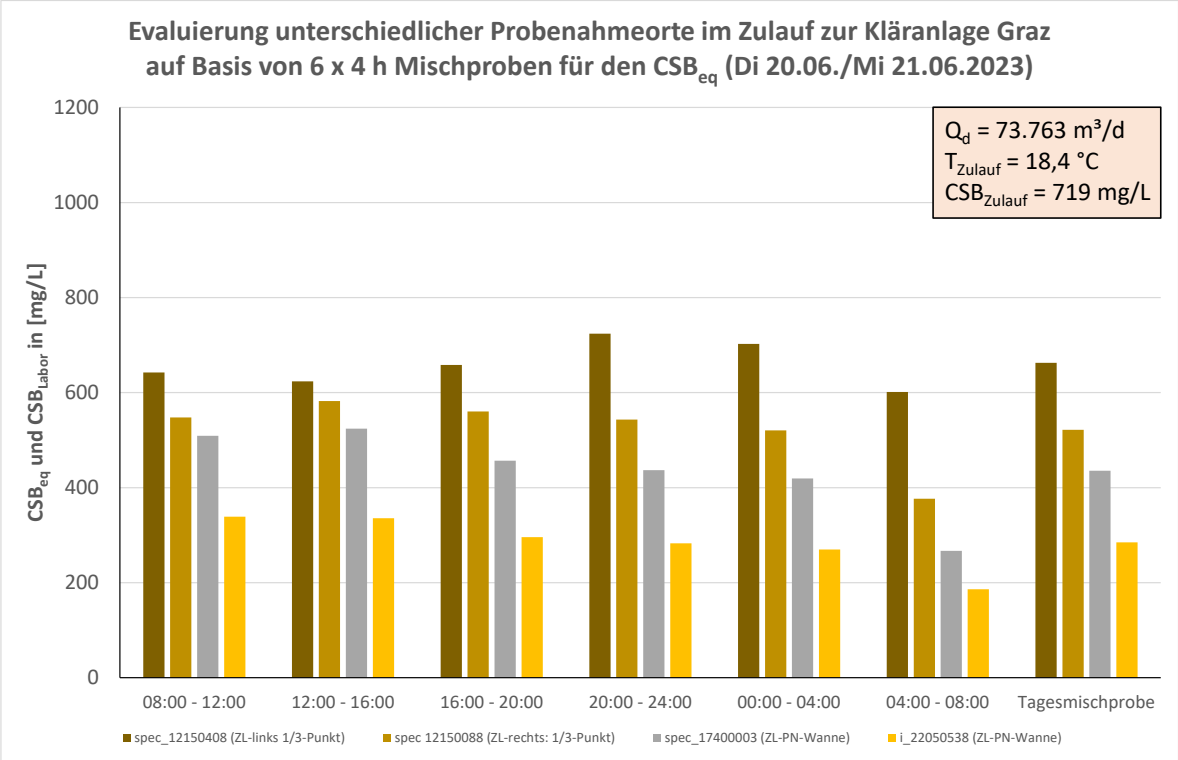
Di 20./Mi 21.06.2023	spec 12150408 PNG1	spec 12150088 PNG2	spec 17400003 PNG3	i::scan 22050538 PNG3	Labor PN
Zeitbereich	ZL-links	ZL-rechts	ZL-PN-Wanne	ZL-PN-Wanne	EÜ
08:00–12:00	642	548	509	339	
12:00–16:00	624	582	524	336	
16:00–20:00	658	560	457	296	
20:00–24:00	724	543	437	283	
00:00–04:00	702	521	420	270	
04:00–08:00	601	377	267	186	
Tagesmischprobe	663	522	435	285	719

Tabelle 51 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen am Mi 21./Do 22.06.2023.

Mi 21./Do 22.06.2023	spec 12150408 PNG1	spec 12150088 PNG2	spec 17400003 PNG3	i::scan 22050538 PNG3	Labor PN
Zeitbereich	ZL-links	ZL-rechts	ZL-PN-Wanne	ZL-PN-Wanne	EÜ
08:00–12:00	835	536	421	272	
12:00–16:00	869	594	499	321	
16:00–20:00	914	578	490	306	
20:00–24:00	950	571	465	306	
00:00–04:00	890	481	396	270	
04:00–08:00	895	442	331	228	
Tagesmischprobe	892	534	434	284	728

In der Abbildung 40 sind die 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen für den Untersuchungstag Di 20./Mi 21.06.2023 vergleichend gegenübergestellt und in der Abbildung 41 die vollkommenen CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen an diesem Untersuchungstag dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 73.763 m³/d Trockenwetterbedingungen herrschten.

Abbildung 40 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 20./Mi 21.06.2023.

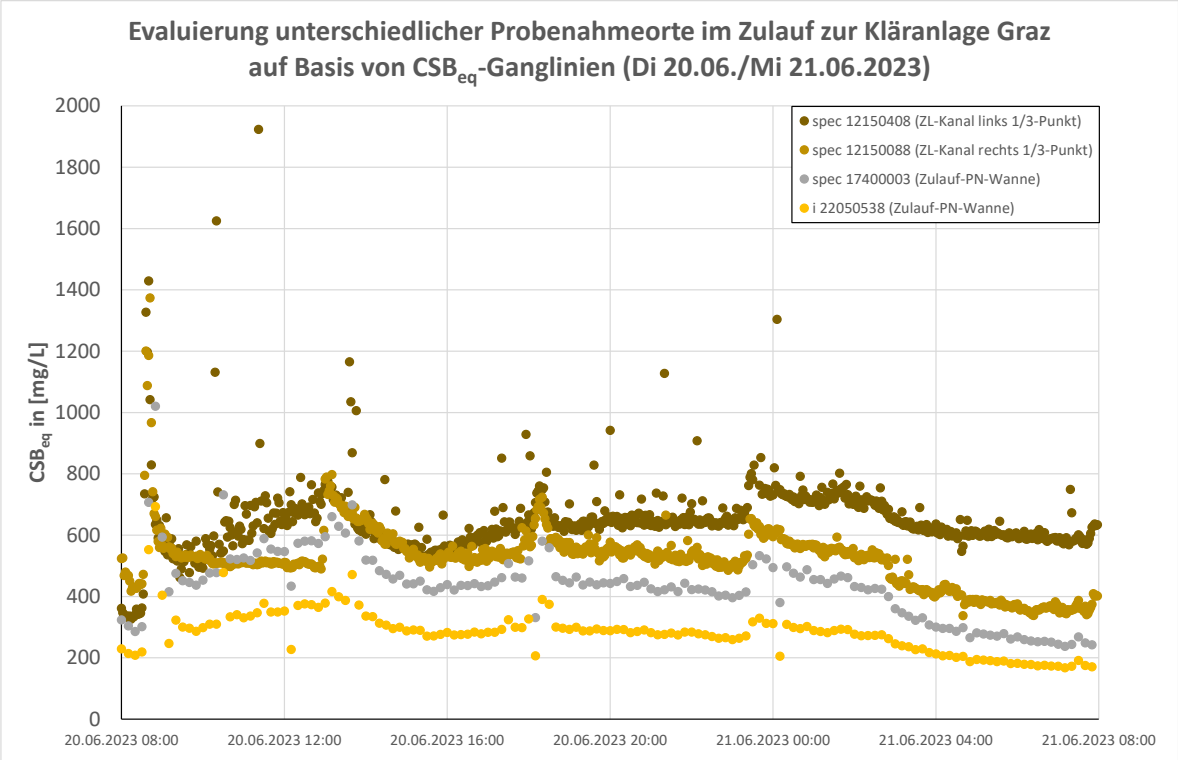


Von den beiden jeweils in den 1/3-Punkten installierten mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links ergaben jene im linken Zulaufgerinne durchgehend höhere CSB_{eq}-4 h-Mittelwerte als im rechten, was auf inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen schließen lässt.

Die 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte der UV/VIS-Spektrometer-Sonden in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links waren jeweils höher als die 4 h-Mittelwerte des in der Zulauf-Probenahme-Wanne installierten UV/VIS-Spektrometers spec_17400003. In allen 4 h-Perioden waren die CSB_{eq}-Konzentrationen des i::scans wieder am geringsten.

In den 4 CSB_{eq}-Verläufen der Abbildung 41 fällt im Vergleich der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometer in den beiden Zulaufgerinnen vor allem in den Vormittagsstunden wieder auf, dass die CSB_{eq}-Konzentrationen im linken Zulaufgerinne wieder stärker streuten als im rechten, was auf turbulentere Verhältnisse im linken Zulaufgerinne während dieser Periode schließen lässt.

Abbildung 41 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Di 20./Mi 21.06.2023.



In der Abbildung 42 sind die 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen für den Untersuchungstag Mi 21./Do 22.06.2023 vergleichend gegenübergestellt und in der Abbildung 43 die vollkommenen CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen an diesem Untersuchungstag dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 74.752 m³/d ebenfalls Trockenwetterbedingungen herrschten.

Von den beiden jeweils in den 1/3-Punkten installierten mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links ergaben jene im linken Zulaufgerinne deutlich höhere CSB_{eq}-Werte, was auf inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen schließen lässt.

Die 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometern in den beiden Zulaufgerinnen rechts und links lagen durchwegs über den 4 h-Mittelwerten des in der Zulauf-Probenahme-Wanne permanent installierten UV/VIS-Spektrometers spec_17400003. In allen 4 h-Perioden waren die CSB_{eq}-Konzentrationen des i::scans wieder am geringsten.

Abbildung 42 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 21./Do 22.06.2023.

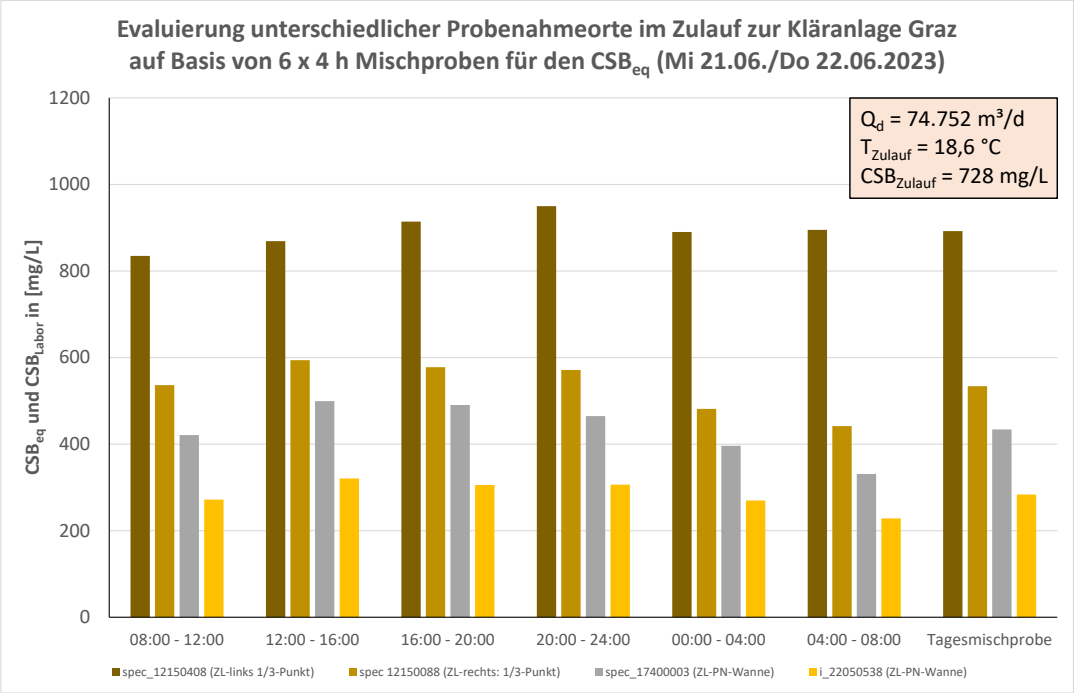
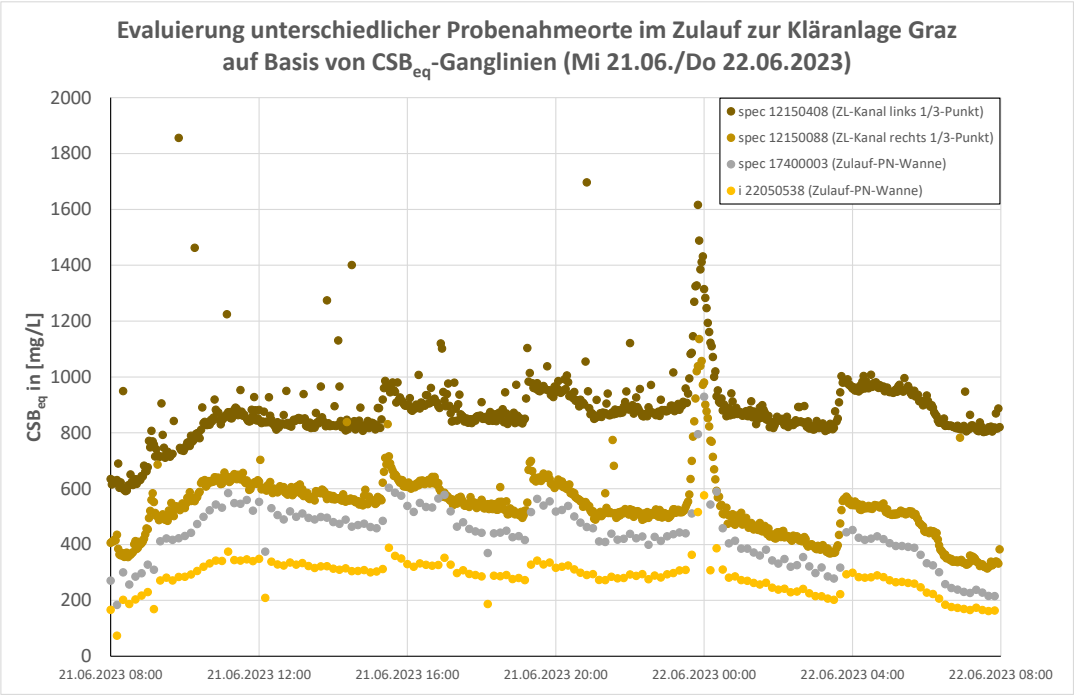


Abbildung 43 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Mi 21./Do 22.06.2023.



In den 4 CSB_{eq}-Verläufen der Abbildung 43 fällt im Vergleich der beiden mobilen UV/VIS-Spektrometer in den beiden Zulaufgerinnen auf, dass diese vom Verlauf her recht ähnlich waren, der linke UV/VIS-Spektrometer aber deutlich höhere CSB_{eq}-Konzentrationen gemessen hatte als der rechte, was auf sehr inhomogene Verhältnisse in den beiden Zulaufgerinnen schließen lässt.

3.2.3 Ergebnisse der 24 h-Messkampagnen zur Evaluierung unterschiedlicher Probenahmeorte im Ablauf der Kläranlage Graz

Im Rahmen dieser beiden am Mo 24./Di 25.07.2023 und am Di 25./Mi 26.07.2023 jeweils von 08:00 bis 08:00 durchgeführten 24 h-Messkampagnen wurden mit 4 baugleichen, automatischen PNG die nachfolgenden 4 unterschiedlichen Probenahmeorte im Ablaufbereich der Kläranlage Graz zeitgleich und mit identen Parametrierungen der 4 PNG miteinander verglichen:

- PNG1: Aus der vorhandenen Ablauf-Probenahme-Wanne der Kläranlage Graz
- PNG2: Von der Räumerbrücke eines der 4 Nachklärbecken aus
- PNG3: Vor der Überlaufschwelle 1,80 m über der SOK
- PNG4: Vor der Überlaufschwelle 0,80 m über der SOK

Zusätzlich wurden während dieser beiden 24 h-Messkampagnen auch noch die stationäre UV/VIS-Spektrometer-Sonde in der Ablauf-Bypass-Wanne und zwei temporär installierte UV/VIS-Spektrometer-Sonden an den beiden Probenahmeorten vor der Überlaufschwelle, einmal 1,80 m (PNG3) und einmal 0,80 m (PNG4) über der SOK des Ablaufgerinnes, installiert. Mit diesen 3 On-line-Sonden wurden die zeitlichen Verläufe der CSB_{eq}- und AFS_{eq}-Konzentrationen während der beiden 24 h-Messkampagnen mit einer zeitlichen Auflösung von 2 Minuten aufgezeichnet.

3.2.3.1 Ergebnisse der 24 h-Probenahmen an den 4 unterschiedlichen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz

In der Tabelle 52 bis zur Tabelle 59 sind die ausgeliterten Probenahmevolumina der mit jeweils 24 Stück Probenahmeflaschen bestückten 4 Probenahmegeräte PNG1, PNG2, PNG3 und PNG4 über die 6 x 4 h-Zeitperioden der beiden 24 h-Messkampagnen zusammengefasst. Dabei sollte das Soll-Probenvolumen in jeder Probenahmeflasche bei der voreingestellten zeitproportionalen Teilprobenentnahme von 150 mL alle 10 min im Idealfall jeweils 6 x 150 mL = 900 mL betragen, was mit akzeptablen Abweichungen zumeist erreicht werden konnte. Dort, wo die Abweichungen von den 900 mL Soll-Probenahmeflaschen-Volumen größer waren, waren diese Abweichungen allerdings relativ konstant, was auf eine stabile Teilprobenentnahme während der 60-minütigen Befüllung der Probenahmeflaschen mit etwas reduzierten Teilprobenvolumina hinwies.

Von den 4 h-Mischproben von ca. 4 x 900 mL = 3.600 mL Probenvolumen wurden jeweils 500 mL zur Herstellung einer zeitproportionalen 24 h-Tagesmischprobe verwendet, woraus jeweils 3000 mL zeitproportionale Tagesprobenvolumina resultierten, die neben den einzelnen 4 h-Mischproben ebenfalls labortechnisch auf die AFS- und CSB-Konzentrationen hin analysiert wurden. Diese konnten von der Größenordnung her auch mit den korrespondierenden, mengenproportional gezogenen 24 h-Ablauftages-mischproben der Kläranlage aus der EÜ verglichen werden.

Tabelle 52 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 aus der Ablauf-PN-Wanne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023.

Mo 24./Di 25.07.2023 **PNG1 - AL-PN-Wanne**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	900 mL	890 mL	960 mL	820 mL
12:00–16:00	890 mL	910 mL	870 mL	870 mL
16:00–20:00	870 mL	900 mL	860 mL	950 mL
20:00–24:00	970 mL	860 mL	910 mL	920 mL
00:00–04:00	910 mL	970 mL	910 mL	890 mL
04:00–08:00	900 mL	890 mL	790 mL	880 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 53 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 aus der Ablauf-PN-Wanne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023.

Di 25./Mi 26.07.2023 **PNG1 - AL-PN-Wanne**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	910 mL	920 mL	950 mL	910 mL
12:00–16:00	880 mL	890 mL	910 mL	880 mL
16:00–20:00	910 mL	960 mL	950 mL	820 mL
20:00–24:00	930 mL	900 mL	910 mL	910 mL
00:00–04:00	930 mL	860 mL	910 mL	900 mL

Di 25./Mi 26.07.2023 PNG1 - AL-PN-Wanne	PN-Flasche 1	PN-Flasche 2	PN-Flasche 3	PN-Flasche 4
04:00–08:00	910 mL	890 mL	900 mL	910 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 54 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2, das auf der Räumerbrücke eines der NKB installiert war, während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023.

Mo 24./Di 25.07.2023 PNG2 - NKB-Räumer	PN-Flasche 1	PN-Flasche 2	PN-Flasche 3	PN-Flasche 4
08:00–12:00	760 mL	930 mL	850 mL	850 mL
12:00–16:00	850 mL	840 mL	850 mL	840 mL
16:00–20:00	860 mL	850 mL	810 mL	840 mL
20:00–24:00	850 mL	840 mL	840 mL	850 mL
00:00–04:00	850 mL	840 mL	840 mL	850 mL
04:00–08:00	850 mL	850 mL	850 mL	840 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 55 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2, das auf der Räumerbrücke eines der NKB installiert war, während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023.

Di 25./Mi 26.07.2023 PNG2 - NKB-Räumer	PN-Flasche 1	PN-Flasche 2	PN-Flasche 3	PN-Flasche 4
08:00–12:00	840 mL	850 mL	840 mL	840 mL
12:00–16:00	840 mL	860 mL	850 mL	840 mL
16:00–20:00	850 mL	840 mL	840 mL	840 mL
20:00–24:00	850 mL	840 mL	850 mL	830 mL
00:00–04:00	850 mL	840 mL	850 mL	840 mL
04:00–08:00	850 mL	840 mL	840 mL	840 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 56 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 1,80 m über SOK im vereinten Ablaufgerinne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023.

Mo 24./Di 25.07.2023				
PNG3 - Ablauf 1,80 m über SOK	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	840 mL	840 mL	840 mL	840 mL
12:00–16:00	860 mL	870 mL	870 mL	850 mL
16:00–20:00	880 mL	870 mL	840 mL	860 mL
20:00–24:00	870 mL	870 mL	850 mL	830 mL
00:00–04:00	820 mL	830 mL	830 mL	820 mL
04:00–08:00	820 mL	820 mL	820 mL	830 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 57 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 1,80 m über SOK im vereinten Ablaufgerinne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023.

Di 25./Mi 26.07.2023				
PNG3 - Ablauf 1,80 m über SOK	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	820 mL	810 mL	820 mL	810 mL
12:00–16:00	810 mL	820 mL	820 mL	830 mL
16:00–20:00	830 mL	840 mL	850 mL	850 mL
20:00–24:00	850 mL	860 mL	850 mL	860 mL
00:00–04:00	850 mL	860 mL	840 mL	850 mL
04:00–08:00	870 mL	860 mL	840 mL	850 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 58 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 0,80 m über SOK im vereinten Ablaufgerinne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023.

Mo 24./Di 25.07.2023 **PNG4 - Ablauf 0,80 m über SOK**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	890 mL	920 mL	880 mL	900 mL
12:00–16:00	880 mL	880 mL	890 mL	910 mL
16:00–20:00	890 mL	910 mL	880 mL	890 mL
20:00–24:00	900 mL	890 mL	880 mL	890 mL
00:00–04:00	880 mL	890 mL	890 mL	880 mL
04:00–08:00	880 mL	890 mL	890 mL	880 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

Tabelle 59 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 0,80 m über SOK im vereinten Ablaufgerinne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023.

Di 25./Mi 26.07.2023 **PNG4 - Ablauf 0,80 m über SOK**	**PN-Flasche 1**	**PN-Flasche 2**	**PN-Flasche 3**	**PN-Flasche 4**
08:00–12:00	820 mL	860 mL	880 mL	900 mL
12:00–16:00	860 mL	880 mL	890 mL	910 mL
16:00–20:00	820 mL	850 mL	880 mL	880 mL
20:00–24:00	890 mL	820 mL	880 mL	870 mL
00:00–04:00	880 mL	920 mL	930 mL	930 mL
04:00–08:00	870 mL	880 mL	850 mL	890 mL
Tagesmischprobe				3000 mL

In der Tabelle 60 bis zur Tabelle 67 sind die Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der mit den Probenahmegeräten PNG1, PNG2, PNG3 und PNG4 gewonnenen 6 x 4 h-Mischproben während der beiden 24 h-Messkampagnen zusammengefasst.

In den Tabellen dargestellt sind jeweils die Ergebnisse der laboranalytischen AFS- und CSB-Doppelbestimmungen der 4 h-Mischproben und die daraus resultierenden Mittelwerte.

Weiters sind in den Tabellen auch noch die Ergebnisse der Tagesmischproben enthalten, die jeweils zeitproportional aus den 6 x 4 h-Mischroben zusammengemischt wurden. Diese wiederum können mit den Laborergebnissen der korrespondierenden, mengenproportionalen 24 h-Ablauftagesmischproben aus der EÜ verglichen werden (Tabelle 68), die neben den hydraulischen Tageszulaufmengen und den mittleren Tagestemperaturen im Zulauf zur ARA-Graz in den grafischen Auswertungen und Vergleichen ab der Abbildung 44 bis zu der Abbildung 47 enthalten sind.

Tabelle 60 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus der Ablauf-PN-Wanne während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023.

Mo 24./Di 25.07.2023 PNG1 - AL-PN-Wanne	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	4,5	4,5	4,5	23,7	25,0	24,4
12:00–16:00	1,5	2,0	1,8	26,8	25,0	25,9
16:00–20:00	1,0	0,5	0,8	18,4	17,2	17,8
20:00–24:00	4,0	4,0	4,0	22,0	22,9	22,5
00:00–04:00	5,0	5,5	5,3	24,9	23,9	24,4
04:00–08:00	3,5	3,0	3,3	22,2	22,0	22,1
Tagesmischprobe	2,5	2,5	2,5	21,7	22,5	22,1

Tabelle 61 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus der Ablauf-PN-Wanne während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023.

Di 25./Mi 26.07.2023 PNG1 - AL-PN-Wanne	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	3,5	4,5	4,0	23,3	24,2	23,8
12:00–16:00	4,5	4,5	4,5	23,8	22,2	23,0
16:00–20:00	3,5	4,0	3,8	19,6	18,9	19,3
20:00–24:00	13,0	14,0	13,5	27,0	26,7	26,9
00:00–04:00	10,0	11,0	10,5	23,4	24,9	24,2

Di 25./Mi 26.07.2023 PNG1 - AL-PN-Wanne	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
04:00–08:00	9,0	11,0	10,0	20,0	19,9	20,0
Tagesmischprobe	6,6	6,0	6,3	22,7	23,1	22,9

Tabelle 62 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 von einem der NKB-Räumer aus während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023.

Mo 24./Di 25.07.2023 PNG2 - NKB-Räumer	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	2,0	2,5	2,3	23,4	23,3	23,4
12:00–16:00	1,5	2,5	2,0	20,4	19,6	20,0
16:00–20:00	1,0	1,5	1,3	17,6	19,5	18,6
20:00–24:00	3,0	2,5	2,8	21,5	20,8	21,2
00:00–04:00	5,0	4,0	4,5	22,4	21,9	22,2
04:00–08:00	3,0	2,5	2,8	20,8	20,9	20,9
Tagesmischprobe	3,5	4,0	3,8	19,8	20,2	20,0

Tabelle 63 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 von einem der NKB-Räumer aus während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023.

Di 25./Mi 26.07.2023 PNG2 - NKB-Räumer	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
08:00–12:00	1,5	3,5	2,5	20,7	20,9	20,8
12:00–16:00	1,0	1,5	1,3	20,5	21,8	21,2
16:00–20:00	2,5	2,0	2,3	19,5	20,1	19,8
20:00–24:00	6,0	6,0	6,0	21,2	21,1	21,2
00:00–04:00	6,0	6,0	6,0	21,5	21,4	21,5
04:00–08:00	6,0	5,0	5,5	16,5	17,0	16,8
Tagesmischprobe	5,0	5,0	5,0	19,5	19,8	19,7

Tabelle 64 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus dem vereinten Ablaufgerinne 1,80 m über SOK während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023.

Mo 24./Di 25.07.2023 **PNG3 - Ablauf 1,80 m über SOK**	**AFS_1** **[mg/L]**	**AFS_2** **[mg/L]**	**AFS_{MW}** **[mg/L]**	**CSB_1** **[mg/L]**	**CSB_2** **[mg/L]**	**CSB_{MW}** **[mg/L]**
08:00–12:00	2,0	2,0	2,0	21,9	21,3	21,6
12:00–16:00	1,0	1,5	1,3	16,6	14,1	15,4
16:00–20:00	1,0	1,0	1,0	17,3	17,4	17,4
20:00–24:00	4,0	4,0	4,0	23,0	24,5	23,8
00:00–04:00	7,5	5,5	6,5	23,5	25,8	24,7
04:00–08:00	1,5	2,0	1,8	22,3	23,0	22,7
Tagesmischprobe	4,5	5,0	4,8	19,9	20,7	20,3

Tabelle 65 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus dem vereinten Ablaufgerinne 1,80 m über SOK während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023.

Di 25./Mi 26.07.2023 **PNG3 - Ablauf 1,80 m über SOK**	**AFS_1** **[mg/L]**	**AFS_2** **[mg/L]**	**AFS_{MW}** **[mg/L]**	**CSB_1** **[mg/L]**	**CSB_2** **[mg/L]**	**CSB_{MW}** **[mg/L]**
08:00–12:00	6,5	8,5	7,5	25,6	25,9	25,8
12:00–16:00	4,5	4,0	4,3	20,8	23,0	21,9
16:00–20:00	4,5	4,0	4,3	21,7	20,6	21,2
20:00–24:00	13,0	14,0	13,5	27,1	27,3	27,2
00:00–04:00	11,5	11,0	11,3	26,8	25,6	26,2
04:00–08:00	11,0	11,5	11,3	24,5	25,5	25,0
Tagesmischprobe	11,0	10,0	10,5	23,7	23,9	23,8

Tabelle 66 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem vereinten Ablaufgerinne 0,80 m über SOK während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023.

Mo 24./Di 25.07.2023 **PNG4 - Ablauf 0,80 m über SOK**	**AFS_1** **[mg/L]**	**AFS_2** **[mg/L]**	**AFS_{MW}** **[mg/L]**	**CSB_1** **[mg/L]**	**CSB_2** **[mg/L]**	**CSB_{MW}** **[mg/L]**
08:00–12:00	6,0	7,0	6,5	24,5	23,8	24,2
12:00–16:00	2,0	2,0	2,0	17,4	15,4	16,4
16:00–20:00	3,0	2,5	2,8	17,8	18,2	18,0
20:00–24:00	5,0	6,0	5,5	26,5	25,9	26,2
00:00–04:00	7,5	7,0	7,3	24,5	26,0	25,3
04:00–08:00	2,5	3,0	2,8	22,2	23,1	22,7
Tagesmischprobe	3,5	5,0	4,3	23,1	22,8	23,0

Tabelle 67 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem vereinten Ablaufgerinne 0,80 m über SOK während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023.

Di 25./Mi 26.07.2023 **PNG4 - Ablauf 0,80 m über SOK**	**AFS_1** **[mg/L]**	**AFS_2** **[mg/L]**	**AFS_{MW}** **[mg/L]**	**CSB_1** **[mg/L]**	**CSB_2** **[mg/L]**	**CSB_{MW}** **[mg/L]**
08:00–12:00	8,0	8,0	8,0	24,5	26,3	25,4
12:00–16:00	5,0	5,0	5,0	24,4	23,0	23,7
16:00–20:00	4,5	4,5	4,5	22,3	23,1	22,7
20:00–24:00	14,0	17,0	15,5	28,9	28,8	28,9
00:00–04:00	14,5	13,5	14,0	26,7	27,4	27,1
04:00–08:00	13,0	12,5	12,8	26,4	27,1	26,8
Tagesmischprobe	9,0	10,0	9,5	24,8	25,3	25,1

Tabelle 68 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen aus den korrespondierenden, mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz.

PNG - ARA-Ablauf	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]
Mo 24./Di 25.07.2023	13,5	14,0	13,8	26,5	26,2	26,4
Di 25./Mi 26.07.2023	18,0	20,0	19,0	28,7	29,7	29,2

3.2.3.2 Vergleich der 6 x 4 h-Probenahmen an den 4 unterschiedlichen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz auf Basis der AFS- und CSB-Laboranalysen

In der Tabelle 69 und in der Tabelle 70 sind jeweils die Mittelwerte der AFS-Laborwerte an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der ARA-Graz und an den beiden Untersuchungstagen Mo 24./Di 25.07.2023 und Di 25./Mi 26.07.2023 vergleichend gegenübergestellt. In diesen beiden Tabellen sind in der letzten Spalte auch die AFS-Laborwerte aus der mengenproportionalen 24 h-EÜ der ARA-Graz enthalten.

Tabelle 69 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen in mg/L an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz am Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ).

Mo 24./Di 25.07.2023 Zeitbereich	PNG1 AL-PN-Wanne	PNG2 NKB-Räumer	PNG3 1,80 m über SOK	PNG4 0,80 m über SOK	PNG-AL ARA-EÜ
08:00–12:00	4,5	2,3	2,0	6,5	
12:00–16:00	1,8	2,0	1,3	2,0	
16:00–20:00	0,8	1,3	1,0	2,8	
20:00–24:00	4,0	2,8	4,0	5,5	
00:00–04:00	5,3	4,5	6,5	7,3	
04:00–08:00	3,3	2,8	1,8	2,8	
Tagesmischprobe	2,5	3,8	4,8	4,3	13,8

Tabelle 70 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen in mg/L an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz am Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ).

Di 25./Mi 26.07.2023 Zeitbereich	PNG1 AL-PN-Wanne	PNG2 NKB-Räumer	PNG3 1,80 m über SOK	PNG4 0,80 m über SOK	PNG-AL ARA-EÜ
08:00–12:00	4,0	2,5	7,5	8,0	
12:00–16:00	4,5	1,3	4,3	5,0	
16:00–20:00	3,8	2,3	4,3	4,5	
20:00–24:00	13,5	6,0	13,5	15,5	
00:00–04:00	10,5	6,0	11,3	14,0	
04:00–08:00	10,0	5,5	11,3	12,8	
Tagesmischprobe	6,3	5,0	10,5	9,5	19,0

In der Abbildung 44 sind sowohl die 6 x 4 h-AFS-Laborwerte als auch die Tagesmittelwerte an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der ARA-Graz am Untersuchungstag Mo 24.07./Di 25.07.2023 grafisch gegenübergestellt und in der Abbildung 45 jene für den Untersuchungstag Di 25.07./Mi 26.07.2023.

Dabei wurden in den beiden Abbildungen auch jeweils die hydraulischen Tageszulaufmengen, die durchschnittlichen Tageszulauftemperaturen und auch die aus der EÜ resultierenden mengenproportionalen AFS-Ablaufkonzentrationen für die beiden Untersuchungstage hinzugefügt. Dabei weisen die beiden hydraulischen Tageszulaufmengen auf Trockenwetterbedingungen am Mo 24.07./Di 25.07.2023 und auf Regenwetterbedingungen am Di 25.07./Mi 26.07.2023 hin.

Die 6 x 4 h-AFS-Laborwerte an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der ARA-Graz wichen an den beiden Untersuchungstagen in Abhängigkeit von den 4 h-Perioden unterschiedlich voneinander ab. Aufgrund der durchgehenden Trockenwetterbedingungen am ersten Untersuchungstag lagen alle untersuchten AFS-Laborwerte unter 8 mg/L, wohingegen man am zweiten Untersuchungstag ab den 20:00-Uhr-Proben regenbedingt einen deutlichen Anstieg der AFS-Konzentrationen auf teilweise über 15 mg/L feststellen konnte. An diesem Tag ergaben alle direkt aus dem Nachklärbecken beprobten 4 h-Mischproben die geringsten AFS-Konzentrationen. Die höchsten AFS-Konzentrationen wurden zumeist im sohlnahen Bereich 0,80 m über SOK direkt im vereinten Ablaufgerinne gemessen, was auf eine AFS-Schichtung im Ablaufgerinne vor der Überlaufschwelle hinweist. Die AFS-

Konzentrationen in der Ablauf-Probenahme-Wanne waren zumeist kleiner als die beiden direkt im vereinten Ablaufgerinne gemessenen AFS-Konzentrationen.

Abbildung 44 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laborproben und der Tagesmischproben an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der ARA-Graz im Zeitraum Mo 24.07./Di 25.07.2023.

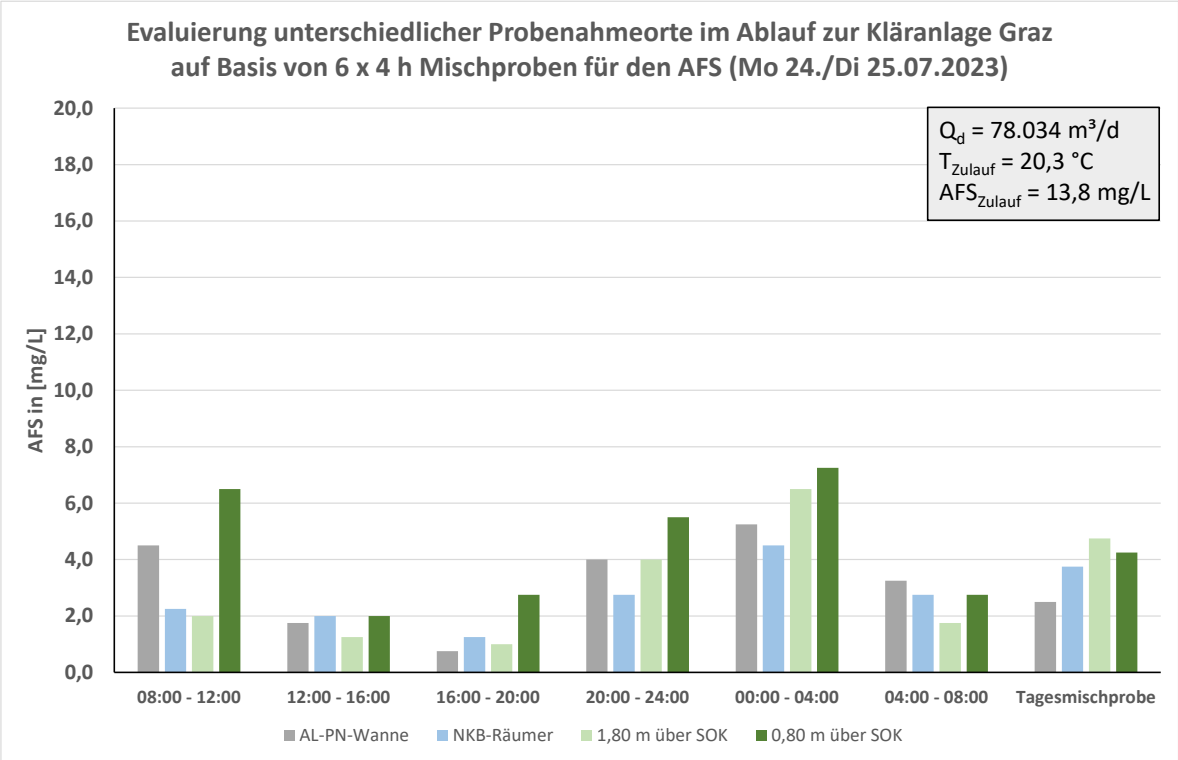
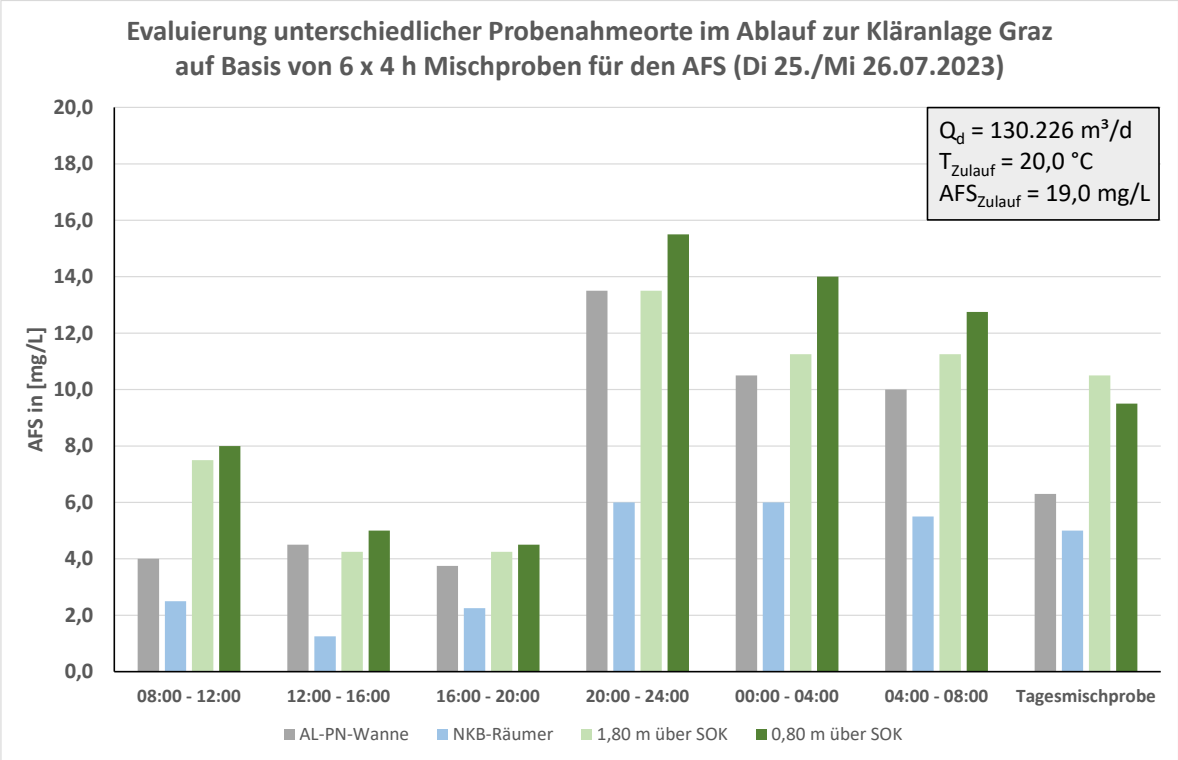


Abbildung 45 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laborproben und der Tagesmischproben an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der ARA-Graz im Zeitraum Di 25.07./Mi 26.07.2023.



In der Tabelle 71 und in der Tabelle 72 sind sowohl die 6 x 4 h-CSB-Laborwerte als auch die Tagesmittelwerte an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der ARA-Graz und an den beiden Untersuchungstagen Mo 24./Di 25.07.2023 und Di 25./Mi 26.07.2023 vergleichend gegenübergestellt. In diesen beiden Tabellen sind in der letzten Spalte auch die CSB-Laborwerte aus der mengenproportionalen 24 h-EÜ der ARA-Graz enthalten.

Tabelle 71 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen in mg/L an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz am Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ).

Mo 24./Di 25.07.2023 Zeitbereich	PNG1 AL-PN-Wanne	PNG2 NKB-Räumer	PNG3 1,80 m über SOK	PNG4 0,80 m über SOK	PNG-AL ARA-EÜ
08:00–12:00	24,4	23,4	21,6	24,2	
12:00–16:00	25,9	20,0	15,4	16,4	

Mo 24./Di 25.07.2023 Zeitbereich	PNG1 AL-PN-Wanne	PNG2 NKB-Räumer	PNG3 1,80 m über SOK	PNG4 0,80 m über SOK	PNG-AL ARA-EÜ
16:00–20:00	17,8	18,6	17,4	18,0	
20:00–24:00	22,5	21,2	23,8	26,2	
00:00–04:00	24,4	22,2	24,7	25,3	
04:00–08:00	22,1	20,9	22,7	22,7	
Tagesmischprobe	22,1	20,0	20,3	23,0	26,4

Tabelle 72 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen in mg/L an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz am Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ).

Di 25./Mi 26.07.2023 Zeitbereich	PNG1 AL-PN-Wanne	PNG2 NKB-Räumer	PNG3 1,80 m über SOK	PNG4 0,80 m über SOK	PNG-AL ARA-EÜ
08:00–12:00	23,8	20,8	25,8	25,4	
12:00–16:00	23,0	21,2	21,9	23,7	
16:00–20:00	19,3	19,8	21,2	22,7	
20:00–24:00	26,9	21,2	27,2	28,9	
00:00–04:00	24,2	21,5	26,2	27,1	
04:00–08:00	20,0	16,8	25,0	26,8	
Tagesmischprobe	22,9	19,7	23,8	25,1	29,2

In der Abbildung 46 sind sowohl die 6 x 4 h-CSB-Laborwerte als auch die Tagesmittelwerte an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der ARA-Graz für den Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023 grafisch gegenübergestellt und in der Abbildung 47 jene für den Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023.

Dabei wurden in den beiden Abbildungen auch jeweils die hydraulischen Tageszulaufmengen, die durchschnittlichen Tageszulauftemperaturen und auch die aus der Eigenüberwachung resultierende mengenproportionale CSB-Konzentrationen für die beiden Untersuchungstage hinzugefügt. Dabei weisen die beiden hydraulischen Tageszulaufmengen auf Trockenwetterbedingungen am Mo 24.07./Di 25.07.2023 und auf Regenwetterbedingungen am Di 25.07./Mi 26.07.2023 hin.

Die 6 x 4 h-CSB-Laborwerte an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der ARA-Graz wichen an den beiden Untersuchungstagen in Abhängigkeit von den 4 h-Perioden unterschiedlich voneinander ab. Im Unterschied zu den 4 h-AFS-Laborwerten war bei den 4 h-CSB-Laborwerten der Regenwettereinfluss am zweiten Untersuchungstag kaum bemerkbar. Auch die Unterschiede zwischen den 4 verschiedenen Probenahmeorten waren bei den 4 h-CSB-Laborwerten und auch bei den beiden CSB-Tagesmischproben deutlich geringer als bei den korrespondierenden AFS-Laborwerten. Die direkte Beprobung eines der 4 Nachklärbecken (NKB) ergab zumeist die geringsten CSB-Konzentrationen. Die CSB-Konzentrationen aus der Ablauf-Probenahme-Wanne lagen zumeist nur geringfügig unterhalb der beiden direkt im Ablaufgerinne beprobten Probenahmeorte. Bei diesen waren die CSB-Werte der sohlnäher beprobten Probenahmestelle 0,80 m über SOK tendenziell wieder etwas höher als 1,80 m über SOK.

Abbildung 46 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laborproben und der Tagesmischproben an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der Kläranlage Graz im Zeitraum Mo 24.07./Di 25.07.2023.

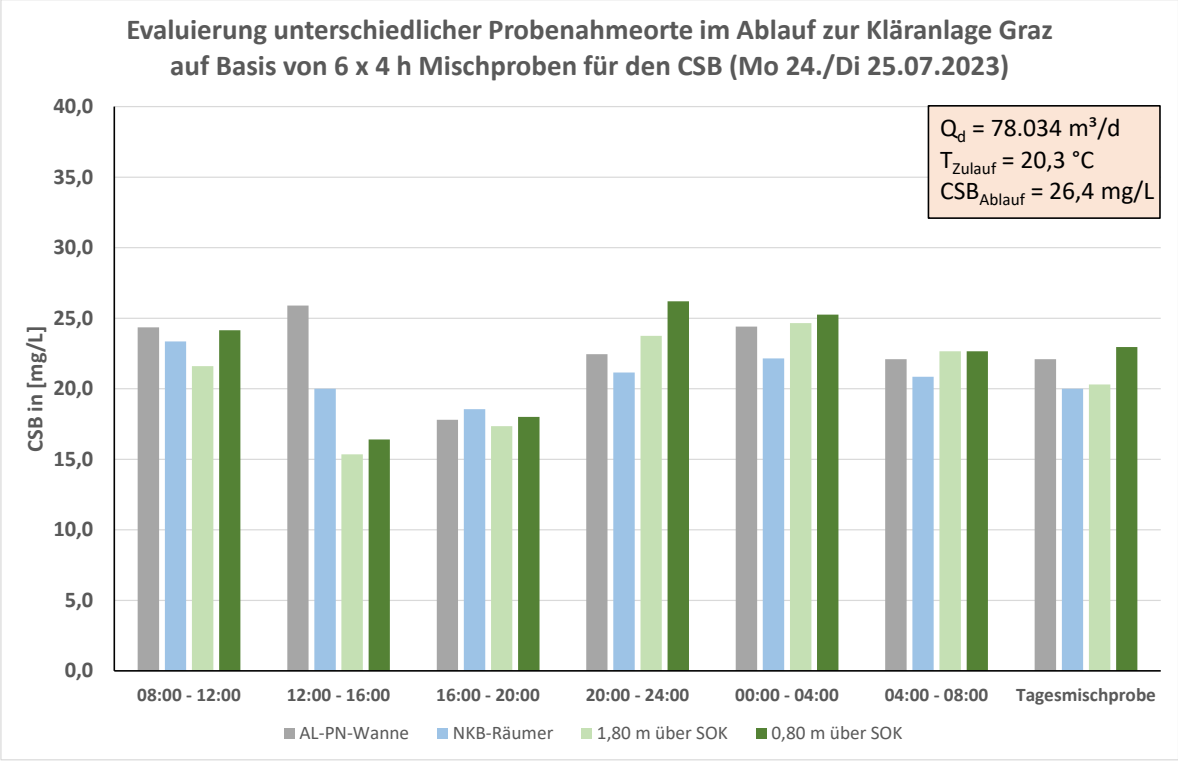
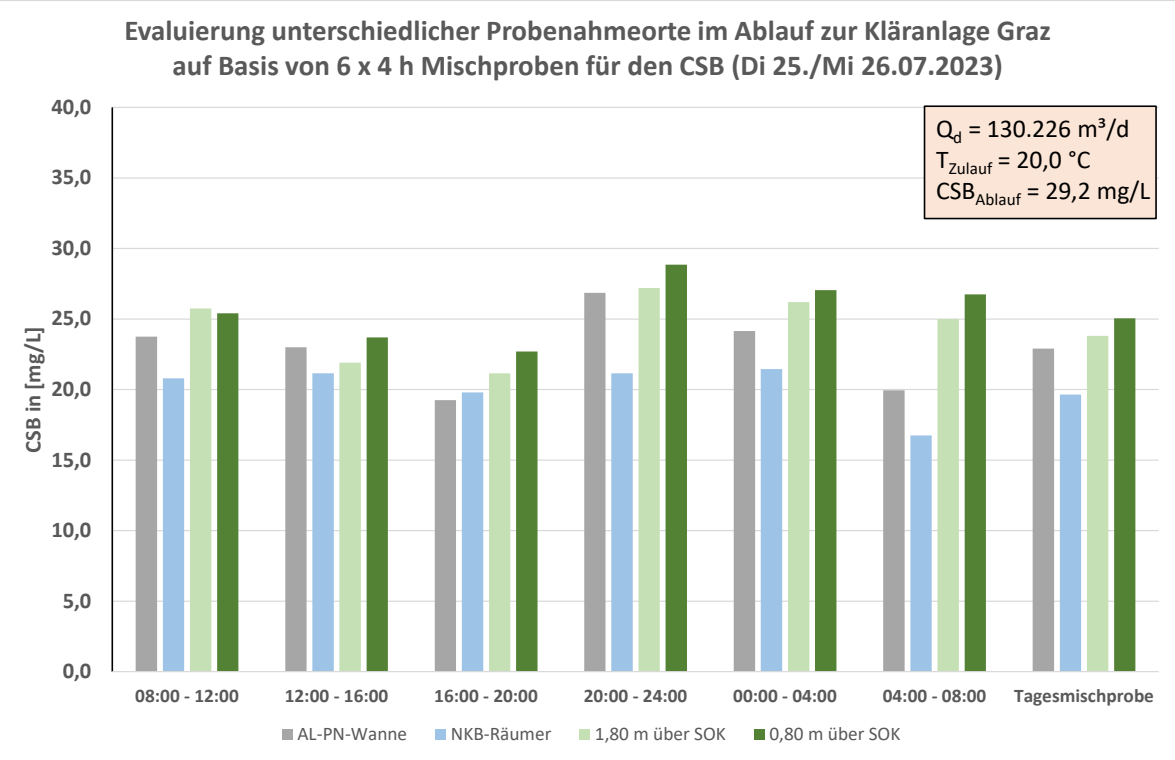


Abbildung 47 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laborproben und der Tagesmischproben an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der Kläranlage Graz im Zeitraum Di 25.07./Mi 26.07.2023.



3.2.3.3 Vergleich der 6 x 4 h-Probenahmen an den 4 unterschiedlichen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz mit den UV/VIS-Messungen

Parallel zu den konventionellen Probenahmen und anschließender AFS- und CSB-Laboranalytik über die 6 x 4 h-Zeiträume der beiden Untersuchungstage dieser Messkampagne wurden während der beiden 24 h-Messkampagnen jeweils 3 der Abwasserablaufströme bzw. Probenahmeorte zeitgleich auch mit UV/VIS-Spektrometer-Sonden gemessen, die in der Lage sind, sog. Äquivalenz-Konzentrationen für die AFS_{eq} und den CSB_{eq} mit einer zeitlichen Auflösung von 2 min zu messen. Aus den daraus resultierenden 120 Einzelmessungen pro 4 h-Zeitraum wurden im Anschluss daran die Mittelwerte gebildet und mit den zeitproportionalen 4 h-Mischproben verglichen. Dabei wurden jeweils für die ARA-Graz entwickelte globale Kalibrationen verwendet, die mehr oder weniger gut die laboranalytisch bestimmbaren Konzentrationen abbilden. Eine lokale Kalibration der Spektrometer-Sonden an die vorherrschenden Abwassermatrizen war zunächst nicht vorgesehen.

Während dieser Messkampagne wurden die folgenden UV/VIS-Spektrometer-Sonden an drei der untersuchten Probenahmeorte im Ablauf der ARA-Graz verwendet:

- PNG1 (Ablauf-Probenahme-Wanne):
  Stationärer 5 mm „spec_17370002“ mit der globalen Kalibration EFF40003V18T und
  Stationärer i::scan „i_22050535“ mit einer globalen Werkseinstellung
- PNG3 (Ablaufkanal 1,80 m über SOK):
  Mobiler 2 mm „spec_12150088“ mit der globalen Kalibration EFF40003V18T
- PNG4 (Ablaufkanal 0,80 m über SOK):
  Mobiler 2 mm „spec_12150408“ mit der globalen Kalibration EFF40003V18T

Die beiden mobilen 2 mm UV/VIS-Spektrometer-Sonden mit den Seriennummern „spec_12150408“ und „spec_12150088“ wurden unmittelbar vor den durchgeführten Messkampagnen von der Firma Badger Meter (vormals s::can) komplett serviciert und als absolut gleichwertig befunden, d. h., dass in vergleichbaren Abwassermedien mit derselben aktivierten globalen Kalibration vergleichbare Äquivalenz-Konzentrationen für die AFS_{eq} und den CSB_{eq} zu erwarten sind. Diese beiden Sonden wurden jeweils nur während der beiden Untersuchungstage der durchgeführten Messkampagnen betrieben.

In der Ablauf-Probenahme-Wanne (PNG1) waren stationär die 5 mm UV/VIS-Spektrometer-Sonde mit der Seriennummern „spec_17370002“ sowie auch ein i::scan mit der Seriennummer „i_22050535“ installiert, der u. a. auch AFS_{eq}- und CSB_{eq}-Konzentrationen misst. Diese beiden On-line-Sonden sind zur Betriebsüberwachung permanent in der Ablauf-Probenahme-Wanne installiert und messen dort auch mit einem Messintervall von 2 Minuten die Äquivalenz-Konzentrationen für die AFS_{eq} und den CSB_{eq}.

3.2.3.3.1 Vergleich der AFS_{eq}-UV/VIS-Messungen mit den zeitgleichen AFS-Probenahme- und Laborwerten

In der Tabelle 73 sind die AFS_{eq}-Konzentrationen auf Basis der rechnerisch ermittelten 4 h-UV/VIS-Spektrometer-Mittelwerten den parallel durchgeführten 4 h-Probenahmen und AFS-Laboranalysen während der beiden Untersuchungstage Mo 24./Di 25.07.2023 und Di 25./Mi 26.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz gegenübergestellt.

Tabelle 73 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte in mg/L aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Mo 24./Di 25.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz.

Mo 24./Di 25.07.2023 Zeitbereich	spec 12150408 AL 0,80 m über SOK	spec 12150088 AL 1,80 m über SOK	spec 17370002 Ablauf PN-Wanne	i::scan 22050535 Ablauf PN-Wanne	Labor Ablauf PN-Wanne	Labor PN EÜ
08:00–12:00	97,9	82,0	283,7	24,8	4,5	
12:00–16:00	100,5	83,4	287,0	24,3	1,8	
16:00–20:00	100,0	83,4	286,6	24,4	0,8	
20:00–24:00	101,9	86,1	279,6	25,0	4,0	
00:00–04:00	97,6	84,1	273,9	24,8	5,3	
04:00–08:00	94,6	79,2	259,7	24,1	3,3	
Tagesmischprobe	98,8	83,0	278,4	24,6	2,5	13,8

Tabelle 74 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte in mg/L aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Di 25./Mi 26.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz.

Di 25./Mi 26.07.2023 Zeitbereich	spec 12150408 AL 0,80 m über SOK	spec 12150088 AL 1,80 m über SOK	spec 17370002 Ablauf PN-Wanne	i::scan 22050535 Ablauf PN-Wanne	Labor Ablauf PN-Wanne	Labor PN EÜ
08:00–12:00	88,3	75,1	255,5	24,3	4,0	
12:00–16:00	86,4	72,8	258,1	23,6	4,5	
16:00–20:00	85,0	71,3	259,3	23,3	3,8	
20:00–24:00	88,8	73,9	266,8	24,4	13,5	
00:00–04:00	86,0	71,5	264,3	23,7	10,5	
04:00–08:00	83,7	68,6	267,4	23,5	10,0	
Tagesmischprobe	86,4	72,2	261,9	23,8	6,3	19,0

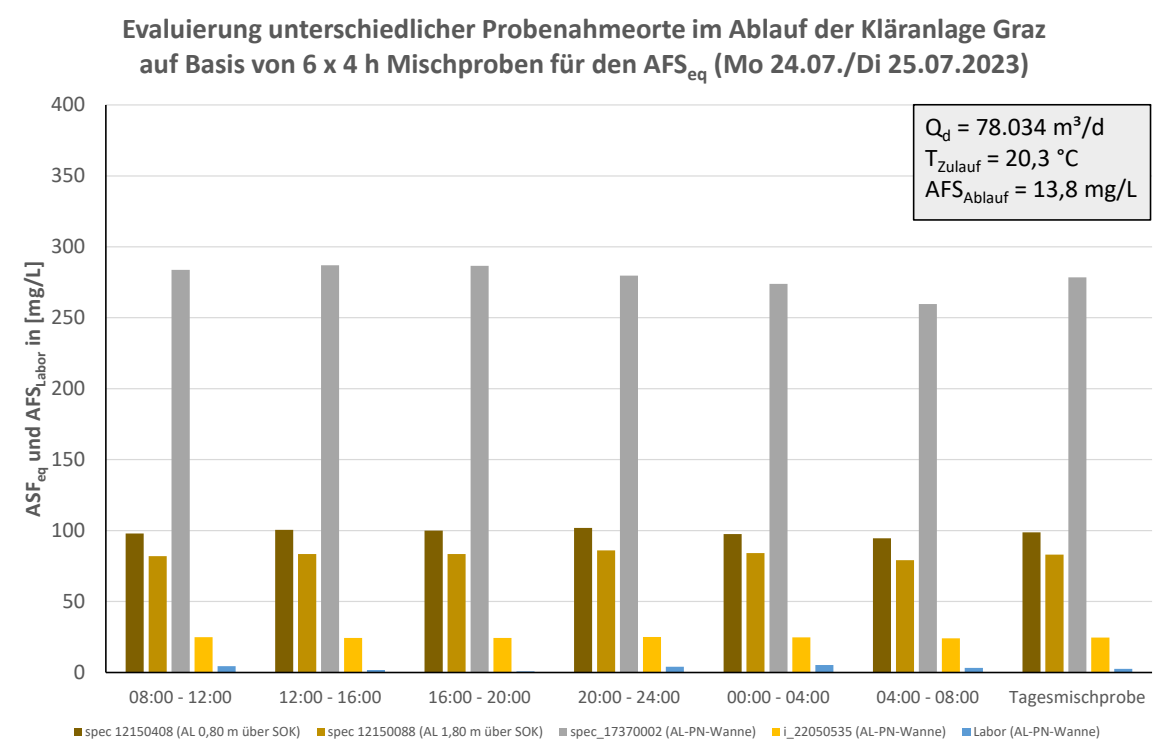
In der Abbildung 48 sind die 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen für den Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023 gegenübergestellt und in der Abbildung 49 die vollkommenen AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen an diesem Untersuchungstag

dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 78.034 m³/d Trockenwetterbedingungen vorherrschten.

Deutlich zu erkennen ist dabei, dass alle 4 UV/VIS-Spektrometer-Mittelwerte die parallel ermittelten Probenahme- und Laborwerte deutlich überschätzt hatten, was auf eine schlechte Anpassung der verwendeten globalen Kalibrationen an die vorherrschende Abwassermatrix schließen lässt. Vor allem die AFS_{eq}-Konzentrationen der UV/VIS-Spektrometer-Sonde in der Ablauf-Probenahme-Wanne waren deutlich zu hoch.

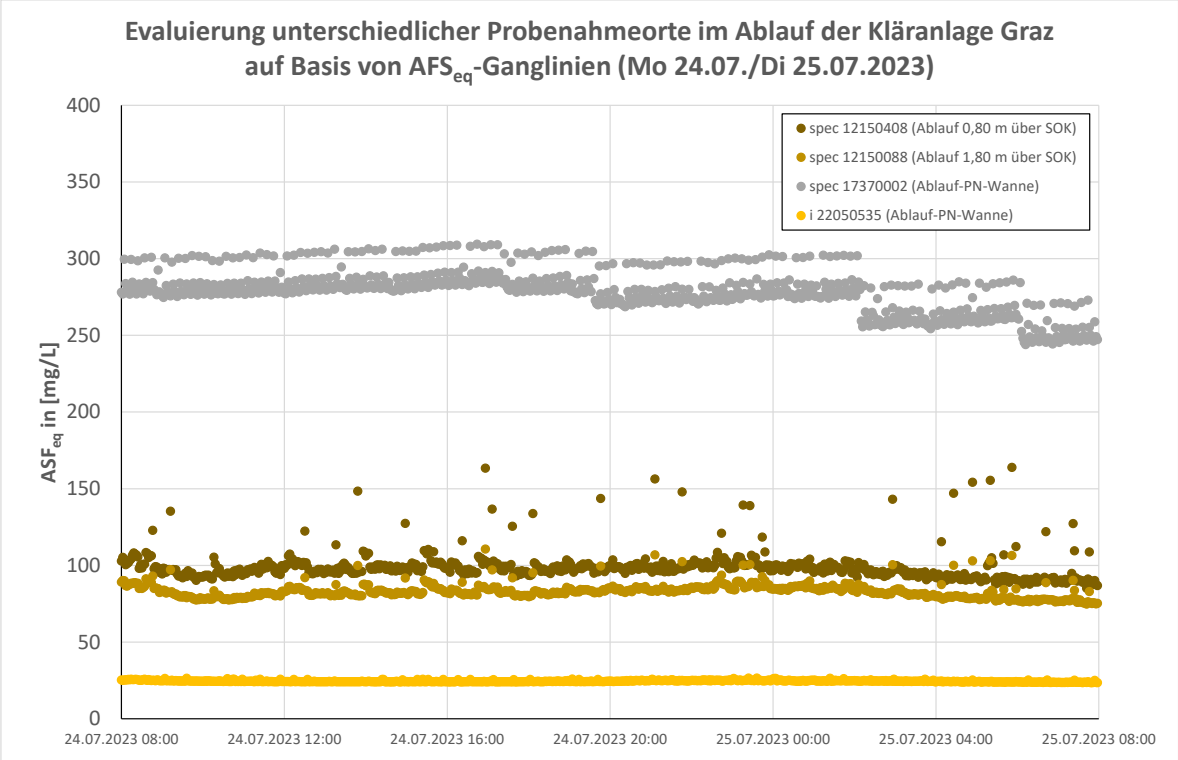
Von den beiden im Ablaufgerinne installierten mobilen UV/VIS-Spektrometern waren die AFS_{eq}-4 h-Mittelwerte der mit 0,80 m über SOK sohlnah installierten Sonde alle höher als von der Sonde, die 1,80 m über SOK installiert wurde, was auf inhomogene Verhältnisse im Ablaufbereich vor der Überlaufschwelle hinweist. In allen 4 h-Perioden waren die AFS_{eq}-Konzentrationen des i::scans am geringsten, die allerdings auch noch deutlich über den labortechnisch ermittelten AFS-Ablauf-Konzentrationen lagen.

Abbildung 48 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz.



In den 4 AFS_{eq}-Verläufen der Abbildung 49 wiesen die beiden im Ablaufgerinne installierten mobilen UV/VIS-Spektrometer ähnliche Verläufe auf. Jene Sonde, die mit 0,80 m über SOK sohlnäher installiert war, ermittelte über den gesamten Untersuchungstag höhere AFS_{eq}-Konzentrationen als jene Sonde, die 1,80 m über SOK installiert wurde, was auf inhomogene Verhältnisse im Ablaufbereich vor der Überlaufschwelle hinweist.

Abbildung 49 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Mo 24./Di 25.07.2023.



