
Flussbad Berlin - Testfilter



Vorläufiger Endbericht Betriebszeitraum 2017 – 2018

Im Auftrag von:



Bearbeitung:

Flussbad Berlin e.V.
Falckensteinstraße 48
10997 Berlin
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. Annabelle Kallaehne
Stud. Linus Neubert
Stud. Rabea Feldmann



AKUT Umweltschutz Ingenieure
Burkard und Partner
Wattstraße 10, 13355 Berlin

Verzeichnisse

1	Zusammenfassung	13
2	Vorbemerkungen	14
2.1	Auftrag	14
2.2	Badewasserqualität als Untersuchungsziel	14
2.3	Versuchsstandort.....	16
2.4	Anlagenbetrieb und Dokumentation	17
2.5	Probenahmen und Laboruntersuchungen	17
3	Material und Methoden	18
3.1	Aufbau der Versuchsanlage	18
3.1.1	Ausbau des Schiffes.....	18
3.1.2	Filter	18
3.1.3	Frischwasserbehälter:	19
3.1.4	Technische Ausrüstung	19
3.2	Multiparametersonden	20
3.2.1	Eignung der Chlorophyll-a Sonde.....	22
3.2.2	Eignung der Trübungssonde.....	24
3.3	Optimierungen an der Versuchsanlage	25
3.3.1	Änderungen im Jahr 2017	25
3.3.2	Änderungen im Jahr 2018	25
3.4	Chemische, physikalische und biologische Untersuchungen	26
4	Versuchsphasen	28
4.1	Einfahrbetrieb 2017	28
4.1.1	Allgemeines	28
4.1.2	Tracerversuch zur Hydraulik.....	28
4.1.3	Ergebnisse der Beprobung	28
4.1.4	Schlussfolgerungen aus dem Einfahrbetrieb/ zweite Jahreshälfte 2017	29
4.2	Versuchsbetrieb 2018	30
4.2.1	Standort.....	30
4.2.2	Betriebseinstellungen.....	30
4.2.3	Durchflussmengen.....	33
4.2.4	Aufenthaltszeiten	35
5	Betriebsergebnisse	36
5.1	Hydraulische Filterleistung	36
5.2	Filterstabilität/ Kolmation	40
5.3	Muscheln- Wachstum und Vitalität	42
5.3.1	Vergleichsstandort Freiwasser (Spree)	42
5.3.2	Standort Testfilterbecken.....	45
5.4	Makrozoobenthos	47
5.4.1	Vorkommen in Filterbecken	47
5.4.2	Vorkommen im Frischwasserbecken	49
5.5	Vegetation	52
5.5.1	Allgemeines	52
5.5.2	Filter 1, unbepflanzt	52
5.5.3	Filter 2, Submerse Vegetation	52
5.5.4	Filter 3, Emerse Vegetation	54
5.5.5	Frischwasserbecken	54
6	Regelmäßiges Qualitätsmonitoring	56

6.1	Chlorophyll-a	56
6.2	Dominierende Phytoplanktonorganismen	58
6.3	Dominierende Zooplanktonorganismen/ Meiofauna.....	69
6.4	Bakteriologische Parameter	84
6.5	Chemische Parameter	87
6.6	Direkt-Parameter	91
6.7	Multiparametersonden	94
7	Intensiv-Monitoring 11./12.07.2018 (Mischwasserüberlauf)	97
7.1	Allgemeines	97
7.2	Basisparameter.....	100
7.3	Chemische Parameter	104
7.4	Bakteriologische Parameter	108
8	Diskussion	113
8.1	Einhaltung Badewasserqualität	113
8.2	Filter-Hydraulik.....	114
8.3	Muschelfilter	114
8.4	Mikroskopisches Bild	115
8.5	Makrophyten.....	116
8.6	Filterwirksamkeit.....	117
8.7	Versuchsanlage.....	119
9	Untersuchungsbedarf und –programm.....	121
9.1	Allgemeines	121
9.2	Untersuchungsziele.....	121
9.3	Umbauten	122
9.4	Versuchsplanung	122
10	Literatur.....	124
11	Anhang:	125
11.1	Ergebnisse Untersuchung Phytoplanktonorganismen.....	125
11.2	Ergebnisse Untersuchung Zooplanktonorganismen	130
11.3	Ergebnisse der Muschelzählungen	141
11.4	Ergebnisse Chemische und Mikrobiologische Parameter	143
11.5	Durchflüsse zum Zeitpunkt der Probenahmen	144

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überführung der mobilen Versuchsanlage zum Liegeplatz im Spreekanal	16
Abbildung 2: Flächenaufteilung der Testfilteranlage im Längs- und Querschnitt	18
Abbildung 3: Multiparametersonde, Messkopf mit rotierender Bürste zur Reinigung (rechts)	21
Abbildung 4: Vergleich der Chlorophyll-a Messwerte beider Sonden (inkl. Messungenauigkeit) im Zeitraum 07.08.-24.08.2018	22
Abbildung 5: Vergleich der Trübungs-Messwerte beider Sonden (inkl. Messungenauigkeit) im Zeitraum 07.08.-24.08.2018	24
Abbildung 6: Testfilter im Herbst 2017 am Liegeplatz	30
Abbildung 7: Hydraulische Belastungsraten (HLR) aller Filterstufen im Versuchszeitraum 2018	34
Abbildung 8: Durchflüsse aller Filterstufen im Versuchszeitraum 2018	34
Abbildung 9: Mittlere Aufenthaltszeiten in Filter 1-3	35
Abbildung 10: Mittlere Aufenthaltszeiten in Muschelreaktor und Frischwasserbehälter.....	35
Abbildung 11: Durchflüsse im Versuchszeitraum, kumuliert	37
Abbildung 12: Zusammenhang zwischen kumulierter Beschickung und Filterwiderstand für Filter 3	39
Abbildung 13: Zusammenhang zwischen hydraulischer Belastung (HLR in m/d) und Filterwiderstand für Filter 3	39
Abbildung 14: Siebanalyse des Filtermaterials aus Filter 3.....	40
Abbildung 15 Sauerstoffzehrung je Kubikmeter Reaktorvolumen im Juni 2018.....	42
Abbildung 16: Vorbesiedlung der Muschelmatten in der Spree, Herstellung und Einbringung der Matten.....	43
Abbildung 17: Stark bewachsene Muschelmatten der im freien Wasserkörper der Spree verbliebenen Matten, 17.08.2018	43
Abbildung 18: Einhängung der vorbesiedelten Muschelmatten in den Muschelreaktor am 31.05.2017.....	44
Abbildung 19: Muschelzählung der Matten im Muschelreaktor am 15.07.2018, wenig Muschelbewuchs	44
Abbildung 20: Längensverteilung und Anzahl der Muscheln bezogen auf 100 cm Maschengeflecht in der <u>Spree 2016</u> und <u>2018</u>	45
Abbildung 21: Längensverteilung und Anzahl der Muscheln bezogen auf 100 cm Maschengeflecht in der Spree 2016 und im <u>Muschelfilter Uferseite</u> 2017/2018 .	46

Abbildung 22:	Längenverteilung und Anzahl der Muscheln bezogen auf 100 cm Maschengeflecht in der Spree 2016 und im <u>Muschelfilter Kanalseite</u> 2017/2018	46
Abbildung 23:	Anzahl Dreissena sp. im Muschelfilter in verschiedenen Tiefen.....	47
Abbildung 24:	Vergleich Makrozoobenthos auf Testfilteroberflächen am 15.07.2018	49
Abbildung 25:	Lemna sp.-Entwicklung auf Filter 1 und Filter 2, 10.07.2018.....	53
Abbildung 26:	Fadenalgen- und Lemna sp.-Entwicklung auf dem Frischwasserbecken, 10.07.2018	53
Abbildung 27:	Dichter Schilfbewuchs auf Filter 3, Oktober 2018	54
Abbildung 28:	Fadenalgen- und Lemna sp.-Entwicklung auf dem Frischwasserbecken, langsames Zuwachsen von den Rändern, 16.07.2018	55
Abbildung 29:	Fadenalgen- und Lemna sp.-Entwicklung auf dem Frischwasserbecken, Teil der entnommenen Biomasse, 16.07.2018.....	55
Abbildung 30:	Konzentration von Chlorophyll-a in µg/l; Zulauf – Spreekanal, Muschelfilter Ablauf, Ablauf Filter 1, Ablauf Filter 2, Ablauf Filter 3, Frischwasserbecken	56
Abbildung 31:	Konzentration von Chlorophyll-a in µg/l; box-whisker-Darstellung...	57
Abbildung 32:	Vergleich Summe Blau- und Grünalgen [Individuen/l] und Chlorophyll-a Gehalt [µg/l], n=163	57
Abbildung 33:	Dominierende Phytoplanktonorganismen im Spreekanal, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm ³ /l	59
Abbildung 34:	Dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Muschelfilter, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm ³ /l.....	60
Abbildung 35:	Dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 1, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm ³ /l.....	61
Abbildung 36:	Dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 2, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm ³ /l.....	62
Abbildung 37:	Dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 3, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm ³ /l.....	63
Abbildung 38:	Dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Frischwasserbehälter, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm ³ /l	64
Abbildung 39:	Prozentuale Elimination der dominierenden Phytoplanktonorganismen (Anzahl) je einzelne Stufe im Muschelfilter, Filter 1, Filter 2 und Filter 3.....	66
Abbildung 40:	Prozentuale Elimination dominierender Phytoplanktonorganismen (Anzahl) im Muschelfilter in Kombination jeweils mit Filter 1, Filter 2 oder Filter 3	66

Abbildung 41:	Biovolumen und Detritusvolumen in mm ³ /l im Spreekanal (oben), im Ablauf Muschelfilter (mitte) und im Frischwasserbehälter (unten)	67
Abbildung 42:	Biovolumen und Detritusvolumen in mm ³ /l im Abauf Filter 1 (oben), im Ablauf Filter 2 (mitte) und Filter 3(unten).....	68
Abbildung 43:	Individuendichten der Tiergruppen Zooplankton/Meiofauna für die einzelnen Messstellen (lg-Skala)	70
Abbildung 44:	Biomassen der Tiergruppen Zooplankton/Meiofauna für die einzelnen Messtellen (lg-Skala)	70
Abbildung 45:	Präferenzen für Lebensräume für das Zooplankton/die Meiofauna in einzelnen Kompartimenten: Anteile an der Individuendichte (oben) und der Biomasse (unten).....	71
Abbildung 46:	Ernährungstypen für das Zooplankton/ die Meiofauna in einzelnen Kompartimenten: Anteile an der Individuendichte (oben) und der Biomasse (unten)	72
Abbildung 47:	Individuendichte (oben) und Biomasse (unten) des Zooplanktons im Spreekanal	73
Abbildung 48:	Individuendichte des Zooplanktons im Muschelfilter: Überstand (oben) und Ablauf (unten)	74
Abbildung 49:	Biomasse des Zooplanktons im Muschelfilter: Überstand (oben) und Ablauf (unten)	75
Abbildung 50:	Individuendichte des Zooplanktons im Filter 1: Überstand (oben) und Ablauf (unten)	76
Abbildung 51:	Biomasse des Zooplanktons im Filter 1: Überstand (oben) und Ablauf (unten)	77
Abbildung 52:	Individuendichte des Zooplanktons im Filter 2: Überstand (oben) und Ablauf (unten)	78
Abbildung 53:	Biomasse des Zooplanktons im Filter 2: Überstand (oben) und Ablauf (unten)	79
Abbildung 54:	Individuendichte des Zooplanktons im Filter 3: Überstand (oben) und Ablauf (unten)	80
Abbildung 55:	Biomasse des Zooplanktons im Filter 3: Überstand (oben) und Ablauf (unten)	81
Abbildung 56:	Individuendichte (oben) und Biomasse (unten) des Zooplanktons im Frischwasser	82
Abbildung 57:	Ergebnisse Gesamtkeimzahl-Messungen in KBE/ml, Box-Whisker-Darstellung	84
Abbildung 58:	Ergebnisse Gesamtcoliforme-Messungen in MPN/100 ml, Box-Whisker-Darstellung, alle Werte.....	84

Abbildung 59:	Ergebnisse Gesamtcoliforme-Messungen in MPN/100 ml, Box-Whisker-Darstellung, nur die Werte der Filter ohne vorgeschalteten Muschelfilter	85
Abbildung 60:	Ergebnisse Gesamtcoliforme-Messungen in MPN/100 ml, Box-Whisker-Darstellung, nur die Werte der Filter mit vorgeschalteten Muschelfilter	85
Abbildung 61:	Ergebnisse E-Col-Messungen in MPN/100 ml, Box-Whisker-Darstellung	86
Abbildung 62:	Ergebnisse E-Coli-Messungen in MPN/100 ml, (Bewertung nach Badegewässerverordnung und UBA Empfehlungen für Kleinbadeteiche soll < 100 MPN/100ml, Bestimmungsgrenze 15 MPN/100 ml)	86
Abbildung 63:	Ergebnisse Enterokokken-Messungen in MPN/100 ml, Box-Whisker-Darstellung	87
Abbildung 64:	Ergebnisse TOC-Messungen, Box-Whisker-Darstellung	87
Abbildung 65:	Ergebnisse AFS-Messungen, Box-Whisker-Darstellung (Bestimmungsgrenze 2 mg AFS/l)	88
Abbildung 66:	Ergebnisse Nitrat-Messungen, Box-Whisker-Darstellung (Bestimmungsgrenze 0,01 mg MO ₃ -N/l)	88
Abbildung 67:	Ergebnisse Ammonium-Messungen, Box-Whisker-Darstellung (Bestimmungsgrenze 0,001 mg NH ₄ -N/l)	89
Abbildung 68:	Ergebnisse Gesamtstickstoff-Messungen, Box-Whisker-Darstellung	89
Abbildung 69:	Ergebnisse Gesamtphosphor-Messungen, Box-Whisker-Darstellung	90
Abbildung 70:	Ergebnisse ortho-Phosphat-Messungen, Box-Whisker-Darstellung (Bestimmungsgrenze 0,005 mg NH ₄ -N/l)	90
Abbildung 71:	Ergebnisse der pH-Messungen 2018	91
Abbildung 72:	Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen in µs/cm 2018	91
Abbildung 73:	Ergebnisse der Temperaturmessungen in °C 2018	92
Abbildung 74:	Ergebnisse der Sauerstoffmessungen in mg O ₂ /l 2018	92
Abbildung 75:	Ergebnisse der Sauerstoffmessungen in den Filter in mg O ₂ /l 2018, oben Filter 1, mitte Filter 2, unten Filter 3, ganz unten Spreekanal, Phasen mit Druckbelüftung sind markiert, unterschieden nach intermittierender Belüftung und Dauerbelüftung	93
Abbildung 76:	Jahresverlauf der online Messwerte für Chlorophyll-a [µg/l], Werte sind nicht kalibriert, lediglich zur Veranschaulichung und Dokumentation	94
Abbildung 77:	Jahresverlauf der Messwerte für Leitfähigkeit [µS/cm]	95
Abbildung 78:	Jahresverlauf der Messwerte für Sauerstoff [mg O ₂ /l]	95

Abbildung 79: Jahresverlauf der Messwerte für Trübung [NTU], Werte unkalibriert, lediglich zu Veranschaulichung und Dokumentation	96
Abbildung 80: Vergleich der Trübungs Messwerte beider Sonden (Sonde 2 mit Faktor korrigiert, Ablauf Filter 2) im Zeitraum 07.08.-26.10.2018	96
Abbildung 81: Mischwassereinzugsgebiete in Berlin (Quelle BWB).....	98
Abbildung 82: Zeitlicher Verlauf des Mischwasserabschlags, Punkt = Überlauf am jeweiligen Bauwerk (Quelle BWB)	99
Abbildung 83 Abfluss im Spreekanal am Wehr unterhalb Testfilter; links am 12.07.2018 11:00 Uhr, rechts am 15.07.2018 14:30 Uhr.....	100
Abbildung 84: Wassertemperatur vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen	101
Abbildung 85: pH-Wert vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen	102
Abbildung 86: Leitfähigkeit vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen	103
Abbildung 87: Sauerstoffgehalt vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen	104
Abbildung 88: Phosphorgehalte vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen	105
Abbildung 89: Stickstoffparameter vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen	106
Abbildung 90: AFS vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen.....	107
Abbildung 91: <i>E. coli</i> während des Mischwasserereignisses in verschiedenen Messstellen	108
Abbildung 92: Intestinale Enterokokken während des Mischwasserereignisses in verschiedenen Messstellen.....	108
Abbildung 93: Coliforme Keime während des Mischwasserereignisses in verschiedenen Messstellen.....	109
Abbildung 94: Gesamtkeimzahl während des Mischwasserereignisses in verschiedenen Messstellen.....	109
Abbildung 95: Momentaufnahme mikrobiologische Parameter während des Mischwasserereignisses an allen Messstellen	109
Abbildung 96: <i>E. coli</i> vor, während und nach dem Mischwasserabschlag in verschiedenen Messstellen.....	110
Abbildung 97: Intestinale Enterokokken vor, während und nach dem Mischwasserabschlag in verschiedenen Messstellen	111

Abbildung 98: Bacteriologische Parameter während des Mischwasserereignisses im Ablauf der UV-Anlage	112
---	-----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beurteilung der Badewasserqualität nach Anlage 1 der Badegewässerverordnung (BadeGewVO, 2008)	15	
Tabelle 2: Qualitätsstandards für künstliche Schwimm- und Badeteichanlagen (UBA 2003) 15		
Tabelle 3: Liegezeiten des Schiffs am Versuchsstandort Spreekanal.....	17	
Tabelle 4: Anzahl der Ausreißer und Gesamtanzahl der gemessenen Werte, 2018/21		
Tabelle 5: Spezifikationen der Sensoren für Chlorophyll-a und Trübung	22	
Tabelle 6: Vergleich Chlorophyll-a Laborwerte mit den online-Werten (1,5 h Mittel)23		
Tabelle 7: Bestimmungsmethoden und deren Bestimmungsgrenzen	26	
Tabelle 8: Ergebnisse der Tracertests in den Festbettfiltern 1, 2 und 3	28	
Tabelle 9: Übersicht Betriebsphasen (Filterkombinationen) 2018 (z.B. März – Juni, in Fließrichtung: Mu + F1 + FW)	31	
Tabelle 10: Bezeichnung der einzelnen Probenahmestellen mit verwendeten Nummerierungen und Abkürzungen	32	
Tabelle 11: Betriebseinstellungen: Verschaltung der Anlagenteile (Nummern gem. Tabelle 10. Sie zeigen die Fließrichtung an, z.B. MU -> 4).....	32	
Tabelle 12: Betriebseinstellungen: Gebläse zur Filterbelüftung aus, intermittierend (10 Min, jede halbe Stunde), kontinuierlich	32	
Tabelle 13: Einbauorte der beiden Multiparametersonden	33	
Tabelle 14: Berechnungsgrundlage Aufenthaltszeiten.....	36	
Tabelle 15: Hydraulische Belastung und Filterwiderstand	38	
Tabelle 16: Ergebnisse der Siebanalyse des Filtermaterials aus Filter 3	40	
Tabelle 17: Sauerstoffzehrung in den Bodenfiltern	41	
Tabelle 18: Filter 1 – Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018	48	
Tabelle 19: Filter 2 – Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018.....	48	
Tabelle 20: Filter 3 – Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018	48	
Tabelle 21: FW1 – Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018	50	
Tabelle 22: FW1 – Makrozoobenthos an der Wand am 15.07.2018	50	
Tabelle 23: FW2 - Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018.....	50	
Tabelle 24: FW2 – Makrozoobenthos an der Wand am 15.07.2018	51	
Tabelle 25: FW3 - Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018.....	51	
AKUT Partner	Endbericht Flussbad Berlin Testfilter 2018	10

Tabelle 26:	FW3 – Makrozoobenthos an der Wand am 15.07.2018	51
Tabelle 27:	Dominierende Phytoplankter und Partikel im Spreekanal	65
Tabelle 28:	Taxazahlen, Individuendichten und Biomassen von Zooplankton/Meiofauna in den einzelnen Messstellen	69
Tabelle 29:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Spreekanal	83
Tabelle 30:	Messorte der Multiparametersonden, Hach	94
Tabelle 31:	Relevante Mischwasserentlastungsbauwerke der BWB, (Quelle BWB) ..	97
Tabelle 32:	Abgeschlagene Mischwassermengen in der Zeit 11.07.2018 bis 12.07.2018 in ausgewählten Entlastungsbauwerken oberhalb vom Testfilter (Daten BWB)	98
Tabelle 33:	Niederschlagsmengen am 11.07.2018 und 12.07.2018 im Einzugsgebiet oberhalb Testfilter (Daten BWB)	99
Tabelle 34:	Bewertung der 95-Perzentile von Indikatororganismen an Hand der Badewasser Qualitätsanforderungen	113
Tabelle 35:	Korrelationsmatrix (Korrelationskoeffizient nach Pearson; Unähnlichkeitsschwellenwert: 0,9). Niedrige Werte zeigen eine Veränderung der Zusammensetzung an	118
Tabelle 36:	Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Spreekanal 125	
Tabelle 37:	Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Muschelfilter	126
Tabelle 38:	Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 1	127
Tabelle 39:	Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 2	128
Tabelle 40:	Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 3	129
Tabelle 41:	Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Frischwasserbehälter.....	130
Tabelle 42:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Spreekanal	131
Tabelle 43:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Muschelfilter Überstand	131
Tabelle 44:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Muschelfilter Ablauf ..	133
Tabelle 45:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 1 Überstand	134
Tabelle 46:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 1 Ablauf	135
Tabelle 47:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 2 Überstand	136
Tabelle 48:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 2 Ablauf	137
AKUT Partner	Endbericht Flussbad Berlin Testfilter 2018	11

Tabelle 49:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 3 Überstand.....	138
Tabelle 50:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 3 Ablauf	139
Tabelle 51:	Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Frischwasserbehälter	140
Tabelle 52:	Ergebnisse der Muschelzählung am 19.12.2016	141
Tabelle 53:	Ergebnisse der Muschelzählung am 08.09.2017	141
Tabelle 54:	Ergebnisse der Muschelzählung am 15.07.2018	142
Tabelle 55:	Ergebnisse der Muschelzählung am 17.08.2018 bei den Muschelmat- ten, die weiterhin am Steg im Bereich Oberbaumbrücke hingen.....	143
Tabelle 56:	Zeitpunkte der Probenahme und gemittelte Durchflüsse.....	144

1 Zusammenfassung

Die Testfilteranlage konnte im Jahr 2018 erstmalig wie vorgesehen am richtigen Standort durchgehend betrieben werden. Das Schiff befand sich von Mai bis Oktober am Liegeplatz vor dem Garten der ESMT. Es wurden drei verschiedene Filtertypen bzw. Substrate sowie ein Muschelfilter getestet.

Die Reinigungsfunktion der Filter bezüglich Keimelimination und Algenreduktion wurde grundsätzlich nachgewiesen. Es wurden in der Regel Reduktionsraten für *E. coli* wie vorgesehen von mindestens einer LOG-Stufe erzielt. Bis jetzt wurden Blaualgen sicher entfernt.

Badewasserqualität konnte im Frischwasserbereich auch bei dem einen untersuchten Mischwasserabschlagsereignis grundsätzlich gewährleistet werden, bis auf den Beginn des Mischwasserereignisses. Die Sichttiefe war immer gegeben und die beschränkte Aufenthaltszeit von 24 Stunden hat nicht zu einem Aufkeimen von planktischen Algen geführt.

Aufgrund der außergewöhnlichen Wetterlage konnte im Jahr 2018 nur ein Mischwasserereignis beprobt werden. Aussagen zur Wirkungsweise der Testfilter bei Spitzenbelastungen sind deshalb nur unter Vorbehalt möglich.

Die Eignung des in der Machbarkeitsstudie vorgeschlagenen Filtersubstrats Kies der Körnung 2/8 mm (Filter 3) konnte noch nicht nachgewiesen werden. Im Testfilter 3 wurde ein erhöhter Filterwiderstand bis hin zur Kolmation gemessen. Es wird vermutet, dass die Ursachen jedoch auch in dem Versuchsaufbau lagen. Die Filter wurden zwecks Erreichung schneller Ergebnisse extrem dicht bepflanzt. Dadurch könnten die Topfballen zu einem hohen Anteil für die Verlagerung von feinen Stoffen in die inneren Schichten des Filters verantwortlich sein. Der Kiesfilter muss gereinigt und seine Wirkungsweise, insbesondere die hydraulische Durchlässigkeit langfristig untersucht werden.

Die Leistung des Blähtonfilters (Filter 1) ist in hydraulischer Hinsicht bisher überzeugend und auch die Reinigungsleistung ist sehr gut. Allerdings wurde dieser Filter bisher vornehmlich in der Kombination Muschelfilter – Filter 1 – Frischwasserbehälter getestet. Weitere Kombinationen müssen getestet werden.

Die Reinigungsleistung des grobporigen Lavafilters (Filter 2) ist geringfügig schlechter als die der anderen Filter. Die hydraulische Leistung ist unbeeinträchtigt.

Die Muscheln im Muschelfilter haben sich im Vergleich zu den frei schwimmenden Aufwuchsträgern in der Hauptspreet nicht gut entwickelt. Das Potenzial zur Reinigungsleistung konnte noch nicht ausgeschöpft werden.

Es wurde eine positive Wirkung der Röhrichtbepflanzung auf die Biozönose im Überstand des Kiesfilters festgestellt. Schilf hat sich hier als dominant im Vergleich zu den getesteten Seggen und Teichbinsen gezeigt.

Bei den unbepflanzten Filtern bzw. dem submers bepflanzen Filter 2 kam es zu einer starken Bildung von fädigen Grünalgen und später zur großflächigen Bedeckung der Oberfläche mit der Wasserlinse. Eine freie spiegelnde Wasseroberfläche kann unter diesen Umständen nicht gewährleistet werden.

Die Versuchsergebnisse sind insgesamt überzeugend und zeigen das Potenzial zum nachhaltigen Betrieb und einer verbesserter Wasserqualität im Unterlauf des Spreekanals. Offene Fragen zur Filtergestaltung und dem Betrieb sollen mit der Testfilteranlage weiter untersucht werden.

2 Vorbemerkungen

2.1 Auftrag

Gemäß Vertrag vom 28.08.2018 wurde AKUT Umweltschutz Ingenieure Burkard und Partner mit der Betriebsführung der Versuchsanlage des Vereins Flussbad Berlin e.V. für die Jahre 2017 und 2018 beauftragt sowie für die Durchführung der biologischen Untersuchungen. Dieser Bericht fasst die bisherigen Betriebsergebnisse zusammen.

