

---

## Flussbad Berlin Testfilteranlage



## Auswertung – 2019

Im Auftrag von:



Bearbeitung:

Flussbad Berlin e.V.  
Falckensteinstraße 48  
10997 Berlin  
[testfilter@flussbad-berlin.de](mailto:testfilter@flussbad-berlin.de)

Prof. Dr.-Ing. Jens Nowak  
Dipl.-Ing. Heribert Rustige

Dr. rer.-nat. Ariane Nowak (Limnolabor)

Dr. rer.-nat. Ute Michels (AquaLytis)

MSc. Carl Trebesius

BSc. Linus Neubert

Stud. Rabea Feldmann

AKUT Umweltschutz Ingenieure  
Burkard und Partner  
Wattstraße 10, 13355 Berlin

Berlin, 15.5.2020

**AKUT**  
Partner

---

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsanlage .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Durchgeführte Änderungen an der Versuchsanlage.....</b>	<b>8</b>
2.2.1	Entnahme der oberen Filterschicht in Filter 1 .....	8
2.2.2	Umkehr der Fließrichtung in Filter 2 und Entwicklung der Pflanzen .....	11
2.2.3	Untersuchung Filter 3.....	13
2.2.4	Stilllegung des Muschelfilters und Inbetriebnahme Filter 4 .....	16
<b>2.3</b>	<b>Betriebseinstellungen .....</b>	<b>17</b>
2.3.1	Allgemeines .....	17
2.3.2	Durchflussmengen und Flächenbeschickung .....	19
2.3.3	Aufenthaltszeiten und Sichttiefe.....	21
<b>3</b>	<b>Ergebnisse Qualitätsmonitoring.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Hydraulische Filterleistung .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2</b>	<b>Untersuchungen der Anlagenhydraulik mit Farbstoff .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3</b>	<b>Ergebnisse aus regelmäßigen Beprobungen .....</b>	<b>28</b>
3.3.1	Allgemeines .....	28
3.3.2	Mikrobiologische Parameter .....	28
3.3.3	Chemische Parameter .....	32
3.3.4	Phytoplankton .....	38
3.3.5	Ergebnisse der Untersuchung von Zooplankton/Meiofauna .....	42
3.3.6	Makrozoobenthos .....	53
<b>3.4</b>	<b>Mischwasserüberläufe im Sommer 2019 .....</b>	<b>62</b>
<b>3.5</b>	<b>Belastungen nach Mischwasserereignissen .....</b>	<b>63</b>
<b>3.6</b>	<b>Online Sonden .....</b>	<b>72</b>
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>75</b>
<b>4.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>75</b>
<b>4.2</b>	<b>Hydraulik und Betriebssicherheit.....</b>	<b>75</b>
<b>4.3</b>	<b>Biologische Untersuchungen .....</b>	<b>77</b>
<b>4.4</b>	<b>Badewasserqualität .....</b>	<b>79</b>
<b>5</b>	<b>Untersuchungsbedarf und -programm .....</b>	<b>80</b>
<b>6</b>	<b>Anhang: .....</b>	<b>82</b>
<b>6.1</b>	<b>Filterwiderstände .....</b>	<b>82</b>
<b>6.2</b>	<b>Ergebnis Untersuchung von Phytoplanktonorganismen .....</b>	<b>84</b>
<b>6.3</b>	<b>Ergebnisse Untersuchung von Zoolanktonorganismen .....</b>	<b>91</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schmutzdecke auf dem Blähton in Filter 1 am 23.05.19.....	9
Abbildung 2:	Überstau von Filter 1 am 08.06.2019, zwei Wochen nach Entnahme der Schwimmdecke aus Wasserlinsen links, am 05.07.19 mit neuer Schwimmdecke aus Wasserlinsen .....	9
Abbildung 3:	Wasserschnecken am 13.08.2019 beim Fressen der Wasserlinsen links, Überstau am 21.08.2019 ohne Wasserlinsen rechts.....	10
Abbildung 4:	Überstau von Filter 1 am 06.10.2019, links, am 27.12.2019 rechts ....	10
Abbildung 5:	Beginn des Pflanzenwachstums in Filter 2 (17.05.2019) .....	11
Abbildung 6:	submerse Pflanzen und wiederkehrende Wasserlinsen in Filter 2.....	12
Abbildung 7:	Profil der oberen Filterschicht in Filter 3 .....	13
Abbildung 8:	Glühverlust in Filter 3 .....	14
Abbildung 9:	Umbau Filter 3; Leerzustand, Befüllung mit neuem Filtermaterial und Endzustand nach Bepflanzung .....	15
Abbildung 10:	Lieferung der neuen Filtermaterialien für Filter 3 und Filter 4.....	15
Abbildung 11:	Umbau Filter 4; neue Drainage, Befüllung mit neuem Filtermaterial und Endzustand nach Bepflanzung .....	16
Abbildung 12:	Hydraulische Belastungsraten (HLR) der Versuchsstufen F1, F2, F3, F4 und FW im Versuchszeitraum 2019.....	20
Abbildung 13:	Durchflüsse der Versuchsstufen F1, F2, F3, F4 und FW im Versuchszeitraum 2019.....	20
Abbildung 14:	Durchflüsse im Versuchszeitraum 2019, kumuliert .....	21
Abbildung 15:	Mittlere Aufenthaltszeiten in Filter 1-4 und Sichttiefe im Zulauf während des Versuchszeitraums 2019 .....	22
Abbildung 16:	Sichttiefen im Spreekanal und im Frischwasserbecken und Aufenthaltszeit im Frischwasserbecken .....	23
Abbildung 17:	Histogramm der geringsten gemessenen Sichttiefen je Kalenderwoche.....	23
Abbildung 18:	gemessene Filterwiderstände an den vier Testfiltern .....	25
Abbildung 19:	Einbringen des Tracers in den Zulauf/Überstau von Filter 3.....	26
Abbildung 20:	Konzentrationsverläufe und Summernkurven des Tracers (Uranin) .....	27
Abbildung 21:	Ergebnisse E.coli.....	29
Abbildung 22:	Ergebnisse Intestinale Enterokokken.....	30
Abbildung 23:	Ergebnisse Gesamtcoliforme.....	30
Abbildung 24:	Ergebnisse Gesamtkoloniezahl .....	31
AKUT Partner	Betriebsbericht Flussbad Berlin Testfilter 2019	2

---

Abbildung 25:	Reduktion der Keimbelastung durch die Filtration.....	31
Abbildung 26:	Ergebnisse Gesamtstickstoffmessung, Box-Whisker-Darstellung ...	32
Abbildung 27:	Ergebnisse Ammoniummessung, Box-Whisker-Darstellung .....	33
Abbildung 28:	Ergebnisse Nitratmessung, Box-Whisker-Darstellung.....	33
Abbildung 29:	Ergebnisse Phosphormessung, Box-Whisker-Darstellung .....	34
Abbildung 30:	Ergebnisse TOC-Messung, Box-Whisker-Darstellung.....	34
Abbildung 31:	Ergebnisse TOC-Messung, zeitlicher Verlauf .....	35
Abbildung 32:	Ergebnisse Chlorophyll-a-Messung .....	36
Abbildung 33:	Ergebnisse Sauerstoff-Messung.....	37
Abbildung 34:	Biovolumen und Algenarten im Spreekanal .....	38
Abbildung 35:	Biovolumen und Algenarten im Ablauf von Filter 1.....	39
Abbildung 36:	Biovolumen und Algenarten im Ablauf von Filter 2.....	39
Abbildung 37:	Biovolumen und Algenarten im Ablauf des Frischwasserbeckens...	40
Abbildung 38:	Cyanobakterien-Biovolumina im Spreekanal und in den Abläufen der Filter 1 und Filter 2 und des Frischwasserbeckens .....	40
Abbildung 39:	Gegenüberstellung des phytoplanktischen Biovolumens und der Chlorophyll-a-Konzentration zur Aufenthaltszeit im Frischwasserbecken.....	41
Abbildung 40:	Individuendichten der Tiergruppen Zooplankton/Meiofauna für die einzelnen Messstellen .....	43
Abbildung 41:	Biomassen der Tiergruppen Zooplankton/Meiofauna für die einzelnen Messstellen .....	43
Abbildung 42:	Präferenzen für Lebensräume für das Zooplankton/die Meiofauna in einzelnen Kompartimenten: Anteile an der Individuendichte und der Biomasse.	44
Abbildung 43:	Ernährungstypen für das Zooplankton/die Meiofauna in einzelnen Kompartimenten: Anteile an der Individuendichte und der Biomasse .....	45
Abbildung 44:	Individuendichte und Biomasse des Zooplanktons im Spreekanal ..	46
Abbildung 45:	Individuendichte des Zooplanktons im Filter 1: Überstand und Ablauf .....	47
Abbildung 46:	Biomasse des Zooplanktons im Filter 1: Überstand und Ablauf .....	48
Abbildung 47:	Individuendichte und Biomasse des Zooplanktons im Überstand von Filter 2 .....	49
Abbildung 48:	Individuendichte und Biomasse des Zooplanktons im Überstand von Filter 3 .....	50
Abbildung 49:	Individuendichte und Biomasse des Zooplanktons im Filter 4 .....	51

---

Abbildung 50: Individuendichte und Biomasse des Zooplanktons im Frischwasser .....	52
Abbildung 51: Verlauf der E. coli- und Enterokokken Konzentration im Spreekanal und Mischwassereinleitungen im Versuchszeitraum 2019 .....	63
Abbildung 52: Verlauf der Konzentrationen von E.coli während der ersten Intensivbeprobung .....	64
Abbildung 53: Verlauf der Konzentrationen der intestinalen Enterokokken während der ersten Intensivbeprobung .....	65
Abbildung 54: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtcoliforme während der ersten Intensivbeprobung .....	65
Abbildung 55: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtkeimzahl während der ersten Intensivbeprobung .....	66
Abbildung 56: Verlauf der Konzentrationen von E. coli während der zweiten Intensivbeprobung .....	66
Abbildung 57: Verlauf der Konzentrationen der intestinalen Enterokokken während der zweiten Intensivbeprobung .....	67
Abbildung 58: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtcoliforme während der zweiten Intensivbeprobung .....	67
Abbildung 59: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtkeimzahl während der zweiten Intensivbeprobung .....	68
Abbildung 60: Verlauf der Konzentrationen von E.coli während der dritten Intensivbeprobung .....	69
Abbildung 61: Verlauf der Konzentrationen der intestinalen Enterokokken während der dritten Intensivbeprobung .....	69
Abbildung 62: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtcoliforme während der dritten Intensivbeprobung .....	70
Abbildung 63: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtkeimzahl während der dritten Intensivbeprobung .....	70
Abbildung 64: Dauer der Verschmutzung nach Mischwasserereignissen .....	71
Abbildung 65: Sauerstoffmessungen der Multiparametersonden über den Ausschnitt des Versuchszeitraums .....	72
Abbildung 66: Temperaturmessungen der Multiparametersonden über den Ausschnitt des Versuchszeitraums .....	73
Abbildung 67: Leitfähigkeitsmessungen der Multiparametersonden über den Ausschnitt des Versuchszeitraums .....	73
Abbildung 68: Trübungsmessungen der Multiparametersonden über den Ausschnitt des Versuchszeitraums .....	74

---

Abbildung 69: Filterwiderstand von Filter 1 und Filter 2 sowie Biovoluma der dominierenden Phytoplanktonorganismusgruppe und Gesamtbiovolumen im Zulauf über Ausschnitt des Versuchszeitraums .....	83
Abbildung 70: Filterwiderstand von Filter 1 und Filter 2 sowie AFS im Zulauf .....	83

### **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Liegezeiten des Schiffs am Versuchsstandort Spreekanal.....	8
Tabelle 2: Bezeichnung der einzelnen Probenahmestellen mit verwendeten Nummerierungen und Abkürzungen .....	17
Tabelle 3: Übersicht Betriebsphasen (Filterkombinationen) 2019.....	18
Tabelle 4: Übersicht über Schaltungen der Filter.....	18
Tabelle 5: Betriebseinstellungen: Gebläse zur Filterbelüftung, aus, intermittierend, kontinuierlich.....	19
Tabelle 6: Einbauorte der beiden Multiparametersonden .....	19
Tabelle 7: Berechnungsgrundlagen Aufenthaltszeiten.....	22
Tabelle 8: Kennzahlen aus dem Tracer-Versuch.....	27
Tabelle 9: Kennzahlen der Keimbelastungen berechnet gemäß BGewV.....	29
Tabelle 10: Taxazahlen, Individuendichten und Biomassen von Zooplankton/ Meiofauna in den einzelnen Messstellen .....	42
Tabelle 11: Filter 1 – Makrozoobenthos auf der Sohle .....	53
Tabelle 12: Filter 1 – Makrozoobenthos an der Wand .....	54
Tabelle 13: Filter 2 – Makrozoobenthos auf der Sohle .....	54
Tabelle 14: Filter 2 – Makrozoobenthos an der Wand .....	55
Tabelle 15: Filter 3 – Makrozoobenthos auf der Sohle .....	56
Tabelle 16: Filter 3 – Makrozoobenthos an der Wand .....	56
Tabelle 17: Filter 4 – Makrozoobenthos auf der Sohle .....	57
Tabelle 18: Filter 4 – Makrozoobenthos an der Wand .....	57
Tabelle 19: FW1 – Makrozoobenthos auf der Sohle.....	58
Tabelle 20: FW1 – Makrozoobenthos an der Wand.....	59
Tabelle 21: FW2 – Makrozoobenthos auf der Sohle.....	59
Tabelle 22: FW2 – Makrozoobenthos an der Wand.....	60
Tabelle 23: FW3 – Makrozoobenthos auf der Sohle.....	60
Tabelle 24: FW3 – Makrozoobenthos an der Wand.....	61

---

Tabelle 25: Zusammenfassung der Mischwasserüberläufe 2019 .....	62
Tabelle 26: Hydraulische Belastung und Filterwiderstand.....	82
Tabelle 27: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Spreekanal .....	84
Tabelle 28: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Ablauf von Filter 1 .....	85
Tabelle 29: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Ablauf von Filter 2 .....	86
Tabelle 30: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Ablauf von Filter 3 .....	87
Tabelle 31: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Ablauf von Filter 4 .....	88
Tabelle 32: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Ablauf des Frischwasserbeckens . .....	88
Tabelle 33: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Spreekanal.....	91
Tabelle 34: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 1, Überstand .....	92
Tabelle 35: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 1, Ablauf.....	93
Tabelle 36: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 2, Überstand .....	93
Tabelle 37: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 2, Ablauf.....	94
Tabelle 38: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 3, Überstand .....	95
Tabelle 39: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 4, Überstand .....	95
Tabelle 40: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Frischwasser.....	96

---

# 1 Zusammenfassung

Dieser Bericht umfasst das Betriebsjahr 2019. Zwischen April und November 2019 wurden die Testfilter im Spreekanal regelmäßig untersucht. Zwei der insgesamt vier Filter wurden erst im August neu eingerichtet und befanden sich noch in der Einfahrphase. Aussagekräftige Ergebnisse sind im Betriebsjahr 2020 zu erwarten.

Die beiden älteren, bereits seit 2017 in Betrieb befindlichen Testfilter 1 und 2 konnten uneingeschränkt untersucht werden. Dabei wurde der unbepflanzte Blähtonsubstratfilter 1 ohne Änderungen wie im Vorjahr weiterbetrieben. In dem submers bepflanzten Lavasubstratfilter 2 wurde Anfang 2019 die Fließrichtung umgekehrt. Ziel des neuen Aufstrombetriebs war es, die Ansammlung von Wasserlinsen an der Wasseroberfläche durch oberflächiges Abskimmen zu unterbinden.

In Filter 1 wurde zu Beginn des Betriebs im April/ Mai 2019 zunächst ein außergewöhnlich hoher Filterwiderstand beobachtet. Dieser konnte auf im Winter abgestorbene und auf der Filteroberfläche sedimentierte Wasserlinsen zurückgeführt werden. Durch Abschälen des Belags konnte die ursprüngliche Durchlässigkeit komplett wiederhergestellt werden. Im Frühsommer des Jahres 2019 kam es dann zu einem erneuten Zuwachsen der Wasseroberfläche mit schwimmenden Wasserlinsen. Der Filterwiderstand erhöhte sich dadurch nicht. Überraschenderweise kam es im Juli/ August zu einer Massenvermehrung von weidenden Wasserschnecken. Diese hielten die Wasseroberfläche bis zum Rest des Jahres frei von jeglichen Schwimmpflanzen.

An Filter 2 erwies sich die Umkehrung der Fließrichtung mit oberflächigem Abzug des Filtrats aus dem Überstau zunächst als effektiv. Es kam nicht zur Ansammlung von Wasserlinsen. Der hohe Lichteinfall begünstigte dann wie gewünscht in diesem Filter die Vermehrung der Unterwasserpflanzen. Nachdem diese sich im gesamten Filterüberstau in großer Dichte ausgebreitet hatten, wurde der Oberflächenabzug dadurch massiv gestört. Es kam in der Folge zur erneuten Ausbildung einer Schwimmdecke aus Wasserlinsen und zu einem Absterben von submersen Pflanzen aufgrund von Lichtmangel. Schnecken vermehrten sich hier nicht.

Die Reinigungsleistung der beiden Filter lag im Untersuchungszeitraum bei einer Flächenbeschickung von etwa 6 m/d bis 8 m/d im erwarteten Bereich. Es konnte gezeigt werden, dass Algen durch die Biofilter zurückgehalten werden und dass eine Aufenthaltszeit im Frischwasserbecken von bis zu 24 Stunden nicht zu einem Wiederaufkeimen führte. Insbesondere in Bezug auf die Sichttiefe konnte so eine Verbesserung der Badewasserqualität erreicht werden. Allerdings wurde im Untersuchungszeitraum 2019 auch keine massive Algenblüte im Spreekanal festgestellt. Cyanobakterien wurden dort zu keinem Zeitpunkt in problematischen Konzentrationen festgestellt.

Die Keimbelastung im Spreekanal lag, mit Ausnahme der Zeiträume von 48 Stunden nach den Mischwasserereignissen, im Bereich „guter“ Wasserqualität gemäß Badegewässerverordnung. Durch die Biofiltration konnte die Keimbelastung um nahezu eine log-Stufe reduziert werden. Somit wäre die Wasserqualität analog zur Badegewässerverordnung als „ausgezeichnet“ einzustufen gewesen. In Zeiten hoher Keimbelastungen im Spreekanal während und kurz nach Mischwassereinleitungen konnten die Zielwerte in der Kombination aus Biofilter und UV-Behandlung erreicht werden.

Für die weiteren Belastungsversuche in 2020 wären Abflussmessungen im Spreekanal oder entsprechende Angaben des Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Berlin hilfreich.



---

## 2 Versuchsanlage

### 2.1 Allgemeines

Die Gestaltung der Versuchsanlage und die verwendeten Geräte und Materialien sind im Betriebsbericht 2018 ausführlich beschrieben worden.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse des Betriebsjahres 2019 zusammengefasst. Das Schiff lag zwischen dem 1. April und dem 12. Dezember am Versuchsort im Spreekanal (vgl. Tabelle 1), die regelmäßigen Probenahmen und Analysen erfolgten zwischen dem 17. Mai und dem 23. Oktober 2019.

Das Schiff wurde am 1. April wieder an seinen Liegeplatz 50 m oberhalb des Wehrs am Kupfergraben überführt und unmittelbar vor dem Flussbadgarten festgemacht.

Tabelle 1: Liegezeiten des Schiffs am Versuchsstandort Spreekanal

	Anfahrt	Abfahrt
2017	19. Juli	14. Dezember
2018	3. Mai	14. Dezember
2019	1. April	12. Dezember

### 2.2 Durchgeführte Änderungen an der Versuchsanlage

#### 2.2.1 Entnahme der oberen Filterschicht in Filter 1

In Filter 1 wird Blähton der Körnung 4/8 mm als Substrat eingesetzt. Da der Filter unbepflanzt ist, kam es 2018 zur Bildung einer Zentimeter dicken Schicht mit kleinen Schwimmpflanzen (*Wasserlinse = Lemna sp.*) auf dem Filterüberstau. Die Wasserlinsen waren über den Winter abgestorben und auf die Filteroberfläche abgesunken. Zudem bildete sich kurz nach Inbetriebnahme Anfang April erneut eine geschlossene Schwimmschicht von Wasserlinsen. Innerhalb der folgenden sechs Wochen kam es zu einem Anstieg des Filterwiderstandes von 1 cm auf 40 cm (vgl. Abbildung 18). Es wurde vermutet, dass sich die über den Winter abgestorbenen Wasserlinsen als Detritus auf der obersten Filterschicht abgesetzt und beim Betrieb verdichtet hatten.

Um die äußere Kolmation von Filter 1 zu beheben, wurde am 23. Mai zunächst die neu entstandene Schwimmdecke aus Wasserlinsen händisch abgeschöpft. Anschließend wurde der Überstau soweit abgesenkt, dass die Filteroberfläche trockenfiel. Die oberste etwa 2 cm dicke Substratschicht wurde daraufhin abgetragen. Sie war stark mit organischem Material versetzt und wurde entsorgt (Abbildung 1).



Abbildung 1: Schmutzdecke auf dem Blähton in Filter 1 am 23.05.19



Abbildung 2: Überstau von Filter 1 am 08.06.2019, zwei Wochen nach Entnahme der Schwimmdecke aus Wasserlinsen links, am 05.07.19 mit neuer Schwimmdecke aus Wasserlinsen

Nach Entnahme der Wasserlinsen und der obersten Substratschicht in Filter 1 am 23.05.19 kam es bis Juli zur Bildung einer neuen Schwimmdecke aus Wasserlinsen (Abbildung 2). Wie Abbildung 3 zu entnehmen ist, wurden im August Wasserschnecken



---

im Filterüberstau entdeckt, die die Wasserlinsen auffraßen. Die Schwimmdecke war dadurch völlig entfernt worden.

Im weiteren Betrieb lag besonderes Augenmerk auf der Fragestellung, wie wirksam die Maßnahme vom 23.05.19 mit Bezug auf den Filterwiderstand war und wie sich die Störanfälligkeit auf einen großtechnischen Filter übertragen lässt. Der weitere Verlauf des Filterwiderstandes ist in Abbildung 18 und in Tabelle 26 im Anhang dargestellt: mit maximalen Werten von 12 cm erhöhte sich der Filterwiderstand zwar wieder stärker als der Widerstand in den anderen Filtern, stabilisierte sich dann aber im Herbst um einen geringen Wert. Der Einfluss der aktiven Filterbelüftung zwischen 21. August und 12. September auf den Filterwiderstand muss dabei berücksichtigt werden.



Abbildung 3: Wasserschnecken am 13.08.2019 beim Fressen der Wasserlinsen links, Überstau am 21.08.2019 ohne Wasserlinsen rechts



Abbildung 4: Überstau von Filter 1 am 06.10.2019, links, am 27.12.2019 rechts

---

## 2.2.2 Umkehr der Fließrichtung in Filter 2 und Entwicklung der Pflanzen

In Filter 2 wird gebrochener Lavastein der Körnung 8/16 mm untersucht. Im Betriebsjahr 2018 war es auf einigen Filtern zu problematischem Fremdbewuchs des Filterüberstaus (insb. durch Wasserlinsen und Fadenalgen) gekommen. Als Gegenmaßnahme wurde im April 2019 die Fließrichtung in Filter 2 umgekehrt. Wie im Frischwasserbecken wurde der Überstau mit einer Skimmer-Vorrichtung versehen, die den oberflächlichen Abzug des Filtrats ermöglichte. Ziel war es, so das Ansiedeln von Wasserlinsen auf dem Überstau zu unterbinden.

In den ersten Wochen nach dem Umbau erwies sich die Vorrichtung als wirkungsvoll, indem die zu Beginn bestehende Schwimmschicht von Wasserlinsen nachhaltig entfernt wurde. Am 14. Mai waren auf der Filteroberfläche erstmals seit Inbetriebnahme größere Mengen von Fadenalgen und ährigem Tausendblatt erkennbar (vgl. Abbildung 5), welche in den folgenden Wochen die gesamte Filteroberfläche überwucherten. Dominante Art war dabei zunächst die Fadenalge. Dazwischen konnte vereinzelt die Wiederkehr der gelben Teichrose verzeichnet werden. Ab Juni dominierten ähriges Tausendblatt und Hornblatt den Bewuchs des Überstaus.



Abbildung 5: Beginn des Pflanzenwachstums in Filter 2 (17.05.2019)

Am 25. Juni war der Bewuchs soweit vorangeschritten, dass Pflanzenteile in die Skimmer-Vorrichtung ragten und den Betrieb der Abfluss-Pumpe störten. Daraufhin wurden die Pflanzen bei jeder Schiffsbegehung aus der Skimmer-Vorrichtung entfernt. Der starke Bewuchs, welcher den gesamten Überstau in Filter 2 bis unmittelbar unter der Wasseroberfläche betraf, konnte durch die Skimmer-Vorrichtung kein wirkungsvoller Oberflächenabzug über die gesamte Fläche des Filters mehr ausgeprägt werden. Hierdurch kam es erneut zur Ansiedelung von Wasserlinsen (vgl. Abbildung 6).

Durch den Bewuchs kam es zudem zur Beschädigung der Abfluspumpe, die in der Folge zunächst gegen eine stärkere Pumpe größerer Bauart ausgetauscht wurde. Diese



---

wurde jedoch bereits am 3. Juli wieder gegen eine kleinere ausgetauscht, um das häufige Takten der leistungsstärkeren Pumpe zu vermeiden.

Die an Filter 2 gemachten Beobachtungen liefern bereits wichtige Erkenntnisse über die Wirkung einer Aufwärtsdurchströmung. Die Störanfälligkeit in Verbindung mit submerser Filtervegetation muss in jedem Fall als kritisch betrachtet werden. Es wurde keine Zunahme des Filterwiderstandes an Filter 2 festgestellt.

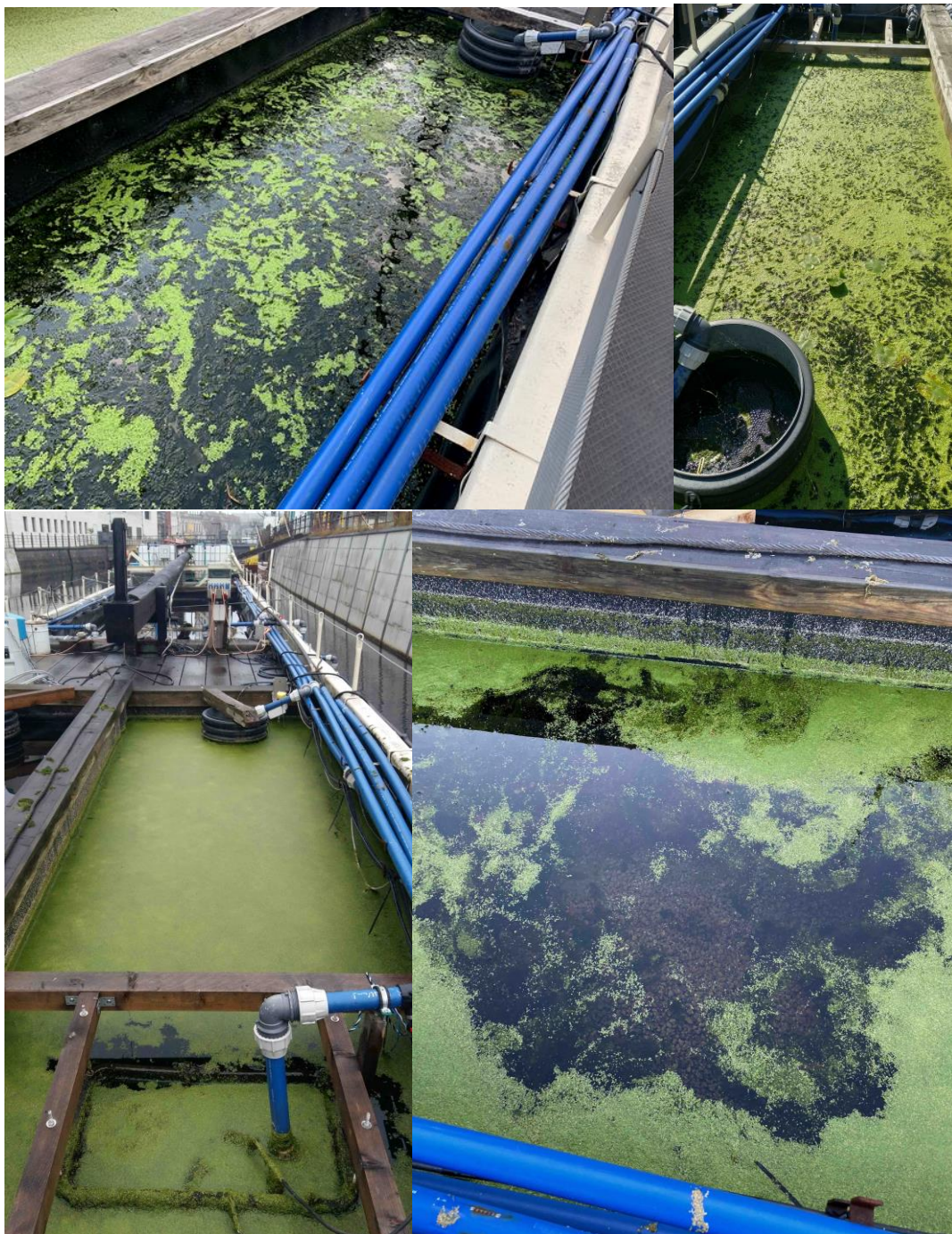


Abbildung 6: submerser Pflanzen und wiederkehrende Wasserlinsen in Filter 2 (18.07.2019 links oben, 23.08.19 rechts oben, 12.12.19 links unten, 27.12.19 rechts unten)



---

### 2.2.3 Untersuchung Filter 3

Filter 3 war Ende 2018 außer Betrieb genommen worden. Es wurde vermutet, dass die zu dichte Bepflanzung mit Topfpflanzen einschließlich Wurzelballen zu einer Verschlammung des Kiesfilters geführt hatte. Nachdem die Auswechslung des Filtermaterials beschlossen wurde, konnte das gesamte Material beim Ausbau untersucht werden.

Am 27. April wurde das in Filter 3 stehende Wasser abgepumpt. Die auf dem Filter gepflanzten Ufer-Seggen sowie das Schilf wurden entnommen und deren Wurzelballen händisch von Erde befreit.

Bei der Entnahme des Filtermaterials wurden Beobachtungen gemacht, die unter anderem die Betriebsstörungen im Vorjahr erklären können. In den oberen 20 cm bis 40 cm der Filterschicht war eine erhebliche Verschlammung des Substrats zu erkennen. Der Kies war mit organischem und anorganischem Feinmaterial versetzt, das dem sonst gelb-braunen Filtermaterial eine dunkle Färbung sowie eine deutlich höhere Dichte verlieh. Wie im Jahresbericht 2018 vermutet, stammt dieses Feinmaterial mit größter Wahrscheinlichkeit aus den Wurzelballen der Erstbepflanzung.

In der Folge war die Durchlässigkeit des Kies und damit die Filterleistung stark beeinträchtigt. Das Eindringen des Feinmaterials in den Filter war an unterschiedlichen Stellen verschieden weit vorangeschritten. Entlang des Beckenrandes konnte das Feinmaterial erheblich tiefer eindringen als in der Filtermitte. Auch an Stellen mit geringerer Filterdicke war die Verschlammung bis in tiefere Filterschichten zu beobachten. Dies war beispielsweise dort der Fall, wo Turbulenzen die oberste Kiesschicht abgetragen und verlagert hatten. Am Grund des Filterbeckens war keine Verfärbung des Kies zu erkennen. Das Eindringen und Ablagern von Erde aus den Wurzelballen der gesetzten Pflanzen in dieser Tiefe kann demnach vernachlässigt werden. Dennoch war auch hier ein hoher Anteil feiner Partikel erkennbar.



Abbildung 7: Profil der oberen Filterschicht in Filter 3

Im Labor wurde der Glühverlust des Filtermaterials aus verschiedenen Tiefen bestimmt. Dabei konnte ein stark erhöhter Glühverlust in den oberen Filterschichten nachgewiesen werden, was wiederum auf einen erhöhten Anteil organischen Materials schließen lässt. Wenige Zentimeter unterhalb der Filteroberfläche betrug der Glühverlust 2,2 %, wohingegen der Glühverlust an der Unterseite des Filters bei 0,5 % lag. Für das Ausgangsmaterial wurde ebenfalls ein Glühverlust von 0,5 % festgestellt. Die Verläufe der Messergebnisse entlang der Filterdicke sowie des Rohmaterials sind in Abbildung 8 gezeigt.

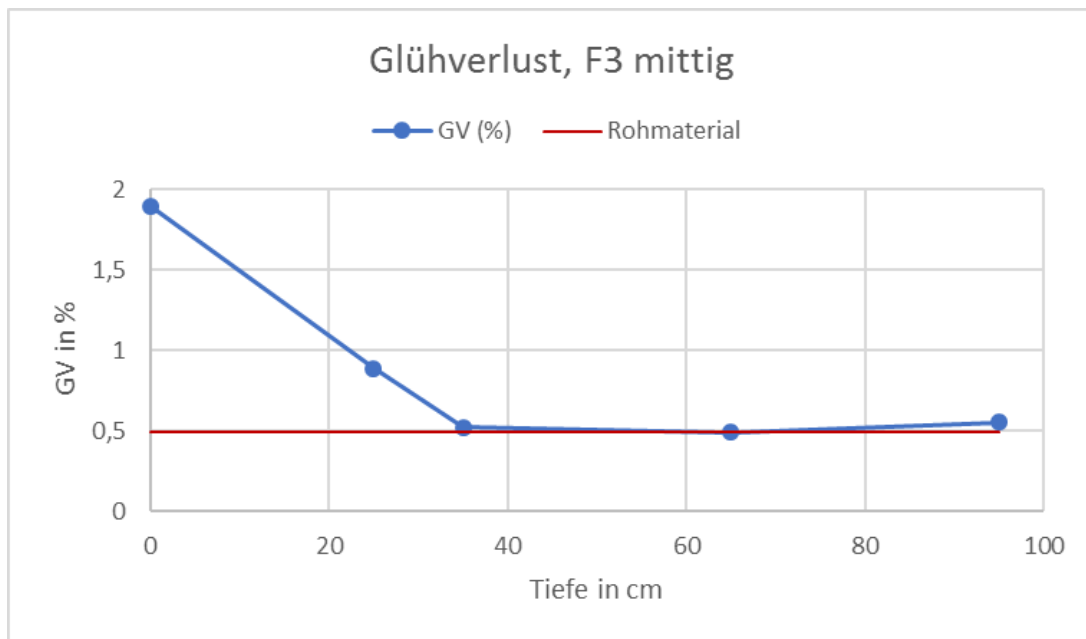


Abbildung 8: Glühverlust in Filter 3

Am 13. August wurde in Filter 3 ein neues Substrat eingesetzt. Zur Verringerung der Feinanteile wurde für die Neubefüllung ein Kies mit steilerer Kennlinie bzw. einer höheren Gleichförmigkeit gewählt: 4/8 mm anstelle von 2/8 mm.





Abbildung 9: Umbau Filter 3; Leerzustand, Befüllung mit neuem Filtermaterial und Endzustand nach Bepflanzung (von links nach rechts)

Die Bepflanzung von Filter 3 erfolgte mit den zuvor entnommenen Ufer-Seggen und Schilf. Die Bepflanzungsdichte war geringer, als bei der Erstbepflanzung 2017.



Abbildung 10: Lieferung der neuen Filtermaterialien für Filter 3 und Filter 4



## 2.2.4 Stilllegung des Muschelfilters und Inbetriebnahme Filter 4

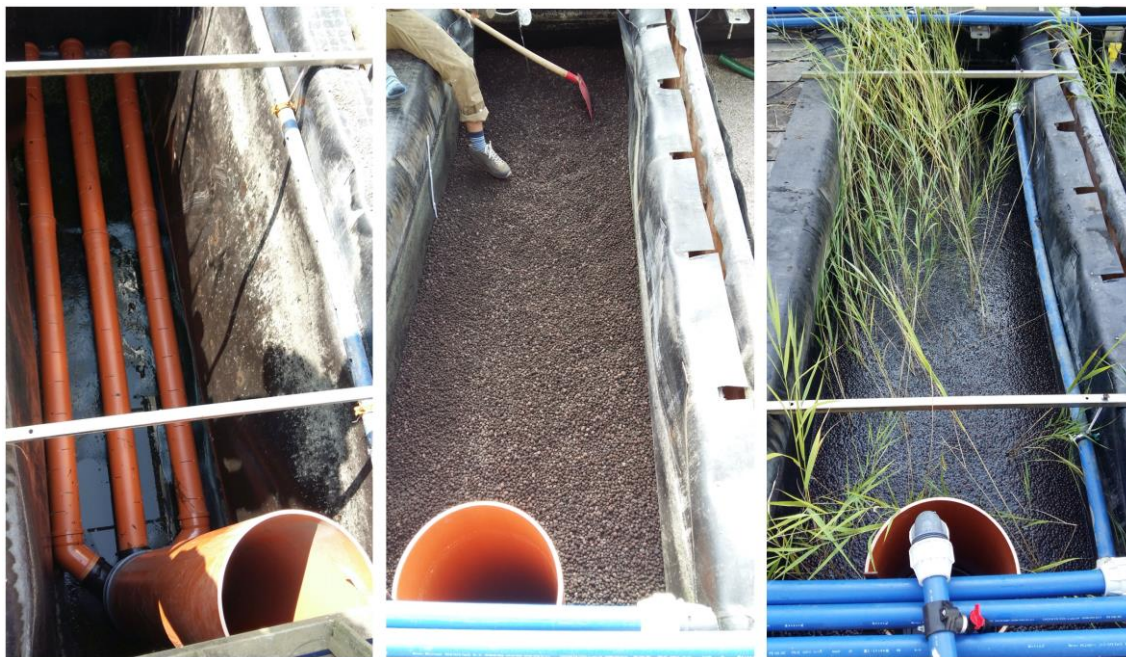


Abbildung 11: Umbau Filter 4; neue Drainage, Befüllung mit neuem Filtermaterial und Endzustand nach Bepflanzung (von links nach rechts)

Alle auf den Matten und im Becken befindlichen Muscheln waren im Winter 2018/2019 verendet, als es zur Unterbrechung der Wasserversorgung kam. Die entstehende Nahrungs- und Sauerstoffknappheit, die durch die hohe Individuendichte verschärft wurde, kann als Auslöser des massenhaften Muschelsterbens vermutet werden. Das Wasser im Becken wies deutliche Zeichen von anaeroben Bedingungen auf. Da keine bewachsenen Matten aus der Spree mehr zur Verfügung standen, wurden die Versuche am Muschelfilter beendet.

Die inzwischen muschelfreien Aufwuchsmatten wurden noch vor Verlegung des Schiffes entnommen und entsorgt.

Das freigewordene Becken wurde schließlich mit einem Sammelschacht und Drainagen versehen. Am 13. August wurde das Becken wie in den anderen Testfiltern mit einem Filtersubstrat (Blähton 8/16 mm) bestückt. Das Material wurde von dem belgischen Hersteller ARGEX kostenlos zur Verfügung gestellt.