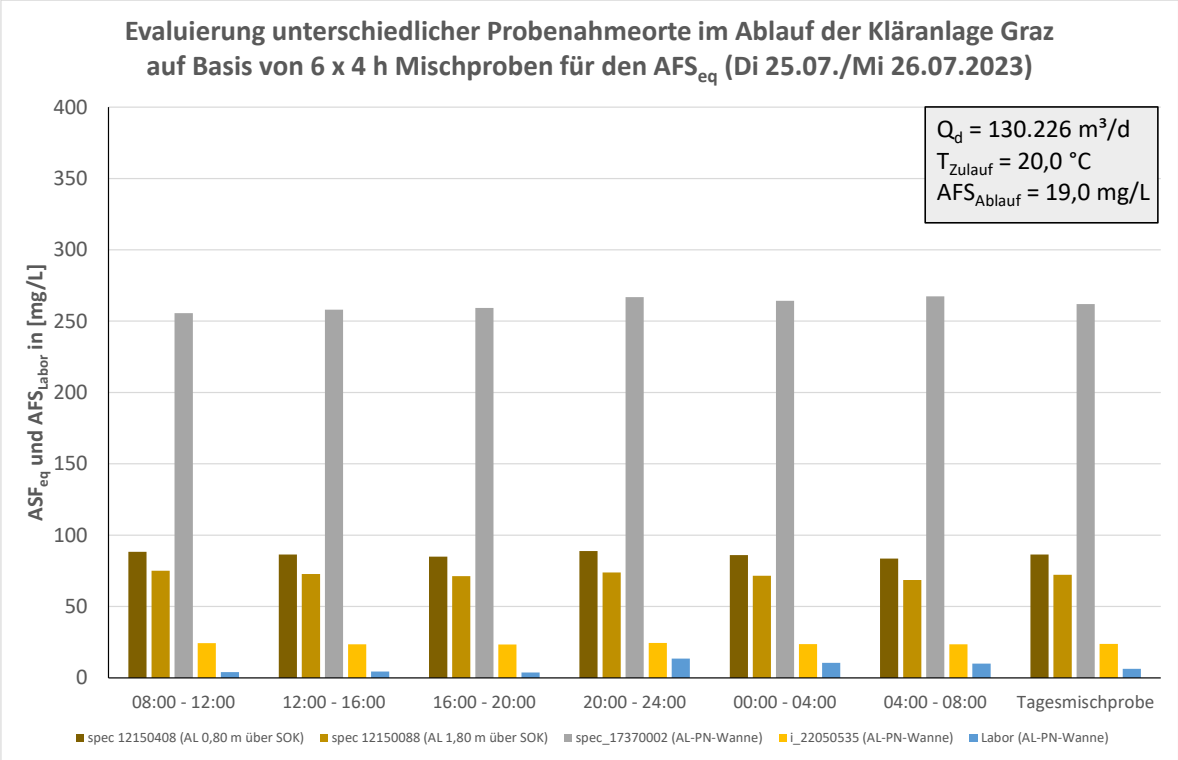
In der Abbildung 50 sind die 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen für den Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023 gegenübergestellt und in der Abbildung 51 die vollkommenen AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen im Ablauf der ARA-Graz an diesem Untersuchungstag dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 130.226 m³/d deutlicher Regenwettereinfluss vorlag.

Deutlich zu erkennen ist dabei, dass alle 4 UV/VIS-Spektrometer-Werte die parallel ermittelten Probenahme- und Laborwerte auch an diesem Untersuchungstag wieder deutlich überschätzt hatten, was auf eine schlechte Anpassung der verwendeten globalen Kalibrati-

onen an die vorherrschende Abwassermatrix schließen lässt. Vor allem die AFS_{eq}-Konzentrationen der UV/VIS-Spektrometer-Sonde in der Ablauf-Probenahme-Wanne waren wieder deutlich zu hoch.

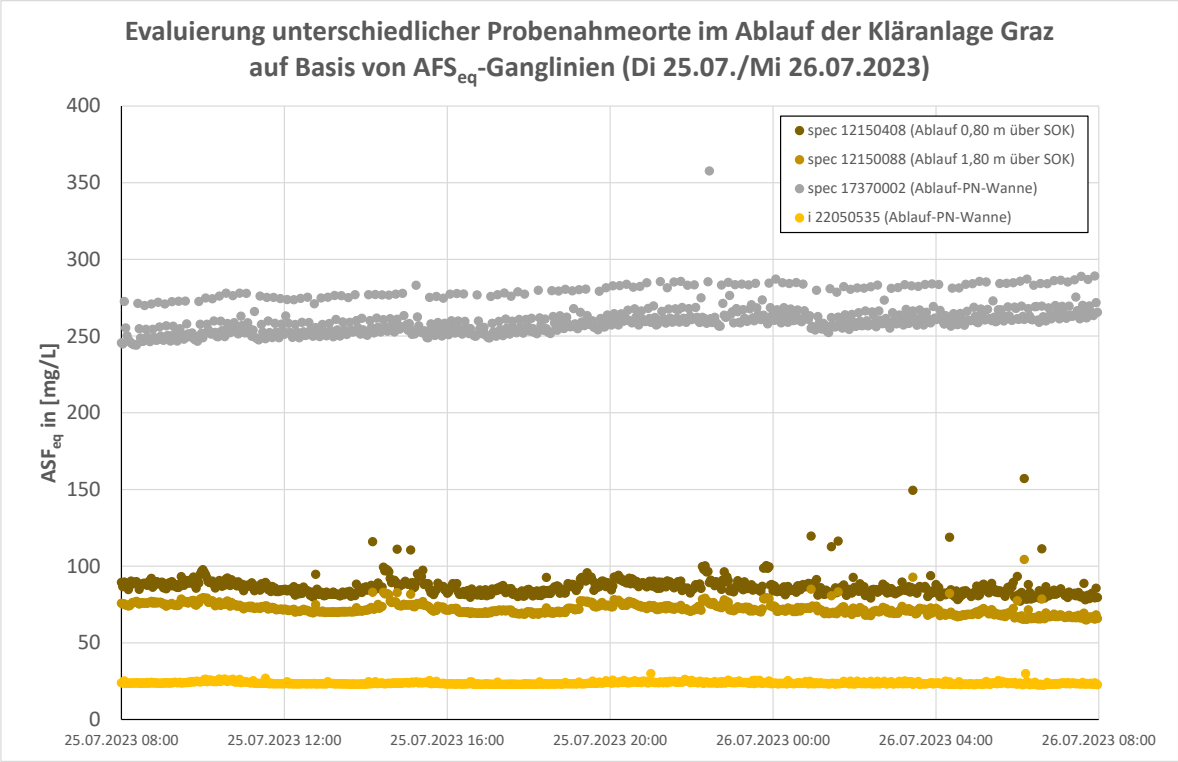
Von den beiden im Ablaufgerinne installierten mobilen UV/VIS-Spektrometern waren die AFS_{eq}-4 h-Mittelwerte der mit 0,80 m über SOK sohlnah installierten Sonde alle höher als von der Sonde, die 1,80 m über SOK installiert wurde, was auf inhomogene Verhältnisse im Ablaufbereich vor der Überlaufschwelle hinweist. In allen 4 h-Perioden waren wieder die AFS_{eq}-Konzentrationen des i::scans am geringsten, die allerdings auch noch deutlich über den labortechnisch ermittelten AFS-Ablauf-Konzentrationen lagen.

Abbildung 50 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023.



In den 4 AFS_{eq}-Verläufen der Abbildung 51 wiesen die beiden im Ablaufgerinne installierten mobilen UV/VIS-Spektrometer ähnliche Verläufe auf. Jene Sonde, die mit 0,80 m über SOK sohlnäher installiert war, ermittelte über den gesamten Untersuchungs-tag höhere AFS_{eq}-Konzentrationen als jene Sonde, die 1,80 m über SOK installiert wurde, was auf inhomogene Verhältnisse im Ablaufbereich vor der Überlaufschwelle hinweist.

Abbildung 51 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Di 25./Mi 26.07.2023.



3.2.3.3.2 Vergleich der CSB_{eq}-UV/VIS-Messungen mit den zeitgleichen CSB-Probenahme- und Laborwerten

In der Tabelle 75 und in der Tabelle 76 sind die CSB_{eq}-Konzentrationen auf Basis der rechnerisch ermittelten 4 h-UV/VIS-Spektrometer-Mittelwerten den parallel durchgeführten 4 h-Probenahmen und CSB-Laboranalysen während der beiden Untersuchungstage Mo 24./Di 25.07.2023 und Di 25./Mi 26.07.2023 gegenübergestellt.

Tabelle 75 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte in mg/L aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Mo 24./Di 25.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz.

Mo 24./Di 25.07.2023 Zeitbereich	spec 12150408 AL 0,80 m über SOK	spec 12150088 AL 1,80 m über SOK	spec 17370002 Ablauf PN-Wanne	i::scan 22050535 Ablauf PN-Wanne	Labor Ablauf PN-Wanne	Labor PN EÜ
08:00–12:00	-32,1	31,8	121,7	26,8	24,4	
12:00–16:00	-1,3	30,5	123,1	26,2	25,9	
16:00–20:00	-32,7	31,6	123,6	27,2	17,8	
20:00–24:00	-30,6	33,5	122,0	29,8	22,5	
00:00–04:00	-31,1	32,9	120,8	30,1	24,4	
04:00–08:00	-32,8	31,5	116,3	29,7	22,1	
Tagesmischprobe	-32,1	31,9	121,2	28,3	22,1	26,4

Tabelle 76 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte in mg/L aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Di 25./Mi 26.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz.

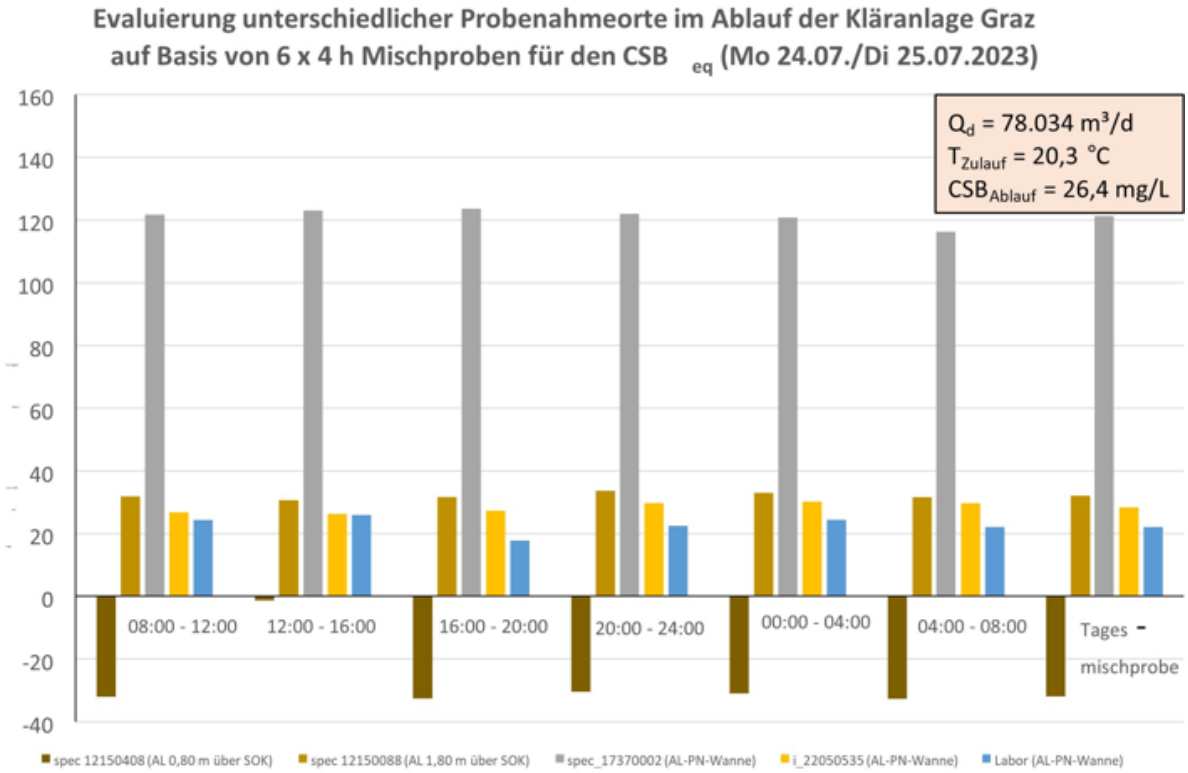
Di 25./Mi 26.07.2023 Zeitbereich	spec 12150408 AL 0,80 m über SOK	spec 12150088 AL 1,80 m über SOK	spec 17370002 Ablauf PN-Wanne	i::scan 22050535 Ablauf PN-Wanne	Labor Ablauf PN-Wanne	Labor PN EÜ
08:00–12:00	-31,6	31,8	115,3	30,3	23,8	
12:00–16:00	-33,9	30,2	115,8	29,4	23,0	
16:00–20:00	-33,9	29,1	115,1	28,4	19,3	
20:00–24:00	-31,3	30,3	119,3	30,5	26,9	
00:00–04:00	-32,4	29,0	117,2	29,9	24,2	
04:00–08:00	-30,1	28,7	118,1	29,7	20,0	
Tagesmischprobe	-32,2	29,9	116,8	29,7	22,9	29,2

In der Abbildung 52 sind die 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen für den Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023 gegenübergestellt und in der Abbildung 53 die vollkommenen CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen an diesem Untersuchungstag

dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 78.034 m³/d Trockenwetterbedingungen vorherrschten.

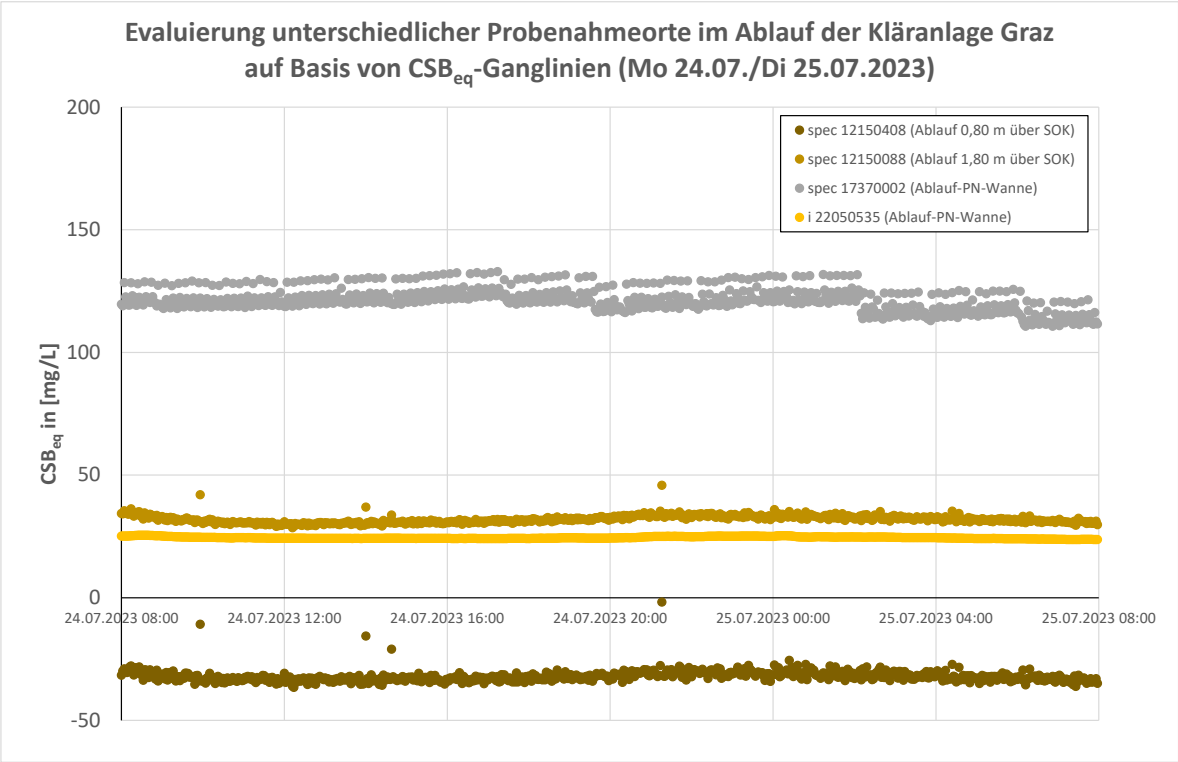
Deutlich zu erkennen ist dabei, dass der in der Ablauf-Probenahme-Wanne installierte UV/VIS-Spektrometer auch die CSB_{eq}-Mittelwerte gegenüber den parallel ermittelten Probenahme- und Laborwerte wieder deutlich überschätzt hatte, was eine schlechte Anpassung der verwendeten globalen Kalibration an die vorherrschende Abwassermatrix oder aber auch technische Probleme der Sonde vermuten lässt. Im Gegensatz dazu lagen die CSB_{eq}-Mittelwerte des 1,80 m über SOK installierten UV/VIS-Spektrometers und auch jene vom i::scan im Bereich der CSB-Ablauf-Laborwerte. Bei den von der 0,80 m über SOK installierten UV/VIS-Spektrometer-Sonde ermittelten CSB_{eq}-Konzentrationen ergaben sich auf Basis der aktivierten globalen Kalibration EFF40003V18T sogar durchwegs negative Werte.

Abbildung 52 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023.



In den 4 CSB_{eq}-Verläufen der Abbildung 53 wiesen die beiden im Ablaufgerinne installierten mobilen UV/VIS-Spektrometer ähnliche Verläufe auf. Jene Sonde, die mit 0,80 m über SOK sohlnäher installiert war, ermittelte über den gesamten Untersuchungstag allerdings durchgehend negative CSB_{eq}-Konzentrationen, was zum einen auf inhomogene Verhältnisse im Ablaufbereich vor der Überlaufschwelle hinweist und zum anderen Probleme mit dem aktivierten globalen Kalibrationsmodell EFF40003V18T vermuten lässt.

Abbildung 53 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Mo 24./Di 25.07.2023.

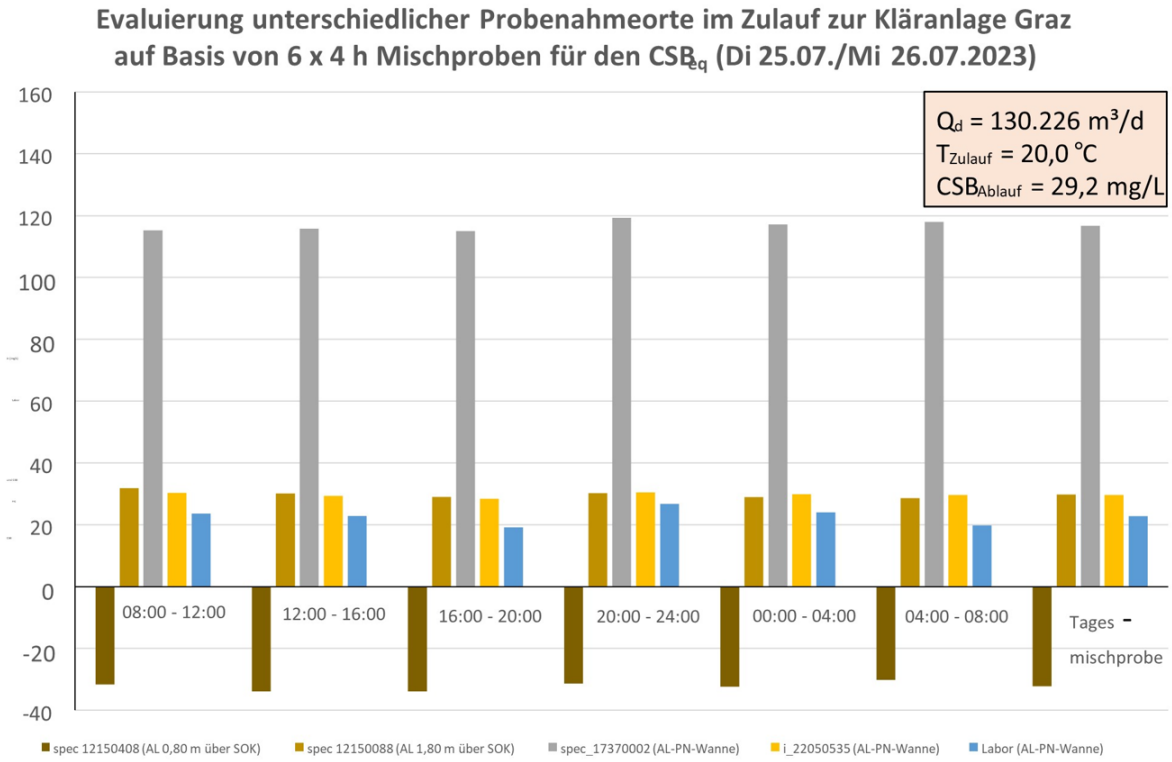


In der Abbildung 54 sind die 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen für den Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023 gegenübergestellt und in der Abbildung 55 die vollkommenen CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen an diesem Untersuchungstag dargestellt, an welchem mit einer Tageszulaufmenge Q_d von 130.226 m³/d deutlicher Regenwettereinfluss vorlag.

Deutlich zu erkennen ist dabei, dass der in der Ablauf-Probenahme-Wanne installierte UV/VIS-Spektrometer auch die CSB_{eq}-Mittelwerte gegenüber den parallel ermittelten Pro-

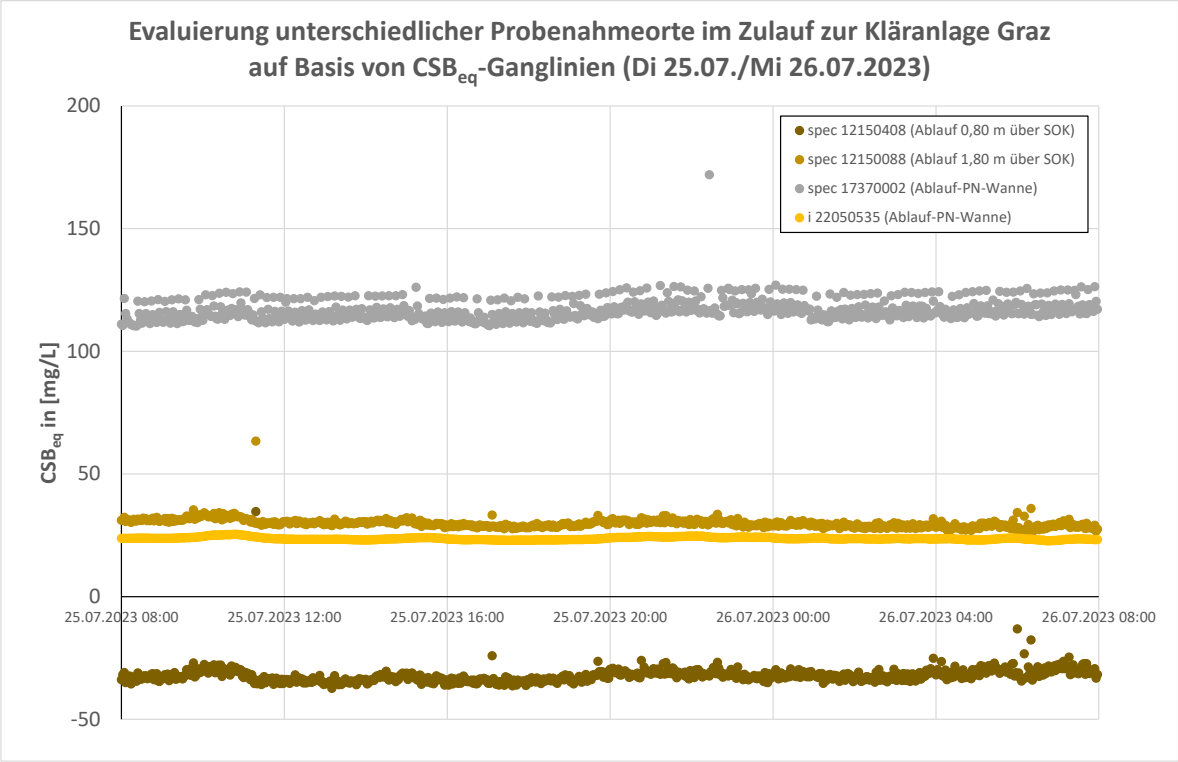
benahme- und Laborwerte wieder deutlich überschätzt hatte, was eine schlechte Anpassung der verwendeten globalen Kalibration an die vorherrschende Abwassermatrix oder aber auch technische Probleme der Sonde vermuten lässt. Im Gegensatz dazu lagen die CSB_{eq}-Mittelwerte des 1,80 m über SOK installierten UV/VIS-Spektrometers und auch jene vom i::scan im Bereich der CSB-Ablauf-Laborwerte. Bei den von der 0,80 m über SOK installierten UV/VIS-Spektrometer-Sonde ermittelten CSB_{eq}-Konzentrationen ergaben sich auf Basis der aktivierten globalen Kalibration EFF40003V18T durchwegs negative Werte.

Abbildung 54 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023.



In den 4 CSB_{eq}-Verläufen der Abbildung 55 wiesen die beiden im Ablaufgerinne installierten mobilen UV/VIS-Spektrometer ähnliche Verläufe auf. Jene Sonde, die mit 0,80 m über SOK sohlnäher installiert war, ermittelte über den gesamten Untersuchungstag allerdings durchgehend negative CSB_{eq}-Konzentrationen, was zum einen auf inhomogene Verhältnisse im Ablaufbereich vor der Überlaufschwelle hinweist und zum anderen Probleme mit dem aktivierten globalen Kalibrationsmodell EFF40003V18T vermuten lässt.

Abbildung 55 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Di 25./Mi 26.07.2023.



3.2.4 Schlussfolgerungen für die Auswahl und Festlegung der MP-Probenahmestellen im Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz

Auf Basis der erzielten Ergebnisse der durchgeführten 6 Probenahme-Messkampagnen an unterschiedlichen Probenahmeorten und Probenahme-Horizonten im Zulauf- und Ablaufbereich der Kläranlage Graz, die mit zeitgleichen UV/VIS-Spektrometer-Messungen ergänzt wurden, erfolgte letztendlich die finale Auswahl und Festlegung der Probenahmestellen für die Mikroplastik-Beprobungen im Zulauf und im Ablauf der Kläranlage Graz.

Dafür wurden die folgenden Kriterien für die Auswahl und Festlegung der Probenahmestellen herangezogen:

- Möglichst gute Durchmischung der Ansaugbereiche (Homogenität) für die automatischen Probenahmen bei unterschiedlichen Abflussverhältnissen
- Zugänglichkeit
- Vorhandene Infrastruktur für die Ansteuerung und Gewinnung von mengenproportionalen Tagesmischproben

- Vergleichbarkeit mit den täglichen Probenahmen aus der Eigen- und Fremdüberwachung der Kläranlage
- Eignung auch größere Probenvolumina gewinnen zu können

Nach der Anwendung der oben angeführten Kriterien und auf Basis der bei den 6 Probenahme-Messkampagnen gemachten Erfahrungen entschied man sich, die Mikroplastik-Beprobungen an den folgenden Probenahmestellen der Kläranlage Graz durchzuführen:

3.2.4.1 Auswahl der MP-Probenahmestelle für den Zulauf der Kläranlage Graz

Aufgrund der seit 2017 gemachten sehr guten Erfahrungen mit der Zulauf-Probenahme-Wanne, aus welcher auch die täglichen mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben für die Eigenüberwachung der Kläranlage sowie auch die monatlichen und auch die jährliche Fremdüberwachungen erfolgen, entschied man sich, auch die MP-Beprobungen aus dieser Zulauf-Probenahme-Wanne durchzuführen. Dabei erfolgt die Abwasserprobenzuführung zu der Wanne auf kurzem Wege mit einer Exzenterschneckenpumpe aus einem gut durchmischten Bereich nach der Vereinigung der beiden Zulaufgerinne und vor der hydraulischen Beschickung der 3 belüfteten Sand- und Fettfänge.

Die ebenfalls evaluierten Probenahmeorte in den beiden Zulaufgerinnen links und rechts, in welchen auch in beiden zusätzlich noch in zwei unterschiedlichen Horizonten (in den 1/3- und 2/3-Punkten) beprobt wurde, zeigten deutliche Unterschiede in der Homogenität der untersuchten 4 h-Laborproben und auch in den parallel gemessenen UV/VIS-Spektrometer-Verläufen.

Der vierte ebenfalls noch evaluierte Probenahmeort nach der Vereinigung der 3 belüfteten Sand- und Fettfängen wies an den beiden Untersuchungstagen ebenfalls eine gute Homogenität des Abwasserstromes auf, führte jedoch durch seine planmäßige Absetzwirkung von im Abwasser enthaltenen Feststoffen zu AFS-Minderbefunden und damit auch tendenziell zu MP-Verlusten bei den schweren MP-Fraktionen.

3.2.4.2 Auswahl der MP-Probenahmestelle für den Ablauf der Kläranlage Graz

Aufgrund der sehr großen erforderlichen Probenvolumina für die MP-Ablaufproben entschied man sich, die MP-Ablaufproben direkt aus dem vereinten Ablaufgerinne vor der zentralen Überlaufschwelle zu gewinnen, da eine alternative Teilprobenentnahme direkt aus der Ablauf-Probenahme-Wanne dort aufgrund der sehr großen erforderlichen Teilprobenvolumina zu Störungen bei den dort ebenfalls installierten On-line-Sensoren führen würde und auch die täglich erforderlichen Ablaufbeprobungen zur Eigenüberwachung der Kläranlage dadurch beeinträchtigen würden.

Der während der beiden Untersuchungstage festgestellte Einfluss einer AFS-Schichtung im Ablaufgerinne vor der Überlaufschwelle wurde bei der Konzeption des MP-Ablauf-Probenahmesystems dahingehend berücksichtigt, dass der finale Ansaugpunkt für die MP-Beprobungen im Ablaufgerinne vor der Überlaufschwelle mit 1,30 m über SOK und damit zwischen den beiden getesteten Ansaugpunkten 0,80 m und 1,80 m über SOK gewählt wurde, wie in der Abbildung 56 und der Abbildung 57 dargestellt ist.

Abbildung 56 Final gewählter Ansaugpunkt der Kreiselpumpe für die MP-Probenahmen im Ablaufgerinne der Kläranlage Graz.

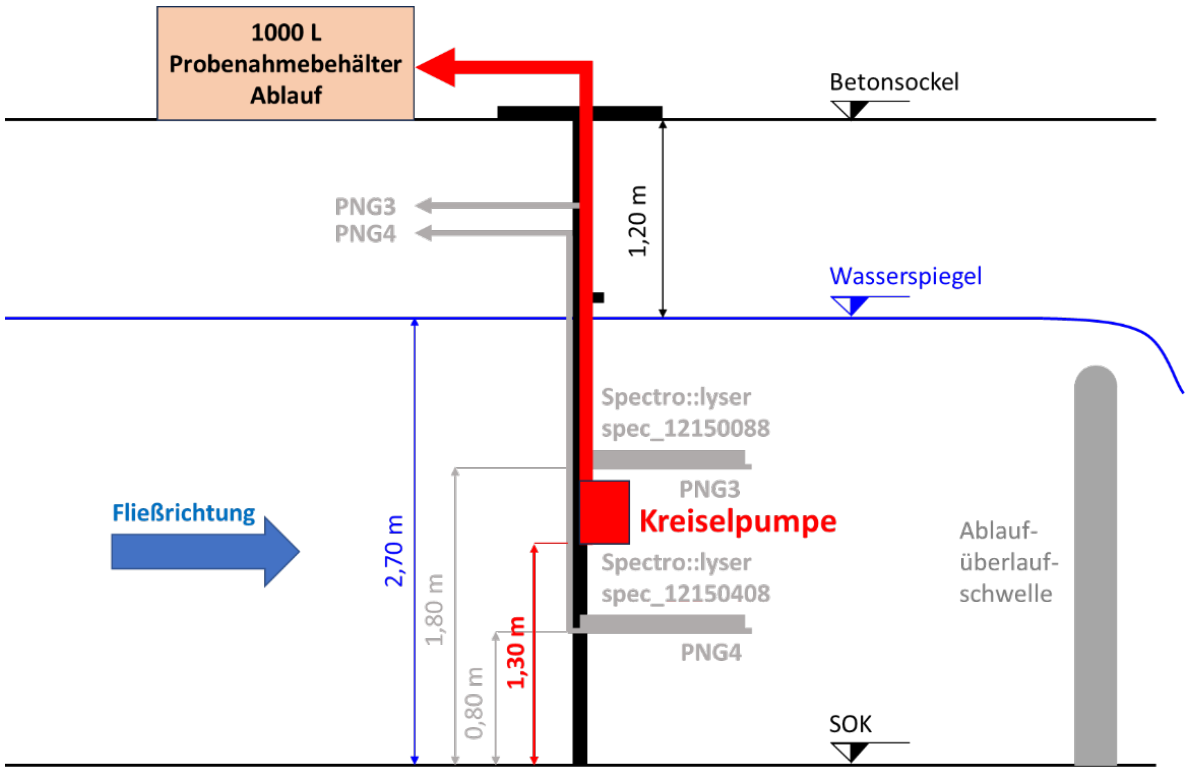


Abbildung 57 Ausgebautes Befestigungsgestänge und finale Position der verwendeten Kreiselpumpe +1,30 m über SOK für die Ablauf-Probenahme auf der Kläranlage Graz.



3.2.4.3 Abschätzung der erforderlichen Probenvolumina im Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz für die MP-Bestimmungen

Die erforderlichen Probenvolumina zur Generierung der angestrebten mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben wurden auf Basis der während der 6 Probenahme-Messkampagnen gemessenen AFS-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz abgeschätzt, aus welchen sich auch die gewinnbaren Trockenmassen grob abschätzen ließen.

Dabei ergaben sich an den insgesamt 8 Zulauf-Probenahmetagen aus den 8 Tagesmischproben ein AFS-Mittelwert für den Zulauf von 333 mg/L und an den insgesamt 4 Ablauf-Probenahmetagen ein AFS-Mittelwert für den Ablauf von 5,8 mg/L.

Unter der Annahme von ca. 100 L mengenproportional gewinnbarer Tageszulaufproben ergibt sich damit eine zu erwartende Trockenmasse für die MP-Bestimmungen von ca. 33 g.

Unter der Annahme von ca. 1.000 L mengenproportional gewinnbarer Tagesablaufproben ergibt sich damit eine zu erwartende Trockenmasse für die MP-Bestimmungen von ca. 5,8 g.

Darauf wurden die beiden zu entwickelnden Probenahmesysteme für den Zulauf und Ablauf der Kläranlage Graz ausgelegt, welche dann an insgesamt 7 Probenahme- und Filtrationstagen auf der Kläranlage Graz im Jahr 2023 erfolgreich getestet werden konnten. Die damit gewinnbaren Trockenmassen in den mengenproportional 24 h-Tagesmischproben waren sowohl im Zulauf als auch im Ablauf der Kläranlage Graz ausreichend, um den Großteil der in diesem Projekt angestrebten MP-Analysen mit zwei verschiedenen Messverfahren durchführen zu können.

4 AP 1.2 – Entwicklung eines MP-Probenahmesystems inkl. Vorversuche auf der Kläranlage Graz

Auf Basis der Ergebnisse des AP 1.1 zur Auswahl und Festlegung der Probenahmeorte im Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz und zur Abschätzung der Mindestprobenvolumina für die MP-Analysen wurden im Jahr 2023 zwei spezielle MP-Probenahmesysteme für den Zulauf und Ablauf der Kläranlage Graz entwickelt, die mengenproportional angesteuert in der Lage sind, die erforderlichen Probenahmevolumina zur Generierung der Mindestanalytmengen für die MP-Bestimmungen über 24 Stunden zu sammeln.

Diese zu entwickelnden MP-Probenahmesysteme sind als Prototyp einzustufen.

4.1 Durchgeführte Arbeiten

Auf Basis der im Kapitel 3.2.4 getroffenen Festlegungen der beiden Probenahmeorte im Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz und der abgeschätzten Tages-Probenahme-Volumina für die MP-Bestimmungen wurden 2 Prototypen eines MP-Probenahmesystems für den Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz entwickelt und im Jahr 2023 noch an jeweils 7 Tagen über die vollen 24 Stunden von jeweils 08:00 bis 08:00 getestet, was auch dem regulären 24 h-Probenahmebetrieb zur EÜ der Kläranlage Graz entspricht.

4.1.1 Entwicklung eines MP-Probenahmesystems für den Zulauf der Kläranlage Graz

Die geometrischen Anforderungen an das MP-Probenahmesystem für den Zulauf der Kläranlage Graz waren, dass das Zulauf-PN-System im vorhandenen Zulauf-Probenahmeraum, in welchem auch die Zulauf-PN-Wanne und das stationäre Zulauf-Probenahmegerät zur Gewinnung der mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben für die Eigenüberwachung der Kläranlage untergebracht sind, Platz finden musste und dort durch seinen Betrieb nicht den

Betrieb und die erforderlichen Wartungsarbeiten der anderen Systeme in diesem Raum beeinträchtigen durfte.

Die technischen Anforderungen an das MP-Probenahmesystem für den Zulauf waren, dass es zur Aufnahme von bis zu 100 L mengenproportional gezogener Tagesmischproben geeignet sein sollte und es zur Ausfallssicherheit bzw. zur Gewinnung noch größerer Tagesproben-Volumina nach Möglichkeit im Zulauf-PN-Raum auch redundant betrieben werden können sollte.

Weiters sollte der Probenahmebehälter zur Vermeidung von MP-Kontaminationen nach Möglichkeit aus Edelstahl bestehen, leicht zu reinigen sein und auch das Dekantieren der gesammelten Tagesvolumina zur Erleichterung der anschließenden Filtrationen ermöglichen.

Nach einigen Marktrecherchen wurde man im Bereich der Lebensmittelindustrie in Italien fündig, wo man auf einen Hersteller relativ kostengünstiger Edelstahlbehälter zur Weinherstellung stieß. Von der recherchierten Herstellerfirma https://www.polsinelli.it/ erwarb man schließlich als Probenahmebehälter für das Zulauf-PN-System zwei 150 L fassende Edelstahlbehälter mit konischen 60 ° Böden (Abbildung 58), in welchen jeweils 2 Edelstahl-Kugelhähne (Abbildung 59) zur Entleerung des Behälters in zwei unterschiedlichen Höhen integriert sind. Dabei weist der untere Kugelhahn zur Totalentleerung des Behälters einen Durchmesser von 1“ und der oberhalb liegende einen Durchmesser von ½“ auf. Der obere Edelstahlzylinder weist einen Durchmesser von 500 mm auf und die Gesamtabmessungen des Behälters inkl. des Untergestells betragen 650 x 650 x 1610 mm. Hergestellt ist der Behälter und auch die integrierten Kugelhähne aus rostfreiem Stahl Aisi 304 (18/10 für Lebensmittel), der auch alle Vorschriften zur Lebensmittelsicherheit erfüllt.

Abbildung 58 Gewählter, 150 L fassender Edelstahlbehälter der Firma https://www.polsi-nelli.it/ zur Aufnahme der Tagesprobenvolumina aus der Zulauf-PN-Wanne im Zulauf-PN-Raum der Kläranlage Graz.



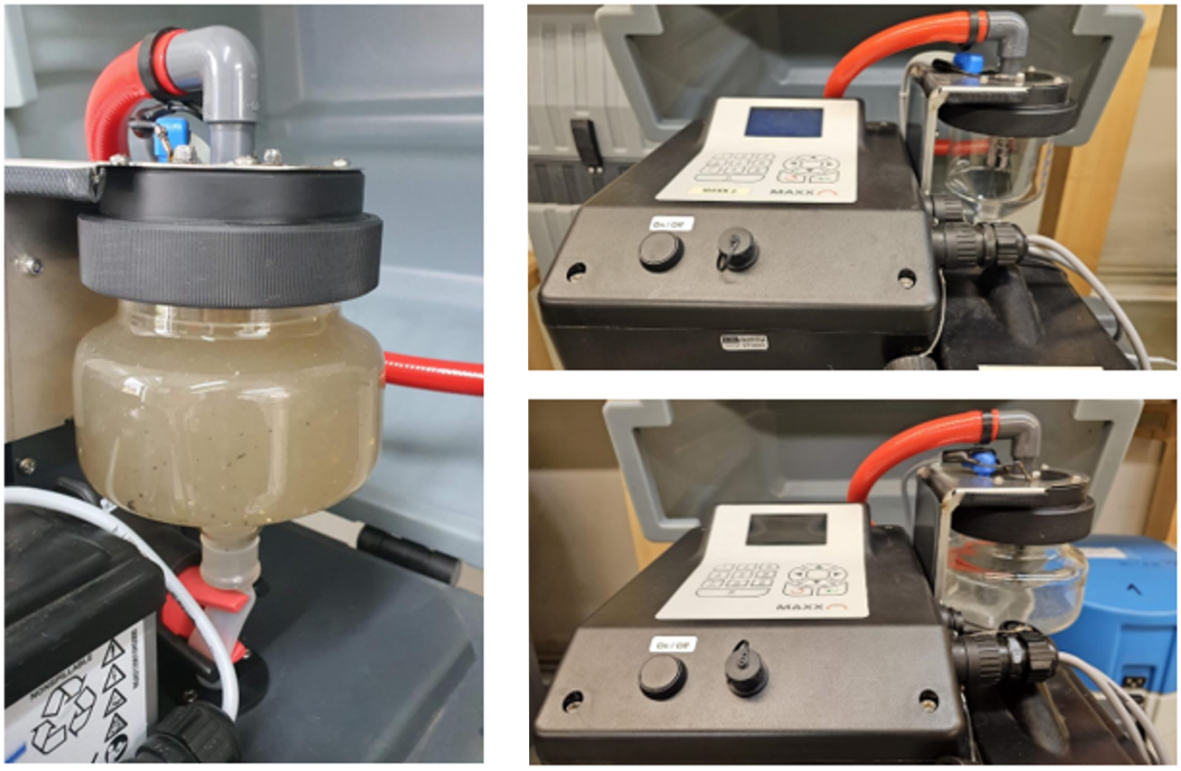
Abbildung 59 Die beiden in unterschiedlichen Höhen angebrachten Entleerungs-Kugelhähne mit einem Durchmesser von 1“ zur Totalentleerung an der Konusspitze und mit einem Durchmesser von ½“ in der Edelstahlkonus-Wandung darüber.



Zur Förderung der Teilprobenvolumina aus der Zulauf-PN-Wanne in den Edelstahlbehälter und zur mengenproportionalen Ansteueung der Teilprobenentnahmen wurde für das Zulauf-PN-System ein etwas adaptierter Probenahmegeräteaufsatz der bereits im AP 1.1 verwendeten Probenahmegeräte (PNG) der Fa. Maxx GmbH vom Typ TP5C verwendet. Dafür wurden für diesen Prototyp der standardmäßig nur maximal ca. 400 mL fassende Glasbehälter zur Aufnahme und Parametrierung der Teilprobenvolumina gegen einen fast 700 mL fassenden größeren Glasbehälter ausgetauscht (Abbildung 60). Zur Sicherstellung einer möglichst gleichbleibenden Teilprobenvolumenkonstanz wurden in einem Testlauf aus der Zulauf-PN-Wanne 12 Teilproben unmittelbar hintereinander händisch ausgelöst und jeweils ihr Teilprobenvolumen ausgelitert, was einen Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina von 695 mL bei einer Standardabweichung von nur 1,3 mL ergab.

Der einsatzfähige Prototyp eines MP-Zulauf-Probenahmesystems bestehend aus dem 150 L fassenden Edelstahlbehälter und einem aufgesetzten und adaptierten PNG-Aufsatz ist in der Abbildung 61 im Zulauf-PN-Raum der Kläranlage dargestellt, welcher die Zulaufproben direkt aus der Zulauf-PN-Wanne entnimmt, aus der auch die mengenproportionalen 24 h-Zulaufproben für die Eigenüberwachung der Kläranlage entnommen werden.

Abbildung 60 Der standardmäßig installierte ca. 400 mL fassende Glasbehälter zur Aufnahme der Teilproben (rechts oben) und der für das MP-Zulauf-PN-System adaptierte ca. 700 mL fassende Glasbehälter (rechts unten und links im Betrieb).



Mengenproportional angesteuert wird das MP-Zulauf-PN-System von den identen volumenproportionalen Impulsen der MID-Zulaufmengenmessung der Kläranlage, die mit ihrem voreingestellten 500 m³-Impulsteiler auch die beiden stationären Probenahmegeräte im Zu- und im Ablauf der Kläranlage zur Eigenüberwachung ansteuert. Bei einem voreingestellten Teilprobenvolumen von 695 mL mit dem adaptierten Glasbehälter zur Aufnahme der Teilproben und einem angenommenen Trockenwettertag von 70.000 m³/d im Zulauf zur Kläranlage ergäbe das ein Tages-PN-Volumen für den Zulauf von 97,3 L/d.

Der entwickelte Prototyp konnte im Jahr 2023 noch an 7 Tagen erfolgreich getestet und die dabei gewonnenen Tagesproben auch vollständig mit dem von der TU Wien entwickelten MP-Filtrationssystem filtriert werden. Die dabei gewinnbaren Trockenmassen waren ausreichend, um die angestrebten MP-Bestimmungen mit beiden MP-Analysemethoden (EA-OEM und TED-GC-MS) durchführen zu können.

Abbildung 61 Der einsatzfähige Prototyp eines MP-PN-Systems im Zulauf-PN-Raum der ARA-Graz, welcher die Zulaufproben direkt aus der Zulauf-PN-Wanne ansaugt, aus welcher auch die mengenproportionalen 24 h-Zulaufproben für die Eigenüberwachung der Kläranlage entnommen werden.



4.1.2 Entwicklung eines MP-Probenahmesystems für den Ablauf der Kläranlage Graz

Nachdem aus den Erkenntnissen des AP 1.1 die MP-Ablaufproben direkt aus dem vereinten Ablaufgerinne vor der Überlaufschwelle der Kläranlage in die Mur gewonnen werden sollten und im Unterschied zu den Zulaufproben nicht aus der Ablauf-PN-Wanne im Ablauf-PN-Raum, gab es hinsichtlich der Geometrie keine besonderen Randbedingungen zu beachten.

Die technischen Anforderungen an das MP-Probenahmesystem für den Ablauf waren, dass es zur Aufnahme von bis zu 1.000 L mengenproportional gezogener Tagesmischproben geeignet sein sollte und es zur Ausfallssicherheit bzw. zur Gewinnung noch größerer Tagesprobenvolumina nach Möglichkeit auch redundant betrieben werden können sollte.

Weiters sollte der Probenahmebehälter zur Vermeidung von MP-Kontaminationen nach Möglichkeit aus Edelstahl bestehen, leicht zu reinigen sein und auch das Dekantieren der gesammelten Tagesvolumina zur Erleichterung der anschließenden Filtrationen ermöglichen.

Nach einigen Marktrecherchen wurde man auch hierfür wieder bei der italienischen Herstellerfirma https://www.polsinelli.it/ fündig und erwarb von dieser als Probenahmebehälter für das Ablauf-PN-System insgesamt drei 1.000 L fassende Edelstahlbehälter mit leicht konischen Behälterböden (Abbildung 62), in denen auch wieder zwei 1“-Kugelhähne zur Entleerung der Behälter in zwei unterschiedlichen Höhen integriert sind. Dabei ist die untere Entleerungsleitung mit ihrem Kugelhahn am Ende der Leitung zur Totalentleerung des Behälters am Tiefpunkt des leicht konischen Behälterbodens angeordnet (Abbildung 63), während sich der Kugelhahn für eine Teilentleerung etwas oberhalb des leicht konischen Behälterbodens befindet (siehe ① in der Abbildung 62). Der Edelstahlzylinder weist einen Durchmesser D1 von 930 mm auf und seine Gesamthöhe H1 beträgt inkl. der Füße 1.900 mm. Hergestellt ist der Behälter und auch die integrierten Kugelhähne aus rostfreiem Stahl Aisi 304 (18/10 für Lebensmittel), der auch alle Vorschriften zur Lebensmittelsicherheit erfüllt.

Abbildung 62 Für das MP-Ablauf-Probenahmesystem gewählter, 1.000 L fassender Edelstahlbehälter der Firma https://www.polsinelli.it/ zur Aufnahme der Tagesprobenvolumina aus dem vereinten Ablaufgerinne der Kläranlage Graz.



Abbildung 63 Leicht konischer Behälterboden des gewählten 1.000 L fassenden Edelstahlbehälters für das MP-Ablauf-PN-System mit der 1“ Entleerungsleitung am Tiefpunkt des Behälterbodens.



Zur Förderung der gegenüber den Zulaufproben deutlich größeren erforderlichen Teilprobenvolumina aus dem Ablaufgerinne in den Edelstahlbehälter verwendete man für den Prototypen eine Edelstahl-Kreiselpumpe der Firma www.starke.at vom Typ ST-30750 (Abbildung 64), die dafür nach den Erkenntnissen des AP 1.1 +1,30 m über der Sohle des Ablaufgerinnes fixiert wird. Das konstant vorzugebende Teilprobenvolumen wurde über die Laufzeiten der Kreiselpumpe gesteuert, deren Konstanz mit jeweils 12 Teilproben bei unterschiedlichen Ansaugzeiten überprüft und die wieder unmittelbar hintereinander und händisch ausgelöst und im Anschluss daran wieder ausgelitert wurden. Diese Tests im Vorfeld ergaben für die nachfolgenden 11 überprüften Ansaugzeiten die nachfolgenden Mittelwerte und die dazugehörigen Standardabweichungen:

- Bei 5 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 2.521 mL ± 33 mL
- Bei 6 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 3.310 mL ± 26 mL
- Bei 7 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 3.992 mL ± 36 mL
- Bei 8 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 4.646 mL ± 33 mL
- Bei 9 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 5.379 mL ± 54 mL
- Bei 10 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 5.933 mL ± 54 mL

- Bei 11 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 6.940 mL ± 46 mL
- Bei 12 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 7.510 mL ± 39 mL
- Bei 13 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 8.395 mL ± 28 mL
- Bei 14 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 9.290 mL ± 32 mL
- Bei 15 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 10.030 mL ± 26 mL
- Bei 20 Sekunden: Mittelwert der 12 Teilprobenvolumina = 13.194 mL ± 35 mL

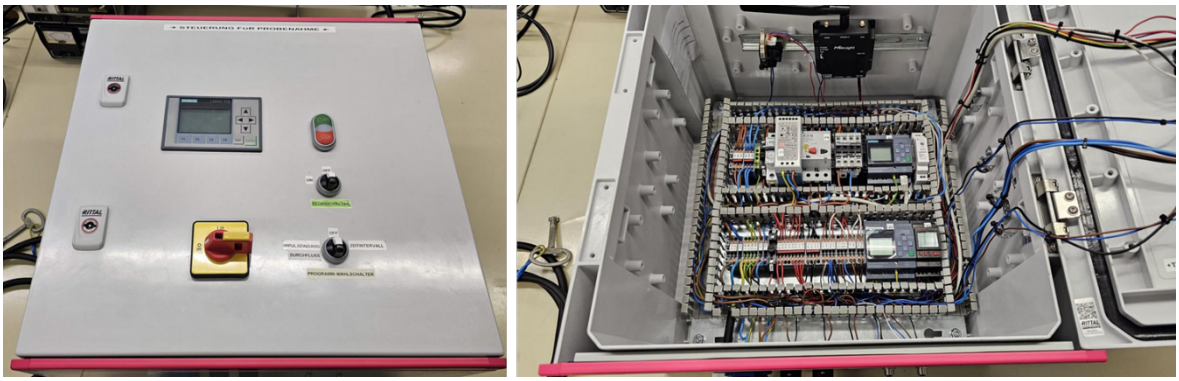
Abbildung 64 Die für den Prototypen verwendete Edelstahl-Kreiselpumpe der Fa. www.starke.at vom Type ST-30750 für das entwickelte MP-Ablauf-PN-System.



Mengenproportional angesteuert wird das MP-Ablauf-PN-System von den identen volumenproportionalen Impulsen der MID-Zulaufmengenmessung der Kläranlage, die mit ihrem voreingestellten 500 m³-Impulsteiler auch die beiden stationären Probenahmegeräte im Zu- und im Ablauf der Kläranlage zur Eigenüberwachung ansteuert. Bei einem voreingestellten Teilprobenvolumen von 5.933 mL bei 10 Sekunden Ansaugzeit mit der Kreiselpumpe aus dem Ablaufgerinne und einem angenommenen Trockenwettertag von 70.000 m³/d im Zulauf zur Kläranlage ergäbe das ein Tages-PN-Volumen für den Ablauf von 831 L/d.

Die volumenproportionale Ansteuerung des MP-Ablauf-PN-Systems sowie auch die Parametrierung der Teilprobenvolumina über die Ansaugzeiten der verwendeten Kreiselpumpe für die MP-Ablaufproben erfolgte zunächst über eine von den Kollegen der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau entwickelten speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS), welche wir dankenswerterweise von den Kollegen für das GeBeMA-Projekt zur Verfügung gestellt bekommen hatten und welche wir dann im Laufe des Projektes in einer erweiterten und für das GeBeMA-Projekt speziell angepassten Version selber nachbauten. Unsere für das GeBeMA-Projekt speziell angepasste SPS ist in der Abbildung 65 dargestellt.

Abbildung 65 Die für die volumenproportionale Ansteuerung und für die Parametrierung der Teilprobenvolumen über die Ansaugzeiten der Kreiselpumpe verwendete SPS für das als Prototypen entwickelte MP-Ablauf-PN-System.



Der einsatzfähige Prototyp eines MP-Ablauf-Probenahmesystems ist in der Abbildung 66 am Ablaufgerinne der Kläranlage Graz dargestellt. Dieser Prototyp konnte im Jahr 2023 noch an 7 Tagen erfolgreich getestet und die dabei gewonnenen Tagesproben auch vollständig mit dem von der TU Wien entwickelten MP-Filtrationssystem filtriert werden. Die dabei gewinnbaren Trockenmassen waren ausreichend, um die angestrebten MP-Bestimmungen mit beiden MP-Analysemethoden (EA-OEM und TED-GC-MS) durchführen zu können.

Abbildung 66 Der einsatzfähige Prototyp eines MP-Ablauf-Probenahmesystems, welcher die Teilproben mit einer im Ablaufgerinne fixierten Kreiselpumpe in den 1.000 L fassenden Edelstahlbehälter fördert.



Um ein Überlaufen der Edelstahlbehälter bei der Beprobung von Mischwassertagen zu vermeiden, bei denen die Tageszulaufmengen zu den Kläranlagen immer unbekannt sind, wurden schließlich für die Beprobungen im Jahr 2024 noch jeweils 2 weitere Edelstahlbehälter angeschafft, wie in der Abbildung 67 im Ablauf der ARA-Graz dargestellt ist. Zwei davon wurden dabei jeweils für die Beprobungen an den zu untersuchenden Mischwassertagen und der dritte jeweils für die beiden stets getrennt und hintereinander durchgeführten Filtrationen mit den 20 µm- und 10 µm-Discfiltersystemen der TU Wien verwendet.

Abbildung 67 Die drei für die MP-Beprobungen im Ablauf der Kläranlagen benötigten Edelstahlbehälter mit einem Fassungsvermögen von 1.000 L.

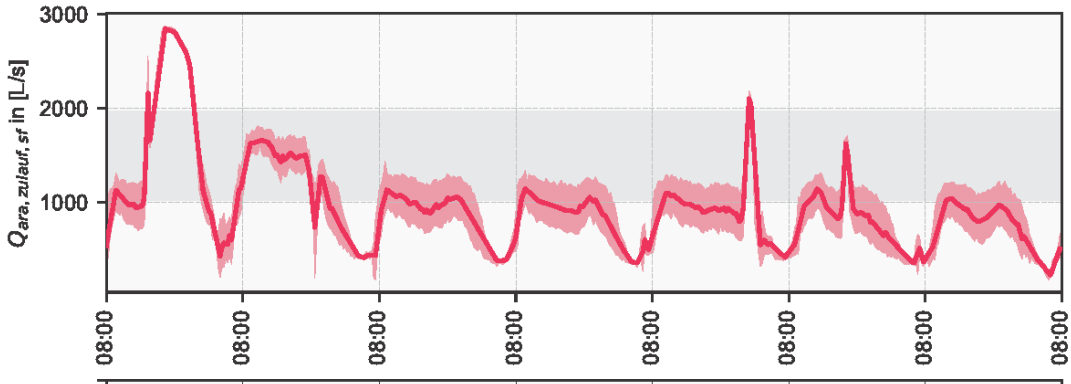


4.1.3 Entwicklung von Wochenberichten zur Beschreibung und Charakterisierung der hydraulischen- und stofflichen Dynamik im Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz

Zur Beschreibung und Charakterisierung der Schmutzstoffdynamik im Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz während der MP-Untersuchungstage wurden aus dem Prozessleitsystem der Kläranlage sogenannte automatisierte Wochenberichte entwickelt. Dafür werden ausgewählte hydraulische und qualitative Abwasserkenngrößen, die auf der Kläranlage Graz messtechnisch erfasst und im Prozessleitsystem der Kläranlage gespeichert werden, zunächst regelmäßig und automatisiert in das Open-Scientific-Data-Managementsystem der TU Graz (OpenSDM) importiert und diese dann für jeden Tag der betreffenden Kalenderwoche in sog. Wochenberichten ausgewertet und deren Verläufe auch grafisch in Form von Ganglinien dargestellt.

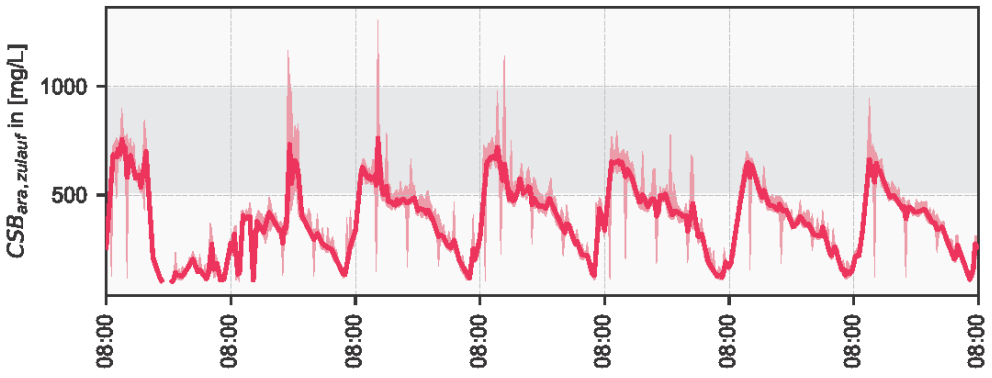
Als Beispiel für diese Auswertungen und Darstellungen sind in der Abbildung 68 und in der Abbildung 69 Auszüge aus dem GeBeMA-OpenSDM-Wochenbericht der TU Graz für die KW 2024-11 über die hydraulische Zulaufdynamik und über die CSB_{eq}-Zulaufdynamik zur Kläranlage Graz für diese Kalenderwoche dargestellt.

Abbildung 68 GeBeMA-OpenSDM-Wochenbericht der TU Graz über die hydraulische Zulaufdynamik der Kläranlage Graz in der KW 2024-11.



	Mo 11.03.2024	Di 12.03.2024	Mi 13.03.2024	Do 14.03.2024	Fr 15.03.2024	Sa 16.03.2024	So 17.03.2024
Q_d [m³/d]	128 958	97 724	72 701	71 255	78 745	67 227	62 275
Q_{mittel} [L/s]	1493	1131	841	825	911	778	721
Q_{min} [L/s]	202	181	323	268	319	234	180
Q_{max} [L/s]	2880	1816	1442	1338	2191	1711	1228
Tagesklasse	MW+Entleer.	TW+Entleer.	TW	TW	MW	TW	TW
G-NS [mm/d]	16.9	0.0	0.0	0.0	2.0	0.8	0.0
Verfügbar [%]	100	100	100	100	100	100	100

Abbildung 69 GeBeMA-OpenSDM-Wochenbericht der TU Graz über die CSB_{eq}-Zulaufdynamik der Kläranlage Graz in der KW 2024-11.



	Mo 11.03.2024	Di 12.03.2024	Mi 13.03.2024	Do 14.03.2024	Fr 15.03.2024	Sa 16.03.2024	So 17.03.2024
CSB_{min} [mg/L]	100	100	109	105	112	114	110
CSB_{max} [mg/L]	899	1166	1304	1141	792	700	945
$CSB_{arith.mittelw.}$ [mg/L]	335	334	404	434	416	372	391
$CSB_{dp.mittelw.}$ [mg/L]	253	352	443	470	446	412	427
$CSB_{analytisch}$ [mg/L]	659	837	987	877	877	739	703
Tagesklasse	MW+Entleer.	TW+Entleer.	TW	TW	MW	TW	TW
G-NS [mm/d]	16.9	0.0	0.0	0.0	2.0	0.8	0.0
Verfügbar [%]	91	100	100	100	100	100	98

Als Beispiel für einen automatisch generierten Wochenbericht ist dieser für die MP-Beprobungswoche KW 2024-11 vollständig im Anhang 1 zu finden, in der an 7 aufeinanderfolgenden Tagen vom So 10.03.2024 bis einschließlich Sa 16.03.2024 die 7 x 24 h-Tagesmischproben sowohl im Zulauf als auch im Ablauf der ARA-Graz auf Mikroplastik untersucht wurden.

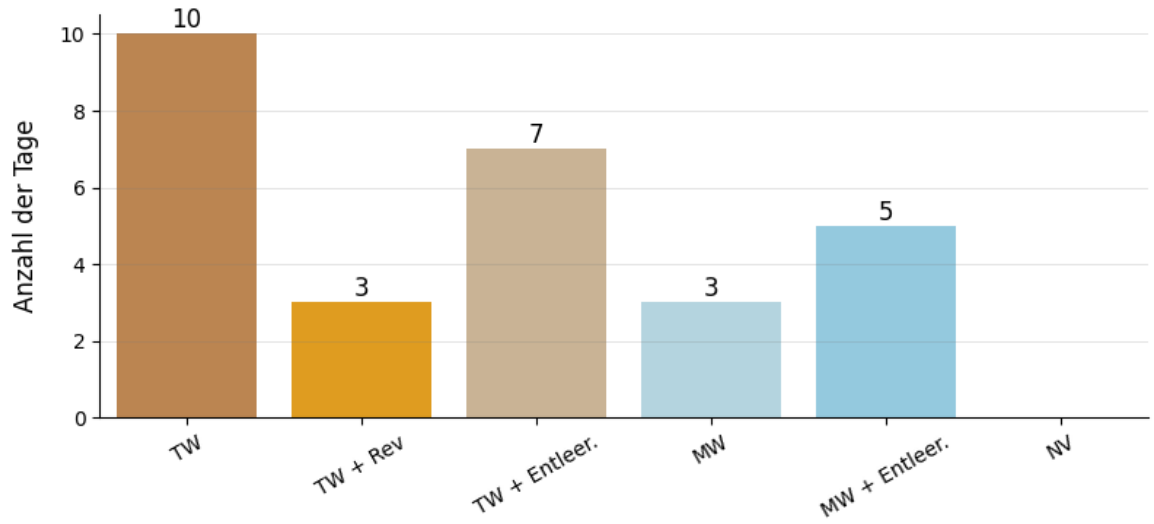
Nachdem gemäß Projektantrag auf der ARA-Graz sowohl Trockenwetter- als auch Mischwassertage auf Mikroplastik zu beproben waren, war eine Unterscheidung auf Basis der hydraulischen Zulaufbedingungen zur Kläranlage Graz erforderlich, welche aufgrund der Anbindung des Zentralen Speicherkanals der Stadt Graz an die ARA-Graz mit einem insgesamt aktivierbaren Speichervolumen inkl. der Mischwasserüberlaufbecken vor der Kläranlage von 106.000 m³ nicht trivial ist, weil dieses Speichervolumen erst wieder nach dem Vorherrschen von Trockenwetterbedingungen im Zulauf der ARA-Graz zur ARA-Graz entleert werden kann.