Die Versuchsanlage dient im Wesentlichen der Verifizierung der in der Machbarkeitsstudie getroffenen Annahmen zum Betrieb und zur Reinigungsleistung eines im Spreekanal zu errichtenden bepflanzten Bodenfilters. Die Erfahrungen mit dem praktischen Betrieb und der erzielbaren Reinigungsleistung sollen dann zur Optimierung und zur Planung des Wasserfilters im technischen Maßstab genutzt werden.

Im Fokus der Untersuchungen steht vor allem die Wahl des Filtermaterials, die erforderliche Größe des Filters und die Auswahl der Bepflanzung. Darüber hinaus sollten zusätzliche Möglichkeiten zur Optimierung in Verbindung mit weiteren Maßnahmen (Aktive Belüftung, nachgeschaltete UV-Behandlung und vorgeschalteter Muschelreaktor) getestet werden.

Aufgrund der verspäteten Bereitstellung der Testfilteranlage am Standort im Spreekanal, war die reale Versuchszeit auf den verbleibenden Projektzeitraum in 2018 beschränkt. Von den ursprünglich veranschlagten 3 Jahren Testbetrieb in den Sommermonaten konnte somit nur eine einzige vollständige Saison in 2018 durchgeführt werden.

2.2 Badewasserqualität als Untersuchungsziel

Im Rahmen der rechtlichen Prüfung für die „Vertiefende Konzeption Flussbad Berlin“ (Flussbad Berlin e.V., 2015) wurde festgestellt, dass erst mit Erreichen und Aufrechterhaltung der Badegewässerqualität im Spreekanal die Berliner Badegewässerverordnung im Hinblick auf das derzeitige Badeverbot für dieses Gewässer geändert werden kann (vergl. Harms, III.2, ebd.).

Obwohl die mikrobiologische Belastung der Spree auch in diesem Bereich regelmäßig die Mindestanforderungen an die Badegewässerqualität erfüllt, kommt es durch spontane Mischwasserentlastungen immer wieder zu Überschreitungen mikrobiologischer Parameter. Gleichzeitig sinkt der Sauerstoffgehalt im Gewässer, die Trübung nimmt erheblich zu und die Sichttiefe fällt ab. Wenn sich infolge der erhöhten Nährstoffeinträge Cyanobakterien stark vermehren, besteht die Gefahr der Freisetzung von Toxinen.

Auch durch Badende selbst kommt es in einem Gewässer zu einem Eintrag von Verunreinigungen und Keimen. Deshalb muss das nachlaufende Wasser im Kupfergraben soweit vorgereinigt sein, dass auch mit diesen zusätzlichen Einträgen die Badewasserqualität noch eingehalten wird.

Die Bewertung der Wasserqualität einer Badestelle (bzw. Badegewässers) erfolgt nach BadeGewVO (nachlaufend nach dem Ende der Badesaison, in der Regel mit Werten von mindestens 4 Jahren) an Hand der Parameter gemäß Tabelle 1. Bei den Zielwerten ist jeweils die Unterschreitungshäufigkeit zu beachten (90- bzw. 95- Perzentil).

Einschränkend ist festzustellen, dass die BadeGewVO gem. § 1 (4) 2. nicht für abgegrenzte Gewässer gilt, die einer Behandlung unterliegen. Für solche Gewässer gelten in Deutschland in der Regel die strengeren Empfehlungen des Umweltbundesamtes (UBA

2003). In diesen Fällen handelt es sich jedoch immer um künstliche, vom Grundwasser-einfluss getrennte Schwimmteiche, in der Regel mit Rezirkulation über einen Filter. Zum Vergleich mit diesen höheren Qualitätsansprüchen und zur Bewertung der Reinigungspotenziale der Testfilter werden diese Anforderungen in Tabelle 2 aufgeführt.

Während an natürlichen Gewässern zum Baden noch *E. coli*-Gehalte von < 900 KBE/100 ml noch als ausreichend bezeichnet werden (95-Perzentil), sollen in Schwimmteichen weniger als 100 KBE/100 ml unterschritten bleiben. Bei den Enterokokken sollen es nur 50 KBE/100 ml sein im Vergleich zu 330 KBE/100 ml in offenen Gewässern. Darüberhinaus werden in Schwimmteichen Sichttiefen von mindestens 1 m und in der Regel 2 m gefordert.

Ziel der Flusswasserbehandlung ist i.d.R. ausgezeichnete Badewasserqualität und eine ausreichende Wasserqualität innerhalb kürzester Zeit nach Mischwasserüberläufen.

Tabelle 1: Beurteilung der Badewasserqualität nach Anlage 1 der Badegewässerverordnung (BadeGewVO, 2008)

Binnengewässer				Anlage 1	
	A	B	C	D	E
Parameter	Ausgezeichnete Qualität	Gute Qualität	Ausreichende Qualität	Referenzanalysemethoden***	
1 Intestinale Enterokokken (KBE/100 ml)	200*	400*	330** (660) ¹	ISO 7899-1 oder ISO 7899-2	
2 <i>Escherichia coli</i> (KBE/100 ml)	500*	1000*	900** (1800) ¹	ISO 9308-3	

* Auf der Grundlage einer 95-Perzentil-Bewertung. Siehe Anlage 2.
 ** Auf der Grundlage einer 90-Perzentil-Bewertung. Siehe Anlage 2.
 *** Diese Normen liegen als DIN EN ISO-Normen mit gleicher Nummerierung in deutscher Sprache vor.
 (¹) 95-Perzentil-Bewertung zum Vergleich

Tabelle 2: Qualitätsstandards für künstliche Schwimm- und Badeteichanlagen (UBA 2003)

Mikrobiologische Anforderungen an die Qualität des Wassers im Kleinbadeteich ^a		
Parameter	Höchstwert	Anzuwendende Verfahren
<i>Escherichia coli</i>	100/100 ml	DIN EN ISO 9308-3
Enterokokken	50/100 ml	DIN EN ISO 7899-1, DIN EN ISO 7899-2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10/100 ml	DIN EN 12 780 DIN 38411, T. 8 ^b

Zur Beurteilung der Badegewässer sind nach BadeGewVO auch chemisch-physikalische Parameter zu erfassen. Dazu gehört die Luft- und Wassertemperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit, Transparenz und gelöster Sauerstoff. Stickstoff wird als Ammonium und Nitrat erfasst und Phosphor insgesamt sowie als Orthophosphat.

Regelmäßig ist in eutrophen Gewässern auch das Phytoplankton halbquantitativ zu bestimmen. Bei Gefahr der Toxinbildung durch Cyanobakterien muss Microcystin gemessen werden.

Insgesamt ist auch eine Sichtkontrolle auf Verschmutzungen sonstiger Rückstände (z.B. Glas, Plastik, Gummi oder andere Abfälle) durchzuführen. Da spielen neben primären gesundheitlichen Aspekten auch ästhetische Empfindungen eine Rolle. Insofern muss die Flusswasserbehandlung auch organoleptisch zu einer Verbesserung der Qualität führen. Nicht zuletzt muss der Pflanzenfilter die Funktion einer psychologischen Barriere zwischen der mischwasserbelasteten Spree und den Badenden erfüllen.

2.3 Versuchsstandort

Die Versuche sollten „in situ“ an demselben Standort durchgeführt werden, an dem sich der später zu errichtende Filter befinden wird. Zu diesem Zweck waren die Testfilter in einen mobilen Lastkahn eingebaut worden.

Der Zusammenbau der Anlage erfolgte im Winter 2017 an einem Liegeplatz der Havel im Spandauer Oberhafen. Der abschließende Zusammenbau der Anlage und die erste Inbetriebnahme fand im Historischen Hafen in Berlin Mitte statt. Von hier wurde das Schiff am 19.07.2017 zu dem neuen Liegeplatz im Spreekanal vor den Garten der ESMT Schule verfrachtet. Hier befindet sich auch das Informationszentrum des Flussbad Berlin e.V., von dem aus die Versuchsanlage von Besuchern besichtigt werden kann.

Gemäß den Auflagen des Wasserstraßen- und Schifffahrtsamtes Berlin (WSA) muss das Schiff jeweils im Winter aus dem Spreekanal wieder herausgefahren werden. Das gleiche gilt für den Fall eines Hochwassers. Etwa 50 Meter unterhalb des Liegeplatzes befindet sich das Wehr, welches über eine Absenkvorrichtung zur Steuerung des Wasserdurchflusses im Spreekanal verwendet wird.

Unmittelbar vor der Verfrachtung des Schiffs unternahm das WSA einen hydraulischen Belastungsversuch, bei dem ein extrem hoher Abfluss erzeugt wurde. Anschließend wurde Reparaturbedarf an dem Wehr festgestellt. Direkt nach dem Anlegen des Schiffs am Liegeplatz wurde das Wehr zur Reparatur hochgefahren und der Durchfluss durch die Spree mithilfe eines provisorischen Nadelwehrs komplett unterbunden. D.h., bis Mitte September 2017 lagen hier keine repräsentativen Abflussverhältnisse für den Versuchsbetrieb vor.



Abbildung 1: Überführung der mobilen Versuchsanlage zum Liegeplatz im Spreekanal

Aufgrund von Sedimentverlagerungen, vermutlich infolge des Belastungsversuchs, war die Wassertiefe am Liegeplatz stellenweise soweit verringert, dass keine ausreichende

Wassertiefe mehr für die geplante Eintauchtiefe des Schiffs bei kompletten Versuchsbetrieb möglich war. Dieses Problem konnte erst in der geplanten Winterpause 2017/18 nach dem Umlegen des Schiffs durch Baggararbeiten beseitigt werden.

Tabelle 3: Liegezeiten des Schiffs am Versuchsstandort Spreekanal

	Anfahrt	Abfahrt
2017	19. Juli	14. Dezember
2018	3. Mai	14. Dezember

2.4 Anlagenbetrieb und Dokumentation

Die Versuchsanlage wurde während der Versuche kontinuierlich betreut. Dazu gehörten mindestens wöchentliche Begehungen, Probenahmen sowie die online-Überwachung der Betriebsparameter. Aus Arbeitsschutzgründen fanden die Begehungen immer zu zweit statt. Die Benutzung von Schwimmwesten wurde vorgeschrieben.

Alle Begehungen wurden vor Ort protokolliert. Dazu gehörten auch regelmäßige Überprüfungen der Sicherheitsvorrichtungen wie Schiffsbeleuchtung und Überfüllsicherungen.

Auftragsgemäß wurden dem Auftraggeber bereits zwei Zwischenberichte zum Anlagenbetrieb übergeben. Die Versuchsanlage und die verwendeten Geräte und Materialien sind im Betriebsbericht 2017 ausführlich beschrieben. Die Ergebnisse und besonderen Betriebsereignisse des ersten Betriebshalbjahres 2018 sind im Betriebsbericht 2018-1 umfassend dargestellt (AKUT, 2018).

Über den Einfahrbetrieb in 2017 wurde zudem eine Bachelorarbeit von Kilian Betz angefertigt, die am FG Siedlungswasserwirtschaft der TU-Berlin angenommen wurde (Betz, 2018).

Die Testfilteranlage und erste Betriebsergebnisse wurden auf der internationalen IWA Konferenz „Wetland Systems for Water Pollution Control“ (ICWS) am 2. Oktober 2018 in Valencia vorgestellt (Rustige et al., 2018).

2.5 Probenahmen und Laboruntersuchungen

Die Probenahmen für alle Untersuchungen wurden von AKUT vorgenommen. Die Proben für die mikrobiologischen und chemischen Analysen wurden von dem beauftragten Labor aus Potsdam (PWU) abgeholt und analysiert. Die biologischen Untersuchungen sowie deren Bewertung erfolgten durch die von AKUT beauftragten Spezialisten für Zoo- und Phytoplankton Limnolabor und AquaLytis.

3 Material und Methoden

3.1 Aufbau der Versuchsanlage

3.1.1 Ausbau des Schiffes

Die Testfilteranlage wurde in einem alten Lastkahn eingebaut und setzt sich aus verschiedenen Bereichen zusammen.

Wie aus Abbildung 2 entnommen werden kann, befinden sich die Festbettfilter 1 und 2 in der Kammer 1, der Frischwasserbehälter in Kammer 2, der Muschelfilter sowie der Festbettfilter 3 in Kammer 3. Darüber hinaus gibt es Ausgleichbehälter, um die Quer- und Längsneigung des Schiffes auszutarieren. In der Bugkammer befindet sich der Maschinenraum, in welchem die Steuer- und Messtechnik untergebracht ist. Hier können die biologischen Filter (Festbettfilter 1, 2 und 3) untereinander bzw. mit dem Muschelfilter und/oder dem Frischwasserbehälter verschaltet sowie die Durchflüsse angepasst werden. Darüber hinaus kann hier eine UV-Anlage zur weitergehenden Desinfektion zugeschaltet sowie das Gebläse unabhängig von der Filterschaltung geschaltet werden. Bei der Filterschaltung ist zu beachten, dass dem Muschelfilter immer ein Festbettfilter nachgeschaltet ist, damit überlebenschfähige Larven der eingesetzten Dreikantmuschel (*Dreissena polymorpha*) nicht direkt in die Spree gelangen.

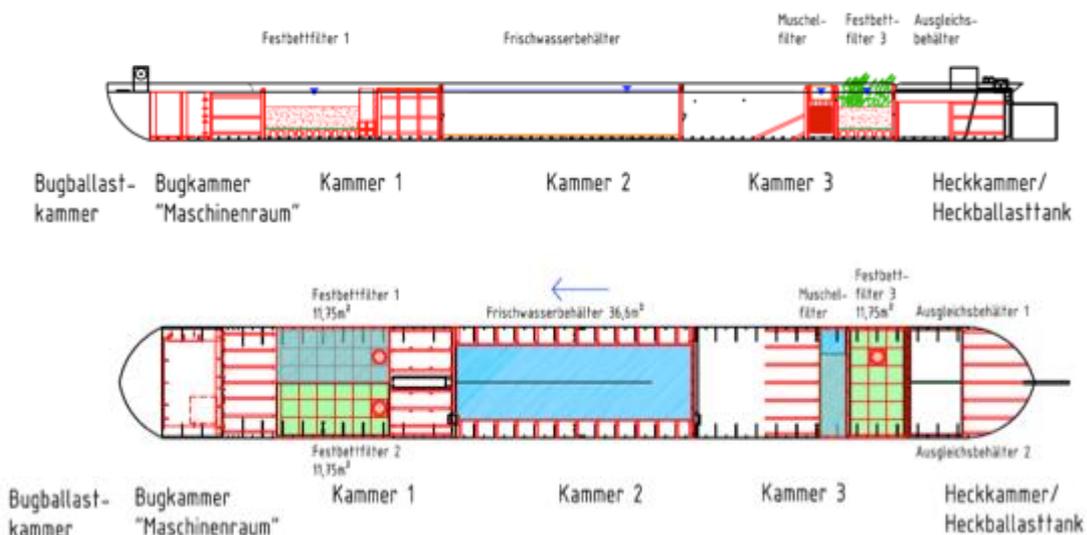


Abbildung 2: Flächenaufteilung der Testfilteranlage im Längs- und Querschnitt

3.1.2 Filter

Alle Filter haben eine Oberfläche von 11,75 m². Die Filterschicht in den einzelnen Festbettfiltern besitzt jeweils eine Tiefe von einem Meter und wird vertikal nach unten durchflossen. Die Drainage erfolgt vollflächig mithilfe von Rigolenkörpern der Firma Rehau, die gleichzeitig die Filterstützschicht darstellen. Auf der Stützschicht befinden sich die Leitungen, um zusätzlich Luft einzublasen (aktive Belüftung).

Festbettfilter 1: Blähton

Es wurde Blähton des Herstellers Liapor verwendet. Im Labor wurde das gesamte Porenvolumen des im Filter 1 eingebauten Liapors auf 37,5 % bestimmt, wobei sich der Anteil der durchflusswirksamen Poren auf 32,7 % senkt. Das Filtermaterial wurde von der Liapor GmbH & Co. KG geliefert und besitzt die Bezeichnung Liapor UK rot mit der Körnung 4/8. Der Filter ist unbepflanzt.

Festbettfilter 2: Lava

Das Lavagestein mit der Körnung 8/16 wurde aus dem Werk Hohenfels bezogen und durch die Firma Stolz geliefert. Das Porenvolumen der eingebauten Lava wurde auf 60,9 % Gesamtporenvolumen ermittelt. Das durchflusswirksame Porenvolumen in der Lava beträgt 48,2 %.

Die Filterschicht im Filter 2 wurde mit gelber Teichrose (*Nuphar lutea*, 2-jährig vorkultiviert, 11 Stück), Ähriges Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*, 2-jährig vorkultiviert, 55 Stück) und Hornblatt (*Ceratophyllum demersum*, 2-jährig vorkultiviert, 33 Stück) bepflanzt.

Festbettfilter 3: Kies

Der in Filter 3 eingebaute, gewaschene Kies der Körnung 2/8 mm besitzt ein Porenvolumen von ca. 30%. Die Filterschicht im Filter 3 wurde mit Schilf (*Phragmites australis*, 2-jährig vorkultiviert, 110 Stück), sowie Seggen (*Carex riparia*, 2-jährig vorkultiviert, 110 Stück) und Teichbinsen (*Schoenoplectus lacustris*, 2-jährig vorkultiviert, 110 Stück) bepflanzt.

Muschelfilter:

In das Becken der Muschelfilter wurden 48 Polypropylen-Matten mit initialem Muschelbewuchs (Dreikantmuschel: *Dreissena polymorpha*) eingebracht. Das Wasser passiert den Filter vertikal und tritt unten in den Ablaufschacht ein.

3.1.3 Frischwasserbehälter:

Das Frischwasserbecken (3,55 m * 10,81 m) soll den Fluss simulieren, welcher auf die Filteranlage folgt. Hierfür wurde eine Trennwand in Längsrichtung in den Behälter eingebracht, womit der Fließweg des Wassers im Becken verlängert werden soll. Somit hat das Becken eine Fließlänge von 20 m. An der Gewässersohle wurde Sand als Substrat eingebracht.

3.1.4 Technische Ausrüstung

Pumpen:

Die Anlage wurde mit insgesamt 9 Pumpen für den Testbetrieb ausgestattet. Es wurde für jeden Filter jeweils eine Pumpe am Zulauf der Anlage in der Spree und eine im Ablauf der Filterbecken montiert. Hierfür wurden Schmutzwassertauchpumpen der Firma Jung eingesetzt. Die Beschickungspumpen tauchen außerhalb der Bordwand ca. 50 cm im Fluss ein. Schwimmstoffe werden somit nicht mit angesaugt. Dies entspricht den Verhältnissen der geplanten Filteranlage im technischen Maßstab, wenn dem Bodenfilter eine Tauchwand vorgeschaltet wird.

Steuer- und Regeltechnik:

In jedem Becken (Festbettfilter 1, 2 und 3, Frischwasserbehälter, Muschelfilter) sind Pegelsonden installiert. Diese geben die Wasserstände kontinuierlich an die Steuerungseinheit weiter, welche daraufhin die Freigabe für den Betrieb der Zulaufpumpen gibt. Durch die eingestellte Hysterese von 2 cm können die Wasserspiegel annähernd konstant gehalten werden. Die Ablaufpumpen laufen kontinuierlich. Der gewünschte Volumenstrom wird manuell mit einem Ventil eingestellt.

Im Ablauf der Filter sowie im Zulauf des Frischwasserbeckens befinden sich magnetisch-induktive Durchflussmesser (MID) zur Steuerung und Fernüberwachung. Zur Sicherheit mit automatischer Notabschaltung der Anlage wurden in jedem Behälter unabhängige Überfüllsicherungen vom Typ VEGASWING 63 installiert.

Messtechnik:

Auf der Anlage befinden sich zwei mobile Multiparametersonden, welche die Parameter Wassertemperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und Trübung im Gewässer bzw. den Ablaufschächten der Filter messen. Der Messstandort kann flexibel gewechselt werden. Die kontinuierlichen Messwerte (Mittelung alle 15 Minuten) werden von einem Datenlogger der Firma OTT gleichzeitig gespeichert und online per GSM an den Server des Vereins Flussbad Berlin übermittelt.

Für die Intensivbeprobung werden 3 automatische Probenehmer verwendet. In der Bugkammer befindet sich ein Kühl- und Gefriergerät für die Probenaufbewahrung. Die mit einem Kühlakku ausgestatteten Probenehmer (Liquiport 2010 CSP44 von Endress + Hauser) besitzen 24 mal 1 Liter Probeflaschen.

Bei der regelmäßigen Probenahmen wurden die Parameter Temperatur, Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit und pH-Wert unmittelbar vor Ort mit einem mobilen Messgerät mithilfe von Sensoren gemessen.

Automatische Probenehmer:

Als automatische Probenehmer für die Intensivbeprobungen wurden tragbare automatische Probenehmer Typ Liquiport CSP44 der Firma Endress und Hauser eingesetzt. Diese waren mit jeweils 24 1-Liter PE-Behältern für die Probensammlung ausgestattet. Sie wurden mittels Kühlpatronen gekühlt.

3.2 Multiparametersonden

Die online - Messung von Sauerstoffgehalt, Trübung und Chlorophyll im Gewässer sowie nach der Wasserbehandlung soll die Wirkung der Filteranlage bezogen auf wichtige schnell veränderbare Parameter in kurzen Abständen darstellen. Die Änderung der Leitfähigkeit im Flusswasser soll darüber Auskunft geben, ob aktuelle Regenwasser- oder Mischwassereinleitungen vorliegen, die Änderungen in der chemische Wasserqualität erwarten lassen.

Die beiden vom Werk kalibrierten Sonden wurden zur Überprüfung der Plausibilität wiederholt nebeneinander an verschiedenen Messstellen (Flusswasser oder Filterablaufschächte) parallel betrieben.

Dabei wurde bei den Parametern Chlorophyll und Trübung eine hohe Streuung der Messwerte beobachtet. Während beim Chlorophyll zeitweilig keine Korrelation der parallel arbeitenden Sonden festgestellt wurde, konnte bei der Trübungsmessung zumindest eine Korrelation der gleitenden Mittelwerte beobachtet werden.

Die Parameter Sauerstoffgehalt und Leitfähigkeit erwiesen sich als vertrauenswürdig, da sich zu keiner Zeit signifikante Unterschiede zwischen den Messungen der beiden

Sonden ergaben und diese zudem bei der Überprüfung mit der offline Sonde (Handmessgerät oder Laborwerte) übereinstimmten.



Abbildung 3: Multiparametersonde, Messkopf mit rotierender Bürste zur Reinigung (rechts)

Insbesondere bei der Messung von partikulären nicht homogen suspendierten Stoffen in niedrigen Konzentrationen ist von einer zufälligen Verteilung der Stoffe im Gewässer auszugehen, so dass nicht unbedingt von einer Fehlfunktion der Sonden auszugehen ist, wenn zwei Sonden im gleichen Medium nicht den selben Momentanwert anzeigen. Dies könnte bei der Chlorophyll-a Messung und der Trübungsmessung der Fall sein.

Die beiden Hach Sonden wurden in 2018 zweimal an Ott Hydroservice zur Prüfung und Kalibrierung eingesandt. Nachstehend ist die Streuung der Messwerte an Hand der Häufigkeit von Ausreißern dargestellt. Dies sind Werte, die vom Momentanwert einmalig um 10 µg/l (Chlorophyll-a), 1000 µS/cm (Leitfähigkeit) und 20 NTU (Trübung) abweichen. Eine Auflistung der aufgetretenen Ausreißer vor und nach der Kalibrierung (durchgeführt von Ott Hydroservice im Juli 2018) ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Anzahl der Ausreißer und Gesamtanzahl der gemessenen Werte, 2018

Anzahl Ausreißer:	Chlorophyll-a (> 10 µg/l)	Sauerstoff (mg/l)	Leitfähigkeit (> 1000 µS/cm)	Trübung (> 20 NTU)
Mai-Juli: Sonde 1	2023	0	37	6
Mai-Juli: Sonde 2	114	0	0	6
Aug-Okt: Sonde 1	11	0	0	178
Aug-Okt: Sonde 2	7	0	0	47
Messwerte gesamt je Sonde	16875	16875	16875	16875

Vor dem Einsatz der Sonden im Mai waren diese vom Werk kalibriert worden. Im Zeitraum Mai bis Juli wurden dann im Einsatzbetrieb bei der Chlorophyll-a Sonde 1 mehr als 20 mal so viele Ausreißer im Vergleich zu Sonde 2 festgestellt. Nach der erneuten Werkskalibrierung im Juli kamen nur noch wenige Ausreißer vor. Bei der Trübungssonde

hatten sich diese indes erhöht. Es ist wahrscheinlich, dass im Juli die Empfindlichkeit der Chlorophyll-a Sonden verringert und die der Trübungssonde erhöht wurde. Von Ott Hydroservice wurden keinerlei Erläuterungen dazu gegeben, was die Überprüfung der Sonden ergeben hatte.

3.2.1 Eignung der Chlorophyll-a Sonde

Die Messgenauigkeit der Parameter wird vom Hersteller für die verwendeten Chlorophyll-a und Trübungssonden wie folgt angegeben:

Tabelle 5: Spezifikationen der Sensoren für Chlorophyll-a und Trübung

	Chlorophyll-a	Trübung
Messbereich	0,1-500 µg/L	0-3000 NTU
Messschritt	0,01 µg/L	0,1 NTU bei 0-400 NTU; 1 NTU bei > 400 NTU
Messgenauigkeit	± 3% oder ± 0,1 µg/L (der größere Wert)	± 1% bis 100 NTU; ± 3% bei 100-400 NTU; ± 5% bei 400-3000 NTU

Abbildung 4 zeigt den Verlauf der Konzentrationen im August für Chlorophyll-a der beiden nebeneinander im Fluss aufgehängten Sonden. Die Breite der Linie entspricht der zulässigen Messgenauigkeit. Diese kann neben weiteren Spezifikationen für Trübungs- und Chlorophyll-a Sensor Tabelle 4 entnommen werden. Aus der Abbildung ist eine geringfügige Drift von Sonde 1 abzulesen, deren Messwerte zu Beginn signifikant oberhalb derer von Sonde 2 lagen, was sich nach 2 Wochen umgekehrt hat.