Filter 4 (ehemals Muschelfilter) wurde wie Filter 3 zum Teil mit Pflanzen, die im April aus Filter 3 entnommen wurden, sowie mit neuen zweijährigen Schilfpflanzen bestückt. Es soll geprüft werden, ob die gröbere und somit weniger verstopfungsanfällige Körnung noch eine ausreichende Reinigungsleistung erbringt und ob dieser ebenfalls bepflanzte Filter Vorteile gegenüber dem Kiesfilter (Filter 3) aufweist.

Die Pflanzendichte nach der Bepflanzung gleicht der in Filter 3. Die sonstigen neuen Filterdimensionen können Tabelle 7 entnommen werden.

---

## 2.3 Betriebseinstellungen

### 2.3.1 Allgemeines

In Tabelle 2 sind die verschiedenen Anlagenteile, die dazugehörigen Probenahmestellen und deren Kurzbezeichnungen dargestellt. Die Kurzbezeichnung wird auch in den folgenden Tabellen verwendet.

Tabelle 2: Bezeichnung der einzelnen Probenahmestellen mit verwendeten Nummerierungen und Abkürzungen

Probenahmestelle	kurz	Probenahmestelle	kurz
Spreekanal	Zu	Filter 4 Ablauf	F4 ab
Filter 1 Ablauf	F1	Frischwasser Zu/-Ablauf	FW zu/ab
Filter 2 Ablauf	F2	UV-Anlage Ablauf	UV ab
Filter 3 Ablauf	F3	Ablauf Spree	Ab

Nachdem sowohl der Muschelfilter als auch Filter 3 außer Betrieb genommen wurden, standen 2019 nur Filter 1 und Filter 2 durchgängig für Untersuchungen zur Verfügung. Ab dem 13. August wurden Filter 3 und Filter 4 stückweise in Betrieb genommen. Aufgrund der gegebenen Rohrleitungsführung auf der Anlage, existieren für Filter 4 weder eine Durchflussmessung mittels MID noch ein Drosselventil. Durch Auslitern des Abflusses und takten der Abfluspumpe wurde der Durchfluss auf den angestrebten Wert eingestellt. Er wird als konstant für den restlichen Versuchszeitraum angenommen.

Die UV-Anlage konnte erst nach dem Austausch der defekten Sensorik am 28. Mai in Betrieb genommen werden. Seitdem bestand die Möglichkeit, den Abfluss eines der Filter 1, 2 und 3 über die UV-Anlage laufen zu lassen. Das Frischwasserbecken kann mit dem Abfluss eines Filters oder der UV-Anlage beschickt werden. Eine Übersicht über die verschiedenen Schaltungen der Filter sowie der gemittelten Durchflüsse während der jeweiligen Testzeiträume ist in Tabelle 3 und Tabelle 4 zu sehen. Dem Frischwasserbecken ist immer entweder nur ein Filter oder ein Filter und die UV-Anlage vorgeschaltet. Wenn ein Filterablauf nicht in die UV-Anlage oder das Frischwasserbecken geht, wird er direkt in den Spreekanal abgeworfen und nur zur Beprobung der Filterleistung verwendet.

Tabelle 3: Übersicht Betriebsphasen (Filterkombinationen) 2019 (z.B. F1 September - Oktober, in Fließrichtung: F1 + FW)

2019 Umstellung:	April		Mai			June	July	August	September	Oktober
	07.04.	23.05.	28.05.	29.05.	03.07.	13.08.	12.09.			
Filter	1	F1 FW	F1	F1	F1 UV	F1	F1	F1	FW	
	2	F2	F2 FW	F2 UV FW	F2 FW	F2 UV FW	F2	UV	FW	
	3							F3		
	4							F4		
Q Mittel [m³/h]	1	↘ 2,9	↗ 3,6	↘ 2,9	↘ 2,9	↘ 2,9	↗ 3,1			
	2	↘ 2,8	↗ 3,9	↘ 2,3	↗ 3,4	↗ 3,2	↗ 3,3			
	3							↘ 2,5		
	4							↘ 2,7		

Tabelle 4: Übersicht über Schaltungen der Filter

Zeitraum		Abfluss F1 nach	Abfluss F2 nach	Abfluss F3 nach	Abfluss F4 nach
von	bis				
06.04.19	23.05.19	- FW - Ab	- Ab		
23.05.19	28.05.19	- Ab	- FW - Ab		
28.05.19	29.05.19	- Ab	- UV - FW - Ab		
29.05.19	03.07.19	- UV - Ab	- FW - Ab		
03.07.19	12.09.19	- Ab	- UV - FW - Ab		
13.08.19	14.12.19			- Ab	- Ab
12.09.19	14.12.19	- FW - Ab	- UV - Ab	- Ab	- Ab

Filter 1, Filter 2 und Filter 3 können zur besseren Sauerstoffversorgung künstlich belüftet werden, um die Abbauprozesse in den Filtern zu verbessern und den Restsauerstoffgehalt im Gewässer zu erhöhen. In Tabelle 5 ist dargestellt, welche Filter zu welchem Zeitpunkt künstlich belüftet wurden. Im Versuchszeitraum 2019 wurde die Belüftung während der entsprechenden Zeiträume kontinuierlich eingesetzt.

Tabelle 5: Betriebseinstellungen: Gebläse zur Filterbelüftung, aus, intermittierend (10 Min, jede halbe Stunde), kontinuierlich

Zeitraum		Filter		
von	bis	F1	F2	F3
17.05.2019 00:00	21.08.2019 12:50	aus	aus	aus
21.08.2019 12:51	22.08.2019 10:30	kont	kont	aus
22.08.2019 10:31	26.08.2019 15:30	kont	aus	aus
26.08.2019 15:31	12.09.2019 13:00	kont	kont	aus
12.09.2019 13:01	17.09.2019 12:00	aus	aus	kont
17.09.2019 12:01	18.09.2019 14:00	aus	aus	aus
18.09.2019 14:01	16.10.2019 08:00	aus	aus	kont
16.08.2019 08:01	23.10.2019 23:59	aus	aus	aus

Die Versuchsanlage ist mit zwei kontinuierlich messenden Multiparametersonden ausgestattet. Deren Einsatzorte und -zeiten sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Einbauorte der beiden Multiparametersonden

Zeitraum		Sonde	Ort
von	bis		
09.04.2019 12:00	23.10.2019 12:00	1	Zu
09.04.2019 12:00	30.11.2019 23:59	2	F1 ab
23.10.2019 12:01	30.11.2019 23:59	1	FW

### 2.3.2 Durchflussmengen und Flächenbeschickung

Durch Variation der Durchflüsse sollen die hydraulischen und wirkungsgradbezogenen Belastungsgrenzen der verschiedenen Filtertypen ermittelt werden. Ausgehend von einer Nettofilterfläche von jeweils 11,75 m<sup>2</sup> für Filter 1, 2 und 3, beträgt bei einem eingestellten Durchfluss von 1 m<sup>3</sup>/h die Flächenbeschickung HLR rund 2 m/d.

In den Voruntersuchungen wurde von einer maximalen Flächenbelastung von 7,6 m/d ausgegangen (Vertiefende Konzeption, Flussbad Berlin 2015). Hieraus resultiert ein maximaler Volumenstrom für die Testfilter 1, 2 und 3 von 3,7 m<sup>3</sup>/h. Je größer die hydraulische Belastung ist, mit der noch eine ausreichende Filterleistung erreicht werden kann, desto kleiner kann ein Filter für das Flussbad Berlin gestaltet werden.

Die Grenzbelastung eines Filters ist entweder dann erreicht, wenn die hydraulischen Grenzen überschritten werden, d.h. der Filterwiderstand zu groß wird, oder wenn die Aufenthaltszeit und damit die Reaktionszeit für die biologischen Prozesse (z.B. Keimelimination) nicht mehr ausreicht, um die Grenz-Konzentrationen relevanter Parameter zu unterschreiten (Filterdurchbruch).

Im Versuchszeitraum 2019 wurden an Filter 1 und Filter 2 Durchflüsse bis 4,5 m<sup>3</sup>/h bzw. Flächenbeschickungen bis ca. 9 m/d untersucht. Das Schreiberprotokoll der Durchflussmessungen (vgl. Abbildung 12 und Abbildung 13) zeigt sämtliche hydraulischen Belastungszustände der Testfilter und des Frischwasserbeckens an. Wie im voranstehenden Abschnitt beschrieben, wird der Durchfluss durch Filter 4 bei 1,58 m<sup>3</sup>/h als konstant angenommen. Die resultierende Flächenbeschickung liegt bei 7,3 m/d.

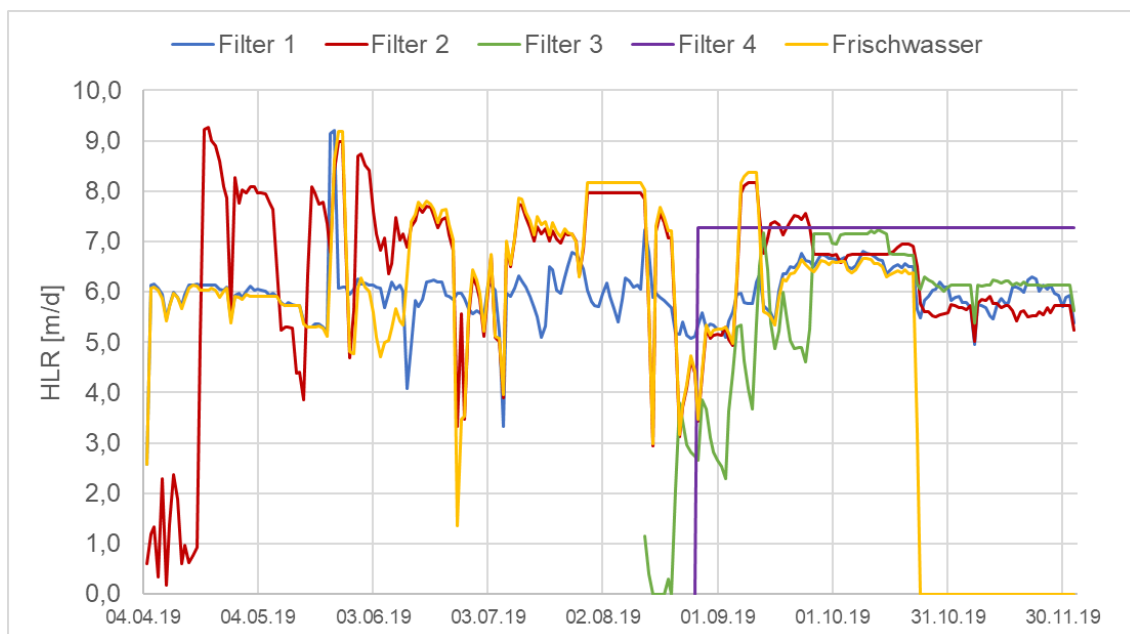


Abbildung 12: Hydraulische Belastungsraten (HLR) der Versuchsstufen F1, F2, F3, F4 und FW im Versuchszeitraum 2019

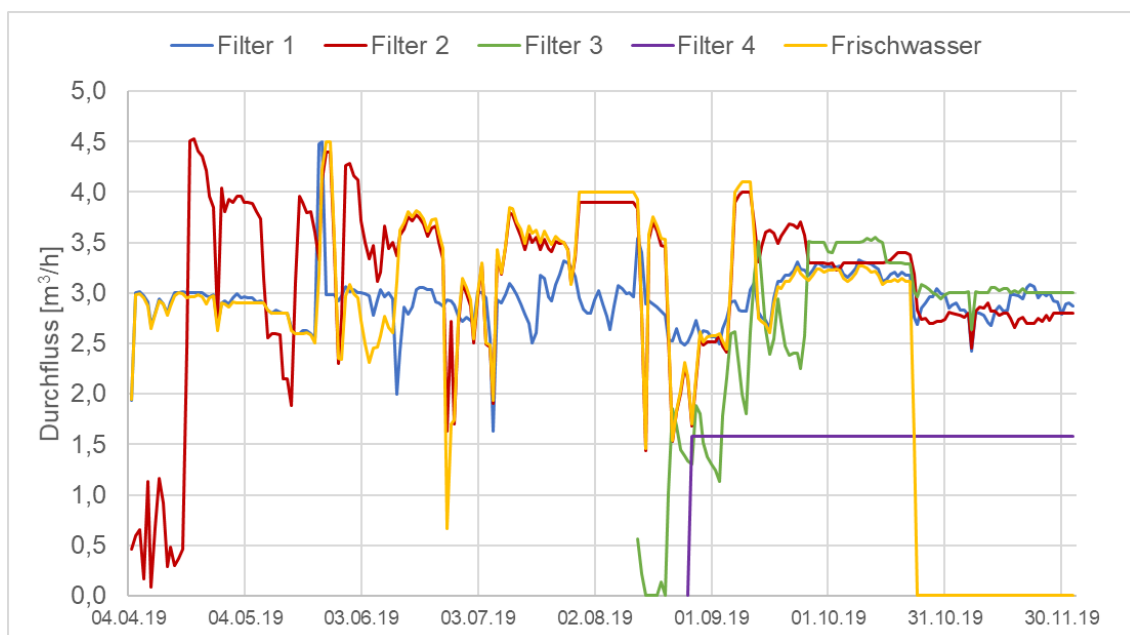


Abbildung 13: Durchflüsse der Versuchsstufen F1, F2, F3, F4 und FW im Versuchszeitraum 2019

In Abbildung 14 sind die kumulierten Durchflüsse für Filter 1, Filter 2, Filter 3 und Filter 4 sowie für das Frischwasserbecken dargestellt. Die Beschickung erfolgte über den gesamten Versuchszeitraum gleichmäßig. Das Frischwasserbecken wurde ab Ende Oktober nicht mehr durchströmt, um Veränderungen des Wassers bei höheren Aufenthaltszeiten zu untersuchen.

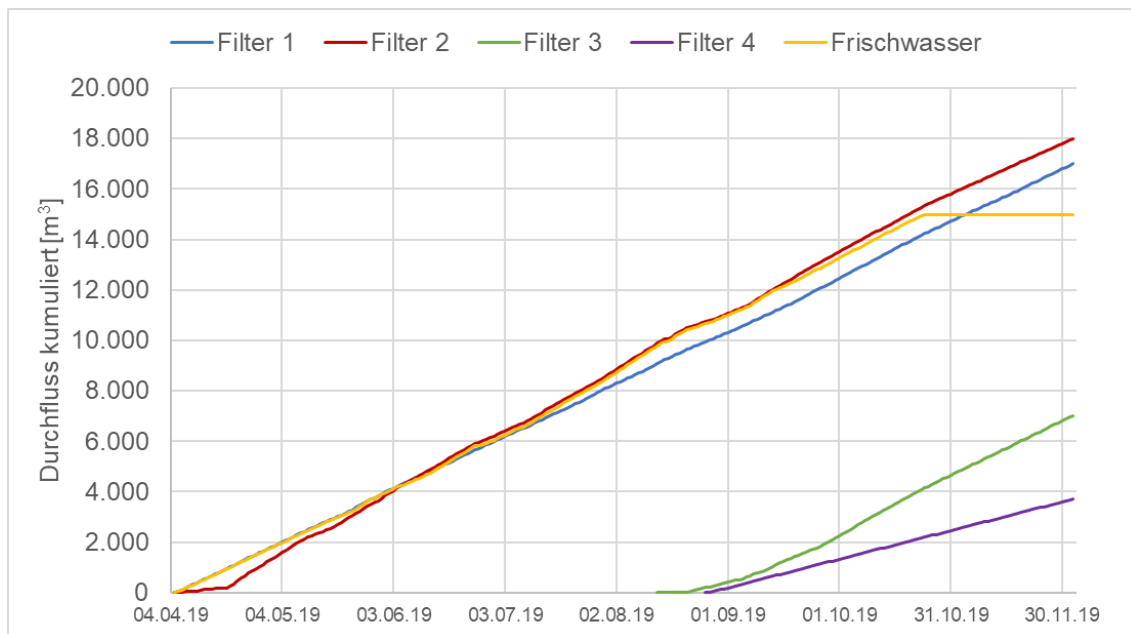


Abbildung 14: Durchflüsse im Versuchszeitraum 2019, kumuliert

### 2.3.3 Aufenthaltszeiten und Sichttiefe

Soweit es sich um grobporige eingestaute Biofilter handelt, deren Wirkung auf dem im gesamten Filtermaterial verteilten Biofilm beruht, ist die Filteraufenthaltszeit bzw. Kontakt- oder auch Reaktionszeit für den Reinigungserfolg maßgebend. Die Grundlagen für die Berechnung der Aufenthaltszeiten in den Filtern ist in Tabelle 7 dargestellt. Abbildung 15 zeigt den Verlauf der Aufenthaltszeiten in den Filtern 1, 2, 3 und 4, welche in Abhängigkeit der Durchflüsse berechnet wurden.

Für das Frischwasserbecken wurde eine Aufenthaltszeit von 24 Stunden angestrebt. Diese Zeit wurde in der Vorstudie veranschlagt, um dem Sekundärwachstum und dem Ansiedeln von Algen im Schwimmbereich entgegenzuwirken. Bei einer Wassertiefe im Frischwasserbecken von 2 m resultiert daraus eine minimale Flächenbeschickung von 2 m/d. Um die Auswirkungen höherer Aufenthaltszeiten im Frischwasserbecken auf die Phytoplanktonkonzentration zu untersuchen, wurde das Frischwasserbecken ab dem 23.10.2019 nicht mehr durchströmt. Diesen Versuch gilt es zu einer Zeit mit besseren Wachstumsbedingungen (während der Sommermonate) zu wiederholen, sodass die Vorgänge im Frischwasserbecken unter möglichst betriebsgefährdenden Bedingungen abgeschätzt werden können.

Tabelle 7: Berechnungsgrundlagen Aufenthaltszeiten

	Oberfläche	Filtermaterial Tiefe	Volumen Filterkörper	Porenanteil	Porenvolumen	Überstand	Wasservolumen
	m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	m	m <sup>3</sup>
Filter 1	11,75	1,07	12,6	32,7%	4,1	0,51	10,1
Filter 2	11,75	1,1	12,9	48,2%	6,2	0,53	12,5
Filter 3	11,75	1,04	12,2	39,0%	4,8	0,3	8,3
Filter 4	5,2	1,49	7,7	39,2%	3,0	0,26	4,4
Frischwasser	35,2	0	0,0	100,0%	0,0	1,96	69,0

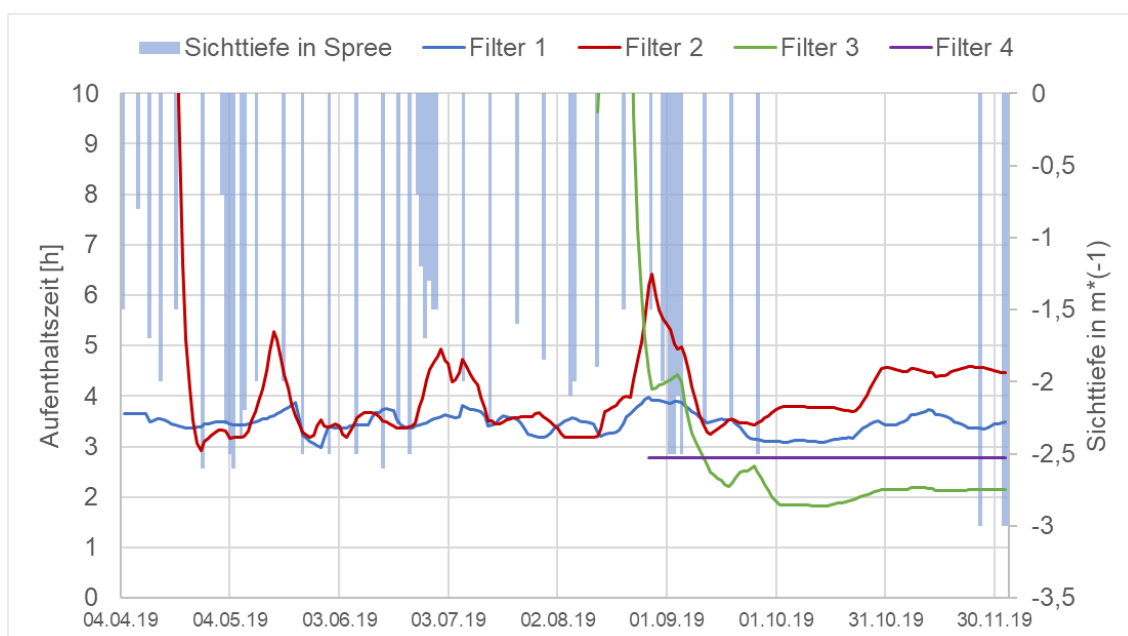


Abbildung 15: Mittlere Aufenthaltszeiten in Filter 1-4 und Sichttiefe im Zulauf während des Versuchszeitraums 2019

Die Messung der Sichttiefe wurde ebenfalls jeweils zum Zeitpunkt der Probenahme mithilfe einer Secchi-Scheibe durchgeführt (Abbildung 16). Es ist zu beachten, dass die maximale Sichttiefe als Folge der Wassertiefe im Spreekanal weit über der im Frischwasserbecken liegt.

Anders als im Spreekanal lag die Sichttiefe im Frischwasserbecken stets über dem zur Unfallvermeidung relevanten Mindestwert von 1 Meter. Auch darüber hinaus war die Sichttiefe im Frischwasserbecken meist deutlich besser als im Spreekanal (Abbildung 17). Sie unterschritt mit Ausnahme des 24. und 31. Juli nur dann den empfohlenen Wert von 1,8 Meter, wenn die Aufenthaltszeit im Frischwasserbecken über 24 Stunden lag und dadurch mit einem verstärkten Algenwachstum zu rechnen ist.



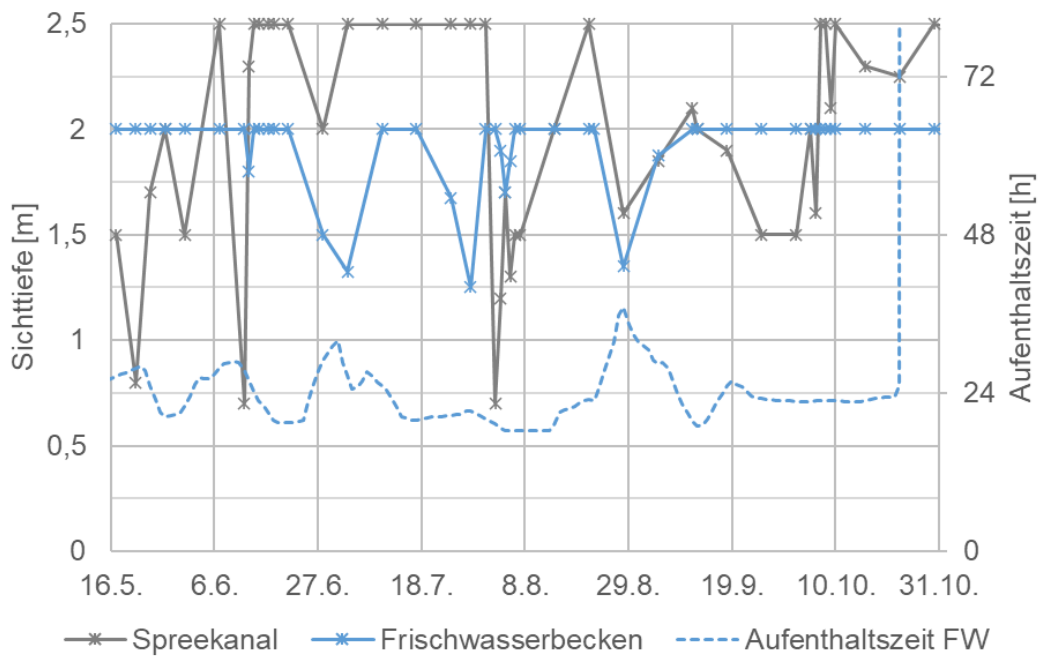


Abbildung 16: Sichttiefen im Spreekanal und im Frischwasserbecken und Aufenthaltszeit im Frischwasserbecken

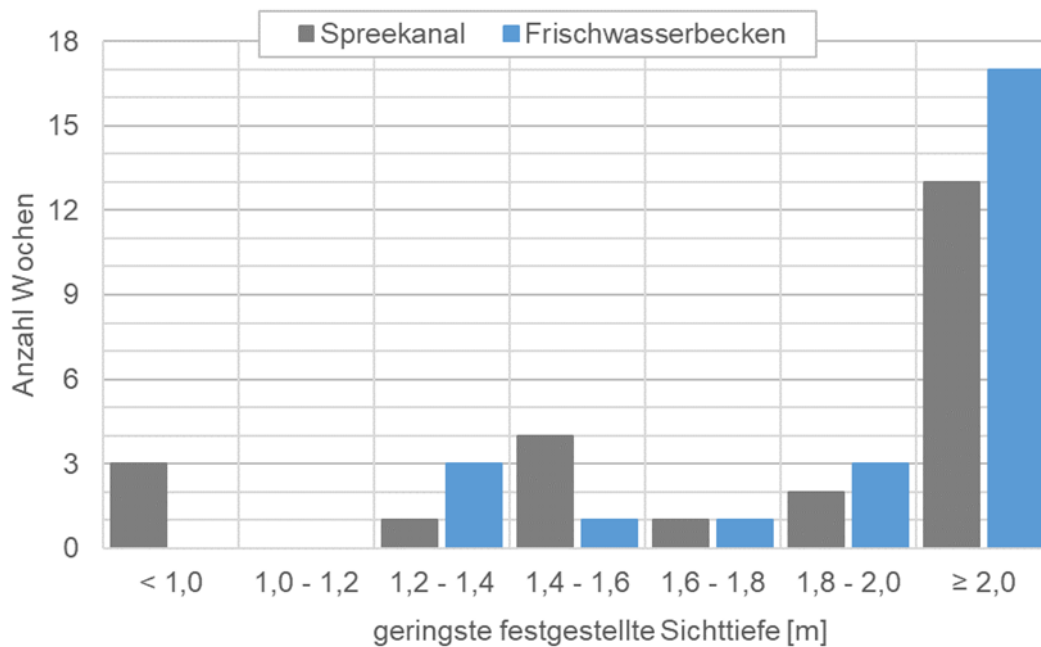


Abbildung 17: Histogramm der geringsten gemessenen Sichttiefen je Kalenderwoche



---

## 3 Ergebnisse Qualitätsmonitoring

### 3.1 Hydraulische Filterleistung

Die hydraulische Leistungsfähigkeit der Filter kann über den resultierenden Druckverlust überwacht werden. Dieser verändert sich vor allem infolge von Ablagerungen und Biomassewachstum im Porenraum. Im Extremfall können die Poren sich soweit zusetzen, dass bei gegebenem Druck kein Durchfluss mehr möglich ist. Derartige Kolmationen sind in der Regel irreversibel. Sie gilt es in jedem Fall zu vermeiden.

Insofern ist die Beobachtung der bislang im Filter zurückgehaltenen Feststoffe sinnvoll. Hierzu ist eine Frachtbilanz erforderlich. Allerdings sind Volumen und Zusammensetzung der zurückgehaltenen Stoffe dabei von großer Bedeutung. Organisches Material kann im Filter abgebaut werden, wohingegen anorganische Substanzen akkumulieren. Zudem unterscheiden sich Algen, Detritus und anorganische Schwebstoffe in Partikelform und Dichte, wodurch sie sehr verschieden in Wechselwirkung mit dem Filter und seinem Porenraum treten. Anhand der Massenkonzentration abfiltrierbarer Stoffe (AFS) kann diese Abschätzung also nicht in Gänze erfolgen.

Im Idealfall stellt sich im Laufe des Betriebs ein Gleichgewicht ein. D.h. in Abhängigkeit von Porengröße, Temperatur, biologischer Aktivität und Wasserzusammensetzung lässt sich eine bestimmte Wassermenge pro Jahr filtrieren. Die zurückgehaltenen Feststoffe werden soweit abgebaut, dass es nicht zum Anstieg des Filterwiderstandes kommt.

Die gemessenen Filterwiderstände sind in Abbildung 18 dargestellt. Bei Filter 1 erhöhte sich der Filterwiderstand ab Inbetriebnahme im April kontinuierlich bis Ende Mai 2019 (41 cm am 23. Mai, vgl. 2.2). Nachdem die oberste, mit Organik versetzte Substratschicht des Filters entfernt wurde, sank der Filterwiderstand zunächst auf weniger als 5 cm. Ab Ende Juli stieg der Filterwiderstand erneut auf etwa 10 cm an.

Zu einem erneuten Absinken des Filterwiderstandes kam es mit Einschalten der aktiven Filterbelüftung am 21. August. Der Filterwiderstand blieb anschließend auch nach Abschalten der Filterbelüftung bei Werten zwischen 0 und 2 cm. Bei den übrigen Testfiltern 2, 3 und 4 blieb der Filterwiderstand dauerhaft gering. Allerdings lässt dies bei Filter 3 und 4 in Anbetracht des kurzen Untersuchungszeitraum (ab 13. August) und der geringen Beschickung noch keine stichhaltigen Rückschlüsse zu. Eine Korrelation zwischen den Filterwiderständen und AFS-Konzentration oder Biovolumen im Zulauf konnte nicht hergestellt werden (vgl. Abschnitt 6.1)

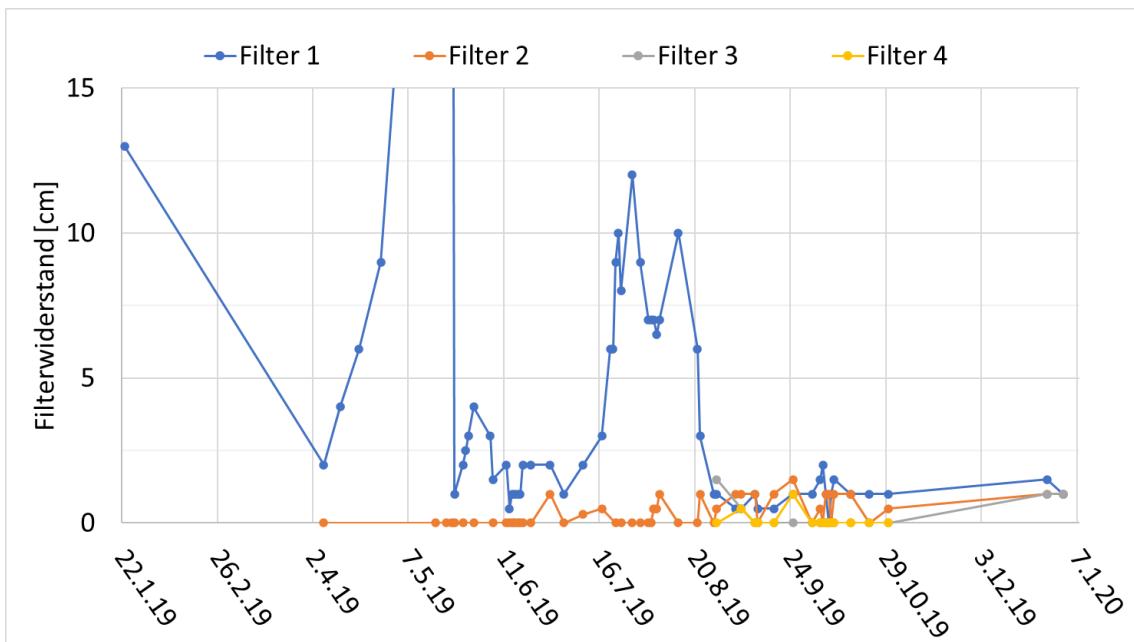


Abbildung 18: gemessene Filterwiderstände an den vier Testfiltern

---

## 3.2 Untersuchungen der Anlagenhydraulik mit Farbstoff

Uranin (Fluoreszin-Natrium) ist ein fluoreszierender Farbstoff, der häufig Anwendung in Tracer-Tests und Värbeversuchen findet. Er ist leicht löslich, ausreichend persistent und lässt sich in geringen Mengen optisch bestimmen. Darüber hinaus gilt Uranin als umweltverträglich.

An den Testfiltern 2, 3 und 4 wurden zudem Tracer-Tests mit Uranin durchgeführt. Filter 1 wurde nicht erneut untersucht, da an ihm ein vergleichbarer Versuch im Vorjahr durchgeführt wurde und dabei eine einwandfreie Durchströmung festgestellt wurde.

Am 16. Oktober wurden jeweils 500 ml Uranin-Lösung bekannter Konzentration in die Filterzuläufe von Filter 2, 3 und 4 eingebracht (Abbildung 19) und die Filterabflüsse anschließend für sechs bis acht Stunden viertelstündig beprobt. Mit einem Handspektrometer (Turner Designs AquaFluor 8000-010) wurde die Uranin-Konzentration im Filtrat unmittelbar nach Entnahme bestimmt und die resultierende Konzentrationskurve aufgezeichnet. Aus der Gestalt der Konzentrationskurve lassen sich Rückschlüsse auf Totzonen und hydraulische Kurzschlüsse im Innern des Filters ziehen.

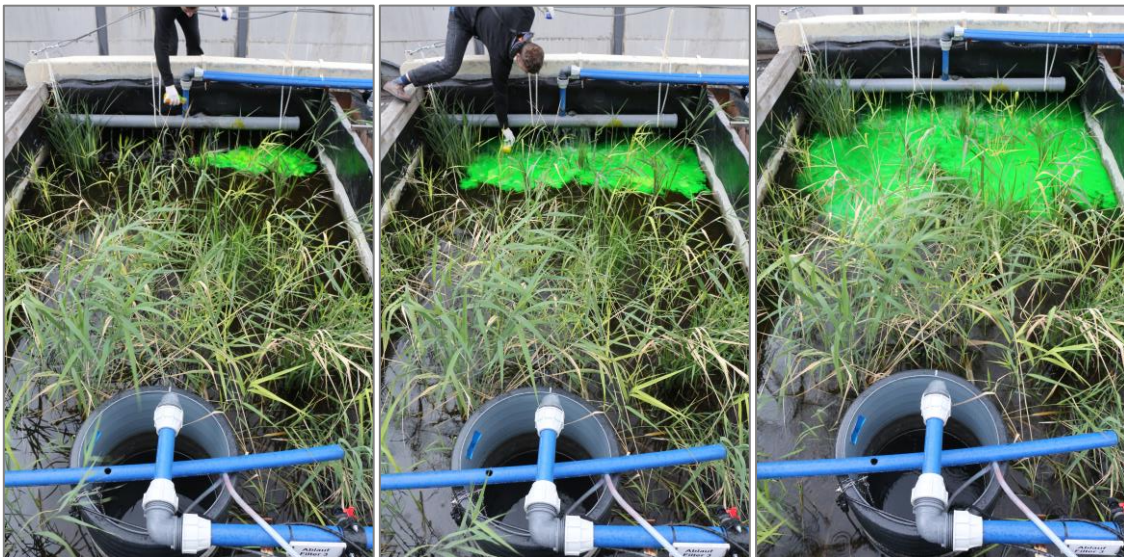


Abbildung 19: Einbringen des Tracers in den Zulauf/Überstau von Filter 3

Die Ergebnisse der Tracer-Tests zeigten für alle untersuchten Filter einen einwandfreien Verlauf (Abbildung 20). Ein leichtes Tailing der Konzentrationskurven kann durch Vermischungseffekte im Filterüberstau und im Filterkörper begründet werden und ist in diesem Ausmaß kein deutlicher Hinweis auf Totzonen.

Tabelle 8 können die ermittelten Kennzahlen entnommen werden.

Tabelle 8: Kennzahlen aus dem Tracer-Versuch

Kennzahl	Filter 2	Filter 3	Filter 4
Peak-Zeit ( $t_{Peak}$ )	3:04 h	2:19 h	3:15 h
50% Wiederfindung ( $t_{50}$ )	3:33 h	2:37 h	3:29 h
90% Wiederfindung ( $t_{90}$ )	6:52 h	4:25 h	5:05 h

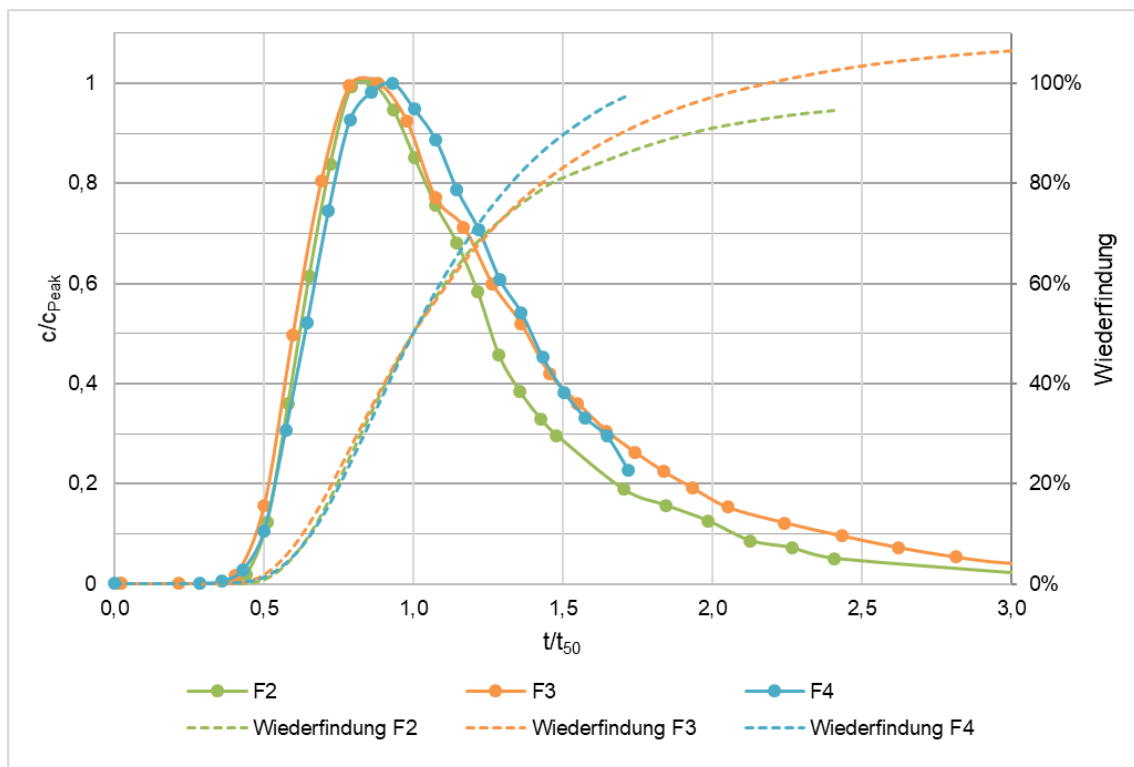


Abbildung 20: Konzentrationsverläufe und Summernkurven des Tracers (Uranin)

---

## 3.3 Ergebnisse aus regelmäßigen Beprobungen

### 3.3.1 Allgemeines

Ab dem 17.05.2019 wurden einmal wöchentlich Proben aus dem Spreekanal (Zulauf), und den Abläufen der Filter 1 und 2 sowie dem Ablauf des Frischwasserbeckens genommen. Ab dem 12.06.2019 wurde zudem der Ablauf der UV-Anlage auf mikrobiologische Parameter untersucht. Ab dem 28.8.2019 wurden die neu in Betrieb genommenen Filter 3 und 4 ebenfalls beprobt.