Damit ergeben sich auf Basis der hydraulischen Zulaufdynamik zur ARA-Graz nach den in der Masterarbeit von Beutle, Cajetan (2025) durchgeführten Analysen die nachfolgenden 6 Tageskategorien mit ihren dafür gewählten Kurzbezeichnungen, die in den Wochenberichten auch tagesweise ausgewiesen werden:

- Trockenwettertag („TW“)
- Trockenwettertag + Revision („TW + Rev.“)
- Trockenwettertag + ZSK- und/oder MÜB-Entleerung („TW + Entleer.“)
- Mischwassertag („MW")
- Mischwassertag + ZSK- und/oder MÜB-Entleerung („MW + Entleer.“)
- Nicht Verfügbar („NV“), sofern an diesem Tag die erforderliche Messdatenverfügbarkeit für die Tageskategorisierung nicht gegeben war.

Insgesamt wurden im Rahmen dieses Projektes auf der ARA-Graz an 28 Tagen jeweils zeitsynchron sowohl im Zulauf als auch im Ablauf der Kläranlage 24 h-Tagesmischproben für die Mikroplastik-Bestimmung generiert. Dabei ergab sich nach der oben beschriebenen Tageskategorisierung nach Beutle, Cajetan (2025) die in der Abbildung 70 dargestellte Verteilung.

Abbildung 70 Verteilung der Tagesklassen nach Beutle, Cajetan (2025) für die 28 auf der ARA-Graz durchgeführten Probenahmetage im Zu- und Ablauf der Kläranlage.



5 AP 1.3 – Entwicklung von Filtrationssystemen zur Probenaufbereitung

5.1 Durchgeführte Arbeiten

5.1.1 Auswahl geeigneter Filtrationssysteme

Das Hauptziel der Entwicklungsarbeit bestand darin, sicherzustellen, dass die anzuwendende Filtrationsmethodik für den Routinebetrieb geeignet ist. Hierbei wurde besonderes darauf geachtet, dass sie möglichst robust und praktikabel in der Anwendung ist. Zugleich wurde angestrebt, dass die entwickelte Lösung auch für den Umgang mit großen Probenvolumina, von mindestens 1 m^3, ausgelegt ist. Der Ausgangspunkt dieses Vorhabens war eine umfassende Recherche in der aktuellen wissenschaftlichen Literatur. Aktuell beschriebene Methoden basieren vornehmlich auf Druckfiltrationssystemen und dem Einsatz verschiedener Filterbehälter wie zum Beispiel Korbfilter oder Kerzenfilter. Auf Basis der erfolgten Recherche wurde ein Prototyp entwickelt, der es ermöglicht, Korbfilter unterschiedlicher Feinheiten und in verschiedenen Anordnungen zu betreiben. Als weitere Methodik wurde ein labortypisches Discfiltrationssystem für die geplanten Vorversuche ausgewählt. Dieses wird von der TU Wien seit mehreren Jahren erfolgreich für die MP-Analytik eingesetzt und hat sich im praktischen Betrieb als zuverlässig und flexibel einsetzbar erwiesen.

5.1.2 Korbfiltersystem

Abbildung 71 zeigt das entwickelte Korbfiltersystem. Der Prototyp enthält vier Filtergehäuse und ermöglicht eine Kaskadenfiltration mit bis zu drei aufeinanderfolgenden Filterfeinheiten. Die letzten beiden Filtergehäuse können entweder parallel oder alternierend betrieben werden, was einen einfachen Austausch der Körbe mit der feinsten Filterstufe während des laufenden Betriebs ermöglicht. Das Filtrationssystem wurde mit zwei Manometern ausgerüstet, damit der Druckverlauf und in weiterer Folge der Aufbau eines kritischen Filterkuchens überwacht werden kann. Die Gehäuse sind aus Gusseisen gefertigt. Für

die Schlauchanschlüsse wurde ein handelsübliches Schnellkupplungs-System (GEKA) gewählt. Die verwendeten Schläuche bestehen aus PVC und haben einen Durchmesser von 1 Zoll.

Abbildung 71 Filtrationssystem mit vier Einbauten für Korbfilter (links), ausgebautes Filtergehäuse (Mitte) und dazugehöriger Korbfilter (rechts).



5.1.3 Discfiltration

Für die Versuche mittels Discfiltration wurden laborübliche Druckfilterhalter mit einem Standard-Filterdurchmesser von 142 mm verwendet (Abbildung 72). Da es von Seiten kommerzieller Anbieter keine passenden Metallfilter für die angestrebte Druckfiltrationsmethode gab, wurden die benötigten Scheibenfilter im Zuge des gegenständlichen Projektes eigenständig angefertigt. Hierfür wurden Drahtgeweberollen (Köpertressen) aus Edelstahl mit Maschenweiten von 50 µm, 20 µm und 10 µm verwendet. Aus den Geweberollen wurden Kreise mit einem Durchmesser von 142 mm ausgeschnitten (132 cm² Filterfläche) und in einer Sandwichbauweise mit zwei Blechringen verklebt. Der Klebstoff (Sikaflex-292i) diente gleichzeitig als Dichtmaterial, um den Austritt von zurückgehaltenem Feststoff zwischen Filter und Blechringen zu verhindern. Die Schläuche für das Filtrationssystem bestehen aus Polyamid (PA) und haben einen Durchmesser von 1 cm (Abbildung 73). In weiterer Folge wurden auch 293 mm Filtergehäuse mit einer resultierenden Filterfläche von 615 cm² getestet.

Abbildung 72 Edelstahl-Druckfilterhalter (links) und dazugehöriger Scheibenfilter (rechts).

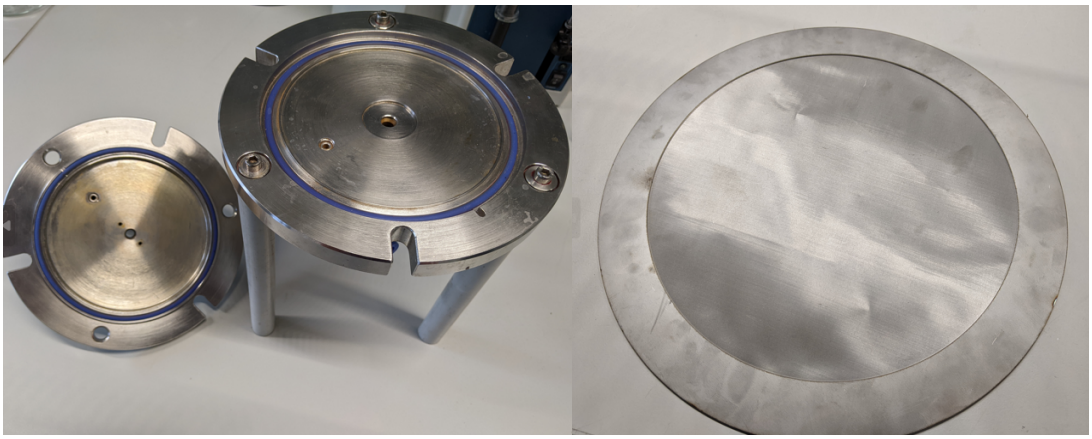
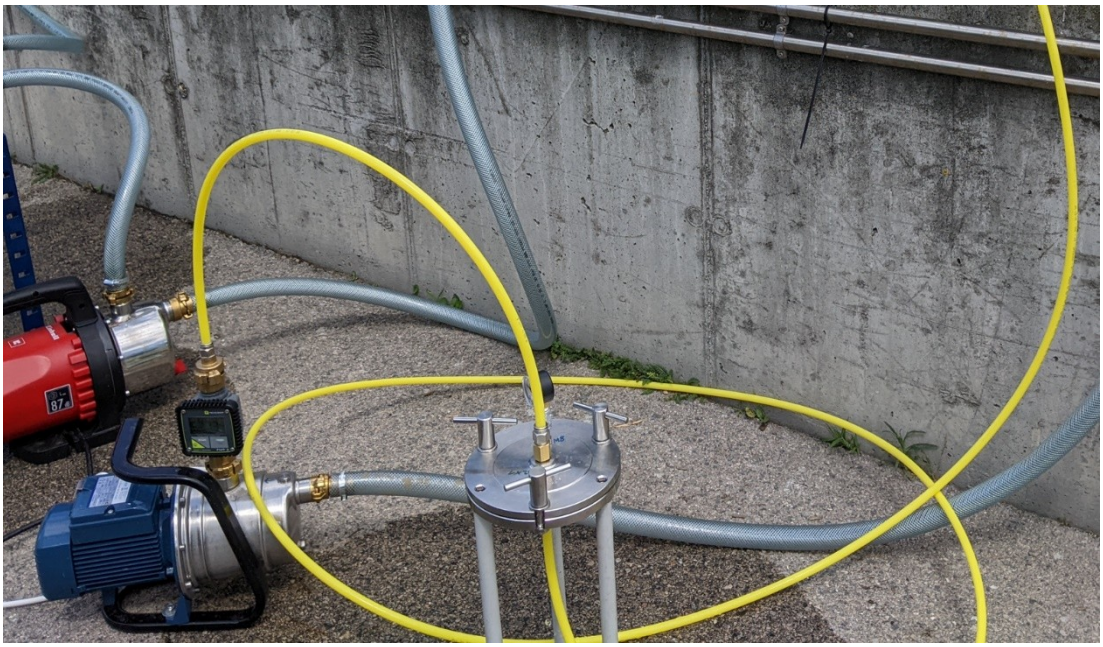


Abbildung 73 Versuchsaufbau des 142 mm Discfiltrationssystems.



5.1.4 Vorversuche

Um den logistischen Aufwand möglichst gering zu halten, wurden die Vorversuche zur Entwicklung einer geeigneten Filtrationsmethode, anders als im Projektantrag angedacht, nicht primär an der Kläranlage Graz, sondern an zwei weiteren Kläranlagen durchgeführt. Zur Ansaugung des Kläranlagenablaufs kamen Jetpumpen mit einer maximalen Druckkapazität von rund 4,5 bar zum Einsatz. An insgesamt 10 Messtagen wurden die zuvor beschriebenen

Filtrationssysteme hinsichtlich Praktikabilität und Erreichen der kritischen Filterbelegung (Durchflusskapazität) in Abhängigkeit der verwendeten Filterfeinheit (50 µm, 20 µm oder 10 µm) untersucht. Eine möglichst hohe Durchflussmenge wurde angestrebt, um einerseits die Repräsentativität der Probenahme im Kläranlagenablauf zu gewährleisten und andererseits ausreichend Probenmaterial für die anschließenden Analysen (EA-OEM und TED-GC-MS) zur Verfügung zu haben.

5.2 Resultate und Erkenntnisse

5.2.1 Filtrationsversuche

Initial wurden die Filtrationssysteme mit einer nominellen Maschenweite von 50 µm an 2 Kläranlagen (Standort A und B), bei denen es sich nicht um die Kläranlagen Graz bzw. Wiener Neustadt handelt, untersucht. Sowohl bei den Scheibenfiltern als auch bei den Korbfiltern konnten sehr hohe Durchflusskapazitäten von mehreren m³ gefilterten Kläranlagenablauf erreicht werden, ohne dass der sich aufbauende Filterkuchen einen nennenswerten Einfluss auf die Durchflussgeschwindigkeit hatte (Abbildung 74). Typ und Leistung der eingesetzten Pumpen war bei beiden Filtrationssystemen identisch. Abweichende Durchflussgeschwindigkeiten zwischen Korbfiltration und Discfiltration sind auf konstruktive Unterschiede der Systeme, insbesondere bei der vorhandenen Filterfläche und den verwendeten Schlauchdurchmessern, zurückzuführen. Potenzielle Unterschiede des Kläranlagenstandorts auf die Durchflusskapazität wurden bei einer Filterfeinheit von 50 µm während der untersuchten Zeiträume nicht festgestellt.

In einer zweiten Versuchsreihe wurde der Filtertyp mit einer nominellen Maschenweite von 10 µm untersucht. Hier konnte, verglichen mit den 50 µm Filtern, eine deutliche Reduktion des erfassbaren Probenahmevolumens (Kläranlagenablauf) beobachtet werden. Die Versuche wurden beendet, sobald im Filtrationsbereich ein Druckanstieg von über 4,4 bar festgestellt wurde und die eingesetzten Pumpen ihre Leistungsgrenzen erreichten. Dies führte in weiterer Folge zu einem Abfall des Volumenstroms unterhalb des Kalibrationsbereichs der Durchflussmessgeräte. Anschließend wurde der Durchfluss für weitere fünf Minuten mittels Messzylinder bestimmt. Ab diesem Zeitpunkt wurde der Betrieb der Anlage mit dem verlegten Filter als nicht mehr praktikabel eingestuft und der Versuch beendet. Die gemessenen Durchflussvolumina des mit 10 µm Filtern bestückten Korbfiltersystems lagen zwischen 142 und 289 Litern und wurden innerhalb eines Zeitraums von 16 bis 22 Minuten

erreicht (Abbildung 75). Mit dem 10 µm Discfiltersystem wurde am Standort A ein vergleichbares Ergebnis von 203 L in 17 Minuten erzielt. Abweichend dazu konnten am Standort B mit dem Discfiltersystem auch mit 10 µm Filtern sehr hohe Durchsatzvolumina erreicht werden. Die Versuche wurden nach 95 Minuten beendet ohne Anzeichen für eine zeitnahe kritische Verlegung der Filter. Die Abweichungen in der Durchflussmenge zwischen dem Korbfiltersystem und dem Discfiltersystem am Standort B wurden zu diesem Zeitpunkt nicht weiter untersucht. Die Versuche zeigten jedoch, dass die Filtrationskapazität bei einer Filterfeinheit von 10 µm bereits stark limitiert sein kann und von verschiedenen Faktoren wie Filtertyp, und Tagesbeschaffenheit des Kläranlagenablaufs abhängt. Die 10 µm-Versuche am Standort A wurden in Form einer Kaskadenfiltration durchgeführt, um zu überprüfen, ob der Einsatz einer zusätzlichen Filtrationsstufe die 10 µm-Filtereinheit entlastet. Dies konnte im Zuge der Versuche jedoch nicht erreicht werden. Solange keine separaten Proben einzelner Größenfraktionen erforderlich sind, erweist sich die Kaskadenfiltration bis 50 µm als potenziell unnötig. Ihr Einsatz würde lediglich zu zusätzlichem operativem Aufwand und höheren Investitionen führen.

Abbildung 74 Vorversuche mit 50 µm Filtergewebe. Die Filtrationsversuche wurden jeweils mit Kläranlagenablauf am Standort A und Standort B durchgeführt.

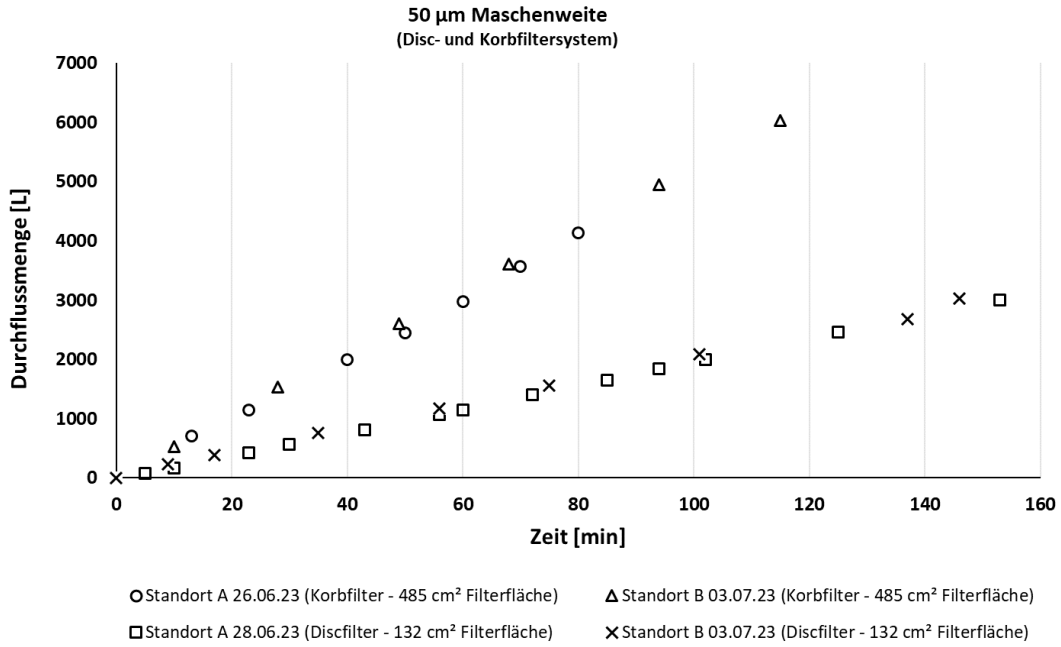
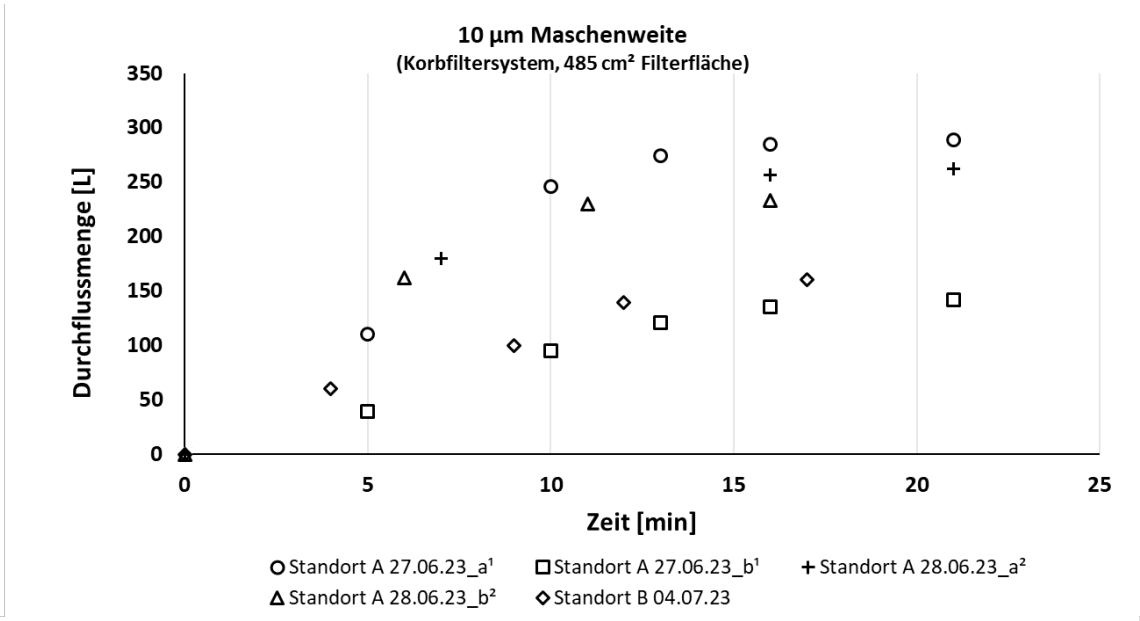
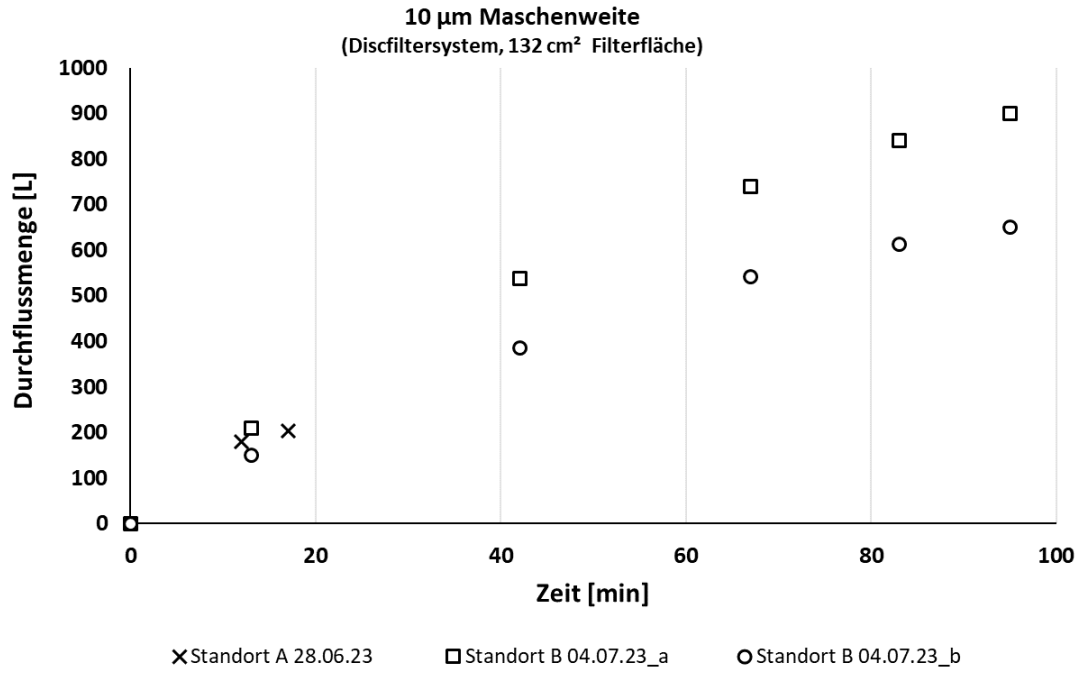


Abbildung 75 Ergebnisse der Durchflussmengenmessungen mit dem Korbfiltersystem bei einer nominellen Filterfeinheit von 10 µm.



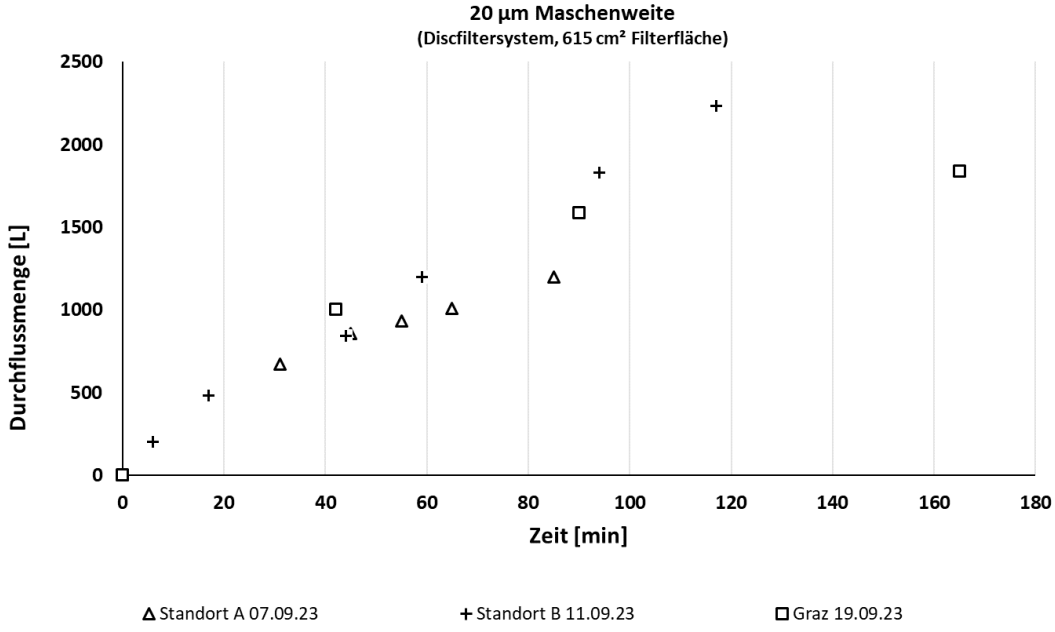
¹ zusätzliche Filterstufe (250 µm)
² zusätzliche Filterstufe (50 µm)

Abbildung 76 Ergebnisse der Durchflussmengenmessungen mit dem Discfiltersystem bei einer nominellen Filterfeinheit von 10 µm.



In einer nachfolgenden Versuchsreihe mit 20 µm Scheibenfiltern wurde ein vergrößertes Filtergehäuse getestet, wodurch sich die freie Filterfläche von 132 cm² auf 615 cm² erhöhte. Die 20 µm Filter erzielten an allen drei getesteten Standorten (Graz, Standort A und B) einheitlich hohe Durchflussvolumina bei der Filtration von Kläranlagen-Ablaufproben (Abbildung 77). Es wurden jeweils über 1.000 Liter filtriert, ohne dass die Filterbelegung einen kritischen Bereich erreicht hat.

Abbildung 77 Filtrationsversuche mit 20 µm Scheibenfiltern mit dem im Laufe des Projektes vergrößerten Filterdurchmesser von 293 mm. Die freie Filterfläche beträgt 615 cm².



Die vorliegenden Ergebnisse erlauben keine allgemeingültige Prognose hinsichtlich des Verhaltens der getesteten Filtrationssysteme in Bezug auf Filterfeinheit und Durchflusskapazität für die untersuchten Standorte. Die begrenzte Anzahl an Versuchen und die unberücksichtigten Wetterereignisse lassen diese umfassenden Schlussfolgerungen nicht zu. Dennoch lieferten die Resultate wichtige Erkenntnisse darüber, dass die direkte Filtration von hohen Probenvolumina (Kläranlagenablauf) bei einer Filterfeinheit zwischen 10 µm und 50 µm einen kritischen Bereich bezüglich der routinemäßigen Durchführbarkeit erreicht.

5.2.2 Auswahl des Filtrationssystems und Ausblick

Bei der Auswahl eines geeigneten Filtrationssystems stand die Zielsetzung im Vordergrund, eine einfach durchzuführende Filtrationsmethodik zu implementieren, die im Routinebetrieb zuverlässig funktioniert und dabei einen minimalen Zeitaufwand erfordert. Ein weiterer zentraler Aspekt war die Gewährleistung einer möglichst hohen Durchflussmengenkapazität für die Filtration von Ablaufproben von Kläranlagen. Die durchgeführten Filtrationsversuche verdeutlichten, dass sowohl der Einsatz von Korbfiltern als auch Scheibenfiltern grundsätzlich im Einklang mit den angestrebten Durchflussmengen steht.

Aufgrund der Schwierigkeiten, die sich durch die Geometrie der Korbfilter ergeben, gestaltete sich die Rückgewinnung der Proben als zeitaufwendiger und weniger praktikabel als bei den flachen Filterscheiben. Letztere wiesen eine gute Handhabung bei der Rückgewinnung des beprobten Feststoffs auf. Die aufkonzentrierte Probe kann direkt von der flachen Filterscheibe mittels Spatel entnommen werden, und anhaftende Probenrückstände lassen sich effektiv mit einer (portablen) Ultraschallsonde aus den verwendeten Filtergeweben entfernen. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde das Discfiltrationssystem für die weiterführenden 24-h Beprobungen ausgewählt und bezüglich der verfügbaren Filterfläche pro Einheit von ursprünglich 132 cm^2 auf 615 cm^2 erweitert. Die dazugehörige Gehäusebauart wird von zahlreichen kommerziellen Herstellern angeboten oder kann alternativ auch selbst angefertigt werden. Bezüglich der angestrebten Filterfeinheit wurde für die 24 h-Beprobungen (1. Projektphase) eine Maschenweite von 20 µm ausgewählt. Die Verwendung von 10 µm Filtern wurde aufgrund der geringen Erfahrungswerte als zu unsicher bezüglich der praktischen Durchführbarkeit eingestuft. Zu Beginn der zweiten Projektphase wurde jedoch auf Basis der gewonnenen Filtrationserfahrungen die Anwendbarkeit der 10 µm Filter erneut evaluiert und erprobt. Es zeigte sich, dass am Standort ARA-Graz die Filtration bis auf 10 µm den Gesamtprozess erheblich aufwendiger gestaltete. Daher wurde eine zweistufige Filtration entwickelt, bei der zunächst bis 20 µm und anschließend bis 10 µm filtriert wurde (siehe Kapitel 9.3).

Im Verlauf der durchgeführten Arbeiten hat sich der für die selbst angefertigten Scheibenfilter verwendete Klebstoff als stabil erwiesen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass sich vereinzelt Fragmente des Klebstoffs lösen und die Proben verunreinigen könnten. Für den weiteren Verlauf des Projekts wurde das Metallgewebe durch zwei Blechzuschnitte verstärkt und mittels Laserschweißen verbunden. Diese Konstruktion erwies sich im Verlauf der Beprobungen als äußerst robust, ein relevanter Verschleiß der Filter war nicht feststellbar.

6 Probenahme-Ergebnisse auf der Kläranlage Graz

6.1 Phase I: Abschließende Tests der entwickelten Prototypen zur MP-Beprobung auf Kläranlagen im Jahr 2023 (AP 1.4)

6.1.1 Beschreibung der durchgeführten Tests im Jahr 2023

Die beiden im Jahr 2023 von der TU Graz als Prototypen entwickelten MP-Probenahmesysteme (siehe Kapitel 4 bzw. AP 1.2) und das von der TU Wien als Prototypen entwickelte MP-Filtrationssystem (siehe Kapitel 5 bzw. AP 1.3) konnten im November und Dezember 2023 noch an 7 x 24 h-Probenahmetagen sowohl im Zulauf als auch im Ablauf der Kläranlage Graz erfolgreich getestet werden.

Dabei erfolgten die großteils mengenproportional durchgeführten 24 h-Probenahmen an den 7 Untersuchungstagen jeweils im Zeitraum von 08:00 bis 08:00 und damit auch schon zeitsynchron zu den täglichen 24 h-Beprobungen der Kläranlage Graz im Rahmen ihrer Eigenüberwachung. Gezogen wurden die Teilproben dabei zumeist volumenproportional (vp) mit dem dafür auch von der Kläranlage Graz verwendeten Impulsteiler von 500 m³ für die Eigenüberwachung der Kläranlage, wonach sich auf Basis der hydraulischen Tageszulaufmengen Q_d in m³/d und den voreingestellten Teilprobenvolumina auch die jeweiligen PN-Soll-Tages-Volumina ermitteln lassen, die dann jeweils sofort nach dem Ende der Probenahmen filtriert wurden. Nur die erste Ablauf-Beprobung am 20.11.2023 musste noch zeitproportional (zp) durchgeführt werden. Die tatsächlich gewonnenen PN-Ist-Tages-Volumina wurden während dieser ersten 7 Tage noch nicht ermittelt. Diese geben einen Aufschluss darüber, wie gut und vollständig die Probenahme der 24 h-Tagesvolumina war.

Die mit dem von der TU Wien entwickelten Fitrationssystem gewonnenen Nassschlammtagesmengen wurden im Anschluss an die auf der Kläranlage Graz durchgeführten Filtrationen im Technikum der TU Graz bei ca. 55 °C in einem Trockenschrank bis auf Gewichtskonstanz getrocknet und schließlich zur MP-Bestimmung an die TU Wien transportiert.

6.1.2 Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Probenahmen und Filtrationen während der Testphase 2023 im Zu- und Ablauf der ARA-Graz

In der Tabelle 77 und in der Tabelle 78 sind die im November und Dezember 2023 noch durchgeführten 7 x 24 h-Probenahmen im Zu- und Ablauf der ARA-Graz mit ihren zugewiesenen IDs bezeichnet und die einzelnen PN-Tage durch charakteristische Informationen über die hydraulische und stoffliche Belastungssituation und der vorherrschenden mittleren Abwassertemperatur an diesen Tagen beschrieben, wobei die großteils volumenproportionalen (vp) Beprobungen jeweils zwischen 08:00–08:00 durchgeführt wurden und dabei dann jeweils das Datum jenes Tages zugewiesen bekommen haben, an welchen der größere Anteil der Teilprobenentnahmen stattgefunden hat.

Wie in der Tabelle 77 und in der Tabelle 78 zu erkennen ist, wurden die ersten 6 Probenahmetage bei vollkommenen Trockenwetterbedingungen durchgeführt, wohingegen am 7. Tag (13.12.2023) Mischwasserbedingungen vorherrschten und auch bereits mit der Entleerung der Mischwasserspeicher zur ARA-Graz begonnen wurde.

Tabelle 77 Bezeichnungen und Informationen zu den 7 x 24 h-Probenahmen im Rahmen des AP 1.4 im Zulauf zur ARA-Graz.

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-ZL-01	1.4	Mo 20.11.2023	TW	74.458	521.640	17,2
G-ZL-02	1.4	Mo 27.11.2023	TW	73.364	587.472	16,3
G-ZL-03	1.4	Mi 29.11.2023	TW	70.289	515.423	16,5
G-ZL-04	1.4	Mo 04.12.2023	TW	76.329	534.219	15,5
G-ZL-05	1.4	Mi 06.12.2023	TW	84.507	592.417	15,0
G-ZL-06	1.4	Mo 11.12.2023	TW	74.579	571.550	15,3
G-ZL-07	1.4	Mi 13.12.2023	MW+Entleer.	160.301	534.120	12,1

Tabelle 78 Bezeichnungen und Informationen zu den 7 x 24 h-Probenahmen im Rahmen des AP 1.4 im Ablauf der ARA-Graz.

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-AL-01	1.4	Mo 20.11.2023	TW	74.458	521.640	17,2
G-AL-02	1.4	Mo 27.11.2023	TW	73.364	587.472	16,3
G-AL-03	1.4	Mi 29.11.2023	TW	70.289	515.423	16,6
G-AL-04	1.4	Mo 04.12.2023	TW	76.329	534.219	14,4
G-AL-05	1.4	Mi 06.12.2023	TW	84.507	592.417	15,4
G-AL-06	1.4	Mo 11.12.2023	TW	74.579	571.550	15,2
G-AL-07	1.4	Mi 13.12.2023	MW+Entleer.	160.301	534.120	12,7

In der Tabelle 79 sind für den Zulauf und in der Tabelle 80 für den Ablauf die ersten 7 x 24 h-Probenahmetage auf der ARA-Graz jeweils mit wichtigen Kenngrößen zur Probenahme, zur Filtration und zu den daraus gewonnenen Trockenmassen an den einzelnen Probenahmetagen zusammengefasst. Das tatsächlich gesammelte PN-Ist-Volumen wurde während dieser Messkampagne noch nicht ermittelt, in weiterer Folge dann aber zumeist aus den Wasserstandhöhen in den Edelstahlbehältern grob abgeschätzt, womit eine PN-Güte-Beurteilung im Vergleich zu den PN-Soll-Volumen erfolgen konnte. Weiters wurden während dieser Messkampagne die durchgeführten Filtrationen der gewonnenen 7 x 24 h-Tagesmischroben im Zu- und Ablauf der ARA-Graz noch ausschließlich mit dem 20 µm-Discfiltersystem der TU Wien durchgeführt.

Die dabei gewonnenen Trockenmassen waren dabei fast immer ausreichend, um die angestrebten MP-Bestimmungen mit beiden MP-Analysemethoden (EA-OEM und TED-GC-MS) durchführen zu können, woraus geschlossen werden konnte, dass die beiden entwickelten Probenahmesysteme für den Zulauf und den Ablauf der Kläranlage Graz mit ihren gewählten aufnehmbaren maximalen Tagesvolumina von 150 L im Zulauf und 1.000 L im Ablauf ausreichend groß gewählt worden sind, um in weiterer Folge damit dann verschiedene Probenahme-Messkampagnen im Jahr 2024 auf der ARA-Graz und zur Validierung der entwickelten Gesamtmethode gegen Jahresende 2024 dann auch noch auf der ARA-Wiener Neustadt durchführen zu können.

Tabelle 79 Ergebnisse der 7 x 24 h-Probenahmen im Zulauf zur ARA-Graz, der erforderlichen Filterwechsel und der MP-Analyt-Gewinnung angegeben als Schlamm-Trockenmassen im Rahmen des AP 1.4.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilproben-Volumen [mL]	Teilproben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]	Filter-wechsel (20 µm) [-]	Schlamm-trocken-masse [g]
G-ZL-01	vp	10	695	149	103,5	-	1	23,7
G-ZL-02	vp	10	695	147	102,0	-	5	20,1
G-ZL-03	vp	10	695	141	97,7	-	2	23,0
G-ZL-04	vp	10	695	153	106,1	-	3	22,0
G-ZL-05	vp	10	695	169	117,5	-	3	22,0
G-ZL-06	vp	10	695	149	103,7	-	1	19,0
G-ZL-07	vp	10	695	321	222,8	-	1	22,0

Tabelle 80 Ergebnisse der 7 x 24 h-Probenahmen im Ablauf der ARA-Graz, der erforderlichen Filterwechsel und der MP-Analyt-Gewinnung angegeben als Schlamm-Trockenmassen im Rahmen des AP 1.4.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilproben-Volumen [mL]	Teilproben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]	Filter-wechsel (20 µm) [-]	Schlamm-trocken-masse [g]
G-AL-01	zp	10	5933	149	883,5	-	1	5,4
G-AL-02	vp	10	5933	147	870,5	-	3	14,0
G-AL-03	vp	9	5379	141	756,2	-	7	7,0
G-AL-04	vp	9	5379	153	821,1	-	5	10,0
G-AL-05	vp	9	5379	169	909,1	-	5	10,0
G-AL-06	vp	9	5379	149	802,3	-	4	14,0
G-AL-07	vp	8	4646	321	1489,5	-	4	13,0

Auf Basis dieser zu Jahresende 2023 noch erfolgreich mit den entwickelten Prototypen durchgeführten 7 x 24 h-Probenahmen und Filtrationen im Zulauf und im Ablauf der Kläranlage Graz wurden dann im Jahr 2024 gezielte, mehrtägige 24 h-MP-Messkampagnen auf der ARA-Graz durchgeführt, um damit dann u. a. auch Informationen über die Dynamik des MP-Aufkommens und des MP-Rückhaltes auf der Kläranlage bei unterschiedlichen Wetterbedingungen zu gewinnen.

Abschließend wurde die entwickelte Gesamt-Methodik zur Mikroplastik-Bestimmung auf Kläranlagen im Oktober 2024 auf der Kläranlage Wiener Neustadt getestet und dort im Ablaufbereich schließlich auch noch mit temporären, parallelen Netzmessungen über den gesamten Ablauf-Querschnitt validiert (vergl. Kapitel 7.2.2).

6.2 Phase II: Anwendung der Methodik auf der ARA-Graz im Rahmen mehrerer Messkampagnen im Jahr 2024 (AP 2.1 bis AP 2.3)

Zur Validierung und Praxisanwendung der in der Phase I entwickelten Gesamt-Methodik wurden auf der ARA-Graz im Jahr 2024 insgesamt 3 unterschiedliche Messkampagnen durchgeführt, bei denen jeweils zeitsynchron der Zu- und Ablauf der Kläranlage parallel zu den routinemäßigen Beprobungen der Kläranlage im Zuge der Eigenüberwachung beprobt wurden.

- AP 2.1: Erfassung von zwei vollständigen MP-Fracht-Wochengänge bei angestrebten Trockenwetterbedingungen
- AP 2.2: Erfassung von drei MP-Fracht-Tagesgängen bei angestrebten Trockenwetterbedingungen
- AP 2.3: Erfassung von drei MP-Frachtbestimmungen bei Regenwetterbedingungen

6.2.1 AP 2.1: Erfassung von zwei MP-Fracht-Wochengängen bei angestrebten Trockenwetterbedingungen

6.2.1.1 Ziel und Beschreibung der Messkampagnen im Rahmen des AP 2.1

Ziel dieser Messkampagne war die zeitgleiche Erfassung von zwei möglichst vollständigen MP-Fracht-Wochengängen im Zu- und Ablauf der ARA-Graz bei angestrebten Trockenwetterbedingungen, um Aussagen

- über die tägliche Variabilität der mit der entwickelten Gesamt-Methodik erfassbaren MP-Frachten im Zu- und Ablauf einer Kläranlage und
- über den täglichen MP-Rückhalt auf einer Kläranlage auf Basis der im Zu- und Ablauf zeitgleich erfassten MP-Tagesfrachten zu gewinnen.

6.2.1.2 Probenahme- und Filtrationsergebnisse aus der Untersuchung des ersten Wochenganges auf der ARA-Graz

In der Tabelle 81 sind für den Zulauf und in der Tabelle 82 für den Ablauf die während der ersten beiden untersuchten Wochengänge gewonnenen 7 x 24 h-Tagesmischproben mit ihren zugewiesenen IDs und charakteristischen Informationen über die hydraulische und stoffliche Belastungssituation der Kläranlage während dieser Periode von So 10.03.2024 bis einschließlich Sa 16.03.2024 beschrieben.

Tabelle 81 Bezeichnungen und Informationen zu den 7 x 24 h-Probenahmen des ersten untersuchten Wochengangs im Rahmen des AP 2.1 im Zulauf zur ARA-Graz.

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-ZL-08	2.1	So 10.03.2024	TW	62.221	455.569	14,6
G-ZL-09	2.1	Mo 11.03.2024	MW	128.958	692.557	13,0
G-ZL-10	2.1	Di 12.03.2024	TW+Entleer.	97.724	590.805	14,1
G-ZL-11	2.1	Mi 13.03.2024	TW	72.701	508.985	15,0
G-ZL-12	2.1	Do 14.03.2024	TW	71.255	589.507	15,2
G-ZL-13	2.1	Fr 15.03.2024	MW	78.745	576.457	15,0
G-ZL-14	2.1	Sa 16.03.2024	TW	67.227	450.002	14,6

Tabelle 82 Bezeichnungen und Informationen zu den 7 x 24 h-Probenahmen des ersten untersuchten Wochengangs im Rahmen des AP 2.1 im Ablauf der ARA-Graz.

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-AL-08	2.1	So 10.03.2024	TW	62.221	455.569	15,3
G-AL-09	2.1	Mo 11.03.2024	MW	128.958	692.557	14,0
G-AL-10	2.1	Di 12.03.2024	TW+Entleer.	97.724	590.805	14,1
G-AL-11	2.1	Mi 13.03.2024	TW	72.701	508.985	14,6
G-AL-12	2.1	Do 14.03.2024	TW	71.255	589.507	15,4

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-AL-13	2.1	Fr 15.03.2024	MW	78.745	576.457	15,8
G-AL-14	2.1	Sa 16.03.2024	TW	67.227	450.002	15,6

Leider waren wetterbedingt von den 7 Tagen nur 4 Tage reine Trockenwettertage.

In der Tabelle 83 sind für den Zulauf und in der Tabelle 84 für den Ablauf die wichtigsten Kenngrößen zur Probenahme, zur Filtration und zu den daraus gewonnenen Trockenmassen der 7 x 24 h-Probenahmetage während dieser ersten Probenahmewoche zusammengefasst. Dabei wurden alle durchgeführten Filtrationen im Zu- und Ablauf der ARA-Graz während dieser Messkampagne noch ausschließlich mit dem 20 µm-Discfiltersystem der TU Wien durchgeführt.

Tabelle 83 Ergebnisse der 7 x 24 h-Probenahmen im Zulauf zur ARA-Graz, der erforderlichen Filterwechsel und der MP-Analyt-Gewinnung angegeben als Schlamm-Trockenmassen bei der Untersuchung des ersten Wochenganges auf der ARA-Graz im Rahmen des AP 2.1.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilproben-Volumen [mL]	Teilproben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]	Filter-wechsel (20 µm) [-]	Schlamm-trocken-masse [g]
G-ZL-08	vp	10	695	124	86,5	82,0	1	15,9
G-ZL-09	vp	10	695	258	179,3	131,0	1	25,2
G-ZL-10	vp	10	695	195	135,8	115,0	2	20,8
G-ZL-11	vp	10	695	145	101,1	86,0	2	19,1
G-ZL-12	vp	10	695	143	99,0	94,0	2	19,2
G-ZL-13	vp	10	695	157	109,5	102,0	2	24,0
G-ZL-14	vp	10	695	134	93,4	87,0	2	17,1

Tabelle 84 Ergebnisse der 7 x 24 h-Probenahmen im Ablauf der ARA-Graz, der erforderlichen Filterwechsel und der MP-Analyt-Gewinnung angegeben als Schlamm-Trockenmassen bei der Untersuchung des ersten Wochenganges auf der ARA-Graz im Rahmen des AP 2.1.

ID	PN Art	Ansaug-zeit	Teilproben-Volumen	Teilproben-Anzahl	PN-Soll-Volumen	PN-Ist-Volumen	Filter-wechsel (20 µm)	Schlamm-trocken-masse
		[s]	[mL]	[-]	[L/d]	[L/d]	[-]	[g]
G-AL-08	vp	10	5933	119	738,3	870,0	1	11,9
G-AL-09	vp	11	6940	142	1789,9	> 1000	1	11,7
G-AL-10	vp	11	6940	135	1356,4	> 1000	1	10,3
G-AL-11	vp	11	6940	148	1009,1	950,0	2	12,2
G-AL-12	vp	11	6940	162	989,0	940,0	2	11,6
G-AL-13	vp	10	5933	148	934,4	900,0	2	13,7
G-AL-14	vp	10	5933	287	797,7	740,0	1	10,8

Der Mischwassereinfluss am Mo 11.03.2024 und am Di 12.03.2024 führte bei der gewählten Parametrierung der beiden Ablaufproben **G-AL-09** und **G-AL-10** leider zu einer Überfüllung des Ablauf-Probenahmebehälters, weshalb die 24 h-Tagesmischprobe für diese beiden Tage nicht vollständig beprobt werden konnte. Als Reaktion darauf wurde ein weiterer 1.000 L Edelstahlbehälter für die zukünftigen Ablaufbeprobungen angeschafft, welcher im Falle eines Überlaufens des Ablauf-Probenahmebehälters die überlaufenden Mengen aufnehmen konnte.

Zur Beschreibung und Charakterisierung des allgemeinen Verschmutzungsgrades der gewonnenen 24 h-Tagesmischproben an den einzelnen Probenahmetagen wurden jeweils mittels Doppelbestimmung die CSB- und AFS-Konzentrationen aus den korrespondierenden 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz bestimmt. In der Tabelle 85 sind diese für die 7 x 24 h-Tagesmischproben für den Zulauf und in der Tabelle 86 für den Ablauf des ersten untersuchten Wochenganges dargestellt.

Tabelle 85 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-Tages-Zulauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz während der Untersuchung des ersten Wochenganges.

ID	Q_d [m³/d]	Tages-klasse	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]
G-ZL-08	62.221	TW	828	826	827	334	328	331
G-ZL-09	128.958	MW	666	668	667	330	344	337
G-ZL-10	97.724	TW+Entleer.	747	746	747	300	298	299
G-ZL-11	72.701	TW	987	998	993	360	362	361
G-ZL-12	71.255	TW	974	995	985	364	378	371
G-ZL-13	78.745	MW	980	991	986	450	438	444
G-ZL-14	67.227	TW	700	671	686	320	314	317

Tabelle 86 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-Tages-Ablauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz während der Untersuchung des ersten Wochenganges.

ID	Q_d [m³/d]	Tages-klasse	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]
G-AL-08	62.221	TW	43,5	37,1	40,3	17,0	18,0	17,5
G-AL-09	128.958	MW	49,5	45,4	47,5	28,0	29,5	28,8
G-AL-10	97.724	TW+Entleer.	37,9	38,3	38,1	18,5	20,0	19,3
G-AL-11	72.701	TW	47,6	49,7	48,7	16,0	18,0	17,0
G-AL-12	71.255	TW	43,1	45,7	44,4	17,0	17,0	17,0
G-AL-13	78.745	MW	53,4	49,2	51,3	22,0	21,0	21,5
G-AL-14	67.227	TW	49,8	43,6	46,7	25,5	25,5	25,5

6.2.1.3 Probenahme- und Filtrationsergebnisse aus der Untersuchung des zweiten Wochenganges auf der ARA-Graz

In der Tabelle 87 sind für den Zulauf und in der Tabelle 88 für den Ablauf die während der zweiten der beiden untersuchten Wochengänge gewonnenen 8 x 24 h-Tagesmischproben mit ihren zugewiesenen IDs und charakteristischen Informationen über die hydraulische

und stoffliche Belastungssituation der Kläranlage während dieser Periode von Mi 19.06.2024 bis einschließlich Di 26.06.2024 beschrieben. Aufgrund der Regenereignisse am Ende des Wochenganges, wurde der Wochengang um einen weiteren 8. Tag verlängert.

Tabelle 87 Bezeichnungen und Informationen zu den 8 x 24 h-Probenahmen des zweiten untersuchten Wochengangs im Rahmen des AP 2.1 im Zulauf zur ARA-Graz.

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-ZL-15	2.1	Mi 19.06.2024	TW+Entleer.	83.296	500.034	18,5
G-ZL-16	2.1	Do 20.06.2024	TW+Entleer.	86.423	460.800	18,8
G-ZL-17	2.1	Fr 21.06.2024	TW+Entleer.	84.556	423.545	19,0
G-ZL-18	2.1	Sa 22.06.2024	MW+Entleer.	77.923	363.412	18,7
G-ZL-19	2.1	So 23.06.2024	TW+Entleer.	76.034	431.256	18,6
G-ZL-20	2.1	Mo 24.06.2024	TW+Entleer.	79.637	477.636	18,8
G-ZL-21	2.1	Di 25.06.2024	MW+Entleer.	89.929	569.949	19,0
G-ZL-22	2.1	Mi 26.06.2024	MW+Entleer.	106.213	708.647	19,3

Tabelle 88 Bezeichnungen und Informationen zu den 8 x 24 h-Probenahmen des zweiten untersuchten Wochengangs im Rahmen des AP 2.1 im Ablauf der ARA-Graz.

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-AL-15	2.1	Mi 19.06.2024	TW+Entleer.	83.296	500.034	19,4
G-AL-16	2.1	Do 20.06.2024	TW+Entleer.	86.423	460.800	19,7
G-AL-17	2.1	Fr 21.06.2024	TW+Entleer.	84.556	423.545	19,9
G-AL-18	2.1	Sa 22.06.2024	MW+Entleer.	77.923	363.412	20,0
G-AL-19	2.1	So 23.06.2024	TW+Entleer.	76.034	431.256	19,8
G-AL-20	2.1	Mo 24.06.2024	TW+Entleer.	79.637	477.636	19,9
G-AL-21	2.1	Di 25.06.2024	MW+Entleer.	89.929	569.949	19,9
G-AL-22	2.1	Mi 26.06.2024	MW+Entleer.	106.213	708.647	19,8

Leider wiesen von den 8 untersuchten Tagen nach der Definition von Beutle, Cajetan (2025) kein einziger Tag dieses untersuchten Wochengangs reine Trockenwetterbedingungen auf, allerdings war der Mischwasseranteil an den 8 untersuchten Tagen bis auf den letzten 8. Tag relativ gering. In der Tabelle 89 sind für den Zulauf und in der Tabelle 90 für den Ablauf die wichtigsten Kenngrößen zur Probenahme während dieser zweiten Probenahmewoche auf der ARA-Graz zusammengefasst.

Tabelle 89 Ergebnisse der 8 x 24 h-Probenahmen im Zulauf zur ARA-Graz bei der Untersuchung des zweiten Wochenganges auf der ARA-Graz im Rahmen des AP 2.1.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilproben-Volumen [mL]	Teilproben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]	Q_d [m³/d]	Tages-klasse
G-ZL-15	vp	10	695	167	115,8	115,0	83.296	TW+Entleer.
G-ZL-16	vp	10	695	173	120,1	115,0	86.423	TW+Entleer.
G-ZL-17	vp	10	695	169	117,5	120,0	84.556	TW+Entleer.
G-ZL-18	vp	10	695	156	108,3	122,0	77.923	MW+Entleer.
G-ZL-19	vp	10	695	152	105,7	135,0	76.034	TW+Entleer.
G-ZL-20	vp	10	695	159	110,7	95,0	79.637	TW+Entleer.
G-ZL-21	vp	10	695	180	125,0	117,0	89.929	MW+Entleer.
G-ZL-22	vp	10	695	212	147,6	148,0	106.213	MW+Entleer.

Tabelle 90 Ergebnisse der 8 x 24 h-Probenahmen im Ablauf der ARA-Graz bei der Untersuchung des zweiten Wochenganges auf der ARA-Graz im Rahmen des AP 2.1.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilproben-Volumen [mL]	Teilproben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]	Q_d [m³/d]	Tages-klasse
G-AL-15	vp	11	6940	149	1156,1	1030,0	83.296	TW+Entleer.
G-AL-16	vp	11	6940	151	1199,6	1020,0	86.423	TW+Entleer.
G-AL-17	vp	11	6940	152	1173,6	1040,0	84.556	TW+Entleer.
G-AL-18	vp	11	6940	149	1081,6	1020,0	77.923	MW+Entleer.
G-AL-19	vp	11	6940	152	1055,4	1040,0	76.034	TW+Entleer.
G-AL-20	vp	11	6940	150	1105,4	1030,0	79.637	TW+Entleer.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilproben-Volumen [mL]	Teilproben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]	Q_d [m³/d]	Tages-klasse
G-AL-21	vp	11	6940	162	1248,2	1130,0	89.929	MW+Entleer.
G-AL-22	vp	11	6940	198	1474,2	1400,0	106.213	MW+Entleer.

Im Unterschied zur ersten Untersuchungswoche konnten bei der zweiten Untersuchungswoche trotz Auftretens von drei Regenereignissen alle 8 x 24 h-Tagesmischproben sowohl im Zulauf als auch im Ablauf vollständig beprobt werden. Während dieser zweiten Probenahmewoche wurden erstmalig die volumenproportional gewonnenen Tagesmischproben nicht nur mit dem 20 µm-Discfiltersystem der TU Wien filtriert, sondern das aus der 20 µm-Filtration entstandene Filtrat zusätzlich auch noch sequenziell durch ein zweites 10 µm-Discfiltersystem, wofür noch zusätzliche Edelstahlbehälter im Zu- und Ablauf für das Zwischenspeichern der 20 µm-Filtrate erforderlich waren. In der Tabelle 91 sind für den Zulauf und in der Tabelle 92 für den Ablauf die Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der zweiten Untersuchung eines Wochenganges im Zulauf zur ARA-Graz dargestellt.

Tabelle 91 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der zweiten Untersuchung eines Wochenganges im Zulauf zur ARA-Graz.

ID	Anzahl der Filterwechsel bei 20 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 20 µm [g]	Anzahl der Filterwechsel bei 10 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 10 µm [g]
G-ZL-15	0	23,6	2	< 1
G-ZL-16	1	14,9	1	3,0
G-ZL-17	0	17,5	0	1,2
G-ZL-18	1	14,7	1	< 1
G-ZL-19	2	10,5	3	< 1
G-ZL-20	1	24,4	3	< 1
G-ZL-21	0	19,5	0	< 1
G-ZL-22	2	30,6	4	< 1

Tabelle 92 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der zweiten Untersuchung eines Wochenganges im Ablauf zur ARA-Graz.

ID	Anzahl der Filterwechsel bei 20 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 20 µm [g]	Anzahl der Filterwechsel bei 10 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 10 µm [g]
G-AL-15	1	10,8	2	< 1
G-AL-16	1	10,4	4	< 1
G-AL-17	1	10,1	2	< 1
G-AL-18	1	10,5	4	< 1
G-AL-19	1	10,8	4	< 1
G-AL-20	1	10,5	4	< 1
G-AL-21	1	10,4	7	< 1
G-AL-22	2	12,7	9	< 1

Wie aus der Tabelle 91 und der Tabelle 92 zu entnehmen ist, waren die 10 µm Trockenmassen sehr gering, weshalb die gewinnbaren Trockenmassen auf den 10 µm Filtern nicht getrennt auf Mikroplastik untersucht werden konnten. Sie wurden nach der Wiegung jeweils mit den 20 µm Trockenmassen vereint und die Mikroplastik-Anteile in weiterer Folge aus den beiden vereinten Trockenmassen bestimmt.

Zur Beschreibung und Charakterisierung des allgemeinen Verschmutzungsgrades der gewonnenen 24 h-Tagesmischproben an den einzelnen Probenahmetagen wurden jeweils mittels Doppelbestimmung die CSB- und AFS-Konzentrationen aus den korrespondierenden 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz bestimmt. In der Tabelle 93 sind diese für die 8 x 24 h-Tagesmischproben für den Zulauf und in der Tabelle 94 für den Ablauf des zweiten untersuchten Wochenganges auf der ARA-Graz dargestellt.

Tabelle 93 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-Tages-Zulauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz während der Untersuchung des zweiten Wochenganges.

ID	Q_d [m³/d]	Tages-klasse	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]
G-ZL-15	83.296	TW+Entleer.	674	670	672	360	364	362
G-ZL-16	86.423	TW+Entleer.	655	650	653	386	384	385
G-ZL-17	84.556	TW+Entleer.	550	542	546	355	359	357
G-ZL-18	77.923	MW+Entleer.	492	488	490	347	344	346
G-ZL-19	76.034	TW+Entleer.	509	501	505	348	350	349
G-ZL-20	79.637	TW+Entleer.	720	709	715	410	412	411
G-ZL-21	89.929	MW+Entleer.	725	719	722	427	429	428
G-ZL-22	106.213	MW+Entleer.	802	796	799	451	455	453

Tabelle 94 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-Tages-Ablauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz während der Untersuchung des zweiten Wochenganges.

ID	Q_d [m³/d]	Tages-klasse	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]
G-AL-15	83.296	TW+Entleer.	27,4	25,4	26,4	11,0	13,0	12,0
G-AL-16	86.423	TW+Entleer.	29,1	28,7	28,9	12,0	13,0	12,5
G-AL-17	84.556	TW+Entleer.	27,5	28,4	28,0	14,0	13,0	13,5
G-AL-18	77.923	MW+Entleer.	25,9	26,8	26,4	15,0	15,0	15,0
G-AL-19	76.034	TW+Entleer.	24,9	25,3	25,1	14,0	15,0	14,5
G-AL-20	79.637	TW+Entleer.	32,7	33,8	33,3	10,0	11,0	10,5
G-AL-21	89.929	MW+Entleer.	28,0	29,3	28,7	13,0	12,0	12,5
G-AL-22	106.213	MW+Entleer.	30,5	31,4	31,0	14,0	13,0	13,5

6.2.2 AP 2.2: Erfassung von drei MP-Fracht-Tagesgängen bei angestrebten Trockenwetterbedingungen

6.2.2.1 Ziel und Beschreibung der Messkampagnen im Rahmen des AP 2.1

Ziel dieser Messkampagne war die zeitgleiche Erfassung von drei möglichst vollständigen, zeitsynchronen MP-Fracht-Tagesgängen im Zu- und Ablauf der ARA-Graz bei angestrebten Trockenwetterbedingungen, um Aussagen über die tageszeitliche Variabilität der MP-Frachten im Zu- und Ablauf einer Kläranlage an drei Untersuchungstagen zu gewinnen.

Dabei wurden die nachfolgenden Probenahmetage in Form von 4 x 6 h-Mischproben jeweils zeitsynchron im Zu- und Ablauf der ARA-Graz bei Trockenwetterbedingungen untersucht:

- Mo 26.08.2024
- Mi 28.08.2024
- Di 03.09.2024

6.2.2.2 Probenahme- und Filtrationsergebnisse der drei Tagesgänge auf der ARA-Graz

In der Tabelle 95 sind für den Zulauf und in der Tabelle 96 für den Ablauf die während der drei Probenahmetage jeweils gewonnenen 4 x 6 h-Mischproben mit ihren zugewiesenen IDs und charakteristischen Informationen über die hydraulische und stoffliche Belastungssituation der Kläranlage während dieser drei Tage jeweils von 08:00 bis 08:00 beschrieben.

Tabelle 95 Bezeichnungen und Informationen zu den drei untersuchten Tagen im Rahmen des AP 2.2 im Zulauf zur ARA-Graz.

ID	AP	Wochentag und Datum	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	Tages-klasse	$Q_{6\,h}$ [m³/6 h]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-ZL-26	2.2	Mo 26.08.2024	00:00	06:00	TW+Rev.	10.652	458.733	21,3
G-ZL-27	2.2	Mo 26.08.2024	06:00	12:00	TW+Rev.	14.486	458.733	21,3
G-ZL-28	2.2	Mo 26.08.2024	12:00	18:00	TW+Rev.	21.169	458.733	21,3

ID	AP	Wochentag und Datum	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	Tages-klasse	$Q_{6\,h}$ [m³/6 h]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-ZL-29	2.2	Mo 26.08.2024	18:00	24:00	TW+Rev.	20.718	458.733	21,3
G-ZL-30	2.2	Mi 28.08.2024	00:00	06:00	TW+Rev.	12.161	454.627	21,6
G-ZL-31	2.2	Mi 28.08.2024	06:00	12:00	TW+Rev.	15.158	454.627	21,6
G-ZL-32	2.2	Mi 28.08.2024	12:00	18:00	TW+Rev.	20.597	454.627	21,6
G-ZL-33	2.2	Mi 28.08.2024	18:00	24:00	TW+Rev.	19.691	454.627	21,6
G-ZL-34	2.2	Di 03.09.2024	00:00	06:00	TW+Rev.	11.666	471.842	21,8
G-ZL-35	2.2	Di 03.09.2024	06:00	12:00	TW+Rev.	15.240	471.842	21,8
G-ZL-36	2.2	Di 03.09.2024	12:00	18:00	TW+Rev.	19.972	471.842	21,8
G-ZL-37	2.2	Di 03.09.2024	18:00	24:00	TW+Rev.	19.891	471.842	21,8

Tabelle 96 Bezeichnungen und Informationen zu den drei untersuchten Tagen im Rahmen des AP 2.2 im Ablauf der ARA-Graz.

ID	AP	Wochentag und Datum	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	Tages-klasse	$Q_{6\,h}$ [m³/6 h]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-AL-26	2.2	Mo 26.08.2024	00:00	06:00	TW+Rev.	10.652	458.733	22,6
G-AL-27	2.2	Mo 26.08.2024	06:00	12:00	TW+Rev.	14.486	458.733	22,6
G-AL-28	2.2	Mo 26.08.2024	12:00	18:00	TW+Rev.	21.169	458.733	22,6
G-AL-29	2.2	Mo 26.08.2024	18:00	24:00	TW+Rev.	20.718	458.733	22,6
G-AL-30	2.2	Mi 28.08.2024	00:00	06:00	TW+Rev.	12.161	454.627	22,7
G-AL-31	2.2	Mi 28.08.2024	06:00	12:00	TW+Rev.	15.158	454.627	22,7
G-AL-32	2.2	Mi 28.08.2024	12:00	18:00	TW+Rev.	20.597	454.627	22,7
G-AL-33	2.2	Mi 28.08.2024	18:00	24:00	TW+Rev.	19.691	454.627	22,7
G-AL-34	2.2	Di 03.09.2024	00:00	06:00	TW+Rev.	11.666	471.842	22,8
G-AL-35	2.2	Di 03.09.2024	06:00	12:00	TW+Rev.	15.240	471.842	22,8
G-AL-36	2.2	Di 03.09.2024	12:00	18:00	TW+Rev.	19.972	471.842	22,8
G-AL-37	2.2	Di 03.09.2024	18:00	24:00	TW+Rev.	19.891	471.842	22,8

An den drei Untersuchungstagen herrschten nach der Klassifizierung von Beutle, Cajetan (2025) Trockenwetterbedingungen vor, wobei ein Teil des Trockenwetterzuflusses über den ZSK der ARA-Graz zugeleitet wurde, was zur Klassifizierung "TW+Rev." führte.

In der Tabelle 97 sind für den Zulauf und in der Tabelle 98 für den Ablauf die wichtigsten Kenngrößen zur Probenahme während der drei Untersuchungstage auf der ARA-Graz zusammengefasst.

Tabelle 97 Ergebnisse der 4 x 6 h-Probenahmen an den drei Probenahmetagen im Zulauf zur ARA-Graz im Rahmen des AP 2.2.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilproben-Volumen [mL]	Teilproben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]	$Q_{6\,h}$ [m³/6 h]	Tages-klasse
G-ZL-26	zp	10	695	72	50,0	45,0	10.652	TW+Rev.
G-ZL-27	zp	10	695	72	50,0	50,0	14.486	TW+Rev.
G-ZL-28	zp	10	695	72	50,0	-[1)]	21.169	TW+Rev.
G-ZL-29	zp	10	695	72	50,0	-[1)]	20.718	TW+Rev.
G-ZL-30	zp	10	695	72	50,0	60,0	12.161	TW+Rev.
G-ZL-31	zp	10	695	72	50,0	55,0	15.158	TW+Rev.
G-ZL-32	zp	10	695	72	50,0	60,0	20.597	TW+Rev.
G-ZL-33	zp	10	695	72	50,0	55,0	19.691	TW+Rev.
G-ZL-34	zp	10	695	72	50,0	60,0	11.666	TW+Rev.
G-ZL-35	zp	10	695	72	50,0	50,0	15.240	TW+Rev.
G-ZL-36	zp	10	695	72	50,0	45,0	19.972	TW+Rev.
G-ZL-37	zp	10	695	72	50,0	60,0	19.891	TW+Rev.

[1)] Wurde für diese Probe nicht ermittelt.