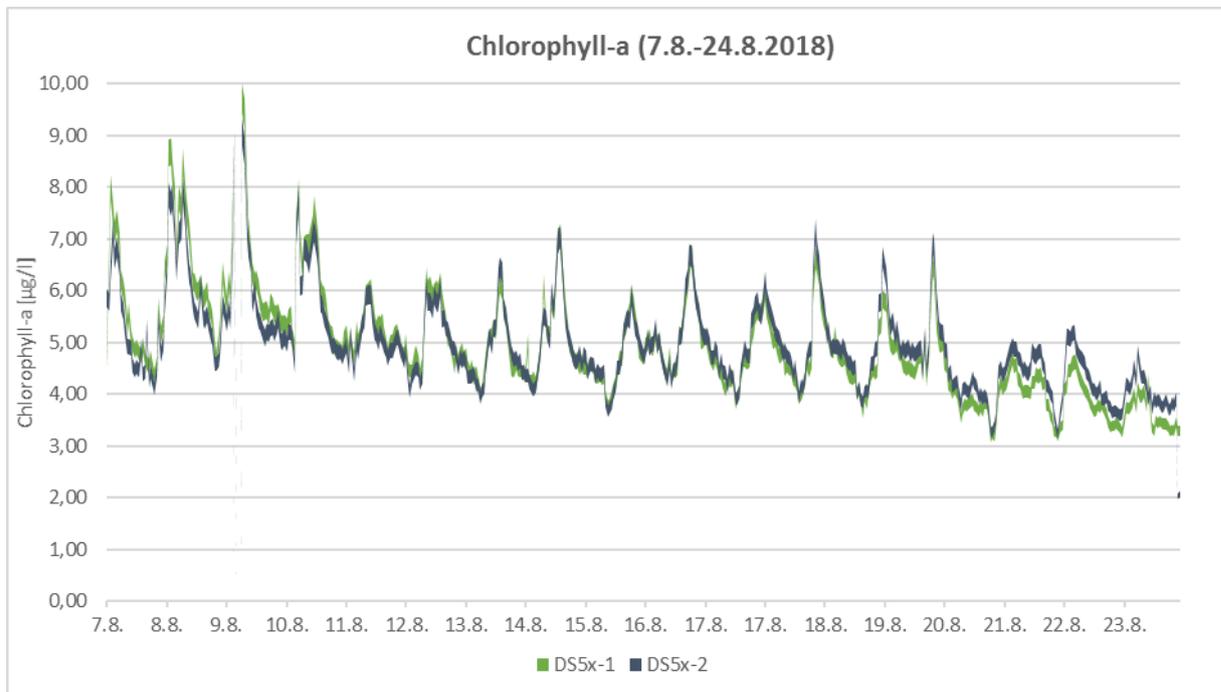


Abbildung 4: Vergleich der Chlorophyll-a Messwerte beider Sonden (inkl. Messgenauigkeit) im Zeitraum 07.08.-24.08.2018

Obwohl der gemessene Verlauf hinsichtlich der Tag-/Nacht-Schwankungen im Flusswasser plausibel ist und der Photosyntheseaktivität der Algen entspricht, widersprechen die absoluten Konzentrationswerte dem optischen Bild in der Spree, denn im August war die Algenblüte deutlich sichtbar.

Um die Aussagekraft der angezeigten Chlorophyll-a Werte zu prüfen, wurde diese gem. Tabelle 6 mit den Ergebnissen der Laboranalysen von PWU verglichen. Hierfür wurden aus jeweils 7 aufeinanderfolgenden 15 Minuten-Mitteln ein 1,5 Stunden Mittel berechnet.

Dieser Vergleich ergibt keinen logischen Zusammenhang. Solange die Werte in der Spree niedrig sind, schwanken auch die Werte der Sonde im niedrigen Bereich. Wenn die Werte in der Spree ansteigen (laut Messungen des Labors) verweilen die Messwerte der Sonden im niedrigen Bereich.

Unabhängig von den möglichen Ursachen ist festzustellen, dass diese Chlorophyllsonden für den beabsichtigten Zweck nicht geeignet sind. Eine offensichtliche Algenblüte wird nicht erkannt, obwohl diese gemäß den Laborwerten mit einem erheblichen Anstieg der Chlorophyll-a Konzentration verbunden ist.

Da die Planktonuntersuchungen hier keine generell atypischen Algenzusammensetzungen aufweisen, gibt es keinen nachvollziehbaren Grund, warum diese Sonden in diesem Gewässer nicht zum Monitoring der Phytoplankton Entwicklung geeignet sein sollten. Es wäre zu prüfen, ob Sonden anderer Hersteller diese Anforderungen erfüllen.

Tabelle 6: Vergleich Chlorophyll-a Laborwerte mit den online-Werten (1,5 h Mittel)

Datum	Ort der Probenahme	Analysewert PWU [$\mu\text{g/l}$]	DS5x-1 [$\mu\text{g/l}$]	DS5x-2 [$\mu\text{g/l}$]
04.05.2018 11:30	Spreekanal	<1	1,54	1,49
08.05.2018 11:30	Spreekanal	1,46		1,81
18.05.2018 09:00	Spreekanal	<1	2,59	
18.05.2018 09:00	Ablauf Filter 1	4,55		2,16
25.05.2018 12:15	Spreekanal	1,46	2,88	
25.05.2018 12:15	Ablauf Filter 1	<1		1,42
29.05.2018 10:30	Spreekanal	4,37	4,75	
29.05.2018 10:30	Ablauf Filter 1	1,46		2,29
08.06.2018 10:00	Ablauf Muschelfilter	3,2		4,32
22.06.2018 10:00	Spreekanal	15,33		2,49
22.06.2018 10:00	Ablauf Muschelfilter	4,6	6,72	
29.06.2018 08:00	Spreekanal	3,07		4,36
29.06.2018 08:00	Ablauf Muschelfilter	1,53	2,35	
06.07.2018 10:00	Spreekanal	2,91		4,24
06.07.2018 10:00	Ablauf Muschelfilter	1,46	2,23	
10.08.2018 08:30	Spreekanal	31,2	5,51	5,28
17.08.2018 08:30	Spreekanal	29,12	4,15	4,30
24.08.2018 10:00	Spreekanal	15,33	3,34	3,07
31.08.2018 09:00	Spreekanal	17,8	2,59	
31.08.2018 09:00	Ablauf Filter 2	4,6		2,16
07.09.2018 10:00	Spreekanal	18,99	2,57	
07.09.2018 10:00	Ablauf Filter 2	4,6		2,03

Zur Dokumentation werden die online-Messergebnisse im Ergebnisteil dieses Berichtes jedoch dargestellt. Von einer Auswertung wird abgesehen. Die Darstellung und Veröffentlichung dieser online-Werte auf der Homepage des Vereins oder an anderer Stelle

würde zu irrtümlichen Interpretationen führen. Von daher wird von einer weiteren Verwendung dieser Sonden abgeraten.

3.2.2 Eignung der Trübungssonde

Ein Vergleich der beiden Sonden nach der letztmaligen Herstellerkalibrierung zeigt, dass diese grundsätzlich einen parallelen Verlauf anzeigen, aber die Messwerte von Sonde 1 im Mittelwert um 27% über den Werten der Sonde 2 liegen. Bei diesem Parameter wurden jeweils drei aufeinanderfolgende 15-Minuten-Messwerte gemittelt. Abbildung 5 zeigt den entsprechenden Konzentrationsverlauf nach Korrektur der Messwerte von Sonde 2 mit dem Faktor 1,27.

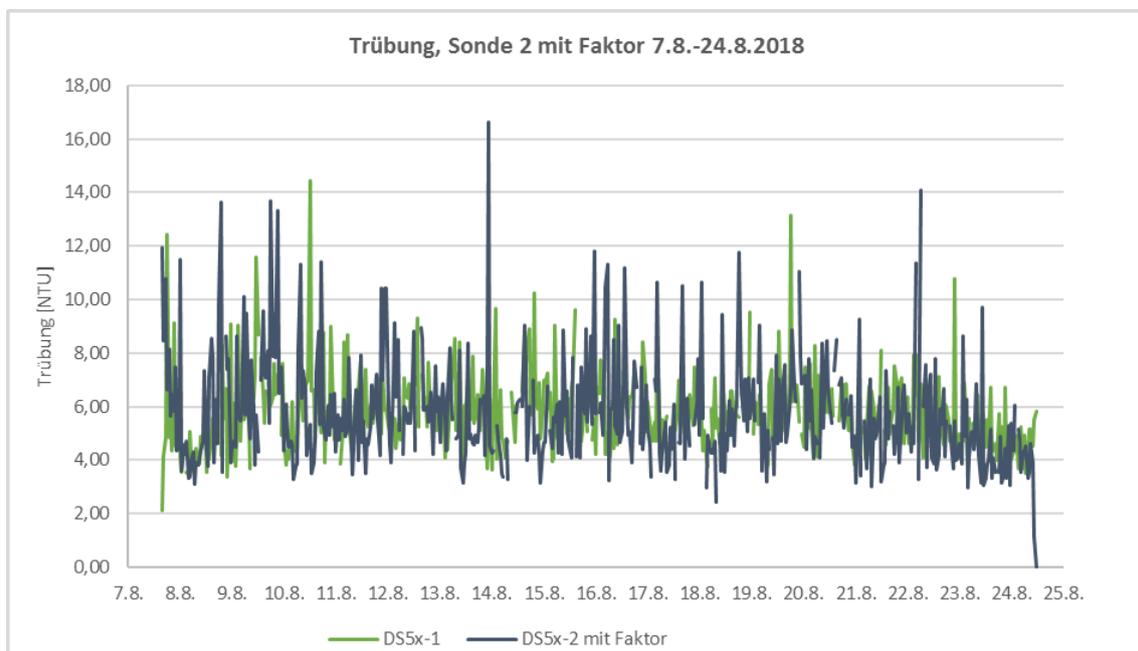


Abbildung 5: Vergleich der Trübungs-Messwerte beider Sonden (inkl. Messungenauigkeit) im Zeitraum 07.08.-24.08.2018

Eine Kalibrierung bzw. Vergleich mit Laborwerten wäre in diesem Fall wegen der im zeitlichen Verlauf wenig konstanten Verhältnisse nicht sinnvoll oder nur unter großem Aufwand möglich.

Die Trübungsmessung kann dennoch im Vergleich zwischen zwei Messstationen bereits einen schnellen Hinweis für die Veränderung der Wasserqualität liefern. In diesem Sinne können die Werte im Ergebnisteil zumindest ab August 2018 unter der Annahme eines gleichbleibenden Faktors (solange die Sonden keine unterschiedliche Drift aufweisen) zum Vergleich zwischen Flusswasser und Ablauf der Testfilter verwendet werden (siehe unten).

Bei Annahme einer Verweilzeit in den Filtern von mehr als 1 Stunde ist es auch sinnvoll, bei der Auswertung mindestens drei aufeinanderfolgende 15-Minuten Werte zu mitteln und diese Werte zu vergleichen.

Bei der online-Ausgabe auf der Homepage des Vereins ist dies ggf. zu berücksichtigen oder es müsste die Parametrierung im Ott Datenlogger entsprechend verändert werden, so dass hier keine 15-Minutenwerte, sondern entsprechende 45-Minuten-Mittel ausgegeben werden.

3.3 Optimierungen an der Versuchsanlage

3.3.1 Änderungen im Jahr 2017

Rückflussverhinderer:

Es wurde festgestellt, dass die einfachen Rückschlagklappen der Pumpen (Gummi-klappen) bei der geringen Wassersäule nicht dicht genug schließen, um Beeinflussungen zwischen den Filtern auszuschließen. Aus diesem Grund wurden in die Ablaufleitungen der Filter zusätzlich federbelastete Rückflussverhinderer eingebaut.

Abwurfvorrichtungen:

Es wurde beobachtet, dass sich im Bereich der Rohrauslässe im Zulauf der Filter je nach Filtermaterial Auskolkungen bildeten. Um dies zu verhindern, wurden zusätzlich Verteilerrohre mit freiem Auslauf über die gesamte Filterbreite installiert.

Abzugsvorrichtung im Frischwasserbecken:

Zu Beginn des Betriebs bildete sich auf der Wasseroberfläche des Frischwasserbeckens ein dichter Film aus Blütenstaub und Laub. Da die Abwurfpumpe mittig aus dem Wasserkörper förderte, wirkte diese Konstruktion wie eine Tauchwand, so dass Schwimmstoffe nicht abfließen konnten. Aus diesem Grund wurde die Tauchpumpe in einen separaten Behälter installiert, dessen Rand als Überlaufkante (Skimmer) fungiert. Dies entspricht den Verhältnissen in Schwimmbecken und würde auch im großen Maßstab dem Verhältnis im Auslauf des Spreekanals vor der Einmündung in die Spree über ein Wehr (Fischbauchklappe) entsprechen.

3.3.2 Änderungen im Jahr 2018

Umbau der Zulaufpumpen:

Am 8.6.2018 wurden neue Zulaufpumpen (JUNG Pumpen Modell U5 K) für die drei Festbettfilter sowie den Muschelfilter eingebaut. Hiermit sollte eine höhere tägliche Beschickungsrate der Filter von bis zu 10 m/d erreicht werden.

Änderung der Probenahme:

Ab dem 09.06.2018 erfolgte die Probenahme im Ablauf der Filter nicht mehr als Schöpfprobe aus den Drainagesammelschächten, sondern über zusätzliche Probenahmehähne, die in die abgehenden Druckleitungen eingebracht wurden. Hiermit sollte verhindert werden, dass die Proben durch Stagnation in den Drainagesammelschächten oberhalb der Abwurfpumpen beeinflusst werden.

UV-Anlage:

Im Juni 2018 wurde die von Xylem gesponserte UV-Anlage Spectron 6 in der Bugkammer eingebaut und in Betrieb genommen. Aufgrund eines defekten Fühlers kann die Bestrahlungsintensität jedoch nicht überwacht werden. Vermutlich entspricht diese jedoch den Sollwerten, da zu Versuchsbeginn eine neue UV-Lampe eingebaut wurde.

Beschickung Frischwasserbehälter:

Mitte Juli 2018 wurde die Einströmung des Reinwassers aus den Filtern in den Frischwasserbehälter umgebaut. Der Zulauf erfolgt jetzt nicht mehr über ein getauchtes Rohr, sondern über einen freien Auslauf auf die Wasseroberfläche. Dadurch wird das Reinwasser im Zulaufbereich besser eingemischt, was einer horizontalen Schichtung im Frischwasserbehälter entgegenwirken soll.

Einbau Bypassleitung in der Bugkammer:

Es erfolgte der Einbau einer Bypassleitung, die es ermöglicht, den Zulaufstrom zum Frischwasserbehälter aufzuteilen in einen Teilstrom in den Frischwasserbehälter und einen zweiten Teilstrom, der in den Spreekanal mündet. Dadurch ist es möglich, Filter und Frischwasserbehälter mit unterschiedlichen Volumenströmen zu beschicken. Diese Änderung war notwendig, um die Durchströmung bzw. Aufenthaltszeit im Frischwasserbehälter unabhängig vom Volumenstrom der Filter einstellen zu können.

3.4 Chemische, physikalische und biologische Untersuchungen

Die für die verschiedenen chemischen und bakteriologischen Parameter verwendeten Messmethoden und deren Bestimmungsgrenzen sind in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 7: Bestimmungsmethoden und deren Bestimmungsgrenzen

Parameter	Einheit	Bestimmungsmethode	Bestimmungsgrenzen	
P ges, gesamt	[mg/l]	DIN EN ISO 6878-D11	<0,01	
Orthophosphat, gelöst	[mg/l]	DIN EN ISO 6878-D11	<0,0010	
P partikulär	[mg/l]	DIN EN ISO 11885-E22	<0,01	
N ges, gelöst	[mg/l]	DIN EN 12260 (I-134)	<0,05	
Ammonium-N, gelöst	[mg/l]	DIN 38406-E5-1	<0,0010	
Nitrat-N, gelöst	[mg/l]	DIN EN ISO 10304-D20	<0,010	
Nitrit-N, gelöst	[mg/l]	DIN EN 26777-D10	<0,010	
AFS, gesamt	[mg/l]	DIN 38 409 H2	<2	
BSB 5, gesamt	[mg/l]	DIN EN 1899-1-151	<3	
TOC homogenisiert, gesamt	[mg/l]	DIN EN 1484	<1	
DOC, gelöst	[mg/l]	DIN EN 1484	<1	
Chlorophyll-a, gesamt	[µg/l]	DIN 38412 L 16	<1	
Phaeopigment, gesamt	[µg/l]	DIN 38412 L 16	<1	
Basenkapazität, gesamt	[mmol/l]	DIN 38 409-H7	-	
Säurekapazität, gesamt	[mmol/l]	DIN 38 409-H7	-	
E.coli, gesamt	[MPN/100ml]	DIN EN ISO 9308-3	<15	>35000
Intestinale Enterokokken, gesamt	[MPN/100ml]	DIN EN ISO 7899-1	<15	>35000
Coliforme Keime, gesamt	[MPN/100ml]	UBA Bundesgesundheitsblatt 10/1995, nach Anreicherung mit BRILAMUG	<30	>11000
Koloniezahl (KBE) bei 36°C, gesamt	[KBE/ml]	DIN EN ISO 6222	<30	>400000

Wenn Parameter unterhalb der Messgrenze der jeweiligen Untersuchungsmethode waren, wurde für statistische Beschreibungen ein Wert 50% der Bestimmungsgrenze verwendet. Insbesondere die Bestimmung von Wirkungsgraden bzw. c/c_0 kann dadurch erheblich fehlinterpretiert werden.

Bei den mikrobiologischen Parametern wurden die Vorgaben der BadeGewVO angewandt, soweit möglich. Coliforme Keime wurden mangels Vorschrift nach dem vom UBA empfohlenen Verfahren (Anreicherung mit BRIMALUG) untersucht. Dieses wird auch von der Gewässeraufsicht angewendet.

Die physikalischen Parameter Temperatur und Leitfähigkeit sowie Sauerstoffgehalt und pH-Wert wurden mittels Aqua TROLL 600 Multiparameter Sonde der Firma In-Situ gemessen.

Die Phytoplankton-Proben wurden geschöpft, mit Lugolscher Lösung fixiert und unter dem Mikroskop (Sedival, Umkehrmikroskop Fa. Zeiss, maximal 400-fache Vergrößerung) ausgezählt und bestimmt.

Die Makrozoobenthosproben wurden mit einem Kescher eingefangen, mit Alkohol fixiert und unter dem Mikroskop (Sedival, Umkehrmikroskop Fa. Zeiss, maximal 400-fache Vergrößerung) bestimmt und gezählt.

Die Zooplankton-Proben wurden mittels Planktonnetz geschöpft, mit Alkohol fixiert und unter dem Mikroskop (Sedival, Umkehrmikroskop Fa. Zeiss, maximal 400-fache Vergrößerung) ausgezählt und bestimmt.

Die Muschel-Proben wurden abgebürstet, mit Alkohol fixiert und unter dem Mikroskop (Sedival, Umkehrmikroskop Fa. Zeiss, maximal 400-fache Vergrößerung) ausgezählt und bestimmt.

Für alle Probenahmen wurden vom Labor zur Verfügung gestellte, saubere und ggf. sterilisierte oder mit Säure versetzte Spezialflaschen benutzt. Nur in den Fällen der Intensivbeprobung mittels automatischen, gekühlten Probenehmern erfolgte die Probensammlung in nicht sterilisierten Gefäßen. Allerdings wurden die Sammelflaschen jeweils mit Wasser in Trinkwasserqualität mindestens 3 mal umgespült. Bei Entnahme der Proben aus dem Probenehmer wurden diese in sterilisierte Flaschen umgefüllt und bis zu Abholung in den Kühlschrank gestellt.

Alle chemischen und mikrobiologischen Analysen wurden durch das akkreditierte Labor PWU aus Potsdam durchgeführt. In der Regel liegen keine Mehrfachbestimmungen vor. Plausibilitätsprüfungen wurden von uns vorgenommen.

4 Versuchsphasen

4.1 Einfahrbetrieb 2017

4.1.1 Allgemeines

Die Testfilteranlage wurde Mitte Sommer 2017 an ihren vorgesehenen Liegeplatz im Spreekanal gebracht. Zu dieser Zeit war wegen des Ausfalls des Wehrs an der Sportbootschleuse kein Durchfluss im Spreekanal, weswegen zunächst nur allgemeine Tests durchgeführt wurden und das grundsätzliche Funktionieren der Anlagenteile getestet werden konnte. Hierbei wurden die Tests der Filterfunktionen abgeschlossen. Der Frischwasserbehälter konnte während der Testperiode in 2017 nicht gefüllt und getestet werden, da am Liegeplatz nicht ausreichend Tauchtiefe zur Verfügung stand.

Erste erkundende Filterversuche fanden ab Ende September 2017 statt, also am Ende bis außerhalb der eigentliche angestrebten Versuchszeiten. Der für den Einfahrbetrieb eingestellte Durchfluss war in allen Filtern 2,5 m³/h. In der untersuchten Zeit war im Spreekanal ein vergleichsweise hoher Durchfluss zu beobachten, grob geschätzt ca. 10 m³/s, was zu früheren Zeitpunkten nicht der Fall war.

4.1.2 Tracerversuch zur Hydraulik

Um die hydraulische Verteilung der Festbettfilter zu erproben, wurden Tracertests mit Uranin (Fluoreszin) an der Anlage (Festbettfilter 1, 2 und 3) durchgeführt (vgl. Tabelle 8). Hierbei wurde für Filter 1 gezeigt, dass keine Kurzschlussströmungen herrschen und es zu einer gleichmäßigen Verteilung im Überstau kommt. Dies lässt den Schluss zu, dass alle Filterabschnitte zur Filterleistung beitragen. Bei Filter 2 war der zeitliche Verlauf des Tracers im Filter etwas ungleichmäßiger als in Filter 1, was an dem grobporigen Filtermaterial liegen kann. Hier kommt es zu unterschiedlich langen Fließwegen. Dieser Effekt wird ggf. durch eine unregelmäßige Bepflanzung verstärkt, was sich ebenfalls auf die Verteilung im Überstau auswirkt. Bei Filter 3 war die Durchbruchkurve des Tracers am steilsten, was für eine sehr gleichmäßige Durchströmung des Filters spricht. Die Verteilung im Überstand war aufgrund der Bepflanzung nur schwierig zu beobachten.

Tabelle 8: Ergebnisse der Tracertests in den Festbettfiltern 1, 2 und 3

	Mittlere Verweildauer im Filter (50 % der Tracermenge) [min.]	Zeit bis Filter - Überstand gleichmäßig durchmischt ist [min.]
Filter 1	235-280, je nach Messgerät	37
Filter 2	240	55
Filter 3	225	65

4.1.3 Ergebnisse der Beprobung

In Filter 1 kam es zu einer signifikanten Erhöhung der Chlorophyll-a-Konzentration durch sekundäres Algenwachstum, wobei vor allem Kieselalgen in größerer Menge beobachtet wurden. Ansonsten reduzierten die Filter die Chlorophyll-a-Konzentration signifikant.

Vermutlich auch bedingt durch den erhöhten Abfluss der Spree waren im Fluss neben den Algen noch große Mengen an anderen Partikeln zu beobachten. Nur ca. 1% des Partikelvolumens in der Spree bestand aus Algen.

Im Muschelfilter wurde dieses Verhältnis nicht beeinflusst. Allerdings wurde das Biovolumen der lebenden Algen im Muschelfilter am meisten reduziert.

Dagegen stieg der Anteil an Algen an den Feststoffen im Ablauf bei den Filtern teilweise signifikant an (auf bis zu 30%), am stärksten bei Filter 1.

Alle Festbettfilter reduzierten das Gesamtvolumen signifikant um mindestens eine 10er-Potenz, wohingegen im Muschelfilter nur eine Halbierung des Gesamtvolumens stattfand, wobei ein vergleichsweise hoher Anteil an Detritus verblieb.

Hinsichtlich der Keimanzahl war festzustellen, dass alle Filter eine Reduktion der Indikatorkeime bewirkten, wobei Filter 3 am besten abschnitt und der Muschelfilter die geringste Reduktion aufwies. Möglicherweise lag die bessere Wirkung von Filter 1 daran, dass der Muschelfilter vorgeschaltet war. Allerdings war die Zahl der Werte sehr klein, dass definitive Aussagen zu diesem Zeitpunkt nicht sinnvoll waren.

Gute Badegewässerqualität nach EU-Richtlinie bezüglich der Parameter *E. coli* und Enterokokken wurde in der „Saison“ im Ablauf aller Filter erzielt (95% der Werte <1.000 bzw. 500). Die weitergehenden Empfehlungen des UBA (95% der Werte <100 bzw. 50) wurden nur in dem bepflanzten Kiesfilter (Filter 3) eingehalten. *E. coli* und Enterokokken lagen hier sehr deutlich unter den Empfehlungen.

Der Anstieg der nicht gesundheitsrelevanten Gesamtkeimzahl im Ablauf von Filter 3 bei erhöhter Sauerstoffzehrung deutete hier auf die größte biologische Aktivität hin.

Der Bewuchs der Muschelmatten hatte sich bis Ende 2017 sehr gut entwickelt, vor allem hinsichtlich der Muschelgröße. Der untere Teil der Matten war eher schlecht bewachsen, was eventuell an der schlechteren Versorgung mit Nahrung lag.

Filter 1 wurde ohne extra Pflanzen betrieben. Im Ergebnis zeigte sich eine starke Lemna sp. - Entwicklung mit einer teilweise cm-dicken Schicht, die nur durch Abschöpfen entfernt werden konnte.

Die submersen Pflanzen in Filter 2 waren stark durchsetzt mit Fadenalgen, was mittel- bis langfristig zu Problemen führen wird. Es bildete sich eine Biozönose mit Fischen und Kleintieren im Überstand heraus.

Filter 3 ist mit Schilf bepflanzt worden. Hier bildete sich zwischen den Schilfpflanzen je nach Lichtverhältnissen ebenfalls Lemna sp. – Bewuchs heraus, allerdings nicht so stark wie in Filter 1 und mit der Zeit abnehmend. Es bildete sich ebenfalls eine Biozönose mit Fischen und Kleintieren im Überstand heraus.

4.1.4 Schlussfolgerungen aus dem Einfahrbetrieb/ zweite Jahreshälfte 2017

Aufgrund der besonderen Umstände im Gewässer und wegen der kurzen Versuchszeit konnten allenfalls Tendenzen hinsichtlich der Filterwirkung beobachtet werden. Die Einfahrphase wurde vor allem zum Aufbau der Biomasse in den Filtern benötigt, um im folgenden Versuchszeitraum einen vollständigen Jahreszyklus beproben zu können.