Zusätzlich wurden am 17.05.2019, 07.06.2019, 12.06.2019 sowie am 13.06.2019 Proben an der Monbijoubrücke und an der Schlossbrücke genommen. Diese dienten einer Abschätzung der Wasserqualität für den Flussbadpokal, der ursprünglich für den 16.06.2019 geplant war. Aufgrund der hohen Keimbelastung musste der Flussbadpokal allerdings zunächst verschoben und der Nachholtermin später wegen Cyanobakterien abgesagt werden.

Probenahmen zur Bestimmung des Phytoplanktons erfolgten ab dem 17. Mai alle zwei Wochen. Ab dem 7. Juni wurden zudem im Abstand von vier Wochen Proben zur Bestimmung des Zooplanktons genommen.

### 3.3.2 Mikrobiologische Parameter

In Abbildung 21 bis Abbildung 24 sind die Ergebnisse der mikrobiologischen Parameter dargestellt.

In den Abbildungen sind sämtliche Werte, die unterhalb des Bestimmungsbereichs (u.NG) liegen, auf die Hälfte der unteren Bestimmungsgrenze und sämtliche Werte, die oberhalb des Bestimmungsbereichs liegen, auf das Doppelte der oberen Bestimmungsgrenze festgelegt worden.

Die Überschreitungen der Grenzwerte für E. coli und intestinale Enterokokken gemäß Berliner Badegewässerverordnung sind auf Mischwassereinleitungen zurückzuführen. Dabei stieg die Keimbelastung auf 1 bis 1,5 log-Stufen über den jeweiligen Grenzwert. Durch die Filtration konnte die Keimbelastung zwar reduziert werden, doch wurden grenzwertüberschreitende Keimbelastungen im Zusammenhang mit Mischwasserüberläufen auch in den Filtraten festgestellt. Die Dauer der Grenzwertüberschreitung konnte durch die Filtration offenbar reduziert werden. Die Wasserqualität im Filtrat genügte zudem erheblich häufiger den strengeren Anforderungen des Umweltbundesamtes für Kleinbadeteiche (100 MPN E. coli/100ml und 50 MPN intestinale Enterokokken/100ml). Eine genauere Betrachtung der Grenzwertüberschreitungen nach Mischwasserüberläufen erfolgt in Abschnitt 3.5.

Mit Ausnahme aller Probenahmen, die innerhalb von 48 Stunden nach einem Mischwasserereignis durchgeführt wurden, wurde die gewonnenen Datensätze genutzt, um die Badegewässerqualität gemäß Badegewässerverordnung zu bestimmen. Aufgrund der sehr verschiedenen Erhebungszeiträume wurde diese Bestimmung nur für den Spreekanal und die Filter 1 und 2 durchgeführt. Es wurden dazu 90- und 95-Perzentile der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion ermittelt. Die Ergebnisse sind Tabelle 9 zu entnehmen. Den Beurteilungskriterien der Badegewässerverordnung zufolge liegt im

Spreekanal also gute Badegewässerqualität vor. Diese durch die Filtration auf die höchste Stufe „ausgezeichnet“ verbessert werden.

Tabelle 9: Kennzahlen der Keimbelastungen berechnet gemäß BGewV

Perzentil	E. coli		Intestinale Enterokokken	
	P <sub>90</sub>	P <sub>95</sub>	P <sub>90</sub>	P <sub>95</sub>
Spreekanal [MPN/100ml]	443	557	59	73
Filter 1 [MPN/100ml]	44	53	19	20
Filter 2 [MPN/100ml]	97	126	21	23

Wie Abbildung 25 zu entnehmen ist, konnte in Filter 1 die Belastung des Wassers mit E. coli um durchschnittlich 0,9 log-Stufen reduziert werden. In Filter 2 lag die mittlere Abbauleistung bei 0,7 log-Stufen. Rechnerisch konnte die Zahl intestinaler Enterokokken hingegen in beiden Filtern nur um 0,3 log-Stufen reduziert werden. Ursache für den scheinbar schlechteren Rückhalt von intestinalen Enterokokken ist die häufige Unterschreitung der Bestimmungsgrenze von 15 MPN/100ml. In diesen Fällen kann eine Abbauleistung nur unzureichend berechnet werden.

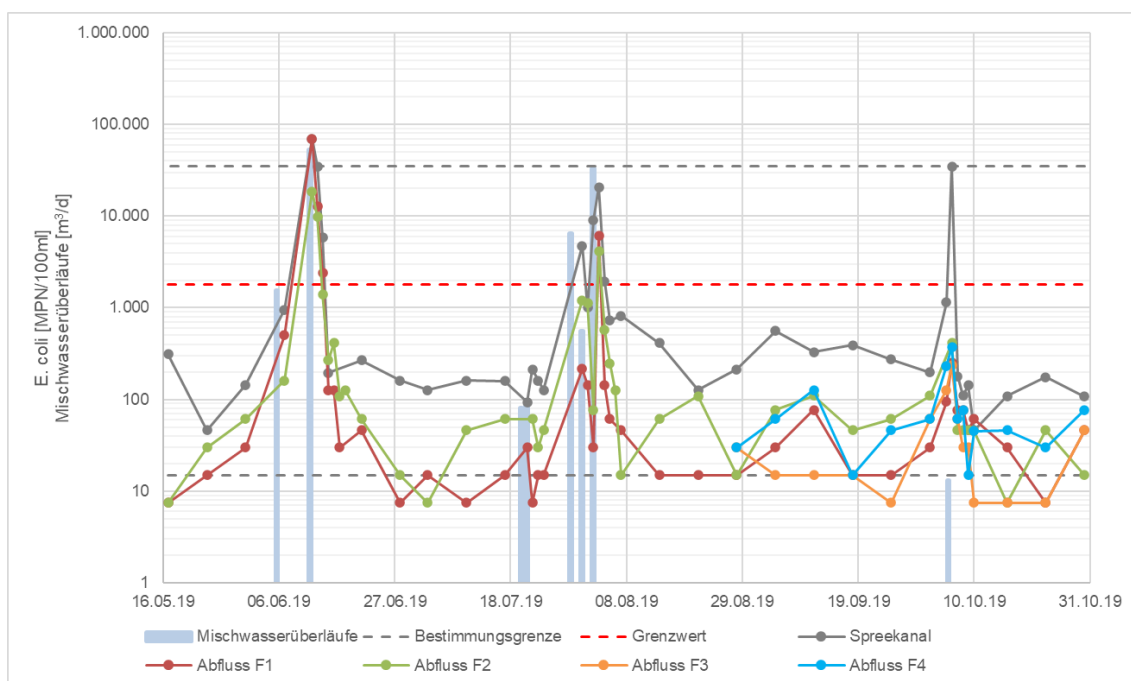


Abbildung 21: Ergebnisse E.coli (Bewertung nach UBA Empfehlungen für Kleinbadeteiche soll <100 MPN/100ml)

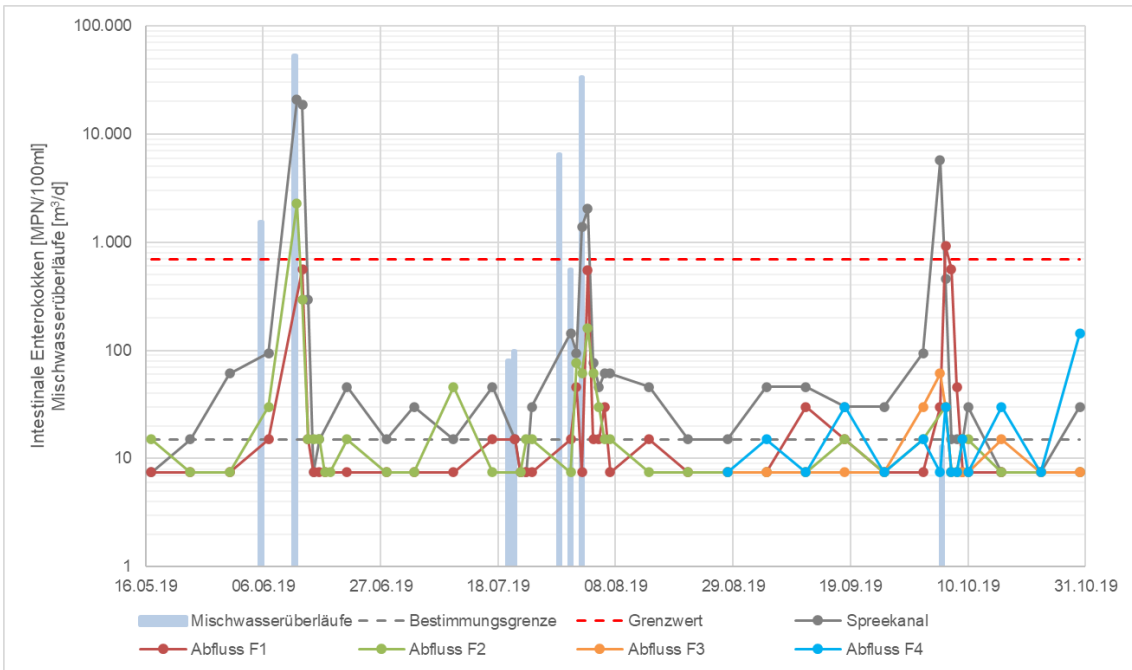


Abbildung 22: Ergebnisse Intestinale Enterokokken (Bewertung nach Badegewässerverordnung und UBA Empfehlungen für Kleinbadeteiche soll <50 MPN/100ml)

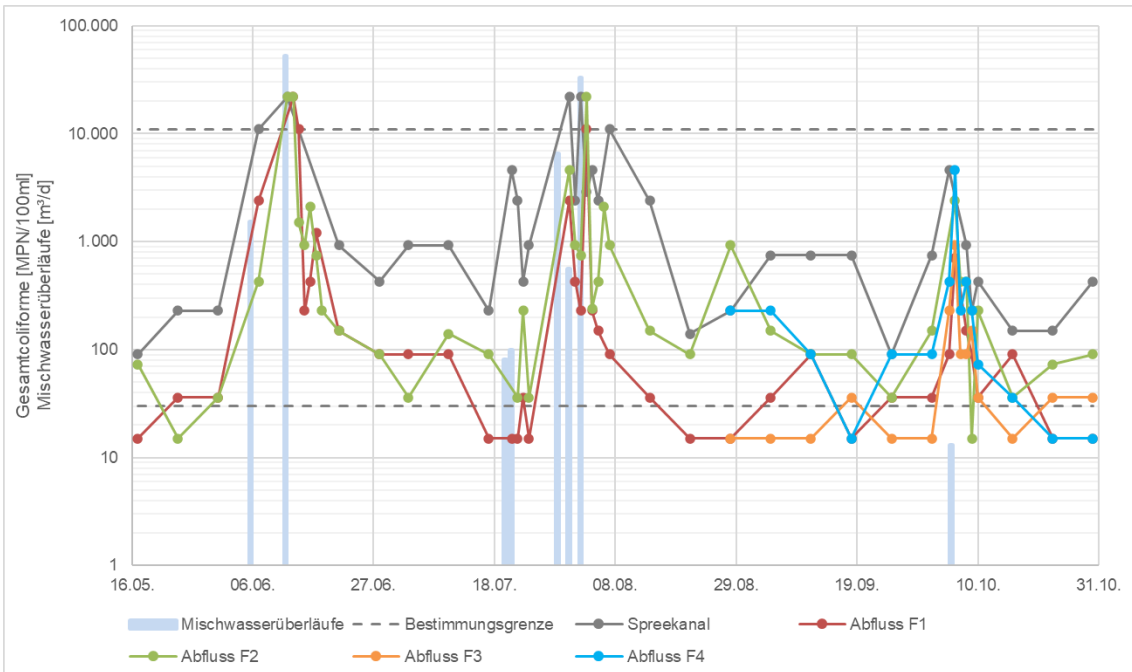


Abbildung 23: Ergebnisse Gesamtcoliforme

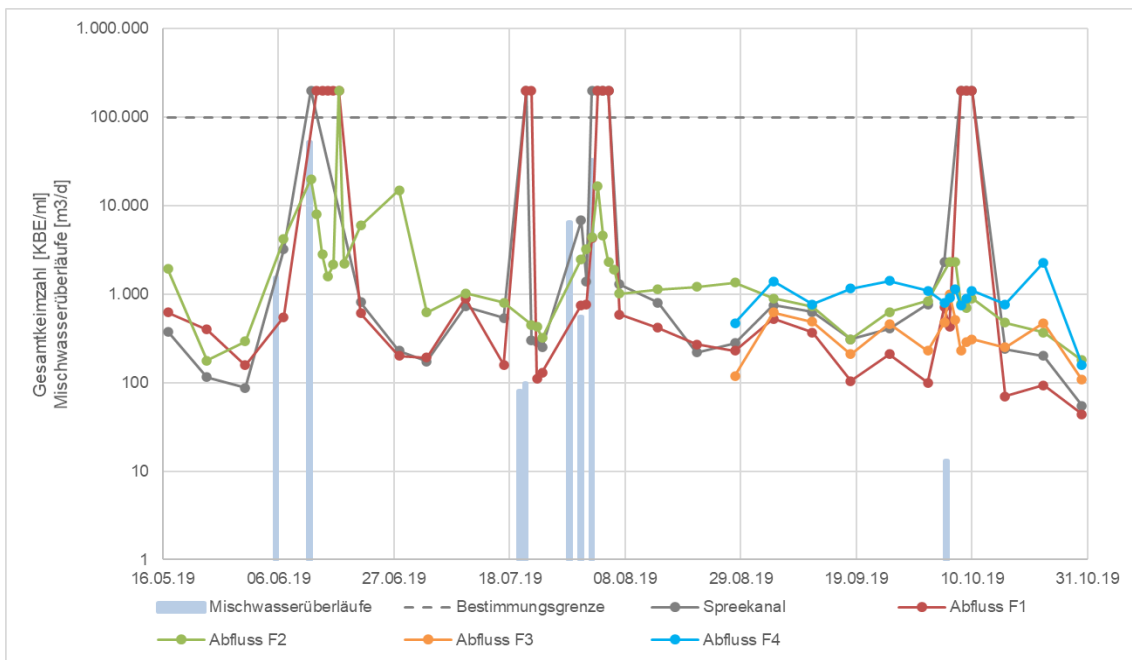


Abbildung 24: Ergebnisse Gesamtkoloniezahl (Inkubation bei 36°C)

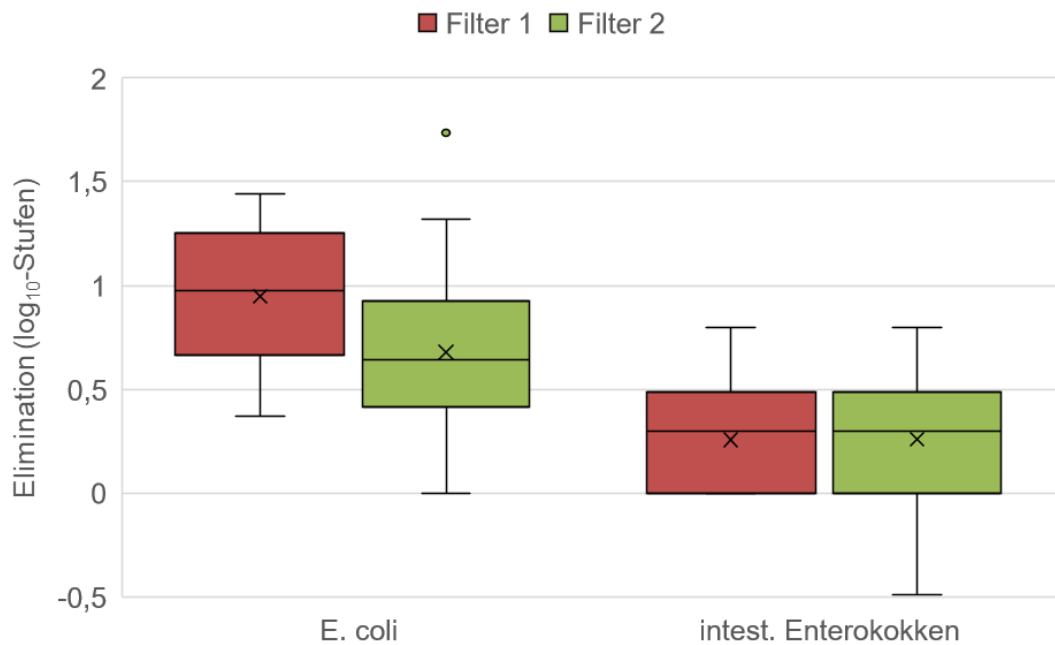


Abbildung 25: Reduktion der Keimbelastung durch die Filtration



### 3.3.3 Chemische Parameter

Die Stickstoffparameter in Abbildung 26 bis Abbildung 28 deuten auf eine teilweise Nitrifikation hin, wodurch der Nitratgehalt im Ablauf der Filter entsprechend ansteigt. Für eine messbare Denitrifikation sind die Bedingungen in den Filtern nicht optimal (Peak-Durchflusszeit, Sauerstoffgehalt). Während ein niedriger Stickstoffgehalt zur Vermeidung von Algenblüten in stehenden Gewässern angestrebt wird, ist ein ausreichender Nitratgehalt in abwasserbelasteten Gewässern hilfreich, um bei zeitweise niedrigen Sauerstoffgehalten die Rücklösung von Phosphor aus dem Sediment zu vermindern.

Die Filter erreichten eine Phosphorelimination in der Größenordnung von 13 % in Filter 1 und 2, wenn die arithmetischen Mittel aller Messungen verglichen werden. Im Median lag der Unterschied bei 4% bis 7% (Abbildung 29). Filter 3 und 4 können wegen der kurzen Laufzeit noch nicht bewertet werden. Der Unterschied zwischen Filter 3 und Filter 4 beim Einfahren der Filter weist auf die Materialeigenschaften hin. Während es sich bei Filter 3 um einfachen Kies handelt, hat das poröse Substrat in Filter 4 einen hohen reaktiven Eisengehalt, der zur anfänglichen Phosphatbindung beitragen kann.

Eine mittlere Phosphorentnahme aus dem Fluss in Höhe von 13% ist aus ökologischer Sicht zwar schon beachtlich, aber eine Phosphorlimitierung des Biomassewachstums im Schwimmbereich kann damit nicht erreicht werden.

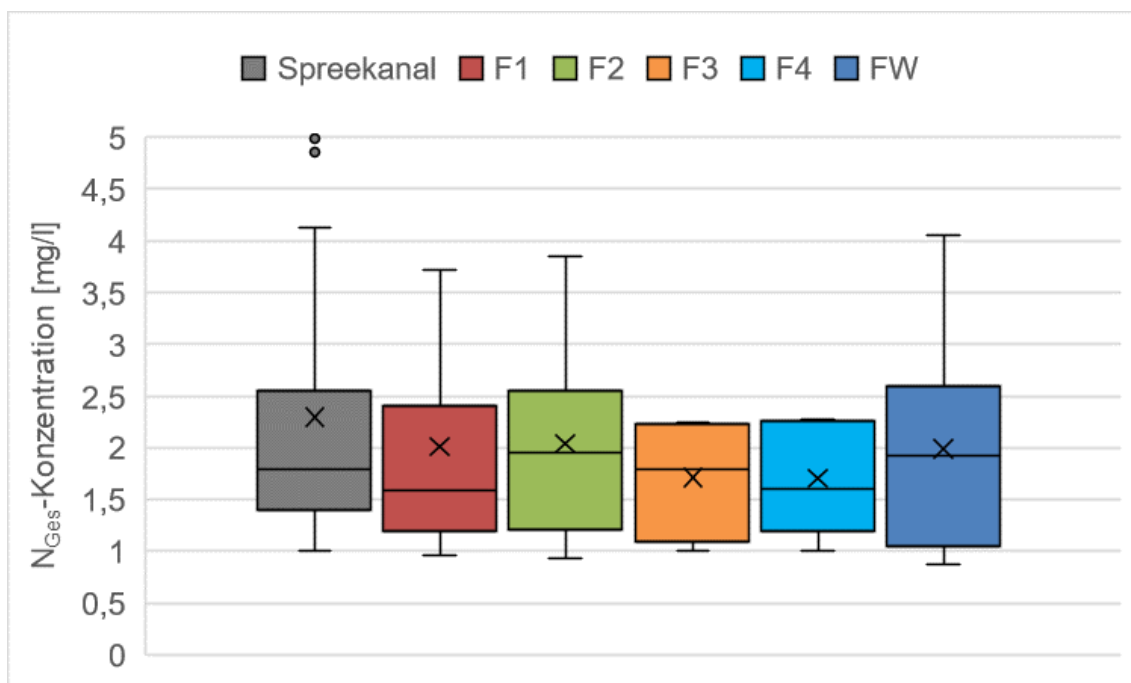


Abbildung 26: Ergebnisse Gesamtstickstoffmessung, Box-Whisker-Darstellung

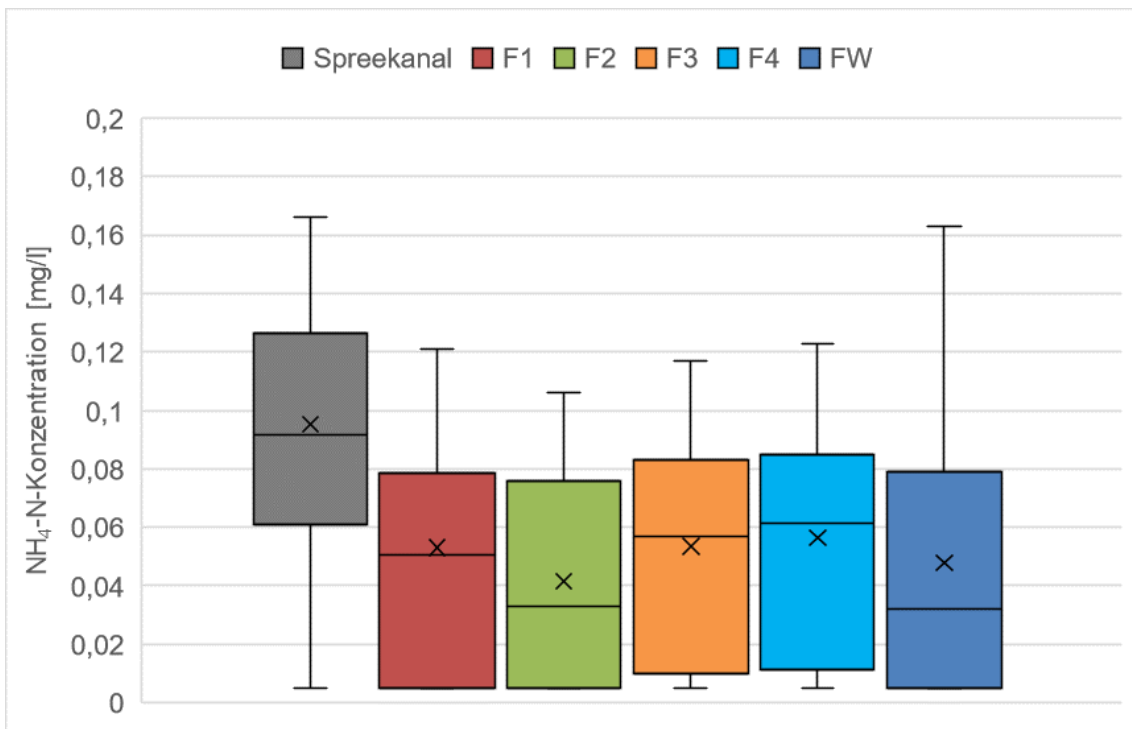


Abbildung 27: Ergebnisse Ammoniummessung, Box-Whisker-Darstellung

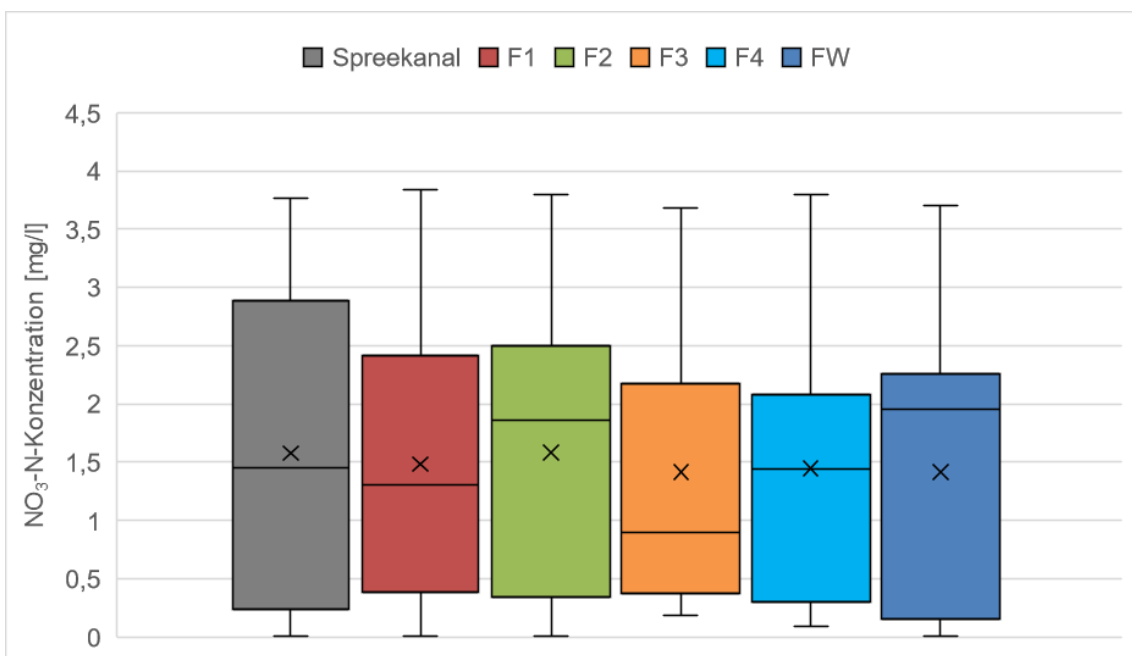


Abbildung 28: Ergebnisse Nitratmessung, Box-Whisker-Darstellung

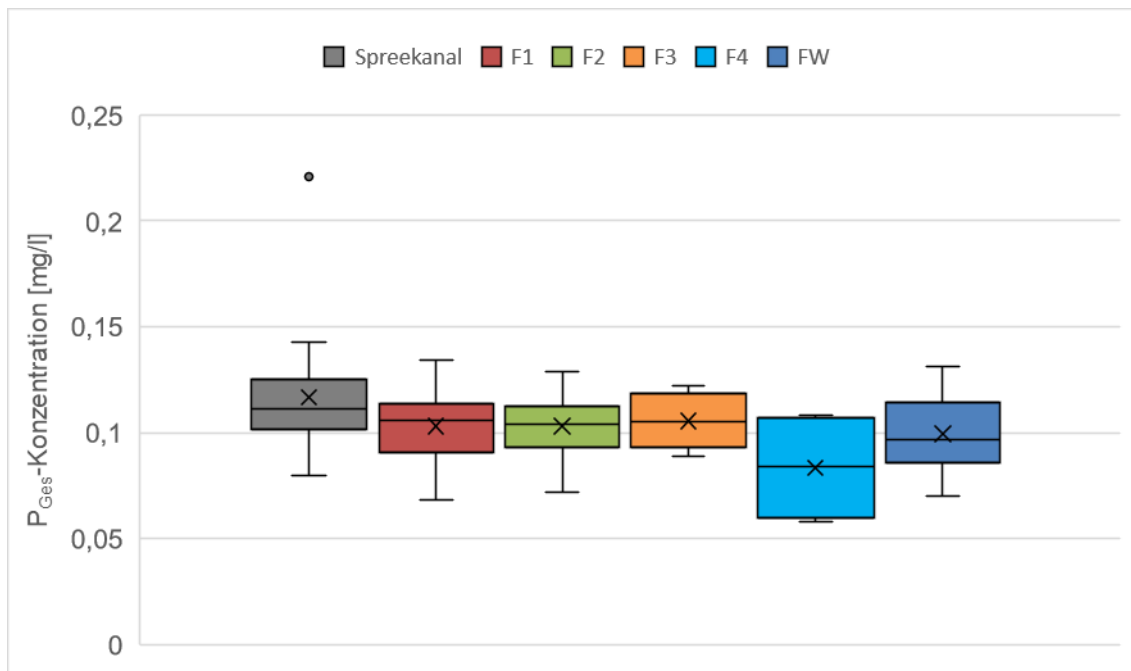


Abbildung 29: Ergebnisse Phosphormessung, Box-Whisker-Darstellung

TOC wird als Summenparameter zur Beurteilung der organischen Belastung verwendet. Sowohl in der Box-Whiskers-Darstellung (Abbildung 30) als auch im zeitlichen Verlauf (Abbildung 31) ist eine Reduktion erkennbar. Die TOC-Konzentration im Ablauf des Frischwasserbeckens liegt in einigen Fällen geringfügig über der im Zulauf.

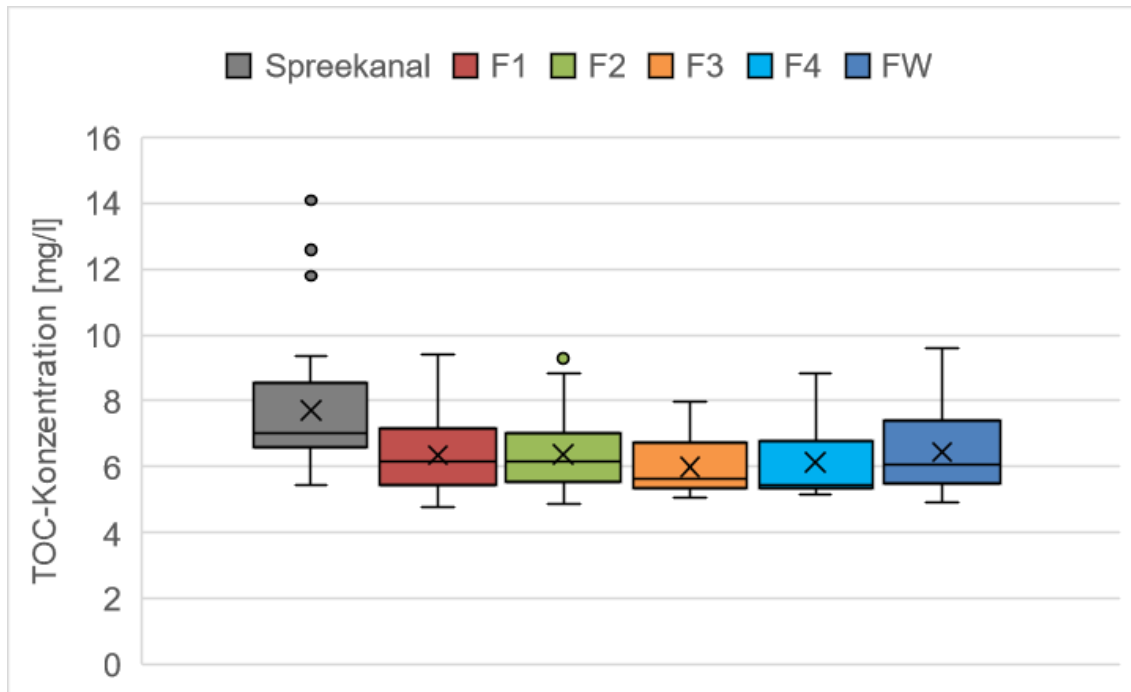


Abbildung 30: Ergebnisse TOC-Messung, Box-Whisker-Darstellung

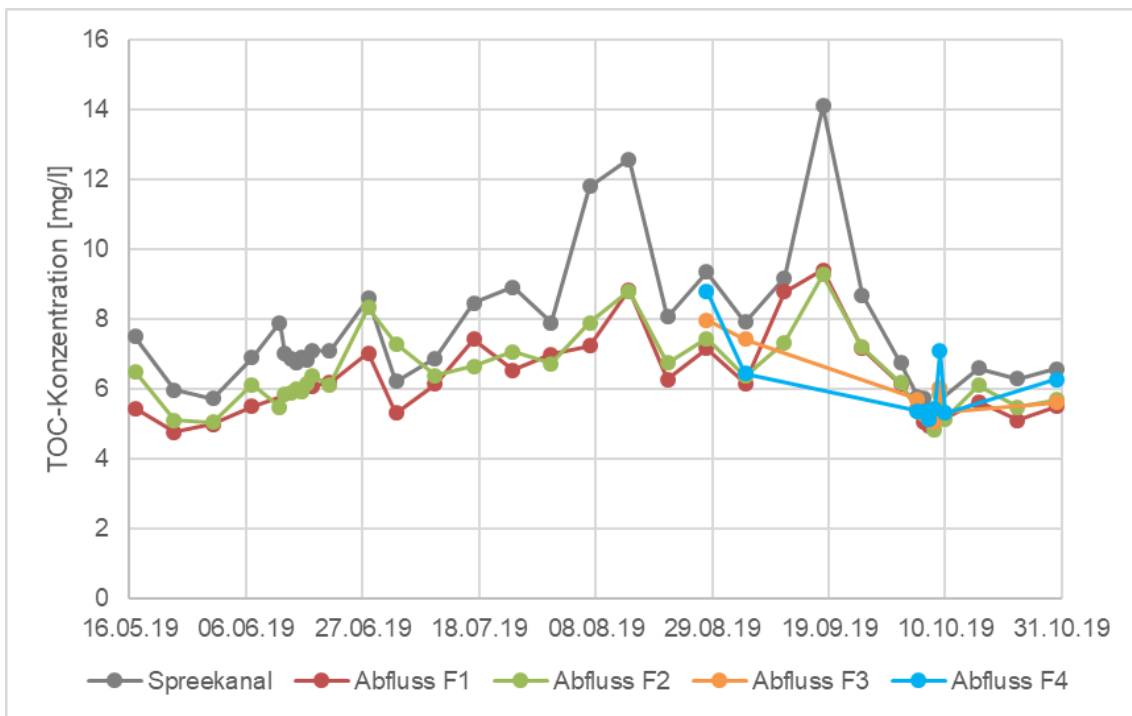


Abbildung 31: Ergebnisse TOC-Messung, zeitlicher Verlauf

Die Ergebnisse der Chlorophyll-a-Messungen (Abbildung 32) zeigen allgemein niedrige Konzentrationen im Spreekanal. Eine massive Algenblüte lässt sich nicht erkennen (vgl. Abschnitt 3.3.4). Die Konzentrationen in den Filtraten zeigen eine erhebliche Elimination der Algen schließen. Im Frischwasserbecken zeigte sich eine Korrelation zwischen der Chlorophyll-a-Konzentration im Ablauf und der Aufenthaltszeit. Dies weist auf das Sekundärwachstum der Algen hin. Bei Aufenthaltszeiten zwischen 20 und 28 Stunden lagen die Chlorophyll-a-Konzentrationen stets unter 10 µg/l. Mit Ausnahme einer Probenahme Mitte August wurden bei Aufenthaltszeiten unter 24 Stunden stets Chlorophyll-a-Konzentrationen unter 5 µg/l festgestellt.

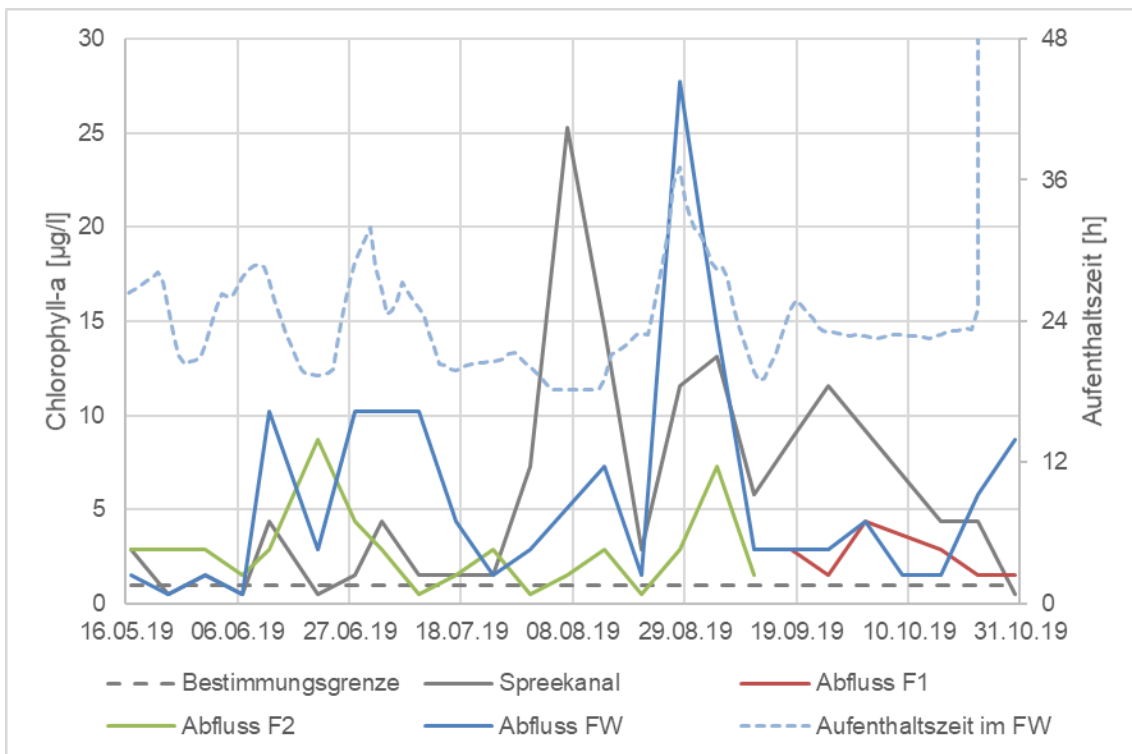


Abbildung 32: Ergebnisse Chlorophyll-a-Messung (Nachweisgrenze NG bei 1 µg/l, Werte <1 wurden mit 0,5 dargestellt)

Der Sauerstoffgehalt wurde jeweils zum Zeitpunkt der Probenahme mit einer mobilen Sonde bestimmt. Für den 24.05.19 und den 31.05.19 liegen keine Werte vor, da die Sonde defekt war. Deutlich zu erkennen ist in Abbildung 33 der Abfall des Sauerstoffgehalts im Zulauf sowie im Ablauf der Filter am 12.06.19. Dies ist auf die Mischwassereinleitung in der Nacht vom 11.06.19 zum 12.06.19 zurückzuführen. Aufgrund des biologischen Abbaus unter Sauerstoffzehrung liegen die Sauerstoffgehalte im Ablauf der Filter niedriger als im Zulauf. Insbesondere im Ablauf von Filter 1 ist dies deutlich zu erkennen. Im Überstau des aufwärts durchströmten Filter 2 und insbesondere im Frischwasserbecken erfolgt eine teilweise natürliche Wiederbelüftung durch Sauerstoffdiffusion und tagsüber durch die Stoffwechselaktivität von Filterpflanzen und Algen. Der Abbildung ist ein Anstieg der Sauerstoffkonzentrationen infolge der aktiven Filterbelüftung zu erkennen. Zwischen 21. August und 12. September wurden Filter 1 und 2 aktiv belüftet. Ab dem 18. September wurde Filter 3 aktiv belüftet.