Tabelle 98 Ergebnisse der 4 x 6 h-Probenahmen an den drei Probenahmetagen im Ablauf der ARA-Graz im Rahmen des AP 2.2.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilproben-Volumen [mL]	Teilproben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]	$Q_{6\,h}$ [m³/6 h]	Tages-klasse
G-AL-26	zp	20	13194	72	950,0	920,0	10.652	TW+Rev.
G-AL-27	zp	20	13194	72	950,0	930,0	14.486	TW+Rev.
G-AL-28	zp	20	13194	72	950,0	920,0	21.169	TW+Rev.
G-AL-29	zp	20	13194	72	950,0	925,0	20.718	TW+Rev.
G-AL-30	zp	20	13194	72	950,0	930,0	12.161	TW+Rev.
G-AL-31	zp	20	13194	72	950,0	940,0	15.158	TW+Rev.
G-AL-32	zp	20	13194	72	950,0	930,0	20.597	TW+Rev.
G-AL-33	zp	20	13194	72	950,0	940,0	19.691	TW+Rev.
G-AL-34	zp	20	13194	72	950,0	930,0	11.666	TW+Rev.
G-AL-35	zp	20	13194	72	950,0	920,0	15.240	TW+Rev.
G-AL-36	zp	20	13194	72	950,0	930,0	19.972	TW+Rev.
G-AL-37	zp	20	13194	72	950,0	940,0	19.891	TW+Rev.

In der Tabelle 99 sind für den Zulauf und in der Tabelle 100 für den Ablauf die Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der drei Untersuchungstage auf der ARA-Graz dargestellt.

Tabelle 99 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der drei Untersuchungstage im Zulauf zur ARA-Graz.

ID	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	Anzahl der Filterwechsel bei 20 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 20 µm [g]	Anzahl der Filterwechsel bei 10 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 10 µm [g]
G-ZL-26	00:00	06:00	3	5,9	1	< 1
G-ZL-27	06:00	12:00	1	8,7	1	< 1
G-ZL-28	12:00	18:00	0	8,7	0	< 1

ID	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	Anzahl der Filterwechsel bei 20 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 20 µm [g]	Anzahl der Filterwechsel bei 10 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 10 µm [g]
G-ZL-29	18:00	24:00	0	10,0	0	< 1
G-ZL-30	00:00	06:00	0	6,0	1	< 1
G-ZL-31	06:00	12:00	1	7,5	1	< 1
G-ZL-32	12:00	18:00	1	11,9	1	< 1
G-ZL-33	18:00	24:00	0	8,9	1	< 1
G-ZL-34	00:00	06:00	1	9,2	0	< 1
G-ZL-35	06:00	12:00	0	8,6	0	< 1
G-ZL-36	12:00	18:00	1	12,5	0	< 1
G-ZL-37	18:00	24:00	0	7,7	1	< 1

Tabelle 100 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der drei Untersuchungstage im Ablauf der ARA-Graz.

ID	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	Anzahl der Filterwechsel bei 20 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 20 µm [g]	Anzahl der Filterwechsel bei 10 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 10 µm [g]
G-AL-26	00:00	06:00	1	6,7	2	< 1
G-AL-27	06:00	12:00	1	8,6	5	< 1
G-AL-28	12:00	18:00	1	9,3	3	< 1
G-AL-29	18:00	24:00	1	7,7	3	< 1
G-AL-30	00:00	06:00	1	6,5	4	< 1
G-AL-31	06:00	12:00	2	8,4	6	< 1
G-AL-32	12:00	18:00	1	9,6	3	< 1
G-AL-33	18:00	24:00	1	7,2	4	< 1
G-AL-34	00:00	06:00	1	8,0	3	< 1
G-AL-35	06:00	12:00	1	10,5	3	< 1
G-AL-36	12:00	18:00	2	11,2	4	< 1
G-AL-37	18:00	24:00	1	8,5	4	< 1

Wie aus der Tabelle 99 und der Tabelle 100 zu entnehmen ist, waren die 10 µm Trockenmassen wieder sehr gering, weshalb diese auch wieder nicht getrennt auf Mikroplastik untersucht werden konnten. Sie wurden nach der Wiegung wieder jeweils mit den gewonnenen 20 µm Trockenmassen vereint und die Mikroplastik-Anteile in weiterer Folge aus den beiden vereinten Trockenmassen für den Zulauf und den Ablauf bestimmt.

Aus logistischen Gründen war es an den 3 Probenahmetagen leider nicht möglich, aus den gewonnenen 3 x 4 x 6 h-Mischproben zur Beschreibung und Charakterisierung des allgemeinen Verschmutzungsgrades dieser Proben auch wieder die CSB- und AFS-Konzentrationen zu bestimmen. Dafür standen aber zumindest die CSB-Konzentrationen aus der Eigenüberwachung für diese 3 Tage sowohl im Zulauf als auch im Ablauf zur Verfügung und sind gemeinsam mit den Tageszulaufmengen Qd zur ARA-Graz, den ARA-Belastungen und den mittleren Abwassertemperaturen an den 3 Tagen in der nachfolgenden Tabelle 101 dargestellt.

Tabelle 101 Die Tageszulaufmengen Q_d zur ARA-Graz, die ARA-Belastungen, die mittleren Abwassertemperaturen und die CSB-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Kläranlage aus der Eigenüberwachung an den 3 Untersuchungstagen.

Wochentag und Datum	Betroffene IDs	Q_d [m³/d]	ARA-Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur Ablauf [°C]	CSB Zulauf [mg/L]	CSB Ablauf [mg/L]
Mo 26.08.2024	G-ZL-26–G-ZL-29 G-AL-26–G-AL-29	68.800	458.733	22,6	727	22,7
Mi 28.08.2024	G-ZL-30–G-ZL-33 G-AL-30–G-AL-33	68.214	454.627	22,7	726	21,8
Di 03.09.2024	G-ZL-34–G-ZL-37 G-AL-34–G-AL-37	67.421	471.842	22,8	755	14,7

Aus der Tabelle 101 ist zu erkennen, dass die 3 Probenahmetage des AP 2.2 zur Erfassung der 3 Tagesgänge an sehr ähnlichen und damit auch vergleichbaren Trockenwettertagen durchgeführt werden konnten.

6.2.3 AP 2.3: Erfassung von drei MP-Tagesfrachten bei angestrebten Regenwetterbedingungen

6.2.3.1 Ziel und Beschreibung der Messkampagnen im Rahmen des AP 2.1

Ziel dieser Messkampagne war die zeitgleiche Erfassung von drei möglichst vollständigen, zeitsynchronen MP-Tagesfrachten im Zu- und Ablauf der ARA-Graz bei angestrebten Regenwetterbedingungen, um Aussagen darüber zu gewinnen, ob bei Regenwetter verstärkt Reifenabrieb als eine der MP-Fraktionen von den Straßen in die Kanalisation und damit auch zu den Kläranlagen gelangt.

Dabei wurden an den nachfolgenden Probenahmetage jeweils zeitsynchron im Zu- und Ablauf der ARA-Graz bei Regenwetterbedingungen die der ARA-Graz zulaufenden und emittierten MP-Frachten bestimmt:

- Mo 01.07.2024
- So 28.07.2024
- Mo 29.07.2024

6.2.3.2 Probenahme- und Filtrationsergebnisse der drei MP-Tagesfrachten im Zu- und Ablauf der ARA-Graz bei Regenwetterbedingungen

In der Tabelle 102 sind für den Zulauf und in der Tabelle 103 für den Ablauf die während der drei Probenahmetage gewonnenen 3 x 24 h-Tagesmischproben mit ihren zugewiesenen IDs und charakteristischen Informationen über die hydraulische und stoffliche Belastungssituation der Kläranlage während dieser drei Tage jeweils von 08:00 bis 08:00 beschrieben.

Tabelle 102 Bezeichnungen und Informationen zu den drei untersuchten Regenwettertagen im Rahmen des AP 2.3 im Zulauf zur ARA-Graz.

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-ZL-23	2.3	Mo 01.07.2024	MW	131.850	328.615	19,6
G-ZL-24	2.3	So 28.07.2024	MW+Entleer.	97.171	309.347	21,2
G-ZL-25	2.3	Mo 29.07.2024	TW+Entleer.	89.562	342.644	20,8

Tabelle 103 Bezeichnungen und Informationen zu den drei untersuchten Regenwettertagen im Rahmen des AP 2.3 im Ablauf der ARA-Graz.

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
G-AL-23	2.3	Mo 01.07.2024	MW	131.850	328.615	20,0
G-AL-24	2.3	So 28.07.2024	MW+Entleer.	97.171	309.347	22,1
G-AL-25	2.3	Mo 29.07.2024	TW+Entleer.	89.562	342.644	22,0

An den drei Untersuchungstagen herrschten nach der Klassifizierung von Beutle, Cajetan (2025) Regenwetterbedingungen vor, bei denen entweder Mischwasser aus dem Einzugsgebiet der Kanalisation direkt oder durch das Entleeren des Mischwasserüberlaufbeckens vor der ARA-Graz und/oder des ZSK der ARA-Graz zugeleitet wurde.

In der Tabelle 104 sind für den Zulauf und in der Tabelle 105 für den Ablauf die wichtigsten Kenngrößen zur Probenahme während der drei Untersuchungstage auf der ARA-Graz zusammengefasst.

Tabelle 104 Ergebnisse der 3 x 24 h-Probenahmen an den drei Probenahmetagen im Zulauf zur ARA-Graz bei Regenwetterbedingungen im Rahmen des AP 2.3.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilproben-Volumen [mL]	Teilproben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]	Q_d [m³/d]	Tages-klasse
G-ZL-23	vp	10	695	264	183	160	131.850	MW
G-ZL-24	vp	10	695	194	135	130	97.171	MW+Entleer.
G-ZL-25	vp	10	695	179	124	115	89.562	TW+Entleer.

Tabelle 105 Ergebnisse der 3 x 24 h-Probenahmen an den drei Probenahmetagen im Ablauf zur ARA-Graz bei Regenwetterbedingungen im Rahmen des AP 2.3.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilproben-Volumen [mL]	Teilproben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]	Q_d [m³/d]	Tages-klasse
G-AL-23	vp	11	6940	225	1830	1650	131.850	MW
G-AL-24	vp	11	6940	170	1349	1350	97.171	MW+Entleer.
G-AL-25	vp	11	6940	150	1243	1030	89.562	TW+Entleer.

In der Tabelle 106 sind für den Zulauf und in der Tabelle 107Tabelle 107 für den Ablauf die Anzahl der erforderlichen Fitrationen bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der drei Untersuchungstage auf der ARA-Graz bei Regenwetterbedingungen dargestellt.

Tabelle 106 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der drei untersuchten Regenwettertage im Zulauf zur ARA-Graz.

ID	Anzahl der Filterwechsel bei 20 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 20 µm [g]	Anzahl der Filterwechsel bei 10 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 10 µm [g]
G-ZL-23	0	17,4	0	< 1
G-ZL-24	1	19,0	1	< 1
G-ZL-25	2	19,6	1	< 1

Tabelle 107 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der drei untersuchten Regenwettertage im Ablauf zur ARA-Graz.

ID	Anzahl der Filterwechsel bei 20 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 20 µm [g]	Anzahl der Filterwechsel bei 10 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 10 µm [g]
G-AL-23	3	26,8	10	< 1
G-AL-24	2	28,7	4	< 1
G-AL-25	1	5,3	3	< 1

Wie aus der Tabelle 106 und der Tabelle 107 ersichtlich ist, waren die 10 µm Trockenmassen erneut sehr gering, weshalb diese auch wieder nicht getrennt auf Mikroplastik untersucht werden konnten. Sie wurden nach der Wiegung daher jeweils mit den gewonnenen 20 µm Trockenmassen vereint und die Mikroplastik-Anteile in weiterer Folge aus den beiden vereinten Trockenmassen für den Zulauf und den Ablauf bestimmt.

Zur Beschreibung und Charakterisierung des allgemeinen Verschmutzungsgrades der gewonnenen 3 x 24 h-Tagesmischproben aus dem Zu- und Ablauf der ARA-Graz an den untersuchten 3 Regenwettertagen wurden jeweils mittels Doppelbestimmung die CSB- und AFS-Konzentrationen aus den korrespondierenden 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüber-

wachung der ARA-Graz bestimmt. In der Tabelle 108 sind diese für die 3 x 24 h-Tagesmischproben für den Zulauf und in der Tabelle 109 für den Ablauf an den drei untersuchten Regenwettertagen dargestellt.

Tabelle 108 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-Tages-Zulauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz an den drei untersuchten Regenwettertagen.

ID	Q_d [m³/d]	Tages-klasse	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]
G-ZL-23	131.850	MW	328	330	329	207	210	209
G-ZL-24	97.171	MW+Entleer.	330	335	333	230	240	235
G-ZL-25	89.562	TW+Entleer.	421	421	421	230	240	235

Tabelle 109 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-Tages-Ablauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz an den drei untersuchten Regenwettertagen.

ID	Q_d [m³/d]	Tages-klasse	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]
G-AL-23	131.850	MW	26,5	27,3	26,9	21,0	22,0	21,5
G-AL-24	97.171	MW+Entleer.	28,0	28,5	28,3	18,0	16,0	17,0
G-AL-25	89.562	TW+Entleer.	41,5	40,7	41,1	8,5	11,0	9,8

Dabei sind in der Tabelle 108 die doch deutlich geringeren CSB-Zulauf-Konzentrationen und höheren Tageszulaufmengen an den 3 Regenwettertagen augenscheinlich und erwartungsgemäß.

6.2.4 Erfassung von Blindwerten

Zur Überprüfung möglicher Hintergrundkontaminationen, die während der Probenahme, der Filtration, aber auch in weiterer Folge während der Aufbereitung und Analyse der Probe, eingebracht werden könnten, wurden begleitend zu den eigentlichen Probenahmen Blindwertmessungen durchgeführt. Um möglichst idente und repräsentative Bedingungen

zu schaffen, wurden für die Zulaufproben 150 L und für die Ablaufproben 1.000 L Reinwasser filtriert. Dies entspricht möglichst angenähert den Probenahmevolumen für die durchgeführten Untersuchungen. Die für die Gewinnung der Blindwertproben benutzte Wasserquelle wurde auch für die zuvor durchgeführten Probenahmen herangezogen, zum Beispiel für Spülvorgänge bei den Filtrationen oder die Reinigung des Filtrationsequipments. Es wurden jeweils drei Blindwerte für den Zulauf und Ablauf gezogen und analog zu den zuvor gezogenen Proben mittels 20 µm Discfiltration und anschließend 10 µm Discfiltration filtriert.

7 Validierung der Gesamtmethodik auf der Kläranlage Wiener Neustadt (AP 2.4 und AP 2.5)

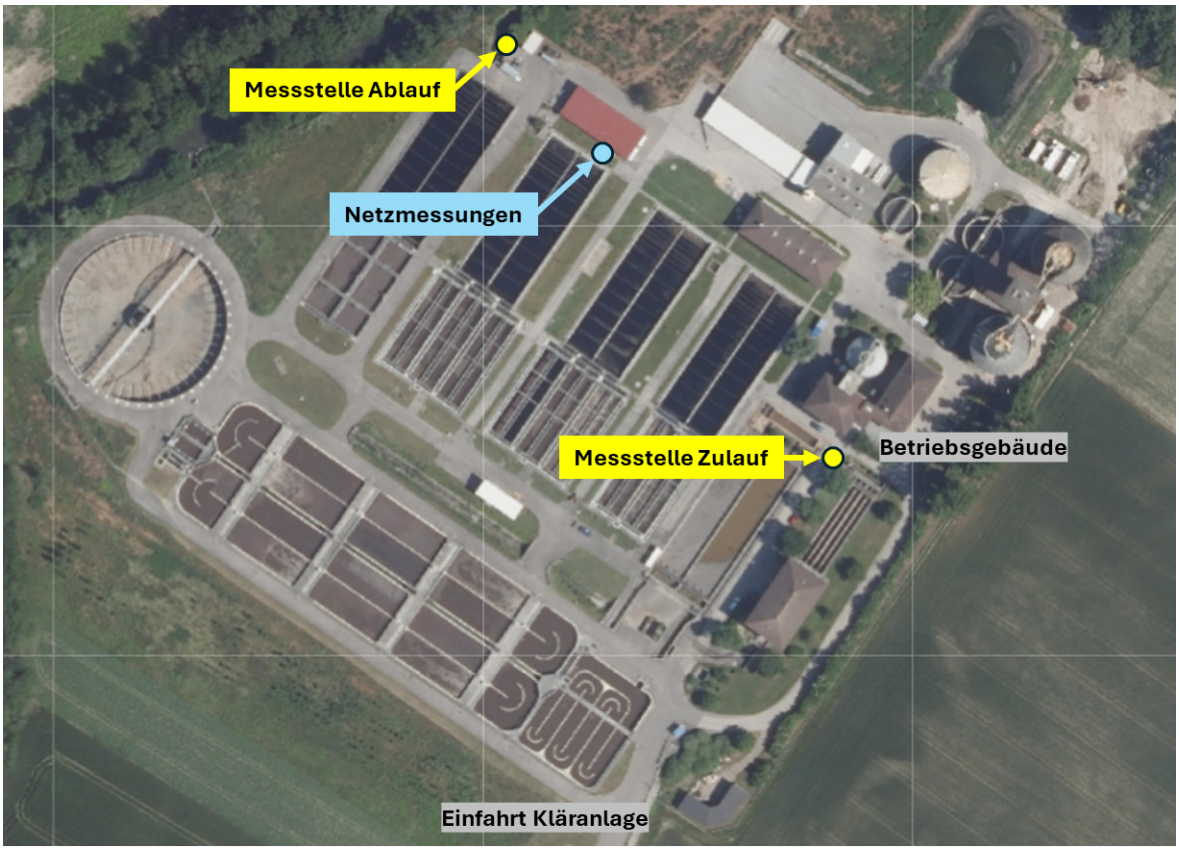
Zum Abschluss des Projektes wurde die entwickelte Gesamtmethodik zur Bestimmung von Mikroplastik in Abwässern im Oktober 2024 noch auf einer zweiten kommunalen Kläranlage in Österreich getestet, wofür die Kläranlage Wiener Neustadt ausgewählt wurde, die mit einer Ausbaugröße von 260.000 EW_{60} zu den größeren Kläranlagen in Österreich zählt und wo die vorhandene Infrastruktur auch bestens geeignet war, die Gesamtmethodik mit dem im Rahmen dieses Projektes entwickelten Equipment abschließend an zwei Trockenwettertagen sowohl im Zulauf als auch im Ablauf zu validieren.

Zusätzlich zu den vergleichenden 24 h-Beprobungen an zwei Trockenwettertagen konnten auf der ARA-Wiener Neustadt schließlich im Ablauf der Kläranlage auch noch temporäre Vergleichsbeprobungen mit Netzen durchgeführt werden, mit welchen ein Großteil des Ablaufes der Kläranlage temporär über den gesamten Ablaufquerschnitt filtriert werden konnte. Zeitgleich und parallel dazu wurde der Ablaufstrom während dieser Perioden vor und nach dem temporär eingebauten Netz mit zwei MP-Probenahmesystemen (MP-PNS) nach der Gesamtmethodik beprobt und filtriert.

7.1 Beschreibung der Probenahmestellen im Zulauf und Ablauf der ARA-Wiener Neustadt

Abbildung 78 zeigt ein Luftbild der ARA-Wiener Neustadt mit den beiden Probenahmestellen im Zulauf- und im Ablaufbereich der Kläranlage, an welchen die beiden MP-Tagesfrachtermittlungen durchgeführt wurden sowie auch den Einbauort für die temporären Netzmessungen im Ablaufgerinne der Kläranlage.

Abbildung 78 Luftbild der ARA-Wiener Neustadt mit den eingezeichneten 3 Messstellen für die Durchführung der Validierungsmessungen im Zu- und Ablaufbereich der Kläranlage.



Quelle: https://atlas.noe.gv.at/atlas/portal/noe-atlas/map/Planung%20und%20Kataster/Grundst%C3%BCcke

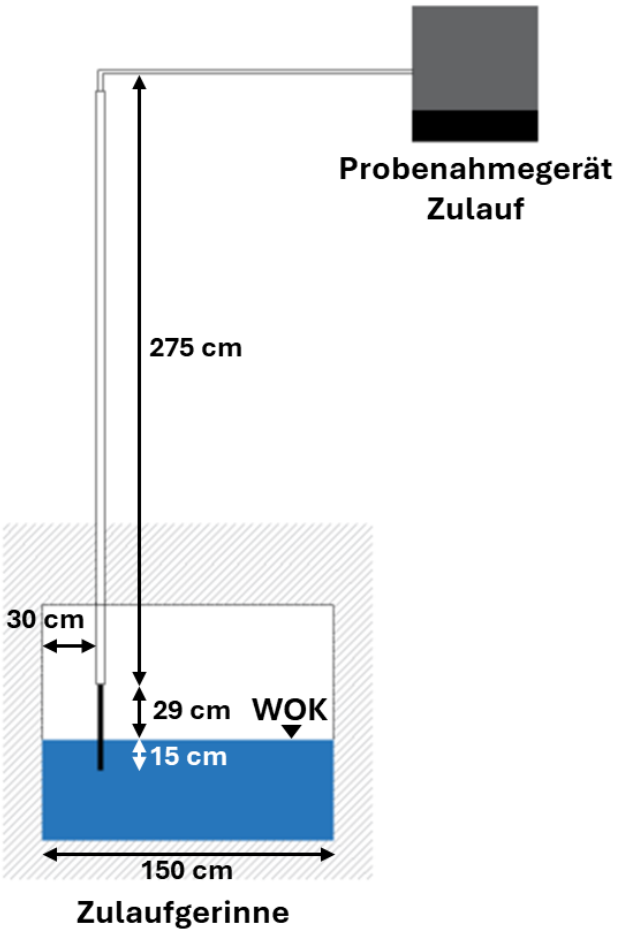
7.1.1 Beschreibung der Zulauf-Probenahmestelle auf der ARA-Wiener Neustadt (AP 2.4)

Die gewählte MP-Probenahmestelle für den Zulauf der ARA-Wiener Neustadt befindet sich direkt beim Zulauf-Probenahmegerät der Kläranlage, welches die mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben für die Eigenüberwachung direkt aus dem vereinten Zulaufgerinne nach den 4 Sand- und Schotterfangstraßen und vor den Vorklärbecken entnimmt.

In der Abbildung 79 ist die Probenahmesituation des betriebseigenen Zulauf-Probenahmegerätes am vereinten Zulaufgerinne zu den Vorklärbecken dargestellt. Der Probenahme-

schlauch wird dabei mit einem metallischen Hüllrohr ca. 15 cm unterhalb der Wasserspiegelline des Zulaufstromes im Zulaufgerinne fixiert. Die Ansaughöhe zum automatischen Probenahmegerät der Kläranlage beträgt ca. 3 m.

Abbildung 79 Einbausituation des betriebseigenen Zulauf-Probenahmegerätes am vereinten Zulaufgerinne zu den Vorklärbecken nach den 4 Sand- und Schotterfang-Straßen.



In den beiden Fotos der Abbildung 80 sind sowohl das betriebseigene Zulauf-Probenahmegerät der Kläranlage als auch das MP-Probenahmegerät für die MP-Zulaufbeprobungen abgebildet. Wie beim betriebseigenen Probenahmegerät wurde das vorhandene metallische Hüllrohr auch zur Fixierung des Ansaugschlauches für das MP-Probenahmegerät genutzt, womit die beiden Probenahmeschläuche praktisch idente Ansaugpunkte im Gerinnequerschnitt aufwiesen.

Abbildung 80 Der Aufstellungsort für das MP-Zulauf-Probenahmegerät unmittelbar neben dem betriebseigenen Zulauf-Probenahmegerät der ARA-Wiener Neustadt.



Nachdem der für die volumenproportionale Ansteuerung des Zulauf-Probenahmegerätes der Kläranlage verwendete digitale Impulsteiler von 300 m³ für eine Teilprobenentnahme für die Ansteuerung des MP-Probenahmegeräts nicht zur Verfügung stand, musste dieses für die MP-Beprobungen an den beiden untersuchten Tagen zeitproportional betrieben werden, wofür ein Teilprobenentnahmeintervall von 10 min und eine Ansaugzeit von 18 Sekunden für konstante Teilprobenvolumina von 695 mL gewählt wurden.

Die gewonnenen beiden 24 h-Tagesmischproben für die MP-Bestimmungen wurden wieder unmittelbar nach dem Beprobungsende zunächst mit einem 20 µm-Filterdiscsystem der TU Wien filtriert und das in einem zweiten Edelstahlbehälter von 150 L Fassungsvermögen zwischengespeicherte 20 µm-Filtrat danach dann in einem zweiten Filtrationsschritt mit einem 10 µm Filterdiscsystem noch einmal filtriert. Beide resultierenden Trockenmassen wurden wieder getrennt bestimmt, danach dann aber für die MP-Bestimmungen wieder zu einer Gesamtprobe vereint.

Abbildung 81 Fotos von den sequenziell durchgeführten 20 µm- und 10 µm-Filtrationen mit den dafür erforderlichen zwei Edelstahlbehältern (links) und von der Reinigung eines Gewebefilters (rechts) mit einem mobilen Ultraschallreiniger bei der MP-Zulauf-Beprobung auf der ARA-Wiener Neustadt.

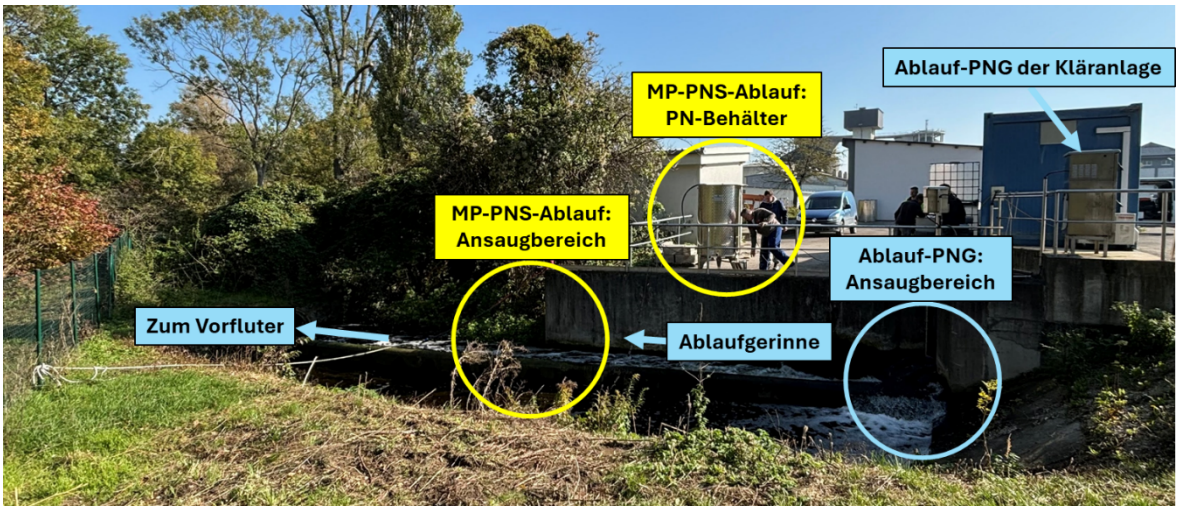


7.1.2 Beschreibung der Ablauf-Probenahmestelle auf der ARA-Wiener Neustadt zur Erfassung von MP-Tagesfrachten (AP 2.4)

Auch die gewählte MP-Probenahmestelle für den Ablauf der ARA-Wiener Neustadt befindet sich im Nahbereich des Ablauf-Probenahmegerätes der Kläranlage, welches die mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben für die Eigenüberwachung direkt aus dem offenen Ablaufgerinne entnimmt, bevor das Ablaufgerinne in einen weiterführenden kreisförmigen Kanal DN 800 anschließt, der schließlich zum Vorfluter führt. Dabei verfügt die offene Ablaufgerinnestrecke für größere Ablaufwassermengen über einen Überlauf in einen zweiten Ablaufkanal.

In der Abbildung 82 ist im Überblick der gesamte Ablaufbereich der ARA-Wiener Neustadt dargestellt mit dem betriebseigenen Probenahmegerät der Kläranlage für die tägliche Eigenüberprüfung der Abwasserablaufqualitäten im Ablauf und mit dem Aufstellungsort des MP-Probenahmesystems inklusive der beiden Ansaugbereiche aus dem offenen Ablaufgerinne.

Abbildung 82 Ablaufbereich der ARA-Wiener Neustadt mit dem betriebseigenen Ablauf-Probenahmegerät der Kläranlage und dem Aufstellungsort und dem Ansaugbereich für das MP-Probenahmesystem.

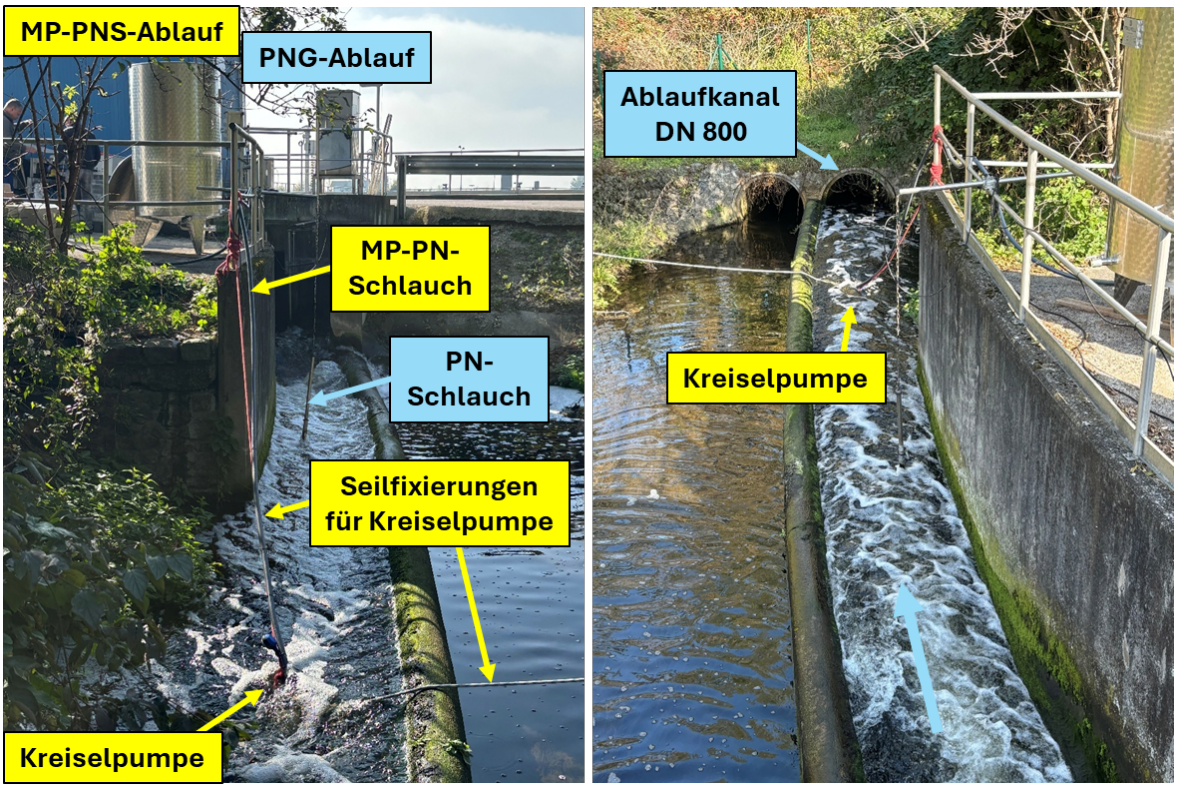


In der Abbildung 83 sind die beiden Aufstellungsorte und Ansaugbereiche der beiden Probenahmesysteme aus dem Ablaufgerinne der ARA-Wiener Neustadt im Detail abgebildet. Dabei verfügt das offene Ablaufgerinnen für größere Ablaufwassermengen über einen Überlauf in einen zweiten, etwas tieferliegenden Kanal und weist in der Regel bei TW-Bedingungen Wasserstände von ca. 40 cm auf. Diese Wassertiefen waren ausreichend, um die tauchfähige Kreiselpumpe des MP-Probenahmesystems mit zwei Seilen in ihrer gewählten Position mittig im Ablaufgerinne zu fixieren. Damit ergab sich von der Wasseroberfläche im Ablaufgerinne bis zur Oberkante des 1.000 L-Edelstahlbehälters eine Förderhöhe von ca. 370 cm.

Auf dem Foto der Abbildung 84 sind alle für das MP-Probenahmesystem im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt erforderlichen Komponenten abgebildet. Dazu gehörten:

- Ein 1.000 L Edelstahlbehälter zur Aufnahme der Probenvolumina bei TW-Bedingungen.
- Eine tauchfähige Edelstahl-Kreiselpumpe für die Teilprobenentnahme aus dem Ablaufgerinne, welche mit zwei Seilen im Ablaufgerinne mittig fixiert werden musste.
- Die im Rahmen des Projektes entwickelte Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) zur entweder volumen- oder zeitproportionalen Ansteuerung der Teilprobenentnahmen.

Abbildung 83 Aufstellungsorte und Ansaugbereiche der beiden Probenahmesysteme aus dem Ablaufgerinne der ARA-Wiener Neustadt.



Nachdem der für die volumenproportionale Ansteuerung des Ablauf-Probenahmegerätes der Kläranlage verwendete digitale Impulsteiler von 300 m³ für eine Teilprobenentnahme für die Ansteuerung des MP-Probenahmegeräts auch im Ablauf nicht zur Verfügung stand, musste dieses für die MP-Beprobungen an den beiden untersuchten TW-Tagen auch im Ablauf zeitproportional betrieben werden, wofür ein Teilprobenentnahmeintervall von 10 min und eine Ansaugzeit von 11 Sekunden für konstante Teilprobenvolumina von 7.360 mL gewählt wurden.

In der Abbildung 85 sind die SPS zur Ansteuerung der Teilprobenvolumina und der 1.000 L fassende Edelstahlbehälter zur Aufnahme der erforderlichen Tagesvolumina für die MP-Bestimmungen bei TW-Bedingungen.

Abbildung 84 Überblick über die erforderlichen Installationen für das MP-Probenahmesystem im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt.

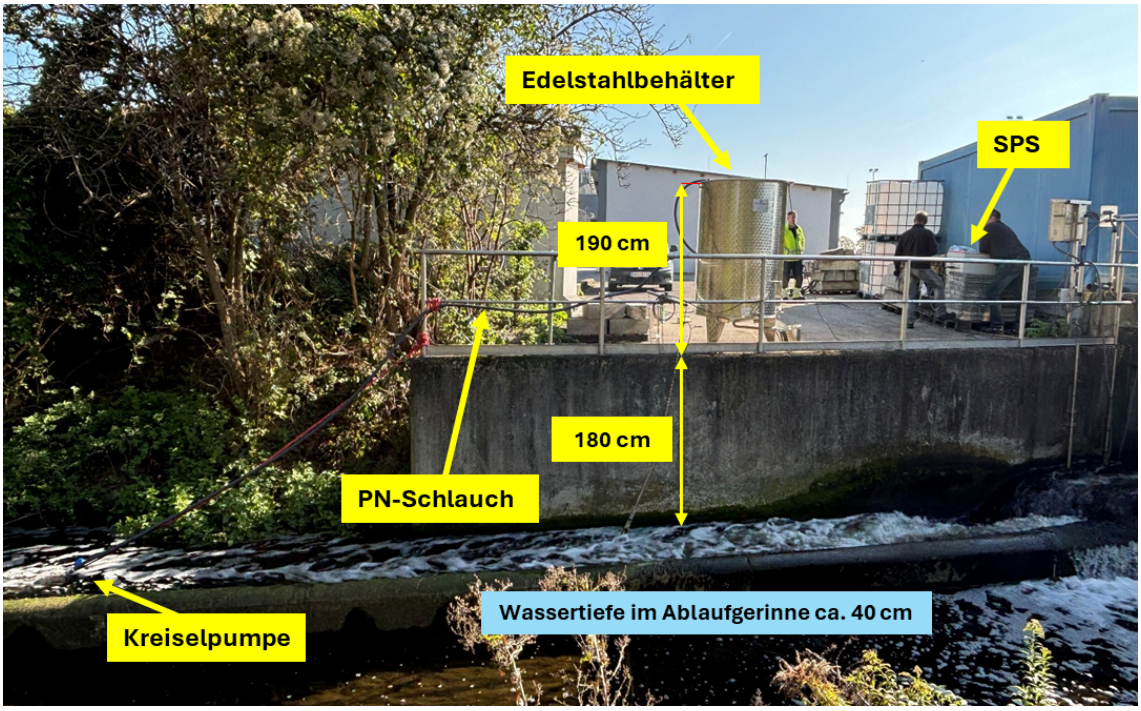


Abbildung 85 Die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) zur Ansteuerung der Teilprobenvolumina (links) und der 1.000 L fassende Edelstahlbehälter zur Aufnahme der erforderlichen Tagesvolumina für die MP-Bestimmungen bei TW-Bedingungen.



Die gewonnenen beiden 24 h-Tagesmischproben für die MP-Bestimmungen wurden wieder unmittelbar nach dem Beprobungsende zunächst mit einem 20 µm-Filterdiscsystem der TU Wien filtriert und das in einem zweiten Edelstahlbehälter von 1.000 L Fassungsvermögen zwischengespeicherte 20 µm-Filtrat danach dann in einem zweiten Filtrationsschritt mit einem 10 µm Filterdiscsystem noch einmal filtriert. Beide resultierenden Trockenmassen wurden wieder getrennt bestimmt, danach dann aber für die MP-Bestimmungen wieder zu einer Gesamtprobe vereint.

7.1.3 Beschreibung der Ablauf-Probenahmestelle auf der ARA-Wiener Neustadt für die vergleichenden Netzmessungen (AP 2.5)

Die gewählte MP-Probenahmestelle für die vergleichenden Netzmessungen befindet sich nach den Nachklärbecken und vor dem Gesamtablauf der ARA-Wiener Neustadt, wo in einem relativ kurzen, gut zugänglichen, offenen und rechteckigen Gerinneabschnitt ca. 5/6 der abfließenden Ablaufmengen aus den Nachklärbecken sowohl mit temporären Netzmessungen als auch zeitgleich mit den entwickelten MP-Probenahmesystemen für den Ablauf von Kläranlagen auf Mikroplastik untersucht werden konnten.

Das Foto in der Abbildung 86 gibt einen Überblick über den gewählten offene Gerinneabschnitt, in welchem die vergleichenden MP-Bestimmungen durchgeführt werden konnten.

Dafür konnte in diesem Gerinneabschnitt für die Netzmessungen bereits auf bestehende Einbauten aus dem Vorgängerprojekt TEMPEST (Clara et al., 2020) zurückgegriffen werden. Der verwendete Messrahmen für das Probenahmenetz wurde aus Stahl gefertigt und weist eine Gesamtbreite von 108 cm sowie eine Höhe von 110 cm auf. Die Maschenweite des eingesetzten Netzes betrug 500 µm. Zusätzlich wurde ein Verschluss aus Metall für die Einlauföffnung angefertigt, um bei einem möglichen Aufstau infolge einer Verlegung des Netzes ein Rückfließen von Kunststoffpartikeln während des Herausziehens des Messrahmens mit dem Netz zu verhindern. Der Einsatz des Verschlusses war jedoch dieses Mal nicht erforderlich, da das Netz bei allen durchgeführten Probenahmen bis zum Ende nicht so stark verlegt war, dass es zu einem Rückstau kam.

In der Abbildung 87 ist das Einheben des Messrahmens mit dem Probenahmenetz in den offenen Gerinneabschnitt ersichtlich, wofür ein Kran mit einer Seilwinde von der BOKU verwendet werden konnte, die wie schon im TEMPEST-Projekt (Clara et al., 2020) die Netzmessungen auch dieses Mal wieder durchführte.

Abbildung 86 Überblick über den offenen Gerinneabschnitt, wo ca. 5/6 der Ablaufmengen aus den Nachklärbecken sowohl mit einem eingebauten Netz als auch mit zwei MP-Probenahmesystemen vor und nach dem eingebauten Netz auf MP untersucht werden konnten.

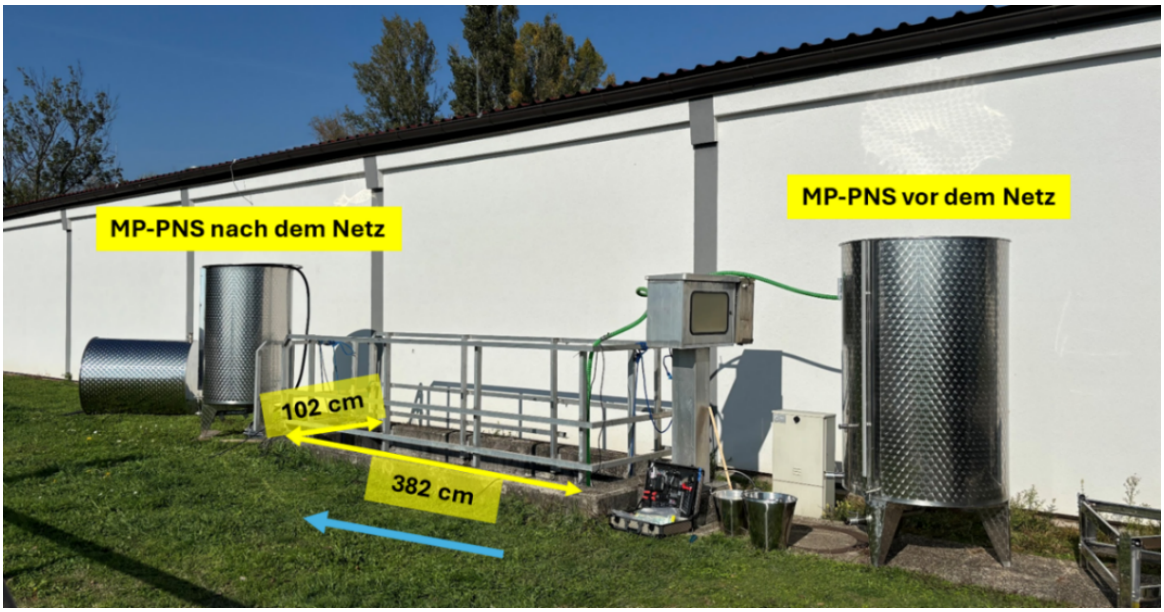


Abbildung 87 Fotos vom Einbau des Messrahmens mit dem 500 µm Netz in den offenen Gerinneabschnitt des Ablaufkanals nach den Nachklärbecken der ARA-Wiener Neustadt.



Der mit dem Netz im Gerinne eingebaute Messrahmen ist in Abbildung 88 (links) ersichtlich. Dieser wurde jeweils für die Probenahmen mit dem BOKU-Kran in das Gerinne abgesenkt und dort mittels der eingebauten Führungsschienen positioniert und fixiert. Der verwendete Messrahmen mit dem Netz schloss bei allen Messungen sowohl seitlich als auch sohlnah perfekt im Gerinne ab. Nach dem Ziehen des Messrahms wurden die an der Oberfläche anhaftende Partikel mittels Feuerwehrschlauch in den aufnehmenden Probencontainer gewaschen (Abbildung 88, rechts).

Abbildung 88 Links: Der im offenen Gerinneabschnitt des Ablaufs der ARA-Wiener Neustadt eingebaute Messrahmen. Zu sehen sind die im Gerinne installierten Führungsschienen mit dem eingesetzten Messrahmen inklusive dem 500 µm-Netz und dem angeschlossenen Probencontainer. Rechts: Reinigung des Netzes nach der Probennahme.



Die mit dem Netz gewonnenen Feststoffproben (Abbildung 89) wurden nach den Beprobungen in einen Metallcontainer überführt und anschließend über einen 10-µm-Discfilter mit einem Durchmesser von 20 cm vakuumfiltriert (Abbildung 90, links), um eine möglichst

trockene Probe für den Transport zu erhalten. Zur Fixierung des Filters wurde eine vakuumtaugliche Tri-Clamp-Konstruktion (8 Zoll) verwendet (Abbildung 90, rechts).

Abbildung 89 Ausbau des Messrahmens mit dem mit Festsoffen befrachteten Probenahmenetz nach einer der 4 durchgeführten temporären Netzbeprobungen und Gewinnung der Feststoffproben aus dem Probenahmenetz.

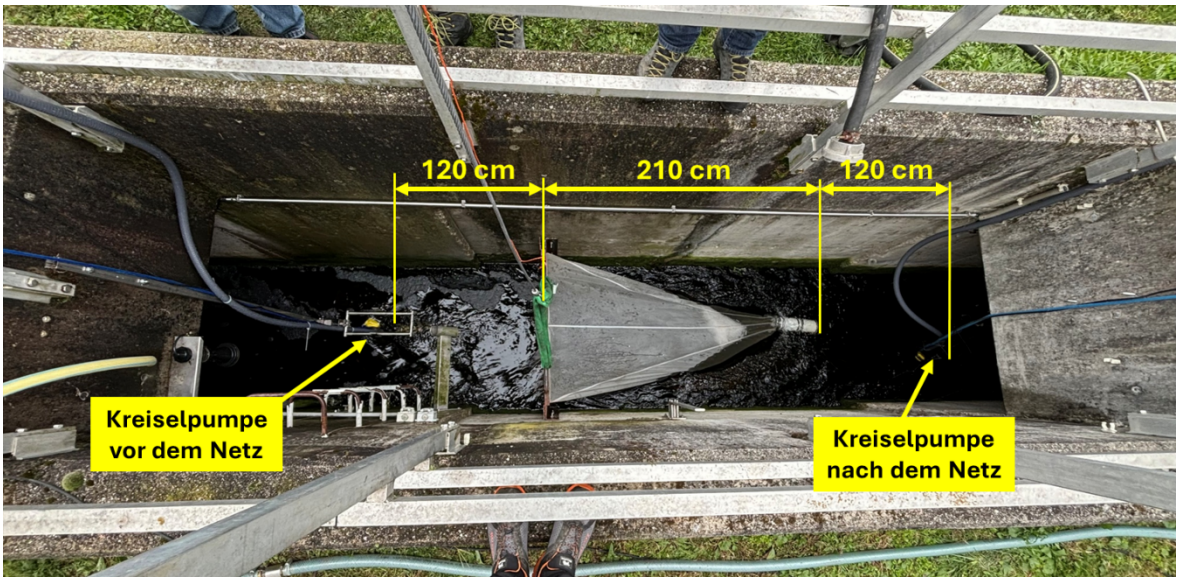


Abbildung 90 Links: Vakuumfiltration des Netzinhalts bei Verwendung einer Tri-Clamp-Konstruktion. Rechts: Aufkonzentrierter Feststoff auf einem 10 µm-Metallfilter nach der Filtration.



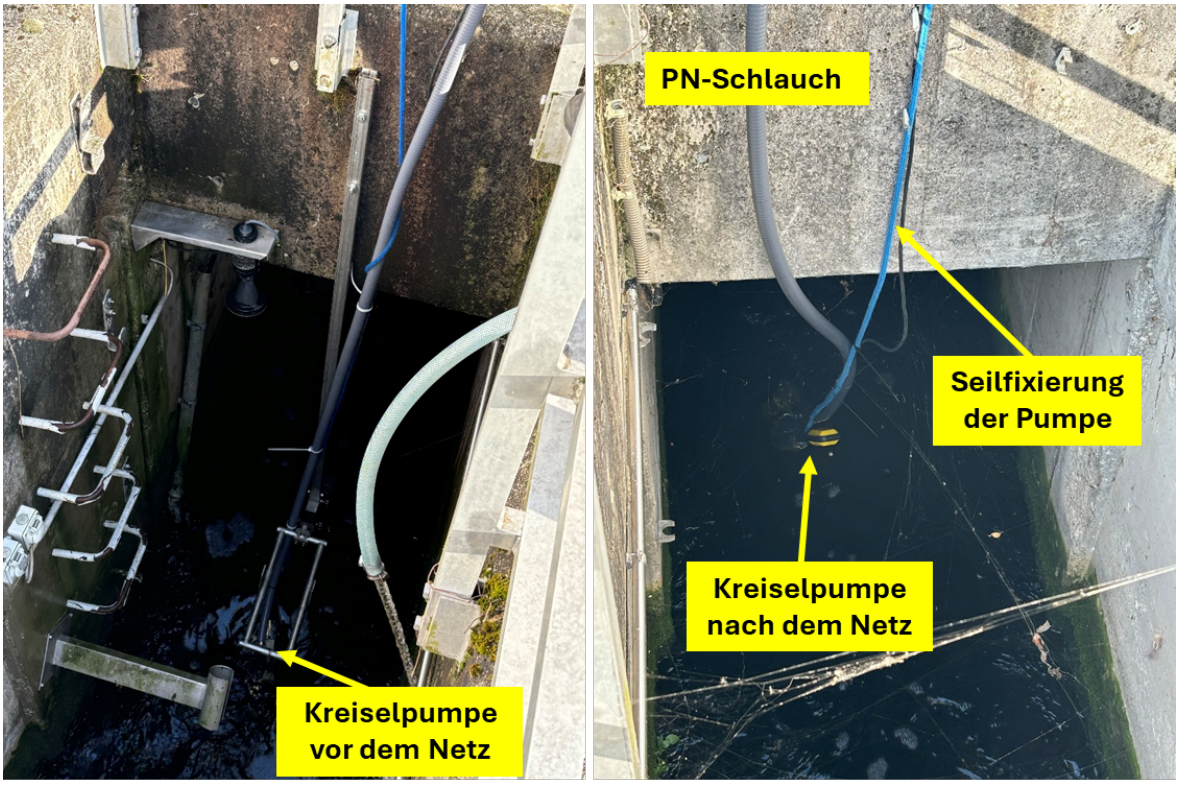
Zeitgleich zu den temporären Netzmessungen wurden jeweils vor und nach dem eingebauten Probenahmenetz ein im Rahmen des Projektes entwickeltes MP-Probenahmesystem für den Ablauf von Kläranlagen installiert und für die Dauer der temporären Netzbeprobungen aktiviert. Auf dem Foto der Abbildung 91 sind der eingebaute Messrahmen mit dem 500 µm-Probenahmenetz und die beiden im Gerinne installierten Kreiselpumpen vor und nach dem Netz zu sehen, mit denen die vergleichenden MP-Probenahmen während der temporären Netzbeprobungen durchgeführt wurden.

Abbildung 91 Blick in das offene Ablaufgerinne mit dem eingebauten Messrahmen inkl. dem 500 µm Probenahmenetz und den beiden installierten Kreiselpumpen des MP-Probenahmesystems vor und nach dem Netz.



In der Abbildung 92 sind die beiden im offenen Gerinne vor und nach dem eingebauten Probenahmenetz installierten Kreiselpumpen mit ihren 1" Probenahmeschläuchen zu sehen. Diese wurden aufgrund der vorherrschenden Fließgeschwindigkeiten schräg in einer Tiefe von 30–40 cm platziert. Der Abstand zwischen der Wasseroberfläche und der Beton-Oberkante des Gerinnes betrug 215 cm. Daraus ergab sich insgesamt bis zur Oberkante der Edelstahlbehälter eine Förderhöhe von ca. 420 cm.

Abbildung 92 Die beiden vor und nach dem Probenahmenetz installierten Kreiselpumpen im offenen Ablaufgerinne der ARA-Wiener Neustadt nach den Nachklärbecken.



Dafür kamen an dieser Messstelle zwei idente MP-Ablauf-PN-Systeme mit jeweils einer Edelstahl-Kreiselpumpe und einem 1.000 L fassende Edelstahlbehälter zum Einsatz. Die beiden Kreiselpumpen wurden dafür mit Seilen am vorhandenen Geländer fixiert. An diesen Seilen wurden auch die Kabel für die Stromversorgung und die Probenahmeschläuche befestigt. Die beiden Probenahmeschläuche, welche für eine gleichmäßige Befüllung der beiden Edelstahlbehälter gleich lange gewählt wurden, transportierten während der temporären Netzbeprobungen einen kontinuierlichen Förderstrom von 0,38 L/s bis 0,43 L/s zu den beiden Edelstahlbehältern, woraus sich Befüllungszeiten bzw. Netzbeprobungszeiten von 38 bis 40 Minuten ergaben. Eine spezielle Ansteuerung der beiden Pumpen war dafür nicht erforderlich.

Die während den Netzbeprobungen in den beiden Edelstahlbehältern gewonnenen Proben wurden für die vergleichenden MP-Bestimmungen wieder unmittelbar nach dem Beprobungsende zunächst mit einem 20 µm-Filterdiscsystem der TU Wien filtriert und das in einem zweiten Edelstahlbehälter von 1.000 L Fassungsvermögen zwischengespeicherte 20 µm-Filtrat danach dann in einem zweiten Filtrationsschritt mit einem 10 µm Filter-

discsystem noch einmal filtriert. Beide resultierenden Trockenmassen wurden wieder getrennt bestimmt, danach dann aber für die MP-Bestimmungen wieder zu einer Gesamtprobe vereint. In der Abbildung 93 ist eine der im Rahmen der Netz-Vergleichsmessungen durchgeführten 20 µm-Filtrationen abgebildet, wobei das dabei entstehende 20 µm-Filtrat für die nachfolgende 10 µm-Filtration in einem zweiten Edelstahlbehälter zwischengespeichert wurde.

Abbildung 93 20 µm-Fitration einer während einer Netzbeprobung gewonnenen Probe und Zwischenspeicherung des 20 µm-Filtrates in einem zweiten Behälter für die nachfolgenden 10 µm-Fitration mit den Filterdisc-Systemen der TU Wien.



7.2 Ergebnisse aus den Validierungsmessungen auf der ARA-Wiener Neustadt

7.2.1 AP 2.4: Erfassung von zwei MP-Tagesfrachten bei angestrebten Trockenwetterbedingungen

7.2.1.1 Beschreibung und Ziel der Messkampagnen im Rahmen des AP 2.4

Im Rahmen dieser Messkampagne wurde die im Rahmen des Projektes entwickelte Gesamtmethodik mit dem auf der ARA-Graz und an der TU Wien entwickelten Equipment an zwei Trockenwettertagen sowohl im Zulauf als auch im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt über jeweils 24 Stunden verwendet, um zwei synchrone MP-Tagesfrachten vom Zulauf und vom Ablauf der ARA-Wiener Neustadt zu ermitteln. Das Ziel dieser Messkampagne war die Anwendung und Validierung der entwickelten Gesamtmethode auf einer zweiten Kläranlage in Österreich.

Dabei wurden an den nachfolgenden beiden Probenahmetagen jeweils zeitsynchron im Zu- und im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt bei Trockenwetterbedingungen die der Kläranlage zulaufenden und emittierten MP-Tagesfrachten im Zeitraum von 00:00 bis 24:00 bestimmt:

- Di 22.10.2024
- Do 24.10.2024

Die unterschiedlichen Probenahmezeiträume zwischen der ARA-Graz und der ARA-Wiener Neustadt erklären sich dadurch, dass die im Rahmen der Eigenüberwachung durchgeführten täglichen 24 h-Probenahmen in Graz zwischen 08:00 und 08:00 erfolgen und in Wiener Neustadt zwischen 00:00 und 24:00. Dadurch konnten auf der ARA-Wiener Neustadt die Filtrationen der Tagesproben tageszeitbedingt nicht unmittelbar nach dem Ende der Teilprobenentnahmen begonnen werden, sondern erst ca. 7 Stunden danach.

7.2.1.2 Probenahme- und Filtrationsergebnisse der zwei MP-Tagesfrachten im Zu- und Ablauf der ARA-Wiener Neustadt bei Trockenwetterbedingungen

In der Tabelle 110 sind für den Zulauf und in der Tabelle 111 für den Ablauf die während der zwei Probenahmetage gewonnenen 2 x 24 h-Tagesmischproben mit ihren zugewiesenen IDs und charakteristischen Informationen über die hydraulische und stoffliche Belastungssituation der Kläranlage während dieser zwei Tage jeweils von 00:00 bis 24:00 beschrieben.

Tabelle 110 Bezeichnungen und Informationen zu den zwei untersuchten Trockenwettertagen im Rahmen des AP 2.4 im Zulauf zur ARA-Wiener Neustadt.

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
WRN-ZL-38	2.4	Di 22.10.2024	TW	39.293	110.017	16,8
WRN-ZL-39	2.4	Do 24.10.2024	TW	38.467	179.517	16,9

Tabelle 111 Bezeichnungen und Informationen zu den zwei untersuchten Trockenwettertagen im Rahmen des AP 2.4 im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt.

ID	AP	Wochentag und Datum	Tages-klasse	Q_d [m³/d]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
WRN-AL-38	2.4	Di 22.10.2024	TW	39.293	110.017	16,8
WRN-AL-39	2.4	Do 24.10.2024	TW	38.467	179.517	16,9

An den zwei Untersuchungstagen herrschten stabile und repräsentative Trockenwetterbedingungen im Einzugsgebiet zur ARA-Wiener Neustadt.

In der Tabelle 112 sind für den Zulauf und in der Tabelle 113 für den Ablauf die wichtigsten Kenngrößen zur Probenahme während der drei Untersuchungstage auf der ARA-Graz zusammengefasst.

Tabelle 112 Ergebnisse der 2 x 24 h-Probenahmen an den zwei Probenahmetagen im Zulauf zur ARA-Wiener Neustadt bei Trockenwetterbedingungen im Rahmen des AP 2.4.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilpro-ben-Volumen [mL]	Teilpro-ben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volu-men [L/d]	PN-Ist-Volu-men [L/d]	Q_d [m³/d]	Tages-klasse
WRN-ZL-38	zp	18	695	144	100	105	39.293	TW
WRN-ZL-39	zp	18	695	144	100	101	38.467	TW

Tabelle 113 Ergebnisse der 2 x 24 h-Probenahmen an den zwei Probenahmetagen im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt bei Trockenwetterbedingungen im Rahmen des AP 2.4.

ID	PN Art	Ansaug-zeit [s]	Teilpro-ben-Volumen [mL]	Teilpro-ben-Anzahl [-]	PN-Soll-Volu-men [L/d]	PN-Ist-Volu-men [L/d]	Q_d [m³/d]	Tages-klasse
WRN-AL-38	zp	11	7360	144	1030	1020	39.293	TW
WRN-AL-39	zp	11	7360	144	1045	1060	38.467	TW

In der Tabelle 114 sind für den Zulauf und in der Tabelle 115 für den Ablauf die Anzahl der erforderlichen Filtrationen bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und die daraus resultierenden Trockenmassen während der drei Untersuchungstage auf der ARA-Graz bei Regenwetterbedingungen dargestellt.

Tabelle 114 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und die daraus resultierenden Trockenmassen während der zwei untersuchten Trockenwettertage im Zulauf zur ARA-Wiener Neustadt.

ID	Anzahl der Filterwechsel bei 20 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 20 µm [g]	Anzahl der Filterwechsel bei 10 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 10 µm [g]
WRN-ZL-38	1	6,4462	1	0,2070
WRN-ZL-39	1	9,9801	1	0,3979

Tabelle 115 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und die daraus resultierenden Trockenmassen während der zwei untersuchten Trockenwettertage im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt.

ID	Anzahl der Filterwechsel bei 20 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 20 µm [g]	Anzahl der Filterwechsel bei 10 µm [-]	Schlamm-Trockenmasse bei 10 µm [g]
WRN-AL-38	1	0,3686	1	0,0920
WRN-AL-39	1	0,3571	1	0,0858

Wie aus der Tabelle 114 und der Tabelle 115 ersichtlich ist, waren die gewinnbaren 20 µm Trockenmassen aus den beiden 24 h-Tagesmischproben auf der ARA-Wiener Neustadt sowohl im Zulauf als auch im Ablauf generell niedriger als auf der ARA-Graz und auch die 10 µm Trockenmassen lagen hier erneut deutlich unterhalb von 1 g, weshalb diese auch wieder nicht getrennt auf Mikroplastik untersucht werden konnten. Sie wurden nach der Wiegung daher jeweils mit den gewonnenen 20 µm Trockenmassen vereint und die Mikroplastik-Anteile in weiterer Folge aus den beiden vereinten Trockenmassen für den Zulauf und den Ablauf bestimmt.

Zur Beschreibung und Charakterisierung des allgemeinen Verschmutzungsgrades der gewonnenen 2 x 24 h-Tagesmischproben aus dem Zu- und Ablauf der ARA-Wiener Neustadt an den untersuchten 2 Trockenwettertagen wurden jeweils mittels Doppelbestimmung die CSB- und AFS-Konzentrationen aus den korrespondierenden 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Wiener Neustadt bestimmt. In der Tabelle 116 sind diese für die 2 x 24 h-Tagesmischproben für den Zulauf und in der Tabelle 117 für den Ablauf an den beiden untersuchten Trockenwettertagen dargestellt.

Tabelle 116 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-Tages-Zulauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Wiener Neustadt an den zwei untersuchten Trockenwettertagen.

ID	Q_d [m³/d]	Tages-klasse	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]
WRN-ZL-38	39.293	TW	440	394	417	146	162	154
WRN-ZL-39	38.467	TW	580	574	577	280	216	248

Tabelle 117 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-Tages-Ablauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Wiener Neustadt an den zwei untersuchten Trockenwettertagen.

ID	Q_d [m³/d]	Tages-klasse	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]
WRN-AL-38	39.293	TW	29,4	30,5	30,0	0,5	0,5	0,5
WRN-AL-39	38.467	TW	29,8	29,1	29,5	0,5	0,5	0,5

7.2.2 AP 2.5: Ergebnisse der vergleichenden temporären Netzmessungen im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt

7.2.2.1 Beschreibung und Ziel der Messkampagnen im Rahmen des AP 2.5

Im Rahmen dieser Messkampagne wurden in einem offenen Ablaufgerinneabschnitt der ARA-Wiener Neustadt insgesamt 4 temporäre MP-Vergleichsmessungen mit einem 500 µm-Probenahmenetz durchgeführt, welches während der Vergleichsbeprobungen die im Ablaufstrom enthaltenen Feststoffe über den gesamten Gerinnequerschnitt filtrierte. Parallel dazu wurden während dieser Zeitperioden auch die beiden MP-Frachten vor und nach dem eingebauten Netz mit zwei im Rahmen dieses Projektes entwickelten MP-Ablauf-Probenahmesystemen ermittelt. Das Ziel dieser Messkampagne war ein Vergleich der beiden unterschiedlichen Probenahmemethoden und der daraus resultierenden MP-Frachten.

Dafür wurden an den nachfolgenden beiden Probenahmetagen jeweils zwei temporäre Messkampagnen durchgeführt, bei welchen über einen Zeitraum von ca. 40 Minuten jeweils sowohl das Probenahmenetz im Gerinnequerschnitt eingebaut war als auch die beiden MP-Ablauf-Probenahmesysteme vor und nach dem eingebauten Probenahmenetz mit einem kontinuierlichen Teilstrom Abwasserablaufproben in die beiden 1.000 L-Edelstahlbehälter förderten:

- (1) Di 22.10.2024, 09:36–10:16
- (2) Di 22.10.2024, 12:13–12:51
- (3) Do 24.10.2024, 09:17–09:57
- (4) Do 24.10.2024, 11:09–11:48

Zusätzlich zu den oben angeführten 4 Vergleichsmessungen wurde auch noch am Do 26.09.2024 zwischen 11:29–12:15 im Rahmen eines Vorversuches eine weitere MP-Probe allerdings ausschließlich mit dem 500 µm-Probenahmenetz gewonnen und auch auf Mikroplastik untersucht.

7.2.2.2 Probenahme- und Filtrationsergebnisse der vergleichenden temporären Messkampagnen im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt (AP 2.5)

In der Tabelle 118 sind für die untersuchten Vergleichsperioden die im Ablaufbereich der ARA-Wiener Neustadt gewonnenen MP-Proben mit ihren zugewiesenen IDs und charakteristischen Informationen über die hydraulische und stoffliche Belastungssituation der Kläranlage während der 3 Tage beschrieben.

Tabelle 118 Bezeichnungen und Informationen zu den während der 5 temporären Vergleichsperioden gewonnenen MP-Proben im Rahmen des AP 2.5 im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt.