Die Filter wurden hydraulisch noch nicht voll belastet, Belüftung und UV-Anlage konnten noch nicht erprobt werden.

Der Beitrag des Muschelfilters zur Gesamtreinigungsleistung konnte noch nicht gezeigt werden. Hier musste der Zuwachs der Muschelpopulation abgewartet werden, die sich im ersten Jahr noch nicht entwickelt hatte.

Für detaillierte Beschreibungen siehe „Betriebsbericht Flussbad Berlin, Testfilter 2017“.



Abbildung 6: Testfilter im Herbst 2017 am Liegeplatz

4.2 Versuchsbetrieb 2018

4.2.1 Standort

In 2018 wurden der Versuchsbetrieb bereits Ende März aufgenommen, obwohl sich das Schiff noch an seinem Winterplatz im Historischen Hafen, d.h. im Oberlauf des Spreekanal, befand. Im Vergleich zu den Zulaufwerten im Mai konnten im April trotz des Ortswechsels im Allgemeinen keine Unterschiede in der chemischen Wasserqualität des Gewässers festgestellt werden. Signifikant war allein die am Sommerliegeplatz erhöhte mikrobiologische Verunreinigung (vergl. Verlauf der *E. coli* Konzentrationen) und ein Anstieg der Phosphorkonzentration. Für die Bewertung der Filterleistung ist es aber nicht wesentlich, ob diese Konzentrationsschwankungen durch einen Wechsel des Standortes oder durch eine zeitliche Änderung der Wasserqualität zustande kommen. Allerdings zeigt sich hier, dass für einen repräsentativen Versuchsbetrieb der richtige Standort entscheidend ist. Insofern bietet eine mobile Versuchsanlage wie diese große Vorteile.

4.2.2 Betriebseinstellungen

Die wichtigsten Betriebsparameter sind in Tabelle 9 zusammengefasst. In einer dreimonatigen Anlaufphase bis Juni wurde in etwa der nominale Durchfluss gemäß Vorstudie getestet. Anschließend wurden Einstellungen gewechselt, wobei nach Möglichkeit mindestens drei Wochen für die Beprobung zur Verfügung standen.

Tabelle 9: Übersicht Betriebsphasen (Filterkombinationen) 2018 (z.B. März – Juni, in Fließrichtung: Mu + F1 + FW)

2018	März	April	Mai	Juni	Juli				August	September		Oktober								
Umstellung:	23.03.				06.07.	17.07.	23.07.	10.08.	23.08.	19.09.	15.10.									
Filter 1	MU	F1	FW		MU	F1	F1	UV	MU	F1	UV	FW	F1	UV	F1	UV	MU	F1	UV	
Filter 2	F2				F2	UV	F2		F2		F2	MU	F2	FW	MU	F2	FW	F2		
Filter 3	F3				F3	FW	MU	F3	FW		MU	F3	FW		F3			F3	FW	
Q Mittel [m³/h]	↗	3,3			↑ 4,8	↑ 4,8	→ 2,9	↑ 5,0	↑ 4,8	↑ 5,0	↑ 4,4	→ 2,6	↑ 5,0	↑ 4,4	→ 2,6	↑ 5,0	↑ 4,4	→ 2,6	↑ 5,0	
	↗	3,8			↑ 4,7	↑ 5,1	↑ 4,7	↑ 5,0	↑ 4,4	→ 2,6	↑ 5,0	↑ 4,4	→ 2,6	↑ 5,0	↑ 4,4	→ 2,6	↑ 5,0	↑ 4,4	→ 2,6	
	↗	3,7			→ 2,9	→ 2,7	↓ 0,0	→ 2,7	↓ 0,0	↘ 2,0	→ 2,6	↓ 0,0	↘ 2,0	→ 2,6	↓ 0,0	↘ 2,0	→ 2,6	↓ 0,0	↘ 2,0	

In Tabelle 10 sind die verschiedenen Anlagenteile und die dazugehörigen Probenahmestellen mit ihrer Nummerierung und den dazugehörigen Kurzbezeichnungen dargestellt. Die Nummerierung wird auch in den folgenden Tabellen verwendet.

Im Verlauf der Versuche wurden die Anlagenteile unterschiedlich miteinander gekoppelt. In Tabelle 11 ist im Detail dargestellt, in welchen Zeiträumen welche Anlagen ihren Ablauf jeweils in welche nachfolgende Anlage eingeleitet haben. Dem Muschelfilter ist immer ein anderer Filter nachgeschaltet. Dem Frischwasserbehälter ist immer entweder nur ein Filter oder ein Filter und die UV-Anlage vorgeschaltet. Wenn ein Filterablauf nicht in die UV-Anlage oder den Frischwasserbehälter geht, wird er direkt in den Spreekanal abgeworfen und nur zur Beprobung der Filterqualität verwendet.

Die drei Festbettfilter können zur besseren Sauerstoffversorgung künstlich belüftet werden, um die Abbauprozesse in den Filtern zu verbessern und den Restsauerstoffgehalt im Gewässer zu erhöhen. In Tabelle 12 ist dargestellt, welche Filter zu welchem Zeitpunkt künstlich belüftet wurden. In der Versuchsperiode wurde in der Regel nur intermittierend belüftet in dem Rhythmus 10 Minuten Betrieb, 20 Minuten Pause. Das Gebläse wurde am 26.10.2018 ausgestellt.

Filter 3 war während des Sommers zweimal weitgehend kolmatiert, weswegen dieser zur Regeneration schließlich zeitweise belüftet, aber nicht mehr durchflossen wurde.

Die Versuchsanlage ist mit zwei kontinuierlich messenden Multiparametersonden ausgestattet. In Tabelle 13 ist dargestellt, in welchen Zeiträumen welche Sonde in welchem Anlagenteil verwendet wurde. Die Sonden waren vom 06.07.-07.08.2018 beim Hersteller zur Kalibrierung eingeschickt. Die unterschiedlichen Daten zum Ort 1 (Spreekanal) kommen dadurch zu Stande, dass zuerst in Fließrichtung Sonde 2 vor Sonde 1 (bis 10.8.2018) eingehängt war und danach andersherum. In 3.2 werden die gemessenen Daten beider Sonden gegenübergestellt.

Darüber hinaus wurden die Filter mit unterschiedlichen Durchflüssen betrieben. Dies wurde zum einen bewusst herbeigeführt, zum anderen ist dies auch Folge von zufälligen Ereignissen oder der Entwicklung der Filterdurchlässigkeit. Zu den zufälligen Ereignissen gehörten zum Beispiel die wiederholt vorgekommenen Ausfälle der automatischen Steuerung bzw. der Wasserspiegelmessungen oder des Datenloggers.

Tabelle 10: Bezeichnung der einzelnen Probenahmestellen mit verwendeten Nummerierungen und Abkürzungen

Ort	Probenahmestelle	Kurz	Ort	Probenahmestelle	Kurz
0	Außer Betrieb	aus			
1	Spreekanal	Zu	8	Filter 3 Überstand	F3 Ü
2	Muschelfilter Überstand	MF Ü	9	Filter 3 Ablauf	F3 ab
3	Muschelfilter Ablauf	MF ab	10	Frischwasserbehälter	FW
4	Filter 1 Überstand	F1 Ü	11	Frischwasser Ablauf	FW ab
5	Filter 1 Ablauf	F1 ab	12	UV-Anlage Ablauf	UV
6	Filter 2 Überstand	F2 Ü	13	Sonstige	sonst
7	Filter 2 Ablauf	F2 ab	14	Ablauf Spree	ab

Tabelle 11: Betriebseinstellungen: Verschaltung der Anlagenteile
(Nummern gem. Tabelle 10. Sie zeigen die Fließrichtung an, z.B. MU -> 4)

Zeitraum		Anlagenteil					
von	bis	MU	F1	F2	F3	FW	UV
23.03.2018 09:00	06.07.2018 09:00	4	10	14	14	14	0
06.07.2018 09:01	17.07.2018 09:00	4	14	12	10	14	14
17.07.2018 09:01	23.07.2018 09:00	8	12	14	10	14	14
23.07.2018 09:01	10.08.2018 13:00	4	12	14	0	14	10
10.08.2018 13:01	23.08.2018 09:00	8	12	14	10	14	14
23.08.2018 09:00	15.10.2018 16:30	6	12	10	0	14	14
15.10.2018 16:31	11.12.2018 11:00	4	12	14	10	14	14

Tabelle 12: Betriebseinstellungen: Gebläse zur Filterbelüftung
aus, intermittierend (10 Min, jede halbe Stunde), kontinuierlich

Zeitraum		Filter		
von	bis	F1	F2	F3
18.05.2018 15:30	08.06.2018 09:00	int	int	int
17.07.2018 09:01	23.07.2018 09:00	aus	int	aus
23.07.2018 09:01	10.08.2018 13:00	aus	int	int
10.08.2018 13:01	23.08.2018 09:00	aus	int	aus
23.08.2018 09:01	19.09.2018 14:15	aus	int	int
19.09.2018 14:16	26.10.2018 13:10	aus	kont	aus
26.10.2018 13:10	11.12.2018 11:00	aus	aus	aus

Tabelle 13: Einbauorte der beiden Multiparametersonden

Zeitraum		Sonde	Kalibrierung	
von	bis		Ort	parallel
03.05.2018 09:00	18.05.2018 9:00	1, 2	1	X
03.05.2018 09:01	31.05.2018 14:00	1	1	
18.05.2018 09:01	31.05.2018 14:00	2	5	
31.05.2018 14:01	02.06.2018 9:00	1, 2	9	X
02.06.2018 09:01	08.06. 2018 9:00	2	9	
02.06.2018 09:01	22.06. 2018 9:00	1	1	
08.06.2018 09:01	22.06. 2018 9:00	2	3	
22.06.2018 09:01	29.06. 2018 9:00	1	3	
22.06.2018 09:01	29.06. 2018 9:00	2	1	
29.06.2018 09:01	06.07. 2018 9:00	1	1	
29.06.2018 09:01	06.07.2018 9:00	2	3	
07.08.2018 17:00	10.08. 2018 10:00	1	1a	X
07.08.2018 17:00	10.08. 2018 10:00	2	1b	X
10.08.2018 10:00	24.08.2018 11:29	1	1b	X
10.08.2018 10:00	24.08.2018 11:29	2	1a	X
24.08.2018 11:30	30.11. 2018 10:15	2	7	
24.08.2018 11:30	30.11. 2018 10:15	1	1	

4.2.3 Durchflussmengen

Eine wichtige Rolle kommt der Variation der Durchflüsse zu. Hiermit sollen die hydraulischen und wirkungsgradbezogenen Belastungsgrenzen der verschiedenen Filtertypen ermittelt werden. Ausgehend von einer Nettofilterfläche von jeweils 11,75 m², beträgt bei einem eingestellten Durchfluss von 1 m³/h die Flächenbelastung HLR rund 2 m/d (24 m³/d / 11,75 m²).

In den Voruntersuchungen wurde von einer machbaren Flächenbelastung von 7,6 m/d ausgegangen (Vertiefende Konzeption, Flussbad Berlin 2015). Hieraus resultiert ein erforderlicher Volumenstrom für die Testfilterflächen von 3,7 m³/h. Je größer die tatsächlich mögliche hydraulische Belastungsrate HLR ist, desto kleiner wird die erforderliche Filtergröße bei gegebenem Volumenstrom.

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 Versuchsbetrieb wurden in 2018 maximale Durchflüsse von 5 m³/h bzw. max. Raten HLR von ca. 10 m/d getestet. Das Schreiberprotokoll der Durchflussmessungen (vergl.

Abbildung 7 und Abbildung 8) zeigt sämtliche hydraulischen Belastungszustände der jeweiligen Filter und des Frischwasserbereichs an.

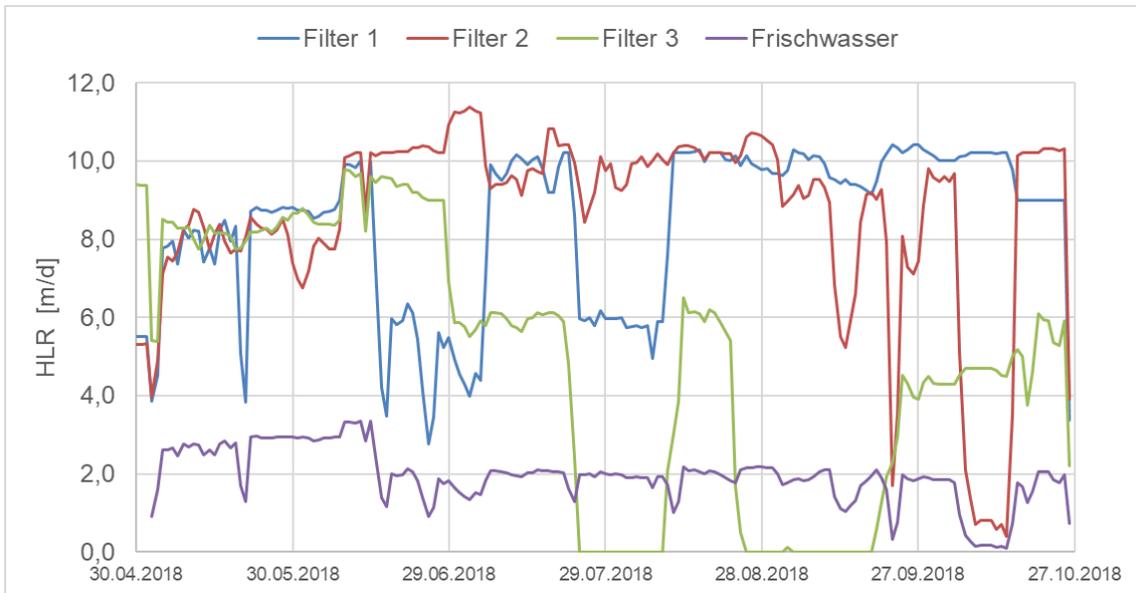


Abbildung 7: Hydraulische Belastungsraten (HLR) aller Filterstufen im Versuchszeitraum 2018

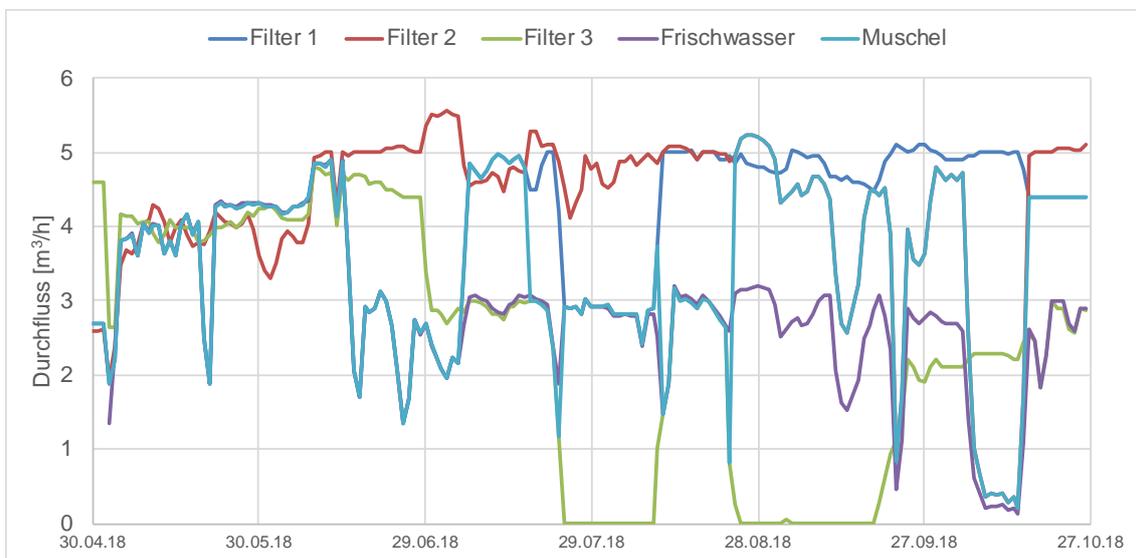


Abbildung 8: Durchflüsse aller Filterstufen im Versuchszeitraum 2018

Für den Frischwasserbereich wurde eine Aufenthaltszeit von möglichst genau 24 Stunden angestrebt. Diese Zeit wurde in der Vorstudie veranschlagt, um das Gros der möglichen Algenvermehrung durch kontinuierliches ausspülen zu verhindern. Bei einer Wassertiefe im Testbehälter von 2 m resultiert daraus eine minimale flächenbezogene Belastung von 2 m/d HLR. Aufgrund der Kolmationsprobleme im zu dieser Versuchszeit dem Frischwasserbereich vorgeschalteten Filter 3 reduzierte sich der Durchsatz im Oktober jedoch deutlich, wodurch sehr lange Aufenthaltszeiten entstanden (siehe auch Abbildung 10).

4.2.4 Aufenthaltszeiten

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.

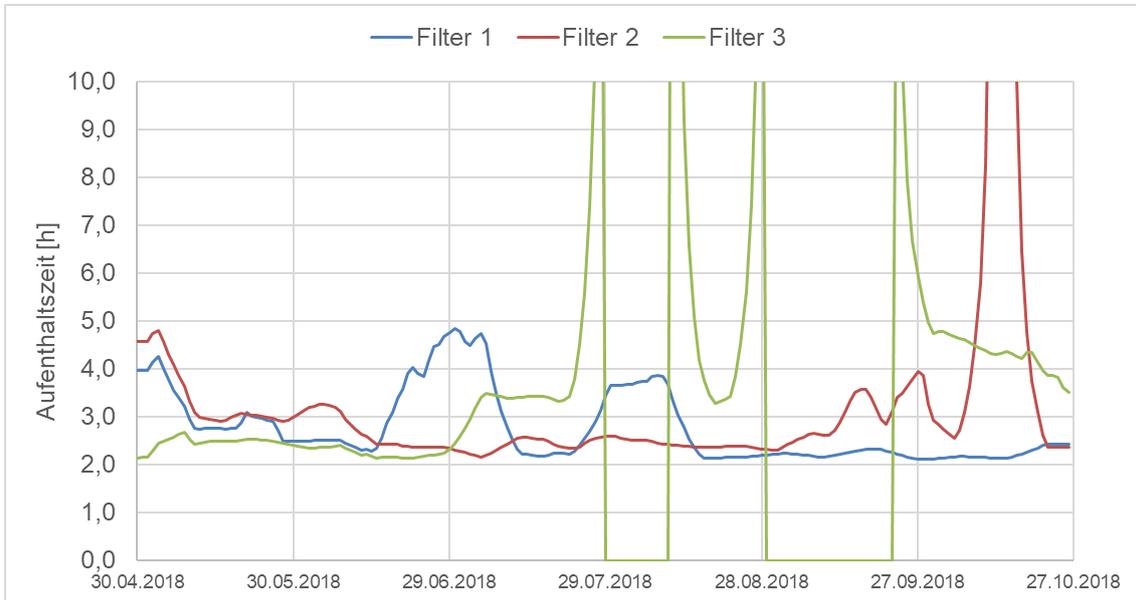


Abbildung 9: Mittlere Aufenthaltszeiten in Filter 1-3

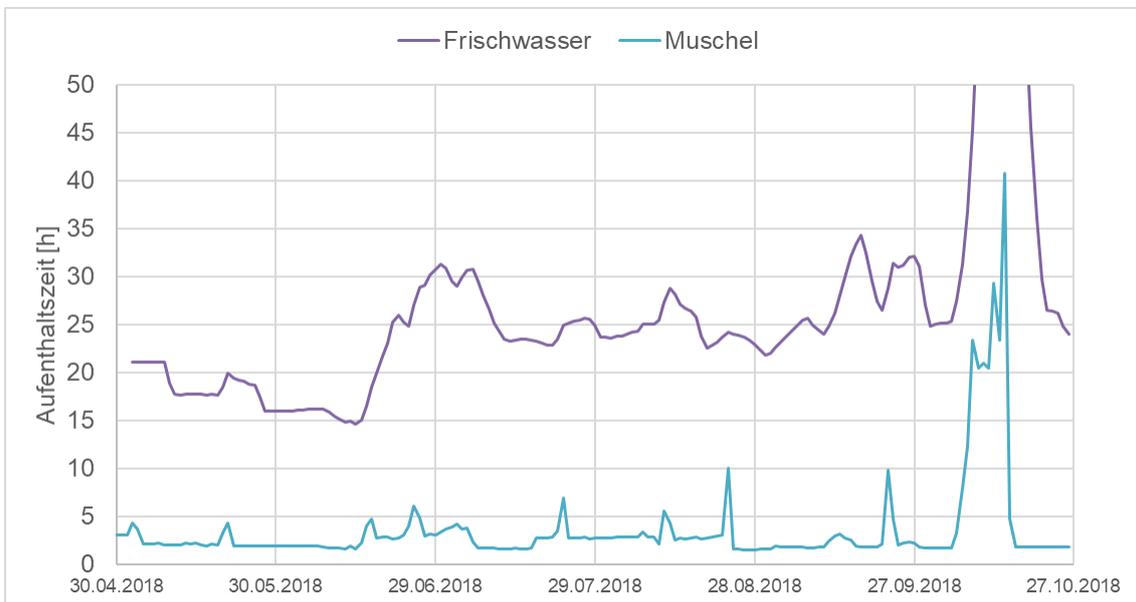


Abbildung 10: Mittlere Aufenthaltszeiten in Muschelreaktor und Frischwasserbehälter

In Abbildung 9 und Abbildung 10 werden die für die jeweiligen Betriebsphasen errechneten Zeiten aufgezeichnet. Für die Berechnungen und den Vergleich wurde hier das für den Reinigungsprozess relevante Behältervolumen, d.h. Porenvolumen zuzüglich des Filterüberstands zugrunde gelegt. Die Aufenthaltszeit in der Drainage ist wirkungslos und kann somit unberücksichtigt bleiben. Die so berechneten durchflussabhängigen mittleren Aufenthaltszeiten können bei gleichmäßiger Durchströmung, wie

hier im Tracerversuch nachgewiesen wurde, als real angesehen werden. Hiervon sind die theoretischen *Empty Bed* Kontaktzeiten zu unterscheiden, wie sie bei technischen Filtern verwendet werden.

Tabelle 14: Berechnungsgrundlage Aufenthaltszeiten

	Oberfläche	Filtermaterial Tiefe	Volumen Filtermaterial	Porenvolumen	Füllvolumen Poren FM	Überstand	Wasservolumen	Durchfluß	Aufenthaltszeit	Oberflächenbeschickung
	m ²	m	m ³	%	m ³	m	m ³	m ³ /h	h	m ³ /m ² /d
Filter 1	11,75	1,07	12,6	32,7	4,1	0,56	10,7	5,0	2,1	10,2
Filter 2	11,75	1,1	12,9	48,2	6,2	0,48	11,9	5,0	2,4	10,2
Filter 3	11,75	1,04	12,2	30,0	3,7	0,53	9,9	4,7	2,1	9,6
Muschelfilter	4	0	0,0	100	0,0	2,04	8,2	5,0	1,6	30,0
Frischwasser	35,2	0	0,0	100	0,0	1,96	69,0	2,9	23,8	2,0

Ein Färbungsversuche (Fluoreszin Tracer) im Frischwasserbehälter hat gezeigt, dass es durch die Trennwandfuge keine Kurzschlussströmungen auf dem Weg in Fließrichtung vom Zu- zum Ablauf gibt. Die Durchströmung erfolgte aber zunächst horizontal in einer Zwischenschicht, danach vertikal nach oben. Diese Schichtung konnte auch durch die Temperatur- und Sauerstoffmessungen bestätigt werden. Anschließend wurde die Einströmung optimiert (s.o.).

Der Färberversuch hatte nebenbei deutlich gemacht, dass die Ablaufschächte der Filterdrainagen oberhalb der Tauchpumpen offensichtlich oberhalb nicht gut durchmischt wurden (was auch nicht bezweckt war). Dies führte jedoch zu einem Messfehler bei den Planktonmessungen, wenn die Proben aus diesem Stagnationsbereich geschöpft wurden. Das Plankton im oberen Schachtbereich unterschied sich hier vor allem wegen Sekundärwachstums von Algen von der eigentlichen im Ablauf der Filterdrainagen befindlichen Zusammensetzung. Es waren im Ablauf der Filter scheinbar zeitweise größere Algenmengen gemessen worden. Nach Umstellung der Probeentnahmestelle auf das abgehende Druckrohr am 08.06.2018 traten diese nicht mehr auf. Die Werte zum Plankton für diese Filter sind daher bis zum 08.06.2018 nicht aussagekräftig.

5 Betriebsergebnisse

5.1 Hydraulische Filterleistung

Die hydraulische Leistungsfähigkeit der Filter kann über den sich einstellenden Druckverlust ermittelt werden. Dies ist bei Filtern kein konstanter Wert, sondern im Wesentlichen von dem durch Ablagerungen oder momentanen Biofilmvolumen reduzierten Porendurchmesser. Im Extremfall können die Poren sich soweit zusetzen, dass bei gegebener Druckhöhe kein Durchfluss mehr möglich ist.

Insofern ist die Beobachtung der bisher im Filter zurückgehaltenen Feststoffe sinnvoll. Hierzu ist eine Frachtbilanz erforderlich. Allerdings ist das Volumen und die Zusammensetzung der zurückgehaltenen Stoffe entscheidender als allein die üblicherweise ermittelte Masse. Organisches Material kann im Filter bedingt abgebaut werden, während anorganische Substanzen akkumulieren. Die Dichte von lebenden Algen und Detritus oder anorganischen Schwebstoffen ist sehr unterschiedlich.

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.

Dies kann auch spezifisch auf die Filterfläche bezogen als die jährliche Stapelhöhe angegeben werden in der Einheit m/a, woraus die mittlere hydraulische Flächenbelastung in m/d abgeleitet werden kann.

Im Jahresverlauf 2018 wurden die Filter gemäß Abbildung 11 bis Anfang Juni annähernd gleichermaßen beschickt. Aufgrund von zunehmendem Höhenverlust in Filter 3 stellte sich hier zunächst eine abnehmende Durchflussrate ein und wurde dann später bewusst gedrosselt oder in den Ruhezustand versetzt.