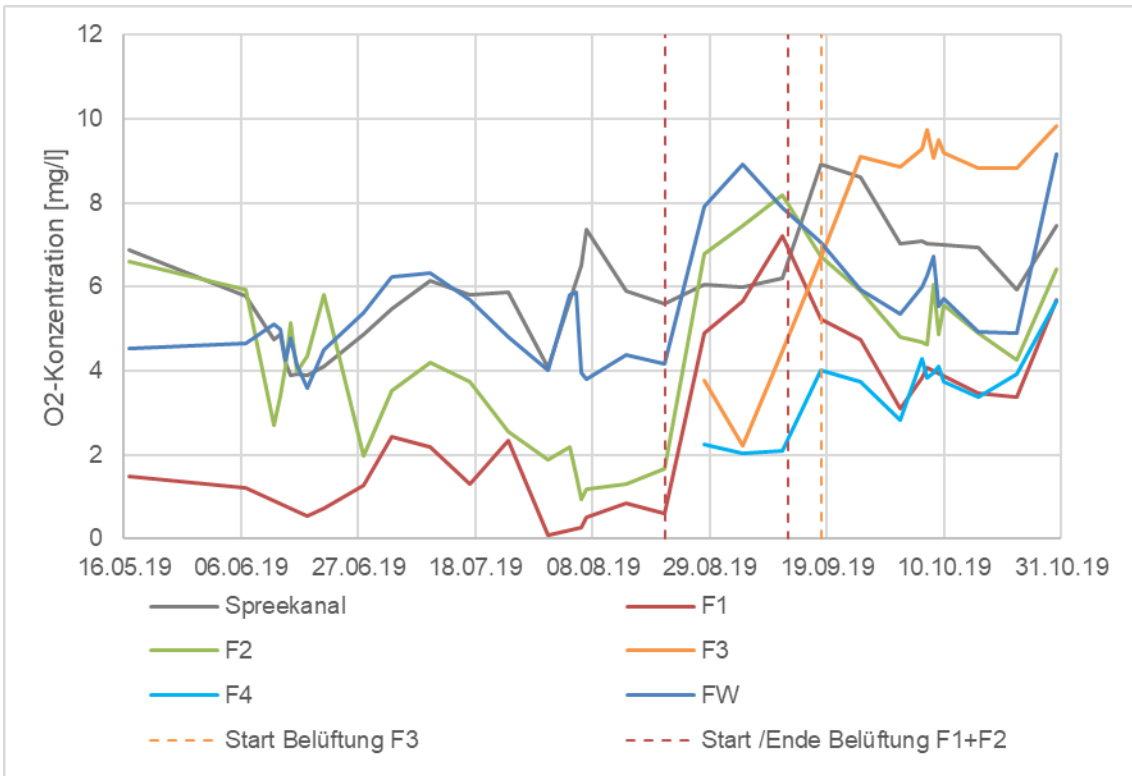


Abbildung 33: Ergebnisse Sauerstoff-Messung

### 3.3.4 Phytoplankton

Am 17. und 24. Mai fanden zwei Probenahmen für Phytoplankton in aufeinanderfolgenden Wochen statt. Die zweiwöchige Beprobung wurde zudem am 14. August ausgesetzt. Die ausgesetzte Probenahme wurde am 21. August nachgeholt und der zweiwöchige Probenahmerhythmus von dort fortgesetzt. Die Probenahme am 4. September fand als einzige während der aktiven Filterbelüftung statt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus dem Spreekanal, den Filtern 1 und 2 sowie dem Frischwasserbecken dargestellt. Im Mittel wurden im Spreekanal Biovolumina von  $0,50 \text{ mm}^3/\text{l}$  festgestellt. Im Ablauf von Filter 1 wurden durchschnittlich  $0,31 \text{ mm}^3/\text{l}$  und im Ablauf von Filter 2  $0,19 \text{ mm}^3/\text{l}$  festgestellt. Im Frischwasserbecken lag das Biovolumen im Mittel bei  $0,74 \text{ mm}^3/\text{l}$ . Alle Proben lagen deutlich im für Badeteiche empfohlenen Bereich  $\leq 10 \text{ mm}^3/\text{l}$ .

Im Spreekanal waren bis zum 17. Juli Kryptomonaden bei einem Biovolumen  $< 0,5 \text{ mm}^3/\text{l}$  dominierend. Anschließend kam es zu einem durch Kieselalgen dominierten Anstieg auf  $1,9 \text{ mm}^3/\text{l}$  (Abbildung 34). Bis Anfang Juli war eine Reduktion des Biovolumens durch die Filtration nicht zu erkennen (Abbildung 35 und Abbildung 36). Im Ablauf von Filter 1 fielen bis zum 3. Juni durch Kieselalgen dominierte Biovolumina bis  $1,5 \text{ mm}^3/\text{l}$  auf. Das Biovolumen im Ablauf von Filter 2 lag während des gesamten Untersuchungszeitraums unterhalb von  $0,6 \text{ mm}^3/\text{l}$ .

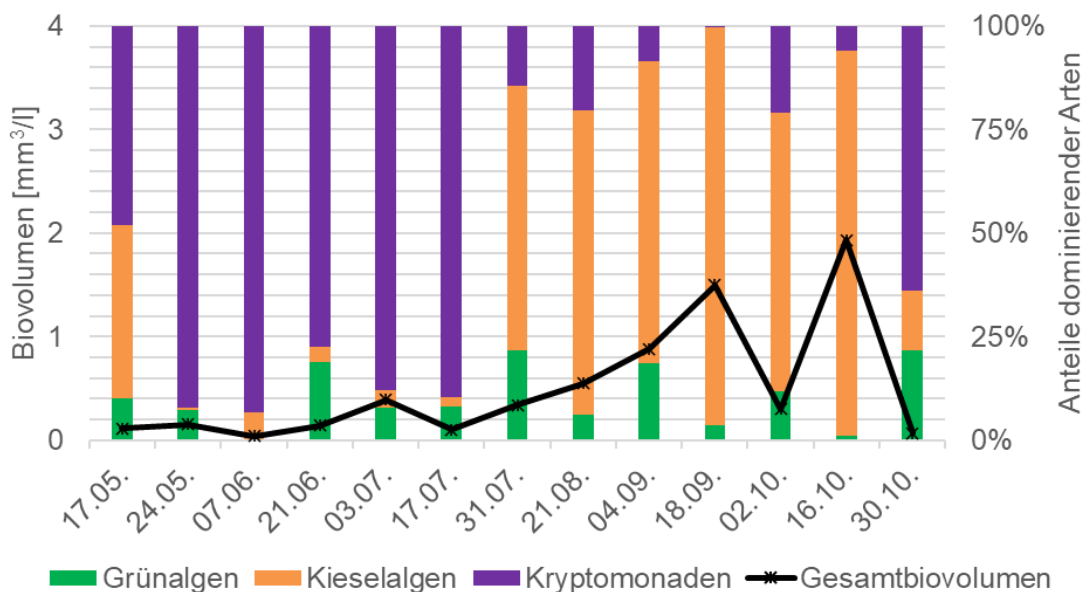


Abbildung 34: Biovolumen und Algenarten im Spreekanal

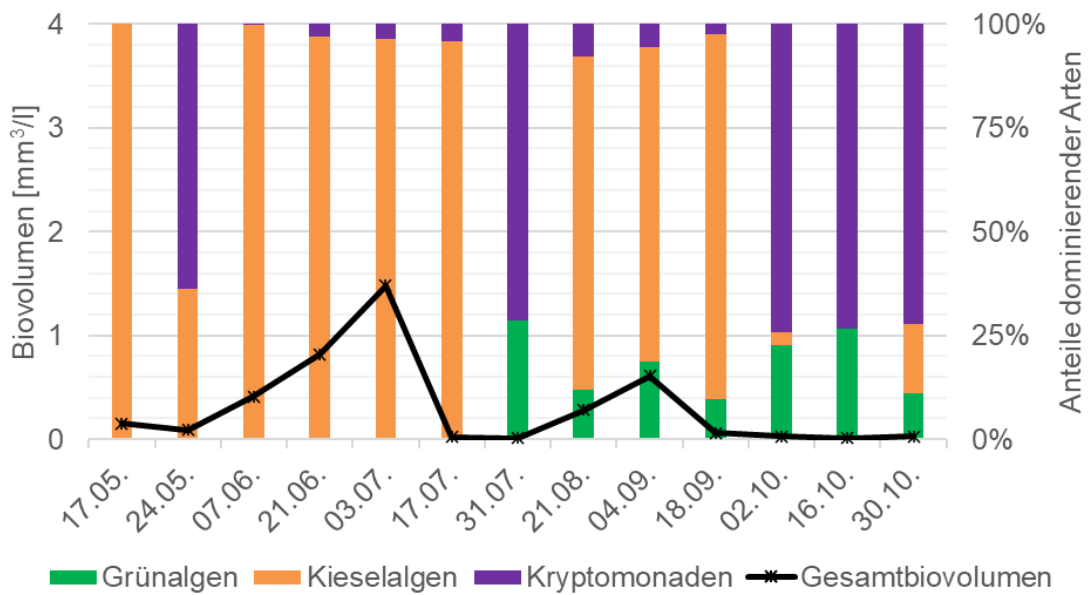


Abbildung 35: Biovolumen und Algenarten im Ablauf von Filter 1

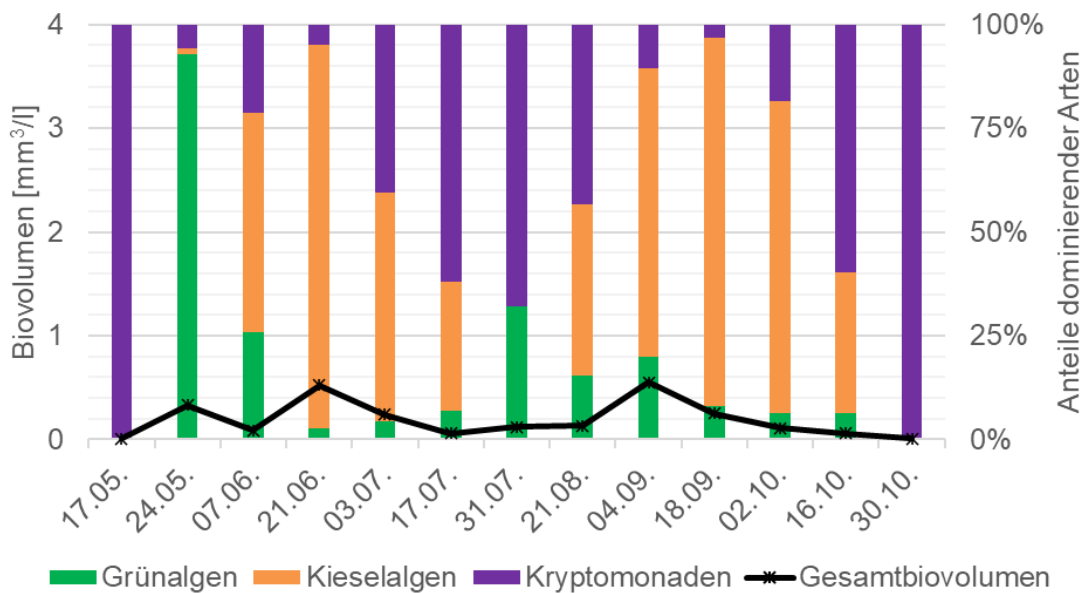


Abbildung 36: Biovolumen und Algenarten im Ablauf von Filter 2

Im Frischwasserbecken stieg das Biovolumen zwischen dem 21. Juni und dem 3. Juli von 0,4 auf 3,1 mm<sup>3</sup>/l an (Abbildung 37). Der Probenahme am 3. Juli ging eine Phase voraus, in der die Aufenthaltszeit im Frischwasserbecken bis zu 32 h betrug (vgl. Abbildung 25). In den folgenden Monaten sank das Biovolumen im Frischwasserbecken. Dominierend waren im Frischwasserbecken vor allem Kryptomonaden.



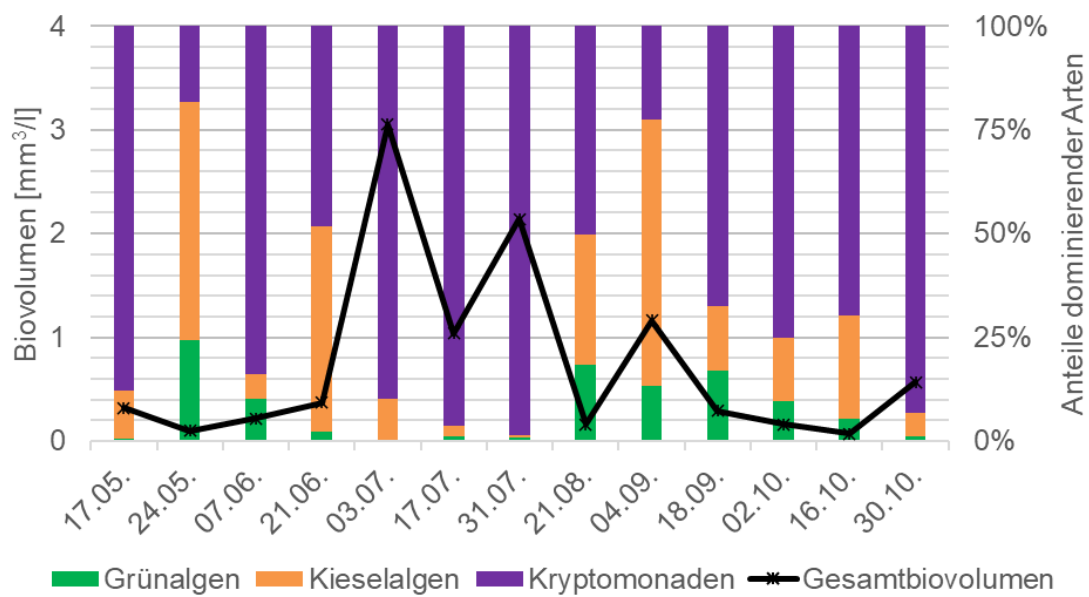


Abbildung 37: Biovolumen und Algenarten im Ablauf des Frischwasserbeckens

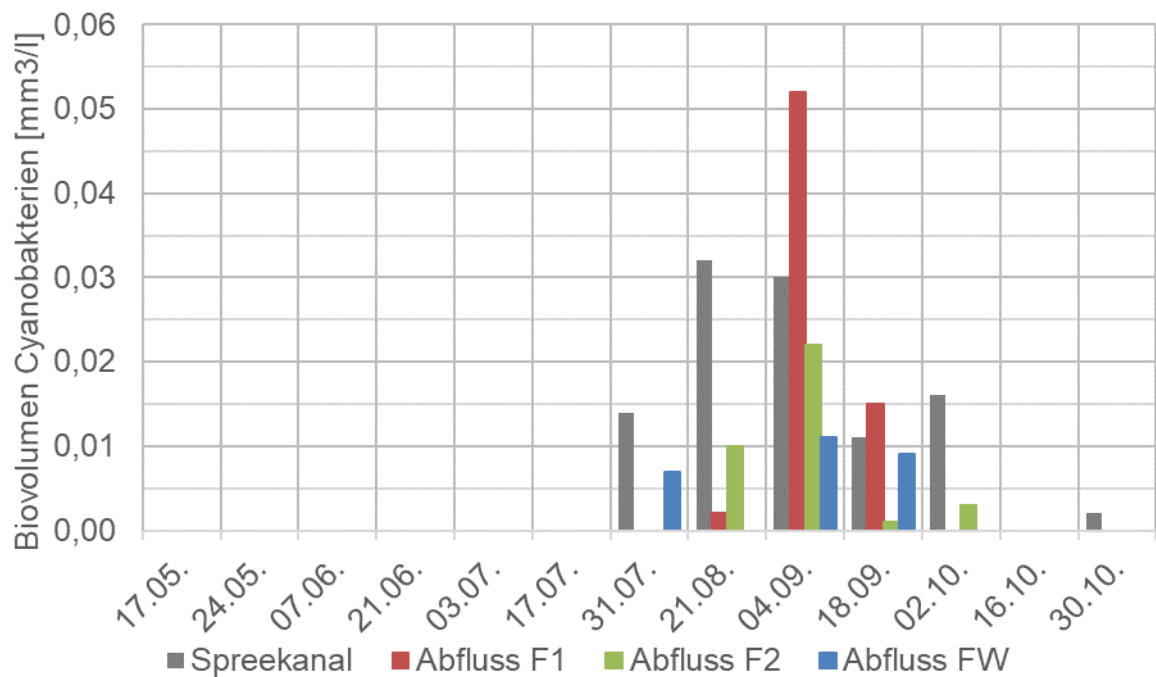


Abbildung 38: Cyanobakterien-Biovolumina im Spreekanal und in den Abläufen der Filter 1 und Filter 2 und des Frischwasserbeckens

Wie Abbildung 38 zu entnehmen ist, wurden zwischen Ende Juli und Anfang Oktober in allen Probenahmeorten Cyanobakterien festgestellt, darunter auch potenziell toxinbildende Arten wie *Mycrocystis*. Die ermittelten Biovolumina lagen stets eine bis zwei log-Stufen unterhalb des Schwellenwertes von 1 mm<sup>3</sup>/l. In den Filterabläufen

wurden sie seltener und meist in geringeren Konzentrationen vorgefunden als im Spreekanal. Im Ablauf von Filter 1 wurden am 4. und 18. September höhere Cyanobakterien-Biovolumen als im Spreekanal festgestellt.

Wie Abbildung 39 zu entnehmen ist, lässt sich im Frischwasserbecken ein Zusammenhang zwischen erhöhtem Algenaufkommen und der Aufenthaltszeit erkennen. Bei Aufenthaltszeiten < 24 h werden stets Chlorophyll-a-Konzentrationen < 8 µg/l gemessen. Das Biovolumen liegt dabei ausschließlich am 31. Juli in einem erhöhten Bereich.

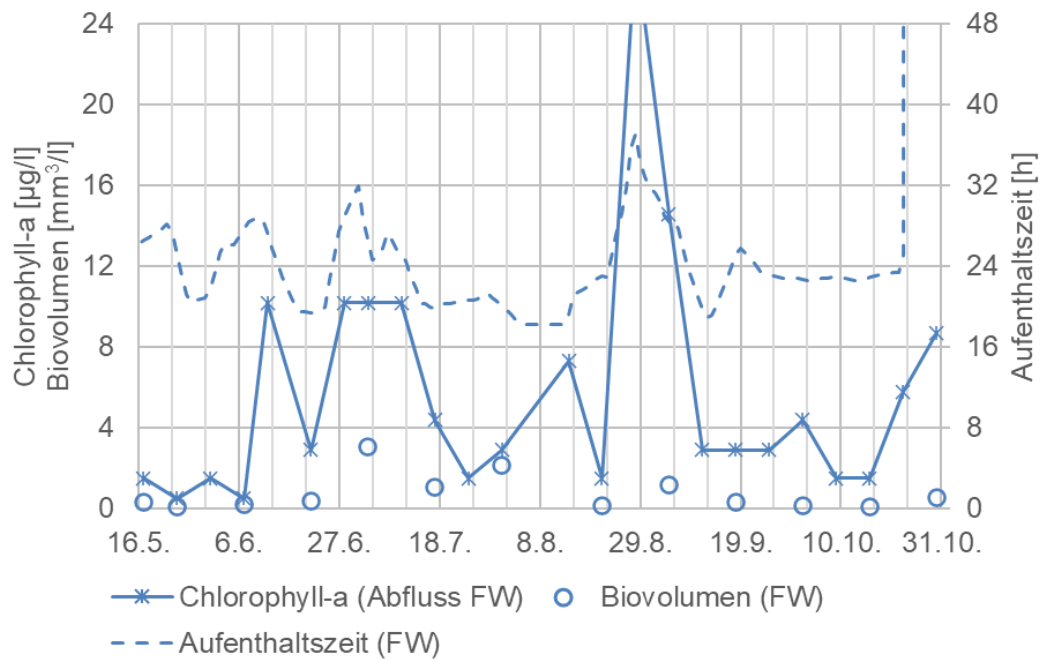


Abbildung 39: Gegenüberstellung des phytoplanktischen Biovolumens und der Chlorophyll-a-Konzentration zur Aufenthaltszeit im Frischwasserbecken

### 3.3.5 Ergebnisse der Untersuchung von Zooplankton/Meiofauna

#### Übersicht

Die Tiergruppen Zooplankton und Meiofauna umfassen Taxa wirbelloser Tiere mit einer Körpergröße von ca. 50 µm bis 3 mm. Beide Tiergruppen unterscheiden sich im bevorzugten Lebensraum; während Zooplankter das Freiwasser besiedeln leben Tiere der Meiofauna eher substratgebunden und meiden offene Wasserflächen. Hinsichtlich ihrer Stellung in der Nahrungskette gehören die meisten Taxa zu den Primärkonsumenten oder Destruenten und sind somit am Ab- und Umbau von Algenbiomasse und/oder Detritus beteiligt.

Im Untersuchungszeitraum wurden 2019 69 verschiedene Taxa nachgewiesen, pro Messstelle (Kompartiment) konnten durchschnittlich 38 Taxa registriert werden. Die höchste Taxaabundanz (48) wurde im Zulauf (Spree-, Kanalwasser) festgestellt, die geringsten Taxazahlen (15) waren im Ablauf von Filter 2 vorhanden. Ähnliche Unterschiede wurden auch für die Besiedelungsdichten registriert. Im Durchschnitt wurden 167 Ind./l festgestellt, die durchschnittlich höchsten Individuendichten waren im Überstand von Filter 1 vorhanden (372 Ind./l), die geringsten Abundanzen wurden im Frischwasser nachgewiesen. Die Biomasse der Tiergemeinschaft betrug durchschnittlich 206 µg/l mit ähnlich großen Unterschieden zwischen den einzelnen Messstellen. Die folgenden Tabellen und Abbildungen zeigen wichtige zöologische Merkmale der Tiergemeinschaften bezogen auf die einzelnen Messstellen (Abbildung 40, Abbildung 41, Tabelle 10).

Tabelle 10: Taxazahlen, Individuendichten und Biomassen von Zooplankton/ Meiofauna in den einzelnen Messstellen

		Zulauf	F1 Ü	F1 Ab	F2 Ü	F2 Ab	F3 Ü	F4 Ü	FW
Anzahl Werte		6	6	3	5	1	3	3	6
Taxazahl		48	38	33	35	15	34	39	31
Abundanz [Ind./l]	<b>MW</b>	<b>137</b>	<b>372</b>	<b>23</b>	<b>64</b>	<b>39</b>	<b>296</b>	<b>341</b>	<b>16</b>
	MIN	37	53	19	9		12	71	2
	MAX	289	735	32	144		659	532	35
Biomasse [µg/l]	<b>MW</b>	<b>106</b>	<b>523</b>	<b>7</b>	<b>46</b>	<b>14</b>	<b>293</b>	<b>617</b>	<b>5</b>
	MIN	16	154	4	6		8	116	0,2
	MAX	289	1.267	13	166		445	1.235	9

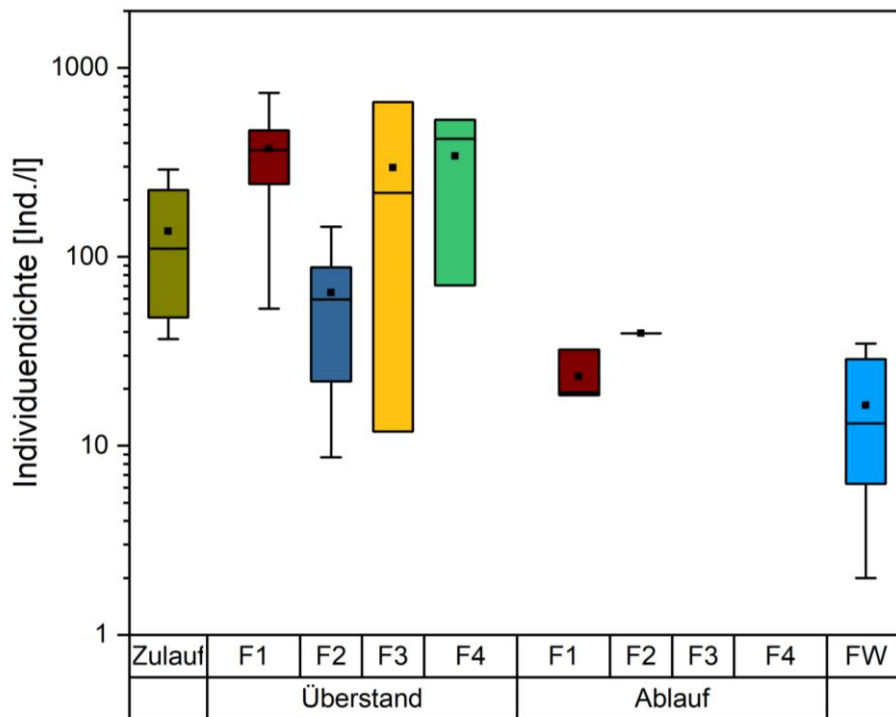


Abbildung 40: Individuendichten der Tiergruppen Zooplankton/Meiofauna für die einzelnen Messstellen (lg-Skala)

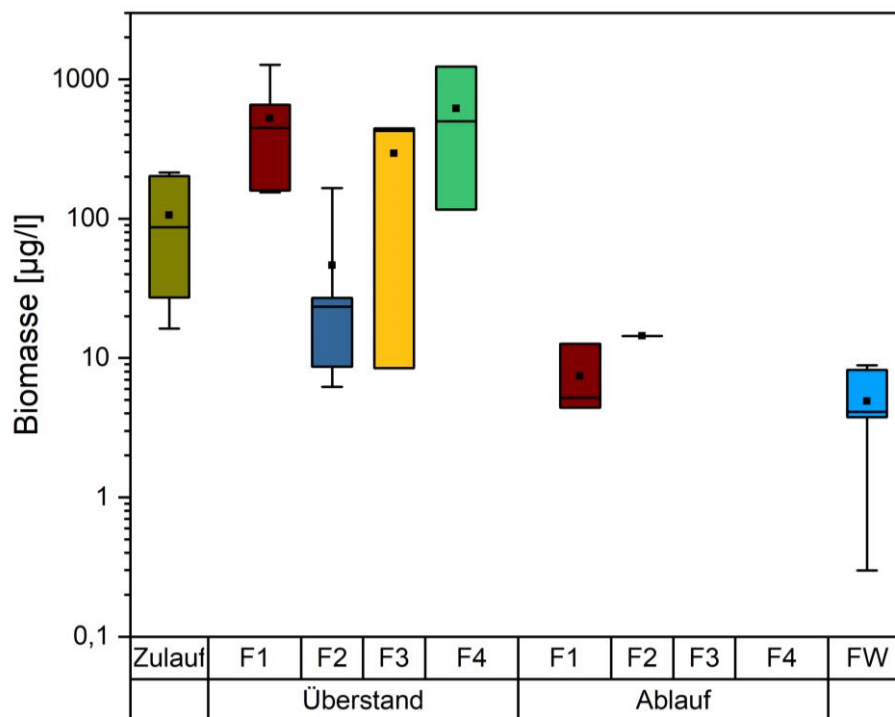


Abbildung 41: Biomassen der Tiergruppen Zooplankton/Meiofauna für die einzelnen Messstellen (lg-Skala)

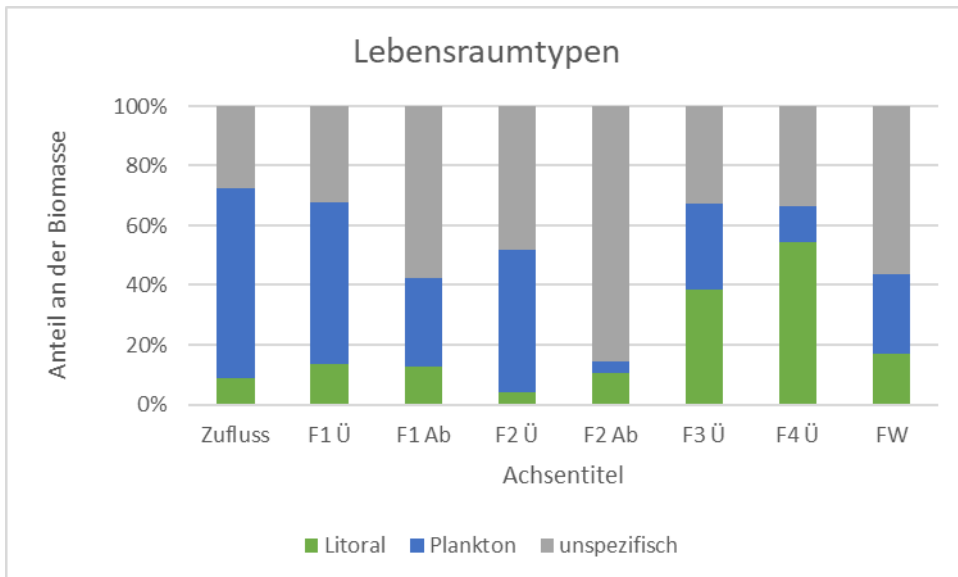
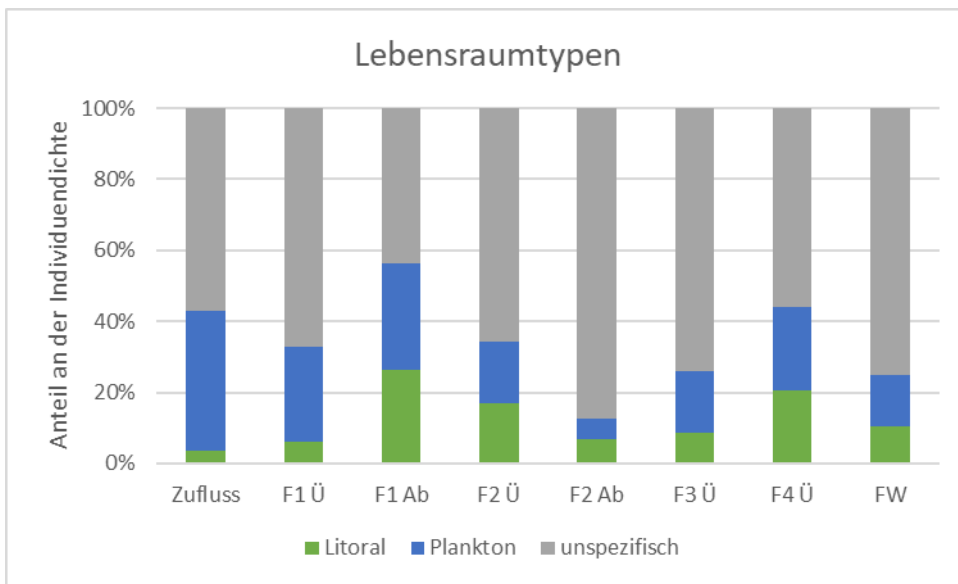


Abbildung 42: Präferenzen für Lebensräume für das Zooplankton/die Meiofauna in einzelnen Kompartimenten: Anteile an der Individuendichte (oben) und der Biomasse (unten)

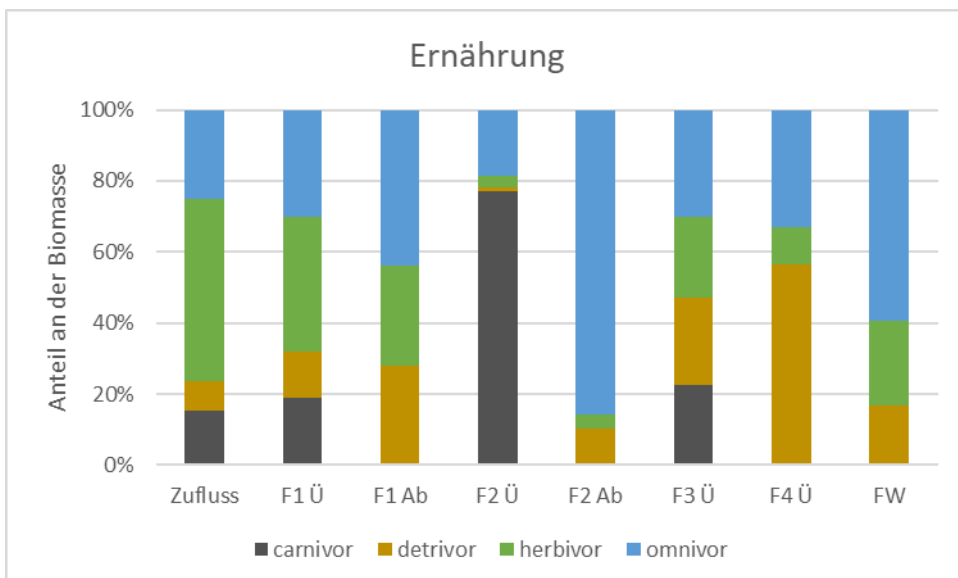
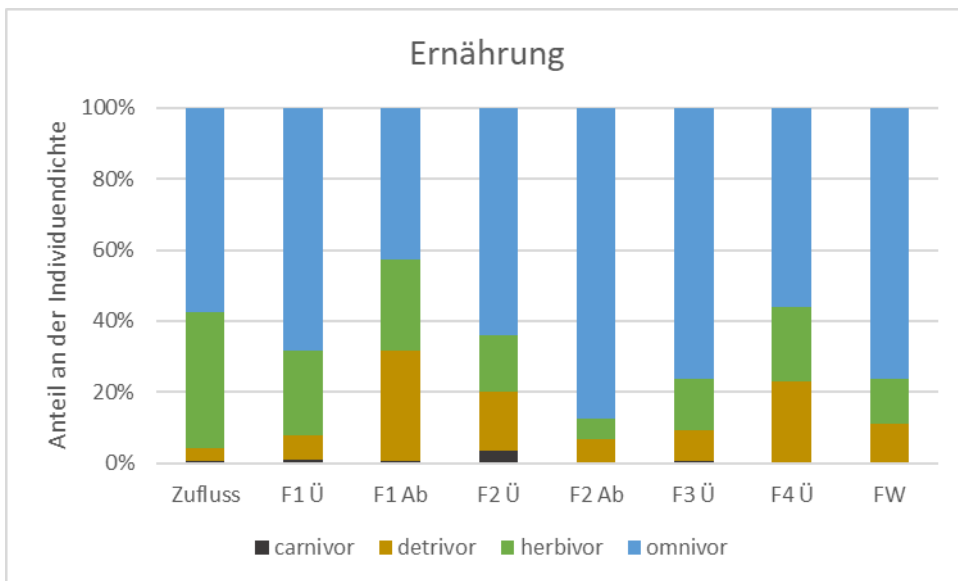


Abbildung 43: Ernährungstypen für das Zooplankton/die Meiofauna in einzelnen Kompartimenten: Anteile an der Individuendichte (oben) und der Biomasse (unten)



## Spreekanal

Im jahreszeitlichen Verlauf bildet das Zooplankton im Spreekanal Ende Juli und Ende September zwei Entwicklungsmaxima aus. Die Lebensgemeinschaft wird zahlenmäßig vor allem von Kleinkrebsen aus der Tiergruppe der Hüpferlinge dominiert; im Herbst bilden darüber hinaus Rädertierchen höhere Bestandsdichten aus. Auf Grund ihrer Körpergröße haben Blattfußkrebse im Sommer und im Herbst große Anteile an der Biomasse der Tiergemeinschaft (Abbildung 44).