ID	AP	Wochentag und Datum	Uhrzeit Beginn	Uhrzeit Ende	Tages-klasse	$Q_{temp.}$ [m^3]	ARA Belastung [EW_{60}]	Abwasser-Temperatur [°C]
WRN-AL-40	2.5	Di 22.10.2024	09:36	10:16	TW	594	110.017	16,8
WRN-AL-41	2.5	Di 22.10.2024	09:36	10:16	TW	594	110.017	16,8
WRN-AL-42	2.5	Di 22.10.2024	09:36	10:16	TW	594	110.017	16,8
WRN-AL-43	2.5	Di 22.10.2024	12:13	12:51	TW	644	110.017	16,8
WRN-AL-44	2.5	Di 22.10.2024	12:13	12:51	TW	644	110.017	16,8
WRN-AL-45	2.5	Di 22.10.2024	12:13	12:51	TW	644	110.017	16,8
WRN-AL-46	2.5	Do 24.10.2024	09:17	09:57	TW	580	179.517	16,9
WRN-AL-47	2.5	Do 24.10.2024	09:17	09:57	TW	580	179.517	16,9
WRN-AL-48	2.5	Do 24.10.2024	09:17	09:57	TW	580	179.517	16,9
WRN-AL-49	2.5	Do 24.10.2024	11:09	11:48	TW	591	179.517	16,9
WRN-AL-50	2.5	Do 24.10.2024	11:09	11:48	TW	591	179.517	16,9
WRN-AL-51	2.5	Do 24.10.2024	11:09	11:48	TW	591	179.517	16,9
WRN-AL-54	2.5	Do 26.09.2024	11:29	12:15	?	891	?	?

In der Tabelle 119 sind die wichtigsten Kenngrößen zu den vergleichenden temporären Probenahmen im Ablaufbereich der ARA-Wiener Neustadt während der drei Untersuchungstage im Rahmen des AP 2.5 zusammengefasst.

Tabelle 119 Ergebnisse der vergleichenden temporären Probenahmen an den drei Probenahmetagen im Ablaufbereich der ARA-Wiener Neustadt im Rahmen des AP 2.5.

ID	PN-Art Kontinuierlich oder mit dem Netz	Ansaug- bzw. Expositionszeit [min]	PN-Soll-Volumen [L/d]	PN-Ist-Volumen [L/d]
WRN-AL-40	Kontinuierlich vor dem Netz	40	912	920
WRN-AL-41	Mit dem Netz	40	-	-
WRN-AL-42	Kontinuierlich nach dem Netz	40	912	920
WRN-AL-43	Kontinuierlich vor dem Netz	38	1003	1000
WRN-AL-44	Mit dem Netz	38	-	-
WRN-AL-45	Kontinuierlich nach dem Netz	38	1003	1000
WRN-AL-46	Kontinuierlich vor dem Netz	40	1008	1000
WRN-AL-47	Mit dem Netz	40	-	-
WRN-AL-48	Kontinuierlich nach dem Netz	40	1008	1000
WRN-AL-49	Kontinuierlich vor dem Netz	39	1006	1000
WRN-AL-50	Mit dem Netz	39	-	-
WRN-AL-51	Kontinuierlich nach dem Netz	39	1006	1000
WRN-AL-54	Mit dem Netz	46	-	-

In der Tabelle 120 sind die Anzahl der erforderlichen Filterwechsel für die temporären MP-Probenahmen bei Verwendung der 20 µm- und der 10 µm-Discfiltersysteme und die daraus resultierenden Trockenmassen während der drei Untersuchungstage im Ablaufbereich der ARA-Wiener Neustadt im Rahmen des AP 2.5 ersichtlich. Dabei wurden die mit dem 500 µm-Probenahmenetz gewonnenen Feststoffproben nur durch Filtrationen über ein 10 µm-Gewebesieb erzeugt, während die mit den MP-Ablauf-Probenahmesystemen gewonnen MP-Proben vor und nach dem 500 µm-Probenahmenetz wieder sequenziell zuerst mit dem 20 µm- und danach mit dem 10 µm-Discfiltersystem hergestellt wurden.

Tabelle 120 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel für die temporären MP-Probenahmen bei Verwendung der 20 µm- und der 10 µm- Discfiltersysteme und die daraus resultierenden Trockenmassen im Ablaufbereich zur ARA-Wiener Neustadt im Rahmen des AP 2.5.

ID	PN-Art	Anzahl der Filterwechsel bei 20 µm	Schlamm-Trockenmasse bei 20 µm	Anzahl der Filterwechsel bei 10 µm	Schlamm-Trockenmasse bei 10 µm
	Kont. oder mit Netz	[-]	[g]	[-]	[g]
WRN-AL-40	Kont. vor dem Netz	0	1,6646*)	1	0,1093
WRN-AL-41	Mit dem Netz	-	-	-	75,3680
WRN-AL-42	Kont. nach dem Netz	3	0,1935	1	0,1116
WRN-AL-43	Kont. vor dem Netz	0	0,4362	0	0,0591
WRN-AL-44	Mit dem Netz	-	-	-	33,6405
WRN-AL-45	Kont. nach dem Netz	1	0,4737	1	0,0760
WRN-AL-46	Kont. vor dem Netz	0	0,3518	0	0,0982
WRN-AL-47	Mit dem Netz	-	-	-	62,0305
WRN-AL-48	Kont. nach dem Netz	1	0,4645	0	0,0475
WRN-AL-49	Kont. vor dem Netz	0	0,2468	0	0,1023
WRN-AL-50	Mit dem Netz	-	-	-	40,4338
WRN-AL-51	Kont. nach dem Netz	2	0,2724	0	0,1254
WRN-AL-54	Mit dem Netz	-	-	-	43,2135

*) Vermeintlicher Ausreißer, der sehr wahrscheinlich durch das Absaugen des Sohlbereiches bei der ersten temporären Probenahme vor dem Probenahmenetz passiert ist.

Zur Beschreibung und Charakterisierung des allgemeinen Verschmutzungsgrades während der durchgeführten temporären Probenahmen im Ablaufgerinne der ARA-Wiener Neustadt wurden jeweils während der Befüllungsperioden der beiden 1.000 L-Edelstahlbehälter aus dem Förderstrom der Kreiselpumpen qualifizierte Stichproben entnommen und in diesen mittels Doppelbestimmungen die CSB- und AFS-Konzentrationen bestimmt. Die Ergebnisse dieser labortechnischen Analysen sind in der Tabelle 121 zusammengefasst.

Tabelle 121 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den mit den MP-Ablauf-Probenahmesystemen gewonnenen temporären MP-Proben im Ablaufbereich der ARA-Wiener Neustadt im Rahmen des AP 2.5.

ID	PN-Art Kont. oder mit Netz	CSB_1 [mg/L]	CSB_2 [mg/L]	CSB_{MW} [mg/L]	AFS_1 [mg/L]	AFS_2 [mg/L]	AFS_{MW} [mg/L]
WRN-AL-40	Kont. vor dem Netz	31	32	31	0,5	0,5	0,5
WRN-AL-41	Mit dem Netz	-	-	-	-	-	-
WRN-AL-42	Kont. nach dem Netz	30	29	30	0,5	0,5	0,5
WRN-AL-43	Kont. vor Netz	27	27	27	0,5	0,5	0,5
WRN-AL-44	Mit dem Netz	-	-	-	-	-	-
WRN-AL-45	Kont. nach dem Netz	22	22	22	0,5	0,5	0,5
WRN-AL-46	Kont. vor dem Netz	31	34	32	0,5	0,5	0,5
WRN-AL-47	Mit dem Netz	-	-	-	-	-	-
WRN-AL-48	Kont. nach dem Netz	26	26	26	0,5	0,5	0,5
WRN-AL-49	Kont. vor dem Netz	38	38	38	0,5	0,5	0,5
WRN-AL-50	Mit dem Netz	-	-	-	-	-	-
WRN-AL-51	Kont. nach dem Netz	34	35	34	0,5	0,5	0,5
WRN-AL-54	Mit dem Netz	-	-	-	-	-	-

Bei den in der Tabelle 121 ausgewiesenen CSB- und AFS-Konzentrationen fällt auf, dass das eingebaute Probenahmenetz im Ablaufgerinne nur eine sehr geringe Reduktion der Konzentrationswerte bewirkte, wobei die AFS-Konzentrationen vor und nach dem Netz unterhalb der Bestimmungsgrenze für AFS lagen, die in der Literatur mit 4–5 mg/L angegeben wird.

8 Ergebnisse Mikroplastik-Analytik in Zu- und Ablaufproben

8.1 Visuelle Eigenschaften der Proben

Abbildung 94 zeigt das aufgereinigte Probenmaterial je einer Zulauf- und Ablaufprobe aus Graz und Wiener Neustadt. Die dargestellten Proben entsprechen 24-h Mischproben von jeweils 1.000 Litern. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Ablaufprobe aus Wiener Neustadt wesentlich weniger abfiltrierbaren Feststoff (AFS) enthielt als die entsprechende Probe aus Graz. Dies verdeutlicht, dass die zu erwartende Feststoffmenge nicht nur vom Probenvolumen, sondern auch sehr von der Wahl der Kläranlage abhängig ist. Dies muss für zukünftige Untersuchungen berücksichtigt werden.

Abbildung 96 zeigt Proben, die über einen Zeitraum von 40 Minuten jeweils vor und nach dem Netz entnommen wurden (ebenfalls 1.000 L Probenvolumina). Vergleicht man insbesondere die beiden Proben vor dem Netz (linke Spalte) mit der Feststofffraktion aus der Netzprobe (Abbildung 95), fällt auf, dass in der Netzprobe deutlich mehr Folienanteile enthalten sind, obwohl unmittelbar dasselbe Medium beprobt wurde. Es bleibt offen, ob dies ausschließlich auf die wesentlich höhere Durchflussmenge beim Netzbetrieb zurückzuführen ist – diese lag rund 600-fach über jener der Pumpenbeprobung – oder ob dies ein Hinweis darauf ist, dass durch die Pumpenbeprobung vor dem Netz nicht dieselben Feststofffraktionen erfasst wurden wie mit dem Netz.

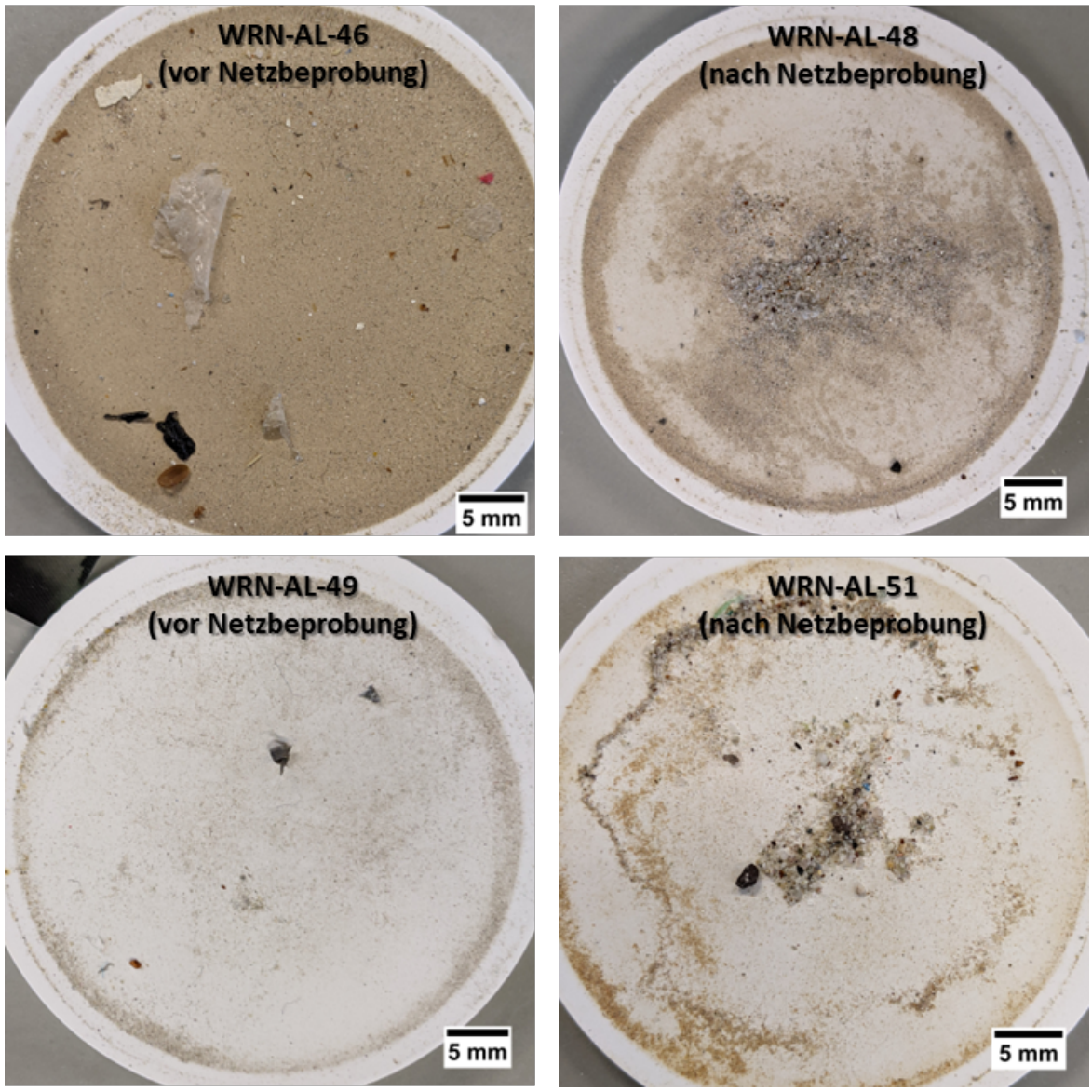
Abbildung 94 Aufnahmen des aufgereinigten Probenmaterials der Proben G-ZL-11 (links oben), G-AL-22 (rechts oben), WRN-ZL-39 (links unten) und WRN-AL-38 (rechts unten).



Abbildung 95 Größenfraktion > 25 µm bis 5 mm der Probe WRN-AL-50 (Netzbeprobung).



Abbildung 96 40 Minuten Beprobungen (Kreiselpumpe) der jeweils unmittelbar vor und nach dem Netz durchgeführten Vergleichsbeprobungen.



8.2 Beschreibung der Analyseverfahren

8.2.1 TED-GC-MS

Eine Analyse mittels TED-GC-MS startet mit der Pyrolyse der Probe. Diese findet in einer TGA (thermogravimetric analyser TGA2, Mettler Toledo, Gießen, Deutschland) statt. Die Probe befindet sich dabei in Aluminiumoxid-Tiegeln, und wird in einer Zeitspanne von 60 Minuten unter Stickstoff-Atmosphäre von 25°C auf 600 °C aufgeheizt. Die dabei entstehenden thermischen Zersetzungsprodukte werden mit dem Stickstoffstrom aus der TGA in die thermal desorption unit (TDU 2, 2, Gerstel, Mülheim, Germany) geleitet. Dort findet die Adsorption der Zersetzungsprodukte an ein Festphasen-Adsorbens (SorbStar®, ENVEA, Poissy, Frankreich) statt. Diese befinden sich in GERSTEL Desorptionsrohren (für GERSTEL-TD 3.5+ with fritted glass, Gerstel, Mülheim, Germany). Die Desorptionsrohre werden nach abgeschlossener Pyrolyse und Adsorption zu einer mit einem GC-MS-System gekoppelten TDU transportiert. Dort werden die adsorbierten Zersetzungsprodukte thermisch desorbiert (200°C). Danach erfolgt eine Cryofokussierung in einem cooled injection system (CIS4, Gerstel, Mülheim, Germany), in dem die Probe von -100 °C auf 270 °C aufgeheizt und in das GC/MS-System eingebracht wird. (HP-5ms column, Agilent, Santa Clara, United States; single-quadrupole mass spectrometer, 5977B, Agilent, Santa Clara, United States)

8.2.2 EA-OEM

Die EA-OEM-Methode beruht auf der Bestimmung des Kunststoffanteils in getrockneten Umweltproben durch Analyse ihrer Elementarzusammensetzung (Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Stickstoff (N), Schwefel (S) und Sauerstoff (O)). Ein entscheidender Aspekt ist dabei, dass sich die CHNSO-Zusammensetzung der biogenen Matrix signifikant von jener typischer Kunststoffpartikel unterscheidet: Kunststoffe weisen in der Regel einen deutlich höheren Kohlenstoff- und einen niedrigeren Sauerstoffgehalt auf als biogenes Material.

Für die Analyse werden die getrockneten Proben auf eine Korngröße von < 0,5 mm zerkleinert, um daraus repräsentative Teilmengen für die Einzelmessungen zu entnehmen. Im Rahmen dieses Projekts wurde sowohl der Gesamtgehalt an C, H, N, S aus der Originalprobe als auch der anorganische Anteil dieser Elemente aus der Probeasche bestimmt. Aus diesen Werten lassen sich die wasser- und aschefreien organischen Gesamtgehalte (TOx-Werte) berechnen, die als Grundlage für die Stoffbilanzierung dienen.

Die TOx-Werte der biogenen Matrix wurden auf Basis empirischer Daten aus früheren Beprobungen hergeleitet, da biogene Materialien in der Regel eine sehr ähnliche Elementzusammensetzung aufweisen. Die TOx-Werte der Kunststofffraktion wurden durch Bilanzierung der im Ablauf der Kläranlage zu erwartenden Polymere bestimmt. Anschließend wird mit den vorhandenen Daten ein überbestimmtes Gleichungssystem aufgestellt und mittels nicht-linearer Ausgleichsrechnung gelöst, um die Anteile an MP zu berechnen. Nähere Details zu der Methode befinden sich in Mallow et al. (2020) und Spacek et al. (2020).

8.3 Vergleich der Analyseverfahren

8.3.1 Einleitung

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse zu den Mikroplastikuntersuchungen der beiden, im Rahmen dieses Projekts eingesetzten, Methoden TED-GC-MS und EA-OEM miteinander verglichen. Mittels TED-GC-MS wurden die Polymere Naturkautschuk (NK), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) analysiert. Die Polymere SBR und NK sind Gummiarten und stellen typischerweise Hauptbestandteile von Reifen dar. Daher können sie zur Analyse von Reifenabrieb in Zulauf- und Ablaufproben herangezogen werden. Die genaue Zusammensetzung von Reifenmaterial unterschiedet sich jedoch stark zwischen Herstellern und ist auch je nach Verwendungsart des Reifens unterschiedlich. Mit der EA-OEM wird ein Summenparameter für Mikroplastik bestimmt, der auf der makroelementaren Zusammensetzung der in der MP-Fraktion erwarteten Polymerverteilung basiert (siehe Kapitel 8.2.2). Diese methodischen Unterschiede zwischen den Analyseverfahren müssen bei der Interpretation der folgenden Ergebnisse berücksichtigt werden. Beide Methoden umfassen jedoch, laut aktuellem Stand der wissenschaftlichen Literatur, einen sehr hohen Anteil (massenbasiert) der in der MP-Fraktion von kommunalen Kläranlagen zu erwartenden Polymertypen, wodurch eine Grundlage für den Methodenvergleich gegeben ist.

Die für den Methodenvergleich vorgesehenen Zulauf- und Ablaufproben wurden nach Möglichkeit vollständig mit beiden im Projekt eingesetzten Analyseverfahren untersucht. In einzelnen Fällen war jedoch die nach der Probenaufbereitung verbleibende Trockenmasse für eine Analyse mit beiden Verfahren zu gering. Diese Proben wurden in weiterer Folge ausschließlich mittels TED-GC-MS analysiert. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die

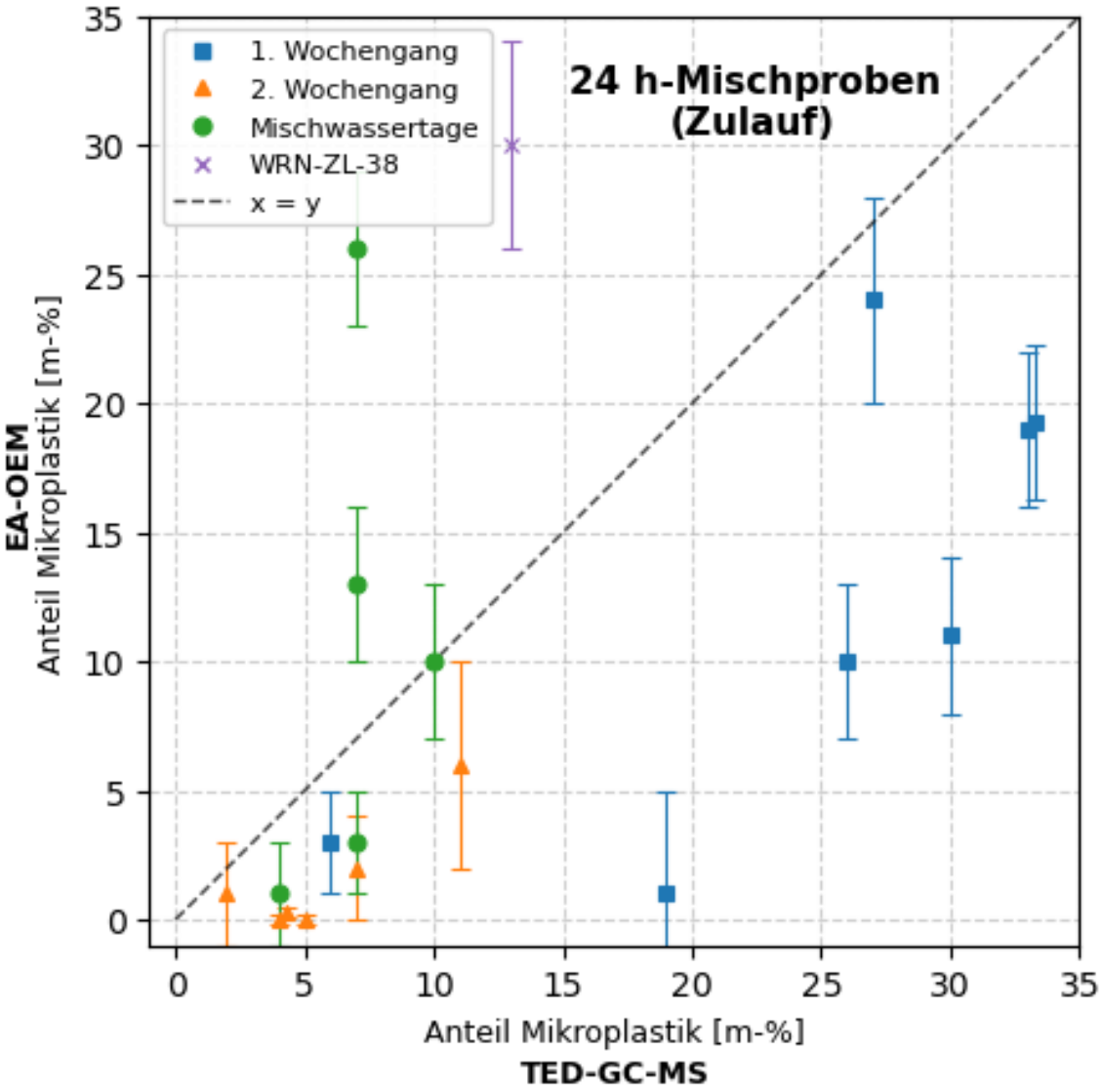
ermittelten Anteile an MP in chemisch und physikalisch aufbereiteten Proben. Sie ermöglichen einen direkten Vergleich der Verfahren TED-GC-MS und EA-OEM. Die damit berechenbaren MP-Konzentrationen werden anschließend in Kapitel 8.4 dargestellt

8.3.2 24 h-Mischproben - Zulauf

Insgesamt konnten 19 Zulaufproben direkt miteinander verglichen werden. Tabelle 122 listet die ermittelten TED-GC-MS-Ergebnisse auf. Die hauptsächlich nachgewiesenen Polymere sind SBR, PE und PET. NK, PP und PS liegen dagegen häufig bereits unterhalb der Nachweisgrenze (NG) oder Bestimmungsgrenze (BG). Für einen Methodenvergleich mit der EA-OEM wurden die einzelnen Polymergehalte aufsummiert (siehe Tabelle 123). Polymere unterhalb der NG wurden für die Berechnung des Summenparameters nicht berücksichtigt. Polymertypen unterhalb der BG wurden mit einer Konzentration von der halben BG abgeschätzt. Diese Vorgehensweise stellt eine grobe Näherung dar, der Beitrag dieser Polymere zum Gesamtgehalt an Mikroplastik ist jedoch vergleichsweise gering und hat daher nur einen begrenzten Einfluss auf das Gesamtergebnis.

Abbildung 97 stellt die Messergebnisse beider Verfahren gegenüber. Datenpunkte unterhalb der gestrichelten Diagonale markieren Proben, bei denen die EA-OEM geringere MP-Gehalte detektierte als die TED-GC-MS. Messpunkte oberhalb der Diagonale entsprechen hingegen Fällen, in denen die EA-OEM höhere Werte lieferte. Insgesamt konnten mit der EA-OEM, die aufgrund ihres Analyseprinzips weniger sensitiv ist als massenspektrometrisch-basierte Methoden, vier Proben aufgrund zu geringer MP-Gehalte nicht ausgewertet werden. Vergleicht man die übrigen Proben, so zeigt sich im unteren Messbereich ein tendenziell vergleichbares Ergebnis der beiden Messverfahren. Mit zunehmendem MP-Anteil nimmt jedoch die Streuung zwischen den beiden Methoden zu. Insgesamt zeigt sich, dass die EA-OEM tendenziell niedrigere MP-Gehalte im Vergleich zur TED-GC-MS lieferte. Die Proben G-ZL-21 und WRN-ZL-38 sind als Ausreißer zu betrachten. In beiden Fällen liegt der mittels EA-OEM gemessene MP-Anteil deutlich über den Werten der TED-GC-MS. Wie in Kapitel 8.8 diskutiert, ist dies vermutlich auf nicht entfernte Matrixbestandteile zurückzuführen, die von der EA-OEM fälschlicherweise als Mikroplastik detektiert wurden. Es handelt sich dabei vermutlich um mineralölbasierte Fraktionen, die durch die angewandten Aufreinigungsschritte nicht entfernt werden konnten.

Abbildung 97 Gegenüberstellung der durch TED-GC-MS und EA-OEM bestimmten Gesamt-Mikroplastikmassen, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse. Messpunkte entlang der gestrichelten Diagonale deuten auf übereinstimmende Ergebnisse beider Methoden hin. Punkte unterhalb bzw. oberhalb markieren Proben, bei denen die EA-OEM geringere bzw. höhere Konzentrationen als die TED-GC-MS ermittelte.



Vergleicht man bei den resultierenden MP-Summen der Tabelle 123 die vorwiegend bei TW-Verhältnissen beprobten beiden Wochengänge auf der ARA-Graz mit den 5 Mischwassertagen fallen keine signifikanten Unterschiede bei den MP-Summen auf.

Tabelle 122 Ergebnisse (Zulaufproben) der TED-GC-MS-Analyse für die Polymere: Naturkautschuk (NK), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR). n. n. kennzeichnet Polymergehalte unterhalb der Nachweisgrenze. Die ermittelten Polymermassen beziehen sich jeweils auf die aufbereitete Probe.

24 h-Mischproben (Zulauf) Probenbezeichnung	NK µg/mg	PE µg/mg	PET µg/mg	PP µg/mg	PS µg/mg	SBR µg/mg
1. Wochengang						
G-ZL-08	n. n.	29	n. n.	< 4,1	< 4,8	240
G-ZL-09	n. n.	37	19	< 4,1	n. n.	240
G-ZL-10	n. n.	24	19	< 4,1	< 4,8	140
G-ZL-11	n. n.	33	13	< 4,1	< 4,8	280
G-ZL-12	n. n.	49	17	< 4,1	< 4,8	260
G-ZL-13	n. n.	n. n.	n. a.	n. n.	n. n.	62
G-ZL-14	n. n.	28	13	< 4,1	< 4,8	210
2. Wochengang						
G-ZL-15	n. n.	4,4	n. n.	n. n.	n. n.	62
G-ZL-16	n. n.	3,5	n. n.	< 2,9	< 3,5	47
G-ZL-17	n. n.	3,0	n. n.	n. n.	< 3,5	19
G-ZL-18	n. n.	4,9	n. n.	n. n.	n. n.	36
G-ZL-19	n. n.	3,0	n. n.	n. n.	n. n.	35
G-ZL-20	n. n.	21	< 7,7	4,8	< 3,6	82
Mischwassertage						
G-ZL-21	n. n.	8,7	n. n.	< 2,9	n. n.	62
G-ZL-22	n. n.	6,8	19	n. n.	< 3,5	41
G-ZL-23	n. n.	12	11	n. n.	< 3,5	46
G-ZL-24	n. n.	3,1	9,0	n. n.	n. n.	25
G-ZL-25	n. n.	8,2	17	< 2,9	n. n.	73
ARA-WRN						
WRN-ZL-38	n. n.	13	n. n.	< 2,9	< 3,4	110

Tabelle 123 Aufsummierte Polymermassen der TED-GC-MS-Analysen sowie Ergebnisse des Mikroplastik-Summenparameters mittels EA-OEM, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse (Zulaufproben). n. n. kennzeichnet MP-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze.

24 h-Mischproben (Zulauf) Probenbezeichnung	Summe MP TED-GC-MS m-%	Summe MP EA-OEM m-%	Messunsicherheit EA-OEM m-%
1. Wochengang in Graz			
G-ZL-08	27	24	± 4,3
G-ZL-09	30	11	± 2,7
G-ZL-10	19	1,4	± 3,6
G-ZL-11	33	19	± 2,7
G-ZL-12	33	19	± 2,8
G-ZL-13	6,2	3,5	± 2,4
G-ZL-14	26	11	± 2,6
2. Wochengang in Graz			
G-ZL-15	6,6	2,5	± 2,3
G-ZL-16	5,4	n. n.	n. n.
G-ZL-17	2,4	0,9	± 2,3
G-ZL-18	4,1	n. n.	n. n.
G-ZL-19	3,8	n. n.	n. n.
G-ZL-20	11	5,8	± 3,8
Mischwassertage in Graz			
G-ZL-21	7,2	26	± 2,9
G-ZL-22	6,9	13	± 2,6
G-ZL-23	7,1	3,3	± 2,4
G-ZL-24	3,7	1,3	± 2,2
G-ZL-25	10	10	± 2,6
ARA-Wiener Neustadt			
WRN-ZL-38	13	30	± 4,3

8.3.3 24-h Mischproben - Ablauf

Insgesamt konnten 16 Ablaufproben direkt miteinander verglichen werden (Abbildung 98). Die detaillierten Ergebnisse sind in Tabelle 124 und Tabelle 125 zusammengefasst. Für die Berechnung des TED-GC-MS-Summenparameters (Tabelle 125) wurden Polymere unterhalb der NG nicht berücksichtigt. Polymertypen unterhalb der BG wurden, analog zu den Zulaufproben, mit einer Konzentration von der halben BG abgeschätzt. Weitere fünf Proben, die im Rahmen der Netzbeprobung entnommen wurden, werden in Kapitel 8.3.4 separat dargestellt und verglichen.

Im Gegensatz zu den Zulaufproben zeigen sich die analysierten MP-Gehalte, bezogen auf die aufgereinigten Ablaufproben, deutlich einheitlicher und liegen bei der TED-GC-MS zwischen 1 % und 7 %. Bei der EA-OEM lag der höchste gemessene MP-Anteil bei knapp 9 %. Insgesamt waren fünf Proben aufgrund zu geringer MP-Anteile mit der EA-OEM nicht auswertbar. Wie bereits bei den Zulaufproben lässt sich auch hier der Trend beobachten, dass die EA-OEM tendenziell geringere Werte liefert. Die Abweichungen zwischen beiden Methoden sind jedoch insgesamt weniger stark ausgeprägt als bei den untersuchten Zulaufproben.

Vergleicht man bei den resultierenden MP-Summen der Tabelle 125 die vorwiegend bei TW-Verhältnissen beprobten beiden Wochengänge auf der ARA-Graz mit den 5 Mischwassertagen fallen keine signifikanten Unterschiede bei den MP-Summen auf.

Abbildung 98 Gegenüberstellung der durch TED-GC-MS und EA-OEM bestimmten Gesamt-Mikroplastikmassen in den Ablaufproben, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse. Messpunkte entlang der gestrichelten Diagonale deuten auf übereinstimmende Ergebnisse beider Methoden hin. Punkte unterhalb bzw. oberhalb markieren Proben, bei denen die EA-OEM geringere bzw. höhere Konzentrationen als die TED-GC-MS ermittelte.

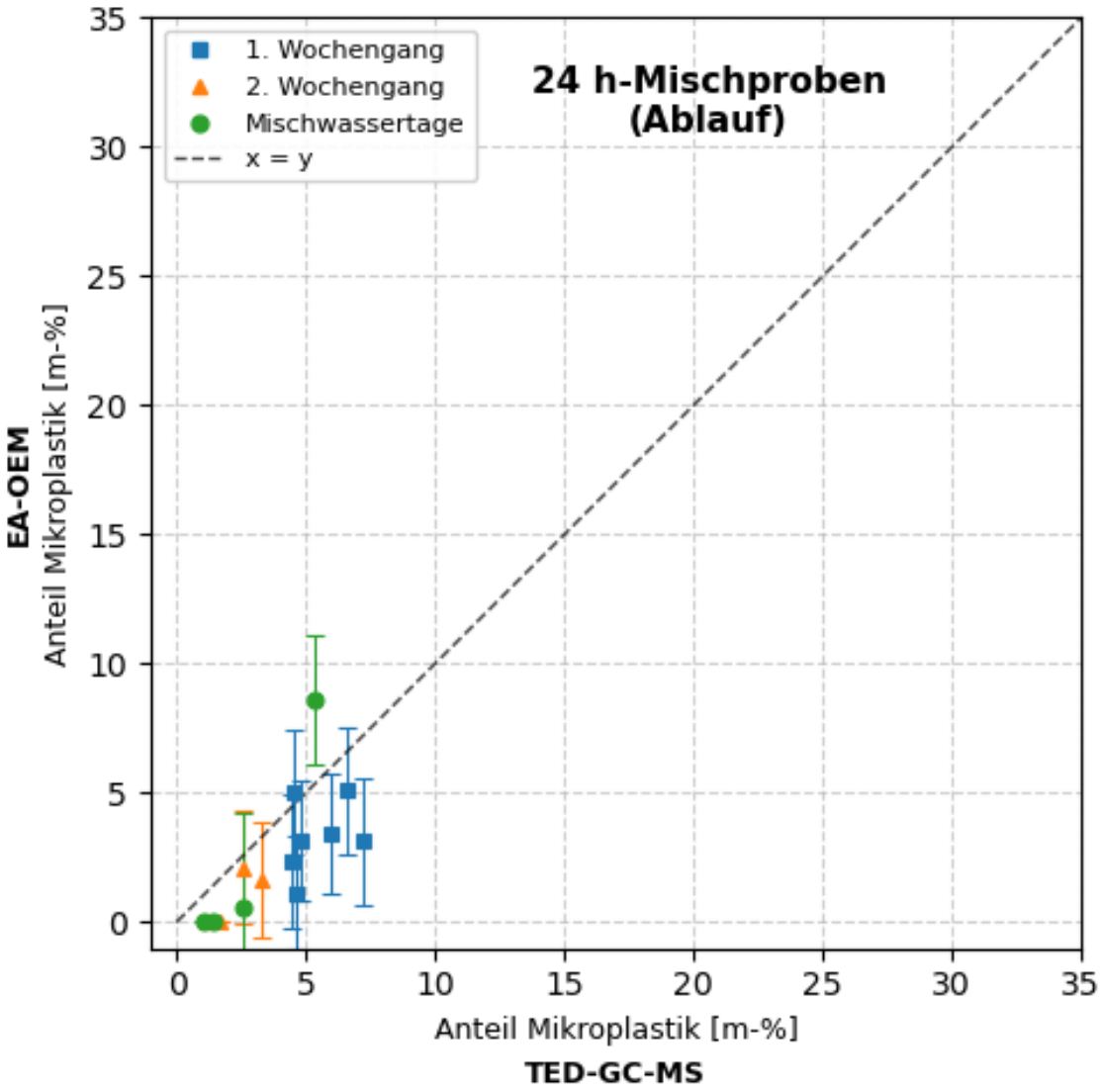


Tabelle 124 Ergebnisse (Ablaufproben) der TED-GC-MS-Analyse für die Polymere: Naturkautschuk (NK), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR). n. n. kennzeichnet Polymergehalte unterhalb der Nachweisgrenze. Die ermittelten Polymermassen beziehen sich jeweils auf die aufbereitete Probe.

24 h-Mischproben (Ablauf)	NK	PE	PET	PP	PS	SBR
Probenbezeichnung	µg/mg	µg/mg	µg/mg	µg/mg	µg/mg	µg/mg
1. Wochengang						
G-AL-08	n. n.	7,0	7,9	< 3,5	n. n.	31
G-AL-09	n. n.	5,8	7,3	< 3,5	n. n.	57
G-AL-10	n. n.	5,5	8,6	< 3,5	5,3	45
G-AL-11	n. n.	5,3	n. n.	< 3,5	n. n.	37
G-AL-12	n. n.	6,0	n. n.	< 3,5	< 4,1	36
G-AL-13	n. n.	6,5	n. n.	< 3,5	n. n.	51
G-AL-14	n. n.	4,3	n. n.	< 3,5	< 4,1	38
2. Wochengang						
G-AL-15	n. n.	1,9	n. n.	n. n.	< 4,0	22
G-AL-16	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	< 4,0	15
G-AL-17	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	< 4,0	9,6
G-AL-18	n. n.	3,1	n. n.	n. n.	n. n.	30
G-AL-20	n. n.	n. n.	n. n.	n. n.	< 4,0	8,2
Mischwassertage						
G-AL-21	n. n.	n. n.	n. a.	n. n.	n. n.	14
G-AL-22	n. n.	< 1,8	n. n.	n. n.	n. n.	25
G-AL-23	n. n.	3,8	n. n.	4,8	< 4,0	43
G-AL-24	n. n.	< 1,8	n. n.	n. n.	n. n.	21

Tabelle 125 Aufsummierte Polymermassen der TED-GC-MS-Analysen sowie Ergebnisse des Mikroplastik-Summenparameters mittels EA-OEM, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse (Ablaufproben). n. n. kennzeichnet MP-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze.

24 h-Mischproben (Ablauf) Probenbezeichnung	Summe MP TED-GC-MS m-%	Summe MP EA-OEM m-%	Messunsicherheit EA-OEM m-%
1. Wochengang in Graz			
G-AL-08	4,8	3,2	± 2,4
G-AL-09	7,2	3,1	± 2,4
G-AL-10	6,6	5,1	± 2,4
G-AL-11	4,4	2,4	± 2,6
G-AL-12	4,6	5,1	± 2,4
G-AL-13	5,9	3,4	± 2,3
G-AL-14	4,6	1,1	± 2,2
2. Wochengang in Graz			
G-AL-15	2,6	2,1	± 2,2
G-AL-16	1,7	n. n.	n. n.
G-AL-17	1,2	n. n.	n. n.
G-AL-18	3,3	1,6	± 2,2
G-AL-20	1,0	n. n.	n. n.
Mischwassertage in Graz			
G-AL-21	1,4	n. n.	n. n.
G-AL-22	2,6	0,6	± 3,6
G-AL-23	5,4	8,6	± 2,5
G-AL-24	2,2	0,8	± 2,1

8.3.4 Netzbeprobung

Wie in Kapitel 8.1 beschrieben, unterscheiden sich die durch das 500 µm-Netz erfassten Partikel hinsichtlich ihrer Beschaffenheit, Form und Größe grundlegend von der Feststoffzusammensetzung, die mittels Kreiselpumpe beprobt wurde. Auffällig ist insbesondere, dass ein hoher Anteil an Folien vorhanden ist und dadurch den MP-Gehalt bezogen auf die aufgereinigten Proben beträchtlich erhöht. Im Gegensatz zu den zuvor betrachteten Zulauf- und Ablaufproben, weist die EA-OEM in allen fünf untersuchten Proben höhere MP-Gehalte auf als die TED-GC-MS (Abbildung 99). Ein möglicher Grund könnte sein, dass ein Teil der Kunststofffraktion nicht den von der TED-GC-MS erfassten Polymeren (NK, PE, PET, PP, PS, SBR) entspricht, jedoch im Summenparameter der EA-OEM berücksichtigt wird. Im Vorgängerprojekt TEMPEST (Clara et al., 2020) zeigte sich allerdings, dass ein Großteil der mittels ATR-FTIR identifizierten Fragmente auf PE basierte. Standort und Durchführung der Probenahme waren hierbei identisch. Entsprechende ATR-FTIR-Analysen wurden im Rahmen der aktuellen Arbeiten jedoch nicht durchgeführt.

Zusätzlich zu den MP-Fraktionen wurde bei der Probe WRN-AL-44+47 auch die Größenfraktion > 5 mm mit beiden Analyseverfahren untersucht. Der in dieser Probe enthaltene Kunststoff wird nicht der Mikroplastikfraktion zugeordnet, lässt sich jedoch analog zu den übrigen Proben analysieren und ebenfalls für den Methodenvergleich heranziehen.

Die detaillierten Ergebnisse sind in Tabelle 126 und Tabelle 127 zusammengefasst. Neben dem hohen PE- und PP-Anteil, der durch den ausgeprägten Folienanteil in den Proben erklärbar ist, wird bei der TED-GC-MS ebenfalls ein vergleichsweise hoher Anteil an SBR detektiert. Bei SBR handelt es sich um einen synthetischen Gummi, der nicht nur in Reifen, sondern auch in anderen Materialien, wie beispielsweise Schläuchen und Bodenbelägen, Anwendung findet. Ein Vorhandensein solcher Materialien ist ein mögliches Szenario, das die SBR-Gehalte dieser Proben erklärt und darauf hindeuten würde, dass SBR nicht zwangsläufig nur in Form von Reifenabrieb in den analysierten Proben vorliegt. Wie in Abbildung 100 dargestellt, bestehen die beprobten Partikel der Siebfraktion > 5 mm (WRN-AL-44+47) fast vollständig aus Folien. Wenige schwarze Partikel sind zu sehen, welche möglicherweise SBR-basiert sind, jedoch kann aufgrund der visuellen Begutachtung und unter Berücksichtigung der Partikelgröße (> 5 mm) Reifenabrieb ausgeschlossen werden.

Abbildung 99 Vergleich der durch TED-GC-MS und EA-OEM bestimmten Gesamt-Mikroplastikmassen in den Ablaufproben, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse.

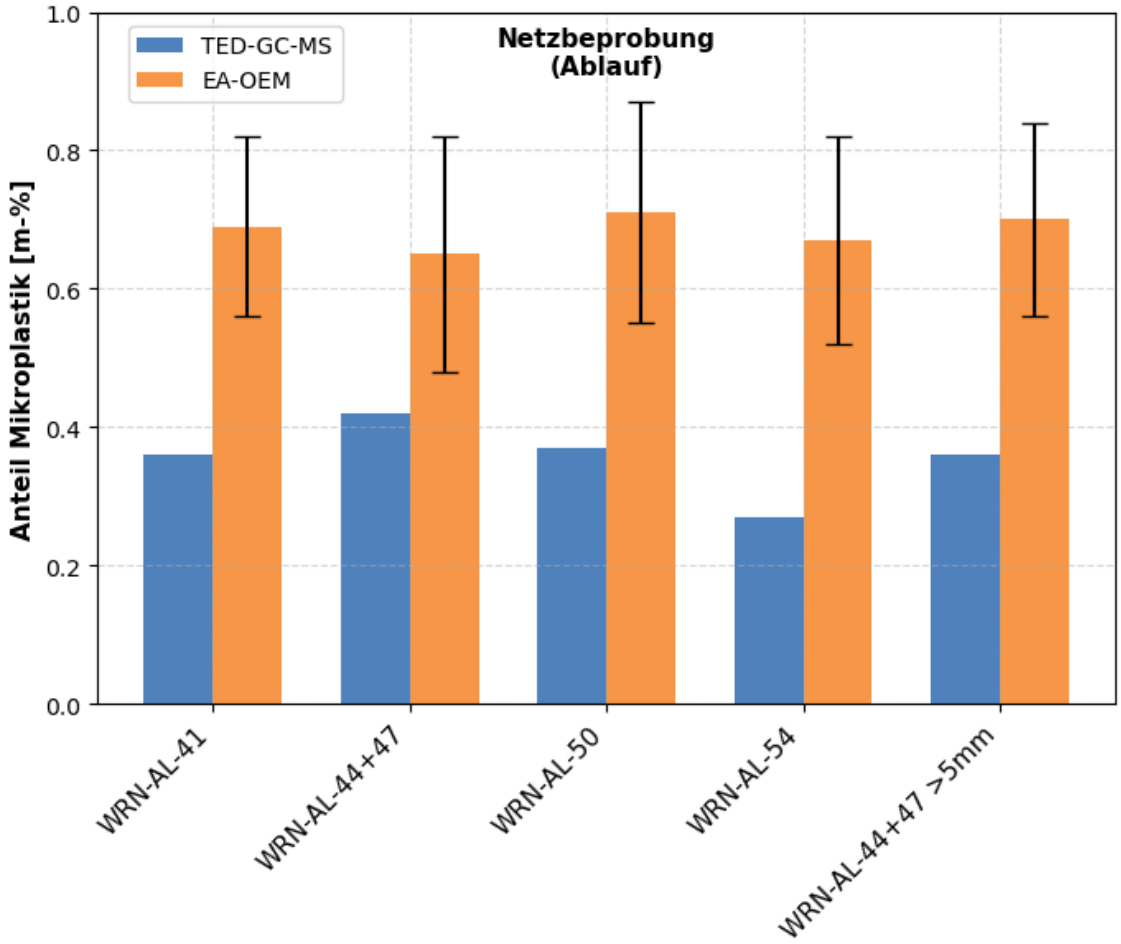


Tabelle 126 Ergebnisse (Netzbeprobung) der TED-GC-MS-Analyse für die Polymere: Naturkautschuk (NK), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR). n. n. kennzeichnet Polymergehalte unterhalb der Nachweisgrenze. Die ermittelten Polymermassen beziehen sich jeweils auf die aufbereitete Probe.

Probenbezeichnung (Netzbeprobung im Ablauf)	NK µg/mg	PE µg/mg	PET µg/mg	PP µg/mg	PS µg/mg	SBR µg/mg
WRN-AL-41	n. n.	170	n. n.	58	< 19	120
WRN-AL-44+47	n. n.	230	n. n.	71	36	84
WRN-AL-50	n. n.	180	n. n.	93	19	75
WRN-AL-54	n. n.	100	n. n.	98	< 15	62
WRN-44+47 > 5mm	n. n.	170	n. n.	96	48	48

Tabelle 127 Aufsummierte Polymergehalte der TED-GC-MS-Analysen sowie Ergebnisse des Mikroplastik-Summenparameters mittels EA-OEM, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse (Netzbeprobung). n. n. kennzeichnet MP-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze.

Probenbezeichnung (Netzbeprobung im Ablauf)	Summe MP TED-GC-MS m-%	Summe MP EA-OEM m-%	Messunsicherheit EA-OEM m-%
WRN-AL-41	36	69	± 13
WRN-AL-44+47	42	65	± 17
WRN-AL-50	37	71	± 16
WRN-AL-54	27	67	± 15
WRN-AL-44+47 >5mm	36	70	± 14

Abbildung 100 Vollständige visuelle Erfassung der Siebfraktion > 5 mm der Probe WRN-AL-44+47.



8.4 Ermittelte Mikroplastik-Konzentrationen

8.4.1 24 h-Mischproben

Im Zuge der MP-Untersuchungen am Standort ARA-Graz wurden zwei Hauptmesskampagnen mit sieben bzw. acht aufeinanderfolgenden Probenahmetagen durchgeführt. Jeder Tag repräsentiert eine volumenproportional im Zulauf und Ablauf parallel gezogene 24 h-Mischprobe. Weiters wurde an vier Tagen jeweils ein explizites Mischwasserereignis beprobt. Der erste Tag dieses MW-Ereignisses entspricht dabei gleichzeitig dem achten Tag der zweiten Messkampagne. Am Standort ARA-Wiener Neustadt wurden analog zur ARA-Graz zwei weitere Zulauf- und Ablauftagesbeprobungen durchgeführt, um den bis dahin entwickelten Stand der angewandten Methoden auf einer alternativen Anlage zu erproben.

Die 24 h-Mischproben wurden nach erfolgter Probenaufbereitung homogenisiert und für den Methodenvergleich mit TED-GC-MS und EA-OEM aufgeteilt. Proben, bei denen nach der Aufbereitung nur ausreichend Material für ein Analyseverfahren zur Verfügung stand, wurden mittels TED-GC-MS untersucht. Bei den Zulaufproben betraf dies eine Probe, bei den Ablaufproben vier Proben.

In der Tabelle 128 und in der Tabelle 129 sind die MP-Konzentrationen aus den beiden unterschiedlichen MP-Bestimmungsmethoden vergleichend für die untersuchten 24 h-Zulauf- und 24 h-Ablauf-Tagesmischproben zahlenmäßig gegenübergestellt.

Tabelle 128 Vergleich der MP-Konzentrationen in den 24 h-Zulauf-Tagesmischproben.

24 h-Tagesmischproben (Zulauf) Probenbezeichnung	Konzentration Mikroplastik TED-GC-MS µg/L	Konzentration Mikroplastik EA-OEM µg/L	Messunsicherheit EA-OEM µg/L
1. Wochengang in Graz			
G-ZL-08	760	650	120
G-ZL-09	970	360	90
G-ZL-10	860	62	170
G-ZL-11	1400	830	120
G-ZL-12	950	560	81
G-ZL-13	640	360	240
G-ZL-14	990	410	99
2. Wochengang in Graz			
G-ZL-15	380	140	130
G-ZL-16	140	n. n.	n. n.
G-ZL-17	86	33	81
G-ZL-18	51	n. n.	n. n.
G-ZL-19	68	n. n.	n. n.
G-ZL-20	210	110	72
Mischwassertage in Graz			
G-ZL-21	680	2400	270
G-ZL-22	290	540	110

24 h-Tagesmischproben (Zulauf) Probenbezeichnung	Konzentration Mikroplastik TED-GC-MS µg/L	Konzentration Mikroplastik EA-OEM µg/L	Messunsicherheit EA-OEM µg/L
G-ZL-23	220	100	74
G-ZL-24	140	51	84
G-ZL-25	250	260	65
ARA-Wiener Neustadt			
WRN-ZL-38	410	970	140
WRN-ZL-39	53	-	-

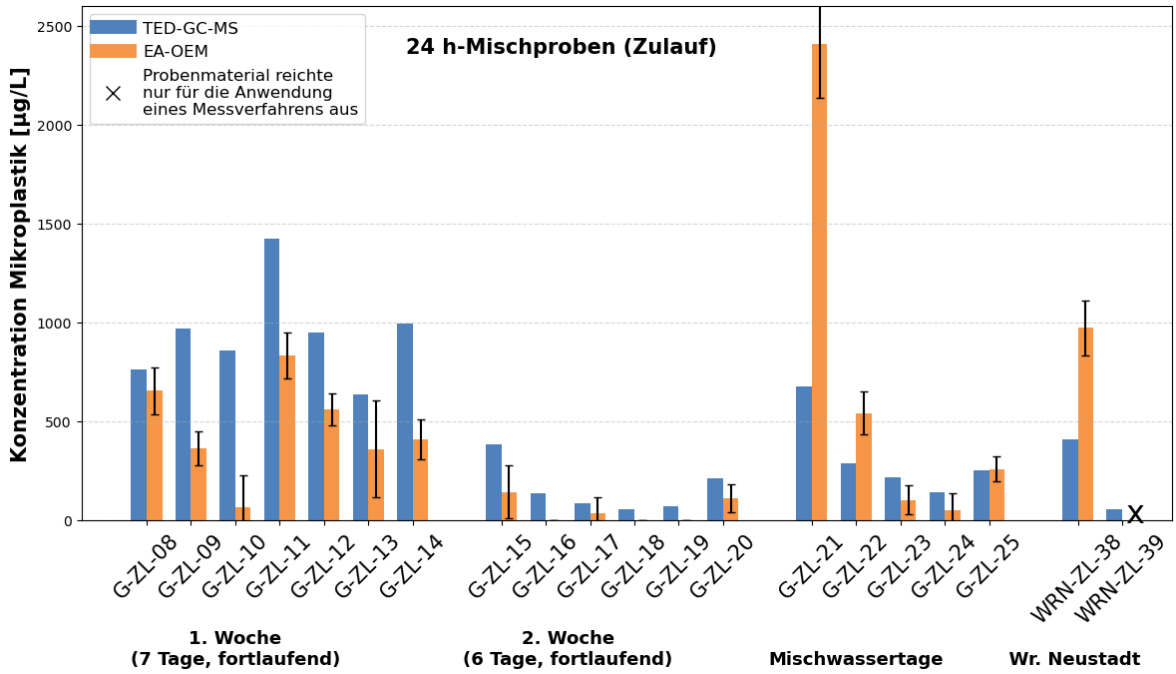
Tabelle 129 Vergleich der MP-Konzentrationen in den 24 h-Ablauf-Tagesmischproben

24 h-Tagesmischproben (Ablauf) Probenbezeichnung	Konzentration Mikroplastik TED-GC-MS µg/L	Konzentration Mikroplastik EA-OEM µg/L	Messunsicherheit EA-OEM µg/L
1. Wochengang in Graz			
G-AL-08	8,0	5,3	3,9
G-AL-09	7,9	3,4	2,7
G-AL-10	7,3	5,6	2,7
G-AL-11	9,7	5,2	5,7
G-AL-12	5,5	6,1	2,9
G-AL-13	13	7,5	5,1
G-AL-14	8,3	2,0	3,9
2. Wochengang in Graz			
G-AL-15	9,4	7,7	8,0
G-AL-16	3,0	n. n.	n. n.
G-AL-17	2,5	n. n.	n. n.
G-AL-18	6,0	2,9	4,0
G-AL-19	2,8	-	-
G-AL-20	4,1	n. n.	n. n.
Mischwassertage in Graz			

24 h-Tagesmischproben (Ablauf) Probenbezeichnung	Konzentration Mikroplastik TED-GC-MS µg/L	Konzentration Mikroplastik EA-OEM µg/L	Messunsicherheit EA-OEM µg/L
G-AL-21	1,2	n. n.	n. n.
G-AL-22	3,4	0,8	4,8
G-AL-23	4,4	7,1	2,1
G-AL-24	4,5	1,7	4,3
G-AL-25	0,5	-	-
ARA-Wiener Neustadt			
WRN-AL-38	1,7	-	-
WRN-AL-39	2,0	-	-

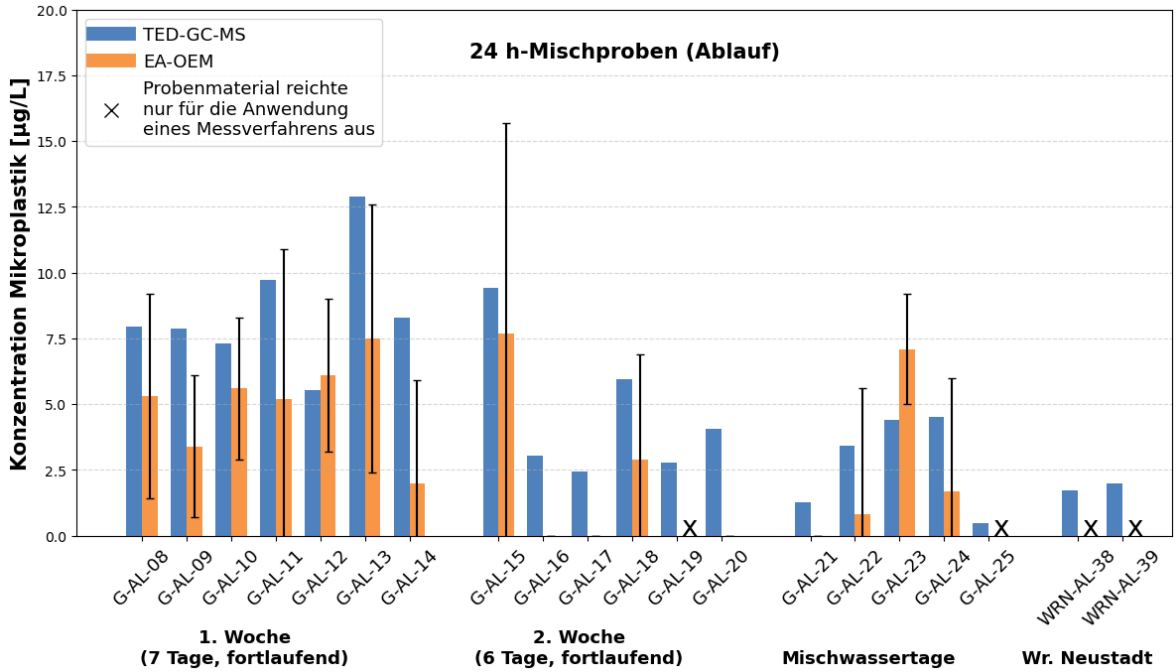
Abbildung 101 und Abbildung 102 zeigen die ermittelten MP-Konzentrationen in den Zulauf- bzw. Ablaufproben in grafischer Form. Wie bereits in Kapitel 8.3 diskutiert, treten zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den beiden eingesetzten Analysemethoden auf. Die, verglichen zur TED-GC-MS, erhöhten MP-Gehalte bei der EA-OEM in den Proben G-ZL-21 und WRN-ZL-39 sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auf nicht entfernte Mineralölrückstände in den Proben zurückzuführen. Bei drei Proben im Zulauf (G-ZL-16, G-ZL-18, G-ZL-19) und vier Proben im Ablauf (G-AL-16, G-AL-17, G-AL-20, G-AL-21), war der Anteil an MP in der aufgereinigten Probe zu gering, um von der EA-OEM erfasst zu werden.

Abbildung 101 Ermittelte MP-Konzentrationen in den 24 h-Mischproben der durchgeführten Messkampagnen (Zulauf).



Zum aktuellen Entwicklungsstand kann noch nicht abschließend geklärt werden, ob die insbesondere im Zulauf zwischen der ersten und zweiten Messkampagne gemessenen Konzentrations-Schwankungen tatsächlich auf Variationen der MP-Frachten in der Kläranlage zurückzuführen sind. Möglich ist auch, dass diese auf Unsicherheiten im Probenahmeprozess, die im Projektverlauf weiterentwickelte Probenaufbereitung oder auf analytische Messunsicherheiten zurückgehen.

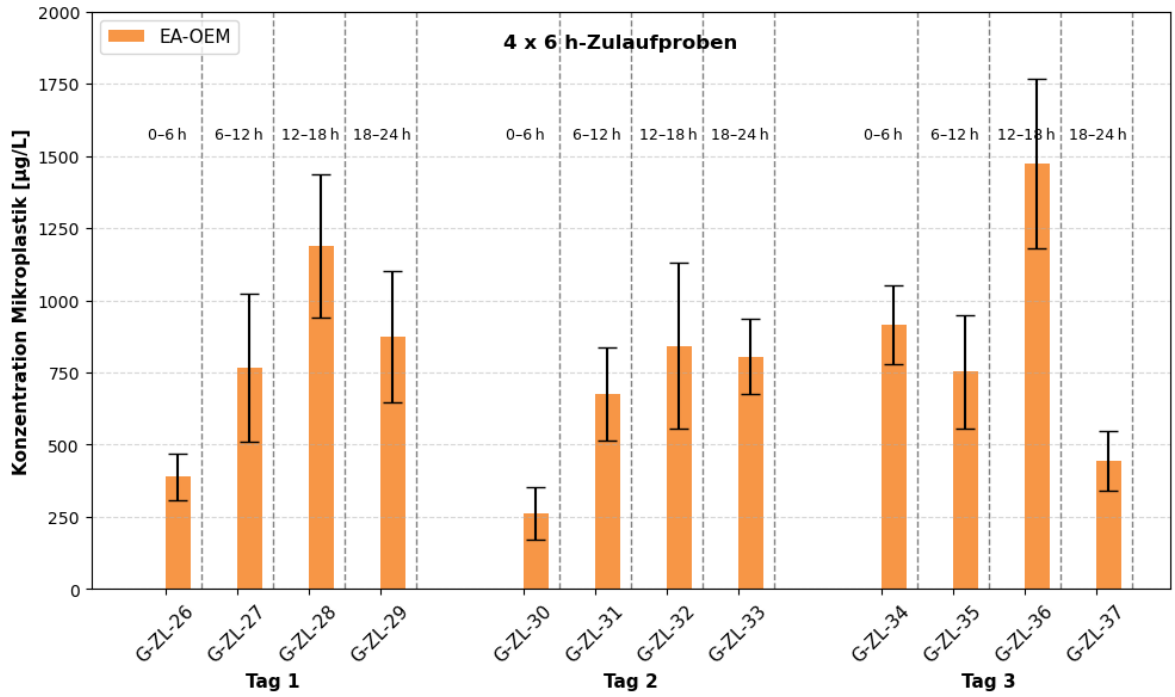
Abbildung 102 Ermittelte MP-Konzentrationen in den 24 h-Mischproben der durchgeführten Messkampagnen (Ablauf).



8.4.2 4 x 6 h-Tagesproben

Im Anschluss an die 24-h-Beprobungen wurden ergänzende Messkampagnen durchgeführt, die das Ziel verfolgten, den Tagesverlauf der MP-Frachten näher zu untersuchen. Hierfür wurde jeweils ein kompletter Tag in vier Intervallen zu je 6 h beprobt. Die Ergebnisse im Zulauf deuten auf einen möglichen Trend hin, wonach im Zeitraum von 12:00 bis 18:00 Uhr ein Peak an MP-Frachten in die Kläranlage eintritt. Aufgrund der noch aktuell bestehenden Unsicherheiten über den gesamten Prozess, von der Probenahme bis zur MP-Messung, ist dieser Trend jedoch mit Vorsicht zu interpretieren.

Abbildung 103 Detektierte MP-Konzentrationen in den erfassten 4 × 6 h Zulaufproben, ermittelt mittels EA-OEM. Start der Probenahme für Tag 1 bis 3 war jeweils um 00:00 Uhr.



Die noch bestehenden Unsicherheiten werden auch durch die Ablaufmessungen in Abbildung 87 verdeutlicht. Hier unterscheiden sich die MP-Konzentrationen von Tag 1 deutlich von jenen der beiden anderen Messtage. Zwar wurde die Probe am Tag 1 im Gegensatz zu den übrigen Proben der 4 × 6 h-Beprobung mittels TED-GC-MS statt EA-OEM analysiert, jedoch deuten die zuvor dargestellten Ergebnisse (Kapitel 8.3.3) darauf hin, dass die hohen Unterschiede nicht auf methodische Ursachen zurückzuführen sind. Vielmehr lassen sich die Abweichungen vermutlich durch Unterschiede in der Probenaufbereitung erklären. Am Tag 1 blieb nach der Aufbereitung im Durchschnitt nur rund 0,1 % der Trockensubstanz übrig, was deutlich unter dem sonst üblichen Aufbereitungsrückstand zwischen rund 1 bis 7 % liegt.

Abbildung 104 Detektierte MP-Konzentrationen in den erfassten 4 x 6 h Ablaufproben. Tag 1 wurde mittels TED-GC-MS gemessen. Tag 2 und Tag 3 wurde mit der EA-OEM bestimmt. Start der Probenahme war jeweils zeitgleich mit den Zulaufproben um 00:00 Uhr.