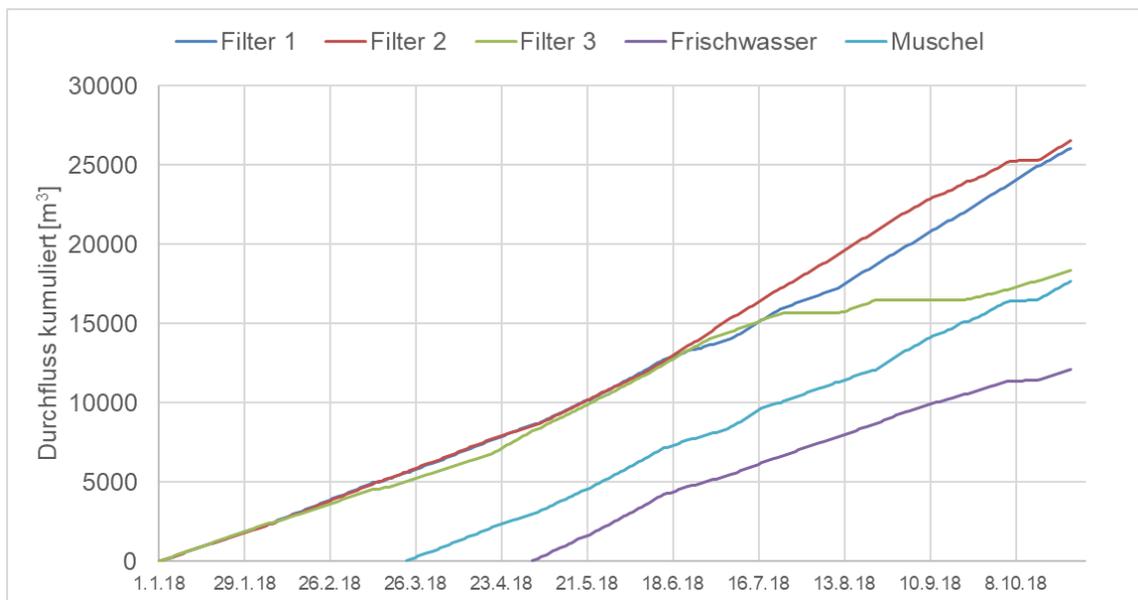


Abbildung 11: Durchflüsse im Versuchszeitraum, kumuliert

Bei den Testfiltern wurden die sich einstellenden Filterwiderstände (Höhenverlust, gemessen in cm Wassersäule) wöchentlich vor Ort mit einem Meterstab gemessen. Der Höhenverlust wurde dem kumulierten Beschickungsvolumen zum jeweiligen Zeitpunkt gegenübergestellt (vergl. Tabelle 15).

Bei den Filtern 1 und 2 bleibt der Filterwiderstand anhaltend gering. Gegen Ende 2018 wurden maximal 2 - 4 cm Höhenverlust beim Durchfluss gemessen. Bei Filter 3 nahm der Filterwiderstand bei gleichbleibendem Durchfluss kontinuierlich zu. Bei Überschreiten von 80 cm Höhenverlust wurde der Durchfluss auf 2,8 m³/h gedrosselt, was einer Flächenbelastung von 5,7 m/d entspricht (vergl. Abbildung 13).

Trotzdem stieg der Filterwiderstand weiter an, so dass der Filter 3 ab dem 20.07.2018 und dem Überschreiten von 1,20 m Höhenverlust in Ruhepause versetzt wurde. Soweit es sich um organische Filterbelastungen handelt, die zu einem Zusetzen der Poren führen, können diese theoretisch über einen längeren Ruhezeitraum biologisch abgebaut werden. Um diesen Prozess zu verstärken, wurde die Belüftung zugeschaltet, obwohl der Filter nicht mehr durchströmt wurde.

Kurz nach Wiederinbetriebnahme bei reduzierter Flächenbelastung von 3 m/d wurde nach kurzer Zeit eine maximale Höhendifferenz von 1,80 m zwischen Filterüberstand

und Ablaufdrainage gemessen. Daraufhin wurde der Filter erneut still gelegt und trocken liegen gelassen. Durch den Trocknungsprozess kann Schlamm aufbrechen und oberflächennahe Kolmation teilweise beseitigt werden. Anschließend wurde der Filter bei geringer Flächenbelastung von 2 m/d – 3 m/d wieder in Betrieb genommen. Mitte November war der Filter allerdings bereits wieder kolmatiert.

Tabelle 15: Hydraulische Belastung und Filterwiderstand

Datum	Kumulierte Beschickung [m³]			Filterwiderstand [cm]		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
08.06.2018	11947	11829	11660			16
09.06.2018	12053	11926	11760			17
15.06.2018	12736	12626	12425			30
17.06.2018	12872	12866	12649			36
22.06.2018	13195	13466	13204			52
29.06.2018	13580	14314	13950			84
06.07.2018	13958	15237	14438			53,2
10.07.2018	14382	15683	14721			63
11.07.2018	14496	15794	14791			65
12.07.2018	14614	15908	14859			82
13.07.2018	14733	16020	14927			91
14.07.2018	14852	16127	14993			97
15.07.2018	14968	16242	15063			97
16.07.2018	15086	16357	15133			101
17.07.2018	15205	16471	15205			104
20.07.2018	15536	16839	15421			123,8
10.08.2018	17160	19246	15646			25
16.08.2018	17850	19970	15972			63,5
17.08.2018	17971	20090	16043	1	0	73
23.08.2018	18684	20807	16456			1,56
24.08.2018	18803	20924	16475	1	0	3
31.08.2018	19615	21791	16481	1	0	33
07.09.2018	20435	22549	16483	1	0,5	
14.09.2018	21237	23194	16483	0	0	
21.09.2018	22013	23871	16504	4	0	0
28.09.2018	22863	24377	16785	1,5	0,5	3
05.10.2018	23693	25159	17141	2	0,5	1
12.10.2018	24531	25296	17525	0	0	0,17
15.10.2018	24891	25316	17686			20
19.10.2018	25323	25717	17908	2,5	0	0,5
26.10.2018	26062	26562	18368	2	0	48

In Abbildung 12 ist der Zusammenhang zwischen kumulierter Beschickung und Filterwiderstand für Filter 3 dargestellt.

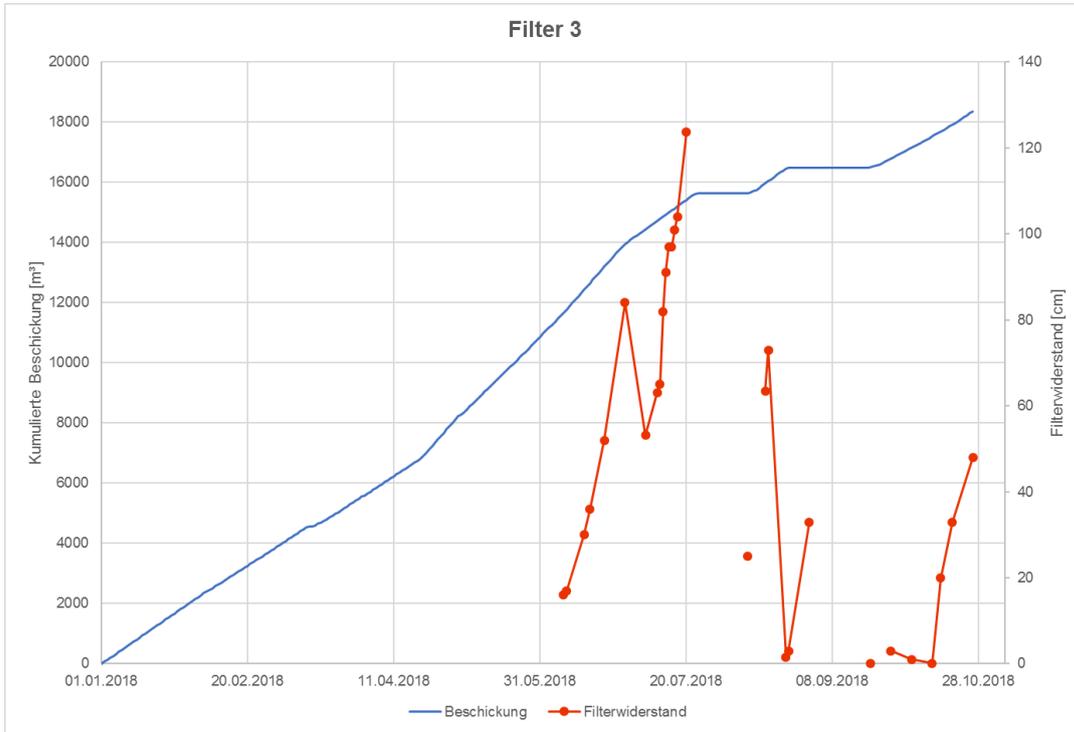


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen kumulierter Beschickung und Filterwiderstand für Filter 3

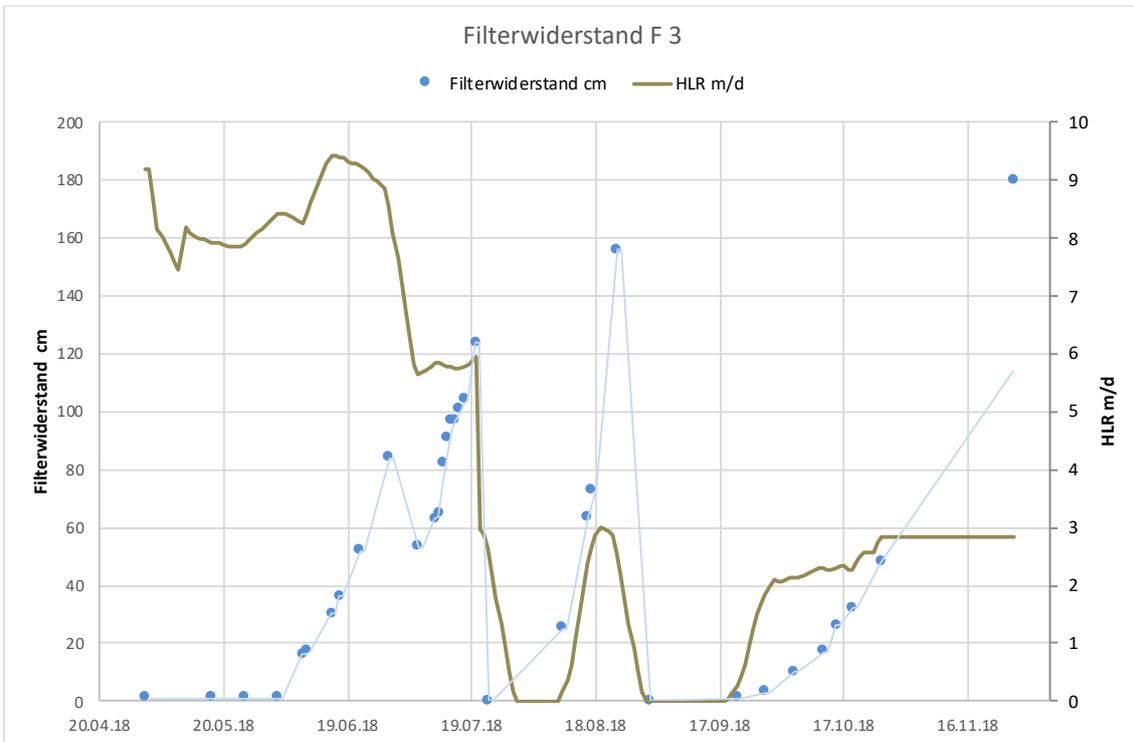


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen hydraulischer Belastung (HLR in m/d) und Filterwiderstand für Filter 3

5.2 Filterstabilität/ Kolmation

Wegen der beobachteten Filterkolmation wurden erste qualitative Untersuchungen angestellt, um mögliche Ursachen festzustellen.

Am 19.9.18 wurden am Ende der Trockenphase für Untersuchungszwecke Proben aus dem Filterbett aus 0 - 5 cm und 50 cm Tiefe entnommen.

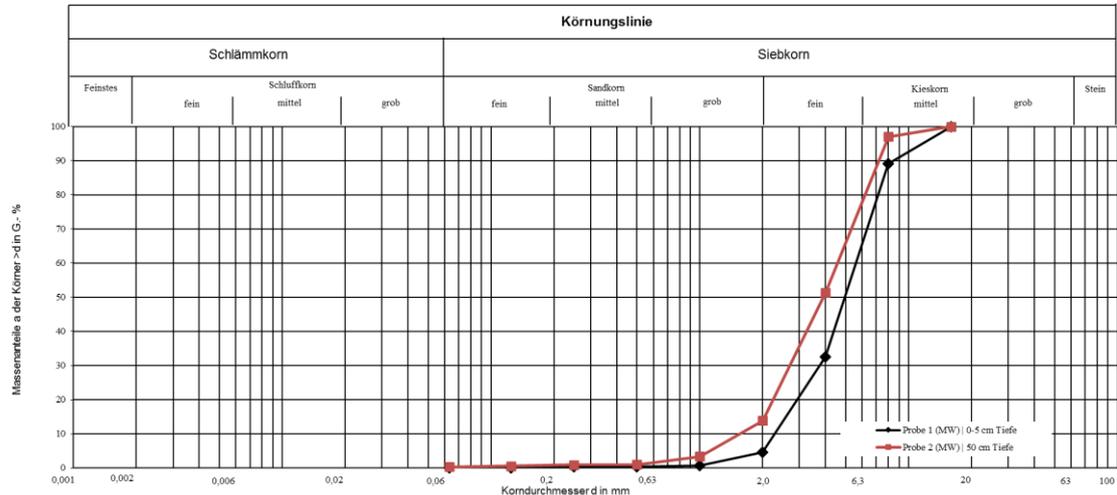


Abbildung 14: Siebanalyse des Filtermaterials aus Filter 3

Von den getrockneten, ungewaschenen Proben wurden 3 Teilproben à 600 g entnommen und mit Hilfe einer Siebmaschine für 3 Minuten bei einer Amplitude von 55 % gesiebt. Anschließend wurde die Korngrößenverteilung bestimmt (vergl. Abbildung 14). Demnach wurde bei dem Filtermaterial aus 0,5 m Tiefe tendenziell eine feinere Körnung gefunden.

Für diese Körnungen können folgende Durchlässigkeiten bzw. k_f -Werte berechnet werden. Entsprechend der kleineren Porengrößen ist in 0,5 m Tiefe eine geringere Durchlässigkeit zu erwarten, die hier mit minimal 0,027 m/s bestimmt wurde (vergl. Tabelle 16).

Tabelle 16: Ergebnisse der Siebanalyse des Filtermaterials aus Filter 3

	Probe 1 (0-5 cm Tiefe)	Probe 2 (50 cm Tiefe)
k_f [m/s] (Hazen)	$6,6 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$
k_f [m/s] (Beyer)	$5,7 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$
d_{10} [mm]	2,386	1,633
d_{60} [mm]	5,936	4,755
U	2,49	2,91

Abfiltrierbare Stoffe (AFS)

Um festzustellen, wo sich schwerpunktmäßig die filtrierte Partikel ablagern, wurde zunächst versucht, deren Masse in unterschiedlichen Tiefen zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurde die Probe mehrfach im Becherglas umgespült und die Menge der

abgelösten Stoffe durch Filtration aus dem Wasser bestimmt. Untersuchung der abfiltrierbaren Stoffe konnte mit dieser einfachen Methode nicht quantitativ ausgewertet werden, da die Substanzen nicht vollständig abgelöst werden konnten und die Messungenauigkeit zu hoch ist. Alternativ könnte der Glühverlust beider Proben bestimmt werden, um ggf. unterschiedliche organische Anteile zu bestimmen.

Insgesamt ist es überraschend, dass in der Tiefe des Filters tendenziell höhere Feinanteile gefunden wurden (vergl. Sieblinie). Dies lässt auf ein Auswaschen/Verlagern von feinen Partikeln in Fließrichtung schließen (Suffosion). Dieser Effekt kann zu einer inneren Kolmation des Filters führen.

Als zusätzliche Möglichkeit für eine schnelle Kolmation kommt hier die dichte Bepflanzung mit Topfware in Frage. Das sichtbare feine Pflanzsubstrat (Humuserde) bietet ausreichend Potenzial zur Verlagerung im groben Filtermedium. Aufgrund der hohen Beschickungsraten kann dies hier zu einem Problem werden. Alternativ müssten die Pflanzenwurzeln vor dem Einsetzen gewaschen werden, so dass diese in Hydrokultur aufwachsen.

Generell kann der Biofilm selbst zur Kolmation führen, wenn die Poren zu klein sind und der Biofilm zu stark wächst. Je nach Substratangebot oder dem Vorhandensein von Hemmstoffen kann sich der Biofilm vermehren oder wieder abgestoßen werden.

Für die biologische Reinigungsleistung ist die Größe und Aktivität des Biofilms, also der am Filtermedium fixierten Bakterien, Pilze, Algen oder Protozoen, entscheidend. Als Maß für die Aktivität aerober Organismen kann auch die Sauerstoffzehrung verwendet werden.

Die spezifische Aufwuchsfläche im Filterkörper verhält sich umgekehrt proportional zur Korngröße des Filtermediums. Ein Filter mit 1 mm Körnung hat eine etwa zehnmal so große Oberfläche wie ein Filter mit 10 mm Körnung.

Unter der Voraussetzung, dass ausreichend Substrat und Sauerstoff für das Biofilmwachstum zur Verfügung steht, ist davon auszugehen, dass die gesamte zur Verfügung stehende Filterfläche besiedelt wird. Unter optimalen Bedingungen würde dann die Sauerstoffzehrung die Größe des Biofilms repräsentieren.

Für drei Termine im Juni/ Juli 2018 wurde der Sauerstoffverbrauch exemplarisch ausgewertet. Die Restsauerstoffkonzentration im Ablauf der Bodenfilter betrug an diesen Tagen im Mittel 3,0 mg/l in Filter 1 mg/l - 4,3 mg/l in Filter 2 mg/l - 1,1 mg/l O₂ in Filter 3. Obwohl die Konzentration in Filter 3 am weitesten absinkt, ist hier immer noch ein Überschuss vorhanden. Der aerobe Abbau dürfte auch hier also nicht limitiert sein.

Tabelle 17: Sauerstoffzehrung in den Bodenfiltern

	Durchfluss			Sauerstoffzehrung								
	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 1	Filter 2	Filter 3	Filter 1	Filter 2	Filter 3
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	g/m ³	g/m ³	g/m ³	g/h	g/h	g/h	g/m ² /d	g/m ² /d	g/m ² /d
22.06.2018	3,0	5,1	4,5	-3,7	-1,8	-4,5	-11,1	-9,2	-20,3	-22	-18	-41
29.06.2018	2,9	5,0	3,0	-4,3	-2,2	-5,0	-12,5	-11,0	-15,0	-25	-22	-30
06.07.2018	5,2	5,3	3,0	-4,2	-1,8	-5,1	-11,8	-10,1	-17,6	-24	-20	-35
Mittel	3,7	5,1	3,5	-4,1	-1,9	-4,9	-11,8	-10,1	-17,6	-24	-20	-35

Die Korndurchmesser der Filtermaterialien verhalten sich etwa wie 5 : 6 : 12 zwischen Kies : Blähton : Lava. Es wäre zu erwarten, dass die Kornoberfläche bzw. auch die Sauerstoffzehrung im grobkörnigen Lavabett nur halb so hoch ist wie die im Blähtonfilter. Dies ist hier scheinbar nicht der Fall (siehe Abbildung 15). Dies könnte auf die große innere Oberfläche des hoch porösen Lavas zurückgeführt werden (60% Porenvolumen, davon 48% schnell entwässerbar).

Die Tatsache, dass die Sauerstoffzehrung im Kiesfilter zudem so viel größer ist als im Blähtonfilter, lässt sich nicht allein durch die geringfügig größere Filterkornoberfläche erklären. Als Ursache käme auch eine höhere Konzentration an oxidierbaren organischen Substanzen im bepflanzten Filter in Frage. Dies könnte an inneren Quellen, wie der zusätzlichen Freisetzung von Exsudaten aus den Pflanzenwurzeln oder der Lösung von organischen Stoffen aus der Pflanzen-Topferde liegen. Bei einer effektiveren Filtrationsleistung des bepflanzten Filters könnte zudem mehr abbaubare organischer Substanz im Filter angereichert werden. Die tatsächlichen Gründe und der Anteil der Pflanzen ließen sich im Rahmen dieser Untersuchungen nicht klären. Hierzu sind weitere Versuche erforderlich.

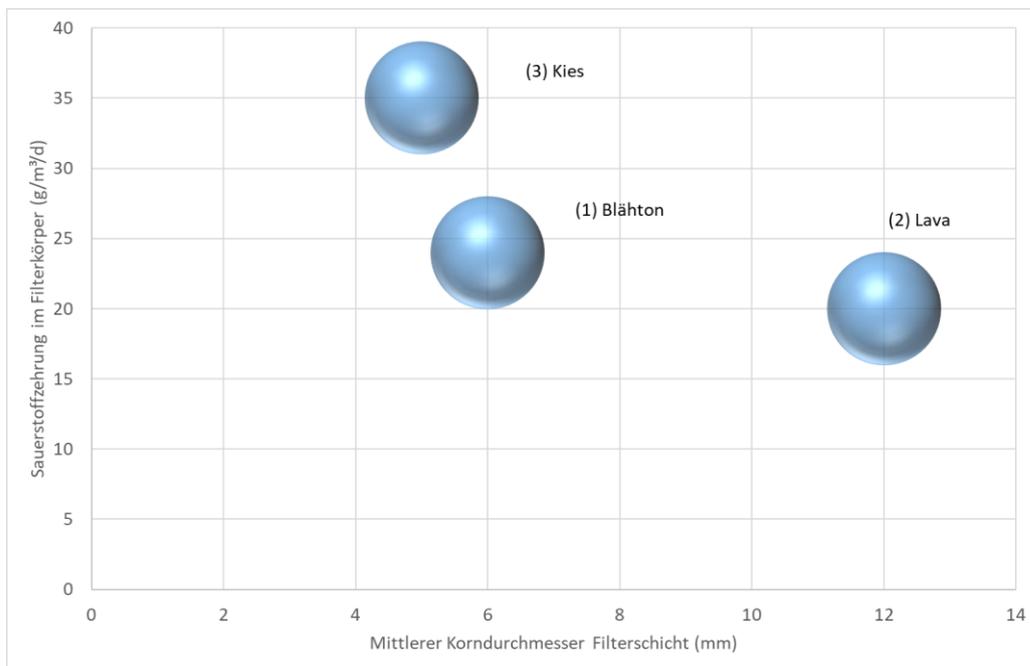


Abbildung 15 Sauerstoffzehrung je Kubikmeter Reaktorvolumen im Juni 2018

5.3 Muscheln- Wachstum und Vitalität

5.3.1 Vergleichsstandort Freiwasser (Spree)

Die vom Textilforschungsinstitut Chemnitz gefertigten Muschelaufwuchsträger wurden am 23.06.2016 zum Festheften der Dreissena-Larven in die Spree eingehängt (siehe Abbildung 16). Am 19.12.2016 wurden an vier Aufwuchsmatten Teilstücke des Maschengeflechtes entnommen und im Labor die Muscheln mit einer feinen Bürste abgelöst. Auf den Rahmen wurden Jungmuscheln mit Schalenlängen von 1 mm bis 7 mm gefunden; wobei die Matten unterschiedlich dicht besiedelt waren.

Eine Aufsummierung ergab 146 Jungmuscheln pro 100 cm Maschengeflecht. Die Kontrolluntersuchung fand am 17.08.2018 an den noch am Steg verbliebenen Aufwuchsmatten statt (siehe Abbildung 17). Es wurden sämtliche Muscheln einer definierten Maschengeflechtlänge in den Tiefen 0,45 m, 0,65 m und 1,20 m abgebürstet und im Labor gezählt und vermessen. Die drei verschiedenen Bereiche waren ähnlich

dicht mit ca. 3.000 Muscheln pro 100 cm Maschengeflecht besiedelt. Das Längenspektrum lag zwischen 1 mm bis 24 mm. Insbesondere Jungmuscheln < 8 mm Schalenlänge waren massenhaft vorhanden (Abbildung 20).



Abbildung 16: Vorbesiedlung der Muschelmatte in der Spree, Herstellung und Einbringung der Maten



Abbildung 17: Stark bewachsene Muschelmatte der im freien Wasserkörper der Spree verbliebenen Maten, 17.08.2018



Abbildung 18: Einhängung der vorbesiedelten Muschelmatten in den Muschelreaktor am 31.05.2017



Abbildung 19: Muschelzählung der Matten im Muschelreaktor am 15.07.2018, wenig Muschelbewuchs

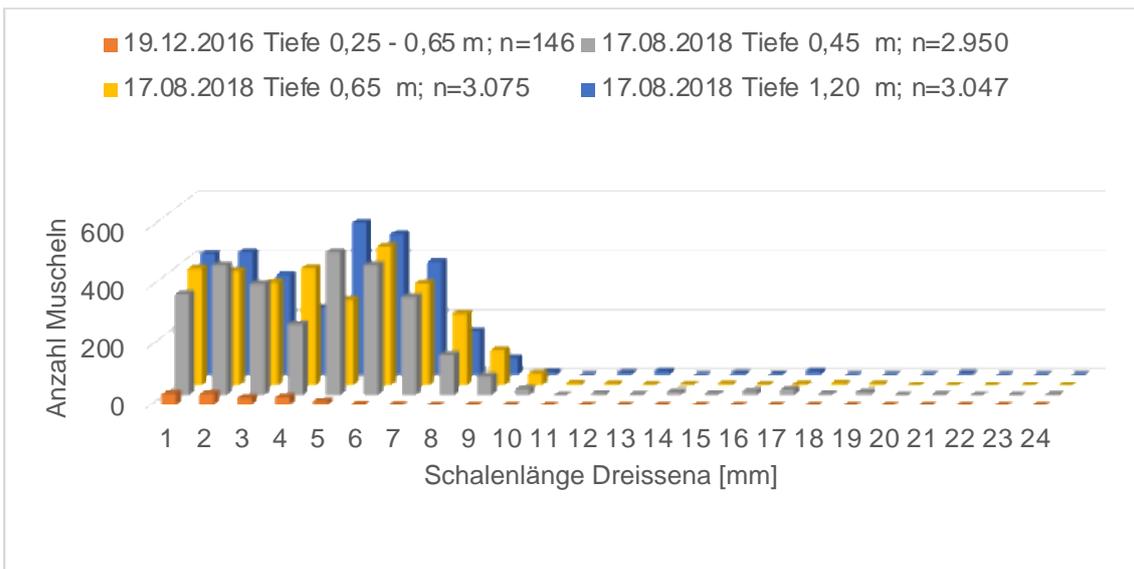


Abbildung 20: Längenverteilung und Anzahl der Muscheln bezogen auf 100 cm Maschengeflecht in der Spree 2016 und 2018

5.3.2 Standort Testfilterbecken

Am 31.05.2017 wurden die meisten Aufwuchsmatten zum Schiff transportiert und nach den Vorgaben des Textilforschungsinstitutes dicht in das Muschelfilterbecken eingehängt (siehe Abbildung 18). Im Spätsommer 2017 und im Sommer 2018 erfolgten detaillierte Muschelzählungen sowie die Vermessung der Schalenlängen (siehe auch Abbildung 19). Dazu wurden eine Aufwuchsmatte an der Uferseite und eine Matte an der Kanalseite aus dem Muschelfilter gezogen und der Aufwuchs in verschiedenen Bereichen der Matten abgebürstet.