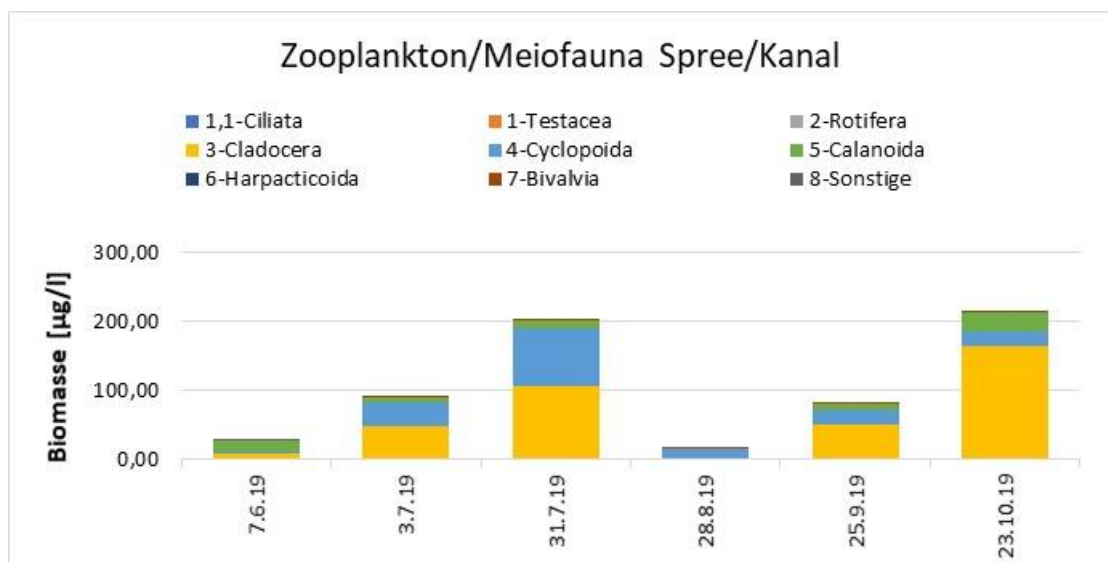
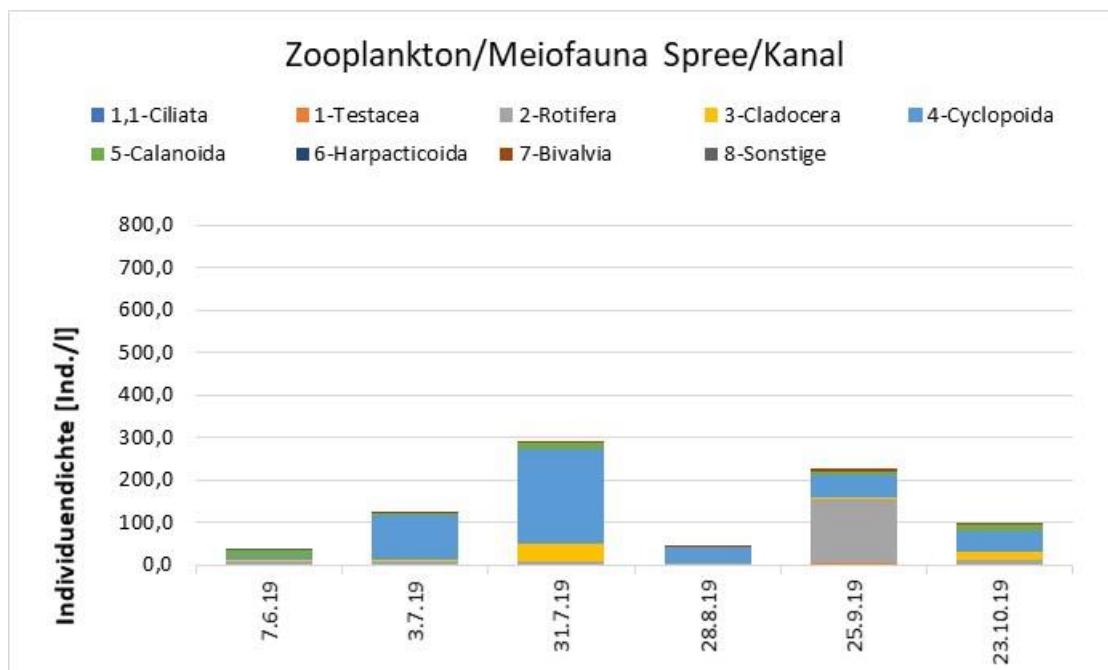


Abbildung 44: Individuendichte (oben) und Biomasse (unten) des Zooplanktons im Spreekanal

## Filter 1 (Blähton)

Im Überstand von Filter 1 sind die Zooplankter im Vergleich zum Spreekanal in höheren Individuendichten und Biomassen vorhanden. Besonders deutlich sind die Unterschiede in den Sommermonaten von Juli bis September. Die Lebensgemeinschaft wird in diesem Zeitraum zahlenmäßig von Hüpferlingen dominiert, die allerdings auf Grund ihrer omnivoren Lebensweise (Allesfresser) nur bedingt an der Verminderung des Phytoplanktons beteiligt sind. Cladoceren als effektive Phytoplankton-Filterierer sind vor allem im Frühjahr und Frñhsommer im Filter präsent und haben in diesem Zeitraum hohe Anteile an der Biomasse

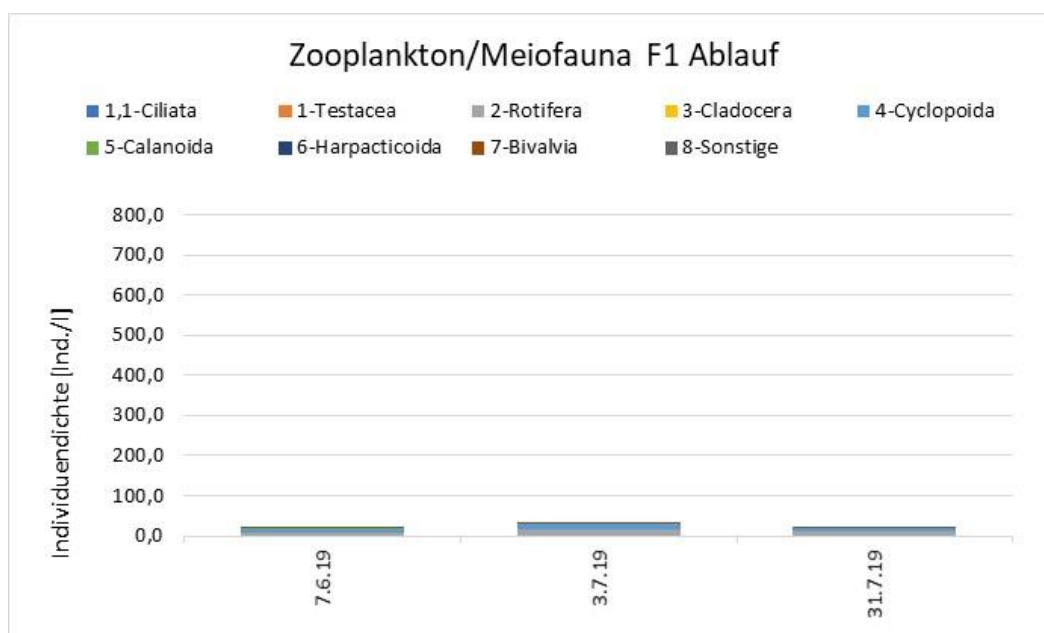
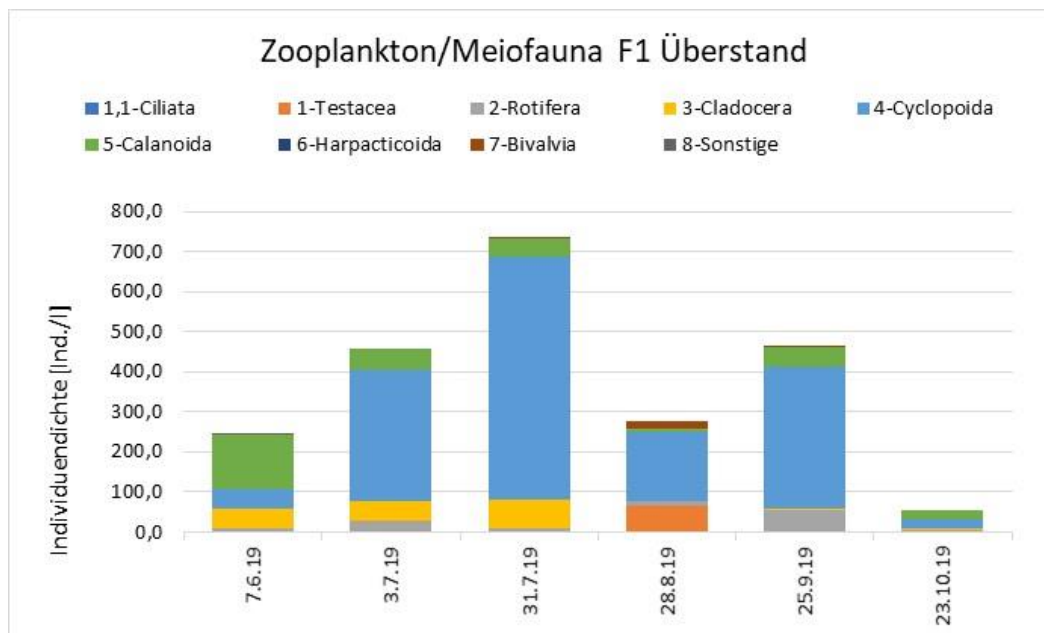


Abbildung 45: Individuendichte des Zooplanktons im Filter 1: Überstand (oben) und Ablauf (unten)

Im Ablauf des Filters sind sowohl die Individuendichten als auch die Biomassen insgesamt deutlich geringer gegenüber den Werten im Überstand.

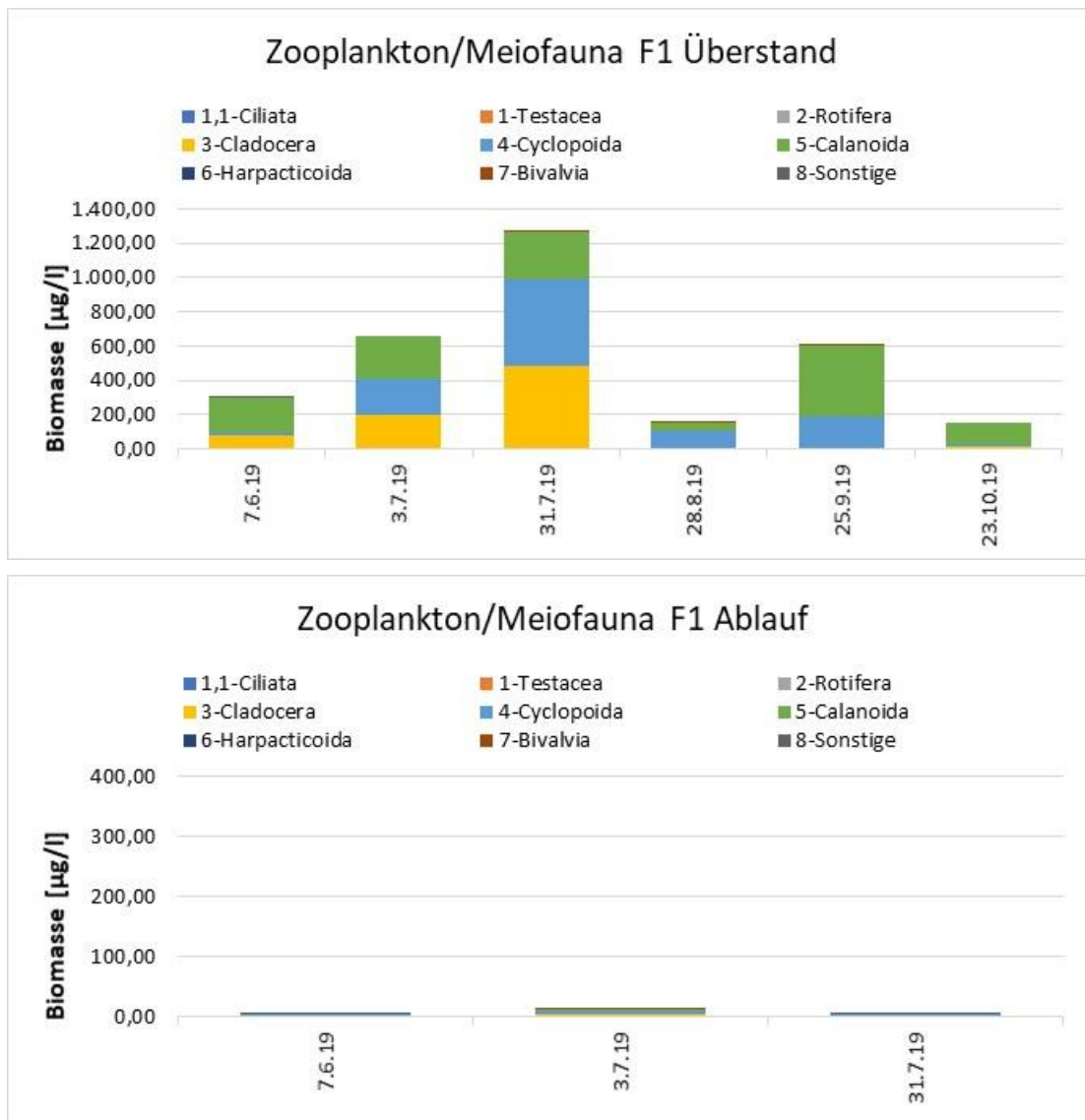


Abbildung 46: Biomasse des Zooplanktons im Filter 1: Überstand (oben) und Ablauf (unten)

## Filter 2 (Lava)

Im Filter 2 entwickeln sich Zooplankton und Meiofauna konträr zu allen anderen Festbettfiltern; vergleichsweise geringeren Individuendichten und ähnlichen Biomassen im Überstand stehen vergleichsweise hohe Dichten und Biomassen im Ablauf gegenüber. Im Jahresverlauf werden die höchsten Individuendichten im Frühsommer erreicht. Zahlenmäßig wird die Lebensgemeinschaft ganzjährig von Hüpferlingen dominiert, im Frühjahr haben Blattfußkrebse den höchsten Anteil an der Biomasse.

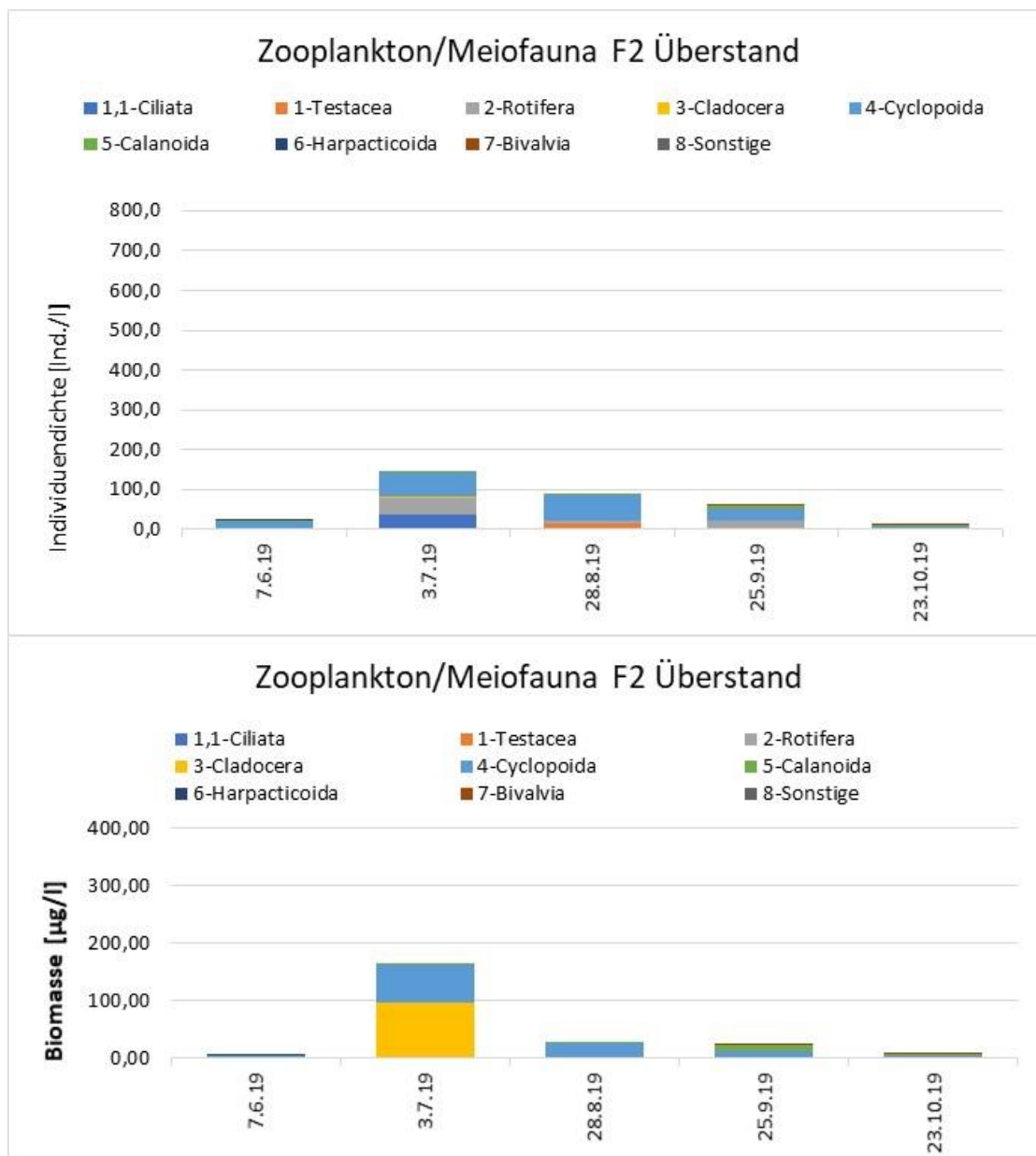


Abbildung 47: Individuendichte (oben) und Biomasse (unten) des Zooplanktons im Überstand von Filter 2

### Filter 3 (Kies, bepflanzt)

Filter 3 wurde ab 28.08.19 beprobt, es liegen drei Analysenwerte vor. Ende August bildet das Zooplankton hohe Individuendichten aus, wobei Hüpferlinge sowohl zahlenmäßig als auch hinsichtlich der Biomasse die Lebensgemeinschaft dominieren. Bis zum Oktober gehen die Individuendichten und Biomassen stark zurück. Bemerkenswert sind die hohen Biomassen von Schwebekrebsen (Calanoida); die hier vorkommenden Arten sind effektive Verwerter von Phytoplankton bzw. Detritus.

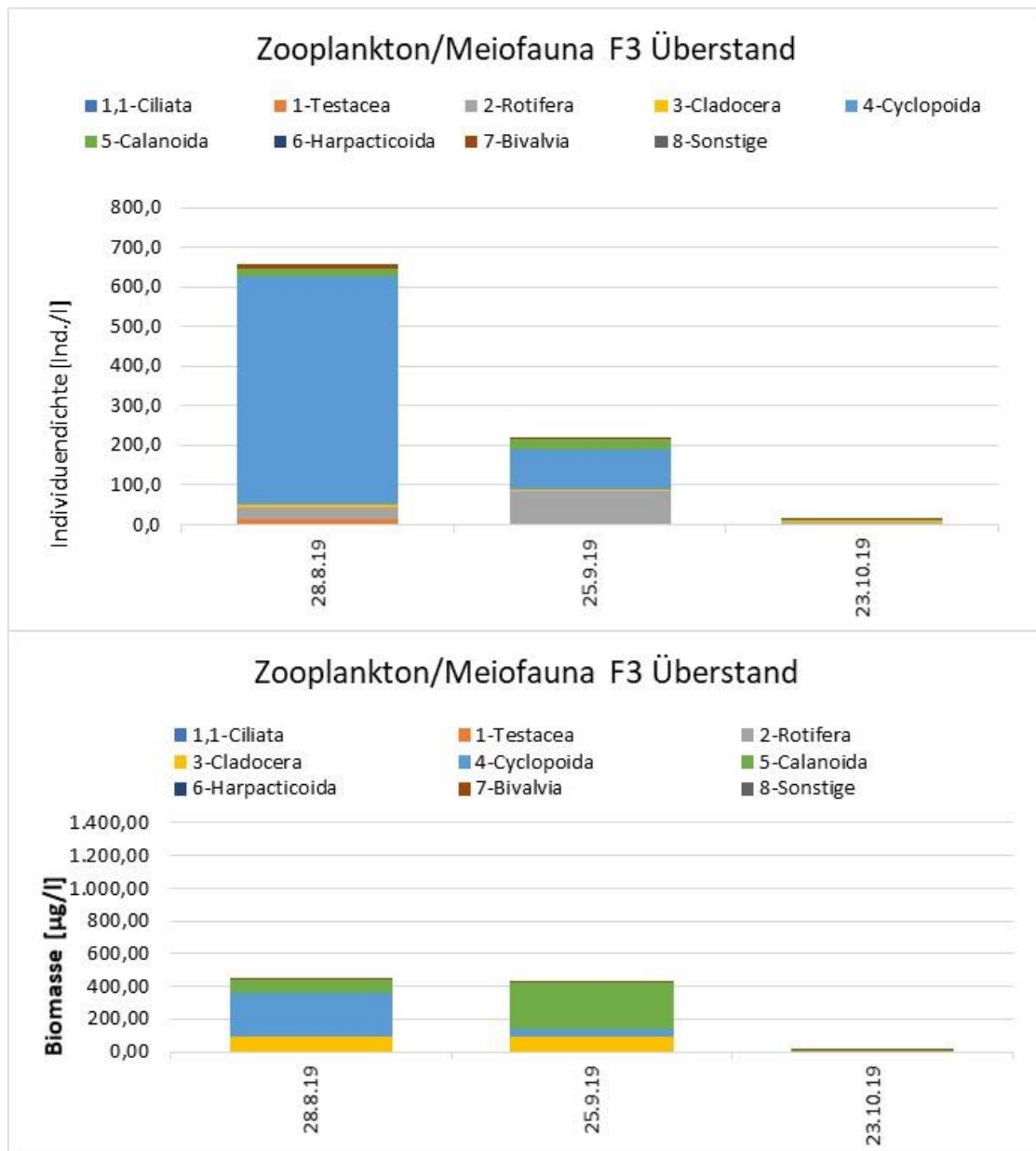


Abbildung 48: Individuendichte (oben) und Biomasse (unten) des Zooplanktons im Überstand von Filter 3

#### Filter 4 (Blähton, bepflanzt)

Filter 4 wurde ab 28.08.2019 beprobt, es liegen drei Analysenwerte vor. Im Gegensatz zu Filter drei werden hier im September die höchsten Individuendichten und Biomassen des Zooplanktons ausgebildet. Während im August Hüpferlinge aspektbestimmend vorhanden waren, sind im September Blattfußkrebse (Cladocera) und Rädertierchen (Rotifera) in ähnlichen Individuendichten vorhanden. Schwebekrebse kommen dagegen nur in geringeren Anteilen vor.

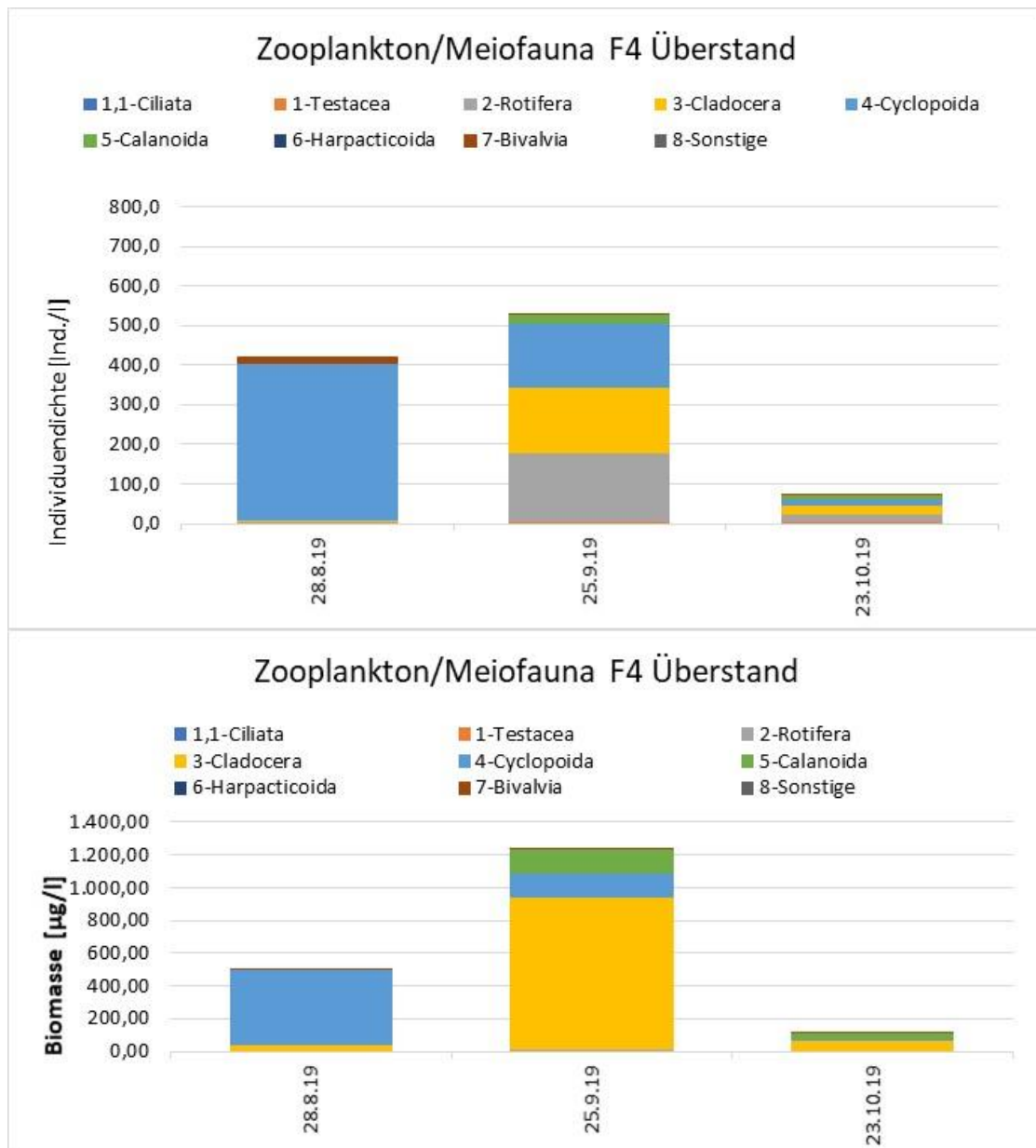


Abbildung 49: Individuendichte (oben) und Biomasse (unten) des Zooplanktons im Filter 4



## Frischwasser

Das Zooplankton des Frischwassers ist ähnlich individuenarm wie die Gemeinschaft im Ablauf von Filter 1. Höchste Individuendichten wurden im Juli (Individuendominanz von Hüpferlingen) und höchste Biomassen im Juni (Schwebekrebse als größte Massebildner) festgestellt.

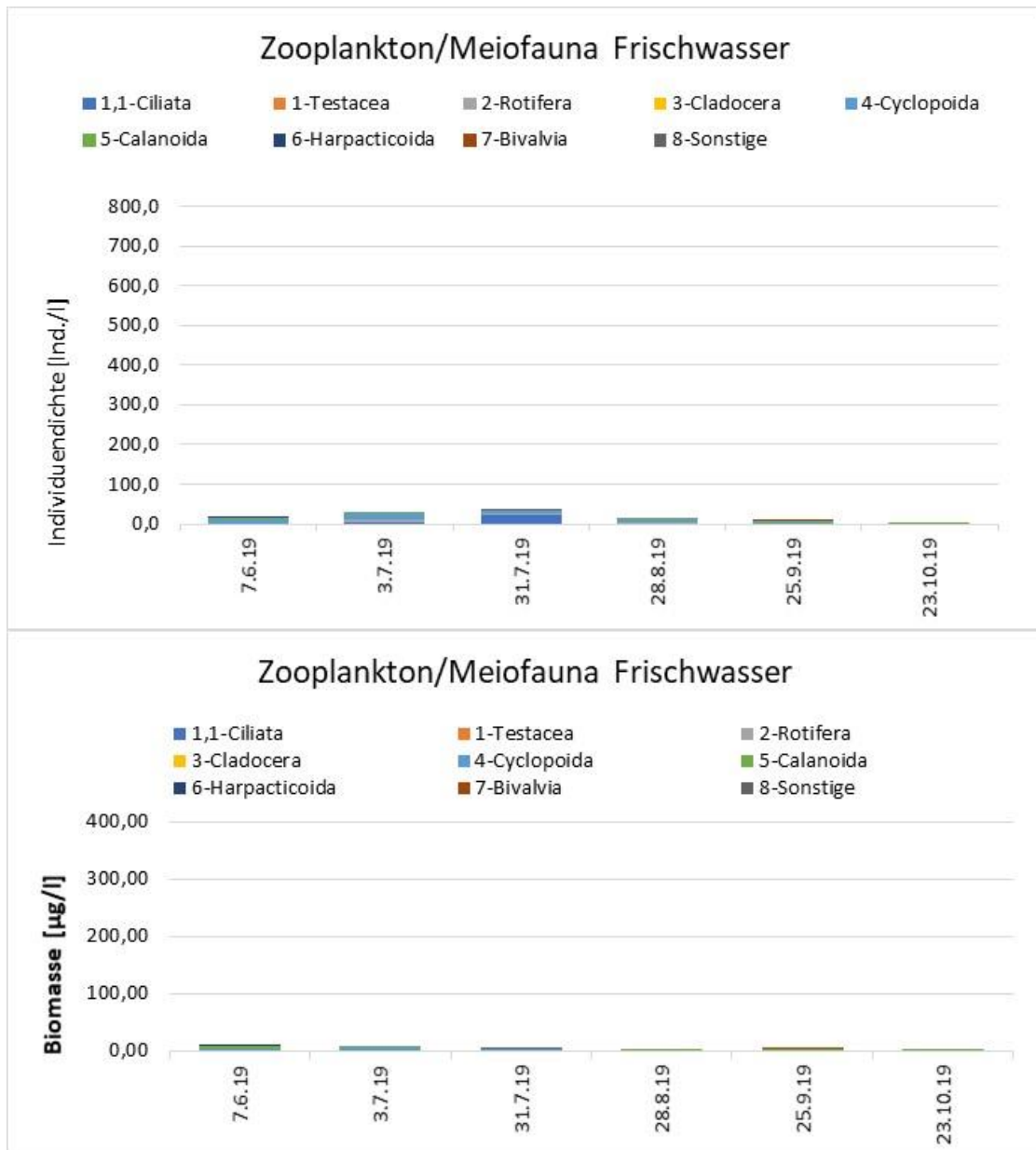


Abbildung 50: Individuendichte (oben) und Biomasse (unten) des Zooplanktons im Frischwasser

### 3.3.6 Makrozoobenthos

Zum Makrozoobenthos, auch Fischnährtiere genannt, gehören die ohne optische Hilfsmittel sichtbaren, bodenlebenden, aquatischen Wirbellosen. Dies sind im Wesentlichen Insektenlarven, Larven und Imagines der Wasserkäfer, Wasserwanzen, Muscheln, Wasserschnecken, Krebstiere, Strudelwürmer, Würmer, Egel sowie sessile (festsitzende) Gruppen wie z.B. Schwämme und Moostierchen.

Die Untersuchungen des Makrozoobenthos erfolgten bisher am 15.07.2018, am 20.07.2019 und am 6.10.2019.

#### Erfassung und Auswertung des Makrozoobenthos in den Filterbecken

Von der Sohle der Filter (1 Blähton, 2 Lavagestein, 3 Pflanzenbett auf Kies, 4 kleines Pflanzenbeet auf Blähton) wurden jeweils drei Teilproben mit dem Kescher entnommen und pro Filter zu einer Mischprobe vereinigt. Der Kescher wurde auf die Sohle aufgesetzt, das Sohlsubstrat leicht aufgewirbelt und pro Teilprobe eine Fläche von 0,25 m x 0,25 m, entsprechend der Kantenlänge des Keschers, aufgefangen. Die Mischprobe entsprach einer Fläche von 0,1875 m<sup>2</sup>.

Anfang Oktober 2019 wurden zusätzlich die Wände der Filter untersucht. Mittels eines Pfahlkratzers mit einer Kantenlänge von 0,13 m wurde der Bewuchs jeweils an zwei Stellen abgekratzt.

Im Labor wurden die Tiere ausgelesen, bestimmt und auf einen Quadratmeter Fläche hochgerechnet.

Tabelle 11: Filter 1 – Makrozoobenthos auf der Sohle

<b>Sohle</b>		15.07.18	20.07.19	06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>		
Chelicorophium robustum	Flohkrebse	64	32	
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	533	1.525	2.133
Dikerogammarus villosus	Flohkrebse	320		
Echinogammarus ischnus	Flohkrebse	3.200		
Lymnaea stagnalis	Schnecken		5	
Radix sp.	Schnecken	11		
Caenis luctuosa	Eintagsfliegen		117	
Ecnomus tenellus	Köcherfliegen		11	
Tinodes waeneri	Köcherfliegen		5	
Chironomidae Gen. sp.	Zuckmücken		245	
<b>Summe</b>		<b>4.128</b>	<b>1.940</b>	<b>2.133</b>

Zwischen dem Filtermaterial Blähton im Filter 1 wurden hauptsächlich massenhaft Flohkrebse nachgewiesen (Tabelle 11). Sie ernähren sich räuberisch sowie von lebenden und verwesenden Pflanzen, Detritus und Aas. Im Sommer und Herbst 2019 wurden viele leere Schneckenhäuser in dem Probenmaterial gefunden.

Tabelle 12: Filter 1 – Makrozoobenthos an der Wand

Wand		06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>
<i>Gammarus pulex</i>	Bachflohkrebse	111
<i>Lymnaea stagnalis</i>	Schnecken	333
<i>Dugesia lugubris</i>	Strudelwürmer	94
<b>Summe</b>		<b>538</b>

Die Wandfläche war im Oktober 2019 von einer dünnen mineralischen Kruste mit Kieselalgen und der fädigen Grünalge *Rhizclonium hieroglyphicum* bedeckt. Darauf saßen auffällig viele Exemplare der Spitzschlamm Schnecke *Lymnaea stagnalis* (Tabelle 12). Die Schnecke ernährt sich von Algen, weichen und verrotteten Wasserpflanzen, Aas, Laich und Detritus. Im Sommer 2019 wurde im Filterbecken 1 beobachtet, wie die Spitzschlamm Schnecken an der Wasseroberfläche die dicht wachsenden Wasserlinsen *Lemna minor* fraßen, quasi alle Wasserlinsen auffraßen. Die Schnecke ist in der Lage, an der Wasseroberfläche Schleim zum Festhaften abzusondern.

Tabelle 13: Filter 2 – Makrozoobenthos auf der Sohle

Sohle		15.07.18	20.07.19	06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>		
<i>Chelicorophium robustum</i>	Flohkrebse		5	
<i>Dikerogammarus villosus</i>	Flohkrebse	8		
<i>Echinogammarus ischnus</i>	Flohkrebse	8.533		
<i>Gammarus pulex</i>	Bachflohkrebse		5	
<i>Asellus aquaticus</i>	Wasserasseln	5.333	2.379	2.133
<i>Bithynia tentaculata</i>	Schnecken		203	5
<i>Oligochaeta</i> Gen. sp.	Wenigborster	640		
<i>Chironomidae</i> Gen. sp.	Zuckmücken		400	
<b>Summe</b>		<b>14.514</b>	<b>2.987</b>	<b>2.138</b>

Filter 2 war in beiden Untersuchungsjahren dicht mit der Wasserpflanze Hornblatt *Ceratophyllum demersum* und Fadenalgenwatten bewachsen.

Während der Aufwirbelung des Filtermaterials Lavagestein wurde im Sommer 2018 ein starker Faulschlammgeruch festgestellt. Das Filtermaterial war dicht mit Algenwatten der benthischen Fadenalgen *Spirogyra* sp. (Faden-Jochalgen) und *Microspora* sp.

(Grünalgen) bedeckt. Massenhaft wurden Flohkrebse und Wasserasseln vorgefunden. Die Gesamtindividuumdichte von ca. 14.500 Individuen/m<sup>2</sup> war sehr hoch. Die Hauptnahrung der Flohkrebse besteht aus lebenden und verwesenden Pflanzen, Detritus und Aas. Wasserasseln ernähren sich von verwesenden Stoffen. In den Algenwatten befanden sich zudem viele Zooplankter der Ordnung Blattfußkrebse. 2019 wurde kein Faulschlammgeruch bemerkt. Neben dem Hornblatt wuchsen Algenwatten der Grünalge *Rhizclonium hieroglyphicum*. 2019 wurden hauptsächlich Wasserasseln vorgefunden. (Tabelle 13).

Tabelle 14: Filter 2 – Makrozoobenthos an der Wand

Wand		06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>
<i>Dikerogammarus haemobaphus</i>	Flohkrebse	70
<i>Asellus aquaticus</i>	Wasserasseln	1.189
<i>Dreissena</i> sp.	Muscheln	140
<i>Bithynia tentaculata</i>	Schnecken	7
<i>Lymnaea stagnalis</i>	Schnecken	7
<b>Summe</b>		<b>1.413</b>

An den Wänden von Filter 2 wuchsen Fadenalgen, *Rhizodinium hieroglyphium*. In dem Bewuchs fanden sich massenhaft Wasserasseln sowie Flohkrebse und junge Dreikantmuscheln mit 4 bis 8 mm Länge (Tabelle 14).

Auf der Sohle des Filters 3 befanden sich Ablagerungen von Schilfdetritus. Die Taxazahl von 15 nachgewiesenen Taxa im Sommer 2018 war vergleichsweise hoch. Vermehrt traten Flohkrebse und Wasserschnecken auf. Außerdem wurden Insektenlarven verschiedener Ordnungen gefunden. 2019 wurde das Pflanzenbeet erst im Spätsommer in Betrieb genommen. Im Oktober wurden hauptsächlich Wasserschnecken auf der Filtersohle vorgefunden (Tabelle 15).

Tabelle 15: Filter 3 – Makrozoobenthos auf der Sohle

<b>Sohle</b>		15.07.18	20.07.19	06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>		
Chelicorophium robustum	Flohkrebse	11		5
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	53		11
Echinogammarus ischnus	Flohkrebse	261		
Bathyomphalus contortus	Schnecken	43		
Gyraulus albus	Schnecken	197		144
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	267		128
Stagnicola sp.	Schnecken	149		
Dreissena sp.	Muscheln	11		
Ephydatia fluviatilis	Schwämme	11		
Oligochaeta Gen. sp.	Wenigborster	48		5
Caenis luctuosa	Eintagsfliegen	16		
Oecetis lacustris	Köcherfliegen	5		
Ischnura elegans	Libellen	5		
Chironomidae Gen. sp.	Zuckmücken	37		32
<b>Summe</b>		<b>1.114</b>	<b>n.b.</b>	<b>325</b>

Tabelle 16: Filter 3 – Makrozoobenthos an der Wand

<b>Wand</b>		06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	33
Gyraulus albus	Schnecken	187
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	143
Stylaria lacustris	Würmer	22
Chironomidae Gen. sp.	Zuckmücken	165
<b>Summe</b>		<b>550</b>

Die Wandfläche von Filter 3 war ebenso wie beim Filter 1 von einer dünnen mineralischen Kruste mit Kieselalgen und der fädigen Grünalge *Rhizodinium hieroglyphium* bedeckt. In dem Bewuchs kamen vermehrt Wasserschnecken vor (Tabelle 16).

Filter 4 wurde im Spätsommer als kleines Pflanzenbeet mit Schilf auf dem Substrat Blähton eingerichtet. Auf der Sohle befanden sich vergleichsweise wenig Tiere aus den Gruppen Flohkrebse, Schnecken und Zuckmücken (Tabelle 17).

Tabelle 17: Filter 4 – Makrozoobenthos auf der Sohle

<b>Sohle</b>		06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	11
Gyraulus albus	Schnecken	11
Chironomidae Gen. sp.	Zuckmücken	27
<b>Summe</b>		<b>49</b>

Tabelle 18: Filter 4 – Makrozoobenthos an der Wand

<b>Wand</b>		06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>
Gyraulus albus	Schnecken	9
Stagnicola sp.	Schnecken	9
<b>Summe</b>		<b>18</b>

An den Wänden von Filter 4 hafteten wenige Wasserschnecken (Tabelle 18).

### **Erfassung und Auswertung des Makrozoobenthos im Frischwasserbecken**

Im Frischwasserbecken wurden die drei Bereiche FW1 (2 Meter vor Querwand an der Kanalseite), FW2 (2 Meter nach Querwand an der Uferseite) und FW3 (2 Meter vor Ablauf an Uferseite), quasi in Fließrichtung, beprobt.

Von der Sohle der Bereiche 1 bis 3 wurden jeweils drei Teilproben mit dem Kescher entnommen und pro Bereich zu einer Mischprobe vereinigt. Der Kescher wurde auf die Sohle aufgesetzt, das Sohlsubstrat leicht aufgewirbelt und pro Teilprobe eine Fläche von 0,25 m x 0,25 m, entsprechend der Kantenlänge des Keschers, aufgefangen. Die Mischprobe entsprach einer Fläche von 0,1875 m<sup>2</sup>. Im Labor wurden die Tiere ausgelesen, bestimmt und auf einen Quadratmeter hochgerechnet.

Desweiteren wurde an den Wänden der jeweiligen Bereiche eine definierte Menge des Biofilms mittels eines Pfahlkratzers entnommen. Der Pfahlkratzer mit einer Kantenlänge von 0,13 m wurde auf die Filtersohle aufgesetzt und an der Wand ca. 1,40 m hochgezogen. Die beprobte Teilfläche betrug 0,182 m<sup>2</sup>. Im Labor wurden die Tiere ausgelesen, bestimmt und auf einen Quadratmeter hochgerechnet.

In den Bereichen FW1 und FW3 wurden 2018 Proben der aufschwimmenden Fadenalgen zur Bestimmung entnommen. 2019 wurden im Juli und Oktober keine aufschwimmenden Fadenalgen gesichtet.



Die Sohle im Frischwasserbereich FW1 war im Sommer 2018 dicht mit Fadenalgenwatten bedeckt. Hauptsächlich kamen Flohkrebse und Zuckmückenlarven darin vor. Die Individuendichte war mit 84 Individuen/m<sup>2</sup> gering. In den Algenwatten befanden sich zudem massenhaft Zooplankter der Ordnung Blattfußkrebse. 2019 wurden keine Fadenalgenwatten auf der Beckensohle vermerkt. Neben Flohkrebse und Zuckmückenlarven wurde 2019 in allen drei untersuchten Sohlbereichen erstmals die Schwebegarnele *Hemimysis anomala*, Neozoa aus den pontokaspischen Raum, vorgefunden. Die Lebensweise von *Hemimysis anomala* ist nektobenthisch, das bedeutet, die Art lebt sowohl im Freiwasser sowie auch am Benthos und kann sich in diesen Bereichen aktiv bewegen. Die photophobe Art führt eine vertikale Wanderung abhängig von dem abiotischen Faktor Licht durch. In der Nacht sowie in der Dämmerung kommt *Hemimysis anomala* an der Wasseroberfläche vor. Bei Tagesanbruch taucht sie in mittlere oder bodennahe Schichten ab, zum Schutz vor Licht und vor Prädatoren. Die als euryök beschriebene Garnele ernährt sich omnivor, wobei adulte Tiere Zooplankton favorisieren, juvenile Tiere hingegen Phytoplankton (Roth, 2015). Im Großversuch kam diese Garnele in besonders hoher Dichte im Herbst 2019 auf der Sohle des Frischwasserbereiches FW 1 vor (Tabelle 19).