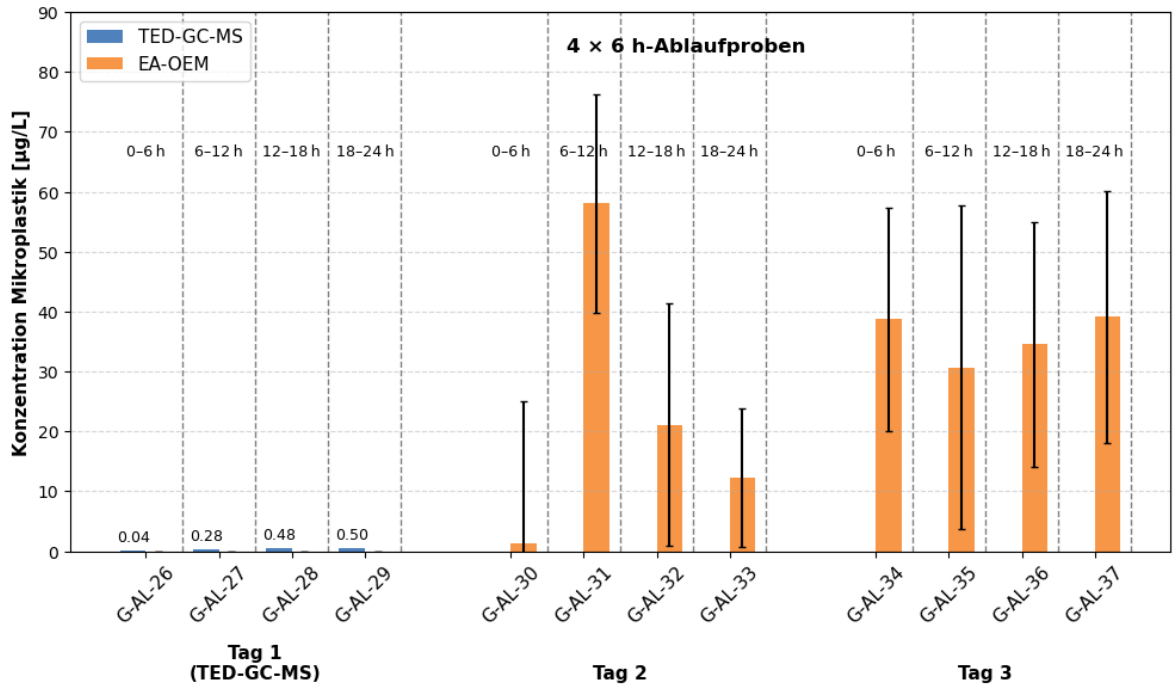


Tabelle 130 Zusammenfassung der Ergebnisse der 4 × 6-Stunden-Messkampagnen im Zulauf und Ablauf.

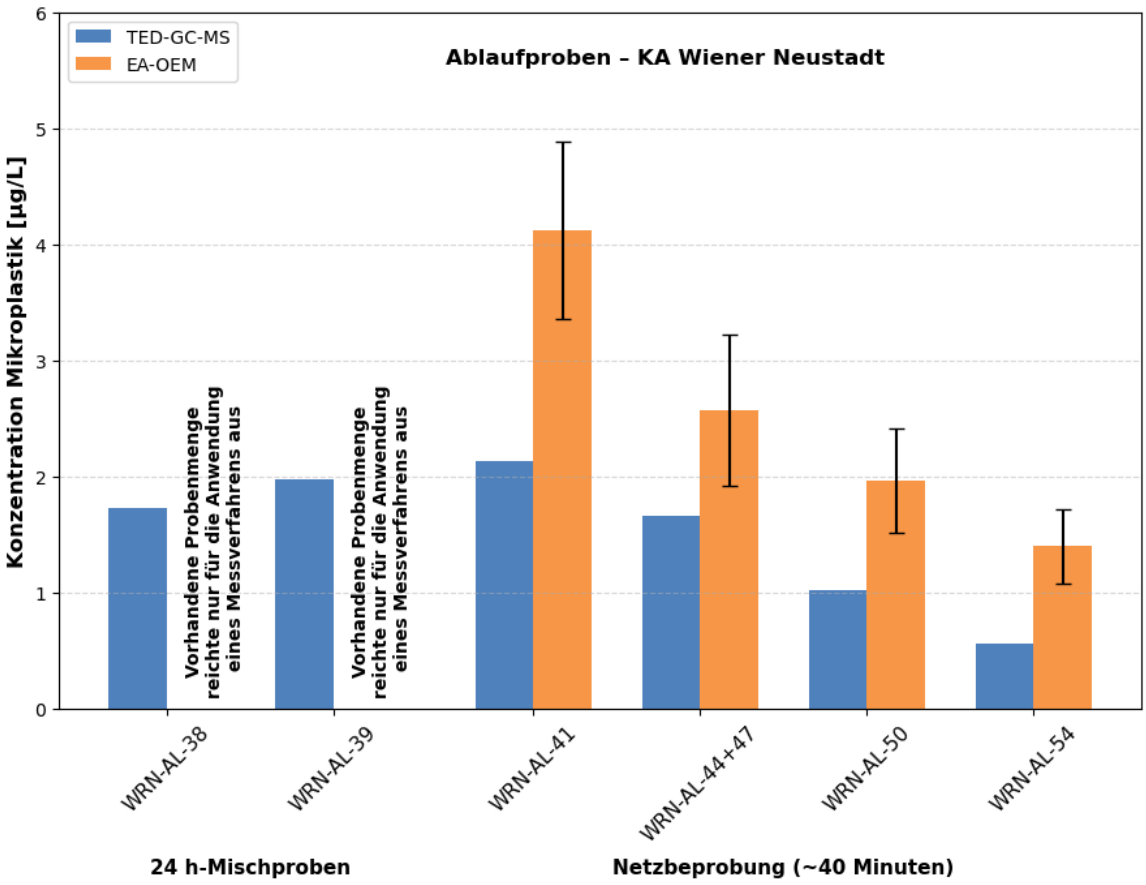
Probenbezeichnung (Zulauf / Ablauf)	Zeitintervall	Konzentration Mikroplastik TED-GC-MS µg/L	Konzentration Mikroplastik EA-OEM µg/L	Messunsicherheit EA-OEM µg/L
1.Tag - Zulauf				
G-ZL-26	00:00–06:00	---	390	± 82
G-ZL-27	06:00–12:00	---	770	± 260
G-ZL-28	12:00–18:00	---	1200	± 250
G-ZL-29	18:00–24:00	---	870	± 230
2.Tag - Zulauf				
G-ZL-30	00:00–06:00	---	260	± 91

Probenbezeichnung (Zulauf / Ablauf)	Zeitintervall	Konzentration Mikroplastik TED-GC-MS µg/L	Konzentration Mikroplastik EA-OEM µg/L	Messunsicherheit EA-OEM µg/L
G-ZL-31	06:00–12:00	---	680	± 160
G-ZL-32	12:00–18:00	---	840	± 290
G-ZL-33	18:00–24:00	---	800	± 130
3.Tag - Zulauf				
G-ZL-34	00:00–06:00	---	920	± 140
G-ZL-35	06:00–12:00	---	750	± 200
G-ZL-36	12:00–18:00	---	1500	± 290
G-ZL-37	18:00–24:00	---	440	± 100
1.Tag - Ablauf				
G-AL-26	00:00–06:00	0,04	---	---
G-AL-27	06:00–12:00	0,28	---	---
G-AL-28	12:00–18:00	0,48	---	---
G-AL-29	18:00–24:00	0,50	---	---
2.Tag - Ablauf				
G-AL-30	00:00–06:00		1,4	± 24
G-AL-31	06:00–12:00		58	± 18
G-AL-32	12:00–18:00		21	± 20
G-AL-33	18:00–24:00		12	± 12
3.Tag - Ablauf				
G-AL-34	00:00–06:00		39	± 19
G-AL-35	06:00–12:00		31	± 27
G-AL-36	12:00–18:00		35	± 24
G-AL-37	18:00–24:00		40	± 21

8.4.3 Netzbeprobung

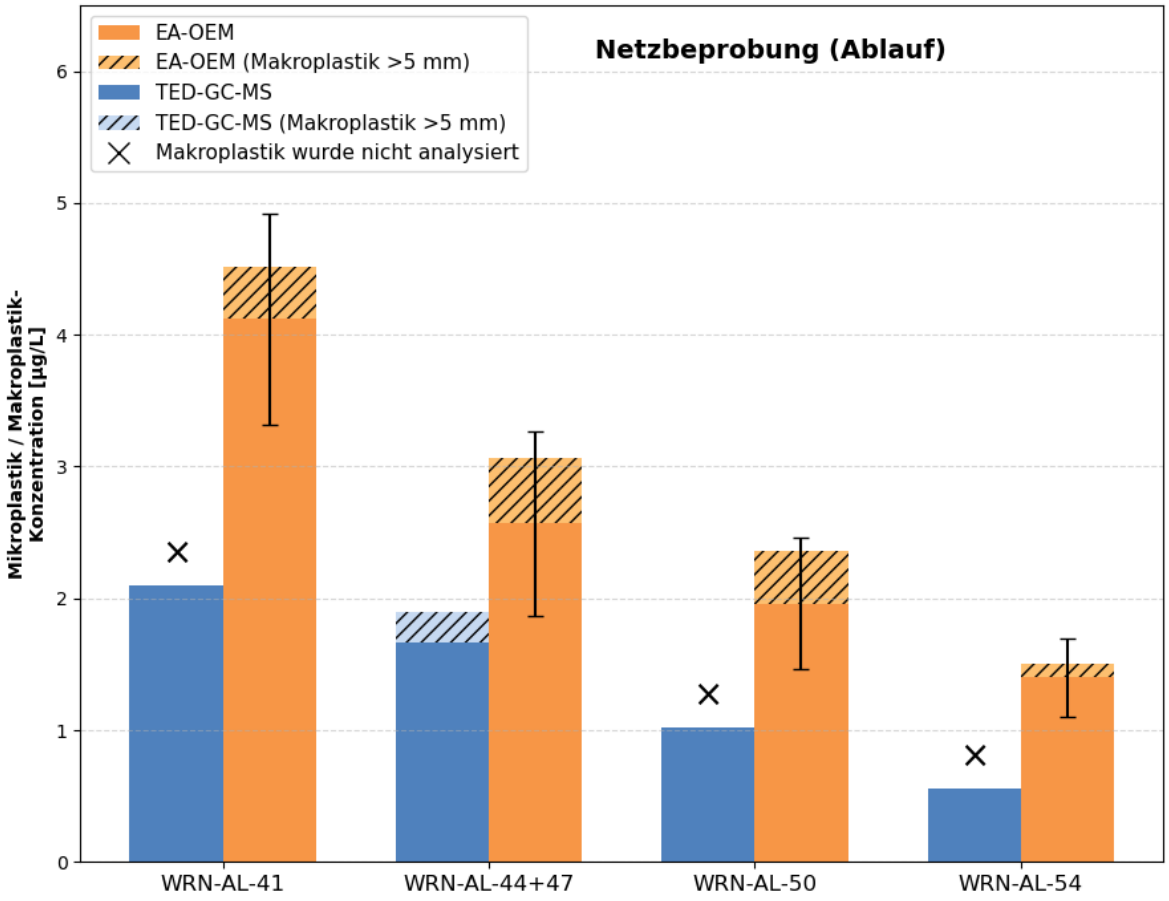
Es wurden insgesamt fünf Netzbeprobungen im Ablauf der KA Wiener Neustadt durchgeführt, wobei das hierfür verwendete 500-µm-Netz jeweils den gesamten Ablaufkanal umspannte und somit der vollständige Ablaufstrom erfasst werden konnte. Die Verweildauer des Netzes im Ablaufkanal betrug pro Probenahme rund 40 Minuten. Die ermittelten MP-Konzentrationen lagen in derselben Größenordnung, wie es die vergleichenden 24-h-Beprobungen am selben Standort ergaben (Abbildung 105). Die beiden Netzproben WRN-AL-44 und WRN-AL-47 wurden als Mischprobe (WRN-AL-44+47) analysiert, da es während der Probenaufbereitung zu einer unbeabsichtigten Vermischung der beiden Proben kam.

Abbildung 105 Gegenüberstellung der im Ablauf der KA Wiener Neustadt ermittelten Mikroplastik-Konzentrationen, bestimmt aus den 24-h Tagesmischproben (konventionelle Methode) und mittels vier 40-minütiger Netzbeprobungen.



Wie in Kapitel 8.1 dargestellt, enthielten die Netzproben neben Mikroplastik auch einen signifikanten Anteil an Makroplastik. Zur ergänzenden Analyse wurden daher auch die Siebfraktionen > 5 mm (Makroplastik) untersucht (Abbildung 106).

Abbildung 106 Detektierte Mikroplastik- und Makroplastik-Konzentrationen, ermittelt durch Netzbeprobungen im Ablaufkanal. Im Zuge der Untersuchung von Makroplastikfraktionen wurde ausschließlich die Probe WRN-AL-44+47 für TED-GC-MS-Messungen berücksichtigt.



8.5 Ermittelte Mikroplastik-Tagesfrachten und Mikroplastik-Entfernungsraten auf den beiden untersuchten Kläranlagen

In der Tabelle 131 sind die sich ergebenden MP-Zulauf-Tagesfrachten sowohl in kg/d als auch spezifisch in mg/EW_{60} aus den beiden unterschiedlichen MP-Bestimmungsmethoden vergleichend für die untersuchten 24 h-Zulauf-Tagesmischproben auf beiden Kläranlagen gegenübergestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Größe der beiden Kläranlagen waren die MP-Zulauftagesfrachten erwartungsgemäß in Graz größer als in Wiener Neustadt, die auf die jeweiligen EW_{60}-Belastungen an den untersuchten Tagen bezogenen spezifischen Werte lagen jedoch in einer ähnlichen Größenordnung.

Tabelle 131 Vergleich der resultierenden MP-Tagesfrachten auf Basis der 24 h-Zulauf-Tagesmischproben und der beiden MP-Bestimmungsmethoden.

24 h-Tagesmischproben (ZULAUF) Probenbezeichnung	MP-Frachten TED-GC-MS kg/d	MP-Frachten EA-OEM kg/d	MP-Frachten TED-GC-MS mg/EW_{60}	MP-Frachten EA-OEM mg/EW_{60}
1. Wochengang in Graz				
G-ZL-08	47,2	40,6	104	89
G-ZL-09	125,1	46,8	181	68
G-ZL-10	83,6	6,1	141	10
G-ZL-11	103,6	60,5	204	119
G-ZL-12	67,6	39,7	115	67
G-ZL-13	50,1	28,2	87	49
G-ZL-14	66,7	27,3	148	61
2. Wochengang in Graz				
G-ZL-15	31,6	11,7	63	23
G-ZL-16	11,7	-	25	-
G-ZL-17	7,3	2,7	17	6
G-ZL-18	4,0	-	11	-
G-ZL-19	5,1	-	12	-
G-ZL-20	16,8	8,6	35	18
Mischwassertage in Graz				
G-ZL-21	60,8	216,5	107	380

24 h-Tagesmischproben (ZULAUF) Probenbezeichnung	MP-Frachten TED-GC-MS kg/d	MP-Frachten EA-OEM kg/d	MP-Frachten TED-GC-MS mg/EW_{60}	MP-Frachten EA-OEM mg/EW_{60}
G-ZL-22	30,4	57,4	43	81
G-ZL-23	28,3	13,2	86	40
G-ZL-24	13,6	4,9	44	16
G-ZL-25	22,5	23,1	66	67
ARA-WRN				
WRN-ZL-38	16,0	38,2	146	347
WRN-ZL-39	2,0	-	11	-

In der Tabelle 132 sind die sich ergebenden MP-Ablauf-Tagesfrachten in kg/d aus den beiden unterschiedlichen MP-Bestimmungsmethoden vergleichend für die untersuchten 24 h-Ablauf-Tagesmischproben gegenübergestellt und auch die daraus resultierenden MP-Eliminationsraten in % an den untersuchten Tagen für beide Kläranlagen angegeben. Diese lagen an den untersuchten Tagen sehr häufig über 99 %.

Tabelle 132 Vergleich der resultierenden MP-Tagesfrachten auf Basis der 24 h-Ablauf-Tagesmischproben und der MP-Eliminationsraten an den untersuchten Tagen.

24 h-Tagesmischproben (ABLAUF) Probenbezeichnung	MP-Frachten TED-GC-MS kg/d	MP-Frachten EA-OEM kg/d	MP-Elim.rate TED-GC-MS %	MP-Elim.rate EA-OEM %
1. Wochengang in Graz				
G-AL-08	0,50	0,33	99,0%	99,2%
G-AL-09	1,01	0,44	99,2%	99,1%
G-AL-10	0,71	0,55	99,1%	91,0%
G-AL-11	0,71	0,38	99,3%	99,4%
G-AL-12	0,39	0,43	99,4%	98,9%
G-AL-13	1,02	0,59	98,0%	97,9%
G-AL-14	0,56	0,14	99,2%	99,5%
2. Wochengang in Graz				
G-AL-15	0,78	0,64	97,5%	94,5%
G-AL-16	0,26	-	97,8%	-

24 h-Tagesmischproben (ABLAUF) Probenbezeichnung	MP-Frachten TED-GC-MS kg/d	MP-Frachten EA-OEM kg/d	MP-Elim.rate TED-GC-MS %	MP-Elim.rate EA-OEM %
G-AL-17	0,21	-	97,1%	-
G-AL-18	0,46	0,23	88,3%	-
G-AL-19	0,21	-	95,9%	-
G-AL-20	0,32	-	98,1%	-
Mischwassertage in Graz				
G-AL-21	0,11	-	99,8%	-
G-AL-22	0,36	0,08	98,8%	99,9%
G-AL-23	0,58	0,93	97,9%	93,0%
G-AL-24	0,44	0,16	96,8%	96,7%
G-AL-25	0,04	-	99,8%	-
ARA-Wiener Neustadt				
WRN-AL-38	0,07	-	99,6%	-
WRN-AL-39	0,08	-	96,3%	-

Im Vergleich der MP-Tagesfrachten sowohl im Zulauf als auch im Ablauf der ARA-Graz und auch bei den daraus resultierenden MP-Eliminationsraten waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den vorwiegend bei TW-Bedingungen untersuchten Tagen und den fünf expliziten Mischwassertagen feststellbar.

8.6 Feinfraktion 10–20 µm

Für die Filtration der Zulauf- und Ablaufproben hat es sich im Laufe des Projekts etabliert, standardmäßig in einem ersten Schritt über einen 20 µm-Discfilter aufzukonzentrieren. Anschließend wurde das Filtrat in einem zweiten Schritt über einen 10 µm-Discfilter filtriert. Der zurückgehaltene Feststoff beider Filtrationsstufen wurde anschließend zusammengeführt und als eine Probe analysiert. Es zeigte sich, dass dieser 2-stufige Filtrationsprozess nicht ausreichte, um eine saubere Größenfraktionierung zu gewährleisten. Trotz durchgeführter Spülvorgänge zwischen den beiden Filtrationsprozessen verblieben Partikel > 20 µm im Pumpenkopf, die nach dem Wechsel auf den 10 µm-Filter den Masseanteil der Feinfraktion verfälschten. Trotz dieser Verschleppungen trug die Siebfraktion > 10 µm nur sehr gering zur Gesamtmasse bei.

Zur Ermittlung des Beitrags der Feinfraktion (10–20 µm) an der MP-Gesamtkonzentration wurden die Feinfraktionen der 4 x 6 h-Mischproben separat untersucht und nicht mit der Hauptfraktion > 20 µm zusammengeführt. Um einen exakten Siebschnitt zu erhalten, wurden die getrockneten Rückstände der 10–20-µm Fraktion erneut mit Wasser aufgeschlämmt und mit Hilfe von Laborequipment die verschleppten Partikel > 20 µm abgetrennt. Die so gewonnene Feinfraktion wurde im Anschluss analog zu den übrigen Proben aufbereitet und analysiert. Aufgrund von zu geringem Probenmaterial wurden jeweils die vier Proben, welche zusammen einen Tag repräsentieren, vereint und als 24 h-Mischprobe analysiert (Tabelle 133). Die ermittelten MP-Konzentrationen im Zulauf betrugen 1,6 bis 10 µg/L, was einen Anteil von jeweils unter 1 % von der Gesamt-MP-Konzentration der dazugehörigen Proben ausmacht. Im Ablauf wurde für die Mischprobe AL-26 bis 29 eine MP-Konzentration von 0,03 µg/L gemessen (TED-GC-MS). Dies machte rund 8 % von der ermittelten MP-Konzentration der dazugehörigen Hauptfraktion >20 µm aus. Zwei weitere Ablaufproben wurden mittels EA-OEM analysiert, bei denen die Messergebnisse jedoch bereits unterhalb der Nachweisgrenze lagen.

Tabelle 133 Ermittelte MP-Konzentrationen in den untersuchten Feinfraktionen. "n. n." kennzeichnet MP-Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze.

Probenbezeichnung (Zulauf/Ablauf)	Summe MP TED-GC-MS µg/L	Summe MP EA-OEM µg/L	Messunsicherheit EA-OEM µg/L
Zulauf			
ZL-26 bis 29_10-20 µm	1,6	---	---
ZL-30 bis 33_10-20µm	---	3,1	± 2,4
ZL-34 bis 37_10-20µm	---	10	± 2,8
Ablauf			
G-AL-26 bis 29_10-20µm	0,03	---	---
G-AL-30 bis 33_10-20 µm	---	n. n.	n. n.
G-AL-34 bis 37_10-20 µm	---	n. n.	n. n.

8.7 Blindwerte

Zur Qualitätssicherung wurden insgesamt sechs Blindproben generiert, jeweils drei mit dem zuvor verwendeten Equipment für die Zulauf- und Ablaufbeprobungen der ARA-Graz. Da nach erfolgter Probenaufbereitung pro Einzelprobe nicht genügend Feststoffmaterial vorhanden war, wurden die Dreifachbestimmungen jeweils als Mischproben analysiert (G-ZL-Blind_1 bis 3 und G-AL-Blind_1 bis 3). Die resultierenden Probenmengen reichten trotzdem nur für die Anwendung eines Messverfahrens aus, wofür die TED-GC-MS gewählt wurde. Auf Basis der von der TED-GC-MS berücksichtigten Polymertypen wurden kumulierte Konzentrationen von 0,05 µg/L (mit Zulauf-Equipment) und 0,04 µg/L (mit Ablauf-Equipment) als Blindwerte gemessen. Polymere unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) wurden hierbei mit dem halben BG-Wert abgeschätzt. Für den Blindwert im Zulauf wurde primär PP nachgewiesen, für den Ablauf hingegen SBR.

In den 24-h Mischproben des Zulaufs wurde eine durchschnittliche MP-Konzentration von 510 ± 400 µg/L (n = 18) mittels TED-GC-MS detektiert. Der niedrigste Einzelwert lag bei 51 µg/L (Probe G-ZL-18). Verglichen mit diesem Minimalwert macht der Blindwert lediglich rund 0,1 % der ermittelten MP-Konzentration aus. In den 24 h-Mischproben des Ablaufs wurde eine durchschnittliche MP-Konzentration von 5,6 ± 3,2 µg/L (n = 18) gemessen. Hier liegt der Blindwert bei unter 1 % der ermittelten MP-Konzentration. Vergleicht man den Blindwert mit der Probe G-AL-25, bei der eine MP-Konzentration von lediglich 0,48 µg/L detektiert wurde, so entspricht dies bereits rund 8 % des Messwerts.

Tabelle 134 TED-GC-MS Ergebnisse zur Ermittlung von Blindwerten für die Polymere: Naturkautschuk (NK), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR). n. n. kennzeichnet Polymergehalte unterhalb der Nachweisgrenze.

Probenbezeichnung (Zulauf/Ablauf)	NK µg/L	PE µg/L	PET µg/L	PP µg/L	PS µg/L	SBR µg/L
Zulauf						
G-ZL-Blind_1 bis 3	n. n.	< 0,02	n. n.	0.04	n. n.	n. n.
Ablauf						
G-AL-Blind_1 bis 3	n. n.	< 0,003	n. n.	<0,005	n. n.	0,03

8.8 Diskussion

Die ermittelten MP-Konzentrationen in den 24 h-Ablaufmischproben lagen zwischen 0,50 und 13 µg/L. Die durchschnittliche Konzentration betrug 5,3 ± 3,2 µg/L (n = 20), gemessen mittels TED-GC-MS, bzw. 5,0 ± 2,0 µg/L (n = 12) gemessen mittels EA-OEM. Vier Proben, deren MP-Anteil unterhalb der Nachweisgrenze der EA-OEM lag, wurden dabei nicht berücksichtigt. Bei den Zulaufproben traten deutlich größere Abweichungen auf, sowohl zwischen einzelnen Proben als auch im Vergleich zwischen den beiden eingesetzten Messmethoden. Die gemessenen MP-Konzentrationen reichten hier von 33 bis 2400 µg/L.

Auffällig ist insbesondere, dass während der ersten Wochenkampagne (Zulauf) in Graz deutlich höhere Konzentrationen ermittelt wurden als für die zweite Woche sowie auch bei den untersuchten Mischwassertagen. Ein umgekehrtes Bild zeigte sich bei den 4 × 6 h-Ablaufproben. Am ersten Probentag wurden signifikant niedrigere Konzentrationen gemessen als an Tag 2 und Tag 3. Die Proben der beiden letztgenannten Tage wurden ausschließlich mittels EA-OEM analysiert, wobei die Probenaufbereitung zentral an nur einem Standort erfolgte. Dies könnte dazu geführt haben, dass die Proben nicht vollständig aufbereitet wurden und die EA-OEM infolgedessen zu hohe MP-Konzentrationen ermittelt hatte. Die Proben von Tag 1 hingegen wurden, analog zu den 24 h-Mischproben, an zwei verschiedenen Standorten aufbereitet. Dennoch zeigten sich stark abweichende Ergebnisse beim erhaltenen Aufbereitungsrückstand (0,1 % im Vergleich zu 1 bis 7 %), was ebenfalls auf Diskrepanzen im Aufbereitungsprozess hinweisen könnte, jedoch auch darauf zurückzuführen sein könnte, dass zufälligerweise ein Tag mit sehr niedrigen MP-Konzentrationen beprobt wurde.

Die entsprechenden Aufbereitungsverfahren wurden im Laufe des Projekts kontinuierlich angepasst und weiterentwickelt, was sich in den Ergebnissen widerspiegeln könnte. Um die Stabilität und Wiederfindungsrate der Aufbereitungsverfahren künftig besser bewerten zu können, sind weiterführende Untersuchungen idealerweise mit Referenzmaterialien sowie mit gezielt gespikten Proben erforderlich.

Im Vergleich der MP-Tagesfrachten sowohl im Zulauf als auch im Ablauf der ARA-Graz und auch bei den daraus resultierenden MP-Eliminationsraten waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den vorwiegend bei TW-Bedingungen untersuchten Tagen und den vier expliziten Mischwassertagen feststellbar.

Für die vollständig beprobten Untersuchungstage lagen die resultierenden MP-Eliminationsraten nach beiden Bestimmungsmethoden sehr häufig über 99 %, was auf einen generell sehr guten MP-Rückhalt auf den Kläranlagen hinweist und die dabei entfernten MP-Anteile sicherlich zum Großteil in den Klärschlamm transferiert und mit diesem entfernt werden.

9 AP 1.5 - Erstellung einer Standard Operation Procedure (SOP) für die Entwicklung einer Gesamtmethode

9.1 Allgemeine Übersicht

Die im Rahmen dieses Projekts ausgearbeiteten SOPs wurden in folgende Teilpakete unterteilt:

- Paket 1: Probenahme
- Paket 2: Filtration
- Paket 3: Aufbereitung

Die Verfahrensschritte der einzelnen SOPs sind so detailliert wie möglich beschrieben. Zum aktuellen Stand lassen sich jedoch nicht alle Arbeitsschritte abschließend festlegen, da hierfür weitere Praxiserfahrungen erforderlich sind bzw. diese von standort- und probenspezifischen Gegebenheiten abhängen. Offene Fragestellungen werden in den jeweiligen SOPs näher erläutert.

9.2 SOP-Paket 1: Probenahme

Dieser Teil der SOP beschreibt die empfohlene Vorgehensweise für die Gewinnung von repräsentativen 24 h-Tagesmischproben aus dem Zu- und Ablaufbereich einer Kläranlage zur nachfolgenden Gewinnung von Feststoffproben für Mikroplastik-Bestimmungen und stammt im Wesentlichen aus der Masterarbeit von M. MOSER (2025).

9.2.1 Festlegung der Probenahmestellen im Zu- und Ablauf einer Kläranlage

Nachdem die einzelnen Mikroplastik-Fraktionen unterschiedliche Dichten aufweisen und daher bei laminaren Abflussverhältnissen leider nicht homogen über die Abflussquerschnitte im Zu- und Ablaufbereich von Kläranlagen verteilt sind, sind dafür nach Möglichkeit **möglichst turbulente Abflussbereiche** zu wählen, aus denen im Idealfall auch die täglichen mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben für die Eigenüberwachung der Kläranlage durch den Kläranlagenbetreiber entnommen werden. Sind solche turbulenten Abflussbereiche auf einer Kläranlage nicht vorhanden, können diese ev. durch das feinblasige Einblasen von Druckluft an der Gerinnesohle geschaffen werden.

Nachdem im Zulaufbereich von Kläranlagen stets auch viele zur Verzopfung neigende Feststoffe enthalten sind, ist eine kontinuierliche Probenahme eines Teilstromes zur Gewinnung von mengenproportionalen Tagesmischproben aus praktischen Gründen nicht möglich, weshalb man auf mengenproportionale, diskontinuierliche Teilprobenentnahmen beschränkt ist, welche auf den Kläranlagen in Österreich zumeist volumenproportional mit konstanten Teilprobenvolumina durchgeführt werden. Dabei werden die Entnahmen der konstanten Teilprobenvolumina im Tagesverlauf vom Durchflussmengenmesssystem der Kläranlage über einen sog. Impulsteiler getriggert, der auf der untersuchten ARA-Graz 500 m³/Teilprobenentnahme und auf der untersuchten ARA-Wiener Neustadt 300 m³/Teilprobenentnahme beträgt. Nach geltenden Abwasser-Probenahme-Normen, z. B. der DIN 38402-11 (2009), sollten dabei die gewählten und konstanten Teilprobenvolumina größer als 50 mL betragen und die getriggerten Teilprobenentnahmen keinen längeren zeitlichen Abstand als 30 min beim Nachtminimum aufweisen.

Für die angestrebte mengenproportionale Ansteuerung der MP-Probenahmesysteme kann und sollte nach Möglichkeit derselbe Impulsteiler verwendet werden, der auch für die volumenproportionale Ansteuerung der betriebseigenen Probenahmegeräte für die Eigenüberwachung verwendet wird. Steht dieser für MP-Beprobungen nicht zur Verfügung, kann alternativ dazu auch eine zeitproportionale Teilprobenentnahme mit Teilprobenentnahmeintervallen von z. B. 10 Minuten verwendet werden.

Das gewählte Teilprobenvolumen sollte so gewählt werden, dass eine für die MP-Bestimmungen ausreichende Feststoffmasse nach den Filtrationen der Tagesmischproben zur Verfügung steht, wofür auf den beiden untersuchten Kläranlagen die nachfolgenden Tagesvolumina ausreichend waren:

- Mindesttagesvolumen für den Zulauf von Kläranlagen: **100 L**
- Mindesttagesvolumen für den Ablauf von Kläranlagen: **1.000 L**

Aufgrund der im Zulauf zu Kläranlagen immer auch enthaltenen verzopfenden Stoffe, welche den kontinuierlichen Betrieb von automatischen Probenahmesystemen stets gefährden, sollte sich auch der Ansaugpunkt für die MP-Probenahmesysteme immer nach den Rechenanlagen oder nach den belüfteten Sandfängen der Kläranlagen befinden.

9.2.2 Verantwortlichkeiten

Zuständig und verantwortlich für die ordnungsgemäße Durchführung und Qualitätssicherung für die Entnahme von MP-Abwasserproben und der nachfolgenden Gewinnung der Feststoffproben am Gelände einer Kläranlage Graz sind die dafür definierten und betrauten Personen für diese Arbeitsbereiche.

9.2.3 Erforderlicher Arbeitnehmer·innenschutz

Für eine sichere und ordnungsgemäße Durchführung der in diesem SOP-Teil beschriebenen Arbeitsschritte sind folgende Arbeitsschutzmaßnahmen für das mit der Durchführung betraute Personal erforderlich:

- Schutzbrillen
- Arbeits- bzw. Laborbekleidung
- Handschuhe (Hygieneschutz)
- Festes Schuhwerk
- Sicherheitsweste

9.2.4 Erforderliche Geräte und Werkzeuge für die MP-Probenahme im Zu- und Ablauf einer Kläranlage

9.2.4.1 Für das MP-Probenahmesystem im Zulauf zur Kläranlage

- Automatisches Probenahmegerät (PNG) bestehend aus einem Probenehmeraufsatz z. B. der Fa. MAXX vom Typ TP5 C, dessen Glasbehälter zur Aufnahme der Zulauf-Teilprobenvolumina gegen einen größeren 700 mL fassenden Glasbehälter ausgetauscht wurde und mit dem damit eine konstante Teilprobenentnahme von maximal 695 mL gesichert möglich war.
- Stromanschluss für den Betrieb des automatischen PNG und Reinwasseranschluss zur Reinigung des gesamten PN-Systems.
- Holzplatte zur Fixierung des PNG am PN-Behälter.
- PN-Ansaugschlauch aus Polyamid (PA) mit einem Durchmesser von mindestens 9 mm für die Ansaugung und Förderung des Abwassers aus dem gewählten Zulauf-Bereich der Kläranlage zum PNG.
- PN-Behälter aus Edelstahl mit einem Volumen von 150 L für die Gewinnung von 24 h-Zulauf-Tagesmischproben und speziell für die Beprobung von Mischwassertagen ev. ein zweiter baugleicher PN-Behälter zur Vermeidung von PN-Behälter-Überfüllungen, zur Gewinnung von noch größeren Tagesprobenvolumina bzw. zur Durchführung von mehrtägigen 24 h-Messkampagnen. Zur Bestimmung der täglich gewonnenen IST-Probenvolumina sollten die verwendeten PN-Behälter über eine gut ablesbare, ausgeliterte Füllstandskala verfügen.
- Wasserwaage zum waagrechten Einrichten der PN-Behälter.
- Keile und Unterlagsplatten zum waagrechten Einrichten der PN-Behälter.
- Ausreichend großer Raum, das MP-Probenahmesystem am gewählten PN-Ort betriebssicher unterbringen und betreiben zu können.

9.2.4.2 Für das MP-Probenahmesystem im Ablauf einer Kläranlage

- Aluminiumgestänge zum Fixieren der PN-Tauchpumpe am gewünschten Ansaugpunkt im Ablaufbereich der Kläranlage.
- Holzplatte zum Fixieren des Aluminiumgestänges am vereinten Ablaufgerinne einer Kläranlage.
- Edelstahl-Kreiselpumpe (als PN-Tauchpumpe) zur Förderung der Teilprobenvolumina aus dem Ablaufstrom zum PN-Behälter.

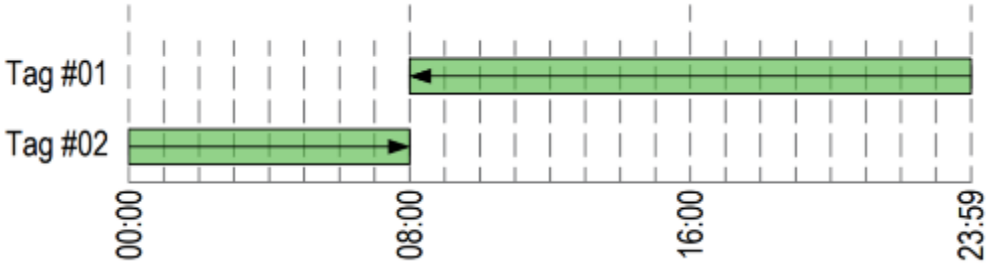
- PN-Ansaugschlauch aus Polyamid (PA) mit einem Durchmesser von 1“ für die Förderung der Abwasserteilproben aus dem Ablaufgerinne zum PN-Behälter.
- PN-Behälter mit einem Volumen von 1.000 L aus Edelstahl für die Gewinnung von 24 h-Ablauf-Tagesmischproben und speziell für die Beprobung von Mischwassertagen eventuell ein zweiter PN-Behälter zur Vermeidung von PN-Behälter-Überfüllungen, zur Gewinnung von noch größeren Tagesprobenvolumina bzw. zur Durchführung von mehrtägigen 24 h-Messkampagnen. Zur Bestimmung der täglich gewonnenen IST-Probenvolumina sollten die verwendeten PN-Behälter über eine gut ablesbare, ausgeliterte Füllstandskala verfügen.
- Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) zur volumenproportionalen (oder zeitproportionalen) Ansteuerung der Teilprobenentnahmen.
- Stromanschluss für den Betrieb der Kreiselpumpe und der SPS und Reinwasseranschluss zur Reinigung des gesamten PN-Systems.
- Wasserwaage zum waagrechten Einrichten der PN-Behälter.
- Keile und Unterlagsplatten zum waagrechten Einrichten der PN-Behälter.
- Ausreichend großer Raum, das MP-Probenahmesystem am gewählten PN-Ort betriebssicher unterbringen und betreiben zu können.
- Spanngurte zum Sichern der PN-Behälter im Ablaufbereich gegen Sturm, sofern diese aufgrund ihrer Größe im Freien aufgestellt werden müssen.

9.2.5 Empfohlene Vorgehensweise bei der Probenahme

Sofern die Gewinnung der Feststoffproben anhand von 24 h-Tagesmischproben erfolgt, empfiehlt sich eine zeitsynchrone Probenahme im Zu- und Ablauf der Kläranlage im selben PN-Zeitraum, in dem auch die tägliche, betriebseigene 24 h-Probenahme im Zu- und Ablaufbereich der Kläranlage im Rahmen der Eigenüberwachung erfolgt. Dieser 24 h-PN-Zeitraum findet z. B. auf der untersuchten ARA-Graz jeweils von 08:00 bis 08:00 (siehe Abbildung 107), auf der ebenfalls untersuchten ARA-Wiener Neustadt von 00:00 bis 24:00 statt. Die Datumsangaben der 24 h-Tagesmischproben beziehen sich dabei immer auf jenen Tag, in welchem ein Großteil der Teilprobenentnahmen stattgefunden hat, d. h. im Falle der ARA-Graz auf den "Tag #01" in der Abbildung 107.

Die mengenproportionale Ansteuerung der MP-Probenahmesysteme sollte nach Möglichkeit bevorzugt volumenproportional erfolgen, wofür derselbe Impulsteiler des Durchflussmengenmesssystems der Kläranlage verwendet werden sollte, mit dem auch die beiden betriebseigenen PNG für die Eigenüberwachung angesteuert werden.

Abbildung 107 Gewählter Probenahme-Zeitraum für die Gewinnung der 24 h-Tagesmischproben im Zulauf und Ablauf der ARA-Graz sowohl für die Eigenüberwachung als auch für die MP-Probenahme.



Über die Durchflussmengenmessung auf der ARA-Graz kann beispielsweise für einen angenommenen Trockenwettertag von z. B. 70.000 m³/d und dem voreingestellten Impulsteiler von 500 m³ abgeschätzt werden, wie oft eine Teilprobenentnahme innerhalb der 24 Stunden (08:00–08:00) erfolgen sollte. An diesem Trockenwettertag sollten die entwickelten MP-PN-Systeme demnach im Zu- und Ablauf jeweils 140 Teilproben mit einem konstanten Teilprobenvolumen über eine Zeitdauer von 24 Stunden entnehmen. Aus dieser Anzahl an Teilproben und den voreingestellten Teilprobenvolumina, können folglich die daraus resultierenden PN-SOLL-Tagesvolumina ermittelt und mit den tatsächlich gewonnenen PN-IST-Tagesvolumina verglichen werden, was Aussagen über die Güte und Vollständigkeit der Probenahmen erlaubt.

Weiters empfiehlt es sich auch die Konstanz der voreingestellten Teilprobenvolumina an den eingebauten PN-Stellen zu überprüfen, was in der Tabelle 135 auf der ARA-Graz am MP-PN-System sowohl im Zulauf als auch im Ablauf durchgeführt wurde. In der Tabelle 135 sind jeweils die Mittelwerte und die Standardabweichungen von 10 hintereinander durchgeführten Teilprobenentnahmen in Abhängigkeit des voreingestellten Teilprobenvolumens von 695 mL beim MP-PN-Systeme im Zulauf und in Abhängigkeit von unterschiedlich festgelegten Ansaugzeiten beim MP-PN-System im Ablauf der ARA-Graz ausgewiesen.

Daraus resultierte bei der Überprüfung am 07.12.2023 beim MP-PN-System für den Zulauf ein Mittelwert für das Teilprobenvolumen von 695,20 mL mit einer Standardabweichung von nur 1,27 mL. Die Konstanz der erzielbaren Teilprobenvolumina am MP-PN-System für den Ablauf wurde in Abhängigkeit von unterschiedlichen Ansaugzeiten am 29.02.2024 mittels 10 hintereinander ausgeführter Teilprobenentnahmen überprüft. Daraus resultierten die in der Tabelle 135 ausgewiesenen Mittelwerte mit ihren dazugehörigen Standardabweichungen.

Tabelle 135 Überprüfung der Konstanz der Teilprobenvolumina beim MP-PN-System im Ablauf der ARA-Graz in Abhängigkeit unterschiedlicher Ansaugzeiten der Kreiselpumpe.

Ansaugzeiten [s]	5 s	6 s	7 s	8 s	9 s	10 s	11 s	12 s
Mittelwert [mL]	2.521	3.310	3.992	4.646	5.379	5.933	6.940	7.510
Standardabweichung [mL]	33	26	36	33	54	54	46	39

Aus der zuvor benannten und von der Durchflussmengenmessung abhängigen Anzahl an Teilprobenentnahmen innerhalb des 24 h-PN-Zeitraums kann folglich das PN-SOLL-Tagesvolumen für das jeweilige MP-PN-System abgeschätzt werden und mit dem tatsächlich beprobten PN-IST-Tagesvolumen verglichen werden, was Aussagen über die Güte und Vollständigkeit der Teilprobenentnahmen über die 24 Stunden zulässt. Dabei muss unbedingt darauf geachtet werden, dass das PN-IST-Tagesvolumen das maximal mögliche Aufnahmevolumen der PN-Behälter (entweder 150 L oder 1.000 L) nicht überschreitet. Um insbesondere an immer schwer abschätzbaren Mischwassertagen ein Überfüllen der PN-Behälter zu verhindern, kann der Einsatz von einem zusätzlichen PN-Behälter sinnvoll sein, der mit dem ersten über einen Überlauf verbunden ist.

In der Tabelle 136 ist das PN-SOLL-Volumen in Liter pro Tag in Abhängigkeit unterschiedlicher Tageszulaufvolumina und einem 500 m³-Impulsteiler für das MP-Zulauf-PN-System am Beispiel der ARA-Graz dargestellt. Daraus ist leicht ersichtlich, ab wann das PN-Volumen vom PN-Behälter des MP-Zulauf-PN-Systems (V = 150 L) überschritten sein wird und ab wann ein zweiter PN-Behälter zum Aufnehmen der gesamten Zulauftagesprobe erforderlich wäre.

Tabelle 136 Ermittlung des PN-SOLL-Tagesvolumen [L/d] beim MP-Zulauf-PN-System in Abhängigkeit von erwartbaren Tageszulaufvolumina am Beispiel der ARA-Graz.

Tageszulaufvolumen zur ARA-Graz Q_d [m³/d]	Anzahl der Impulse bei einem Impulsteiler von 500 m³	PN-SOLL-Volumen in L/d bei 695 mL Teilprobenvolumen
60.000	120	83
70.000	140	97
80.000	160	111
90.000	180	125

Tageszulaufvolumen zur ARA-Graz Q_d [m³/d]	Anzahl der Impulse bei einem Impulsteiler von 500 m³	PN-SOLL-Volumen in L/d bei 695 mL Teilprobenvolumen
100.000	200	139
110.000	220	153
120.000	240	167
130.000	260	181
140.000	280	195
150.000	300	209

In Tabelle 137 ist das PN-SOLL-Volumen in Liter pro Tag in Abhängigkeit der erwartbaren Zulaufmengen, dem 500 m³-Impulsteiler und der jeweiligen Ansaugzeit für das MP-Ablauf-PN-System am Beispiel der ARA-Graz dargestellt. Daraus ist leicht ersichtlich, ab wann das PN-Volumen vom PN-Behälter des MP-Ablauf-PN-Systems (V = 1.000 L) überschritten sein wird und ab wann ein zweiter PN-Behälter zum Aufnehmen der gesamten Ablauftages-probe erforderlich wäre. Dabei ist vor allem an Mischwassertagen die Vorabschätzung der Tageszulaufmengen schwierig vorherzusagen.

Tabelle 137 Ermittlung des PN-SOLL-Tagesvolumens [L/d] beim MP-Ablauf-PN-System in Abhängigkeit von erwartbaren Tageszulaufmengen und vorzudefinierenden Ansaugzeiten am Beispiel der ARA-Graz.

Q_d [m³/d]	Impulse	5 s	6 s	7 s	8 s	9 s	10 s	11 s	12 s
60.000	120	303	397	479	558	646	712	833	901
70.000	140	353	463	559	650	753	831	972	1.051
80.000	160	403	530	639	743	861	949	1.110	1.202
90.000	180	454	596	719	836	968	1.068	1.249	1.352
100.000	200	504	662	798	929	1.076	1.187	1.388	1.502
110.000	220	555	728	878	1.022	1.183	1.305	1.527	1.652
120.000	240	605	794	958	1.115	1.291	1.424	1.666	1.802
130.000	260	655	861	1.038	1.208	1.399	1.543	1.804	1.953
140.000	280	706	927	1.118	1.301	1.506	1.661	1.943	2.103
150.000	300	756	993	1.198	1.394	1.614	1.780	2.082	2.253

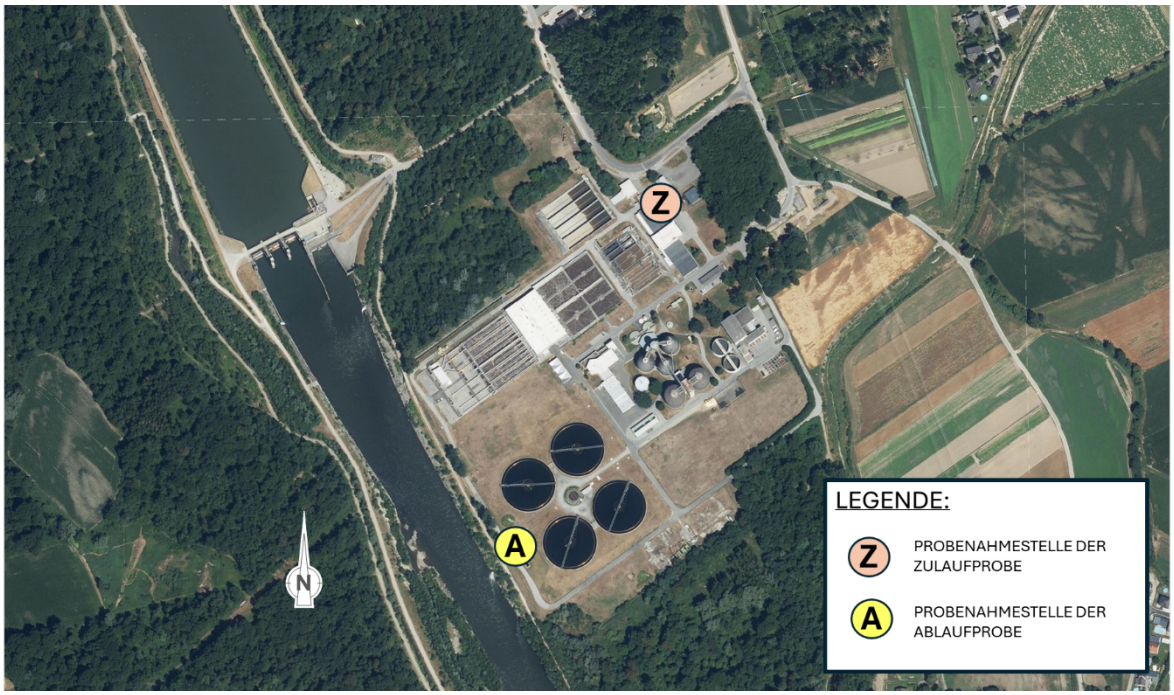
9.2.6 Auswahl der PN-Stellen am Beispiel der ARA-Graz

Die Auswahl geeigneter Probenahmestellen (PN-Stellen) für den Zu- und Ablaufbereich einer Kläranlage ergeben sich einerseits durch die Festlegung der Probenahme-Orte und andererseits aus den festzulegenden Probenahme-Horizonten in den Abflussquerschnitten, aus welchen das Ansaugen der Teilproben erfolgen sollte. Dafür sollten die Empfehlungen des Kapitels 9.2.1 beachtet werden.

Beispielhaft sind dafür die in der Abbildung 108 gewählten und eingezeichneten MP-PN-Stellen auf der ARA-Graz zur Gewinnung repräsentativer MP-Proben dargestellt.

Die MP-Probenahmen erfolgten dabei für den Zulauf im Analyseraum der ARA-Graz aus der vorhandenen Zulauf-Bypass-Wanne, aus der seit 2017 auch die täglichen mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben für die Eigenüberwachung der Kläranlage sowie auch die monatlichen und jährlichen Fremdüberwachungen erfolgen. Im Gegensatz dazu erfolgten die MP-Probenahmen für den Ablauf nicht aus der ebenfalls vorhandenen Ablauf-Bypass-Wanne, sondern direkt aus dem vereinten Ablaufgerinne vor der zentralen Ablauf-Überlaufschwelle. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das erforderliche Probenvolumen für die Ablauftagesmischproben (1.000 L) gegenüber den Zulauftagesmischproben (100 L) um ein Vielfaches größer sein hat müssen. Dadurch würde es bei einer direkten Entnahme der deutlich größeren Teilproben aus der Ablauf-Bypass-Wanne zu Störungen bei den dort installierten On-line-Sonden kommen und auch die Laborergebnisse der Eigenüberwachung würden dadurch stark beeinträchtigt bzw. verfälscht werden. Der PN-Horizont im vereinten Ablaufgerinne wurde nach den durchgeführten Voruntersuchungen im Kapitel 3.2.4 für die dort installierte Edelstahl-Kreiselpumpe mit 1,30 m über SOK festgelegt, was in etwa der Hälfte der dort vorherrschenden Wassertiefen von ca. 2,70 m entspricht.

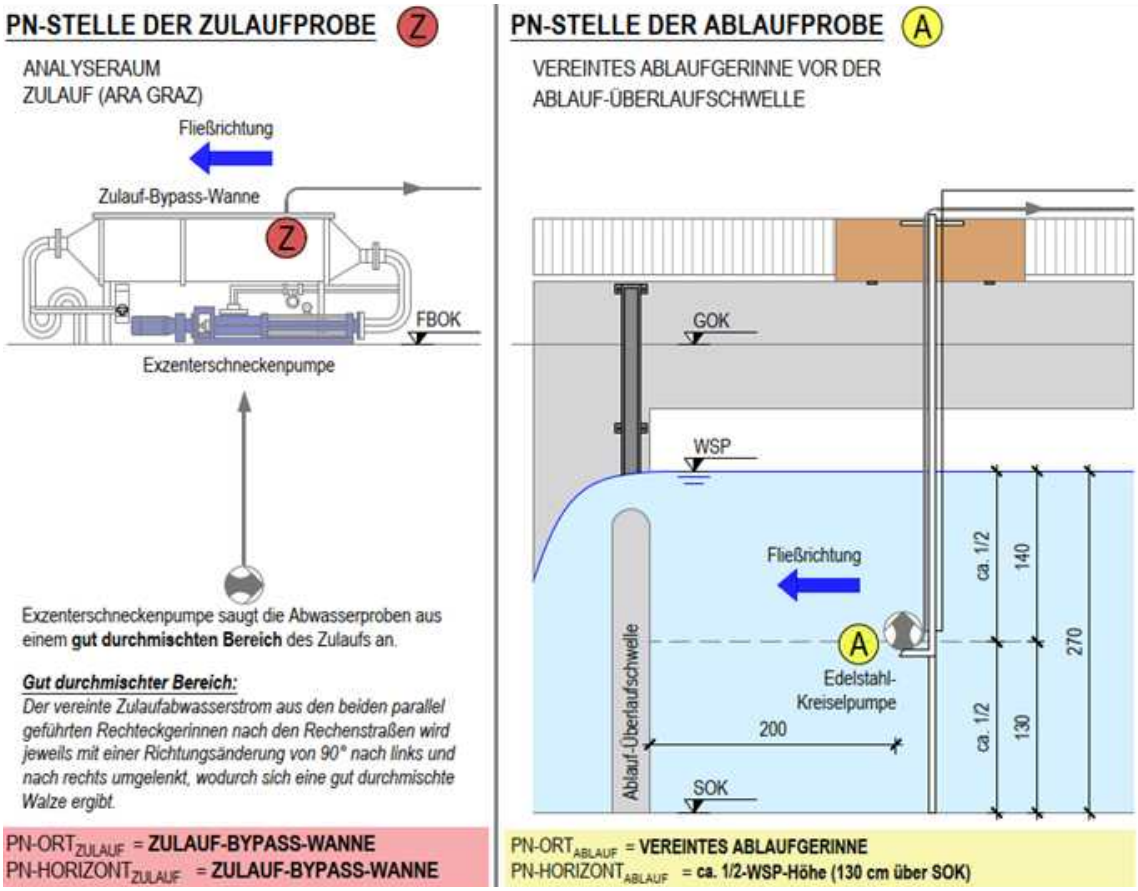
Abbildung 108 Gewählte PN-Stellen im Zulauf- und Ablaufbereich der ARA-Graz



Quelle: (https://gis.stmk.gv.at, Datum des letzten Zugriffs: 29.01.2025, mod.).

In der Abbildung 109 sind die beiden PN-Stellen inklusive ihrer beiden gewählten PN-Horizonte für die Gewinnung der MP-Zulauf- und Ablaufproben dargestellt.

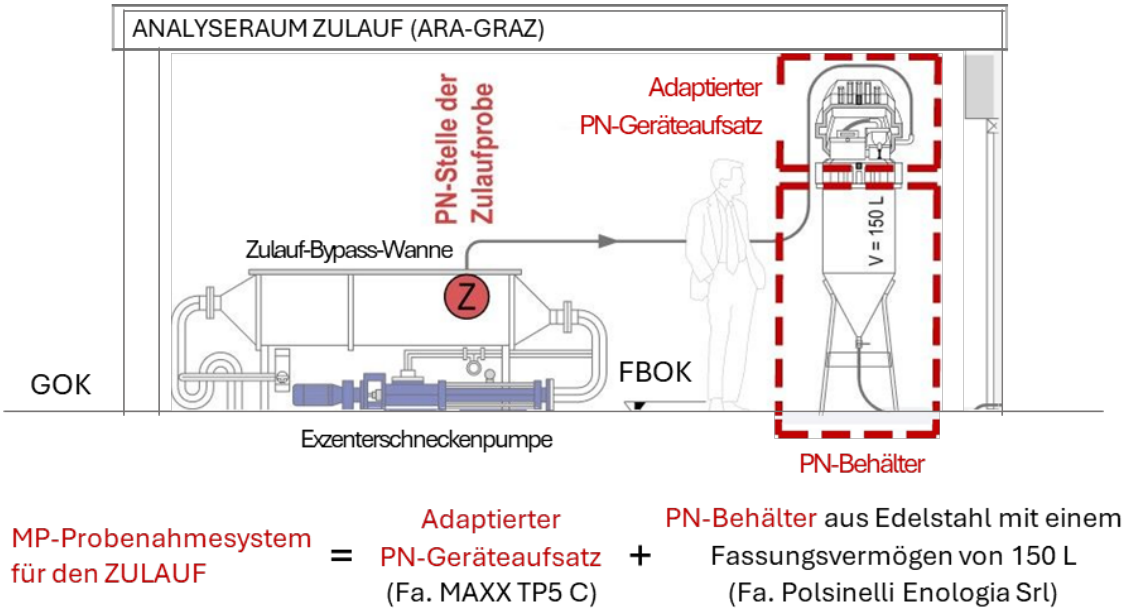
Abbildung 109 Gewählte MP-PN-Stellen mit ihren gewählten PN-Horizonten für die Gewinnung der MP-Zulauf- (links bzw. rot) und MP-Ablaufproben (rechts bzw. gelb) beispielhaft bei der ARA-Graz.



9.2.7 Beispielhafte Installation der beiden MP-Probenahmesysteme im Zulauf- und Ablaufbereich der ARA-Graz

Beispielhaft ist in der Abbildung 110 die Installation des entwickelten MP-PN-Systems für den Zulauf von Kläranlagen im Zulauf-Analyseraum der ARA-Graz dargestellt.

Abbildung 110 Beispielhafte Installation des MP-PN-Systems für den Zulauf von Kläranlagen im Analyseraum der ARA-Graz.



Das MP-PN-Zulauf-System besteht einerseits aus dem Aufsatz eines automatischen Probenahmegeräts (PNG), für welches ein handelsübliches portables Probenahmegerät der Fa. MAXX vom Typ TP5 C gewählt wurde, und andererseits aus einem MP-PN-Behälter aus Edelstahl, der insgesamt für den Zulauf ein Volumen von maximal 150 L aufnehmen kann. Die Gewinnung der erforderlichen Teilprobenvolumina erfolgt über einen in die Zulauf-Bypass-Wanne hineinragenden Ansaugschlauch mit einem Innendurchmesser von mindestens 9 mm, der direkt an den adaptierten PNG-Aufsatz angeschlossen ist. Das PNG wurde dahingehend adaptiert, dass der standardmäßig nur maximal 400 mL fassende Glasbehälter gegen einen 700 mL fassenden größeren Glasbehälter ausgetauscht wurde. Somit kann der auf dem MP-PN-Behälter fixierte PNG-Aufsatz volumenproportional angesteuert die erforderlichen Teilprobenvolumen von rund 695 mL/500 m³ Zulaufmenge zur ARA-Graz gewinnen und in dem darunter befindlichen MP-PN-Behälter sammeln.

Bei der Installation am PN-Ort gilt es zu beachten, dass der MP-PN-Behälter möglichst standsicher am Fußboden aufgestellt wird und mittels einer Wasserwaage und Keilen bzw. Unterlagsplatten horizontal exakt eingerichtet wird, damit sich im MP-PN-Behälter stets ein waagrechter Wasserspiegel für die Ablesung der PN-IST-Volumina einstellt. Sofern dafür im PN-Behälter keine ausgeliterte Wasserspiegel- bzw. Volumen-Skala vorhanden ist, sollte diese im Vorfeld durch entsprechendes Befüllen mit konstanten Reinwasservolumina erstellt werden.

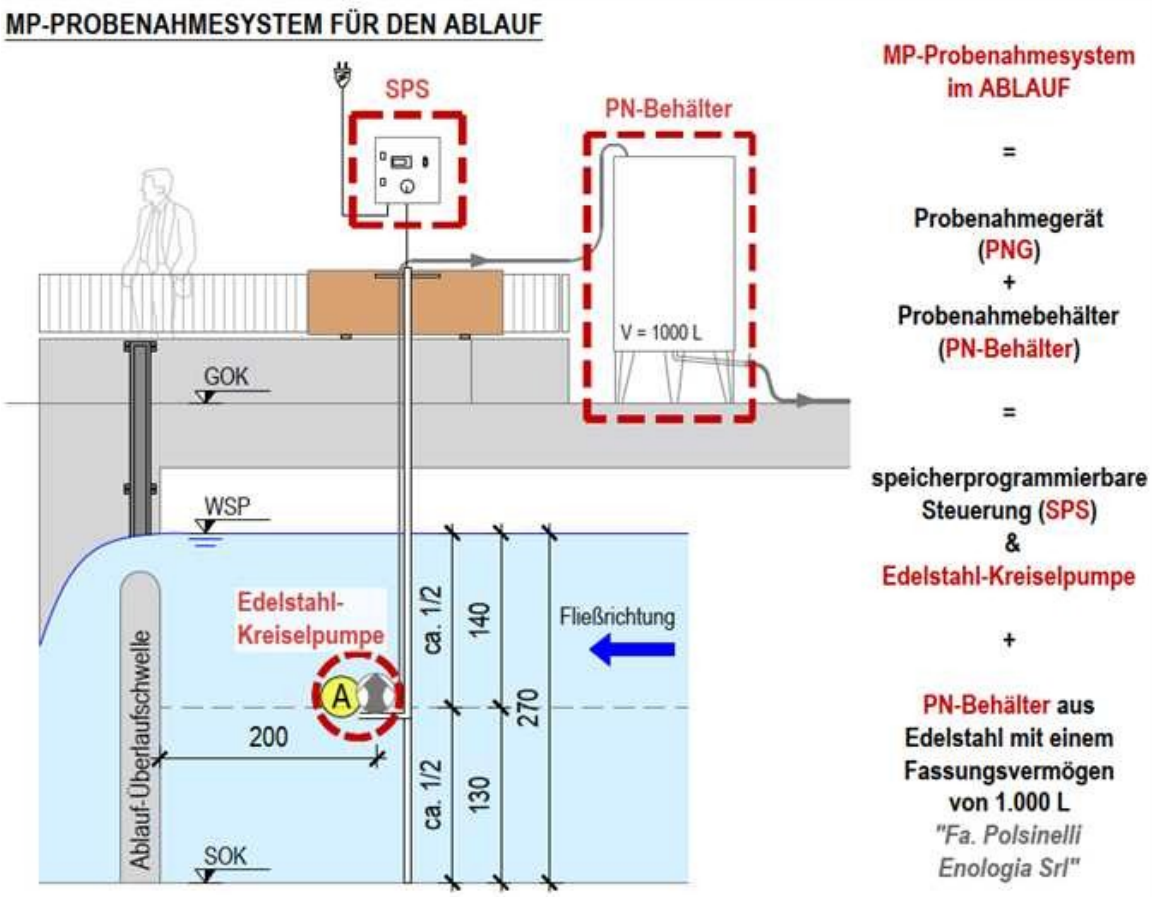
Der PNG-Aufsatz wird mit einer selbst hergestellten Holzplatte am PN-Behälter fixiert, welche durch ihre gewählte Geometrie ein seitliches Verrutschen während der Teilprobenentnahmen verhindert (Abbildung 111). Auf diese Holzplatte wird der PNG-Aufsatz für die Inbetriebnahme des MP-PN-Systems aufgesetzt und mit dem PN-Ansaugschlauch zur Zulauf-Bypass-Wanne verbunden. Zur volumenproportionalen Ansteuerung des PNG ist der PNG-Aufsatz mit einem Datenkabel verbunden, über welches die vordefinierten volumenproportionalen Impulse für das Auslösen der konstanten Teilprobenentnahmen vom Durchflussmengenmesssystem gelangen. Über den PNG-Aufsatz kann auch der PN-Beginn und das PN-Ende vorprogrammiert werden.

Abbildung 111 Holzplatte auf dem PN-Behälter für den Zulauf mit dem aufgesetzten PNG-Aufsatz des verwendeten automatischen PNG der Fa. MAXX vom Typ TP5 C.



In der Abbildung 112 ist beispielhaft die gewählte Installation des entwickelten MP-PN-System für den Ablauf von Kläranlagen auf der ARA-Graz dargestellt.

Abbildung 112 Beispielhafte Installation des MP-PN-Systems für den Ablauf von Kläranlagen am vereinten Ablaufgerinne der ARA-Graz vor der zentralen Überlaufschwelle.



Das MP-PN-Ablauf-System besteht aus einer tauchfähigen Edelstahl-Kreiselpumpe für die Ansaugung von konstanten Teilprobenvolumen, einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) zur volumenproportionalen Ansteuerung der Teilprobenentnahmen und aus einem MP-PN-Behälter für den Ablauf, der ein Probenvolumen von mindestens 1.000 L aufnehmen können sollte. Die Gewinnung der erforderlichen Teilprobenvolumina erfolgt über die Edelstahl-Kreiselpumpe, die mit einem Aluminiumgestänge direkt im Ablaufstrom im gewünschten PN-Horizont zu fixieren ist. Die im vereinten Ablaufgerinne fixierte Kreiselpumpe ist über einen 1 "-PN-Schlauch mit dem MP-PN-Behälter für den Ablauf verbunden. Der 1 "-PN-Schlauch sowie auch das mit der SPS verbundene Stromkabel für den Betrieb der Kreiselpumpe können am Aluminiumgestänge geführt und dort entsprechend mit Kabelbindern befestigt werden.

In der SPS muss für die volumenproportionale Ansteuerung des MP-PN-Systems vorab eine Ansaugzeit für die Kreiselpumpe nach der Tabelle 137 gewählt werden, wodurch das angestrebte konstante Teilprobenvolumen für das MP-PN-System für den Ablauf definiert wird,

das über das zu erwartende PN-SOLL-Volumen (in Liter pro Tag) während des 24 h-PN-Zeitraums in Abhängigkeit der zu erwartenden Zulaufmengen zur Kläranlage für das MP-Ablauf-PN-System abgeschätzt werden muss. Dabei muss die Ansaugzeit so gewählt werden, dass eine mögliche Überfüllung des PN-Behälters (PN-SOLL-Volumen > PN-Behälter-Volumen) verhindert wird. Um eine Überfüllung des PN-Behälters insbesondere an Mischwassertagen zu vermeiden, sollte an diesen Tagen ein zweiter PN-Behälter unmittelbar neben dem ersten aufgestellt werden, welche mit einem Überlaufschlauch miteinander zu verbinden sind.