Die Abbildung 21 und Abbildung 22 veranschaulichen exemplarisch das Längenspektrum der Muscheln in einer Tiefe von 0,45 m an der Ufer- und an der Kanalseite. Gegenüber 2016 ergab sich ein Längenzuwachs von bis zu 7 mm, wobei die Aufwuchsmatte an der Kanalseite dichter besiedelt war als die Matte an der Uferseite. Ein Längenzuwachs von bis zu 9 mm gegenüber September 2017 wurde 2018 jedoch nur bei wenigen Muscheln vorgefunden.

Insgesamt war im Muschelfilter 2018 ein deutlicher Rückgang der Besiedlung gegenüber 2017 zu beobachten. 2018 wurden die Aufwuchsmatten zusätzlich im oberen Bereich bei einer Tiefe von 0,25 m beprobt. Dort waren die Matten dichter besiedelt als in den beiden unteren Bereichen (Abbildung 23). Auf den Bambusstangen (Einhängenvorrichtung) im Einströmschatten wurden sehr viele Muscheln dicht aufsitzend beobachtet.

Der stark differenzierte Muschelbewuchs im Muschelreaktor ist ein Indikator für abweichende Standortbedingungen. Wesentliche Unterschiede könnten in der Nährstoffversorgung, der Sauerstoffkonzentration und der Strömungsturbulenzen im oberen Einströmbereich bestehen. Bei Ausfall der Wasserversorgung/ Umwälzung wären aufgrund der Sauerstoffzehrung insbesondere die Muscheln im unteren Bereich gefährdet und könnten ggf. beschädigt worden sein.

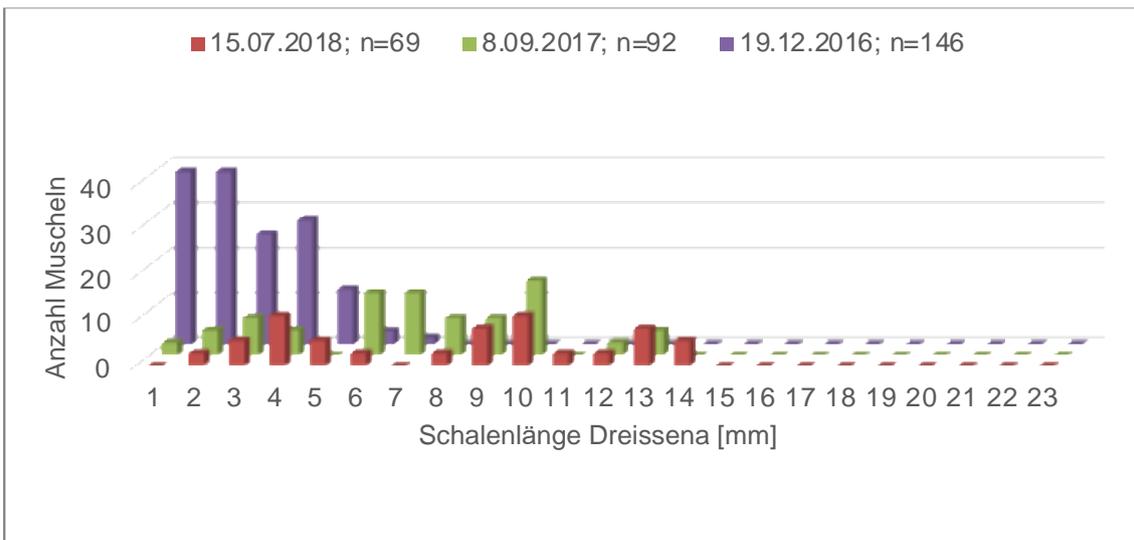


Abbildung 21: Längenverteilung und Anzahl der Muscheln bezogen auf 100 cm Maschengeflecht in der Spree 2016 und im Muschelfilter Uferseite 2017/2018

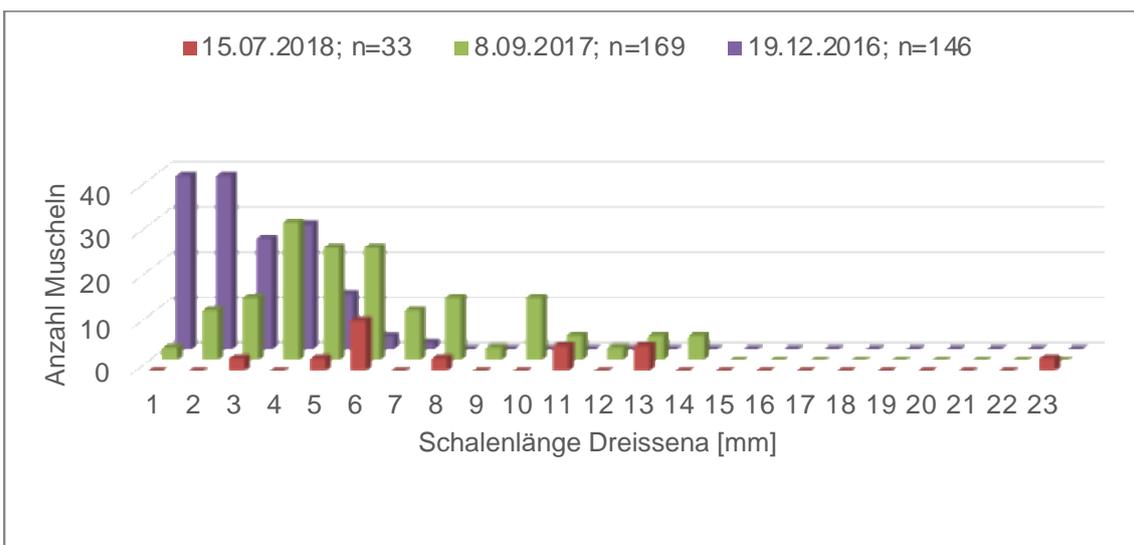


Abbildung 22: Längenverteilung und Anzahl der Muscheln bezogen auf 100 cm Maschengeflecht in der Spree 2016 und im Muschelfilter Kanalseite 2017/2018

Die Muschelmatten, die in der Spree verblieben sind, waren signifikant dichter besiedelt. Die Anzahl Muscheln auf dem Trägermaterial vom Steg an der Oberbaumbrücke war im Sommer 2018 um 30fach höher als die Besiedlung der im Muschelfilter auf dem Schiff eingehängten Matten. Anders als im Muschelfilter waren zudem Flohkrebse zahlreich sowie einige Schwämme zu beobachten.

Es wird vermutet, dass der Muschelfilter zu dicht mit Aufwuchsmatten bestückt wurde und es dadurch bedingt insbesondere in den unteren Bereichen zu einem Mangel an Nahrung für die Muscheln kam.

Im Anhang sind sämtliche erhobenen Daten zu den Dreikantmuscheln dokumentiert.

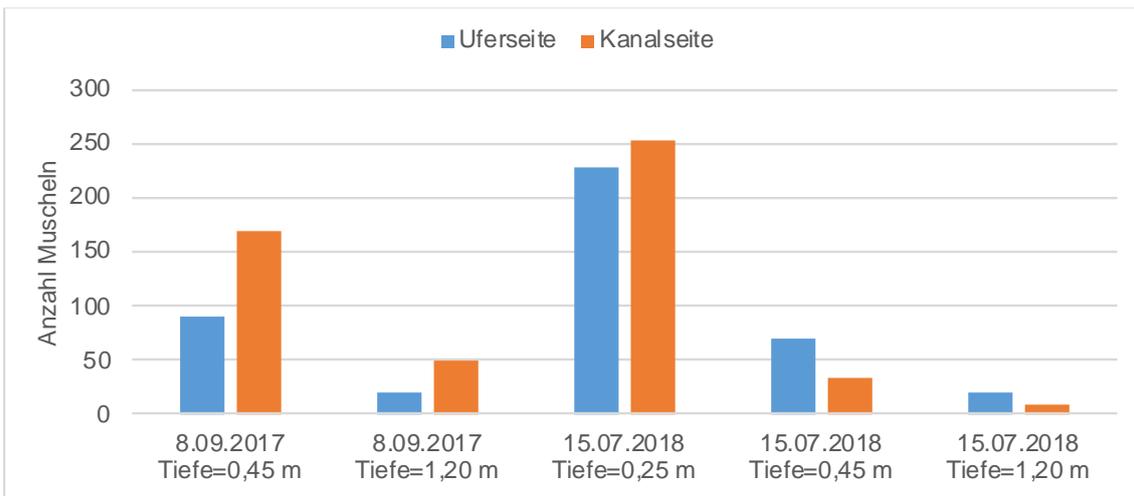


Abbildung 23: Anzahl Dreissena sp. im Muschelfilter in verschiedenen Tiefen

5.4 Makrozoobenthos

5.4.1 Vorkommen in Filterbecken

Von der Filteroberfläche der Filter 1 bis 3 wurden jeweils drei Teilproben mit dem Kescher entnommen und pro Filter zu einer Mischprobe vereinigt. Der Kescher wurde auf die Filteroberfläche aufgesetzt, das Filtersubstrat 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 m². Im Labor wurden die Tiere ausgelesen, bestimmt und auf einen Quadratmeter Filterfläche hochgerechnet.

Zwischen dem Filtermaterial Blähton im Filter 1 wurden massenhaft Flohkrebse nachgewiesen (Tabelle 18). Sie ernähren sich von lebenden und verwesenden Pflanzen, Detritus und Aas.

Während der Aufwirbelung des Filtermaterials Lavagestein in Filter 2 wurde ein 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/m² war sehr hoch (Tabelle 19). 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 massenhaft Zooplankter der Ordnung Blattfußkrebse.

Auf der Filteroberfläche des Filters 3 befanden sich Ablagerungen von Schilfdetritus. Die Taxazahl von 15 nachgewiesenen Taxa war vergleichsweise hoch. Vermehrt traten Flohkrebse und Wasserschnecken auf. Außerdem wurden Insektenlarven verschiedener Ordnungen gefunden (Tabelle 20). Wie auf den beiden anderen Filtern wurden im entnommenen Substrat massenhaft Zooplankter der Ordnung Blattfußkrebse gesichtet.

Tabelle 18: Filter 1 – Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018

Taxon	Gruppe	Individuen/m ²
Chelicorophium robustum	Flohkrebse	64
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	533
Dikerogammarus villosus	Flohkrebse	320
Echinogammarus ischnus	Flohkrebse	3.200
Radix sp.	Schnecken	11
Summe		4.128

Tabelle 19: Filter 2 – Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018

Taxon	Gruppe	Individuen/m ²
Dikerogammarus villosus	Flohkrebse	8
Echinogammarus ischnus	Flohkrebse	8.533
Asellus aquaticus	Wasserasseln	5.333
Oligocaeta Gen. sp.	Wenigborster	640
Summe		14.514

Tabelle 20: Filter 3 – Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018

Taxon	Gruppe	Individuen/m ²
Chelicorophium robustum	Flohkrebse	11
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	53
Echinogammarus ischnus	Flohkrebse	261
Bathynomphalus contortus	Schnecken	43
Gyraulus albus	Schnecken	197
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	267
Stagnicola sp.	Schnecken	149
Dreissena sp.	Muscheln	11
Ephydatia fluviatilis	Schwämme	11
Oligocaeta Gen. sp.	Wenigborster	48
Caenis luctuosa	Eintagsfliegen	16
Oecetis lacustris	Köcherfliegen	5
Ischnura elegans	Libellen	5
Tanypodinae Gen. sp.	Zweiflügler	32
Tanytarsini Gen. sp.	Zweiflügler	5
Summe		1.114

Offensichtlich können sich auf den verschiedenen Filtermedien sehr unterschiedliche benthische Organismen entwickeln. Abbildung 24 stellt die Gesamtergebnisse der einzelnen Filter gegenüber. Die Zusammensetzung des Benthos ist ein Indikator für

unterschiedliche Nahrungsangebote und zeigt möglicherweise Unterschiede in der Zusammensetzung des Biofilms auf den verschiedenen Filtermedien an. Ob die Filtermedien oder die Wasserzusammensetzung hierfür wesentlich verantwortlich ist, kann nicht differenziert werden.

Zum Beispiel wurde Filter 1 bis zum Zeitpunkt der Probenahme nur im Ablauf des Muschelfilters betrieben, was die Ursache für die Unterschiede zwischen Filter 1 und 2 ausmachen könnte. Das Nahrungsangebot in Filter 2 dürfte also entsprechend höher gewesen sein. Zwischen Filter 2 und 3 lagen aber keine wesentlichen Unterschiede in der Wasserqualität vor. Die Unterschiede zwischen Filter 2 und 3 könnten sehr stark von der vergleichsweise dichten emersen Vegetation in Filter 3 beeinflusst sein. Hier entwickelte sich in Filter 3 eine höhere Diversität im Benthos.

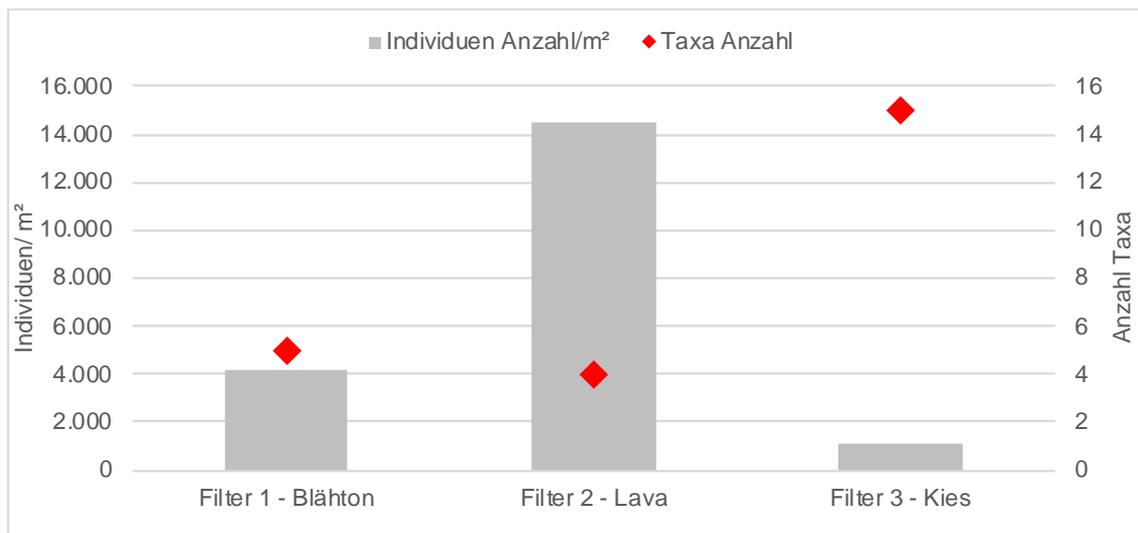


Abbildung 24: Vergleich Makrozoobenthos auf Testfilteroberflächen am 15.07.2018

5.4.2 Vorkommen im Frischwasserbecken

Im Frischwasserbecken wurden in Fließrichtung 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) beprobt.

Von der Gewässersohle 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 m². Im Labor wurden die Tiere ausgelesen, bestimmt und auf einen Quadratmeter Gewässersohle hochgerechnet.

Des Weiteren wurde an den HDPE-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 m². Im Labor wurden die Tiere ausgelesen, bestimmt und auf einen Quadratmeter hochgerechnet.

In den Bereichen FW1 und FW3 wurden Proben der aufschwimmenden Fadenalgen zur Bestimmung entnommen. Die Sohle im Bereich FW1 war dicht mit Fadenalgenwatten bedeckt. Hauptsächlich kamen Flohkrebse und Zuckmückenlarven vor. Die

Individuendichte war mit 84 Individuen/ m² gering (Tabelle 21). In den Algenwatten befanden sich zudem massenhaft Zooplankter der Ordnung Blattfußkrebse.

Tabelle 21: FW1 – Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018

Taxon	Gruppe	Individuen/m ²
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	48
Gyraulus albus	Schnecken	5
Oecetis lacustris	Köcherfliegen	5
Sigara sp. Larve	Wasserwanzen	5
Chironomini Gen. sp.	Zweiflügler	21
Summe		84

An der Wand des Bereiches FW1 wurden drei Arten an Wasserschnecken vermehrt vorgefunden (Tabelle 22). Wasserschnecken weiden den Biofilm ab.

Tabelle 22: FW1 – Makrozoobenthos an der Wand am 15.07.2018

Taxon	Gruppe	Individuen/m ²
Gyraulus albus	Schnecken	225
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	55
Radix sp.	Schnecken	248
Summe		528

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.

Tabelle 23: FW2 - Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018

Taxon	Gruppe	Individuen/m ²
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	32
Dikerogammarus villosus	Flohkrebse	5
Radix sp.	Schnecken	5
Oecetis lacustris	Köcherfliegen	5
Chironomini Gen. sp.	Zweiflügler	5
Summe		52

Auf der Sohle im Bereich FW2 befanden sich dichte Fadenalgenwatten der Grünalgen Oedogonium sp. und Microspora sp.. Die Individuendichte war mit 52 Individuen/m² gering. Hauptsächlich kamen Flohkrebse vor (Tabelle 23). In den Algenwatten befanden sich massenhaft Zooplankter der Ordnung Blattfußkrebse.

Die Wand im Bereich FW2 war wie im Bereich FW1 mit vielen Wasserschnecken besiedelt (Tabelle 24).

Tabelle 24: FW2 – Makrozoobenthos an der Wand am 15.07.2018

Taxon	Gruppe	Individuen/m ²
Gyraulus albus	Schnecken	137
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	55
Radix sp.	Schnecken	368
Summe		560

Auf der Sohle im Bereich FW3 wuchs die benthische Schlauchalge *Vaucheria* sp. (Gelbgrünalgen). Hauptsächlich kamen Wasserschnecken und Flohkrebse vor. Die Individuendichte von ca. 750 Individuen/m² war vergleichsweise hoch. In den Algenwatten wurden viele Zooplankter der Ordnung Blattfußkrebse vorgefunden.

Tabelle 25: FW3 - Makrozoobenthos auf der Sohle am 15.07.2018

Taxon	Gruppe	Individuen/m ²
Dikerogammarus haemobaphus	Flohkrebse	133
Gyraulus albus	Schnecken	507
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	59
Radix sp.	Schnecken	37
Oecetis lacustris	Köcherfliegen	5
Sigara sp. Larve	Wasserwanzen	11
Sigara striata	Zweiflügler	5
Chironomini Gen. sp.	Zweiflügler	5
Summe		762

Die Wandfläche im Bereich FW3 war wie die beiden anderen Wand-Bereiche mit vielen Wasserschnecken besiedelt.

Tabelle 26: FW3 – Makrozoobenthos an der Wand am 15.07.2018

Taxon	Gruppe	Individuen/m ²
Gyraulus albus	Schnecken	165
Physella acuta/heterostropha	Schnecken	5
Radix sp.	Schnecken	176
Summe		346

Im Freiwasserbereich FW3 wurden Algenwatten der benthischen Grünalge *Mougeotia* sp., dicht besetzt mit Kieselalgen, vorgefunden.

5.5 Vegetation

5.5.1 Allgemeines

Von der ursprünglich eingesetzten Vegetation haben sich fast nur die emersen im Kies wurzelnden Pflanzen durchsetzen können. Sehr schnell hat eine spontane Besiedlung aller offenen Flächen mit der Wasserlinse (*Lemna* sp.) stattgefunden. Es wird vermutet, dass diese hier zunächst mit den Wasserpflanzen aus der Gärtnerei eingeschleppt wurden. Zuerst wurden sie im Filter 2 im Bereich der Submersvegetation gefunden. Genauso gut können sie aber durch Wasservögel eingeschleppt oder direkt mit dem Spreewasser hineingelangt sein.

Da der Überstand auf den Bodenfiltern nicht durch oberflächigen Abzug dekantiert wird, können sich alle schwimmenden Pflanzen hier optimal vermehren.

Da alle Pflanzen ausreichend Sonnenlicht benötigen, sind grundsätzlich die Pflanzen im Vorteil, die ihre Biomasse am weitesten oben haben. D.h., die Verdrängung geschieht in folgender Reihenfolge: Emerse Pflanzen, Schwimmblattpflanzen, Submerse Vegetation. Vollständig mit *Lemna* bewachsene Oberflächen bieten daher kein Licht mehr für die Entwicklung von Grünalgen.

5.5.2 Filter 1, unbepflanzt

Der Filterüberstand blieb lange Zeit frei von Schwimmpflanzen und fädigen Grünalgen. Erst nachdem sich die Lemnadecke auf dem benachbarten Filter 2 entwickelt hatte, kam es auch in Filter 1 zu einem dichten Bewuchs (Abbildung 25).

5.5.3 Filter 2, Submerse Vegetation

Dieser Filter wurde mit der rhizombildenden gelben Teichrose (*Nuphar lutea*), dem ebenfalls rhizombildenden Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*) und dem frei flotierenden Hornblatt (*Ceratophyllum demersum*) besetzt.

Bereits nach kurzer Zeit kam es hier zur Massenentwicklung von fädigen Grünalgen. Es kann vermutet werden, dass diese ebenfalls bereits mit den Pflanzen aus der Gärtnerei eingeschleppt wurden und hier optimale Verbreitungsmöglichkeiten fanden.

In der Folge wurden die submersen Blattpflanzen überwuchert. Trotz regelmäßigen manuellen Entfernens der Grünalgen gelang es nur solange die Pflanzen zu schützen, bis schließlich die *Lemna* oberhand bekam. Es wurde darauf verzichtet, diese ebenfalls zu entfernen. Reste der ursprünglichen Bepflanzung sind noch vorhanden, spielen aber vermutlich keine Rolle mehr.



Abbildung 25: Lemna sp.-Entwicklung auf Filter 1 und Filter 2, 10.07.2018



Abbildung 26: Fadenalgen- und Lemna sp.-Entwicklung auf dem Frischwasserbecken, 10.07.2018

5.5.4 Filter 3, Emerse Vegetation

Dieser Filter wurde mit Schilf (*Phragmites australis*), Ufer-Seggen (*Carex riparia*) und Teichbinse (*Schoenoplectus lacustris*) bepflanzt. Wie in Abbildung 27 zu erkennen ist, hat sich hier erwartungsgemäß Schilf durchgesetzt. Stellenweise kam es auch hier an gut belichteten Stellen zur Benetzung der Wasserfläche mit Lemna.

Die maximale Halmdichte wird normalerweise erst nach drei bis vier Jahren erwartet. Mehrfach wurde das Schilf mechanisch durch herabfallende Teile beim Sturm geschädigt und umgeknickt bzw. flach gelegt.



Abbildung 27: Dichter Schilfbewuchs auf Filter 3, Oktober 2018

5.5.5 Frischwasserbecken

Obwohl dieses Becken nicht bepflanzt wurde, kam es auch hier zur spontanen Besiedlung mit Schwimmpflanzen (*Lemna* Sp.). Diese konnten sich trotz Oberflächenabzug bei Vorhandensein von fädigen Grünalgen an diesen festhalten.

Auf dem Frischwasserbecken kam es zeitweise zur Entwicklung von Fadenalgen, die sich an die Behälterwandung anhefteten (siehe Abbildung 26 und Abbildung 28). Diese wuchsen langsam in Richtung Beckenmitte und dienten einer großen Zahl von *Lemna* sp. als Anker.

Die gebildete Biomasse musste mehrmals entfernt werden, um ein Zuwachsen der gesamten Oberfläche zu verhindern (siehe Abbildung 29) für die entfernte Biomasse. Ab

August ging die Fadenalgenbildung deutlich zurück, womit auch das Lemna-Problem verschwand.



Abbildung 28: Fadenalgen- und Lemna sp.-Entwicklung auf dem Frischwasserbecken, langsames Zuwachsen von den Rändern, 16.07.2018



Abbildung 29: Fadenalgen- und Lemna sp.-Entwicklung auf dem Frischwasserbecken, Teil der entnommenen Biomasse, 16.07.2018

6 Regelmäßiges Qualitätsmonitoring

6.1 Chlorophyll-a

In Abbildung 30 und Abbildung 31 sind die Ergebnisse der Chlorophyll-a-Messungen dargestellt. Die Konzentration des Chlorophyll-a korreliert mit dem Biovolumen oder der Anzahl der lebenden Algen und von Cyanobakterien (Blaualgen). Insofern kann dies als Summenparameter angesehen werden, um die Leistung der Bodenfilter hinsichtlich der Planktonentfernung zu bewerten. Die Ergebnisse für 2018 sind in Abbildung 30 aufgeführt.

Erst ab Mitte Juni 2018 zeigen die Bodenfilter eine Chlorophyll-a Reduktion an. Bis zum 08.06.2018 waren die Chlorophyll-a-Gehalte in den Filterabläufen teilweise höher als im Spreekanal. Dies kann mit der bis dahin durchgeführten Probenahme zusammenhängen (Schöpfprobe aus dem oberen wenig durchströmten Schachtbereich). Im gesamten ersten Halbjahresverlauf lässt sich auf diese Weise auch aufgrund der Streuung und des allgemein niedrigen Niveaus noch keine signifikante oder relevante Algenreduktion der verschiedenen Filter feststellen (Abbildung 31). Andererseits war das Niveau im Fluss bis dahin auch sehr niedrig.

Ab August zeigten die Filter während der Algenblüte eine hohe Wirksamkeit hinsichtlich dieses Summenparameters. So lag das Niveau im Filterablauf in der Regel unter 5 µg/l bis max. 10 µg/l während die Zulaufkonzentration abgesehen von einer Extremsituation am 3.8.18 Peaks zwischen 25 µg/l und 35 µg/l erreichte.