Tabelle 19: FW1 – Makrozoobenthos auf der Sohle

Sohle		15.07.18	20.07.19	06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>		
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	48	11	53
Hemimysis anomala	Schwebegarnelen		80	245
Bithynia tentaculata	Schnecken			5
Gyraulus albus	Schnecken	5		
Potamopyrgus antipodarum	Schnecken			5
Radix sp.	Schnecken		5	
Oecetis lacustris	Köcherfliegen	5		
Sigara sp. Larve	Wasserwanzen	5		
Oligochaeta Gen. sp.	Würmer			11
Chironomidae Gen. sp.	Zuckmücken	21	5	32
<b>Summe</b>		<b>84</b>	<b>101</b>	<b>351</b>

An der Wand des Bereiches FW1 wurden im Sommer 2018 drei Arten an Wasserschnecken vermehrt vorgefunden. Wasserschnecken weiden den Biofilm ab. Bei den aufschwimmenden Fadenalgen im Bereich FW1 handelte es sich um die benthischen Gattungen *Oedogonium* sp. und *Mougeotia* sp. (Grünalgen). Die dünne Fadenalge *Mougeotia* sp. war dicht mit Kieselalgen besetzt.

Wie bereits für die Wände der Filterbecken 1 und 3 beschrieben, waren 2019 die Wände des großen Frischwasserbeckens mit einer dünnen, leicht zerbrechlichen mineralischen Kruste mit massenhaft Kieselalgen sowie fädige Grünalgen bedeckt. In dem Bewuchs hafteten Wasserschnecken und bewegten sich vermehrt Flohkrebse (Tabelle 20).

Tabelle 20: FW1 – Makrozoobenthos an der Wand

Wand		15.07.18	20.07.19	06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>		
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse		22	104
Gyraulus albus	Schnecken	225		5
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	55	5	5
Radix sp.	Schnecken	248	132	93
Stagnicola sp.	Schnecken			5
Oligochaeta Gen. sp.	Würmer			5
Chironomidea Gen. sp.	Zweiflügler		33	
<b>Summe</b>		<b>528</b>	<b>192</b>	<b>217</b>

Auf der Sohle im Bereich FW2 befanden sich im Sommer 2018 dichte Fadenalgenwatten der Grünalgen *Oedogonium* sp. und *Microspora* sp. In den Algenwatten befanden sich massenhaft Zooplankter der Ordnung Blattfußkrebse. Die Individuendichte der Benthosorganismen war mit 52 Individuen/m<sup>2</sup> gering. Hauptsächlich kamen Flohkrebse vor. Auch in 2019 wurden relativ wenige Tiere vorgefunden. Vermehrt kam auf der Sohle im Bereich FW 2 im Sommer 2019 die Schwebegarnele vor (Tabelle 21).

Tabelle 21: FW2 – Makrozoobenthos auf der Sohle

Sohle		15.07.18	20.07.19	06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>		
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	32	27	21
Dikerogammarus villosus	Flohkrebse	5		
Gammarus pulex	Bachflohkrebse		11	
Hemimysis anomala	Schwebegarnelen		71	5
Bithynia tentaculata	Schnecken			5
Potamopyrgus antipodarum	Schnecken		5	5
Radix sp.	Schnecken	5		
Oecetis lacustris	Köcherfliegen	5		
Oligochaeta Gen. sp.	Wenigborster		38	11
Chironomidae Gen. sp.	Zuckmücken	5	22	11
<b>Summe</b>		<b>52</b>	<b>174</b>	<b>58</b>

Die Wand im Bereich FW2 war wie im Bereich FW1 im Sommer 2018 mit vielen Wasserschnecken besiedelt. 2019 kam nur die Schnecke *Radix* sp. neben Flohkrebse und Garnelen auf der mineralischen Kruste vor (Tabelle 22).

Tabelle 22: FW2 – Makrozoobenthos an der Wand

Wand		15.07.18	20.07.19	06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>		
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse			44
Hemimysis anomala	Schwebegarnelen		11	11
Gyraulus albus	Schnecken	137		
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	55		
Radix sp.	Schnecken	368	110	88
Chironomidae Gen. sp.	Zuckmücken		33	
<b>Summe</b>		<b>560</b>	<b>154</b>	<b>143</b>

Auf der Sohle im Bereich FW3 wuchs im Juli 2018 die benthische Schlauchalge *Vaucheria* sp. (Gelbgrünalgen). Hauptsächlich kamen Wasserschnecken und Flohkrebse vor. Die Individuendichte von ca. 750 Individuen/m<sup>2</sup> war auffallend hoch. In den Algenwatten wurden viele Zooplankter der Ordnung Blattfußkrebse vorgefunden. Im Freiwasser des Bereiches FW3 wurden im Sommer 2018 Algenwatten der benthischen Grünalge *Mougeotia* sp., dicht besetzt mit Kieselalgen, vorgefunden.

Tabelle 23: FW3 – Makrozoobenthos auf der Sohle

Sohle		15.07.18	20.07.19	06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>		
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	133	22	176
Hemimysis anomala	Schwebegarnelen		117	5
Bithynia tentaculata	Schnecken			21
Gyraulus albus	Schnecken	507		
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	59		
Potamopyrgus antipodarum	Schnecken			176
Radix sp.	Schnecken	37		
Oecetis lacustris	Köcherfliegen	5		
Sigara sp. Larve	Wasserwanzen	11		
Sigara striata	Wasserwanzen	5		
Oligochaeta Gen. sp.	Wenigborster		11	155
Chironomidae Gen. sp.	Zuckmücken	5	5	
<b>Summe</b>		<b>762</b>	<b>155</b>	<b>533</b>

Im Sommer 2019 wurden hauptsächlich Schwebegarnelen vorgefunden. Im Herbst 2019 zeigte sich ein anderes Bild, es kamen vermehrt Flohkrebse, die salztolerante Schnecke *Potamopyrgus antipodarum* sowie Würmer vor (Tabelle 23).

Die Wandfläche im Bereich FW3 war im Sommer 2018, wie die beiden anderen Wand-Bereiche, mit vielen Wasserschnecken besiedelt. 2019 wurde auch im Bereich FW3 eine Kustenbildung mit aufsitzenden Tieren vermerkt (Tabelle 24).

Tabelle 24: FW3 – Makrozoobenthos an der Wand

<b>Wand</b>		15.07.18	20.07.19	06.10.19
Taxon	Gruppe	Individuen/m <sup>2</sup>		
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	5	5	104
Hemimysis anomala	Schwebegarnelen		22	
Bithynia tentaculata	Schnecken		5	
Gyraulus albus	Schnecken	165		
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	5		
Radix sp.	Schnecken	176	181	77
Chironomidae Gen. sp.	Zuckmücken		27	
<b>Summe</b>		<b>351</b>	<b>240</b>	<b>181</b>

### 3.4 Mischwasserüberläufe im Sommer 2019

Zur Beurteilung von Mischwasserereignissen im projektrelevanten Gebiet (Spreekanal und Spree flussaufwärts der Testfilteranlage) wurden wie in den Vorjahren eine Reihe von Überlaufschwelen der Einzugsgebiete Bln IIIa, Bln V und Bln XII überwacht. Die Einleitstellen befinden sich direkt im Spreekanal unterhalb der ehemaligen Sportbootschleuse (Bln IIIa), in der Spree Einlauf im Bereich Straße der Pariser Commune (Bln V) sowie in der Spree auf Höhe der Oberbaumbrücke (Bln XII). Von den direkt in den Spreekanal einleitenden Bauwerken oberhalb des Testfilters gab es keine Informationen über die stattfindenden Abschlagsereignisse.

Im Versuchszeitraum 2019 wurden dabei die folgenden Überlaufereignisse registriert:

Tabelle 25: Zusammenfassung der Mischwasserüberläufe 2019

	Größe des Überlaufs in m <sup>3</sup>			Summe der Überläufe in m <sup>3</sup>	Startzeitpunkt des Überlaufs			Dauer des Überlaufs in h		
	IIIa	V	XII		IIIa	V	XII	IIIa	V	XII
06.06.19	1231	305		<b>1536</b>	15:10	21:39		01:47	01:16	00:00
					0:10	0:18	0:18	02:01	02:46	09:00
12.06.19	2322	48626	1614	<b>52562</b>	18:57	19:01	19:00	00:47	01:31	00:31
20.07.19	81			<b>81</b>	23:17		23:48	00:32	00:00	00:01
21.07.19	51	43	5	<b>99</b>	22:43	0:32	2:04	01:16	00:31	01:02
29.07.19		5841	617	<b>6458</b>		17:09	17:06	00:00	01:51	00:31
31.07.19	523	33		<b>556</b>	19:48	21:16		01:16	00:16	00:00
02.08.19	1606	31321	148	<b>33075</b>	16:14	16:33	16:44	02:50	02:59	07:15
05.10.19		13	0	<b>13</b>		3:46			01:34	

Wie Tabelle 25 zu entnehmen ist, ergaben sich die größten Mischwassereinleitungen am 12. Juni und am 2. August und am 29. Juli. Infolge von Mischwasserereignissen wurden am 6. Juni, am 2. August und am 5. Oktober Intensivbeprobungen gestartet (vgl. Abschnitt 3.5).

### 3.5 Belastungen nach Mischwasserereignissen

Infolge von Mischwassereinleitungen wurden im Spreekanal in drei Fällen grenzwert-überschreitende Keimbelastungen mit *E. coli* und/oder intestinalen Enterokokken festgestellt. Die Keimkonzentrationen stiegen dabei auf 1 bis 1,5 log-Stufen über den jeweiligen Grenzwert und erreichten wenige Tage nach dem Mischwasserereignis wieder zum Baden geeignete Niveaus. Es ist daher nicht auszuschließen, dass die übrigen beobachteten Mischwasserüberläufe ebenfalls Grenzwertüberschreitungen verursachten, die aufgrund der Probenahmezeitpunkte jedoch nicht erfasst wurden. Dies wird dadurch bekräftigt, dass auch die geringe Mischwassereinleitung von 13 m<sup>3</sup> aus dem Einzugsgebiet Bln V am 5. Oktober 2019 zu einer erheblichen Grenzwert-überschreitung führte, wohingegen nach größeren Abschlägen, die zudem direkt in den Spreekanal einleiteten (beispielsweise am 20. und 21.7.2019), keine Grenzwert-überschreitung festgestellt wurde. Zwischen den Mischwasserereignissen lagen die Keimbelastungen im Spreekanal unterhalb der Grenzwerte der Badegewässer-verordnung (*E. coli*: 1.800 MPN/100ml, intestinale Enterokokken: 700 MPN/100ml). Die empfohlenen Werte für Kleinbadeteiche gemäß Bundesgesundheitsblatt (*E. coli*: 100 MPN/100ml, intestinale Enterokokken: 50 MPN/100ml) wurden dabei allerdings nur selten eingehalten (vgl. Abschnitt 3.3.2).

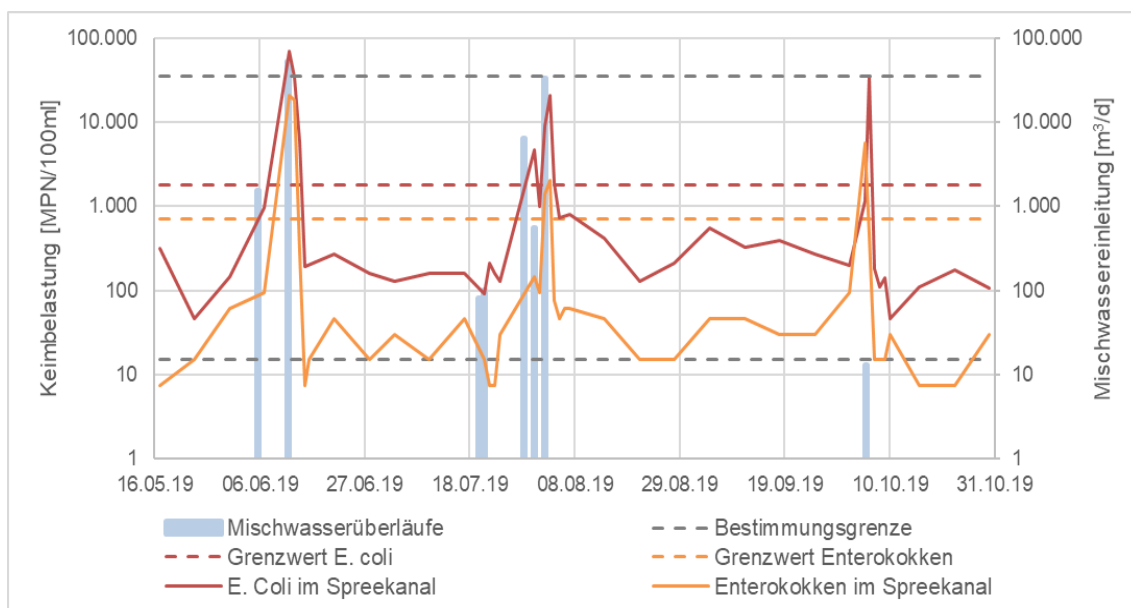


Abbildung 51: Verlauf der *E. coli*- und Enterokokken Konzentration im Spreekanal und Mischwassereinleitungen im Versuchszeitraum 2019

Nach Mischwasserereignissen wurden im Untersuchungszeitraum 2019 drei Intensivbeprobungen durchgeführt. Dabei wurden für den Spreekanal (= Filterzulauf) sowie im Ablauf von Filter 1 Intensivprobenehmer genutzt um die Entwicklung der Gewässerqualität engmaschig aufzuzeichnen. Zwar wurde gezeigt, dass durch die Filtration eine Reduktion der Keimbelastung um beinahe eine log-Stufe erreicht werden kann (vgl. Abschnitt 3.3.2), doch reicht diese nicht aus, um nach Mischwasserereignissen die hohen Keimbelastungen abzufangen und die gemäß Badegewässerverordnung geforderte Hygienisierung im Filterablauf zu gewährleisten.

Bei den Intensivbeprobungen fiel auf, dass die festgestellten Keimbelastung an den automatisch beprobten Orten (Spreekanal und Ablauf von Filter 1) periodischen Schwankungen unterlagen. Dies kann am ehesten mit einer Veränderung der Keimzahl während der Aufbewahrung im Probenehmer begründet werden. Die Proben wurden einmal täglich aus dem Probenehmer entnommen, in ein verschließbares Gefäß umgefüllt und im Kühlschrank bis zur Abholung durch das mit der Analyse beauftragte Labor aufbewahrt.

Die erste Intensivbeprobung im Untersuchungszeitraum 2019 wurde am 12.6. gestartet, nachdem es in der vorangegangenen Nacht ab 0:10 Uhr zu erheblichen Mischwasser-einleitungen aus den drei betrachteten Einzugsgebieten kam. Am gleichen Tag warfen die drei Einzugsgebiete ab 18:57 Uhr erneut ab. Insgesamt wurden am 12.6.2019 52.562 m<sup>3</sup> Mischwasser an den betrachteten Stellen in Spree und Spreekanal eingeleitet. 93% der abgeschlagenen Menge stammten aus dem Einzugsgebiet BIn V. Anhand der Dauer der jeweiligen Überläufe lässt sich vermuten, dass die nächtlichen Einleitungen mengenmäßig größer waren als die abendlichen.

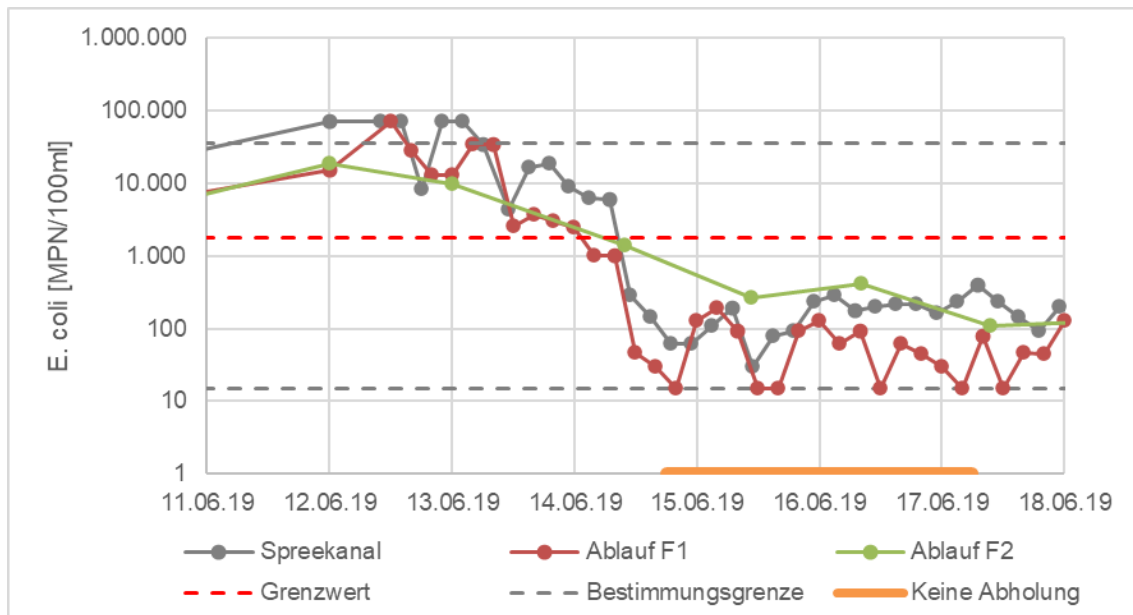


Abbildung 52: Verlauf der Konzentrationen von E.coli während der ersten Intensivbeprobung



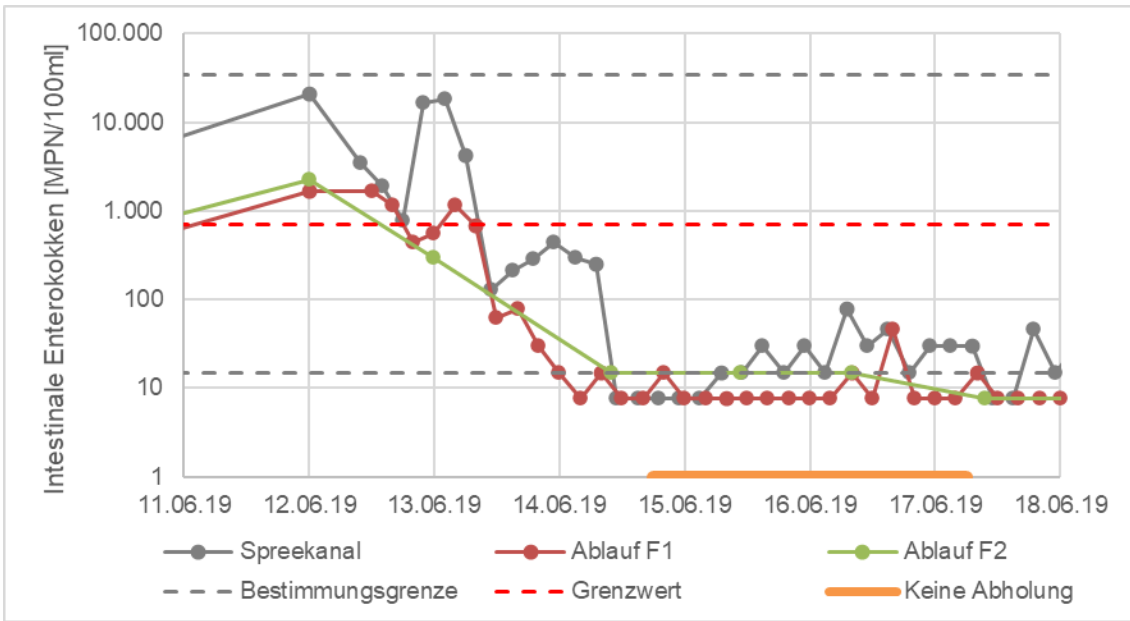


Abbildung 53: Verlauf der Konzentrationen der intestinalen Enterokokken während der ersten Intensivbeobachtung

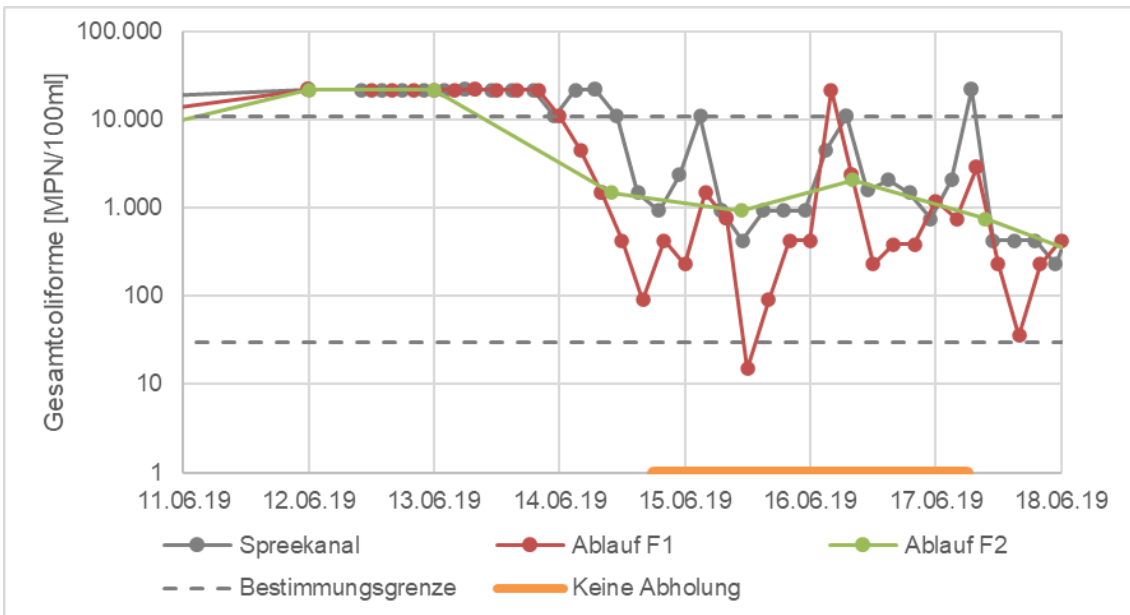


Abbildung 54: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtcolliforme während der ersten Intensivbeobachtung

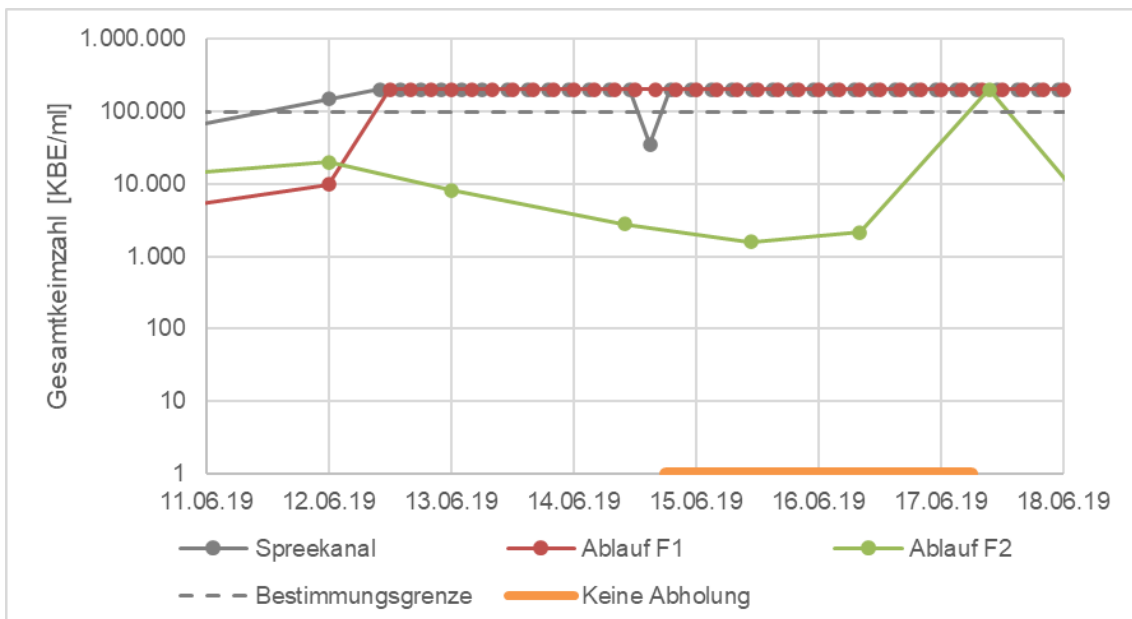


Abbildung 55: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtkeimzahl während der ersten Intensivbeprobung

Die zweite Intensivbeprobung stand unter dem Einfluss mehrerer aufeinanderfolgender Mischwassereinleitungen. Nachdem es am 29.07.19 (ab 17:06 Uhr) und am 31.07.19 (ab 19:48 Uhr) bereits zu geringeren Mischwasserüberläufen gekommen war, wurden am 2.8.2019 ab 16:14 Uhr 33.075 m<sup>3</sup> aus den drei betrachteten Einzugsgebieten abgeschlagen. 95% der abgeworfenen Gesamtmenge stammten dabei aus dem Einzugsgebiet Bln V. Die Intensivbeprobung wurde am 2.8.19 um 19:00 Uhr gestartet.

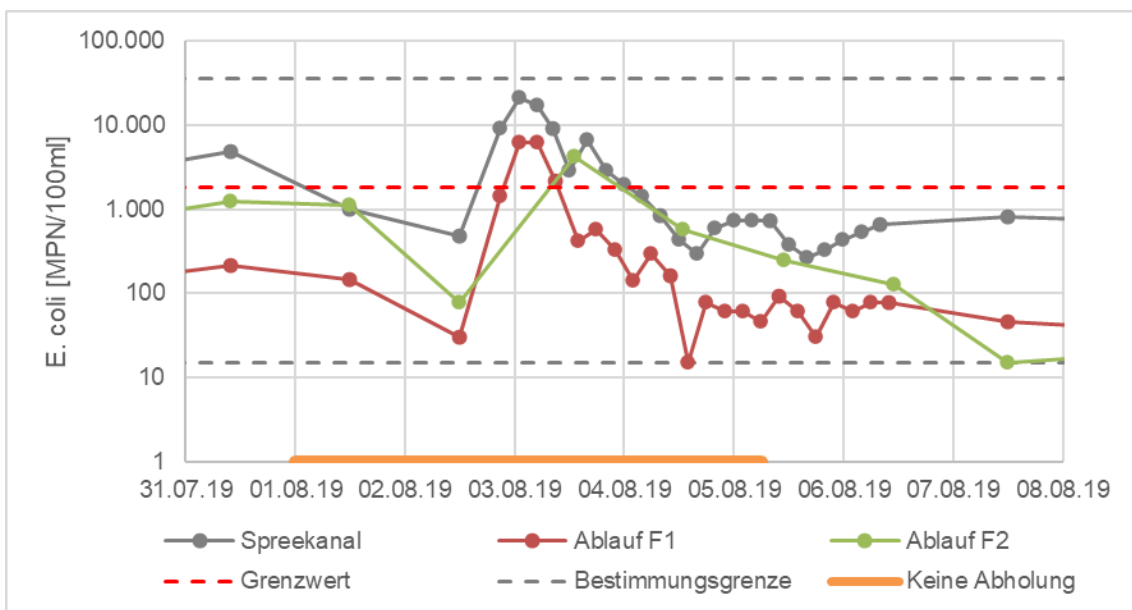


Abbildung 56: Verlauf der Konzentrationen von E. coli während der zweiten Intensivbeprobung

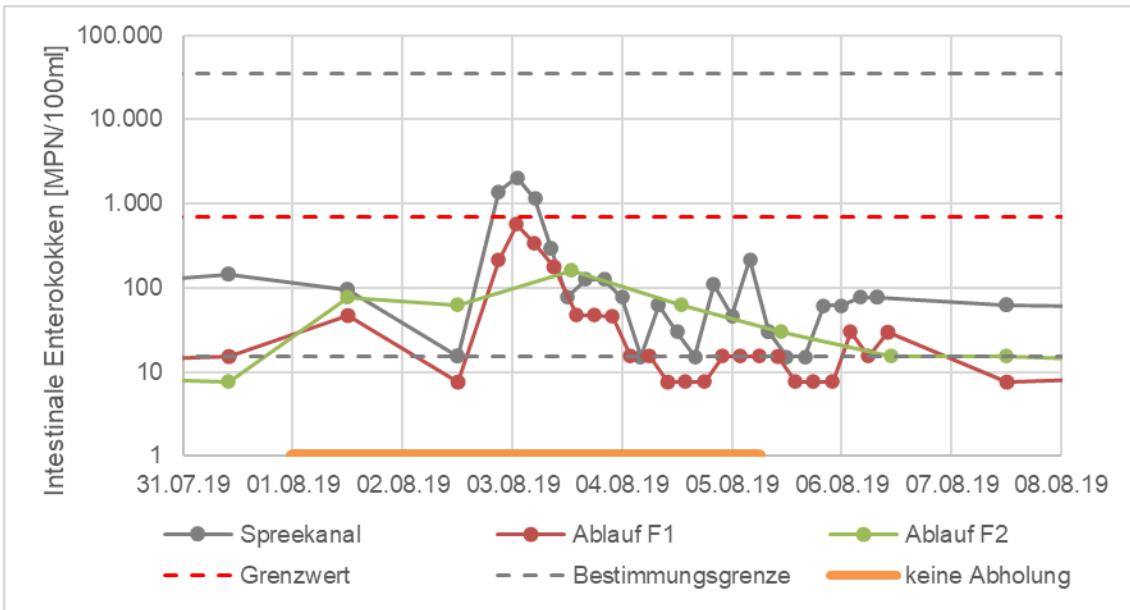


Abbildung 57: Verlauf der Konzentrationen der intestinalen Enterokokken während der zweiten Intensivbeprobung

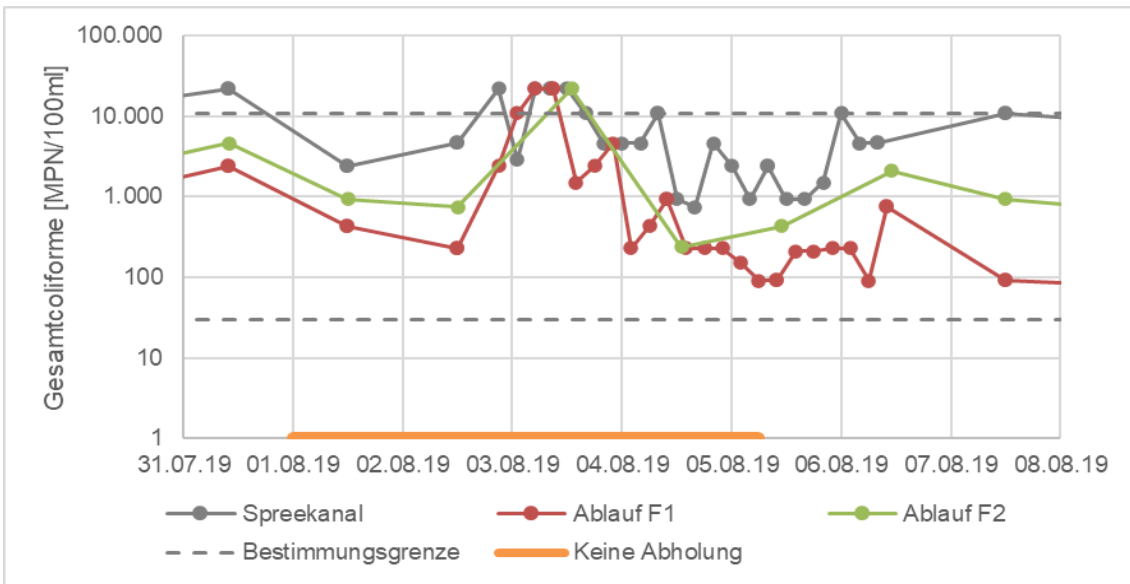


Abbildung 58: Verlauf der Konzentrationen der Gesamcoliforme während der zweiten Intensivbeprobung

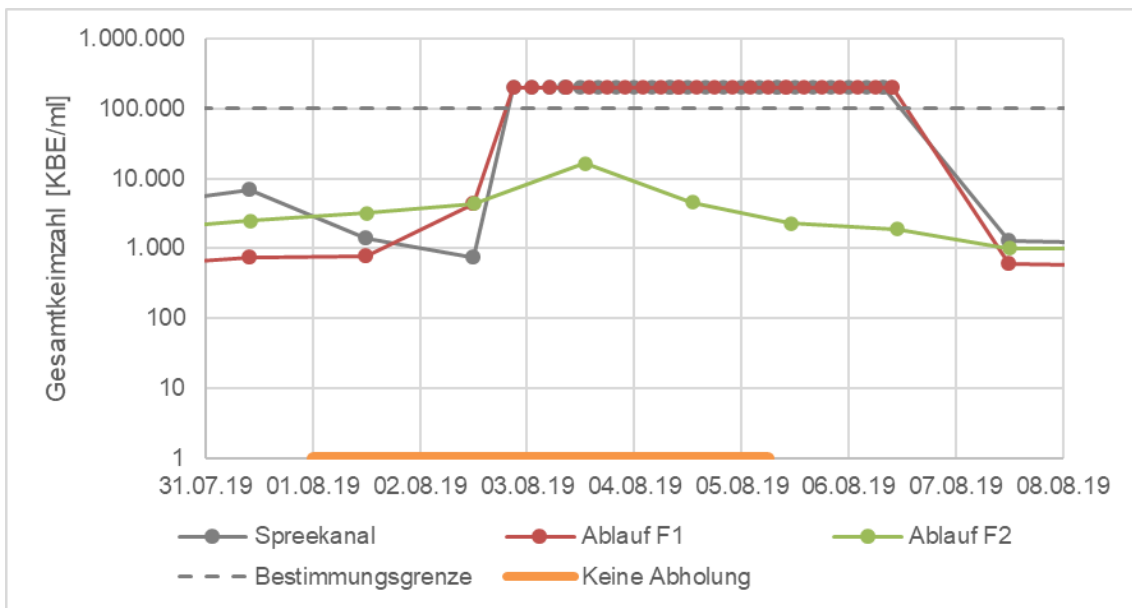


Abbildung 59: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtkeimzahl während der zweiten Intensivbeprobung

Die dritte Intensivbeprobung wurde gestartet, nachdem am 05.10.19 ab 3:46 Uhr 13 m<sup>3</sup> Mischwasser aus dem Einzugsgebiet Bln V abgeschlagen wurden. Die mittlere Abschlagrate während des Ereignisses betrug lediglich 8,3 m<sup>3</sup>/h. Das Mischwasserereignis geschah am Ende einer Regenperiode vom 27.9. bis zum 4.10., in der es täglich zu Niederschlägen von 4 bis 12 mm kam. Bei der dritten Intensivbeprobung fiel der automatische Probennehmer im Ablauf von Filter 1 während des ersten Probenahmetages aus. Es konnte daher keine Aufzeichnung während des Peaks (vgl. Verlauf der Konzentration im Spreekanal) gemacht werden. Eine Grenzwertüberschreitung im Filterablauf konnte nur bei Filter 1 für intestinale Enterokokken festgestellt werden, wobei der zeitliche Verzug um teilweise mehr als 24 Stunden gegenüber dem Spreekanal auffallend ist.