Die volumenproportionale Ansteuerung der Teilprobenentnahmen erfolgt bei diesem PN-System für den Ablauf ebenfalls über die SPS, welche dafür mit einem geeigneten Datenkabel mit dem Durchflussmengenmesssystem der Kläranlage verbunden werden muss. Dafür kann das vordefinierte Impulsteiler-Signal (alle 500 m³ auf der ARA-Graz) für das Auslösen von Teilprobenentnahmen durchaus dasselbe sein, wie es auch für die volumenproportionale Ansteuerung des MP-PN-Systems für den Zulauf verwendet wird.

Bei der Installation des MP-PN-Systems am Ablauf der Kläranlage ist wieder zu beachten, dass die verwendeten MP-PN-Behälter möglichst standsicher aufgestellt und mittels einer Wasserwaage und Keilen bzw. Unterlagsplatten horizontal exakt eingerichtet werden, damit sich in den PN-Behältern stets ein waagrechter Wasserspiegel für das Ablesen der PN-IST-Volumina einstellt. Sofern dafür in den PN-Behältern keine ausgeliterte Wasserspiegel- bzw. Volumen-Skala vorhanden ist, sollte diese im Vorfeld durch entsprechendes Befüllen mit konstanten Reinwasservolumina erstellt werden.

Aufgrund der erforderlichen Größe der MP-PN-Behälter für den Ablauf müssen diese zumeist im Freien aufgestellt werden, weshalb sie mit Spanngurten z. B. an einem Geländer im Ablaufbereich zur Sicherung gegen Wind und Sturm befestigt werden sollten. Außerdem sollten die im Freien ausgestellten PN-Behälter vor allem im Regenwetterfall nur abgedeckt betrieben werden, damit das gewonnenen Probenvolumen aus dem Ablauf der Kläranlage nicht durch das fallende Niederschlagswasser verdünnt und damit verfälscht wird.

9.3 SOP-Paket 2: Filtration

Dieser Teil der SOP beschreibt die Vorgehensweise für die Gewinnung von Feststoffproben für Mikroplastik-Bestimmungen auf Kläranlagen nach der erfolgten und dafür erfor-

derlichen repräsentativen Gewinnung von 24 h-Tagesmischproben aus dem Zu- und Ablaufbereich einer Kläranlage und stammt im Wesentlichen aus der Masterarbeit von M. MOSER (2025).

9.3.1 Verantwortlichkeiten

Zuständig und verantwortlich für die ordnungsgemäße Durchführung und Qualitätssicherung für die Gewinnung von Feststoffproben für Mikroplastik-Bestimmungen auf Kläranlagen nach der unmittelbar erfolgten Gewinnung von 24 h-Tagesmischproben sind die dafür definierten und betrauten Personen für diesen Arbeitsbereich.

9.3.2 Erforderlicher Arbeitnehmer·innenschutz

Für eine sichere und ordnungsgemäße Durchführung der in diesem SOP-Teil beschriebenen Arbeitsschritte sind folgende Arbeitsschutzmaßnahmen für das mit der Durchführung betraute Personal erforderlich:

- Schutzbrillen
- Arbeits- bzw. Laborbekleidung
- Handschuhe (Hygieneschutz)
- Festes Schuhwerk
- Sicherheitsweste

9.3.3 Erforderliche Geräte und Werkzeuge für die Gewinnung von Feststoffproben aus dem Zu- und Ablauf einer Kläranlage für die MP-Bestimmung

Für die dafür erforderlichen Filtrationen der zuvor gewonnenen 24 h-Tagesmischproben aus dem Zu- und Ablauf einer Kläranlage wurde im Rahmen des GeBeMA-Projektes von der TU Wien ein Discfiltersystem entwickelt, welches die sequenzielle Filtration der Tagesmischproben zunächst über ein Discfiltersystem mit 20 µm Maschenweite und die nachfolgende weitere Filtration des zwischengespeicherten 20 µm-Filtrates über ein Discfiltersystem mit einer Maschenweite von 10 µm erlaubt.

Dabei unterscheidet sich der erforderliche Geräte- und Werkzeugbedarf für die Filtrationen der Zu- und Ablaufproben nicht und besteht aus den folgenden Gerätschaften bzw. Werkzeugen:

- Jetpumpe mit einer Druckkapazität von mind. 4,5 bar.
- Discfiltrationsgehäuse mit einem Durchmesser von 293 mm.
- Discfilter mit einer Maschenweite von 20 µm für die erste Filtrationsstufe.
- Discfilter mit einer Maschenweite von 10 µm für die zweite Filtrationsstufe.
- Luftkompressor mit einer Druckkapazität von ca. 11 bar.
- Schläuche aus Polyamid (PA) mit einem Durchmesser von 1 " zum Abpumpen der gewonnenen Tagesmischproben aus den PN-Behältern zu den Discfiltrationssystemen und danach dann weiter entweder in einen weiteren PN-Behälter zur Zwischenspeicherung des 20 µm-Filtrates oder zur Rückführung der Filtrate in den Zu- oder Ablaufbereich der Kläranlage.
- Luftschläuche für die erforderliche Druckluft vom Luftkompressor zu den Discfiltrationsgehäusen.
- Für die Zwischenspeicherung des 20 µm-Filtrates bei nachfolgender zusätzlicher 10 µm-Filtration:
  - PN-Behälter aus Edelstahl mit einem Volumen von 150 L für die Zulaufprobe.
  - PN-Behälter aus Edelstahl mit einem Volumen von 1.000 L für die Ablaufproben.
- Für die Gewinnung der Feststoffproben von den Discfiltern und zur Reinigung der verwendeten 20 µm und 10 µm-Discfilter:
  - Laborpinzette aus Edelstahl
  - Edelstahlschale zur Aufnahme der abgeschabten Siebrückstände
  - Spatel
- Reinstwasser zum Reinigen und Spülen der Filtrationssysteme, der Discfilter, der Jetpumpen und der PN-Behälter.
- Portabler Ultraschallreiniger mit einer Ultraschallfrequenz von ca. 50 kHz zur nassen Reinigung der Discfilter in den Edelstahlschalen.
- Stromanschluss für den Betrieb des Ultraschallreinigers, der Jetpumpe und des Kompressors.
- Für die Gewinnung der nassen Feststoffproben als Siebrückstand auf den Discfiltern:
  - Runde Schalen aus Aluminium für die Aufnahme der mittels eines Spatels von den Discfiltern abgeschabten Siebrückstände, mit denen dann die nassen Feststoffproben im Labor der TU Graz in einem Trockenschrank bei ca. 55 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet wurden.

  - Probengefäße mit einem Volumen von 2 L aus Glas zur Aufnahme des mit Feststoffteilchen befrachteten Spülwassers in den Edelstahlschalen, welche nach einer Trocknung im o. a. Trockenschrank ebenfalls zu den o. a. Aluminium-Schalen hinzugegeben wurden.
  - Trichter zum Abfüllen des Spülwassers in die 2 L-Probengefäße.
- Wasserfester Stift zum Beschriften der Proben.

9.3.4 Empfohlene Vorgehensweise bei den Filtrationen

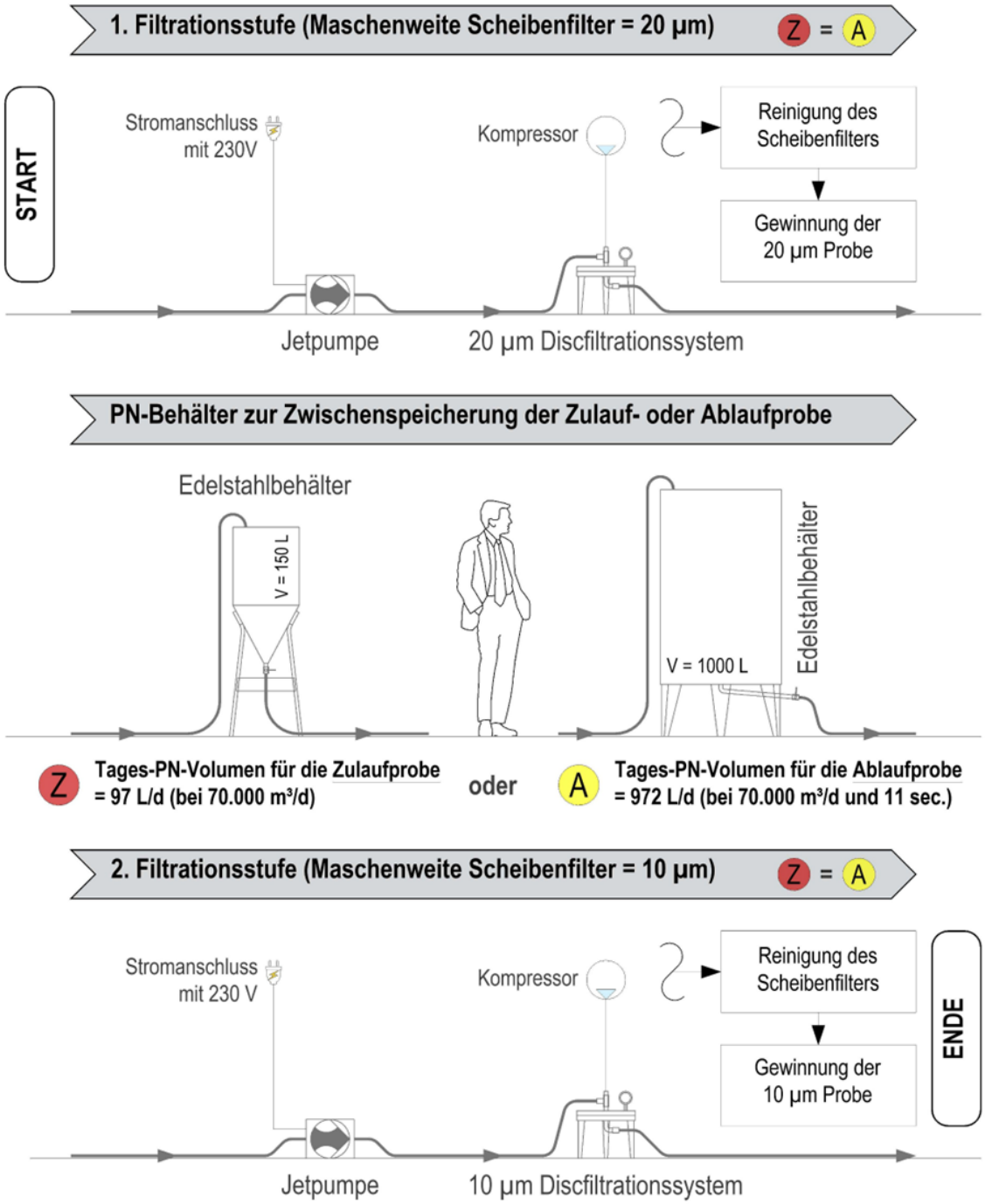
Für die durchzuführenden Filtrationen zur Gewinnung der Feststoffproben für die Mikroplastik-Bestimmungen aus dem Zu- und Ablauf von Kläranlagen wurde von der TU Wien ein zweistufiges Discfiltrationssystem entwickelt, dass das sequenzielle Filtrieren großer Probenvolumina erlaubt und welches dafür aus einem 20 µm-Discfiltrationssystem und einem baugleichen 10 µm-Discfiltrationssystem besteht, welche sich nur durch die beiden verwendeten Gewebefilter unterschiedlicher Maschenweiten voneinander unterscheiden.

Das dafür verwendete Discfiltrationssystem besteht aus einem Filtergehäuse mit einem Durchmesser von 293 mm, woraus eine Filterfläche von rund 615 cm² resultiert. Für das sequenzielle Filtrieren der gewonnenen Probenvolumina empfiehlt sich jeweils die Verwendung eines zweiten PN-Behälters, in welchem das zuerst gewonnenen 20 µm-Filtrat zwischengespeichert werden kann und dann in einem zweiten daran anschließenden Filtrationsschritt auch noch durch das 10 µm-Discfiltrationssystem filtriert werden kann.

In der Abbildung 113 ist der schematische Ablauf einer durchzuführenden Fitration dargestellt. Der Start erfolgt dabei immer mit der ersten 20 µm-Filtrationsstufe, durch die das zuvor gewonnene PN-Volumen mit einer Jetpumpe zum Discfiltrationssystem der ersten Filtrationsstufe gefördert wird. In diesem Discfiltrationssystem der ersten Stufe ist ein Scheibenfilter mit einer Maschenweite von 20 µm eingebaut.

Die in der Abbildung 113 beispielhaft für einen TW-Tag mit 70.000 m³/d enthaltenen beiden Tages-PN-Volumen für den Zulauf und Ablauf resultieren aus einem für die volumenproportionale PN angenommenen Impulsteiler von 500 m³/Teilprobe, woraus sich für diesen TW-Tag insgesamt 140 Teilproben ergeben. Multipliziert man diese mit den voreingestellten Teilprobenvolumina von 695 mL im Zulauf und mit den resultierenden 6940 mL bei 11 Sekunden Ansaugzeit mit einer Edelstahl-Kreiselpumpe ergeben sich damit die ausgewiesenen Tages-PN-Volumina von 97 L für den Zulauf und 972 L für den Ablauf.

Abbildung 113 Schematischer Ablauf bei einer zweistufigen Filtration zur Gewinnung von Feststoffproben mit dem entwickelten MP-Discfiltrationssystem.



Nach dem ersten Filtrationsvorgang mit der ersten Filtrationsstufe wird das daraus resultierende 20 µm-Filtrat einer Zu- oder Ablaufprobe zunächst in einem baugleichen zweiten PN-Behälter für den zweiten Filtrationsvorgang zwischengespeichert, was für die Zulaufproben einen zweiten PN-Behälter von mindestens 150 L und für die Ablaufproben einen von mindestens 1.000 L Fassungsvermögen erfordert. Aus diesem zweiten PN-Behälter mit dem

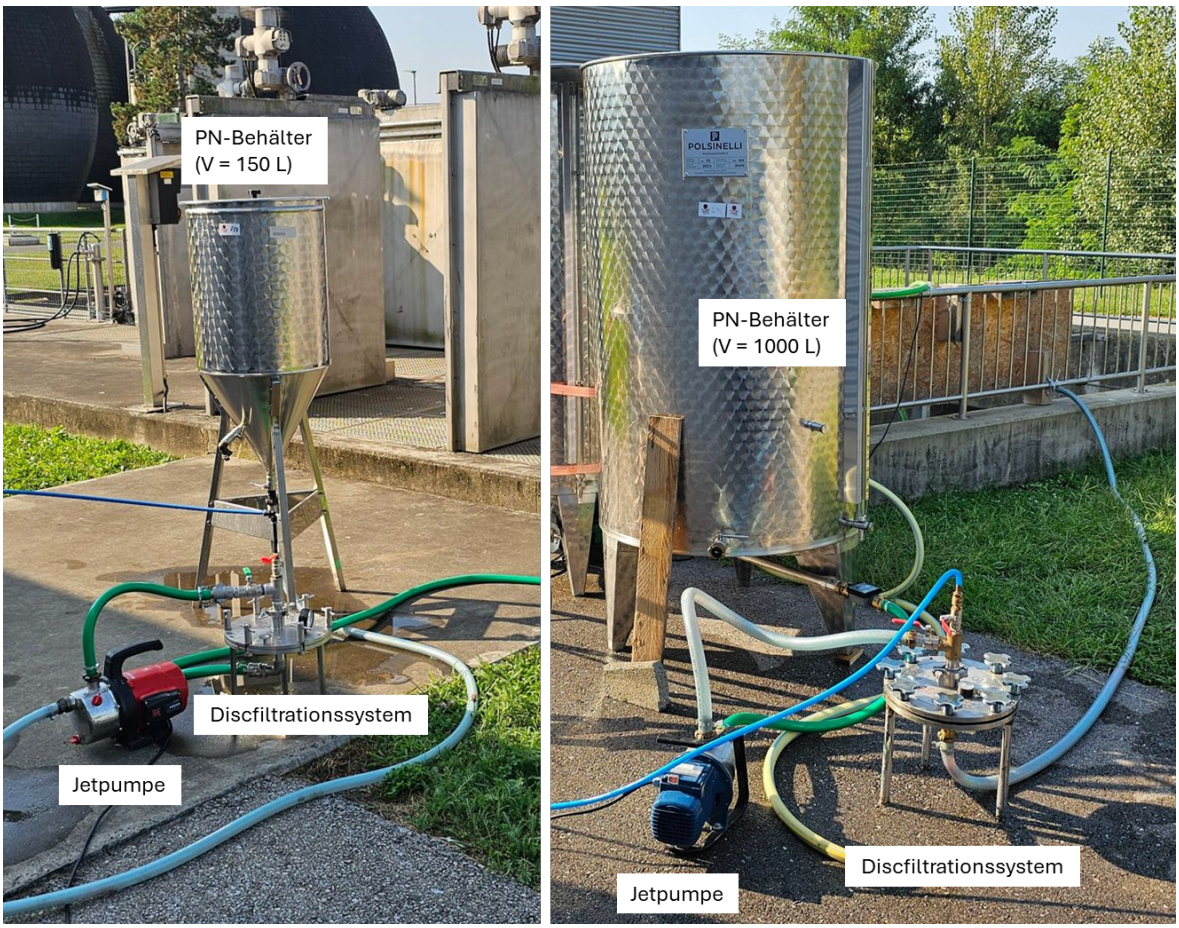
zwischengespeicherten 20 µm-Filtrat erfolgt schließlich der zweite abschließende Filtrationsschritt mit einem 10 µm-Discfiltrationssystem, wofür dieselbe Jetpumpe verwendet werden kann wie für den ersten Schritt. Diese sollte zuvor aber gründlich mit Reinwasser gespült werden, damit in ihr keine Feststoffrückstände aus dem ersten Fitrationsschritt verbleiben. Das beim zweiten Filtrationsschritt entstehende 10 µm-Filtrat kann schließlich entweder in den Zu- oder Ablaufbereich der Kläranlage zurückgeleitet werden.

In Abhängigkeit von der Feststoffbeladung der gewonnenen und zu filtrierenden PN-Volumina sind für die Feststoffgewinnung der Filtrationsrückstände auf den Scheibenfiltern mehrere Wechsel der Scheibenfilter erforderlich. Dabei empfiehlt sich die Anzahl der erforderliche Scheibenfilterwechsel und auch die Zeitperioden zwischen den einzelnen Scheibenfilterwechseln zu dokumentieren.

In der Abbildung 114 sind jeweils ein zweiter Filtrationsvorgang einmal im Zu- und einmal im Ablaufbereich der ARA-Graz dargestellt. Dabei sind auch die beiden verwendeten Jetpumpen, die beiden 10 µm-Discfiltrationssysteme und die beiden PN-Behälter für das Zwischenspeichern der 20 µm-Filtrate zu sehen.

Für die Gewinnung der Feststoffproben sind die Filtrationsrückstände auf den Scheibenfiltern bestmöglich mit der Unterstützung von Spateln, Reinwasser und einem portablen Ultraschallreiniger abzuschaben und abzuspülen und die abgeschabten Feststoffe zum einen in Aluminiumschalen und das feststoffbeladene Spül- und Reinigungswasser zum anderen in 2 L Glasflaschen zu sammeln. Beide Behältnisse sind zuvor entsprechend mit einer eindeutig zuordenbaren ID-Nummer mit einem wasserfesten Stift zu beschriften.

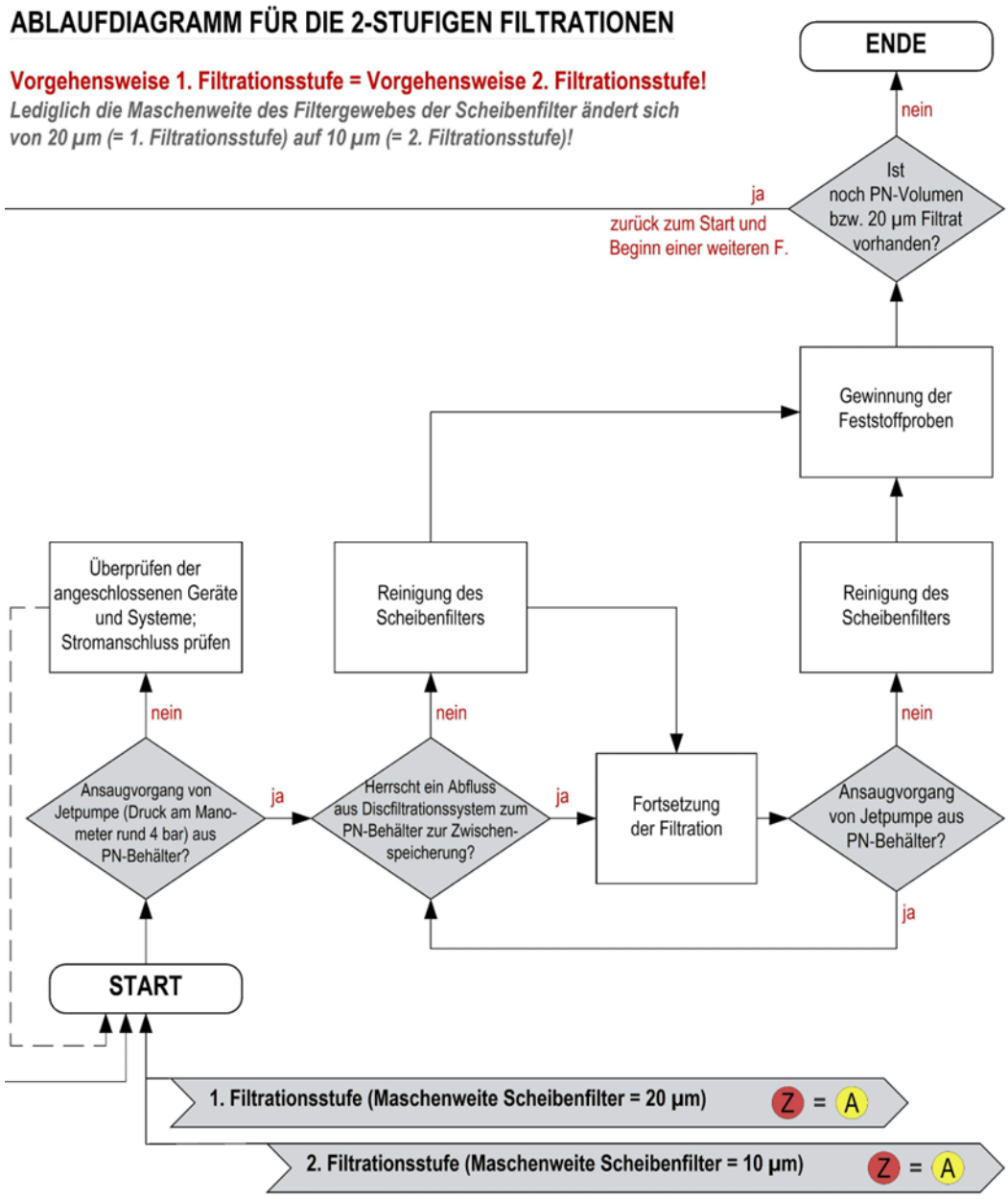
Abbildung 114 Fotos von den zweiten erforderlichen 10 µm-Filtrationsschritten im Zulauf- (links) und Ablaufbereich (rechts) der ARA-Graz (Fotos: G. Gruber, mod.).



9.3.4.1 Ablaufdiagramm für die erforderlichen Arbeitsschritte bei den Filtrationen

In der Abbildung 115 sind die erforderlichen Arbeitsschritte bei der zweistufigen Filtration mit dem entwickelten MP-Discfiltrationssystem der TU Wien für die Gewinnung von Feststoffproben für die MP-Bestimmung dargestellt.

Abbildung 115 Empfohlenes Ablaufdiagramm für die erforderlichen Arbeitsschritte bei der zweistufigen Filtration mit dem entwickelten MP-Discfiltrationssystem.



Auf der Grundlage des Ablaufdiagramms in der Abbildung 115 können die einzelnen Arbeitsschritte während eines gesamten Filtrationsvorgangs mit dem entwickelten MP-Discfiltrationssystem der TU Wien textlich wie folgt beschrieben werden:

- START des 1. oder 2. Discfiltrationsvorganges.
- Erfolgt ein Ansaugvorgang von der Jetpumpe aus dem ersten PN-Behälter oder aus dem zeiten PN-Behälter zur Zwischenspeicherung der 20 µm-Filtrate)?

  - Ja → Beginn der Filtration.
  - Nein → Überprüfen der angeschlossenen Geräte und Systeme bzw. der Stromzufuhr → Zurück zum Start.
- Filtration des PN-IST-Volumens aus dem ersten PN-Behälter über das 20 µm-Discfiltrationssystem zum zweiten PN-Behälter für das Zwischenspeichern der 20 µm-Filtrate.
- Druckverlauf während der Filtration mit dem Manometer am Filtergehäuse überwachen und prüfen, ob noch ein Abfluss aus dem Discfiltrationssystem vorhanden ist.
  - Ja → Fortsetzung der Filtration
  - Nein → Reinigung des Scheibenfilters inkl. der Gewinnung der Feststoffe von den verwendeten Scheibenfiltern (siehe Kapitel 9.3.5). Die dabei von den Scheibenfiltern abschabbaren Feststoffmengen werden in beschrifteten Aluminiumschalen und das feststoffbefrachtete Spül- und Reinigungswasser in 2 L Glasflaschen gesammelt (siehe Kapitel 9.3.5).
- Fortsetzung der Filtration des PN-IST-Volumens aus dem ersten PN-Behälter oder des zwischengespeicherten 20 µm-Filtrats aus dem zweiten PN-Behälter bis der gesamte Inhalt der PN-Behälter filtriert ist. Dabei sollten die dafür erforderlichen Scheibenfilterwechsel und die sich ergebenden Filtrationszeiten dazwischen protokolliert werden.
- Nach dem Leerpumpen der PN-Behälter mit der Jetpumpe sollten die PN-Behälter gründlich mit Reinwasser gereinigt und auch das dabei entstehende Reinigungswasser in den PN-Behältern noch mit den Jetpumpen über den letzten verwendeten Scheibenfilter filtriert werden.
- Nach der Filtration des Reinigungswassers in den PN-Behältern über den letzten verwendeten Scheibenfilter sind auch die Jetpumpen selber noch gründlich mit Reinwasser zu spülen, damit keine Feststoffe in den Jetpumpen für den nächsten Filtrationsprozess verbleiben.
- ENDE des 1. oder 2. Discfiltrationsvorganges.

9.3.5 Empfohlene Vorgehensweise bei der Reinigung der Scheibenfilter inkl. der Gewinnung der Feststoffproben

Die Reinigung der Scheibenfilter und der damit einhergehenden Gewinnung der Feststoffproben als Filtrationsrückstände von den Scheibenfiltern ist ein wesentlicher Arbeitsschritt, auf den im Folgenden noch näher eingegangen wird.

Dabei lassen sich leider zumeist keine allgemeingültigen Aussagen oder Prognosen hinsichtlich der dafür erforderlichen Anzahl an erforderlichen Filterwechsel für eine vollständige Filtration einer gewonnenen MP-Probe tätigen, was einen wesentlichen Einfluss auf die erforderliche Dauer dieses Arbeitsschrittes hat, der im Unterschied zur Probenahme auch leider nicht automatisiert durchgeführt werden kann.

Grundsätzlich ist die Reinigung eines Scheibenfilters immer dann erforderlich, wenn entweder aus dem verwendeten Discfiltrationssystem kein Abfluss mehr erfolgt oder wenn die Jetpumpe kein Probenvolumina mehr aus dem PN-Behälter absaugen kann.

In der Abbildung 116 sind die erforderlichen Zeitpunkte zur Reinigung der verwendeten Scheibenfilter in Abhängigkeit der jeweiligen Filtrationsstufe zusammenfassend dargestellt. Jene Person, die auf der Kläranlage mit der Durchführung der Filtrationen betraut ist, muss während einer jeden Filtrationsdauer den Druckverlauf im Discfiltrationssystem über das dort eingebaute Manometer überwachen und auf der Grundlage des Ablaufdiagrammes in der Abbildung 115 entscheiden, wann eine Reinigung des Scheibenfilters erforderlich ist.

Abbildung 116 Erforderliche Zeitpunkte zur Reinigung eines Scheibenfilters in Abhängigkeit der beiden Filtrationsstufen.

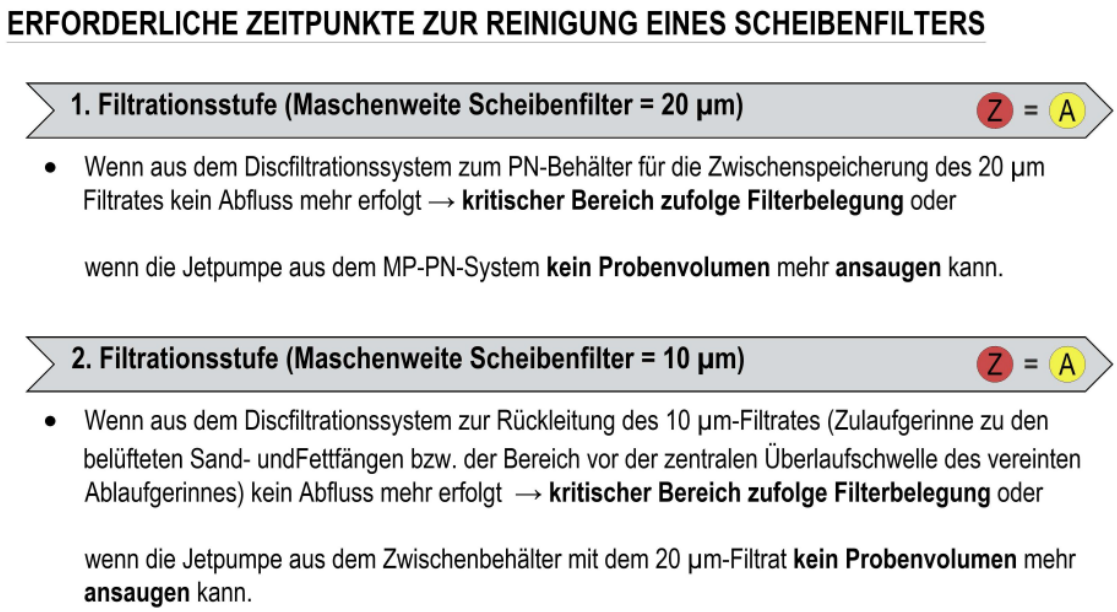


Abbildung 117 zeigt ein empfohlenes Ablaufdiagramm mit allen erforderlichen Arbeitsschritten für die Reinigung eines Scheibenfilters inkl. der einhergehenden Gewinnung der Feststoffproben für die MP-Bestimmung. Die dort empfohlene Vorgehensweise ist für beide

Filtrationsstufen (20 µm und 10 µm) gleich anwendbar. Sobald auf der Grundlage der Abbildung 116 eines der dort angeführten Kriterien erreicht ist, wird die Filtration gestoppt, der verwendete Scheibenfilter aus dem Discfiltrationsgehäuse ausgebaut und mit dem Reinigungsprozess des Scheibenfilters und der Gewinnung der Feststoffprobe begonnen. Die dafür erforderlichen Arbeitsschritte können textlich wie folgt beschrieben werden:

- START mit der Reinigung eines 20 µm- oder 10 µm-Scheibenfilters.
- Ausschalten der dem Discfiltrationssystem vorgeschalteten Jetpumpe, wodurch der Absaugvorgang aus dem PN-Behälter beendet wird. Im Discfiltrationssystem herrscht danach ein Druck von ca. 4 bar, der am Manometer des Discfiltrationsgehäuses angezeigt wird.
- Danach den Luftschlauch eines Kompressors für die Einleitung von Druckluft in das Discfiltrationsgehäuse am oberen Gehäuseteil anschließen, den Kompressor einschalten und damit den Druck im Filtrationssystem auf ca. 5 bar erhöhen. Sobald dieser Druck erreicht ist, kann der Kompressor wieder ausgeschaltet werden.
- Warten bis der im System erhöhte Luftdruck von ca. 5 bar wieder abnimmt. Die dafür erforderliche Zeitdauer beträgt nach den auf der ARA-Graz gemachten Erfahrungen während der durchgeführten Messkampagnen ca. 5–10 Minuten. Sollte der Druck am Manometer durch Abwarten dieser Zeitdauer nicht abnehmen, muss der Scheibenfilter unter Druck („Ausbau unter Druck“) aus dem Discfiltrationsgehäuse ausgebaut werden. Dieser Umstand kann darauf zurückgeführt werden, dass zufolge der Filterbelege des Scheibenfilters der kritische Zeitpunkt für seinen Reinigungsbeginn bereits überschritten wurde.
- Danach Öffnen des Discfiltrationssystems durch das Lösen der Schrauben am Außenrand des oberen Gehäuseteils. Vorsichtiges Abheben des oberen Gehäuseteils vom unteren.
- **ACHTUNG!** Wenn der „Ausbau unter Druck“ erfolgen muss, besteht zum einen Verletzungsgefahr für das ausführende Personal und zum anderen kann es dadurch zu einem möglichen Probenverlust kommen!
- Der Scheibenfilter wird nach dem Öffnen des Discfiltrationssystems vorsichtig mit einer Laborpinzette aus dem unteren Gehäuseteil entfernt (Abbildung 118) und für den weiteren Reinigungsprozess und die Feststoffgewinnung in eine Edelstahlschale gelegt.
- **ACHTUNG!** Dabei ist auf einen möglichen Probenverlust und eine MP-Kontamination von außen zu achten!

- Die Filtrationsrückstände auf dem Scheibenfilter werden zunächst mit einem Spatel vom in der Edelstahlschale liegenden Scheibenfilter abgeschabt (Abbildung 119) und in einer beschrifteten Aluminiumschale gesammelt (Abbildung 120).
- Die restlichen vor allem im Filtergewebe verbleibenden Feststoffe werden mit zugegeben Reinwasser und einem portablen Ultraschallreiniger in der Edelstahlschale aus dem Filtergewebe entfernt (Abbildung 121) und das dabei in der Edelstahlschale entstehende, feststoffbeladene Reinigungs- und Spülwasser schließlich mit einem Trichter in verschließbare 2 L Glasflaschen für den Transport ins Labor abgefüllt (Abbildung 122 und Abbildung 123).

Abbildung 117 Ablaufdiagramm zur Reinigung eines Scheibenfilters inkl. der Gewinnung der Feststoffproben für die MP-Bestimmung.

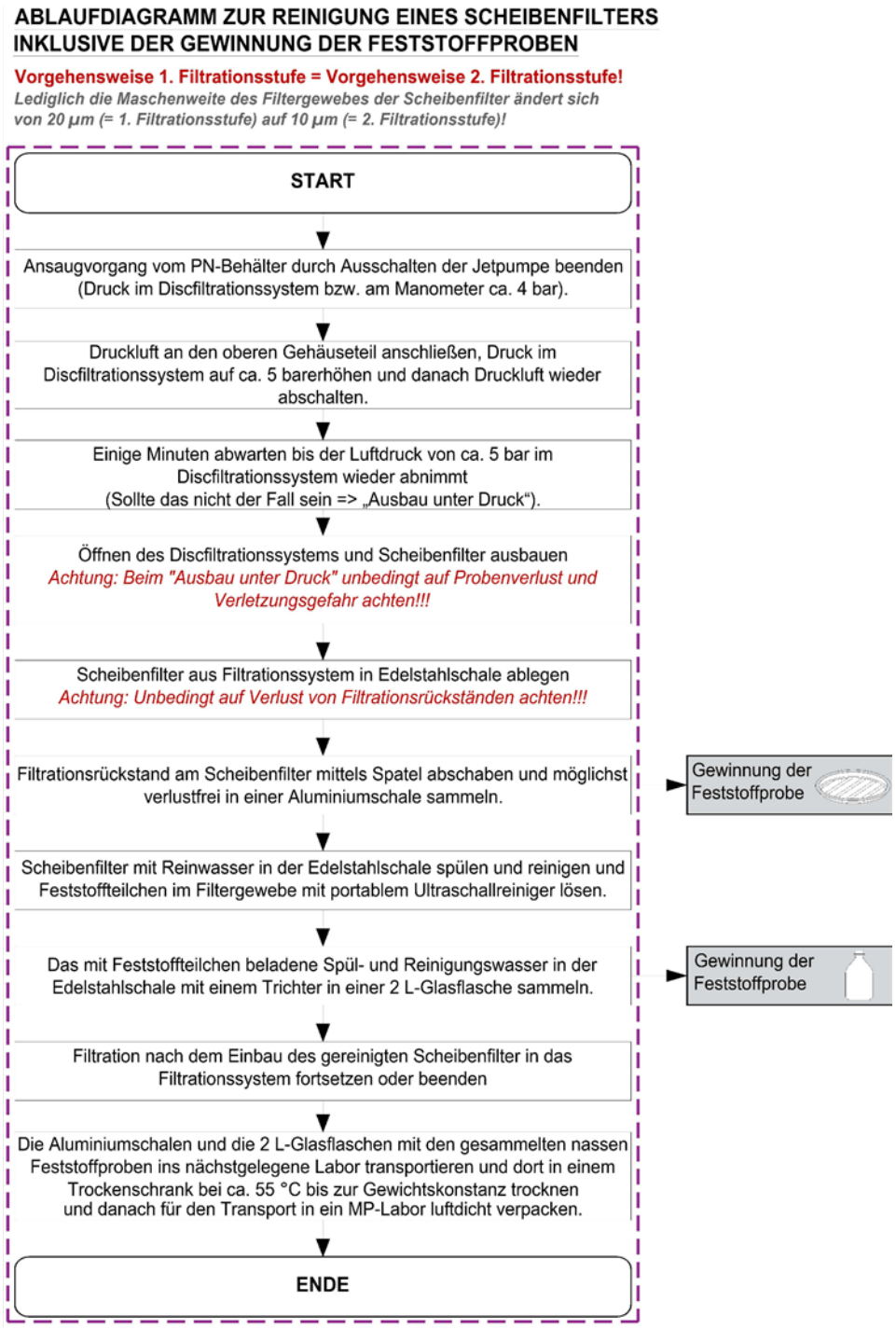


Abbildung 118 Ausbau des belegten Scheibenfilters aus dem Discfiltrationssystem (Foto: G. Gruber, mod.).



Abbildung 119 Abschaben der Filtrationsrückstände vom Scheibenfilter (Foto: G. Gruber, mod.).



Abbildung 120 Aluminiumschale mit den von einem Scheibenfilter mit einem Spatel abgeschabten Feststoffen (Foto: G. Gruber, mod.).



Abbildung 121 Entfernen und Reinigen der im Gewebefilter verbleibenden Feststoffteilchen mit Reinwasser und einem portablen Ultraschallreiniger in der Edelstahlschale (Foto: G. Gruber, mod.).

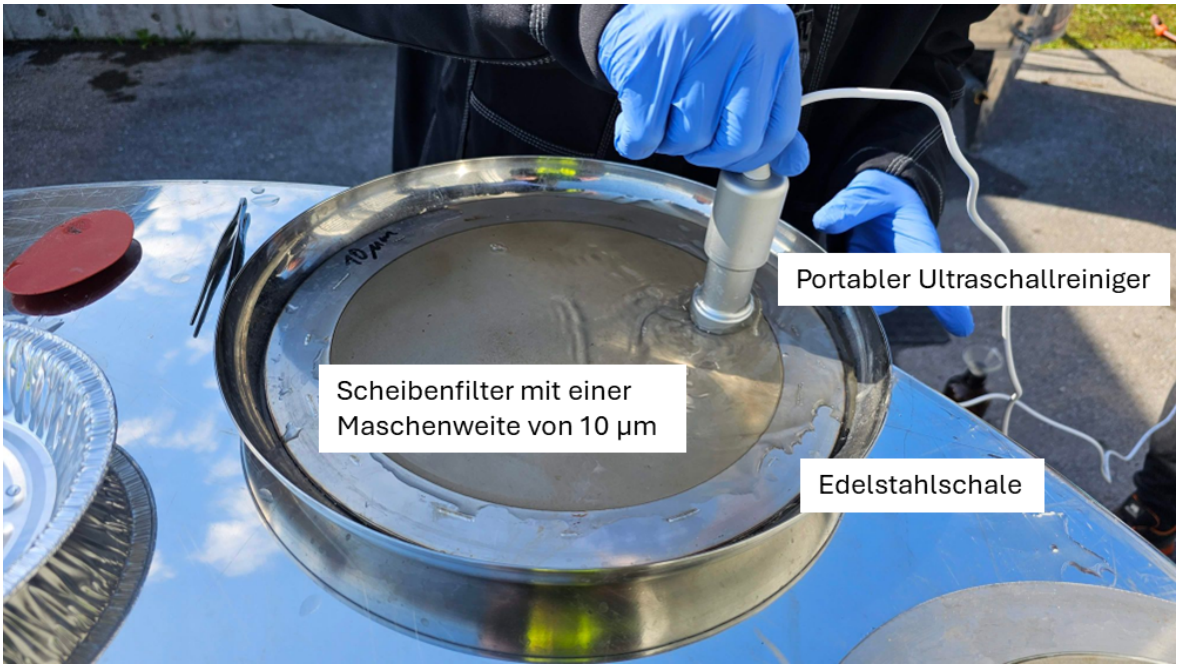


Abbildung 122 2 L-Glasflasche mit Trichter zum Abfüllen und Sammeln des feststoffbeladenen Spül- und Reinigungswasser aus der Edelstahlschale (Foto: G. Gruber, mod.).

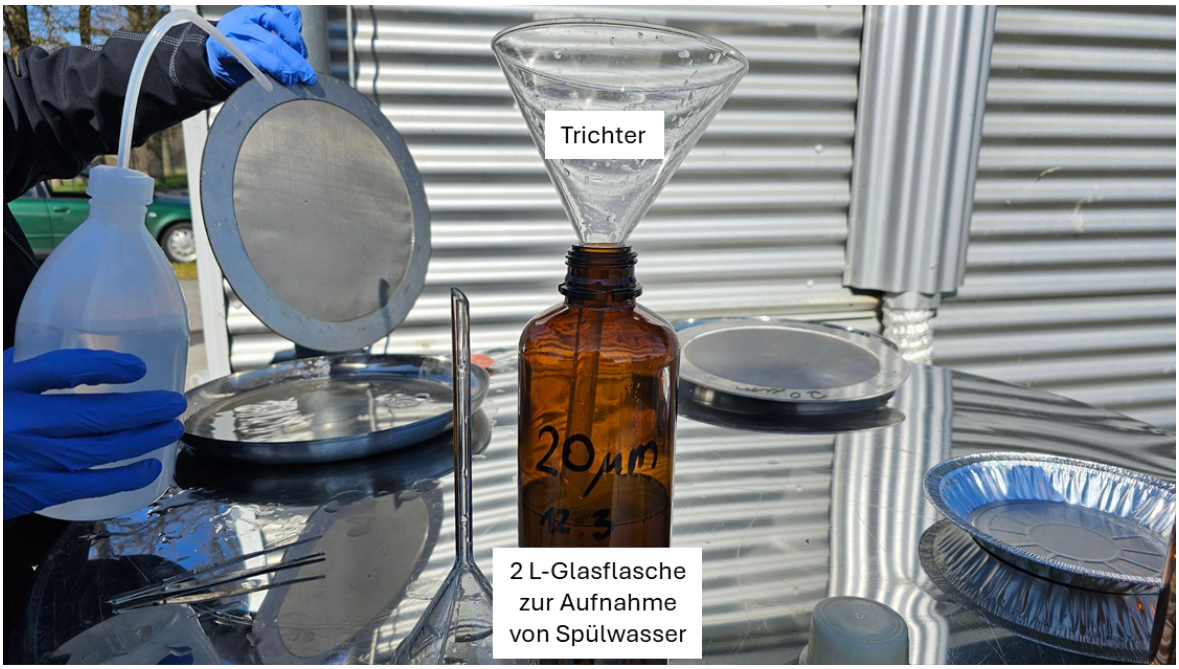
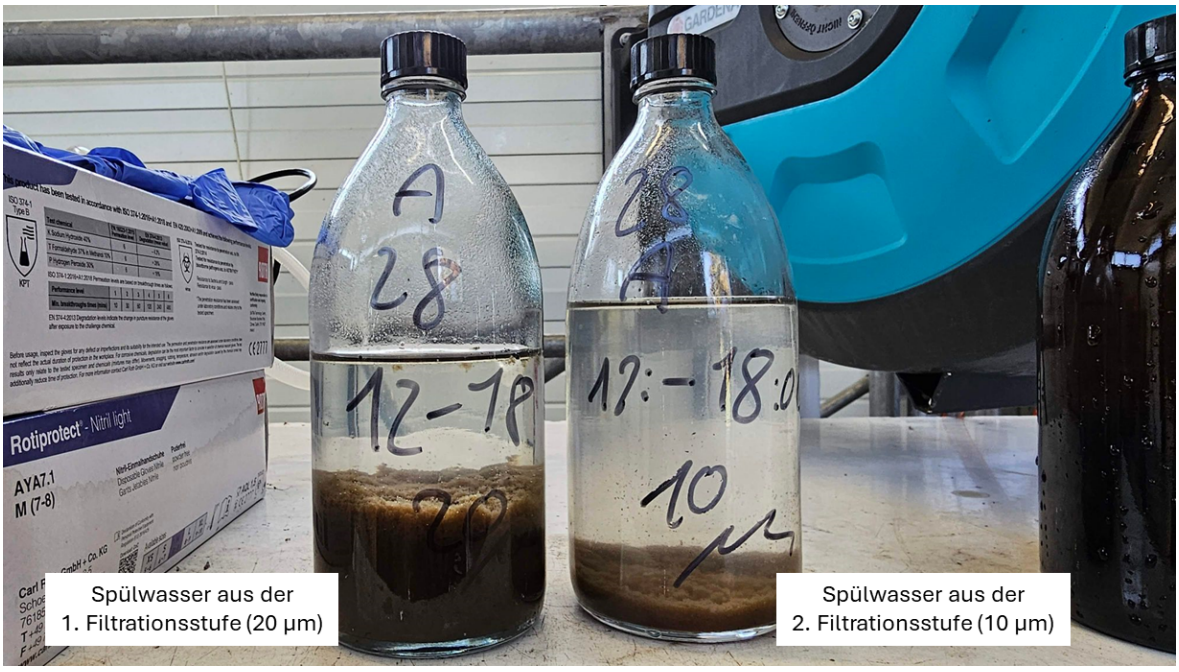


Abbildung 123 2 L-Glasflaschen zur Aufnahme der feststoffbeladenen Spül- und Reinigungswässer von einer 20 µm- (linke Flasche) und einer 10 µm-Scheibenfilterreinigung (rechte Flasche) (Foto: G. Gruber, mod.).



9.4 SOP-Paket 3: Probenaufbereitung

9.4.1 Einleitung

Der Probenaufbereitung im Labor kommt eine zentrale Rolle zu, sowohl im Hinblick auf die allgemeine Anreicherung von Mikroplastik in der Probe als auch zur gezielten Entfernung störender Matrixbestandteile, die die analytischen Messungen beeinträchtigen können.

Die im Folgenden beschriebenen SOPs zur Probenaufbereitung wurden anhand der im Projekt angefallenen Proben entwickelt und hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit getestet. Trotz der bereits erzielten Ergebnisse besteht weiterhin Optimierungspotenzial. Hinweise auf mögliche zukünftige Anpassungen werden jeweils am Ende der SOPs nach den Verfahrensschritten diskutiert.

Abbildung 124 zeigt ein Fließschema der erforderlichen Aufreinigungsschritte, wie sie im Rahmen dieses Projekts typischerweise angewendet wurden. Die konkrete Abfolge der Aufbereitungsschritte variierte jedoch, abhängig von der Probenbeschaffenheit sowie dem jeweiligen Entwicklungsstand im Projektverlauf, zum Teil deutlich. Insbesondere die Reihenfolge der durchgeführten Fenton-Oxidationen war häufig unterschiedlich, sodass keine einheitliche Standardabfolge festgelegt werden konnte (siehe auch Kapitel 9.4.8).

Abbildung 124 Fließschema der Probenaufbereitungsschritte für Zulauf- und Ablaufproben.



9.4.2 SOP 3a – Fenton-Oxidation für unbehandelte Kläranlagen-Zulaufproben

Zweck:

Diese SOP beschreibt die oxidative Entfernung biogener Bestandteile aus getrockneten, unbehandelten Kläranlagen-Zulaufproben.

Benötigte Materialien:

- Zu analysierende Probe (bis zu 30 g)
- 2 Liter-Becherglas
- H_2O_2 (Wasserstoffperoxid), 30 %
- 0,05 mol/L $FeSO_4$-Lösung (Eisensulfat)
- Heizplatte
- Rundfilter (Edelstahlgewebe oder PTFE)
- Persönliche Schutzausrüstung (PSA)

  Anmerkung: Alle verwendeten Chemikalien sind über Filter (PTFE oder Glasfaser) mit einer Porengröße/Partikelretention ≤ 5 µm vorzufiltrieren.

Verfahren:

1. **Vorbereitung der Probe für die chemische Aufbereitung:**
   Getrocknetes Probematerial (siehe Anmerkung A) in ein 2 Liter-Becherglas überführen (siehe Anmerkung B).

2. **Initiale Fenton-Reaktion:**
   Bei der Handhabung der folgenden Arbeitsschritte Vorsicht walten lassen und geeignete PSA tragen. 150 mL H_2O_2 zur Probe hinzufügen (siehe Anmerkung C). Den Messbecher auf eine Heizplatte stellen und erhitzen, bis die Schaumbildung durch den oxidativen Abbau deutlich zunimmt. Anschließend 5–15 mL Eisensulfat-Lösung hinzufügen (siehe Anmerkung D). Bei beginnender Fenton-Reaktion den Messbecher von der Heizplatte nehmen und die Probe abreagieren lassen. Bei übermäßiger Schaumbildung und drohendem Überlaufen kann der Reaktionsansatz mit H_2O unter Verwendung einer Spritzflasche abgekühlt werden. Die Reaktion kann mehrere Minuten stabil anhalten.

3. **Wiederholte Zugabe von Eisensulfat-Lösung:**
   Nach dem Abklingen der initialen Fenton-Reaktion werden weitere 5–15 mL Eisensulfat-Lösung hinzugegeben und der Ansatz gegebenenfalls erneut erhitzt, bis die Reaktion erneut einsetzt (siehe Anmerkung E).

4. **Wiederholte Zugabe von Wasserstoffperoxid:**
   Sobald durch die Zugabe von $FeSO_4$-Lösung die Fenton-Reaktion nicht mehr gestartet werden kann, werden weitere 150 mL H_2O_2 hinzugegeben (siehe Anmerkung E). Falls erforderlich, wird der Reaktionsansatz erneut auf der Heizplatte erhitzt und weitere $FeSO_4$-Lösung zudosiert.

5. **Filtration/Chemikalienwechsel**
   Metall- oder PTFE-Rundfilter auf einen geeigneten Filterhalter setzen, und die Probe mittels Vakuumfiltration auf dem Filter aufkonzentrieren. Das Filtrat wird entsorgt.

6. **Wiederholter Durchgang der Fenton-Oxidation**
   Bei Bedarf ist der Ablauf gemäß den Schritten 1 bis 5 zu wiederholen, bis die vorhandene Biomasse ausreichend oxidiert wurde.

Anmerkungen für zukünftige Adaptierungen der SOP:

- **Anmerkung A**: Die Probe muss nicht vollständig getrocknet werden und kann zur Optimierung des Prozessablaufs auch feucht sowie unmittelbar nach Probenahme und Filtration mit Fenton-Oxidation behandelt werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Restfeuchte des Probenmaterials die Verdünnung des eingesetzten Wasserstoffperoxids nicht signifikant beeinflusst.

- **Anmerkung B**: Aufgrund der hohen Reaktivität und Schaumbildung während der initialen Fenton-Oxidation sollten möglichst große Behälter verwendet werden. Bei kleineren Probenmengen (< 10 g) können jedoch auch Gefäße mit geringerem Volumen geeignet sein.

- **Anmerkung C:** Die eingesetzte Menge an H_2O_2 sollte sich nach der Probenmenge richten und bezieht sich in dieser SOP auf die getesteten Trockensubstanzen zwischen 6 und 30 g. Der zu oxidierende Feststoff muss in jedem Fall vollständig benetzt sein.

Eine zu hohe Dosierung von H_2O_2 kann zu übermäßiger Schaumbildung und zum Überlaufen des Reaktionsansatzes führen.

- **Anmerkung D:** Die benötigte Menge an $FeSO_4$-Lösung, um die Fenton-Reaktion initial zu starten, variierte stark zwischen den einzelnen getesteten Proben. Eine zu hohe Dosierung kann eine übermäßige Reaktion auslösen, die zum Überlaufen des Reaktionsansatzes führt. Es wird daher empfohlen, mit geringen Dosierungen an $FeSO_4$-Lösung zu starten und gegebenenfalls nachzudosieren.

- **Anmerkung E:** Schritte 3 und 4 können übersprungen werden, und die Fenton-Oxidation kann nach dem Abfiltrieren auch mit frischen Chemikalien neu angesetzt werden. Da die Filtration jedoch zeitaufwendig ist, hat sich die erneute Zugabe von $FeSO_4$ bzw. H_2O_2 als ressourcen- und zeitsparender erwiesen. Drei bis vier Wiederholungen der $FeSO_4$-Zugabe haben sich im Durchschnitt als sinnvoll erwiesen, das optimale Vorgehen muss jedoch individuell ermittelt werden. Die zusätzliche Zugabe von frischem H_2O_2 sollte nur einmal erfolgen.

9.4.3 SOP 3b – Fenton-Oxidation für unbehandelte Kläranlagen-Ablaufproben

Zweck:

Diese SOP beschreibt die oxidative Entfernung biogener Bestandteile aus getrockneten, unbehandelten Kläranlagen-Ablaufproben.

Benötigte Materialien:

- Zu analysierende Probe (bis zu 20 g)
- 2 Liter-Becherglas
- H_2O_2 (Wasserstoffperoxid), 30 %
- 0,05 mol/L $FeSO_4$-Lösung (Eisensulfat)
- Heizplatte
- Rundfilter (Edelstahlgewebe oder PTFE)
- Persönliche Schutzausrüstung (PSA)

  Anmerkung: Alle verwendeten Chemikalien sind über Filter (PTFE oder Glasfaser) mit einer Porengröße/Partikelretention ≤ 5 µm vorzufiltrieren.

Verfahren:

1. **Vorbereitung der Probe für die chemische Aufbereitung:**
   Getrocknetes Probematerial (siehe Anmerkung A in Kapitel 9.4.2) in ein 2 Liter-Becherglas überführen (siehe Anmerkung B in Kapitel 9.4.2).

2. **Zugabe von Wasserstoffperoxid:**
   Bei der Handhabung der folgenden Arbeitsschritte Vorsicht walten lassen und geeignete PSA tragen. 100 mL H_2O_2 zur Probe hinzufügen (siehe Anmerkung C in Kapitel 9.4.2). Den Messbecher auf eine Heizplatte stellen und erhitzen, bis die Schaumbildung durch den oxidativen Abbau deutlich zunimmt. Anschließend den Reaktionsansatz von der Heizplatte nehmen und die Probe abreagieren lassen (siehe Anmerkung A). Bei übermäßiger Schaumbildung und drohendem Überlaufen den Reaktionsansatz mit H_2O unter Verwendung einer Spritzflasche abkühlen. Die Reaktion kann mehrere Minuten stabil anhalten.

3. **Zugabe von Eisensulfat-Lösung**
   Nach dem Abklingen der initialen Reaktion schrittweise 3 mL $FeSO_4$-Lösung hinzufügen, bis die Fenton-Reaktion einsetzt, und abwarten, bis die Probe abreagiert ist. Diesen Schritt mehrfach wiederholen, bis die Zugabe von $FeSO_4$ keinen Effekt mehr zeigt. Gegebenenfalls den Reaktionsansatz zwischendurch auf der Heizplatte erhitzen.

4. **Wiederholte Zugabe von Wasserstoffperoxid:**
   Sobald durch die Zugabe von $FeSO_4$-Lösung die Fenton-Reaktion nicht mehr gestartet werden kann, weitere 100 mL H_2O_2 hinzufügen. Falls erforderlich, den Reaktionsansatz erneut auf der Heizplatte erhitzen und weitere $FeSO_4$-Lösung zudosieren, wie in Schritt 3 erläutert (siehe Anmerkung E in Kapitel 9.4.2).

5. **Filtration/Chemikalienwechsel**
   Metall- oder PTFE-Rundfilter auf einen geeigneten Filterhalter setzen, und die Probe mittels Vakuumfiltration auf dem Filter aufkonzentrieren. Das Filtrat wird entsorgt.

6. **Wiederholter Durchgang der Fenton-Oxidation**
   Bei Bedarf ist der Ablauf gemäß den Schritten 1 bis 5 zu wiederholen, bis die vorhandene Biomasse ausreichend oxidiert wurde.

Anmerkungen für zukünftige Adaptierungen der SOP:

- **Anmerkung A**: Bei einem Großteil der getesteten Ablauf-Proben war keine Zugabe von $FeSO_4$-Lösung erforderlich, um einen starken oxidativen Abbau in Gang zu setzen. Die Proben reagierten bereits allein durch Erhitzen sehr stark. Für die Zugabe von $FeSO_4$ sollte daher erst der Abschluss der ersten Reaktionsphase abgewartet werden.

9.4.4 SOP 3c – Wiederholte Anwendung der Fenton-Oxidation auf Kläranlagen-Zulauf- und Ablaufproben

Zweck:

Diese SOP beschreibt die oxidative Entfernung biogener Bestandteile von bereits mittels Fenton-Oxidation, Entfettung und optional auch Dichte-Separation vorbehandelten Kläranlagen Zulauf- und Ablaufproben.

Benötigte Materialien:

- Zu analysierende Probe
- Becherglas in (von Probenmenge abhängiger) geeigneter Größe
- H_2O_2 (Wasserstoffperoxid), 30 %, stabilisiert Ph. Eur., USP, BP
- 0,07 mol/L $FeSO_4$-Lösung (Eisensulfat)
- Rundfilter (PTFE, Porengröße 5 µm)
- Magnetrührer

  Anmerkung: Alle verwendeten Chemikalien sind über Filter (PTFE oder Glasfaser) mit einer Porengröße/Partikelretention ≤ 5 µm vorzufiltrieren.

Verfahren:

1. **Überführung der Probe in das Reaktionsgefäß**
   Trockene Proben werden direkt in ein Becherglas überführt.
   Frisch filtrierte beziehungsweise feuchte, auf einem Filter befindliche Proben werden mit H_2O_2 vom Filter in das Becherglas gespült.

2. **Start der Fenton-Reaktion**
   Trockene Proben werden in Abhängigkeit von der Menge des Probenmaterials mit 20-80 mL H_2O_2 bedeckt und durch Rühren darin möglichst gut suspendiert. Es werden 0,25 mL $FeSO_4$-Lösung pro mL H_2O_2 zugegeben.
   Für Proben, die direkt mit H_2O_2 in das Becherglas gespült wurden, wird 0,25 mL $FeSO_4$-Lösung pro mL verwendetem H_2O_2 zugegeben.

3. **Nachdosierung von Wasserstoffperoxid**
   Nachdem das Reaktionsmaximum, welches durch ein kurzzeitig starkes Aufkochen der

Reaktionsmischung erkennbar ist, erreicht wurde, wird in 5 mL Einheiten H_2O_2 nachdosiert, bis keine Reaktionsintensivierung nach weiterer H_2O_2-Zugabe beobachtet werden kann.

4. **Filtration/Chemikalienwechsel**
   PTFE-Rundfilter auf einen geeigneten Filterhalter setzen, und die Probe mittels Vakuumfiltration auf dem Filter aufkonzentrieren. Das Filtrat wird entsorgt.

5. **Wiederholter Durchgang der Fenton-Oxidation**
   Bei Bedarf ist der Ablauf gemäß den Schritten 1 bis 4 zu wiederholen, bis die vorhandene Biomasse ausreichend oxidiert wurde. Die Anzahl der notwendigen Wiederholungen ist für jede Probe individuell zu wählen. Eine ausreichende Oxidation ist daran zu erkennen, dass auch bei der Durchführung weiterer Wiederholungen keine Reduktion der Probenmenge zu beobachten ist.

Anmerkungen für zukünftige Adaptierungen der SOP:

- **Anmerkung A**: Da bei der Verwendung von trockenem Probenmaterial nur ein unzureichendes Maß an Suspendierung erreicht werden kann, sind frisch filtrierte beziehungsweise feuchte Proben zu präferieren. Dies gewährleistet eine für die Fenton-Reaktion besser zugängliche Probe und somit eine effizientere Oxidation.

9.4.5 SOP 3d – Dichte-Separation

Zweck:

Diese SOP beschreibt die Entfernung anorganischer Bestandteile von bereits mittels Fenton-Oxidation und Entfettung vorbehandelten Kläranlagen Zulauf- und Ablaufproben.

Benötigte Materialien:

- Zu analysierende Probe
- 2 Liter Becherglas
- Dichtetrennungsapparatur bestehend aus: 1 L Erlenmeyerkolben mit Schliff, Aufsatz mit Reservoir, Ein- und Auslass-Rohr
- Gesättigte K_2CO_3- (Kaliumcarbonat) Lösung (Dichte 1,54 g/cm^3)
- Rundfilter (PTFE, Porengröße 5 µm)
- Magnetrührer
- Ultraschallbad

  Anmerkung: Alle verwendeten Chemikalien sind über Filter (PTFE oder Glasfaser) mit einer Porengröße/Partikelretention ≤ 5 µm vorzufiltrieren.

Verfahren:

1. **Suspendierung der Probe in der Dichtetrennungs-Lösung**
   Die Probe wird durch mehrstündiges Rühren (1-3 Stunden) in der Kaliumcarbonat-Lösung suspendiert (siehe Anmerkung A).

2. **Überführung der Probe in die Dichtetrennungs-Apparatur**
   Die zuvor in Kaliumcarbonat-Lösung suspendierte Probe wird vollständig in die Dichtetrennungs-Apparatur überführt (Abbildung 125). Die Apparatur wird mit Kaliumcarbonat-Lösung aufgefüllt und für eine Stunde im Ultraschallbad behandelt.

3. **Durchführung der Dichtetrennung**
   Kaliumcarbonat-Lösung wird in die Apparatur geleert, wodurch diese zum Überlaufen gebracht wird. Dieser, die Probe enthaltende, Überlauf wird aufgefangen. Insgesamt wird so viel Kaliumcarbonatlösung zugegeben, dass 1 L Überlauf gesammelt werden kann. Die Apparatur wird für Absetzprozesse von feineren Partikeln über Nacht stehen

gelassen. Danach werden zusätzlich 500 mL Überlauf durch Zugabe von Kaliumcarbonat-Lösung gesammelt.

4. **Filtration der Probe**
   Die im gesammelten Überlauf befindliche Probe wird auf einen PTFE-Rundfilter mittels Vakuumfiltration filtriert.

Anmerkungen für zukünftige Adaptierungen der SOP:

- **Anmerkung A**: Für eine erfolgreiche Dichte-Separation ist eine vollständige Suspension der Probe in der Dichtetrennungs-Lösung erforderlich. Dies ist bei getrockneten Proben sehr schwer zu erreichen, weshalb feuchte beziehungsweise frisch filtrierte Proben zu präferieren sind.

Abbildung 125 Aufbau der Dichtetrennungsapparatur



9.4.6 SOP 3e – Entfernung von Fett-Rückständen

Zweck:

Diese SOP beschreibt die Entfernung von Fettrückständen in Kläranlagen-Zulauf oder -Ablaufproben mittels Verseifung.

Benötigte Geräte und Materialien:

- Zu analysierende Probe
- 0,038 mol/L NaOH (Natronlauge)
- Becherglas
- Ultraschallbad
- Rundfilter (PTFE, Porengröße 5 µm)

  Anmerkung: Alle verwendeten Chemikalien sind über Filter (PTFE oder Glasfaser) mit einer Porengröße/Partikelretention ≤ 5 µm vorzufiltrieren.