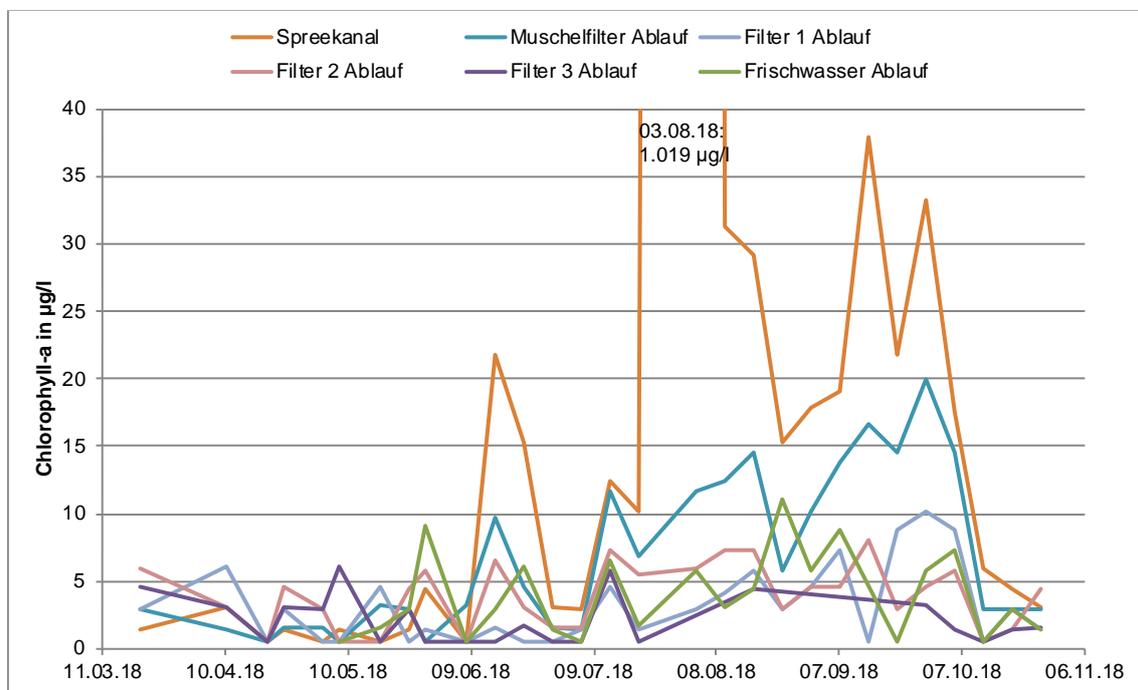


Abbildung 30: Konzentration von Chlorophyll-a in µg/l; Zulauf – Spreekanal, Muschelfilter Ablauf, Ablauf Filter 1, Ablauf Filter 2, Ablauf Filter 3, Frischwasserbecken

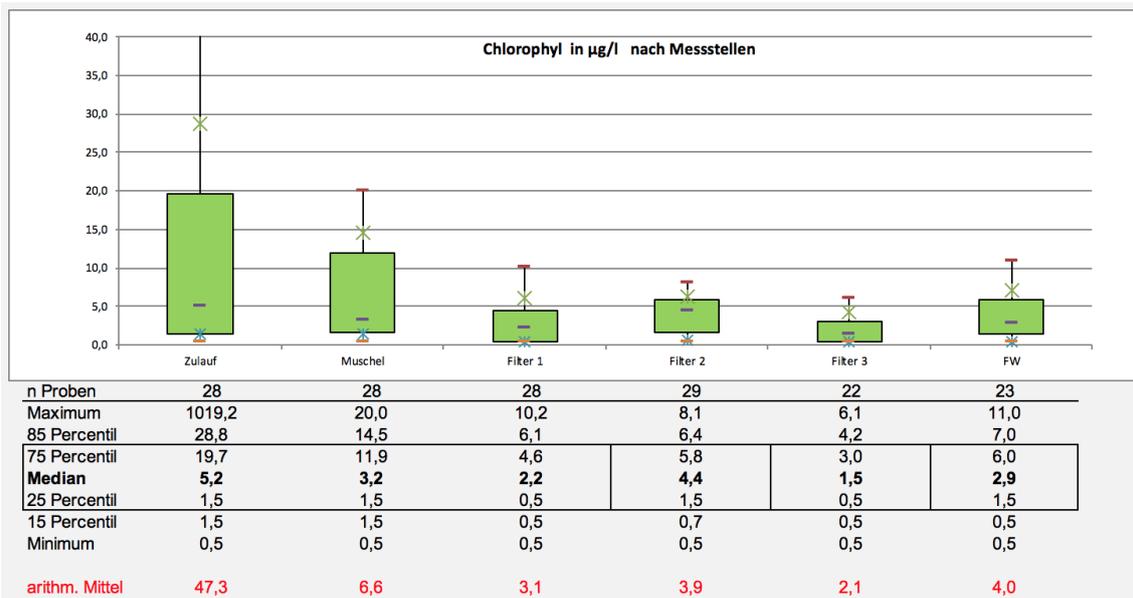


Abbildung 31: Konzentration von Chlorophyll-a in µg/l; box-whisker-Darstellung

Tatsächlich sind diese Werte aber in ihrer Aussagekraft mit Vorsicht zu genießen. Selbst bei Entfernung des Ausreißers vom 3.8.2018 kann nur eine geringe Korrelation zwischen den ausgezählten Biovolumina dominierender Arten und den aus Parallelproben bestimmten Chlorophyll-a Werten festgestellt werden (vergl. Abbildung 32). Die Chlorophyll Reduzierung in den Filtern kann deshalb nur als Trend für die Algenentfernung bewertet werden.

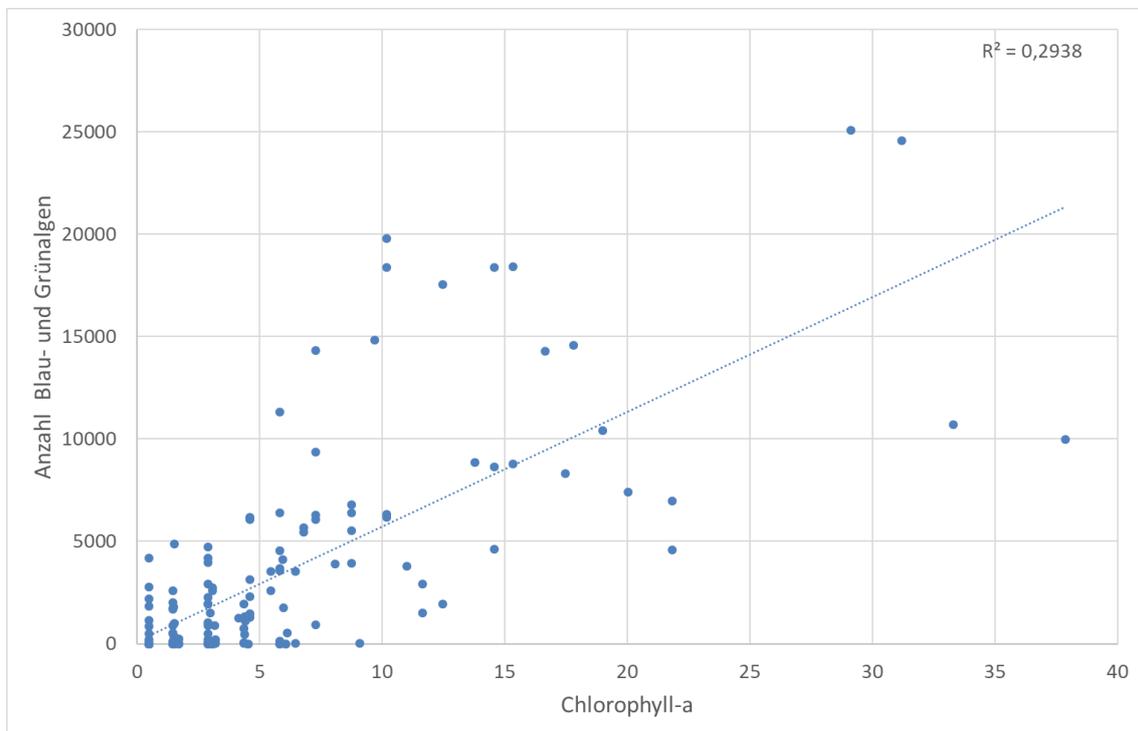


Abbildung 32: Vergleich Summe Blau- und Grünalgen [Individuen/l] und Chlorophyll-a Gehalt [µg/l], n=163

6.2 Dominierende Phytoplanktonorganismen

In Abbildung 33 bis Abbildung 38 sind Anzahl und Biovolumina der dominierenden Phytoplanktonorganismengruppen dargestellt. Ebenfalls in größeren Mengen enthaltene anorganische Partikel wurden nicht mitgezählt.

Alle Filter reduzieren das Biovolumen der Phytoplanktonarten signifikant, wobei die Reduktion im Muschelfilter am geringsten (im Mittel 78%), im Filter 1 mit 97%, im Filter 2 mit 83% und im Filter 3 mit 99% am höchsten ausfiel (Mittelwert Elimination Biovolumen ab dem 15.06.2018).

Das Biovolumen im Spreekanal nahm ab Anfang/ Mitte Juni signifikant zu. Zunächst dominierten die Kieselalgen. Ab Mitte Juli nahm der Anteil an Blaualgen deutlich zu.

Die Zusammensetzung der Phytoplanktonorganismen war im Spreekanal, in den Filterabläufen und im Frischwasserbereich sehr unterschiedlich und veränderte sich im Jahresverlauf.

Das Biovolumen im Spreekanal nahm ab Anfang/Mitte Juni signifikant zu. Zunächst dominierten die Kieselalgen. Ab Mitte Juli nahm der Anteil an Blaualgen deutlich zu. Relativ hohe Biovolumina entwickelte die koloniebildende Blaualge *Microcystis aeruginosa* neben den Blaualgen *Anabaena flos-aque* und *Aphanocapsa* sp..

Im Frischwasserbehälter war auffällig, dass die Biovolumina der dominierenden Phytoplankter mitunter etwas höher waren als in den Filterabläufen. Auch war die Zusammensetzung des Algenspektrums anders. Es dominierte die mixotrophe Schlundalge *Cryptomonas* sp.. Mixotrophe Arten sind sowohl zur photoautotrophen als auch zur heterotrophen (osmotroph oder durch Phagozytose = aktive Aufnahme von Partikeln) Ernährungsweise befähigt.

Bisher wurden die Blaualgen von allen Filtern weitestgehend entfernt. Bedingt durch die geringe Größe der Blaualgen ist deren Anzahl teilweise zwar vergleichsweise sehr groß, dass relevante Biovolumen war jedoch im Ablauf der Filter immer sehr gering.

In den Filtern war der Anteil an lebenden Algen im Ablauf bis zum 08.06.2018 teilweise höher als im Zulauf. Nach der Veränderung der Probenahmestelle war dies nicht mehr der Fall.

Das Spreewasser enthielt im Berichtszeitraum signifikante Mengen an Detritus, der in den Filtern reduziert wurde. Im Ablauf Muschelfilter waren noch größere Detritusvolumina zu finden, als im Ablauf der anderen Filter (siehe Abbildung 41).

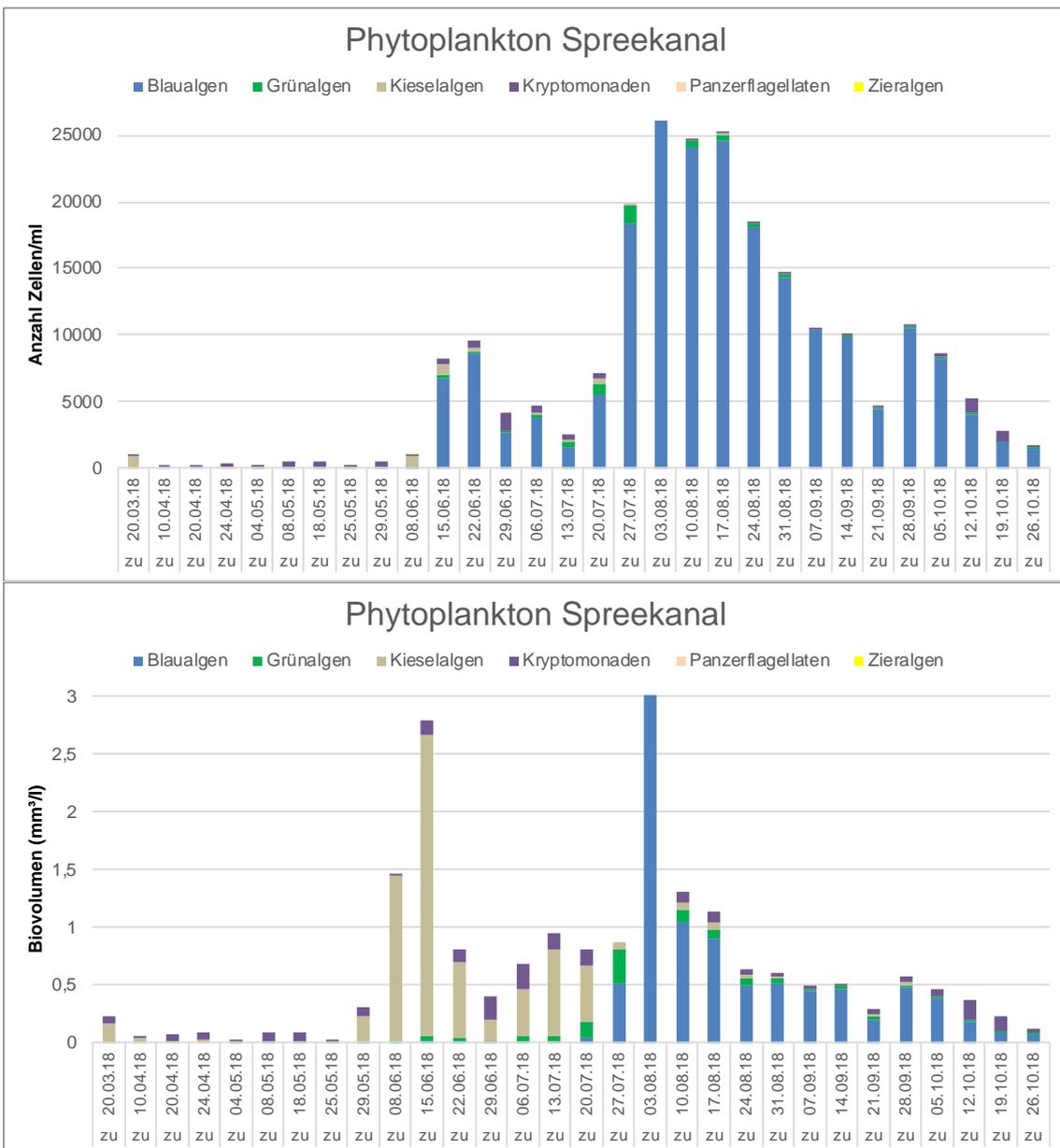


Abbildung 33: Dominierende Phytoplanktonorganismen im Spreekanal, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm³/l

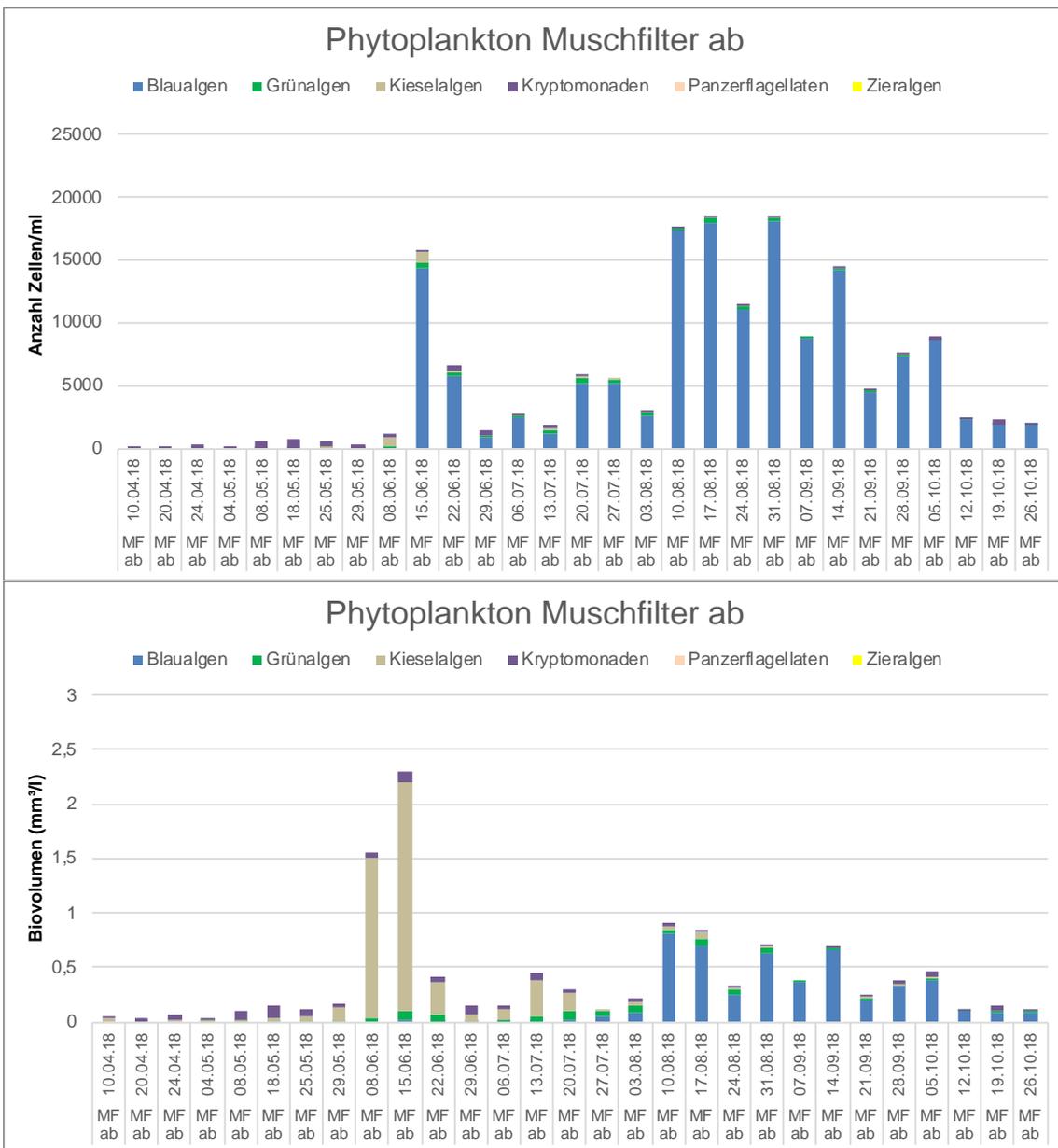


Abbildung 34: Dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Muschelfilter, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm³/l

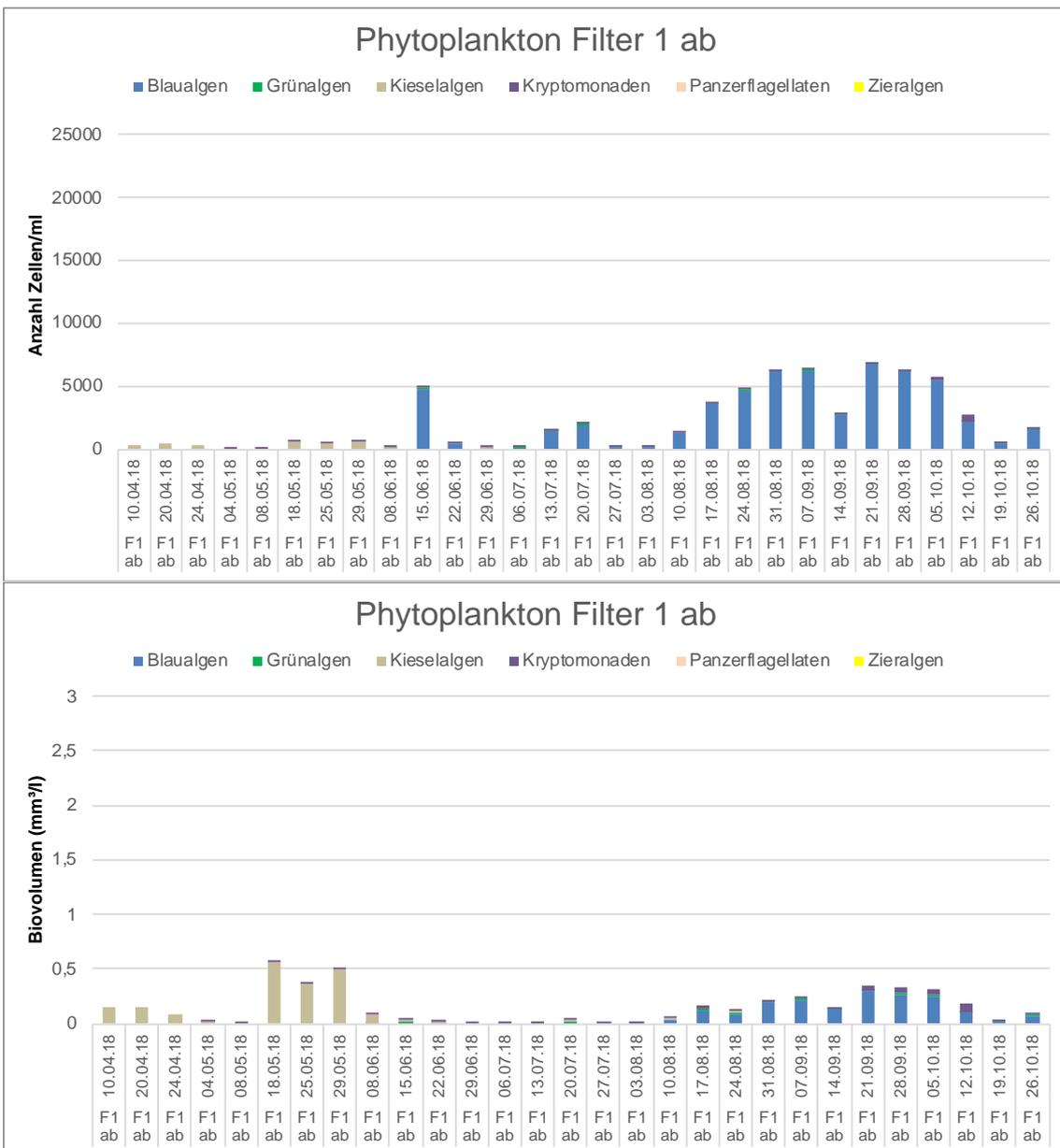


Abbildung 35: Dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 1, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm³/l

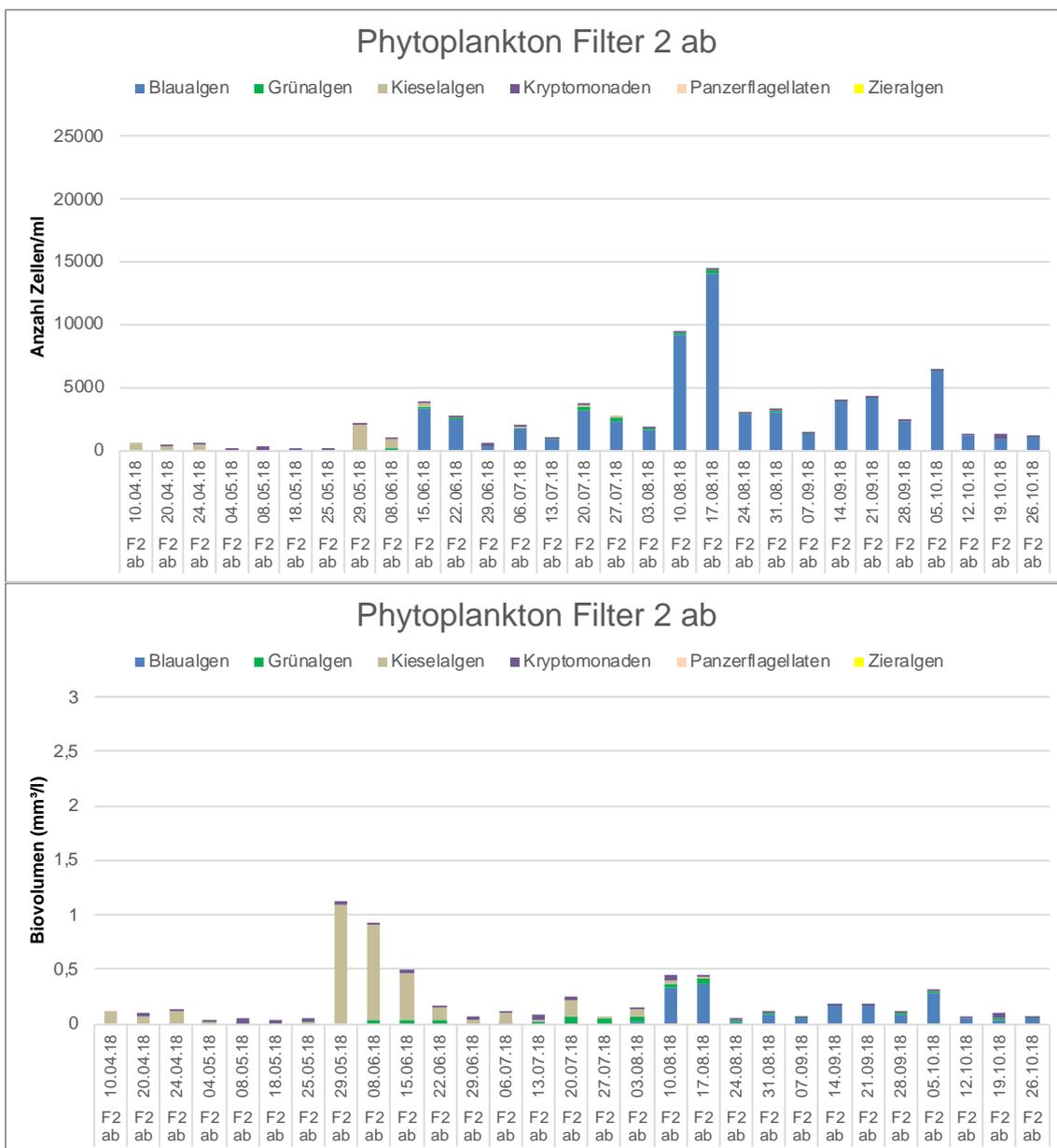


Abbildung 36: Dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 2, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm³/l