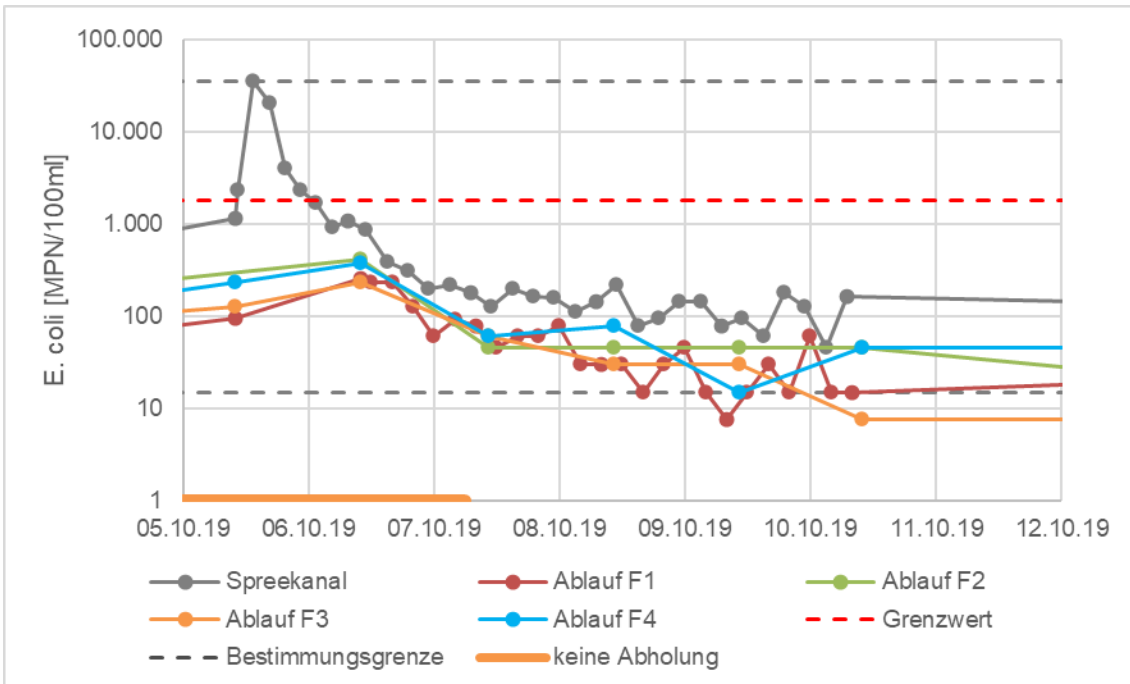


Abbildung 60: Verlauf der Konzentrationen von E.coli während der dritten Intensivbeprobung

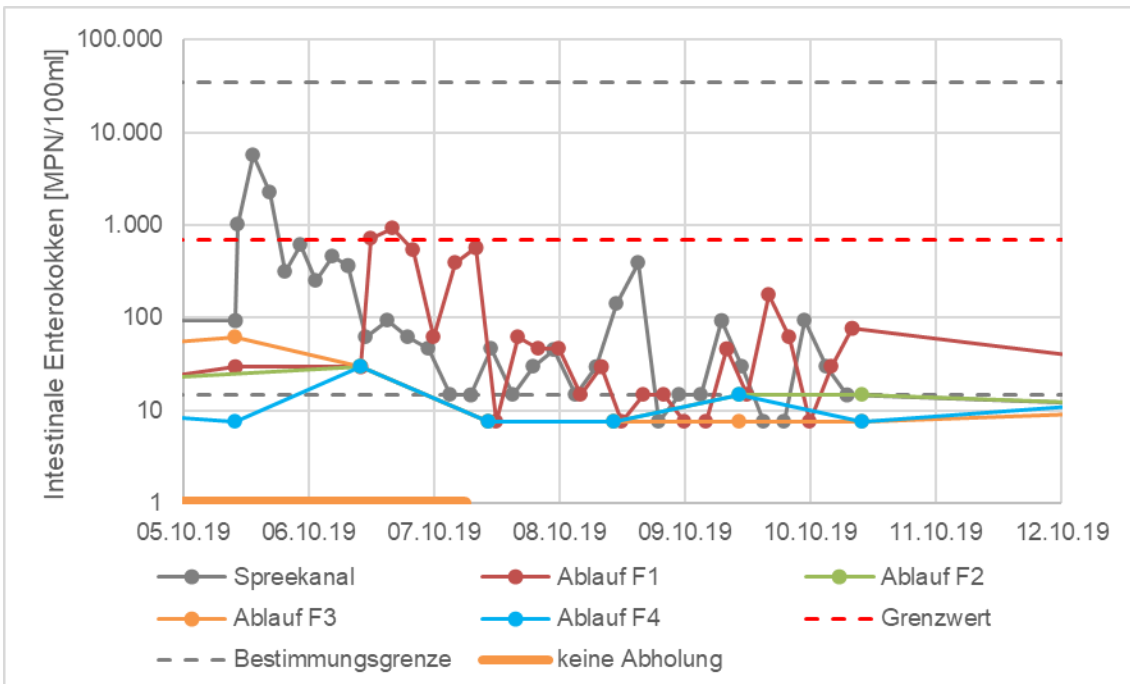


Abbildung 61: Verlauf der Konzentrationen der intestinalen Enterokokken während der dritten Intensivbeprobung

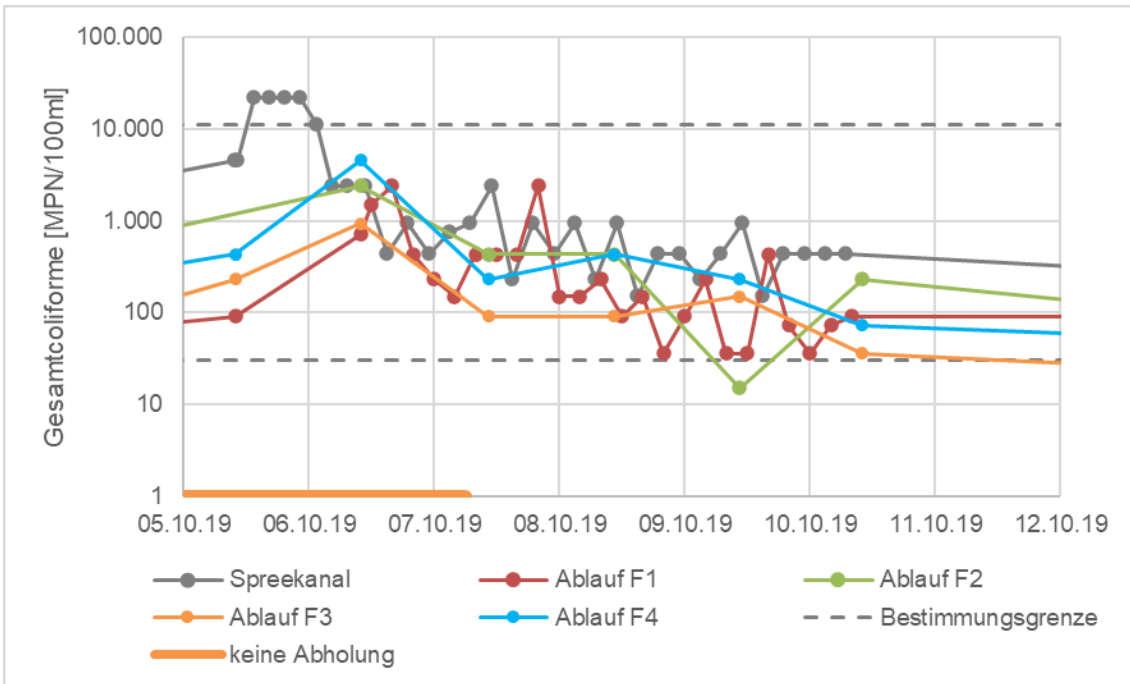


Abbildung 62: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtcoliforme während der dritten Intensivbeprobung

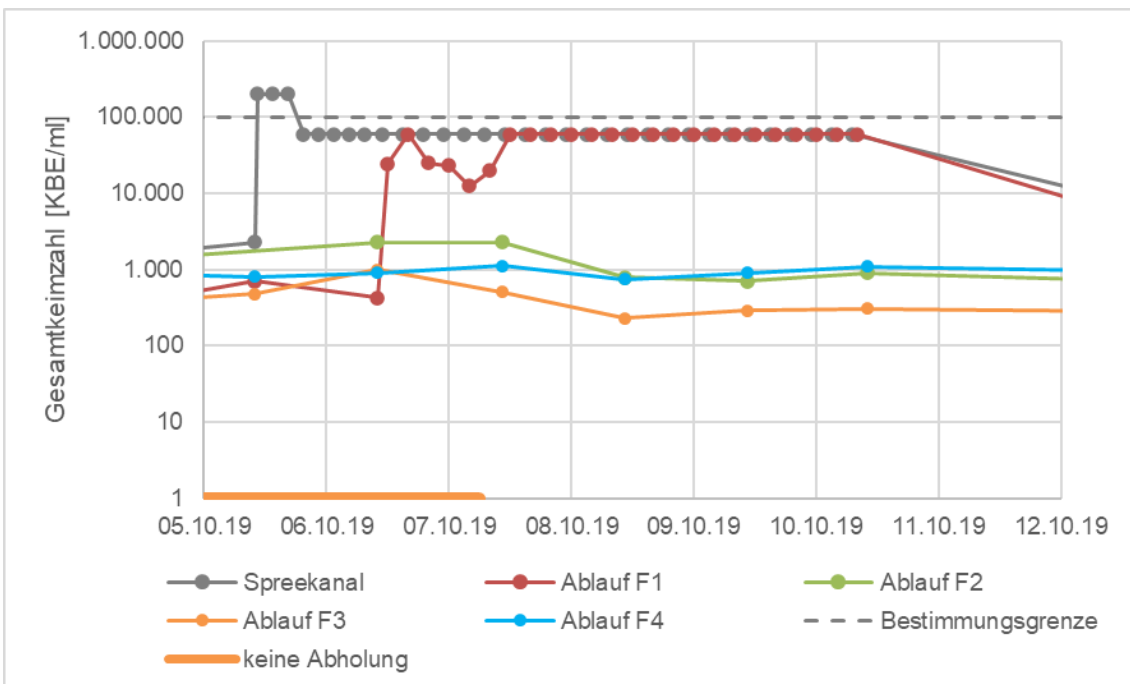


Abbildung 63: Verlauf der Konzentrationen der Gesamtkeimzahl während der dritten Intensivbeprobung

Abbildung 64 sind die Zeiträume zu entnehmen, die ab dem jeweiligen Mischwasserereignis verstrichen, ehe ein Ende der Verschmutzung festgestellt wurde. Das Ende der Verschmutzung wird in Anlehnung an das Vorgehen des Landesamtes für Gesundheit und Soziales Berlin durch eine Keimbelastung von E. coli < 700 MPN/100ml und intestinale Enterokokken < 280 MPN/100ml gekennzeichnet. Da sich die Datenlage zwischen den automatisch beprobten Orten (Spreekanal und Ablauf Filter 1) erheblich von den übrigen Probenahmeorten unterscheidet, ist eine Interpretation der angegebenen Zeiträume allerdings nicht ohne Weiteres möglich. Dabei wirken sich sowohl die angesprochenen periodischen Schwankungen als auch die kürzeren Probenahmeintervalle aus.

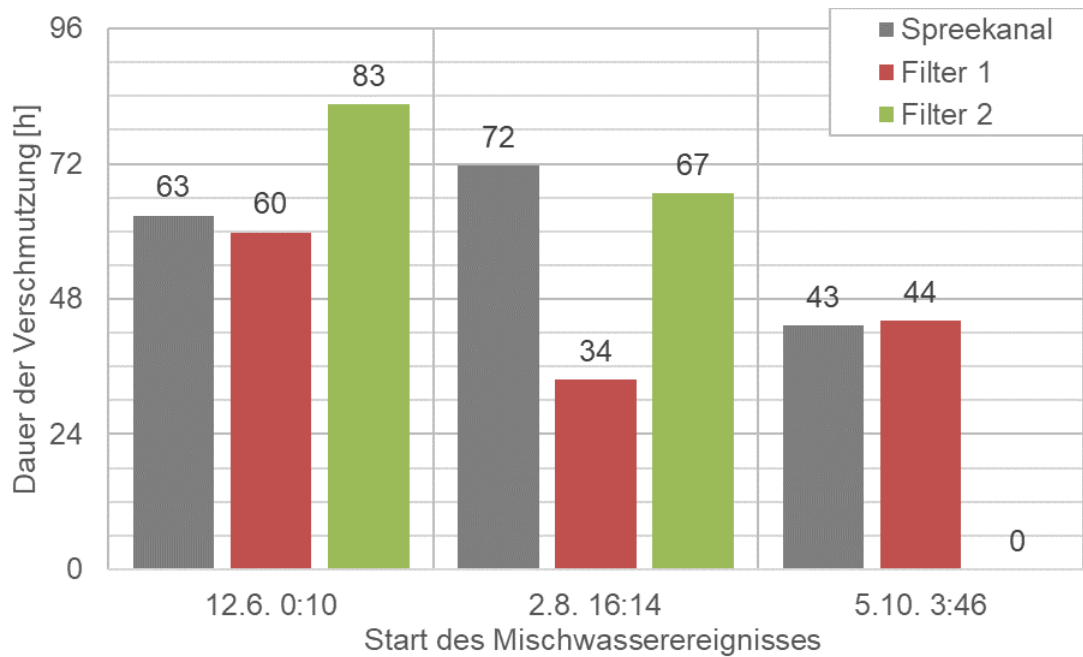


Abbildung 64: Dauer der Verschmutzung nach Mischwasserereignissen



---

### 3.6 Online Sonden

Zwei Multiparametersonden messen Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit, Trübung und Chlorophyll-a. In Tabelle 6 sind die Orte gelistet, an denen die Sonden im Versuchszeitraum 2019 installiert waren. Wie berichtet sollen Trübung und Chlorophyll nur im Verlauf ausgewertet werden um ggf. Tendenzen anzuzeigen.

Die Sonden wurden im Rahmen der regelmäßigen Probenahmen alle zwei Wochen gereinigt. Am 21.06.2019 wurde der Wischer an Sonde 1 ausgewechselt.

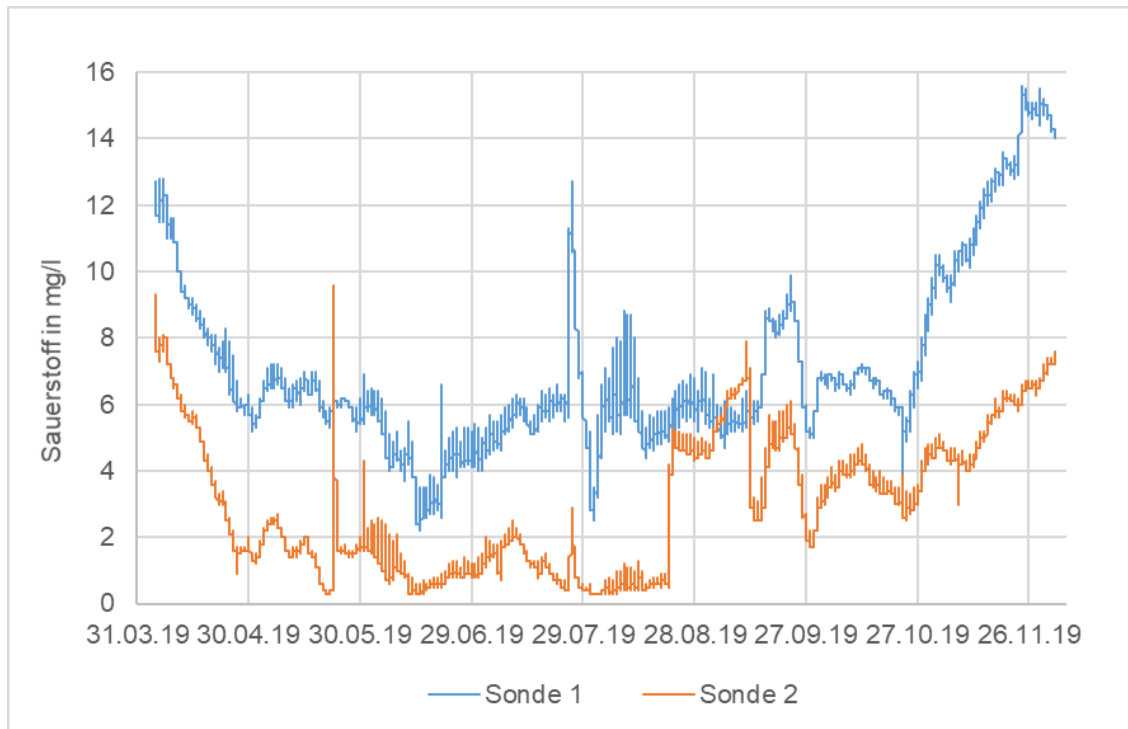


Abbildung 65: Sauerstoffmessungen der Multiparametersonden über den Ausschnitt des Versuchszeitraums

Im Juni kam es zu einer Sauerstoffdepression im Spreekanal.

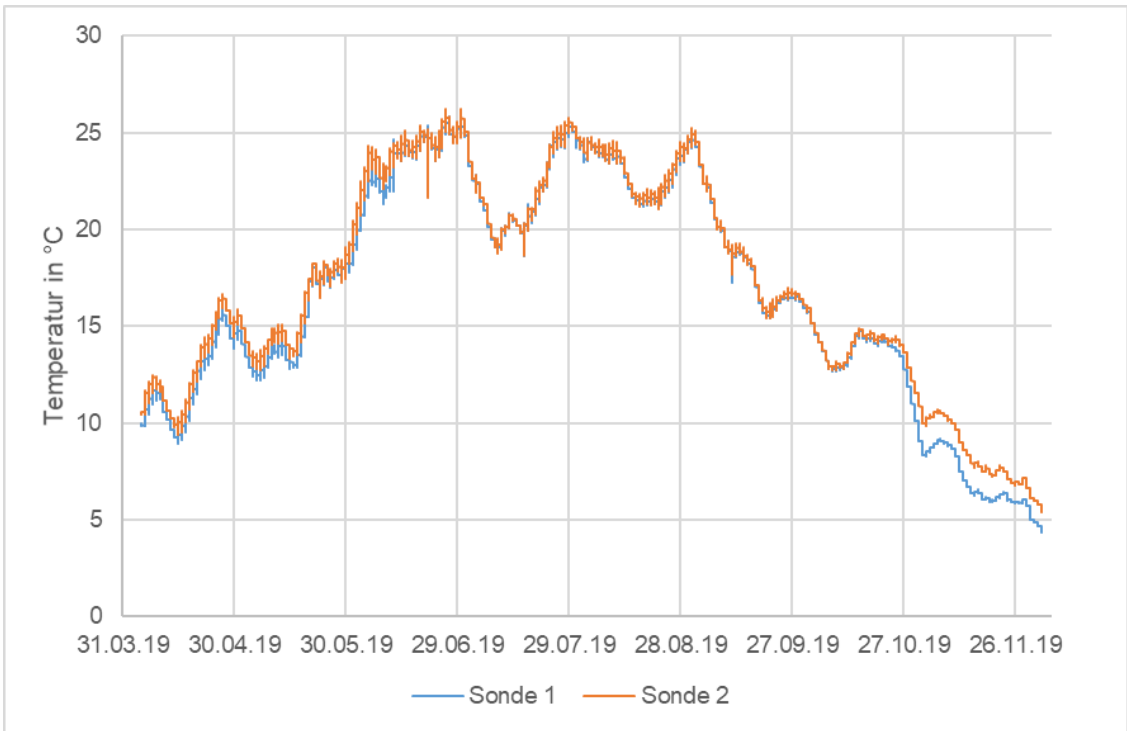


Abbildung 66: Temperaturmessungen der Multiparametersonden über den Ausschnitt des Versuchszeitraums

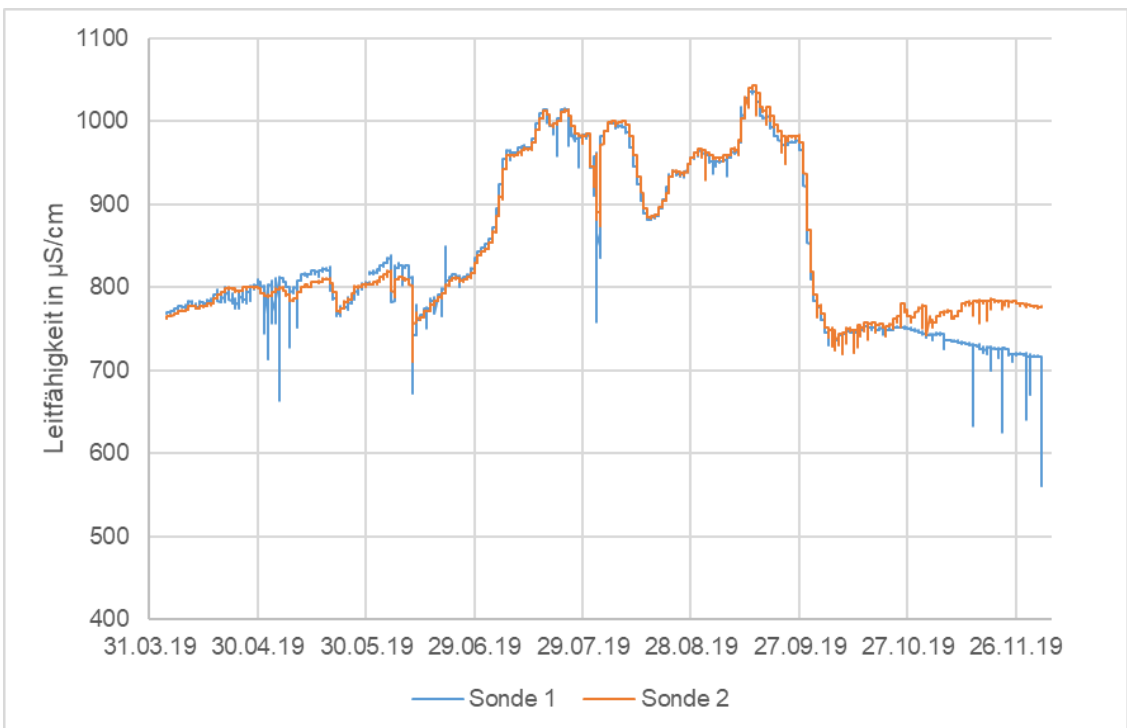


Abbildung 67: Leitfähigkeitsmessungen der Multiparametersonden über den Ausschnitt des Versuchszeitraums

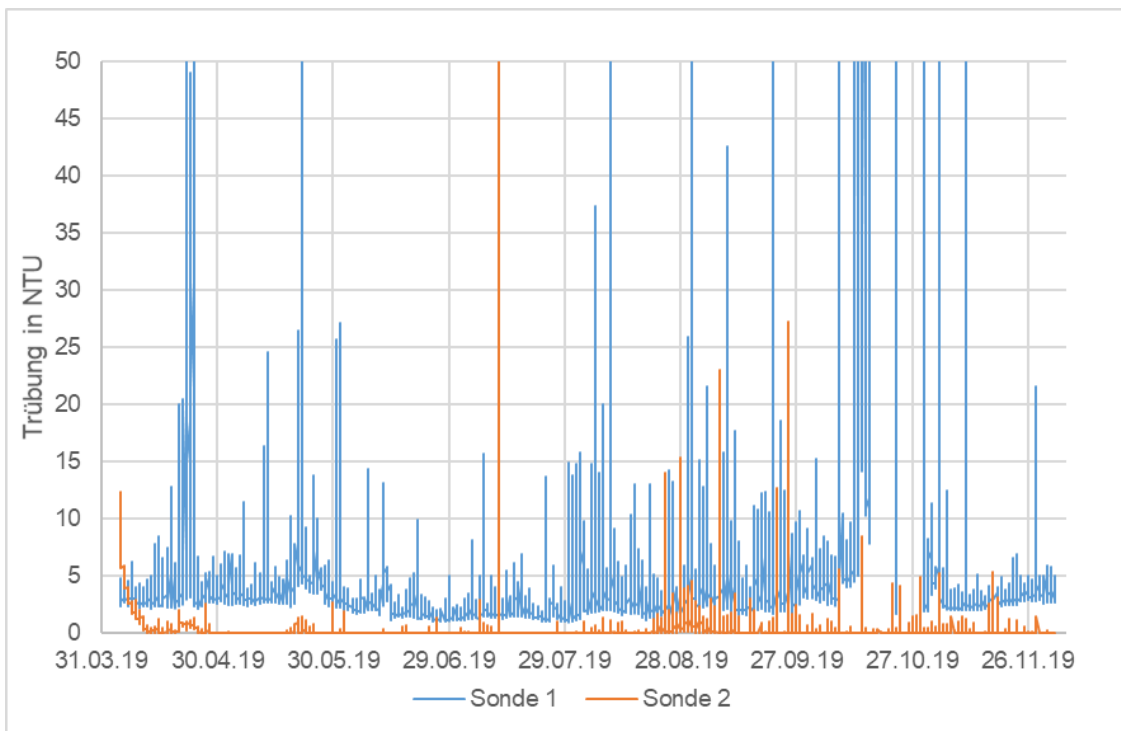


Abbildung 68: Trübungsmessungen der Multiparametersonden über den Ausschnitt des Versuchszeitraums (nur relative Aussage über den Verlauf sinnvoll)

---

## 4 Diskussion

### 4.1 Allgemeines

Ziel im Untersuchungszeitraum war eine Konsolidierung der Messergebnisse aus dem vorherigen Betriebsjahr für die Filter 1 und Filter 2 sowie der erforderlich gewordenen Umbau der Filter 3 und Filter 4 (ehemals Muschelfilter). Letztere wurden eingefahren und stehen in 2020 für die Untersuchungen zur Verfügung.

Generell bestätigte sich die Reinigungsleistung der beiden älteren Filter. Die Reduktionsleistungen lag in Bezug auf Keime, Phosphor und Phytoplankton in dem Bereich, der von naturnahen grobporigen Filtersystemen mit hoher hydraulischer Belastung zu erwarten ist.

Hinsichtlich des Parameters *E. coli* war die Reinigungsleistung des Blähtonfilters (F1) signifikant höher als die des Lavafilters (F2). Tendenziell (nicht signifikant) gilt dies auch geringfügig für Stickstoff und Phosphor.

Die deutliche Sauerstoffzehrung in den Biofiltern zeigte erneut die vorhandene biologische Aktivität. Diese führte jedoch nicht zu einer Sauerstofflimitierung bzw. zu anaeroben Verhältnissen. Somit war auch keine weitergehende Denitrifikation zu erwarten.

Ein positiver Effekt der zeitweise eingesetzten aktiven Filterbelüftung war die Regeneration der Filter, d.h. Verringerung der Filterwiderstände. Außerdem konnte der Sauerstoffgehalt im Ablauf der Filter in Zeiten geringer Sauerstoffgehalte der Spree verbessert werden.

Weitere bedeutsame Fragestellungen waren die Betriebssicherheit, bzw. die Hydraulik und das Kolmationsverhalten der Filter über einen länger werdenden Zeitraum, sowie die Entwicklung der Wasserqualität im Frischwasserbereich.

### 4.2 Hydraulik und Betriebssicherheit

In den Testfiltern wurden mithilfe von Tracer-Tests einwandfreie Fließbedingungen festgestellt. Allerdings liegen die dabei ermittelten minimalen Aufenthaltszeiten (Peak) deutlich unterhalb der errechneten mittleren Aufenthaltszeiten.

Eine Kurzschlussströmung, die zu Beginn des Färbeversuchs im Frischwasserbecken festgestellt wurde, konnte als Folge einer vorübergehenden Schiefelage des Schiffes identifiziert und schnell beseitigt werden.

Bei Flächenbeschickungen der Filter im Bereich von 6 bis 8 m/d kam es im Untersuchungszeitraum nicht zu Betriebsstörungen, die auf hydraulische Überlastung zurückzuführen wären.

Die aufgetretenen Betriebsstörungen bzw. Vorkommnisse werden nachstehend im Einzelnen diskutiert.

---

## **Filter 1**

Es wurde geprüft, welche Auswirkungen die durch Sedimentation von Wasserlinsen im Winter entstandene Schmutzdecke auf die Hydraulik des unbepflanzten Filter 1 hatte. Offensichtlich fand im Frühjahr keine selbsttätige Regeneration statt. Dieses wäre von bepflanzten Vertikalfiltern zu erwarten gewesen, weil diese durch junge Pflanzentriebe in der Lage sind, die organische Schicht anzuheben und aufzulockern.

Stattdessen musste diese im unbepflanzten Filter 1 schließlich manuell beseitigt werden. Der Versuch zeigt, dass derartige Störungen und damit die massenhafte Besiedlung durch Wasserlinsen im großtechnischen Maßstab in jedem Fall vermieden werden müssen. Ein unbepflanzter Filter sollte also mechanische Vorrichtungen besitzen, die dem Fremdbewuchs vorbeugen oder diesen beseitigen. In jedem Fall müsste dieser vor dem Winter rechtzeitig abgeschöpft werden.

Die intermittierende Belüftung des Filters war in der Lage, ein erneutes Verstopfen des Filters zu verhindern. Offenbar führten die Luftblasen zu einer Öffnung der Filterporen in diesem leichten Filtermaterial.

Das im August in Filter 1 beobachtete Abgrasen der Wasserlinsen durch Wasserschnecken ist aus badehygienischer Sicht kritisch zu betrachten. Diese Tiere stehen als mögliche Zwischenwirte von Zerkarien in Zusammenhang mit der Entwicklung von Badedermatitis. Sie sind also für eine gezielte Ansiedlung als biologische Bekämpfung der Wasserlinsen nicht empfehlenswert.

## **Filter 2**

Filter 2 wurde aufgrund der schwierigen Einstellung der einfachen, hydraulisch nicht optimalen Abzugsvorrichtung teilweise mit stark schwankenden Volumenströmen beschickt. Die Umkehr der Betriebsrichtung und der oberflächliche Abzug des Filtrats aus dem Überstau erwiesen sich zunächst als effektiv bei der Bekämpfung von Wasserlinsen.

Dadurch kam es zu einer Massenentwicklung der hier erwünschten submersen Schwimmpflanzen. Diese behinderten schließlich wieder das Abströmen der nun wieder zunehmenden Besiedlung durch die Wasserlinse. In der Folge kam es erneut zum flächendeckenden Bewuchs.

Für eine erfolgreiche Umsetzung eines solchen Aufstromfilters müsste also eher auf den Besatz mit submersen Makrophyten verzichtet werden oder diese müssten regelmäßig gekrautet werden.

Vermutlich behinderten die submersen Pflanzen aber die Ansiedlung der aus hygienischer Sicht hier nicht erwünschten Schnecken. Bekanntlich können solche Pflanzen abwehrende Stoffe ausscheiden, um sich vor Konkurrenz (z.B. durch Grünalgen oder Cyanobakterien) im Gewässer oder vor Fraß zu schützen.

## **Filter 3**

Die Untersuchungen beim Ausbau des Filtersubstrats aus dem im Vorjahr verstopften Filter haben gezeigt, dass die Bepflanzung mit Schilfpflanzen einschließlich Wurzelballen (Pflanzerde) kritisch war. Augenscheinlich und anhand der gemessenen organischen Anteile wurde deutlich, dass der Filter innerhalb der obersten 30 cm besonders zugesetzt war.

---

Konsequenterweise wurde bei der Neubepflanzung auf die Entfernung der Pflanzeerde geachtet und es wurde als Substrat ein Kies mit einer steileren Kennlinie (4/8 mm), d.h. größeren Porendurchmessern gewählt. Es ist in der kommenden Saison zu prüfen, ob dadurch eine Filterverstopfung nachhaltig vermieden werden kann.

#### **Filter 4**

Nach dem Einstellen des Muschelfilterversuchs wurde der leere Behälter mit neuem Filtersubstrat bestückt und anschließend mit den gleichen Pflanzen wie Filter 3 bestückt.

Im Vergleich zu Filter 3 ist das Material allerdings porös und hat einen doppelt so großen Korndurchmesser (8/16 mm).

Zu den beiden neu eingerichteten Filtern konnten noch keine Aussagen zur hydraulischen Betriebssicherheit getroffen werden. Bislang lagen die Filterwiderstände bei einer Flächenbeschickung von 6 bis 8 m/d im sehr niedrigen Bereich unter 2 cm.

Grobe Filtersubstrate eignen sich besonders für hohe Flächenbelastungen bzw. Filtergeschwindigkeiten. Damit geht allerdings eine geringere Substratoberfläche einher. Dieser Nachteil kann hinsichtlich der biologischen Wirksamkeit ggf. durch eine größere Filterstrecke bzw. Filterhöhe bei gleichbleibender Filterfläche ausgeglichen werden.

Es ist zu erwarten, dass die hydraulische Leistung dann durch die Ausbildung einer Pflanzenstreuschicht bzw. einer Anschwemmschicht limitiert wird. Dies ist im weiteren Versuch zu beobachten.

#### **Frischwasserbecken**

Das Frischwasserbecken wurde gezielt mit unterschiedlichen Durchsätzen betrieben. Dabei zeigte sich eine deutliche Auswirkung hoher Aufenthaltszeiten (> 24 h) auf das Sekundärwachstum durch Phytoplankton. Selbst bei höheren Aufenthaltszeiten lagen die festgestellten Biovolumina von Cyanobakterien und Phytoplankton aber stets im niedrigen Bereich.

Während der gezielten Stagnation im Frischwasserbecken ab Ende Oktober 2019 wiesen die festgestellten Werte von pH-Wert, Leitfähigkeit und Sichttiefe ebenfalls auf steigende Konzentrationen von Phytoplankton hin.

Ein solcher Stagnationsversuch ist ggf. in der warmen Saison in 2020 zu wiederholen.

### **4.3 Biologische Untersuchungen**

Bei diesem innovativen Konzept zur naturnahen Oberflächenwasserbehandlung tragen die biologischen Prozesse wesentlich zum Ergebnis bei. Die Beschreibung der hier beteiligten planktischen und benthischen Arten ist neu und deshalb von besonderem Interesse.

#### **Phytoplankton**

Durch die Filtration konnte eine erhebliche Reduktion des Phytoplanktons im Flusswasser bewirkt werden. Zwar kam es im Frischwasserbecken zum erneuten Anstieg des Biovolumens, doch lagen die Werte dort trotz der viel geringeren Fließgeschwindigkeiten meist unterhalb der Werte im Spreekanal. Lediglich im Juli wurden im Frischwasserbecken größere Mengen an Kryptomonaden festgestellt.

Blualgen wurden in den Filtern sicher entfernt, auch wenn deren Ausgangskonzentration 2019 vergleichsweise gering war (Abbildung 38).

---

## Zooplankton

Die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft hinsichtlich ihrer Stellung im Nahrungsnetz und ihrer Präferenzen für bestimmte Lebensräume ist wesentlich für die Funktion der Anlage.

Auf dem Weg durch die Kompartimente der Filterbecken ändert sich der Lebensraum, indem der Anteil des Freiwassers geringer wird und feste Oberflächen in Form von Wänden, Füllmaterialien und Pflanzen an Bedeutung zunehmen. In natürlichen Gewässern entspricht dies Kleingewässern und ufernahe Bereiche größerer Wasserkörper. Im Vergleich zum Spreekanal entwickelten sich in den Kompartimenten der Testfilteranlage Taxa, die vor allem Kleingewässer bzw. das Litoral besiedeln. Taxa des Planktons bzw. unspezifische Taxa werden dagegen verdrängt. Dieser Aspektwechsel wird besonders im Ablauf von Filter 1, Überstand von Filter 2 und Überstand von Filter 3 und 4 deutlich (Abbildung 42).

Die Arten des Litorals sind im Vergleich zum Plankton über ein komplexeres Nahrungsgefüge miteinander verbunden, neben einer direkten Filtration von Algen und Detritus aus dem Freiwasser können Aufwuchsalgen und Biofilme von festen Oberflächen abgeweidet werden. Darüber hinaus gibt es sog. Substratfiltrierer, die Sedimente zunächst aufwirbeln und diese Bestandteile dann filtrieren. Zunehmende Anteile von Taxa mit detritivorer Ernährungsweise verdeutlichen diesen Aspektwechsel besonders im Filter 1 (Ablauf) und Filter 4 (Überstand) (Abbildung 43).

## Makrozoobenthos

Auf der Filteroberfläche der Filterbecken 1 bis 3 kamen im Sommer 2018 noch Flohkrebse massenhaft vor. Die Allesfresser sorgen für den Abbau der absinkenden Stoffe. Die Anzahl der Flohkrebse war im Filterbecken 2, zwischen dichten benthischen Algenwatten, besonders hoch. 2019 wurde diese Massenentwicklung an Flohkrebse nur im Filter 1 beobachtet. Auf der Oberfläche von Filter 2 kamen massenhaft Wasserasseln (Aasfresser) und auf Filter 3 vermehrt Wasserschnecken (Weidegänger) vor.

Auf den drei untersuchten Sohlbereichen im Frischwasserbecken wurden im Vergleich zu den Filterbecken entsprechend dem geringeren Nahrungsangebot weniger Tiere vorgefunden. Bemerkenswert ist das erstmalige Vorkommen der Schwebegarnele *Hemimysis anomala*. Die Art ernährt sich von Plankton und wurde ausschließlich im Frischwasserbecken gefunden.

Im Oktober 2019 wurde die Beprobung der Biofilme an den Wänden der Filterbecken in das Monitoringprogramm aufgenommen. Nur an den Wänden von Filter 1 saß massenhaft die Spitzschlamm Schnecke *Lymnaea stagnalis*. Im Sommer wurde die interessante Beobachtung gemacht, dass diese Schemen an der Wasseroberfläche Wasserlinsen (*Lemna minor*) wegfräßen. An den Wänden der weiteren Filter sowie der untersuchten Frischwasserbereiche kamen ebenfalls hauptsächlich Wasserschnecken vor, aber andere Arten. Die Schnecken weiden den Biofilm ab, wodurch dieser in seiner Dichte gering gehalten wird und es nicht zu spontanen Ablösungsprozessen kommt.

Erst im Jahr 2019 waren die Wände (HDPE Folie) zudem mit einer mineralische, leicht zerbrechlichen dünnen Kruste bedeckt. Darauf befanden sich viele kleine Kieselalgen und stellenweise auch fädige Grünalgen. Wie es zu dieser Krustenbildung gekommen ist, ist noch unklar und soll weiter beobachtet werden.



---

## 4.4 Badewasserqualität

Das auf dem Schiff befindliche Frischwasserbecken stellt eine maßstabsgerechte Simulation des geplanten Schwimmbereichs im Spreekanal dar. Die besonderen Anforderungen an eine öffentliche Nutzung als Badegewässer lassen sich auf die Parameter Sichttiefe und mikrobiologische Belastung herunterbrechen.

Die Sichttiefe im Frischwasserbecken konnte offenbar durch die Filtration generell erheblich verbessert werden. Während im Spreekanal mehrfach geringere Sichttiefen gemessen wurden, lag diese im mit Reinwasser gespeisten Frischwasserbecken zur selben Zeit dann stets über dem Mindestwert von einem Meter.

Es konnte ein Zusammenhang zwischen Aufenthaltszeit und Sichttiefe im Frischwasserbecken beobachtet werden (vgl. Abbildung 16). Bei der angestrebten Aufenthaltszeit von < 24 Stunden war die Sichttiefe immer im sehr guten Bereich, d.h. die Beckensohle (ca. 2 m Tiefe) war sehr gut sichtbar.

Die Belastung mit Indikatorkeimen für fäkale Verunreinigungen lag in dem Becken in der Regel um ca. eine log-Stufe niedriger als im Spreekanal. Das heißt, mit Ausnahme der Zeiträume von 48 Stunden nach einem Mischwasserereignis wäre eine „ausgezeichnete“ Badegewässerqualität in Anlehnung an die BGewV erreicht worden. Die Gesamtkeimzahl an sich wurde durch die Biofilter nicht reduziert. Als Ursache hierfür ist auch die natürliche Produktion von überschüssigem Biofilm aus den Filtern selbst zu vermuten.

Auch während Mischwassereinleitungen in die Spree konnte eine signifikante Reduktion der Indikatorkeime für fäkale Verunreinigungen erreicht werden. Allerdings konnte nicht verhindert werden, dass unmittelbar nach Beginn der Mischwassereinleitungen, d.h. kurzzeitig für ca. einen bis zu zwei Tagen, grenzwertüberschreitende Keimbelastungen im Filterablauf vorzufinden waren (Abbildung 52 bis Abbildung 63).

Eine ausreichende Hygienisierung des Wassers wurde in diesen kurzen Phasen mit den Filtern 1 und 2 nicht erreicht. Stattdessen erwies sich die Nachbehandlung durch UV-Bestrahlung als effektiv (Daten nicht gezeigt). Die Abflusswerte der nachgeschalteten UV-Anlage lagen bezüglich der Indikatororganismen *E. coli* und intestinale Enterokokken in 90% der Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze. Werte über der Bestimmungsgrenze wurden nur vereinzelt für *E. coli* aber stets im Bereich < 100 MPN/100ml festgestellt.

Die Kombination eines biologischen Filters mit einer nachgeschalteten UV-Lampe ist deshalb besonders günstig, weil zunächst klares Wasser Voraussetzung für den Einsatz einer Lichtbestrahlung ist. Andernfalls wäre der Energieaufwand zu hoch. Zum zweiten werden keine Chemikalien wie z.B. sekundäre Organochlorverbindungen im Wasser angereichert. Schließlich lassen sich solche Lampen jederzeit ein- oder ausschalten, was einen schnellen und kurzfristigen Einsatz von 2-3 Tagen im Anschluss an Extremereignisse ermöglicht. Die Kombination aus Biofilter und UV-Anlage stellt ein Multibarrierenkonzept mit größtmöglicher Sicherheit für die Badegewässerqualität dar.

---

## 5 Untersuchungsbedarf und -programm

Im Untersuchungszeitraum 2020 sollen alle vier Filter auf dem Schiff durchgängig betrieben und untersucht werden. Damit soll der Beweis der Langzeitstabilität für die Filter 1 und 2 erbracht werden sowie durch Vergleich mit Filter 3 und 4 der erwartete positive Einfluss der Bepflanzung geprüft werden.

Im Sommer 2020 wird die Bepflanzung auf den beiden neu eingerichteten Filtern 3 und 4 mit (Schilf und Seggen) eine relevante Dichte und Höhe erreicht haben.