Verfahren:

1. **Verseifung**
   Die filtrierte Probe wird mit NaOH-Lösung in ein Becherglas gespült und wird in dieser 1-7 Tage bei Raumtemperatur inkubiert. Bei sehr fetthaltigen Proben kann eine Behandlung im Ultraschallbad zu einer Verkleinerung der Verklumpungen von Fettrückständen und somit zu einer effizienteren Verseifungsreaktion beitragen.

2. **Filtration/Chemikalienwechsel**
   Nach erfolgter Verseifungsreaktion wird die Probe auf einen PTFE-Rundfilter mittels Vakuumfiltration filtriert. Das Filtrat wird entsorgt.

3. **Wiederholung der Verseifung**
   In Abhängigkeit der Probenmenge und -beschaffenheit ist es notwendig die Verseifungsreaktion mehrmals zu wiederholen. Wiederholungen des Verseifungsschrittes werden durchgeführt, bis keine Klumpenbildung des Probenmaterials mehr zu beobachten ist.

9.4.7 SOP 3f – Entfernung von Cellulose-Rückständen

Zweck:

Diese SOP beschreibt die Entfernung von Zellulose-Rückständen in Kläranlagen-Zulauf oder Ablaufproben.

Benötigte Materialien:

- Zu analysierende Probe
- 1-Ethyl-3-methylimidazoliumacetat (EMIM OAc)
- Becherglas
- Rundfilter (PTFE, Porengröße 5 µm)

  Anmerkung: Alle verwendeten Chemikalien sind über Filter (PTFE oder Glasfaser) mit einer Porengröße/Partikelretention ≤ 5 µm vorzufiltrieren.

Verfahren:

1. **Inkubation in EMIM OAc**
   Die auf einem Filter befindliche Probe wird in einem Becherglas in EMIM OAc für 1-7 Tage bei Raumtemperatur inkubiert. Die erforderliche Inkubationsdauer ist von der enthaltenen Cellulose-Menge abhängig. Als Kontrolle wird parallel die Inkubation eines Baumwollfadens mitgeführt. Für ein effizientes Auflösen von Cellulose in EMIM OAc ist es notwendig wasserfrei, und dementsprechend mit getrockneten Proben, zu arbeiten.

2. **Filtration**
   Nach erfolgter Inkubation wird die Probe auf einen PTFE-Rundfilter mittels Vakuumfiltration filtriert.

9.4.8 Diskussion und Ausblick

Die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Arbeiten fanden an zwei verschiedenen Standorten statt, was einerseits die Standardisierung des Probenaufbereitungsprozesses erschwerte, andererseits jedoch ermöglichte, die Arbeitsschritte in einem breiteren Kontext zu erproben. Die Schritte Fenton-Oxidation sowie Entfettung wurden typischerweise an beiden Standorten durchgeführt, da diese vor der Probenübergabe durchgeführten Arbeitsschritte noch nicht vollständig abgeschlossen waren. Es bleibt zu klären, ob diese Aufsplittung der Verfahrensschritte sinnvoll ist oder ob die Probe bereits vor der Dichteseparation soweit aufgereinigt werden kann, dass anschließend keine Entfettung oder Fenton-Oxidation mehr notwendig ist. Die aktuellen Ergebnisse deuten darauf hin, dass zu mindestens ein zusätzlicher Entfettungsschritt nach der Dichteseparation sinnvoll ist. Weiters konnte eine genaue Bewertung der Häufigkeit der Wiederholungen der Fenton-Oxidation nicht abschließend vorgenommen werden. Die erforderliche Anzahl ist in der Regel individuell zu bestimmen.

Ein weiterer kritischer Aspekt betraf speziell in den Zulaufproben Matrixbestandteile, welche im Zuge des Aufreinigungsprozesses nicht entfernt werden konnten und von der EA-OEM in den anschließenden Analysen fälschlicherweise als Mikroplastik detektiert wurden. Hierbei handelt es sich möglicherweise um mineralölbasierte Rückstände oder synthetische Schmierstoffe. Für Ablaufproben wurde dieses Problem nicht beobachtet. Für zukünftige Untersuchungen des Zulaufs muss dieser Sachverhalt jedoch berücksichtigt werden.

10 Fazit

Die in diesem Projekt bearbeiteten Arbeitspakete umfassten den gesamten Prozess von der repräsentativen Probenahme bis hin zur Analyse von Mikroplastik in Abwässern und ermöglichten dadurch eine umfassende Untersuchung der vorhandenen kritischen Punkte. Bereits bei der Probenahme zeigten sich drei entscheidende Einflussgrößen auf die Qualität und Effizienz der Untersuchungen: Die Wahl einer geeigneten Probenahmestelle, eine möglichst effiziente Aufkonzentrierung im Anschluss an die Probenahme sowie die Auswahl der feinsten Filterstufe. An der ARA-Graz wurden dafür zwei optimale Probenahmestellen in Vorversuchen ermittelt, die dann auch sehr zuverlässig funktionierten. An der ARA-Wiener Neustadt erfolgte die Auswahl der Probenahmepunkte für die beiden durchgeführten 24 h-Vergleichsbeprobungen in Anlehnung an die bereits vorhandenen Probenahmestellen der Kläranlage. Bei den vier kurzzeitigen Netzmessungen hingegen richtete sich die Positionierung unmittelbar vor und nach dem Netz nach der vorgegebenen Netzmontage und wurde daher aus praktischen Gesichtspunkten gewählt.

Der Vergleich der Netzproben mit den konventionell gezogenen Proben zeigte jedoch, dass die Verteilung der potenziellen Polymerarten und Partikelformen innerhalb der MP-Fraktion stark heterogen sein kann. Daher wären weiterführende Untersuchungen im Ablaufbereich von Kläranlagen über mehrere Horizonte sinnvoll. Zudem sollten Maßnahmen entwickelt und geprüft werden, wie sich durch gezielte Durchmischungstechniken eine verbesserte Probenahme auch in den in der Praxis häufig gegebenen eher laminaren Bereich von Ablaufkanälen und Schächten ermöglichen lässt.

Für die Probenahme wurden während des Projektes zwei großvolumige Probenahmesysteme entwickelt, welche vollautomatisiert in der Lage sind, mengenproportionale Tagesmischproben sowohl aus dem Zulauf als auch aus dem Ablauf von Kläranlagen in ausreichender Menge für die nachfolgende MP-Bestimmung zu ziehen. Dabei kommt der Auswahl eines möglichst repräsentativen Ansaugpunktes die entscheidende Rolle zu, wofür möglichst gut durchmischte Bereiche in den Volumenströmen empfohlen werden. Zur Aufnahme einer ausreichenden Menge von 24 h-Tagesmischproben haben sich handelsübliche Probenahmebehälter aus Edelstahl aus der Getränkeindustrie bewährt, wofür für die Zulaufproben 150 L und für die Ablaufproben 1.000 L Edelstahl-Behälter mit konusförmigen Behälterböden empfohlen werden. Sollten Kläranlagen am Ende von Mischsystemen auch an Mischwassertagen auf Mikroplastik beprobt werden, empfiehlt sich für eine möglichst

verlustfreie und vollständige Probenahme über 24 Stunden der ergänzende Betrieb von zusätzlichen Edelstahlbehältern, welche über einen Überlauf aus den Erstbehältern das zusätzliche Probenvolumen gesichert und vollständig aufnehmen können.

Die Methoden zur Aufkonzentrierung der Proben wurden als zentrale Entwicklungsschritte bereits in Projektphase 1 bearbeitet, um die anschließenden, teils über eine Woche dauernden Beprobungen, effizient durchführen zu können. Die eingesetzten Discfilter erwiesen sich dabei als robust und wurden insbesondere deshalb gewählt, weil der beprobte Feststoff einfacher quantitativ entnommen werden konnte als bei den zuvor getesteten Korbfiltern. Auch die eigenständige Herstellung der Filterscheiben konnte erfolgreich umgesetzt werden, was zusätzliche Flexibilität brachte. Standardisierte druckdichte Systeme aus der Industrie (z. B. Tri-Clamp- oder DIN 11851-Verschraubungen), die bereits bei der Netzbeprobung für die anschließende Aufkonzentrierung, sowie im Labor erfolgreich eingesetzt wurden, könnten zukünftig weiter untersucht und integriert werden. Eine in diesem Projekt nicht näher betrachtete, aber in der Literatur häufiger erwähnte Methode stellen Cartridge-Filter dar, bei denen die Filtration von außen nach innen erfolgt. Ein Vergleich dieser genannten Alternativen zu den eingesetzten Discfiltern hinsichtlich Aufwand, Effizienz und Investitionskosten wäre sinnvoll.

Ein wesentlicher Aspekt effizienter MP-Beprobung ist die eingesetzte Maschenweite der Filter. Mit abnehmender Maschenweite verstopfen die Filter schneller, was rasch zu exponentiell sinkenden Durchflussraten führt. Die Wahl einer Maschenweite von 20 µm stellte sich zunächst (Projektphase 1) als praktikabler Kompromiss zwischen Rückhalt kleiner Partikel und Filtrationsaufwand dar. Es blieb jedoch unklar, ob dadurch relevante MP-Anteile im feineren Bereich unberücksichtigt bleiben. Daher wurde bei einem Großteil der Beprobungen ergänzend auch noch zweistufig bis 10 µm filtriert und die gewonnene Fein- mit der Grobfraktion vereint. In weiterführenden Untersuchungen zeigte sich dann, dass der massebasierte Anteil dieser Feinfraktion (10–20 µm) in den analysierten Proben nur gering war. Für künftige Routinebeprobungen wird daher – auf Basis der bisherigen Ergebnisse – empfohlen, 20 µm als Zielgröße für die Maschenweite zu wählen. Mehrstufige Kaskaden mit Maschenweiten >20 µm erwiesen sich als nicht notwendig und sollten aus Effizienzgründen nicht in Betracht gezogen werden. Für spezifische Fragestellungen, zur toxikologisch relevanteren Feinfraktion, können auch Größenfraktionen <10 µm weiter untersucht werden, in solchen Fällen ist dann eine Vorbescheidung bei ca. 20 µm möglicherweise sinnvoll.

Als sehr zweckdienlich erwies sich die Zwischenspeicherung der Probe in Edelstahltanks gefolgt von einer Batch-Filtration nachdem die Probenahme abgeschlossen wurde. Diese Herangehensweise gewährleistet einen reibungslosen Ablauf bei länger dauernden Beprobungen (z. B. 24 h), insbesondere dann, wenn während der Nachtstunden kein Personal zur Verfügung steht. Darüber hinaus führte das Absinken von Feststoffen zu einer schnelleren Filtration, da der Überstand im Stahltank zügiger durch den Filter lief. Es zeigte sich, dass der Filtrationsaufwand tagesabhängig schwanken kann. In Wiener Neustadt wurden geringere AFS-Werte festgestellt, was zu einem insgesamt reduzierten Filtrationsaufwand führte. Damit wird deutlich, dass sowohl die Tagesvariabilität als auch der Standort der Kläranlage einen Einfluss auf den Filtrationsprozess haben. Diese beiden Faktoren führen zu einer gewissen Unsicherheit im Ablauf der Filtration, weshalb weitere Erfahrungen insbesondere an unterschiedlichen Kläranlagen gesammelt werden sollten. Für die Planung sollte jedoch stets von den ungünstigsten Bedingungen ausgegangen werden. Es ist nicht auszuschließen, dass es Anlagen gibt, bei denen das derzeit angestrebte Zielvolumen von 1.000 Litern für die Ablaufproben bei einer Filterstufe von 20 µm nur mit deutlich höherem Zeitaufwand erreichbar ist.

Der Probenaufbereitung kommt bei der Analyse von Mikroplastik eine weitere zentrale Bedeutung zu. Sie erstreckt sich in der Regel über einen Zeitraum von 1–2 Wochen, was auch in der Literatur häufig so beschrieben wird und sich im Rahmen dieses Projekts nicht verkürzen ließ. Die erforderlichen Aufbereitungsschritte konnten identifiziert und in den SOPs möglichst konkret dokumentiert werden. Es zeigte sich jedoch, dass die Durchführung der Probenaufbereitung durch erfahrenes Fachpersonal erfolgen sollte, da die Beschaffenheit der untersuchten Proben teils stark variierte und während der Aufbereitung spezifisch darauf eingegangen werden musste. Zur Überprüfung der Robustheit der Probenaufbereitung sollten gezielt mit Referenzmaterial versetzte Proben eingesetzt werden. Die dafür benötigten Referenzmaterialien sollten möglichst ähnliche Eigenschaften aufweisen wie die in den Proben enthaltenen, bereits gealterten Mikroplastikpartikel. Die Generierung solcher Referenzmaterialien stellt eine weitere Notwendigkeit dar, um die Qualität der MP-Analytik für einen routinemäßigen MP-Monitoringbetrieb zu sichern.

Im Rahmen der finalen instrumentellen Analytik mittels TED-GC-MS sowie EA-OEM (Zu- und Ablaufproben) konnte gezeigt werden, dass die mittlere Abscheideleistung für MP auf den untersuchten Kläranlagen sehr häufig über 99 % lag, was Ergebnisse anderer, meist partikelbezogener Untersuchungen bestätigt. Aus diesem Grund wird auch empfohlen, dass sich zukünftige Untersuchungen hauptsächlich mit der verlässlich abgesicherten Bestimmung von MP im Ablauf von Kläranlagen und an Mischwasserentlastungspunkten in die Gewässer

beschäftigen sollten. Im Vergleich der gemessenen MP-Tagesfrachten waren auf der ARA-Graz weder im Zulauf noch im Ablauf signifikante Unterschiede zwischen den vorwiegend bei TW-Bedingungen untersuchten Tagen und den vier expliziten Mischwassertagen feststellbar, was in dieser Form vor allem im Zulauf nicht erwartet wurde, da dort an den Mischwassertagen ein erhöhter Reifenabrieb in den MP-Zulauffrachten zu vermuten wäre. Insbesondere im Ablauf lagen die Messergebnisse beider Methoden tendenziell in ähnlichen Bereichen. Im Zulauf hingegen traten deutlichere Abweichungen auf, für die bislang keine eindeutigen Ursachen identifiziert werden konnten. Die Probenaufbereitung und die damit verbundene Fehleranfälligkeit im EA-OEM-Verfahren spielten dabei nachweislich in einigen Fällen eine Rolle und sollten künftig gezielt optimiert werden. Aber auch Vergleichsmessungen zwischen TED-GC-MS und EA-OEM mit den zuvor erwähnten Referenzmaterialien sollten hier Klarheit bringen.

11 Danksagungen

Das Projektteam bedankt sich beim Fördergeber, dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft (BMLUK), für die finanzielle Förderung des Projektes und bei der Holding Graz Wasserwirtschaft und dem Abwasserverband Wiener Neustadt-Süd für ihre Bereitschaft und ihre große Unterstützung vor Ort, die durchgeführten Untersuchungen und Messkampagnen auf ihren Kläranlagen durchführen zu können.

12 Anhang

- **Anhang 1**

Beispielhafter automatisierter Wochenbericht der Kalenderwoche 11 im Jahr 2024 über das Prozessverhalten der ARA-Graz und des Zentralen Speicherkanals der Stadt Graz zur Klassifizierung der hydraulischen und stofflichen Belastung der Kläranlage

Download: https://url.tuwien.at/uzwnr

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Durchgeführte 24 h-Messkampagnen auf der ARA-Graz im Jahr 2023 zur Evaluierung geeigneter Probenahmestellen im Zulauf und Ablauf der Kläranlage. 12
Tabelle 2 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 im 1/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023 und am Mi 24./Do 25.05.2023. 33
Tabelle 3 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 im 1/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023. 33
Tabelle 4 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2 im 1/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023. 34
Tabelle 5 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2 im 1/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023. 34
Tabelle 6 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 aus der Zulauf-Probenahme-Wanne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023, aus welcher auch die tägliche 24 h-Zulaufbeprobung der ARA-Graz im Rahmen der Eigenüberwachung stattfindet. 35
Tabelle 7 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 aus der Zulauf-Probenahme-Wanne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023, aus welcher auch die tägliche 24 h-Zulaufbeprobung der ARA-Graz im Rahmen der Eigenüberwachung stattfindet. 35
Tabelle 8 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 aus dem Vereinigungsgerinne nach den 3 belüfteten Sand- und Fettfängen während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023. 36
Tabelle 9 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 aus dem Vereinigungsgerinne nach den 3 belüfteten Sand- und Fettfängen während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023. 36
Tabelle 10 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus dem linken Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023. 37
Tabelle 11 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus dem linken Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023. 37

Tabelle 12 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 aus dem rechten Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023. 38
Tabelle 13 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 aus dem rechten Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023. 38
Tabelle 14 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus der Zulauf-PN-Wanne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023. 39
Tabelle 15 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus der Zulauf-PN-Wanne während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023. 39
Tabelle 16 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem Verteilgerinne nach den belüfteten Sand- und Fettfängen während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Di 23./Mi 24.05.2023. 40
Tabelle 17 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem Verteilgerinne nach den belüfteten Sand- und Fettfängen während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagnen am Mi 24./Do 25.05.2023. 40
Tabelle 18 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen aus den korrespondierenden, mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz. 41
Tabelle 19 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023 sowie mit dem AFS-Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (ARA-EÜ). 41
Tabelle 20 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023 sowie mit dem AFS-Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (ARA-EÜ). 42
Tabelle 21 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023 sowie mit dem CSB-Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (ARA-EÜ). 44
Tabelle 22 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023 sowie mit dem CSB-Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (ARA-EÜ). 45

Tabelle 23 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023. 49
Tabelle 24 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023. 49
Tabelle 25 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023. 54
Tabelle 26 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023. 54
Tabelle 27 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 im 1/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023. 61
Tabelle 28 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 im 1/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023. 61
Tabelle 29 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2 im 1/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023. 62
Tabelle 30 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2 im 1/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023. 62
Tabelle 31 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 im 2/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023. 63
Tabelle 32 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 im 2/3-Punkt des linken Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023. 63
Tabelle 33 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 im 2/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023. 64
Tabelle 34 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 im 2/3-Punkt des rechten Zulaufgerinnes zur ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023. 64

Tabelle 35 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus dem linken Zulaufgerinne im 1/3-Punkt während der beiden 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023..... 65
Tabelle 36 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus dem linken Zulaufgerinne im 1/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023..... 65
Tabelle 37 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 aus dem rechten Zulaufgerinne im 1/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023..... 66
Tabelle 38 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 aus dem rechten Zulaufgerinne im 1/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023..... 66
Tabelle 39 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus dem linken Zulaufgerinne im 2/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023..... 67
Tabelle 40 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus dem linken Zulaufgerinne im 2/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023..... 67
Tabelle 41 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem rechten Zulaufgerinne im 2/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023..... 68
Tabelle 42 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem rechten Zulaufgerinne im 2/3-Punkt während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mi 21./Do 22.06.2023..... 68
Tabelle 43 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen aus den korrespondierenden, mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz. 69
Tabelle 44 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz am Untersuchungstag Di 20./Mi 21.06.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ). 69
Tabelle 45 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz am Untersuchungstag Mi 21./Do 22.06.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ). 70
Tabelle 46 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz am Untersuchungstag

Di 20./Mi 21.06.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ). 72
Tabelle 47 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz am Untersuchungstag Mi 21./Do 22.06.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ). 72
Tabelle 48 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen am Di 20./Mi 21.06.2023. 76
Tabelle 49 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen am Mi 21./Do 22.06.2023. 76
Tabelle 50 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen am Di 20./Mi 21.06.2023. 81
Tabelle 51 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen am Mi 21./Do 22.06.2023. 81
Tabelle 52 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 aus der Ablauf-PN-Wanne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023. 87
Tabelle 53 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG1 aus der Ablauf-PN-Wanne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023. 87
Tabelle 54 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2, das auf der Räumerbrücke eines der NKB installiert war, während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023. 88
Tabelle 55 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG2, das auf der Räumerbrücke eines der NKB installiert war, während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023. 88
Tabelle 56 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 1,80 m über SOK im vereinten Ablaufgerinne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023. 89
Tabelle 57 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG3 1,80 m über SOK im vereinten Ablaufgerinne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023. 89
Tabelle 58 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 0,80 m über SOK im vereinten Ablaufgerinne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023. 90

Tabelle 59 Ergebnisse der Teilprobenentnahmen mit dem PNG4 0,80 m über SOK im vereinten Ablaufgerinne der ARA-Graz während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023. 90
Tabelle 60 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus der Ablauf-PN-Wanne während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023. 91
Tabelle 61 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG1 aus der Ablauf-PN-Wanne während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023. 91
Tabelle 62 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 von einem der NKB-Räumer aus während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023. 92
Tabelle 63 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG2 von einem der NKB-Räumer aus während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023. 92
Tabelle 64 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus dem vereinten Ablaufgerinne 1,80 m über SOK während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023. 93
Tabelle 65 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG3 aus dem vereinten Ablaufgerinne 1,80 m über SOK während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023. 93
Tabelle 66 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem vereinten Ablaufgerinne 0,80 m über SOK während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Mo 24./Di 25.07.2023. 94
Tabelle 67 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen der 6 x 4 h-Mischproben sowie der Tagesmischprobe des PNG4 aus dem vereinten Ablaufgerinne 0,80 m über SOK während der 24 h-Probenahme-Messkampagne am Di 25./Mi 26.07.2023. 94
Tabelle 68 Ergebnisse der AFS- und CSB-Laboranalysen aus den korrespondierenden, mengenproportionalen 24 h-Tagesmischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz. 95
Tabelle 69 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen in mg/L an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz am Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ). 95
Tabelle 70 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laboranalysen in mg/L an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz am Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ). 96

Tabelle 71 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen in mg/L an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz am Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ). 98
Tabelle 72 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laboranalysen in mg/L an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablauf der ARA-Graz am Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023 sowie mit dem Laborwert aus der 24 h-ARA-Eigenüberwachung (EÜ). 99
Tabelle 73 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte in mg/L aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Mo 24./Di 25.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz. 103
Tabelle 74 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte in mg/L aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Di 25./Mi 26.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz. 103
Tabelle 75 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte in mg/L aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Mo 24./Di 25.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz. 108
Tabelle 76 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte in mg/L aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Di 25./Mi 26.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz. 108
Tabelle 77 Bezeichnungen und Informationen zu den 7 x 24 h-Probenahmen im Rahmen des AP 1.4 im Zulauf zur ARA-Graz. 141
Tabelle 78 Bezeichnungen und Informationen zu den 7 x 24 h-Probenahmen im Rahmen des AP 1.4 im Ablauf der ARA-Graz. 142
Tabelle 79 Ergebnisse der 7 x 24 h-Probenahmen im Zulauf zur ARA-Graz, der erforderlichen Filterwechsel und der MP-Analyt-Gewinnung angegeben als Schlamm-Trockenmassen im Rahmen des AP 1.4. 143
Tabelle 80 Ergebnisse der 7 x 24 h-Probenahmen im Ablauf der ARA-Graz, der erforderlichen Filterwechsel und der MP-Analyt-Gewinnung angegeben als Schlamm-Trockenmassen im Rahmen des AP 1.4. 143
Tabelle 81 Bezeichnungen und Informationen zu den 7 x 24 h-Probenahmen des ersten untersuchten Wochengangs im Rahmen des AP 2.1 im Zulauf zur ARA-Graz. 146
Tabelle 82 Bezeichnungen und Informationen zu den 7 x 24 h-Probenahmen des ersten untersuchten Wochengangs im Rahmen des AP 2.1 im Ablauf der ARA-Graz. 146
Tabelle 83 Ergebnisse der 7 x 24 h-Probenahmen im Zulauf zur ARA-Graz, der erforderlichen Filterwechsel und der MP-Analyt-Gewinnung angegeben als Schlamm-Trockenmassen bei der Untersuchung des ersten Wochenganges auf der ARA-Graz im Rahmen des AP 2.1. 147

Tabelle 84 Ergebnisse der 7 x 24 h-Probenahmen im Ablauf der ARA-Graz, der erforderlichen Filterwechsel und der MP-Analyt-Gewinnung angegeben als Schlamm-Trockenmassen bei der Untersuchung des ersten Wochenganges auf der ARA-Graz im Rahmen des AP 2.1. 148
Tabelle 85 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-TagesZulauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz während der Untersuchung des ersten Wochenganges. 149
Tabelle 86 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-TagesAblauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz während der Untersuchung des ersten Wochenganges. 149
Tabelle 87 Bezeichnungen und Informationen zu den 8 x 24 h-Probenahmen des zweiten untersuchten Wochengangs im Rahmen des AP 2.1 im Zulauf zur ARA-Graz. 150
Tabelle 88 Bezeichnungen und Informationen zu den 8 x 24 h-Probenahmen des zweiten untersuchten Wochengangs im Rahmen des AP 2.1 im Ablauf der ARA-Graz. ... 150
Tabelle 89 Ergebnisse der 8 x 24 h-Probenahmen im Zulauf zur ARA-Graz bei der Untersuchung des zweiten Wochenganges auf der ARA-Graz im Rahmen des AP 2.1. 151
Tabelle 90 Ergebnisse der 8 x 24 h-Probenahmen im Ablauf der ARA-Graz bei der Untersuchung des zweiten Wochenganges auf der ARA-Graz im Rahmen des AP 2.1. 151
Tabelle 91 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der zweiten Untersuchung eines Wochenganges im Zulauf zur ARA-Graz. 152
Tabelle 92 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der zweiten Untersuchung eines Wochenganges im Ablauf zur ARA-Graz. 153
Tabelle 93 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-TagesZulauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz während der Untersuchung des zweiten Wochenganges. 154
Tabelle 94 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-TagesAblauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz während der Untersuchung des zweiten Wochenganges. 154
Tabelle 95 Bezeichnungen und Informationen zu den drei untersuchten Tagen im Rahmen des AP 2.2 im Zulauf zur ARA-Graz. 155
Tabelle 96 Bezeichnungen und Informationen zu den drei untersuchten Tagen im Rahmen des AP 2.2 im Ablauf der ARA-Graz. 156
Tabelle 97 Ergebnisse der 4 x 6 h-Probenahmen an den drei Probenahmetagen im Zulauf zur ARA-Graz im Rahmen des AP 2.2. 157

Tabelle 98 Ergebnisse der 4 x 6 h-Probenahmen an den drei Probenahmetagen im Ablauf der ARA-Graz im Rahmen des AP 2.2. 158
Tabelle 99 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der drei Untersuchungstage im Zulauf zur ARA-Graz. 158
Tabelle 100 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der drei Untersuchungstage im Ablauf der ARA-Graz. 159
Tabelle 101 Die Tageszulaufmengen Q_d zur ARA-Graz, die ARA-Belastungen, die mittleren Abwassertemperaturen und die CSB-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Kläranlage aus der Eigenüberwachung an den 3 Untersuchungstagen. 160
Tabelle 102 Bezeichnungen und Informationen zu den drei untersuchten Regenwettertagen im Rahmen des AP 2.3 im Zulauf zur ARA-Graz. 162
Tabelle 103 Bezeichnungen und Informationen zu den drei untersuchten Regenwettertagen im Rahmen des AP 2.3 im Ablauf der ARA-Graz. 162
Tabelle 104 Ergebnisse der 3 x 24 h-Probenahmen an den drei Probenahmetagen im Zulauf zur ARA-Graz bei Regenwetterbedingungen im Rahmen des AP 2.3. 163
Tabelle 105 Ergebnisse der 3 x 24 h-Probenahmen an den drei Probenahmetagen im Ablauf zur ARA-Graz bei Regenwetterbedingungen im Rahmen des AP 2.3. 163
Tabelle 106 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der drei untersuchten Regenwettertage im Zulauf zur ARA-Graz. 164
Tabelle 107 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und der daraus resultierenden Trockenmassen während der drei untersuchten Regenwettertage im Ablauf zur ARA-Graz. 164
Tabelle 108 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-TagesZulauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz an den drei untersuchten Regenwettertagen. 165
Tabelle 109 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-TagesAblauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Graz an den drei untersuchten Regenwettertagen. 165
Tabelle 110 Bezeichnungen und Informationen zu den zwei untersuchten Trockenwettertagen im Rahmen des AP 2.4 im Zulauf zur ARA-Wiener Neustadt. 183
Tabelle 111 Bezeichnungen und Informationen zu den zwei untersuchten Trockenwettertagen im Rahmen des AP 2.4 im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt. 183

Tabelle 112 Ergebnisse der 2 x 24 h-Probenahmen an den zwei Probenahmetagen im Zulauf zur ARA-Wiener Neustadt bei Trockenwetterbedingungen im Rahmen des AP 2.4. 184
Tabelle 113 Ergebnisse der 2 x 24 h-Probenahmen an den zwei Probenahmetagen im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt bei Trockenwetterbedingungen im Rahmen des AP 2.4. 184
Tabelle 114 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und die daraus resultierenden Trockenmassen während der zwei untersuchten Trockenwettertage im Zulauf zur ARA-Wiener Neustadt. 184
Tabelle 115 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel bei Verwendung der 20 µm und der 10 µm Discfiltersysteme und die daraus resultierenden Trockenmassen während der zwei untersuchten Trockenwettertage im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt. 185
Tabelle 116 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-TagesZulauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Wiener Neustadt an den zwei untersuchten Trockenwettertagen. 185
Tabelle 117 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den korrespondierenden 24 h-TagesAblauf-Mischproben aus der Eigenüberwachung der ARA-Wiener Neustadt an den zwei untersuchten Trockenwettertagen. 186
Tabelle 118 Bezeichnungen und Informationen zu den während der 5 temporären Vergleichsperioden gewonnenen MP-Proben im Rahmen des AP 2.5 im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt. 187
Tabelle 119 Ergebnisse der vergleichenden temporären Probenahmen an den drei Probenahmetagen im Ablaufbereich der ARA-Wiener Neustadt im Rahmen des AP 2.5. 188
Tabelle 120 Anzahl der erforderlichen Filterwechsel für die temporären MP-Probenahmen bei Verwendung der 20 µm- und der 10 µm- Discfiltersysteme und die daraus resultierenden Trockenmassen im Ablaufbereich zur ARA-Wiener Neustadt im Rahmen des AP 2.5. 189
Tabelle 121 Die CSB- und AFS-Konzentrationen in den mit den MP-Ablauf-Probenahmesystemen gewonnenen temporären MP-Proben im Ablaufbereich der ARA-Wiener Neustadt im Rahmen des AP 2.5. 190
Tabelle 122 Ergebnisse (Zulaufproben) der TED-GC-MS-Analyse für die Polymere: Naturkautschuk (NK), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR). n. n. kennzeichnet Polymergehalte unterhalb der Nachweisgrenze. Die ermittelten Polymermassen beziehen sich jeweils auf die aufbereitete Probe. 198
Tabelle 123 Aufsummierte Polymermassen der TED-GC-MS-Analysen sowie Ergebnisse des Mikroplastik-Summenparameters mittels EA-OEM, jeweils bezogen auf die

aufbereitete Probenmasse (Zulaufproben). n. n. kennzeichnet MP-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze. 199
Tabelle 124 Ergebnisse (Ablaufproben) der TED-GC-MS-Analyse für die Polymere: Naturkautschuk (NK), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR). n. n. kennzeichnet Polymergehalte unterhalb der Nachweisgrenze. Die ermittelten Polymermassen beziehen sich jeweils auf die aufbereitete Probe. 202
Tabelle 125 Aufsummierte Polymermassen der TED-GC-MS-Analysen sowie Ergebnisse des Mikroplastik-Summenparameters mittels EA-OEM, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse (Ablaufproben). n. n. kennzeichnet MP-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze. 203
Tabelle 126 Ergebnisse (Netzbeprobung) der TED-GC-MS-Analyse für die Polymere: Naturkautschuk (NK), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR). n. n. kennzeichnet Polymergehalte unterhalb der Nachweisgrenze. Die ermittelten Polymermassen beziehen sich jeweils auf die aufbereitete Probe. 206
Tabelle 127 Aufsummierte Polymergehalte der TED-GC-MS-Analysen sowie Ergebnisse des Mikroplastik-Summenparameters mittels EA-OEM, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse (Netzbeprobung). n. n. kennzeichnet MP-Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze. 206
Tabelle 128 Vergleich der MP-Konzentrationen in den 24 h-Zulauf-Tagesmischproben. 208
Tabelle 129 Vergleich der MP-Konzentrationen in den 24 h-Ablauf-Tagesmischproben 209
Tabelle 130 Zusammenfassung der Ergebnisse der 4 × 6-Stunden-Messkampagnen im Zulauf und Ablauf. 214
Tabelle 131 Vergleich der resultierenden MP-Tagesfrachten auf Basis der 24 h-Zulauf-Tagesmischproben und der beiden MP-Bestimmungsmethoden. 218
Tabelle 132 Vergleich der resultierenden MP-Tagesfrachten auf Basis der 24 h-Ablauf-Tagesmischproben und der MP-Eliminationsraten an den untersuchten Tagen. 219
Tabelle 133 Ermittelte MP-Konzentrationen in den untersuchten Feinfraktionen. "n. n." kennzeichnet MP-Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze. 221
Tabelle 134 TED-GC-MS Ergebnisse zur Ermittlung von Blindwerten für die Polymere: Naturkautschuk (NK), Polyethylen (PE), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS) und Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR). n. n. kennzeichnet Polymergehalte unterhalb der Nachweisgrenze. 222

Tabelle 135 Überprüfung der Konstanz der Teilprobenvolumina beim MP-PN-System im Ablauf der ARA-Graz in Abhängigkeit unterschiedlicher Ansaugzeiten der Kreiselpumpe. 231
Tabelle 136 Ermittlung des PN-SOLL-Tagesvolumen [L/d] beim MP-Zulauf-PN-System in Abhängigkeit von erwartbaren Tageszulaufvolumina am Beispiel der ARA-Graz. 231
Tabelle 137 Ermittlung des PN-SOLL-Tagesvolumens [L/d] beim MP-Ablauf-PN-System in Abhängigkeit von erwartbaren Tageszulaufmengen und vorzudefinierenden Ansaugzeiten am Beispiel der ARA-Graz. 232

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Zulauf-Bypass-Wanne zur messtechnischen Überwachung der Abwasserzulaufqualitäten zur Kläranlage Graz und aus welcher auch die automatische Beprobung der mengenproportionalen Tagesmischproben erfolgt..... 13
Abbildung 2 Zulauf-Bypass-Wanne mit der Exzenterschneckenpumpe und das stationäre automatische Probenahmegerät zur Gewinnung der mengenproportionalen 24 h-Zulaufproben für die tägliche Eigenüberwachung der Kläranlage. 14
Abbildung 3 Ablauf-Bypass-Wanne mit der Exzenterschneckenpumpe und das stationäre automatische Probenahmegerät (rechts) zur Gewinnung der mengenproportionalen 24 h-Ablaufproben für die tägliche Eigenüberwachung der Kläranlage. 15
Abbildung 4 Ablaufbereich der Kläranlage Graz mit dem Ablaufgebäude (links) und dem Überlaufwehr direkt in die Mur (Mitte) oder rechts über die Wasserkraftschnecke..... 15
Abbildung 5 Die beiden Probenahmegeräte PNG1 im linken und PNG2 im rechten Zulaufgerinne der ARA-Graz nach den Rechen und vor dem Verteilgerinne der belüfteten Sand- und Fettfänge. 17
Abbildung 6 Installation des Ansaugschlauches des PNG2 und des UV/VIS-Spektrometers spec_12150088 im linken Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Messkampagne am Di 23./Mi 24.05.2023 und am Mi 24./Do 25.05.2023..... 18
Abbildung 7 Fixierung des Ansaugschlauches für das PNG2 und der UV/VIS-Spektrometer-Sonde am Aluminium-Gestänge für das rechte Zulaufgerinne. 18
Abbildung 8 Das dritte verwendete Probenahmegerät PNG3, welches die Vergleichsproben direkt aus der Zulauf-Bypass-Wanne entnahm. 19
Abbildung 9 Das vierte verwendete Probenahmegerät PNG4, welches die Vergleichsproben aus dem Vereinigungsbauwerk nach der Vereinigung der Abläufe der 3 belüfteten Sand- und Fettfänge entnahm. 19
Abbildung 10 Die vier Probenahmegeräte PNG1, PNG2, PNG3 und PNG4 im Bereich der beiden rechteckigen Zulaufgerinne vor dem Verteilgerinne der belüfteten Sand- und Fettfänge. 22
Abbildung 11 Installation der Ansaugschläuche des PNG1 und PNG3 sowie des UV/VIS-Spektrometers im linken Zulaufgerinne während der beiden 24 h-Messkampagne am Di 20./Mi 21.06.2023 und am Mi 21./Do 22.06.2023. 23
Abbildung 12 Fixierung der Ansaugschläuche für das PNG1 und PNG3 sowie der UV/VIS-Spektrometer-Sonde am Aluminium-Gestänge für das linke Zulaufgerinne. 23

Abbildung 13 Das Probenahmegerät PNG1 (links) an der Ablauf-Probenahme-Wanne, aus welcher im Rahmen der Eigenüberwachung auch die täglichen 24 h-Tagesmischproben mit dem stationären PNG (rechts) gewonnen werden. 26
Abbildung 14 Das auf der Räumerbrücke eines der 4 Nachklärbecken installierte PNG2. 26
Abbildung 15 Räumerbrücke und installierter Probenahme-Ansaugschlauch, mit dem die automatischen Vergleichsprobenahmen mit dem PNG2 durchgeführt wurden..... 27
Abbildung 16 Ansaugbereich für das PNG3 und PNG4 im Ablaufbereich des vereinten Ablaufs aus den 4 Nachklärbecken unmittelbar vor der Überlaufschwelle in die Mur..... 28
Abbildung 17 Die beiden Probenahmegeräte PNG3 und PNG4 im Ablaufbereich der Kläranlage Graz, die bei diesen Vergleichsmesskampagnen aus unterschiedlichen Höhen (1,80 m über SOK das PNG3 und 0,80 m das PNG4) die Vergleichsproben gezogen hatten. 28
Abbildung 18 Die beiden in unterschiedlichen Höhen fixierten Probenahme-Ansaugschläuche des PNG3 und des PNG4 am für die Fixierung verwendeten Aluminium-Gestänge, an welchem auch die beiden UV/VIS-Spektrometer installiert wurden..... 29
Abbildung 19 Installation der beiden Ansaugschläuche des PNG3 und des PNG4 sowie der beiden UV/VIS-Spektrometer im vereinten Ablaufgerinne vor der Überlaufschwelle. 29
Abbildung 20 Vergleich der Mittelwerte der AFS-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum Di 23.05./Mi 24.05.2023. 43
Abbildung 21 Vergleich der Mittelwerte der AFS-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum Mi 24.05./Do 25.05.2023. 43
Abbildung 22 Vergleich der Mittelwerte der CSB-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum Di 23.05./Mi 24.05.2023. 46
Abbildung 23 Vergleich der Mittelwerte der CSB-Laboranalysen an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum Mi 24.05./Do 25.05.2023. 47
Abbildung 24 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023. 50
Abbildung 25 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Di 23./Mi 24.05.2023..... 52

Abbildung 26 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023. 52
Abbildung 27 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Mi 24./Do 25.05.2023. 53
Abbildung 28 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 23./Mi 24.05.2023. 56
Abbildung 29 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Di 23./Mi 24.05.2023..... 57
Abbildung 30 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 24./Do 25.05.2023. 58
Abbildung 31 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Mi 24./Do 25.05.2023. 59
Abbildung 32 Vergleich der 4 h-AFS-Mittelwerte und der Tagesmischproben in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zeitraum Di 20.06./Mi 21.06.2023. 71
Abbildung 33 Vergleich der 4 h-AFS-Mittelwerte und der Tagesmischproben in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zeitraum Mi 21.06./Do 22.06.2023. 71
Abbildung 34 Vergleich der 4 h-CSB-Mittelwerte und der Tagesmischproben in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum Di 20.06./Mi 21.06.2023..... 74
Abbildung 35 Vergleich der 4 h-CSB-Mittelwerte und der Tagesmischproben in den 4 verschiedenen Probenahme-Horizonten im Zulauf zur ARA-Graz im Zeitraum im Zeitraum Mi 21.06./Do 22.06.2023. 74
Abbildung 36 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen am Untersuchungstag Di 20./Mi 21.06.2023. 77
Abbildung 37 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Di 20./Mi 21.06.2023..... 78
Abbildung 38 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 21./Do 22.06.2023. 79
Abbildung 39 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen während des Untersuchungstages Mi 21./Do 22.06.2023. 80
Abbildung 40 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 20./Mi 21.06.2023. 82

Abbildung 41 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Di 20./Mi 21.06.2023..... 83
Abbildung 42 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Mi 21./Do 22.06.2023. 84
Abbildung 43 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Mi 21./Do 22.06.2023. 84
Abbildung 44 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laborproben und der Tagesmischproben an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der ARA-Graz im Zeitraum Mo 24.07./Di 25.07.2023. 97
Abbildung 45 Vergleich der 6 x 4 h-AFS-Laborproben und der Tagesmischproben an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der ARA-Graz im Zeitraum Di 25.07./Mi 26.07.2023..... 98
Abbildung 46 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laborproben und der Tagesmischproben an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der Kläranlage Graz im Zeitraum Mo 24.07./Di 25.07.2023. 100
Abbildung 47 Vergleich der 6 x 4 h-CSB-Laborproben und der Tagesmischproben an den 4 verschiedenen Probenahmeorten im Ablaufbereich der Kläranlage Graz im Zeitraum Di 25.07./Mi 26.07.2023..... 101
Abbildung 48 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023 im Ablauf der ARA-Graz..... 104
Abbildung 49 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Mo 24./Di 25.07.2023. 105
Abbildung 50 Vergleich der 4 h-AFS_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und AFS-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023. 106
Abbildung 51 AFS_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Di 25./Mi 26.07.2023..... 107
Abbildung 52 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Mo 24./Di 25.07.2023. 109
Abbildung 53 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Mo 24./Di 25.07.2023. 110
Abbildung 54 Vergleich der 4 h-CSB_{eq}-Mittelwerte aus den 4 UV/VIS-Spektrometer-Messungen mit den parallel durchgeführten Probenahmen und CSB-Laboranalysen am Untersuchungstag Di 25./Mi 26.07.2023. 111

Abbildung 55 CSB_{eq}-Verläufe der 4 UV/VIS-Spektrometermessungen während des Untersuchungstages Di 25./Mi 26.07.2023..... 112
Abbildung 56 Final gewählter Ansaugpunkt der Kreiselpumpe für die MP-Probenahmen im Ablaufgerinne der Kläranlage Graz. 114
Abbildung 57 Ausgebautes Befestigungsgestänge und finale Position der verwendeten Kreiselpumpe +1,30 m über SOK für die Ablauf-Probenahme auf der Kläranlage Graz.... 115
Abbildung 58 Gewählter, 150 L fassender Edelstahlbehälter der Firma https://www.polsinelli.it/ zur Aufnahme der Tagesprobenvolumina aus der Zulauf-PN-Wanne im Zulauf-PN-Raum der Kläranlage Graz. 119
Abbildung 59 Die beiden in unterschiedlichen Höhen angebrachten Entleerungs-Kugelhähne mit einem Durchmesser von 1“ zur Totalentleerung an der Konusspitze und mit einem Durchmesser von ½“ in der Edelstahlkonus-Wandung darüber. 120
Abbildung 60 Der standardmäßig installierte ca. 400 mL fassende Glasbehälter zur Aufnahme der Teilproben (rechts oben) und der für das MP-Zulauf-PN-System adaptierte ca. 700 mL fassende Glasbehälter (rechts unten und links im Betrieb). 121
Abbildung 61 Der einsatzfähige Prototyp eines MP-PN-Systems im Zulauf-PN-Raum der ARA-Graz, welcher die Zulaufproben direkt aus der Zulauf-PN-Wanne ansaugt, aus welcher auch die mengenproportionalen 24 h-Zulaufproben für die Eigenüberwachung der Kläranlage entnommen werden. 122
Abbildung 62 Für das MP-Ablauf-Probenahmesystem gewählter, 1.000 L fassender Edelstahlbehälter der Firma https://www.polsinelli.it/ zur Aufnahme der Tagesprobenvolumina aus dem vereinten Ablaufgerinne der Kläranlage Graz. 123
Abbildung 63 Leicht konischer Behälterboden des gewählten 1.000 L fassenden Edelstahlbehälters für das MP-Ablauf-PN-System mit der 1“ Entleerungsleitung am Tiefpunkt des Behälterbodens. 124
Abbildung 64 Die für den Prototypen verwendete Edelstahl-Kreiselpumpe der Fa. www.starke.at vom Type ST-30750 für das entwickelte MP-Ablauf-PN-System. 125
Abbildung 65 Die für die volumenproportionale Ansteuerung und für die Parametrierung der Teilprobenvolumen über die Ansaugzeiten der Kreiselpumpe verwendete SPS für das als Prototypen entwickelte MP-Ablauf-PN-System. 126
Abbildung 66 Der einsatzfähige Prototyp eines MP-Ablauf-Probenahmesystems, welcher die Teilproben mit einer im Ablaufgerinne fixierten Kreiselpumpe in den 1.000 L fassenden Edelstahlbehälter fördert..... 127
Abbildung 67 Die drei für die MP-Beprobungen im Ablauf der Kläranlagen benötigten Edelstahlbehälter mit einem Fassungsvermögen von 1.000 L..... 128
Abbildung 68 GeBeMA-OpenSDM-Wochenbericht der TU Graz über die hydraulische Zulaufdynamik der Kläranlage Graz in der KW 2024-11. 129

Abbildung 69 GeBeMA-OpenSDM-Wochenbericht der TU Graz über die CSB_{eq}-Zulaufdynamik der Kläranlage Graz in der KW 2024-11. 129
Abbildung 70 Verteilung der Tagesklassen nach Beutle, Cajetan (2025) für die 28 auf der ARA-Graz durchgeführten Probenahmetage im Zu- und Ablauf der Kläranlage..... 131
Abbildung 71 Filtrationssystem mit vier Einbauten für Korbfilter (links), ausgebautes Filtergehäuse (Mitte) und dazugehöriger Korbfilter (rechts). 133
Abbildung 72 Edelstahl-Druckfilterhalter (links) und dazugehöriger Scheibenfilter (rechts). 134
Abbildung 73 Versuchsaufbau des 142 mm Discfiltrationssystems. 134
Abbildung 74 Vorversuche mit 50 µm Filtergewebe. Die Filtrationsversuche wurden jeweils mit Kläranlagenablauf am Standort A und Standort B durchgeführt. 136
Abbildung 75 Ergebnisse der Durchflussmengenmessungen mit dem Korbfiltersystem bei einer nominellen Filterfeinheit von 10 µm. 137
Abbildung 76 Ergebnisse der Durchflussmengenmessungen mit dem Discfiltersystem bei einer nominellen Filterfeinheit von 10 µm. 137
Abbildung 77 Filtrationsversuche mit 20 µm Scheibenfiltern mit dem im Laufe des Projektes vergrößerten Filterdurchmesser von 293 mm. Die freie Filterfläche beträgt 615 cm². 138
Abbildung 78 Luftbild der ARA-Wiener Neustadt mit den eingezeichneten 3 Messstellen für die Durchführung der Validierungsmessungen im Zu- und Ablaufbereich der Kläranlage. 168
Abbildung 79 Einbausituation des betriebseigenen Zulauf-Probenahmegerätes am vereinten Zulaufgerinne zu den Vorklärbecken nach den 4 Sand- und Schotterfang-Straßen. 169
Abbildung 80 Der Aufstellungsort für das MP-Zulauf-Probenahmegerät unmittelbar neben dem betriebseigenen Zulauf-Probenahmegerät der ARA-Wiener Neustadt. 170
Abbildung 81 Fotos von den sequenziell durchgeführten 20 µm- und 10 µm-Filtrationen mit den dafür erforderlichen zwei Edelstahlbehältern (links) und von der Reinigung eines Gewebefilters (rechts) mit einem mobilen Ultraschallreiniger bei der MP-Zulauf-Beprobung auf der ARA-Wiener Neustadt. 171
Abbildung 82 Ablaufbereich der ARA-Wiener Neustadt mit dem betriebseigenen Ablauf-Probenahmegerät der Kläranlage und dem Aufstellungsort und dem Ansaugbereich für das MP-Probenahmesystem. 172
Abbildung 83 Aufstellungsorte und Ansaugbereiche der beiden Probenahmesysteme aus dem Ablaufgerinne der ARA-Wiener Neustadt. 173
Abbildung 84 Überblick über die erforderlichen Installationen für das MP-Probenahmesystem im Ablauf der ARA-Wiener Neustadt. 174

Abbildung 85 Die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) zur Ansteuerung der Teilprobenvolumina (links) und der 1.000 L fassende Edelstahlbehälter zur Aufnahme der erforderlichen Tagesvolumina für die MP-Bestimmungen bei TW-Bedingungen. 174
Abbildung 86 Überblick über den offenen Gerinneabschnitt, wo ca. 5/6 der Ablaufmengen aus den Nachklärbecken sowohl mit einem eingebauten Netz als auch mit zwei MP-Probenahmesystemen vor und nach dem eingebauten Netz auf MP untersucht werden konnten. 176
Abbildung 87 Fotos vom Einbau des Messrahmens mit dem 500 µm Netz in den offenen Gerinneabschnitt des Ablaufkanals nach den Nachklärbecken der ARA-Wiener Neustadt. 176
Abbildung 88 Links: Der im offenen Gerinneabschnitt des Ablaufs der ARA-Wiener Neustadt eingebaute Messrahmen. Zu sehen sind die im Gerinne installierten Führungsschienen mit dem eingesetzten Messrahmen inklusive dem 500 µm-Netz und dem angeschlossenen Probencontainer. Rechts: Reinigung des Netzes nach der Probennahme. 177
Abbildung 89 Ausbau des Messrahmens mit dem mit Festsoffen befrachteten Probenahmenetz nach einer der 4 durchgeführten temporären Netzbeprobungen und Gewinnung der Feststoffproben aus dem Probenahmenetz..... 178
Abbildung 90 Links: Vakuumfiltration des Netzinhalts bei Verwendung einer Tri-Clamp-Konstruktion. Rechts: Aufkonzentrierter Feststoff auf einem 10 µm-Metallfilter nach der Filtration. 178
Abbildung 91 Blick in das offene Ablaufgerinne mit dem eingebauten Messrahmen inkl. dem 500 µm Probenahmenetz und den beiden installierten Kreiselpumpen des MP-Probenahmesystems vor und nach dem Netz. 179
Abbildung 92 Die beiden vor und nach dem Probenahmenetz installierten Kreiselpumpen im offenen Ablaufgerinne der ARA-Wiener Neustadt nach den Nachklärbecken. 180
Abbildung 93 20 µm-Fitration einer während einer Netzbeprobung gewonnenen Probe und Zwischenspeicherung des 20 µm-Filtrates in einem zweiten Behälter für die nachfolgenden 10 µm-Fitration mit den Filterdisc-Systemen der TU Wien. 181
Abbildung 94 Aufnahmen des aufgereinigten Probenmaterials der Proben G-ZL-11 (links oben), G-AL-22 (rechts oben), WRN-ZL-39 (links unten) und WRN-AL-38 (rechts unten). 192
Abbildung 95 Größenfraktion > 25 µm bis 5 mm der Probe WRN-AL-50 (Netzbeprobung). 192
Abbildung 96 40 Minuten Beprobungen (Kreiselpumpe) der jeweils unmittelbar vor und nach dem Netz durchgeführten Vergleichsbeprobungen. 193

Abbildung 97 Gegenüberstellung der durch TED-GC-MS und EA-OEM bestimmten Gesamt-Mikroplastikmassen, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse. Messpunkte entlang der gestrichelten Diagonale deuten auf übereinstimmende Ergebnisse beider Methoden hin. Punkte unterhalb bzw. oberhalb markieren Proben, bei denen die EA-OEM geringere bzw. höhere Konzentrationen als die TED-GC-MS ermittelte. 197
Abbildung 98 Gegenüberstellung der durch TED-GC-MS und EA-OEM bestimmten Gesamt-Mikroplastikmassen in den Ablaufproben, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse. Messpunkte entlang der gestrichelten Diagonale deuten auf übereinstimmende Ergebnisse beider Methoden hin. Punkte unterhalb bzw. oberhalb markieren Proben, bei denen die EA-OEM geringere bzw. höhere Konzentrationen als die TED-GC-MS ermittelte. 201
Abbildung 99 Vergleich der durch TED-GC-MS und EA-OEM bestimmten Gesamt-Mikroplastikmassen in den Ablaufproben, jeweils bezogen auf die aufbereitete Probenmasse. 205
Abbildung 100 Vollständige visuelle Erfassung der Siebfraktion > 5 mm der Probe WRN-AL-44+47. 207
Abbildung 101 Ermittelte MP-Konzentrationen in den 24 h-Mischproben der durchgeführten Messkampagnen (Zulauf). 211
Abbildung 102 Ermittelte MP-Konzentrationen in den 24 h-Mischproben der durchgeführten Messkampagnen (Ablauf). 212
Abbildung 103 Detektierte MP-Konzentrationen in den erfassten 4 × 6 h Zulaufproben, ermittelt mittels EA-OEM. Start der Probenahme für Tag 1 bis 3 war jeweils um 00:00 Uhr. 213
Abbildung 104 Detektierte MP-Konzentrationen in den erfassten 4 x 6 h Ablaufproben. Tag 1 wurde mittels TED-GC-MS gemessen. Tag 2 und Tag 3 wurde mit der EA-OEM bestimmt. Start der Probenahme war jeweils zeitgleich mit den Zulaufproben um 00:00 Uhr. 214
Abbildung 105 Gegenüberstellung der im Ablauf der KA Wiener Neustadt ermittelten Mikroplastik-Konzentrationen, bestimmt aus den 24-h Tagesmischproben (konventionelle Methode) und mittels vier 40-minütiger Netzbeprobungen. 216
Abbildung 106 Detektierte Mikroplastik- und Makroplastik-Konzentrationen, ermittelt durch Netzbeprobungen im Ablaufkanal. Im Zuge der Untersuchung von Makroplastikfraktionen wurde ausschließlich die Probe WRN-AL-44+47 für TED-GC-MS-Messungen berücksichtigt. 217

Abbildung 107 Gewählter Probenahme-Zeitraum für die Gewinnung der 24 h-Tagesmischproben im Zulauf und Ablauf der ARA-Graz sowohl für die Eigenüberwachung als auch für die MP-Probenahme. 230
Abbildung 108 Gewählte PN-Stellen im Zulauf- und Ablaufbereich der ARA-Graz 234
Abbildung 109 Gewählte MP-PN-Stellen mit ihren gewählten PN-Horizonten für die Gewinnung der MP-Zulauf- (links bzw. rot) und MP-Ablaufproben (rechts bzw. gelb) beispielhaft bei der ARA-Graz. 235
Abbildung 110 Beispielhafte Installation des MP-PN-Systems für den Zulauf von Kläranlagen im Analyseraum der ARA-Graz. 236
Abbildung 111 Holzplatte auf dem PN-Behälter für den Zulauf mit dem aufgesetzten PNG-Aufsatz des verwendeten automatischen PNG der Fa. MAXX vom Typ TP5 C..... 237
Abbildung 112 Beispielhafte Installation des MP-PN-Systems für den Ablauf von Kläranlagen am vereinten Ablaufgerinne der ARA-Graz vor der zentralen Überlaufschwelle. 238
Abbildung 113 Schematischer Ablauf bei einer zweistufigen Filtration zur Gewinnung von Feststoffproben mit dem entwickelten MP-Discfiltrationssystem. 243
Abbildung 114 Fotos von den zweiten erforderlichen 10 µm-Filtrationsschritten im Zulauf- (links) und Ablaufbereich (rechts) der ARA-Graz (Fotos: G. Gruber, mod.). 245
Abbildung 115 Empfohlenes Ablaufdiagramm für die erforderlichen Arbeitsschritte bei der zweistufigen Filtration mit dem entwickelten MP-Discfiltrationssystem. 246
Abbildung 116 Erforderliche Zeitpunkte zur Reinigung eines Scheibenfilters in Abhängigkeit der beiden Filtrationsstufen. 248
Abbildung 117 Ablaufdiagramm zur Reinigung eines Scheibenfilters inkl. der Gewinnung der Feststoffproben für die MP-Bestimmung. 251
Abbildung 118 Ausbau des belegten Scheibenfilters aus dem Discfiltrationssystem (Foto: G. Gruber, mod.). 252
Abbildung 119 Abschaben der Filtrationsrückstände vom Scheibenfilter (Foto: G. Gruber, mod.). 252
Abbildung 120 Aluminiumschale mit den von einem Scheibenfilter mit einem Spatel abgeschabten Feststoffen (Foto: G. Gruber, mod.). 253
Abbildung 121 Entfernen und Reinigen der im Gewebefilter verbleibenden Feststoffteilchen mit Reinwasser und einem portablen Ultraschallreiniger in der Edelstahlschale (Foto: G. Gruber, mod.). 253
Abbildung 122 2 L-Glasflasche mit Trichter zum Abfüllen und Sammeln des feststoffbeladenen Spül- und Reinigungswasser aus der Edelstahlschale (Foto: G. Gruber, mod.). 254

Abbildung 123 2 L-Glasflaschen zur Aufnahme der feststoffbeladenen Spül- und Reinigungswässer von einer 20 µm- (linke Flasche) und einer 10 µm-Scheibenfilterreinigung (rechte Flasche) (Foto: G. Gruber, mod.). 254
Abbildung 124 Fließschema der Probenaufbereitungsschritte für Zulauf- und Ablaufproben. 255
Abbildung 125 Aufbau der Dichtetrennungsapparatur 264

Literaturverzeichnis

Barkmann-Metaj, Luisa, Weber, Felix, Bitter, Hajo, Wolff, Sebastian, Lackner, Susanne, Kerpen, Jutta und Engelhart, Markus (2023): Quantification of Microplastics in Wastewater Systems of German Industrial Parks and Their Wastewater Treatment Plants. Science of the Total Environment, 881, 163349.

Beutle, Cajetan (2025): Entwicklung von automatisierten Berichten über das Prozessverhalten der Kläranlage Graz. Masterarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz. https://doi.org/10.3217/v873z-b7472.

Clara, M., Gruber, G., Hofer, T., Hohenblum, P., Kittlaus, S., Lenz, K., Liebmann, B., Liedermann, M., Maier, R., Mallow, O., Pessenlehner, M., Pichler, M., Pol-Gar, B., Rechberger, H., Scheffknecht, C., Spacek, S., Steidl, C. und Zessner, M. (2020): TEMPEST – Erfassung von Emissionen ausgewählter Spurenstoffe aus Kanalsystemen, Handlungsoptionen zu deren Minderung und Optimierung einer alternativen Nachweismethode für Kunststoffpartikel in Wasserproben. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus. Wien, Österreich. https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/umweltfoerderung/betriebe/Wasser_Betriebe/Studien_Wasserwirtschaft/10945_Tempest_20201110.pdf (letzter Zugriff am 29.05.2025).

Dumichen, Elke, Eisentraut, Paul, Bannick, Claus G., Barthel, Ann-Kathrin, Senz, Roland und Braun, Ulrike (2017): Fast Identification of Microplastics in Complex Environmental Samples by a Thermal Degradation Method. Chemosphere, 174, 572–584.

Eisentraut, Paul, Dumichen, Elke, Ruhl, Alexander S., Jekel, Martin, Albrecht, Martin, Gehde, Michael und Braun, Ulrike (2018): Two Birds with One Stone – Fast and Simultaneous Analysis of Microplastics: Microparticles Derived from Thermoplastics and Tire Wear. Environmental Science & Technology Letters, 5(10), 608–613.

Fischer, Marten und Scholz-Böttcher, Barbara M. (2017): Simultaneous Trace Identification and Quantification of Common Types of Microplastics in Environmental Samples by Pyrolysis-Gas Chromatography–Mass Spectrometry. Environmental Science & Technology, 51(9), 5052–5060.

Fischer, Marten und Scholz-Böttcher, Barbara M. (2019): Microplastics Analysis in Environmental Samples – Recent Pyrolysis-Gas Chromatography–Mass Spectrometry Method

Improvements to Increase the Reliability of Mass-Related Data. Analytical Methods, 11(18), 2489–2497.

Goedecke, Caroline, Eisentraut, Paul, Altmann, Korinna, Elert, Anna Maria, Bannick, Claus G., Ricking, Mathias, Obermaier, Nathan, Stolpe, Christian, Braun, Ulrike und Scholz, Susanne (2022): Development of a Routine Screening Method for the Microplastic Mass Content in a Wastewater Treatment Plant Effluent. Frontiers in Environmental Chemistry, 3, 844633. https://doi.org/10.3389/fenvc.2022.844633.

ISO 5667-27:2025 (2025): Guidance on sampling for microplastics in water

ISO 16094-2:2023 (2023) (Entwurf): Wasserbeschaffenheit - Analyse von Kunststoff in Wasser - Teil 2: Verfahren mittels Vibrationsspektroskopie

ISO 16094-3:2024 (2024) (Entwurf): Wasserbeschaffenheit –Analyse von Kunststoffen in Wasser –Teil 3: Thermo-analytisches Verfahren für Wasser mit geringen Gehalten an natürlichen Schwebstoffen

ISO 24187:2023 (2024): Grundsätze für die Analyse von Mikroplastik in der Umwelt

Mallow O., Spacek S., Schwarzböck T., Fellner J., Rechberger H. (2020): A new thermoanalytical method for the quantification of microplastics in industrial wastewater. Environ Pollut 259.

Moser, Maximilian (2025): Gewinnung von Feststoffproben für die Mikroplastik-Bestimmung aus dem Zu- und Ablauf der Kläranlage Graz. Masterarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau der TU Graz. In Arbeit, Finalisierung voraussichtlich im Herbst 2025.

Primpke, Sebastian, Fischer, Marten, Lorenz, Claudia, Gerdts, Gunnar und Scholz-Böttcher, Barbara M. (2020): Comparison of Pyrolysis Gas Chromatography/Mass Spectrometry and Hyperspectral FTIR Imaging Spectroscopy for the Analysis of Microplastics. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 412(30), 8283–8298.

Roscher, Lisa, Halbach, Maurits, Nguyen, Minh Trang, Hebeler, Martin, Luschtinetz, Franziska, Scholz-Böttcher, Barbara M., Primpke, Sebastian und Gerdts, Gunnar (2022): Microplastics in Two German Wastewater Treatment Plants: Year-Long Effluent Analysis with FTIR and Py-GC/MS. Science of the Total Environment, 817, 152619.

Spacek, S., Mallow, O., Schwarzböck, T. et al. (2020): Eine neue Methode für die Bestimmung des Mikroplastik-Massenanteils in Umweltproben. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft.

Abkürzungen

Abk.	Abkürzung
AFS	Abfiltrierbare Stoffe
AFS_{eq}	Äquivalenz-Konzentration für den AFS
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BG	Bestimmungsgrenze
BGBl.	Bundesgesetzblatt
BSB_5	Biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSB_{eq}	Äquivalenz-Konzentration für den CSB
EA-OEM	Elemental Analysis Overdetermined Equation Method
EÜ	Eigenüberwachung
EW_{60}	Einwohnerwert bezogen auf eine einwohnerspezifische, tägliche BSB_5-Fracht von 60 g BSB_5/(E·d)
FBOK	Fußbodenoberkante
GOK	Geländeoberkante
KA	Kläranlage
kont.	kontinuierlich
m-%	Massenprozent
MID	Magnetisch Induktives Durchflussmesssystem
MP	Mikroplastik
MÜB	Mischwasserüberlaufbecken
MW	Mischwasser
n. a.	nicht auswertbar
NG	Nachweisgrenze
n. n.	nicht nachweisbar, Wert lag unterhalb der Nachweisgrenze
NK	Naturkautschuk
NW	Niederschlagswasser

PN	Probenahme
PNG	Probenahmegerät
PNS	Probenahmesystem
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PN	Probenahme
PP	Polypropylen
PTFE	Polytetrafluorethylen
PS	Polystyrol
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
Q_d	Hydraulische Zulauftagesmengen zur Kläranlage in m^3/d
RW	Regenwasser
SBR	Styrol-Butadien-Kautschuk
SOK	Sohloberkante
SOP	Standard Operation Procedure
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TED-GC-MS	Thermoextraktion-Desorption-Gaschromatographie-Massenspektrometrie
TS	Trockensubstanz
TW	Trockenwetter
WOK	Wasserspiegeloberkante
ZSK	Zentraler Speicherkanal