Es ist zu prüfen, ob sich in Filter 3 und auch Filter 4 mit dem größeren Substrat eine vergleichbare Reinigungsleistung und biologische Aktivität wie in Filter 3 während des Untersuchungszeitraums 2018 einstellen wird, ohne dass es wieder zu einem erheblichen Druckverlust kommt.

Es wird vorgeschlagen, die submerse Vegetation aus Filter 2 zu entfernen, weil diese offenbar keinen messbaren Reinigungseffekt hatte und weil gleichzeitig das Abskimmen von Wasserlinsen beeinträchtigt wurde. Dadurch könnte abschließend am Jahresende die Aufstromvariante als Alternative zum herkömmlichen Abstrombetrieb (Filter 1, 3 und 4) bewertet werden.

Nach Möglichkeit sollen alle größeren Ereignisse mit Mischwasserüberläufen für weitere Versuche genutzt werden. So wäre zu prüfen, ob sich bei den Filtern 1 und 2 durch eine wesentliche Erhöhung der Aufenthaltszeit eine weitergehende Keimelimination erreichen ließe. Dies würde sich auf die Bemessung der großtechnischen Anlage (erforderliche Fläche oder Volumen) auswirken.

Außerdem wird vorgeschlagen, einen zusätzlichen Testfilter zu erstellen, der eine erheblich tiefere Substratschicht besitzt (z.B. 3,50 m Fließstrecke). Dieser Tiefbettfilter soll mit einer vergleichbaren Raumbeschickung und gleichzeitig erhöhten Flächbelastung betrieben werden. Das Ergebnis könnte erheblichen Einfluss auf die mögliche Gestaltung des Filterbereichs im Spreekanal haben.

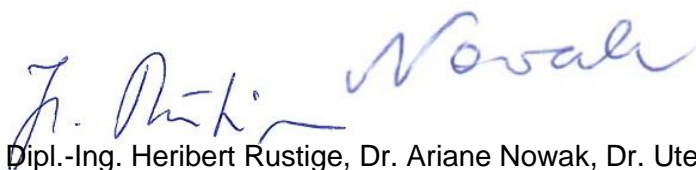
Die Untersuchungsparameter sollen neben den beschreibenden Parametern auf die Zielparameter Abfiltrierbare Stoffe, Algen und Keime weiter fokussiert werden.

Die Stagnationsversuche im Firschwasserbecken sollen in der Sommerzeit wiederholt werden, um den Einfluss von Niedrigabflüssen in der Spree zu simulieren.

Für die Bewertung der Messwerte sind in jedem Fall für den folgenden Untersuchungszeitraum die Durchflussbedingungen im Spreekanal zu ermitteln. Dazu ist eine online-Messung der Fließgeschwindigkeit oder eine Angabe der täglichen Abflussverhältnisse durch das WSA erforderlich. Wir schlagen die Errichtung einer kontinuierlichen Messstelle an der Jungfernbrücke vor.

Zum Ende des Untersuchungszeitraums sollen alle verfügbaren Ergebnisse hinsichtlich von Bemessungsparametern für die großtechnische Umsetzung im Spreekanal ausgewertet werden.

Berichtsverfasser:



Prof. Dr.-Ing. Jens Nowak, Dipl.-Ing. Heribert Rustige, Dr. Ariane Nowak, Dr. Ute Michels

---

## Literatur

AKUT (2017). Betriebsbericht 2017, Berlin

AKUT (2018). Betriebsbericht 2018, Berlin

AKUT (2019). Halbjahresbericht 2019-1, Berlin

BadeGewVO (2008). Badegewässerverordnung – Verordnung über die Qualität und die Bewirtschaftung der Badegewässer vom 7. Juli 2008, GVBl. Nr. 17 v. 22.7.2008 s. 182)

Flussbad Berlin (Hrsg) (2015). Vertiefende Konzeption Flussbad Berlin, [www.flussbad-berlin.de](http://www.flussbad-berlin.de)

Roth, H. (2015): Morphologische und ökologische Eigenschaften allochthoner Mysidacea aus der Pontokaspis. – Bachelorarbeit im Bachelor-Studiengang Biowissenschaften der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock.

Trebesius, Carl (2020). Untersuchung von naturnahen Festbettfiltern zur Aufbereitung von Flusswasser in Berlin zu Badezwecken. Masterarbeit, Institut für Technischen Umweltschutz der TU Berlin, FG Umweltverfahrenstechnik, Berlin.

UBA (2003): Hygienische Anforderungen an Kleinbadeteiche (künstliche Schwimm- und Badeteichanlagen), Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 46 (2003), 527-529

UBA (2015): Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterien-Toxinen, Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 58 (2015), 908-920

## 6 Anhang:

### 6.1 Filterwiderstände

Tabelle 26: Hydraulische Belastung und Filterwiderstand, KB: kumulierte Beschickung, FW: Filterwiderstand

Datum	KB [m³]		FW [cm]		Datum	KB [m³]			FW [cm]			
	F1	F2	F1	F2		F1	F2	F3	F1	F2	F3	F4
06.04.19	30	7	2	0	28.07.19	7938	8393	0	12	0		
12.04.19	447	86	4	0	31.07.19	8153	8661	0	8	0		
19.04.19	941	182	6	0	03.08.19	8357	8942	0	7	0		
27.04.19	1514	957	9	0	04.08.19	8430	9035	0	7	0		
17.05.19	2892	2523	35	0	05.08.19	8499	9129	0	7	0,5		
21.05.19	3143	2877	36	0	06.08.19	8566	9223	0	6,5	0,5		
23.05.19	3267	3055	41	0	07.08.19	8629	9316	0	7	1		
24.05.19	3374	3135	1	0	14.08.19	9145	9970	14	10	0	0	0
27.05.19	3625	3445	2	0	21.08.19	9636	10497	22	6	0	0	0
28.05.19	3697	3527	2,5	0	22.08.19	9697	10560	46	3	1	0	0
29.05.19	3767	3583	3	0	27.08.19	10001	10794	231	1	0	0	0
31.05.19	3912	3751	4	0	28.08.19	10064	10835	262	1	0,5	1	0
06.06.19	4344	4306	3	0	04.09.19	10501	11250	508	0,5	1	0	0
07.06.19	4410	4389	1,5	0	06.09.19	10630	11368	603	0,5	1	0,5	0,5
12.06.19	4767	4795	2	0	11.09.19	10974	11822	874	1	1	0	0
13.06.19	4815	4876	0,5	0	12.09.19	11047	11918	936	0,5	0	0	0
14.06.19	4873	4962	1	0	18.09.19	11455	12428	1355	0,5	1	0	0
15.06.19	4942	5049	1	0	25.09.19	11991	13036	1776	1	1,5	0	1
16.06.19	5009	5139	1	0	02.10.19	12538	13597	2340	1	0	0	0
17.06.19	5078	5228	1	0	05.10.19	12772	13831	2590	1,5	0,5	0	0
18.06.19	5150	5318	2	0	06.10.19	12849	13910	2674	2	0	0	0
21.06.19	5369	5582	2	0	07.10.19	12925	13990	2758	1	1	0	0
28.06.19	5859	6067	2	1	08.10.19	13002	14069	2842	0	1	0	0
03.07.19	6188	6406	1	0	09.10.19	13080	14148	2926	1	0	0	0
10.07.19	6643	6878	2	0,3	10.10.19	13159	14227	3010	1,5	1	0	0
17.07.19	7135	7484	3	0,5	16.10.19	13628	14702	3517	1	1	0	0
20.07.19	7334	7736	6	0	23.10.19	14163	15269	4071	1	0	0	0
21.07.19	7409	7820	2	0	30.10.19	14646	15740	4578	1	0,5	0	0
22.07.19	7480	7903	9	0	27.12.19	16998	17998	7022	1,5	1	1	0
23.07.19	7550	7985	10	0	02.01.20	16998	17998	7022	1	1	1	0
24.07.19	7624	8069	8	0								

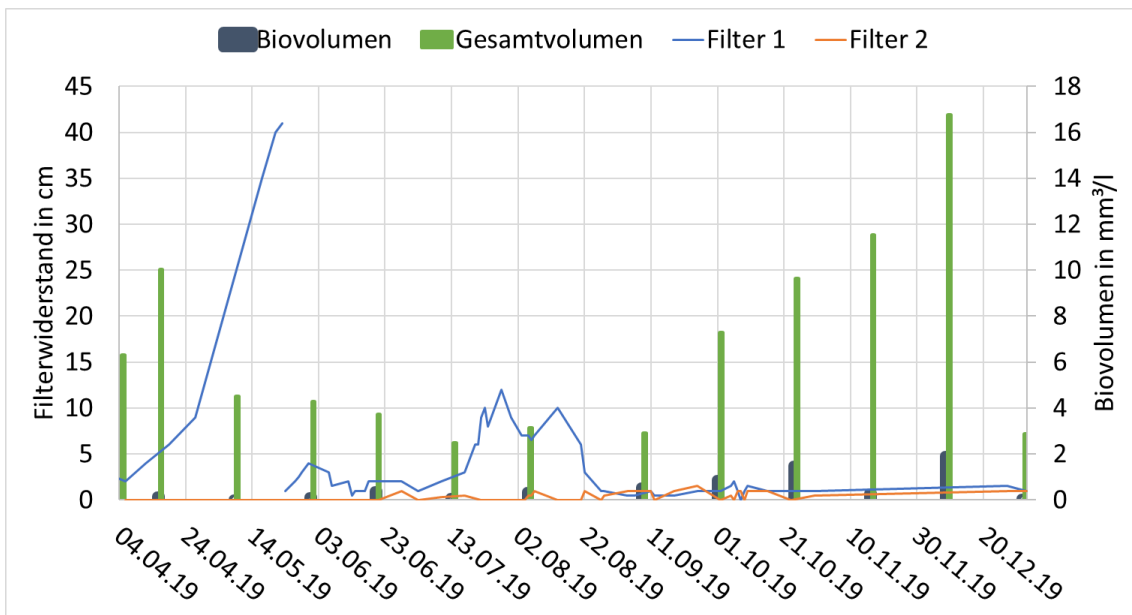


Abbildung 69: Filterwiderstand von Filter 1 und Filter 2 sowie Biovoluma der dominierenden Phytoplanktonorganismusgruppe und Gesamtbiovolumen im Zulauf über Ausschnitt des Versuchszeitraums

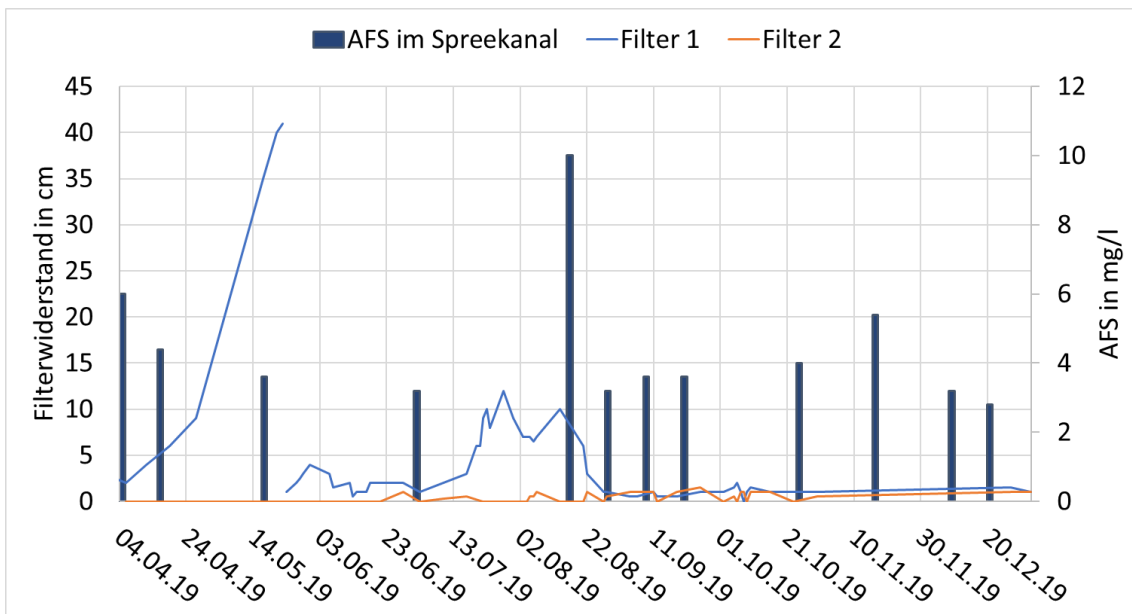


Abbildung 70: Filterwiderstand von Filter 1 und Filter 2 sowie AFS im Zulauf

## 6.2 Ergebniss Untersuchung von Phytoplanktonorganismen

In Tabelle 27 bis Tabelle 32 sind die bei der 14-tägigen Auszählung vorgefundenen Phytoplanktonarten sowie organische Partikel (Detritus) aufgelistet.

Tabelle 27: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Spreekanal

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
17.05.2019	Grünalgen	0,011
17.05.2019	Kieselalgen	0,046
17.05.2019	Kryptomonaden	0,053
17.05.2019	organische Partikel	6,19
24.05.2019	Grünalgen	0,011
24.05.2019	Kieselalgen	0,001
24.05.2019	Kryptomonaden	0,14
24.05.2019	organische Partikel	9,871
07.06.2019	Kieselalgen	0,003
07.06.2019	Kryptomonaden	0,042
07.06.2019	organische Partikel	4,446
21.06.2019	Grünalgen	0,026
21.06.2019	Kieselalgen	0,005
21.06.2019	Kryptomonaden	0,106
21.06.2019	organische Partikel	4,129
03.07.2019	Grünalgen	0,031
03.07.2019	Kieselalgen	0,016
03.07.2019	Kryptomonaden	0,345
03.07.2019	organische Partikel	3,323
17.07.2019	Grünalgen	0,008
17.07.2019	Kieselalgen	0,002
17.07.2019	Kryptomonaden	0,087
17.07.2019	organische Partikel	2,395
31.07.2019	Blualgen	0,014
31.07.2019	Grünalgen	0,072
31.07.2019	Kieselalgen	0,211
31.07.2019	Kryptomonaden	0,048
31.07.2019	organische Partikel	2,774
21.08.2019	Blualgen	0,032
21.08.2019	Grünalgen	0,031
21.08.2019	Kieselalgen	0,38
21.08.2019	Kryptomonaden	0,105
21.08.2019	organische Partikel	2,349
04.09.2019	Blualgen	0,03
04.09.2019	Grünalgen	0,157
04.09.2019	Kieselalgen	0,62
04.09.2019	Kryptomonaden	0,072
04.09.2019	organische Partikel	6,406
18.09.2019	Blualgen	0,011

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
18.09.2019	Grünalgen	0,055
18.09.2019	Kieselalgen	1,432
18.09.2019	Kryptomonaden	0,004
18.09.2019	organische Partikel	8,134
02.10.2019	Blualgen	0,016
02.10.2019	Grünalgen	0,033
02.10.2019	Kieselalgen	0,19
02.10.2019	Kryptomonaden	0,059
02.10.2019	organische Partikel	11,229
16.10.2019	Grünalgen	0,018
16.10.2019	Kieselalgen	1,802
16.10.2019	Kryptomonaden	0,114
16.10.2019	organische Partikel	14,835
30.10.2019	Blualgen	0,002
30.10.2019	Grünalgen	0,015
30.10.2019	Kieselalgen	0,01
30.10.2019	Kryptomonaden	0,044
30.10.2019	organische Partikel	2,813

Tabelle 28: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Ablauf von Filter 1

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
17.05.2019	Kieselalgen	0,155
17.05.2019	organische Partikel	0,337
24.05.2019	Kieselalgen	0,032
24.05.2019	Kryptomonaden	0,056
24.05.2019	organische Partikel	0,47
07.06.2019	Kieselalgen	0,41
07.06.2019	Kryptomonaden	0,001
07.06.2019	organische Partikel	0,396
21.06.2019	Kieselalgen	0,791
21.06.2019	Kryptomonaden	0,025
21.06.2019	organische Partikel	0,967
03.07.2019	Grünalgen	0,002
03.07.2019	Kieselalgen	1,426
03.07.2019	Kryptomonaden	0,054
03.07.2019	organische Partikel	0,995
17.07.2019	Kieselalgen	0,023
17.07.2019	Kryptomonaden	0,001
17.07.2019	organische Partikel	0,138
31.07.2019	Grünalgen	0,002
31.07.2019	Kryptomonaden	0,005
31.07.2019	organische Partikel	0,264
21.08.2019	Blualgen	0,002
21.08.2019	Grünalgen	0,009
21.08.2019	Kieselalgen	0,061



Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
21.08.2019	Kryptomonaden	0,006
21.08.2019	organische Partikel	0,564
21.08.2019	Panzerflagellaten	0,199
04.09.2019	Blualgen	0,052
04.09.2019	Grünalgen	0,102
04.09.2019	Kieselalgen	0,415
04.09.2019	Kryptomonaden	0,03
04.09.2019	organische Partikel	7,175
04.09.2019	Panzerflagellaten	0,011
18.09.2019	Blualgen	0,015
18.09.2019	Grünalgen	0,004
18.09.2019	Kieselalgen	0,036
18.09.2019	Kryptomonaden	0,001
18.09.2019	organische Partikel	1,165
02.10.2019	Grünalgen	0,007
02.10.2019	Kieselalgen	0,001
02.10.2019	Kryptomonaden	0,023
02.10.2019	organische Partikel	0,448
16.10.2019	Grünalgen	0,004
16.10.2019	Kryptomonaden	0,011
16.10.2019	organische Partikel	0,398
30.10.2019	Grünalgen	0,004
30.10.2019	Kieselalgen	0,006
30.10.2019	Kryptomonaden	0,026
30.10.2019	organische Partikel	0,937

Tabelle 29: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Ablauf von Filter 2

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
17.05.2019	Kieselalgen	0
17.05.2019	Kryptomonaden	0,008
17.05.2019	organische Partikel	0,663
24.05.2019	Grünalgen	0,309
24.05.2019	Kieselalgen	0,005
24.05.2019	Kryptomonaden	0,019
24.05.2019	organische Partikel	1,522
07.06.2019	Grünalgen	0,023
07.06.2019	Kieselalgen	0,047
07.06.2019	Kryptomonaden	0,019
07.06.2019	organische Partikel	0,769
21.06.2019	Grünalgen	0,014
21.06.2019	Kieselalgen	0,477
21.06.2019	Kryptomonaden	0,026
21.06.2019	organische Partikel	1,476
03.07.2019	Grünalgen	0,011
03.07.2019	Kieselalgen	0,134

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
03.07.2019	Kryptomonaden	0,099
03.07.2019	organische Partikel	0,699
17.07.2019	Grünalgen	0,004
17.07.2019	Kieselalgen	0,018
17.07.2019	Kryptomonaden	0,036
17.07.2019	organische Partikel	0,434
31.07.2019	Grünalgen	0,037
31.07.2019	Kryptomonaden	0,078
31.07.2019	organische Partikel	3,101
21.08.2019	Blualgen	0,01
21.08.2019	Grünalgen	0,015
21.08.2019	Kieselalgen	0,04
21.08.2019	Kryptomonaden	0,042
21.08.2019	organische Partikel	0,517
21.08.2019	Panzerflagellaten	0,028
04.09.2019	Blualgen	0,022
04.09.2019	Grünalgen	0,098
04.09.2019	Kieselalgen	0,345
04.09.2019	Kryptomonaden	0,052
04.09.2019	organische Partikel	3,137
04.09.2019	Panzerflagellaten	0,033
18.09.2019	Blualgen	0,001
18.09.2019	Grünalgen	0,02
18.09.2019	Kieselalgen	0,219
18.09.2019	Kryptomonaden	0,008
18.09.2019	organische Partikel	1,293
02.10.2019	Blualgen	0,003
02.10.2019	Grünalgen	0,007
02.10.2019	Kieselalgen	0,081
02.10.2019	Kryptomonaden	0,02
02.10.2019	organische Partikel	1,146
16.10.2019	Grünalgen	0,004
16.10.2019	Kieselalgen	0,021
16.10.2019	Kryptomonaden	0,037
16.10.2019	organische Partikel	0,615
30.10.2019	Kryptomonaden	0,009
30.10.2019	organische Partikel	0,52

Tabelle 30: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Ablauf von Filter 3

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
04.09.2019	Blualgen	0
04.09.2019	Grünalgen	0,007
04.09.2019	Kieselalgen	0,04
04.09.2019	Kryptomonaden	0,009
04.09.2019	organische Partikel	0,436

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
02.10.2019	Blualgen	0,011
02.10.2019	Grünalgen	0,018
02.10.2019	Kieselalgen	0,103
02.10.2019	Kryptomonaden	0,014
02.10.2019	organische Partikel	2,038
16.10.2019	Grünalgen	0,004
16.10.2019	Kieselalgen	0,088
16.10.2019	Kryptomonaden	0,023
16.10.2019	organische Partikel	0,382
30.10.2019	Kieselalgen	0,002
30.10.2019	Kryptomonaden	0,025
30.10.2019	organische Partikel	0,485

Tabelle 31: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Ablauf von Filter 4

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
04.09.2019	Blualgen	0,012
04.09.2019	Grünalgen	0,02
04.09.2019	Kieselalgen	0,353
04.09.2019	Kryptomonaden	0,009
04.09.2019	organische Partikel	0,507
04.09.2019	Panzerflagellaten	0,039
02.10.2019	Blualgen	0,005
02.10.2019	Grünalgen	0,006
02.10.2019	Kieselalgen	0,041
02.10.2019	Kryptomonaden	0,016
02.10.2019	organische Partikel	0,373
16.10.2019	Grünalgen	0,004
16.10.2019	Kieselalgen	0,02
16.10.2019	Kryptomonaden	0,046
16.10.2019	organische Partikel	0,505
30.10.2019	Grünalgen	0,001
30.10.2019	Kieselalgen	0,458
30.10.2019	Kryptomonaden	0,019
30.10.2019	organische Partikel	0,284

Tabelle 32: Algen, Cyanobakterien und Detritus im Ablauf des Frischwasserbeckens

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
17.05.2019	Grünalgen	0,002
17.05.2019	Kieselalgen	0,037
17.05.2019	Kryptomonaden	0,279
17.05.2019	organische Partikel	0,519
24.05.2019	Grünalgen	0,024
24.05.2019	Kieselalgen	0,057

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
24.05.2019	Kryptomonaden	0,018
24.05.2019	organische Partikel	1,573
07.06.2019	Grünalgen	0,023
07.06.2019	Kieselalgen	0,013
07.06.2019	Kryptomonaden	0,187
07.06.2019	organische Partikel	2,331
21.06.2019	Grünalgen	0,01
21.06.2019	Kieselalgen	0,217
21.06.2019	Kryptomonaden	0,211
21.06.2019	organische Partikel	1,212
03.07.2019	Grünalgen	0,007
03.07.2019	Kieselalgen	0,307
03.07.2019	Kryptomonaden	2,737
03.07.2019	organische Partikel	2,939
17.07.2019	Grünalgen	0,011
17.07.2019	Kieselalgen	0,029
17.07.2019	Kryptomonaden	1,004
17.07.2019	organische Partikel	1,34
31.07.2019	Blualgen	0,007
31.07.2019	Grünalgen	0,018
31.07.2019	Kieselalgen	0,014
31.07.2019	Kryptomonaden	2,07
31.07.2019	organische Partikel	1,929
31.07.2019	Panzerflagellaten	0,032
21.08.2019	Grünalgen	0,029
21.08.2019	Kieselalgen	0,049
21.08.2019	Kryptomonaden	0,079
21.08.2019	organische Partikel	1,106
04.09.2019	Augenflagellaten	0,85
04.09.2019	Blualgen	0,011
04.09.2019	Grünalgen	0,04
04.09.2019	Kieselalgen	0,192
04.09.2019	Kryptomonaden	0,067
04.09.2019	organische Partikel	3,135
18.09.2019	Blualgen	0,009
18.09.2019	Grünalgen	0,048
18.09.2019	Kieselalgen	0,044
18.09.2019	Kryptomonaden	0,19
18.09.2019	organische Partikel	2,931
02.10.2019	Grünalgen	0,015
02.10.2019	Kieselalgen	0,024
02.10.2019	Kryptomonaden	0,117
02.10.2019	organische Partikel	1,634
16.10.2019	Grünalgen	0,004
16.10.2019	Kieselalgen	0,018
16.10.2019	Kryptomonaden	0,051
16.10.2019	organische Partikel	1,098

---

Datum	Algenklasse	Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]
30.10.2019	Grünalgen	0,007
30.10.2019	Kieselalgen	0,031
30.10.2019	Kryptomonaden	0,532
30.10.2019	organische Partikel	1,726

## 6.3 Ergebnisse Untersuchung von Zoolanktonorganismen

In Tabelle 33 bis Tabelle 40 sind die bisher gefundenen dominierenden Zooplankter im Spreekanal, in den Überständen der Filter in den Abläufen der Filter sowie im Frischwasserbereich aufgeführt.

Die detaillierten Daten sind in einer Datenbank vorhanden.

Tabelle 33: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Spreekanal

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Ciliata	Tintinnopsis sp.	detrivor	Plankton
Testacea	Arcella hemisphaerica	detrivor	Litoral
Testacea	Centropyxis aculeata	detrivor	Litoral
Testacea	Cyphoderia ampulla	detrivor	Litoral
Testacea	Diffugia bacilifera	detrivor	Litoral
Rotifera	Bdelloidea, n. det.	detrivor	Litoral
Rotifera	Cephalodella	detrivor	Plankton
Rotifera	Keratella cochlearis	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella cochlearis var. tecta	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella quadrata quadrata	herbivor	Plankton
Rotifera	Lecane cornuta	detrivor	Litoral
Rotifera	Polyarthra major	herbivor	Plankton
Rotifera	Polyarthra remata	herbivor	Plankton
Rotifera	Polyarthra vulgaris	herbivor	Plankton
Rotifera	Pompholyx sulcata	herbivor	Plankton
Rotifera	Synchaeta pectinata	herbivor	Plankton
Rotifera	Synchaeta sp.	herbivor	Plankton
Cladocera	Acroperus harpae	detrivor	Litoral
Cladocera	Alona sp.	detrivor	unspezifisch
Cladocera	Bosmina longirostris cornuta	herbivor	Plankton
Cladocera	Chydorus sphaericus	detrivor	unspezifisch
Cladocera	Daphnia cucullata	herbivor	Plankton
Cladocera	Daphnia galeata	herbivor	Plankton
Cladocera	Daphnia hyalina	herbivor	Plankton
Cladocera	Daphnia sp.	herbivor	Plankton
Cladocera	Diaphanosoma brachyurum	herbivor	Plankton
Cladocera	Eubosmina coregoni	herbivor	Plankton
Cladocera	Eubosmina coregoni gibbera	herbivor	Plankton
Cladocera	Eubosmina longicornis	herbivor	Plankton
Cladocera	Eurycerus lamellatus	detrivor	Litoral
Cladocera	Polyphemus sp.	carnivor	Plankton
Cyclopoida	Acanthocyclops robustus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Mesocyclops sp.	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Nauplien Cyclopoida	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops crassus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops oithonoides	omnivor	Plankton
Calanoida	Copepodide Calanoida	herbivor	Plankton

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Calanoida	Eudiaptomus gracilis	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus graciloides	herbivor	Plankton
Calanoida	Eurytemora velox	detrivor	Litoral
Calanoida	Nauplien Calanoida	herbivor	Plankton
Bivalvia	Dreissena sp.	detrivor	Litoral
Sonstige	Gastrotricha sp.	omnivor	Litoral

Tabelle 34: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 1, Überstand

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Ciliata	Ciliata	omnivor	unspezifisch
Ciliata	Tintinnopsis sp.	detrivor	Plankton
Testacea	Arcella hemisphaerica	detrivor	Litoral
Testacea	Centropixis aculeata	detrivor	Litoral
Testacea	Cyphoderia ampulla	detrivor	Litoral
Testacea	Diffflugia bacilifera	detrivor	Litoral
Rotifera	Bdelloidea, n. det.	detrivor	Litoral
Rotifera	Cephalodella	detrivor	Plankton
Rotifera	Keratella cochlearis	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella quadrata quadrata	herbivor	Plankton
Rotifera	Lecane sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Polyarthra major	herbivor	Plankton
Rotifera	Polyarthra vulgaris	herbivor	Plankton
Rotifera	Synchaeta sp.	herbivor	Plankton
Cladocera	Bosmina longirostris cornuta	herbivor	Plankton
Cladocera	Chydorus sphaericus	detrivor	unspezifisch
Cladocera	Daphnia cucullata	herbivor	Plankton
Cladocera	Daphnia galeata	herbivor	Plankton
Cladocera	Daphnia hyalina	herbivor	Plankton
Cladocera	Diaphanosoma brachyurum	herbivor	Plankton
Cladocera	Diaphanosoma sp.	herbivor	Plankton
Cladocera	Eubosmina coregoni	herbivor	Plankton
Cladocera	Eubosmina coregoni thersites	herbivor	Plankton
Cladocera	Eubosmina longicornis	herbivor	Plankton
Cladocera	Pleuroxus denticulatus	detrivor	Litoral
Cladocera	Polyphemus sp.	carnivor	Plankton
Cyclopoida	Acanthocyclops robustus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Mesocyclops sp.	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Nauplien Cyclopoida	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops crassus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops oithonoides	omnivor	Plankton
Calanoida	Copepodide Calanoida	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus gracilis	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus graciloides	herbivor	Plankton
Calanoida	Eurytemora velox	detrivor	Litoral
Calanoida	Nauplien Calanoida	herbivor	Plankton



Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Bivalvia	Dreissena sp.	detrivor	Litoral
Sonstige	Turbellaria n.det.	carnivor	Litoral

Tabelle 35: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 1, Ablauf

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Ciliata	Ciliata	omnivor	unspezifisch
Testacea	Arcella hemisphaerica	detrivor	Litoral
Testacea	Centropyxis aculeata	detrivor	Litoral
Testacea	Euglypha sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Bdelloidea, n. det.	detrivor	Litoral
Rotifera	Cephalodella	detrivor	Plankton
Rotifera	Keratella cochlearis var. tecta	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella quadrata quadrata	herbivor	Plankton
Rotifera	Lecane cornuta	detrivor	Litoral
Rotifera	Lecane sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Lepadella sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Mytilina sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Polyarthra major	herbivor	Plankton
Rotifera	Polyarthra vulgaris	herbivor	Plankton
Rotifera	Synchaeta sp.	herbivor	Plankton
Rotifera	Trichocerca similis	herbivor	Plankton
Cladocera	Alona sp.	detrivor	unspezifisch
Cladocera	Bosmina longirostris cornuta	herbivor	Plankton
Cladocera	Chydorus sphaericus	detrivor	unspezifisch
Cladocera	Diaphanosoma brachyurum	herbivor	Plankton
Cladocera	Pleuroxus denticulatus	detrivor	Litoral
Cyclopoida	Acanthocyclops robustus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Mesocyclops sp.	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Nauplien Cyclopoida	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops crassus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops oithonoides	omnivor	Plankton
Calanoida	Copepodide Calanoida	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus gracilis	herbivor	Plankton
Calanoida	Nauplien Calanoida	herbivor	Plankton
Bivalvia	Dreissena sp.	detrivor	Litoral
Sonstige	Gastrotricha sp.	omnivor	Litoral
Sonstige	Turbellaria n.det.	carnivor	Litoral

Tabelle 36: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 2, Überstand

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Ciliata	Ciliata	omnivor	unspezifisch
Ciliata	Arcella hemisphaerica	detrivor	Litoral
Testacea	Cyphoderia ampulla	detrivor	Litoral

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Testacea	Diffugia bacilifera	detrivor	Litoral
Rotifera	Bdelloidea, n. det.	detrivor	Litoral
Rotifera	Cephalodella	detrivor	Plankton
Rotifera	Colurella sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Keratella cochlearis	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella cochlearis var. tecta	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella quadrata quadrata	herbivor	Plankton
Rotifera	Lecane cornuta	detrivor	Litoral
Rotifera	Lecane sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Polyarthra dolichoptera	herbivor	Plankton
Rotifera	Polyarthra major	herbivor	Plankton
Rotifera	Polyarthra vulgaris	herbivor	Plankton
Rotifera	Synchaeta sp.	herbivor	Plankton
Cladocera	Bosmina longirostris cornuta	herbivor	Plankton
Cladocera	Chydorus sphaericus	detrivor	unspezifisch
Cladocera	Daphnia cucullata	herbivor	Plankton
Cladocera	Eubosmina coregoni	herbivor	Plankton
Cladocera	Polyphemus sp.	carnivor	Plankton
Cyclopoida	Acanthocyclops robustus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Mesocyclops sp.	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Nauplien Cyclopoida	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops crassus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops oithonoides	omnivor	Plankton
Calanoida	Copepodide Calanoida	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus gracilis	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus graciloides	herbivor	Plankton
Calanoida	Eurytemora velox	detrivor	Litoral
Calanoida	Nauplien Calanoida	herbivor	Plankton
Harpacticoida	Harpacticoida n.det.	detrivor	Litoral
Bivalvia	Dreissena sp.	detrivor	Litoral

Tabelle 37: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 2, Ablauf

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Testacea	Arcella hemisphaerica	detrivor	Litoral
Testacea	Diffugia bacilifera	detrivor	Litoral
Rotifera	Bdelloidea, n. det.	detrivor	Litoral
Rotifera	Keratella cochlearis	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella cochlearis var. tecta	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella quadrata quadrata	herbivor	Plankton
Rotifera	Lecane sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Synchaeta sp.	herbivor	Plankton
Cladocera	Diaphanosoma brachyurum	herbivor	Plankton

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Cyclopoida	Acanthocyclops robustus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Nauplien Cyclopoida	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops crassus	omnivor	unspezifisch
Calanoida	Eurytemora velox	detrivor	Litoral
Calanoida	Nauplien Calanoida	herbivor	Plankton
Bivalvia	Dreissena sp.	detrivor	Litoral

Tabelle 38: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 3, Überstand

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Ciliata	Ciliata	omnivor	unspezifisch
Testacea	Arcella hemisphaerica	detrivor	Litoral
Testacea	Centropyxis aculeata	detrivor	Litoral
Testacea	Diffugia bacilifera	detrivor	Litoral
Rotifera	Bdelloidea, n. det.	detrivor	Litoral
Rotifera	Cephalodella	detrivor	Plankton
Rotifera	Keratella cochlearis	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella cochlearis var. tecta	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella quadrata quadrata	herbivor	Plankton
Rotifera	Lecane cornuta	detrivor	Litoral
Rotifera	Lepadella sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Synchaeta sp.	herbivor	Plankton
Rotifera	Trichocerca sp.	herbivor	Plankton
Cladocera	Daphnia cucullata	herbivor	Plankton
Cladocera	Daphnia galeata	herbivor	Plankton
Cladocera	Eubosmina coregoni	herbivor	Plankton
Cladocera	Pleuroxus aduncus	detrivor	Litoral
Cladocera	Pleuroxus denticulatus	detrivor	Litoral
Cladocera	Polyphemus sp.	carnivor	Plankton
Cyclopoida	Acanthocyclops robustus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Mesocyclops sp.	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Nauplien Cyclopoida	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops crassus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops oithonoides	omnivor	Plankton
Calanoida	Copepodide Calanoida	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus gracilis	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus graciloides	herbivor	Plankton
Calanoida	Eurytemora velox	detrivor	Litoral
Calanoida	Nauplien Calanoida	herbivor	Plankton
Bivalvia	Dreissena sp.	detrivor	Litoral

Tabelle 39: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Filter 4, Überstand

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Ciliata	Ciliata	omnivor	unspezifisch
Ciliata	Tintinnopsis sp.	detrivor	Plankton
Testacea	Arcella hemisphaerica	detrivor	Litoral
Testacea	Diffflugia bacilifera	detrivor	Litoral
Rotifera	Bdelloidea, n. det.	detrivor	Litoral
Rotifera	Brachionus calyciflorus	herbivor	Plankton
Rotifera	Colurella sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Keratella cochlearis	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella cochlearis var. tecta	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella quadrata quadrata	herbivor	Plankton
Rotifera	Lecane cornuta	detrivor	Litoral
Rotifera	Lepadella sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Polyarthra major	herbivor	Plankton
Rotifera	Polyarthra remata	herbivor	Plankton
Rotifera	Pompholyx sulcata	herbivor	Plankton
Rotifera	Synchaeta sp.	herbivor	Plankton
Rotifera	Trichocerca sp.	herbivor	Plankton
Cladocera	Acroperus harpae	detrivor	Litoral
Cladocera	Alona sp.	detrivor	unspezifisch
Cladocera	Chydorus sphaericus	detrivor	unspezifisch
Cladocera	Daphnia cucullata	herbivor	Plankton
Cladocera	Eurycerus lamellatus	detrivor	Litoral
Cladocera	Pleuroxus aduncus	detrivor	Litoral
Cladocera	Pleuroxus denticulatus	detrivor	Litoral
Cladocera	Pleuroxus laevis	detrivor	Litoral
Cyclopoida	Acanthocyclops robustus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Mesocyclops sp.	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Nauplien Cyclopoida	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops crassus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops oithonoides	omnivor	Plankton
Calanoida	Copepodide Calanoida	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus gracilis	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus graciloides	herbivor	Plankton
Calanoida	Eurytemora velox	detrivor	Litoral
Calanoida	Nauplien Calanoida	herbivor	Plankton
Bivalvia	Dreissena sp.	detrivor	Litoral

Tabelle 40: Zooplankton-/Meiofaunataxa im Frischwasser

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Ciliata	Ciliata	omnivor	unspezifisch
Ciliata	Tintinnopsis sp.	detrivor	Plankton
Testacea	Arcella hemisphaerica	detrivor	Litoral
Testacea	Centropyxis aculeata	detrivor	Litoral
Testacea	Cyphoderia ampulla	detrivor	Litoral
Testacea	Euglypha sp.	detrivor	Litoral

Großgruppe	Taxon	Ernährung	Lebensraum
Rotifera	Bdelloidea, n. det.	detrivor	Litoral
Rotifera	Cephalodella	detrivor	Plankton
Rotifera	Colurella sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Keratella cochlearis	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella cochlearis var. tecta	herbivor	Plankton
Rotifera	Keratella quadrata quadrata	herbivor	Plankton
Rotifera	Lecane cornuta	detrivor	Litoral
Rotifera	Lecane sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Lepadella sp.	detrivor	Litoral
Rotifera	Polyarthra major	herbivor	Plankton
Rotifera	Polyarthra vulgaris	herbivor	Plankton
Rotifera	Synchaeta sp.	herbivor	Plankton
Cyclopoida	Acanthocyclops robustus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Mesocyclops sp.	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Nauplien Cyclopoida	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops crassus	omnivor	unspezifisch
Cyclopoida	Thermocyclops oithonoides	omnivor	Plankton
Calanoida	Copepodide Calanoida	herbivor	Plankton
Calanoida	Eudiaptomus gracilis	herbivor	Plankton
Calanoida	Eurytemora velox	detrivor	Litoral
Calanoida	Nauplien Calanoida	herbivor	Plankton
Harpacticoida	Harpacticoida n.det.	detrivor	Litoral
Bivalvia	Dreissena sp.	detrivor	Litoral
Sonstige	Gastrotricha sp.	omnivor	Litoral