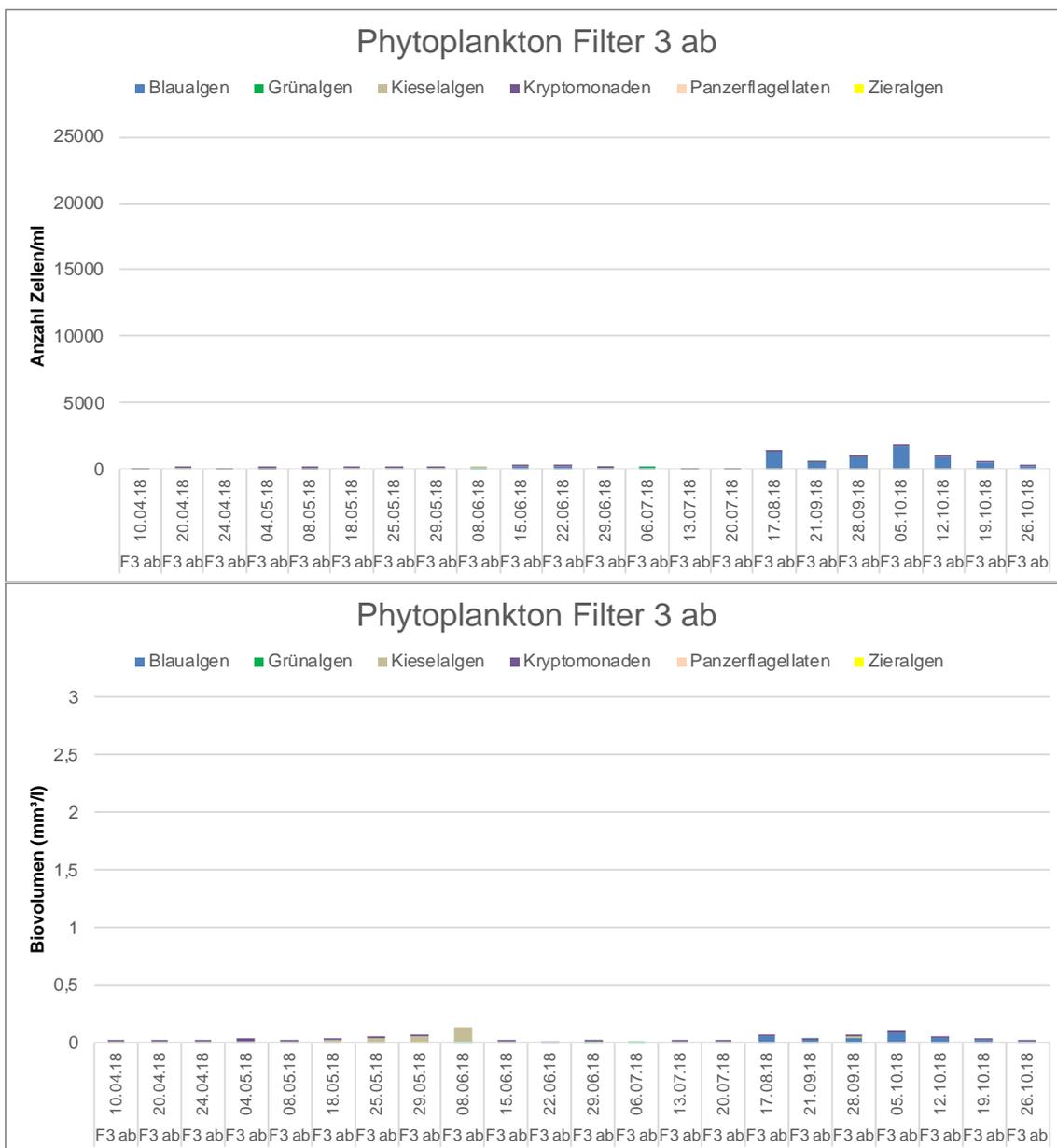


Abbildung 37: Dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 3, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm³/l

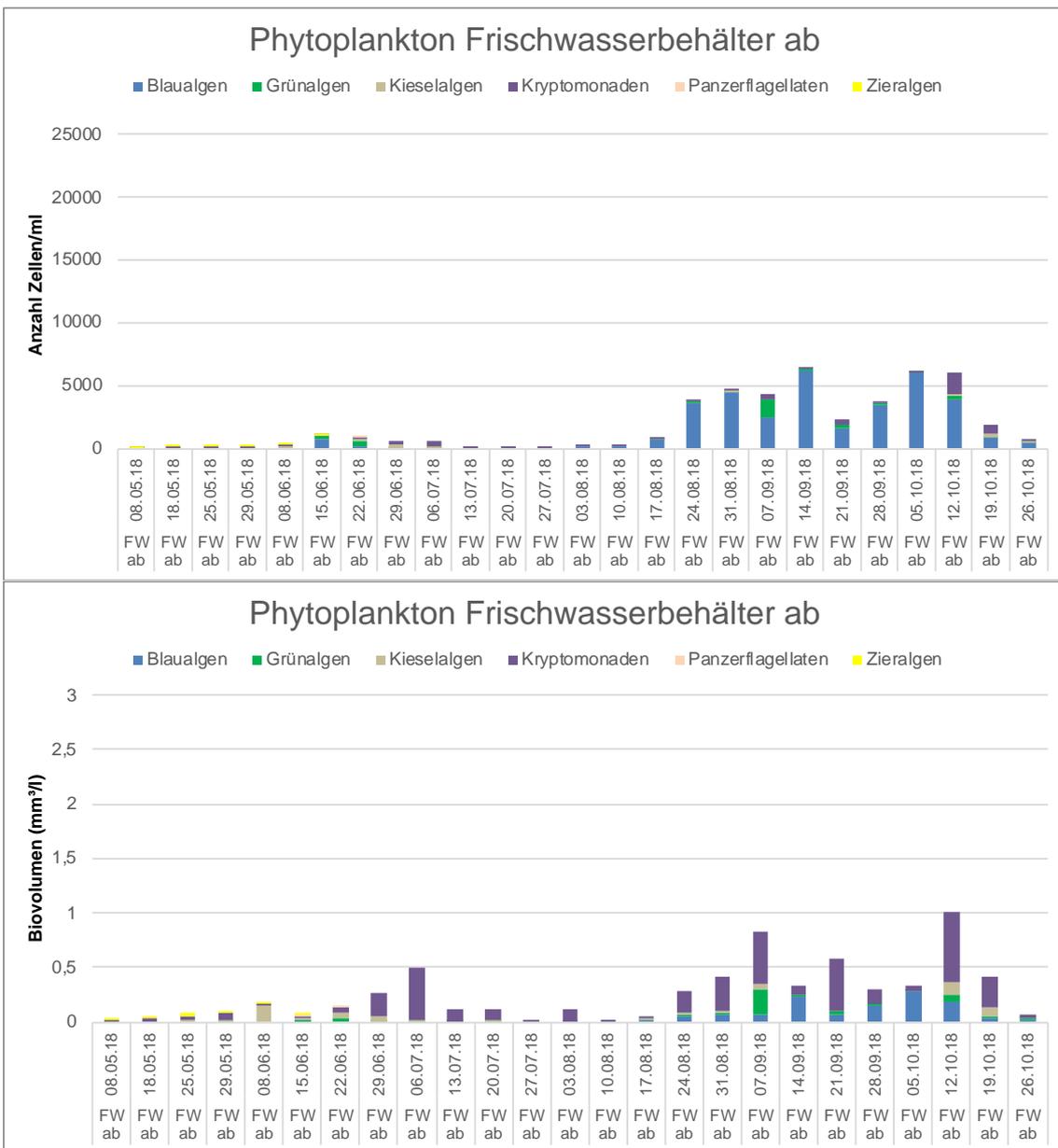


Abbildung 38: Dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Frischwasserbehälter, oben Anzahl in Zellen/ml, unten Gesamtbiovolumen in mm³/l

In Tabelle 27 sind die gefundenen dominierenden Phytoplankter aufgelistet, sowie die weiteren gefundenen Partikel. Es werden jeweils die relevanten Parameter angegeben. Im Anhang sind die an den jeweiligen Messstellen gefundenen dominierenden Phytoplankter tabellarisch dargestellt.

Tabelle 27: Dominierende Phytoplankter und Partikel im Spreekanal

Taxon	Algenklasse/Gruppe	Verband	Vermessung	Form	Größe		Biovolumen
					µm	µm³	
Achnanthydium lanceolatum	Kieselalgen	Zelle	Zelle		8-12		84
Anabaena flos-aque	Blualgen	Kolonie	Kugel			6	113
anorganische Partikel 1	anorganische Partikel	Partikel	Quader	7,5x3,5x2,5	<10		65,6
anorganische Partikel 2	anorganische Partikel	Partikel	Quader	17,5x17,5x7	10-25		857,5
anorganische Partikel 3	anorganische Partikel	Partikel	Quader	37,5x37,5x15	25-50		8437,5
anorganische Partikel 4	anorganische Partikel	Partikel	Quader	75x40x20	50-100		60000,0
Aphanocapsa sp.	Blualgen	Kolonie	Zelle				1,3
Asterionella formosa	Kieselalgen	Kolonie 8er	Zelle			35	210,0
Aulacoseira granulata	Kieselalgen	Faden	Zelle	Zylinder		35x7	1347,0
Chlamydomonas sp. 1	Grünalgen	Zelle	Zelle			10-15	73,1
Chlamydomonas sp. 2	Grünalgen	Zelle	Zelle			8x5	113,0
Cocconeis sp.	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Ellipsoid abgeflacht (0,82)	29x19		4495,0
Cosmarium sp.	Zieralgen	Zelle	Zelle	Doppelkellipsoid	40x30		12566,0
Cryptomonas sp. 1	Kryptomonaden	Zelle	Zelle	Ellipsoid abgeflacht	15		1341,0
Cryptomonas sp. 2	Kryptomonaden	Zelle	Zelle	Ellipsoid abgeflacht	20-25		1982,8
Detritusflocke 1	organische Partikel	Detritusflocke	Kugel		5	<10	65,5
Detritusflocke 2	organische Partikel	Detritusflocke	Quader	17,5x17,5x7	10-25		857,5
Detritusflocke 3	organische Partikel	Detritusflocke	Quader	37,5x37,5x15	25-50		8437,5
Detritusflocke 4	organische Partikel	Detritusflocke	Quader	75x40x20	50-100		60000,0
Fragilaria acus 1	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		120	750,0
Fragilaria acus 2	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		250	8750,0
Gymnodinium mantzschii	Panzerflagellaten	Zelle	Zelle				1340,0
Microcystis aeruginosa flos-aque	Blualgen	Kolonie 10-100 µm	Zelle	Kugel		4,5	47,7
Navicula sp. 1	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		8x3,5x3	84,0
Navicula sp. 2	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		13x4,4x3	172,0
Navicula sp. 3	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		20x5x4	400,0
Navicula sp. 4	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		28x7x5	980,0
Nitzschia acicularis	Kieselalgen	Zelle	Zelle			29 µm eb	256,0
Nitzschia sp. 1	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		20x5x4	400,0
Nitzschia sp. 2	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		40x6x4	960,0
Nitzschia sp. 3	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		60x8x6	2880,0
Nitzschia sp. 4	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		80x8x6	3840,0
Pennale Kieselalgen groß	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		40x6x4	960,0
Rhodomonas lacustris var. nanoplactica	Kryptomonaden	Zelle	Zelle			10x5	137,2
Rhoicosphenia curvata 1	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		20x5x4	400,0
Rhoicosphenia curvata 2	Kieselalgen	Zelle	Zelle	Quader		40x6x4	960,0
Scenedesmus sp.	Grünalgen	4 Zellen	Zelle			12	190,0
Tribonema sp.	Grünalgen	Faden	Zelle			17x4	213,6
Zentrale Diatomeen 1	Kieselalgen	Zelle	Zelle			5-10	110,3
Zentrale Diatomeen 2	Kieselalgen	Zelle	Zelle			10-15	843
Zentrale Diatomeen 3	Kieselalgen	Zelle	Zelle			15-20	1402
Zentrale Diatomeen 4	Kieselalgen	Zelle	Zelle			20-25	2979
Zentrale Diatomeen 5	Kieselalgen	Zelle	Zelle			25-30	5439

In Abbildung 39 und Abbildung 40 ist jeweils die erreichte prozentuale Elimination der Anzahl Zellen für die dominierenden Phytoplanktonorganismen in den einzelnen Anlagenstufen dargestellt. In Abbildung 39 sind die Anlagenstufen jeweils einzeln betrachtet worden. In Abbildung 40 ist jeweils die prozentuale Gesamtelimination bezogen auf den Zulauf zum Muschelfilter mit dem jeweils nachgeschalteten Filter angegeben.

Die höchste Eliminationsleistung wies Filter 3 auf. Durch die Kombination mit dem vorgeschalteten Muschelfilter war die prozentuale Eliminationsleistung bei Filter 3 und auch bei Filter 1 signifikant höher. Dagegen war die Eliminationsleistung von Filter 2 mit vorgeschaltetem Muschelfilter nicht höher als ohne Vorbehandlung.

In Abbildung 41 und Abbildung 42 sind Biovolumen der dominierenden Phytoplanktonorganismen und Detritusvolumen in den einzelnen Anlagenstufen dargestellt. Die Partikel in der Spree waren überwiegend Detritus. Im Ablauf der Filter waren sowohl Detritus als auch Biovolumen signifikant reduziert. Die höchste Elimination wies Filter 3 auf.

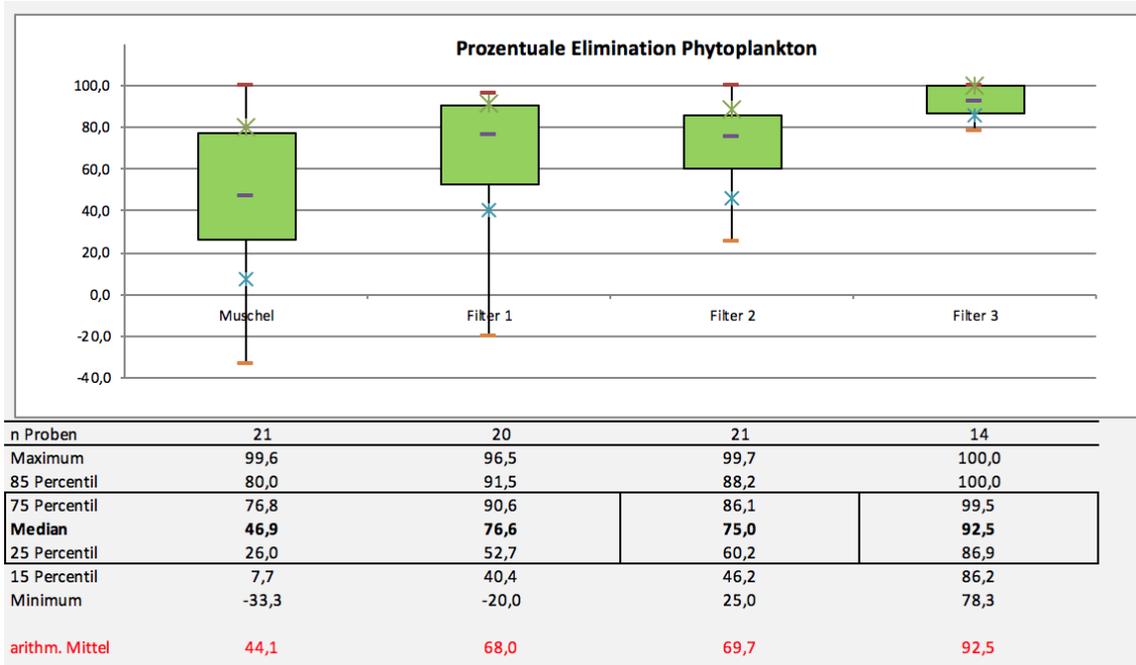


Abbildung 39: Prozentuale Elimination der dominierenden Phytoplanktonorganismen (Anzahl) je einzelne Stufe im Muschelfilter, Filter 1, Filter 2 und Filter 3

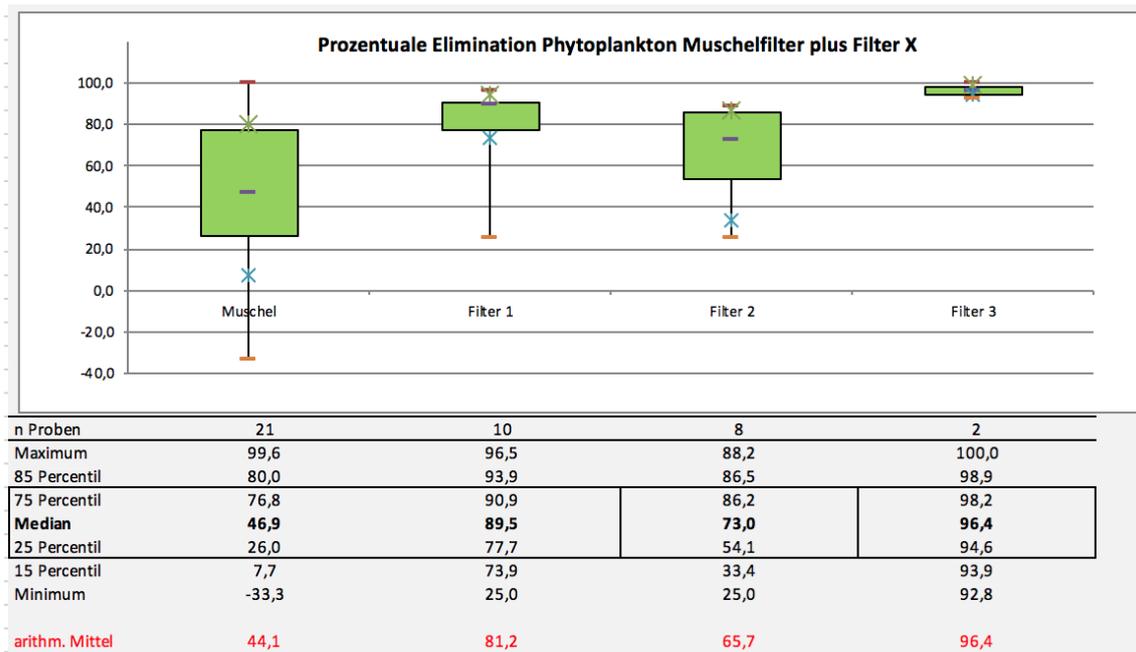


Abbildung 40: Prozentuale Elimination dominierender Phytoplanktonorganismen (Anzahl) im Muschelfilter in Kombination jeweils mit Filter 1, Filter 2 oder Filter 3

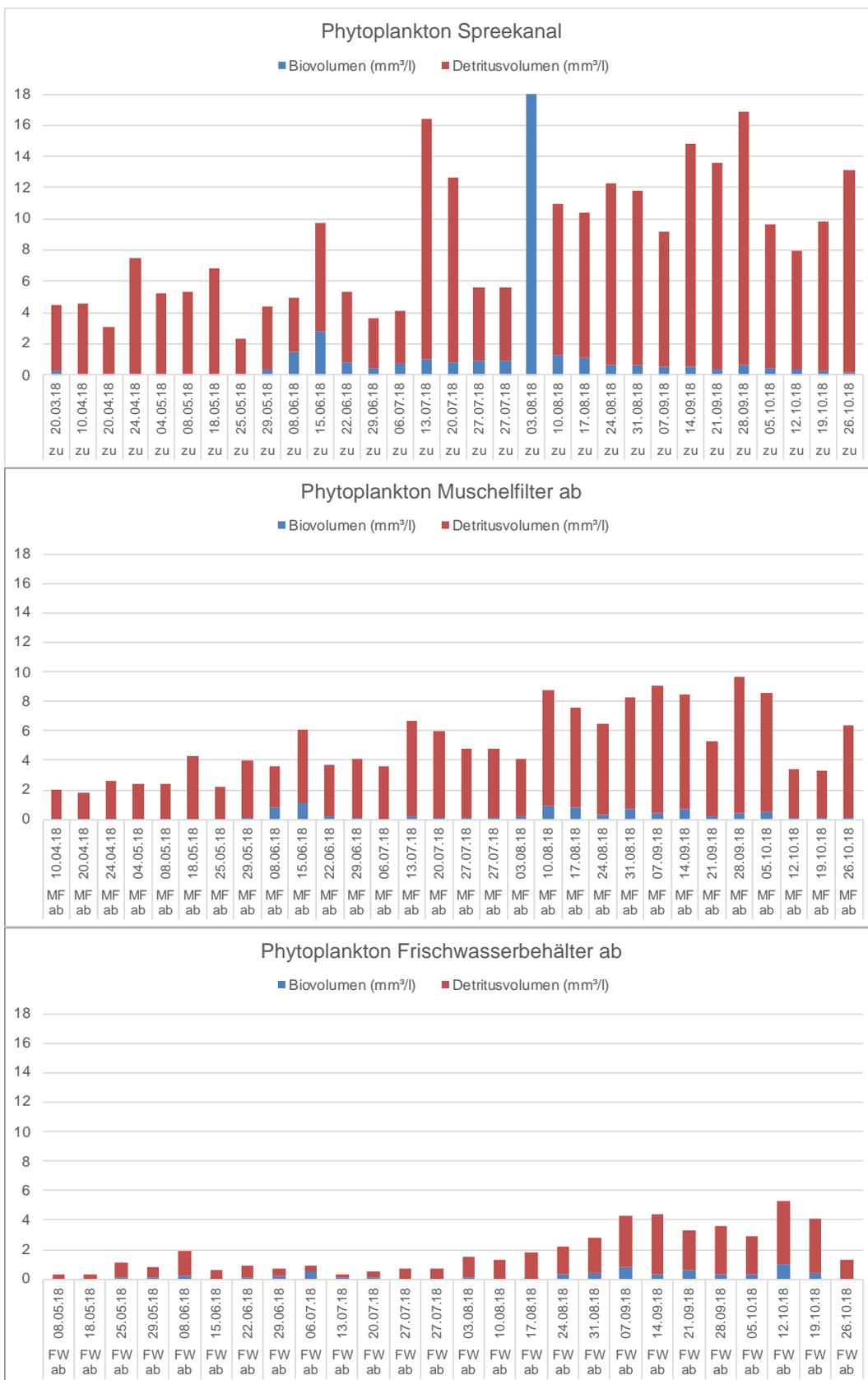


Abbildung 41: Biovolumen und Detritusvolumen in mm³/l im Spreekanal (oben), im Ablauf Muschelfilter (mitte) und im Frischwasserbehälter (unten)

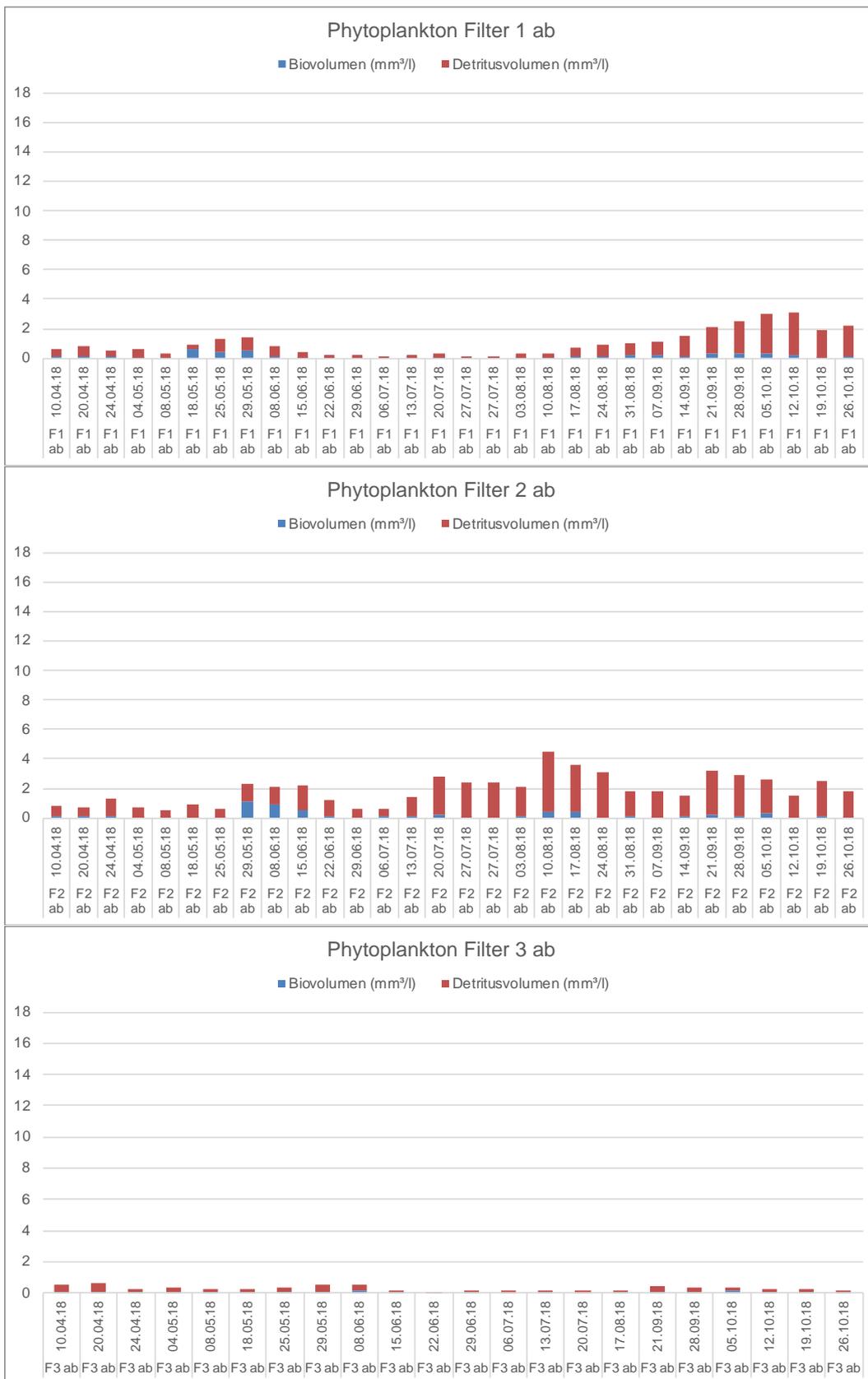


Abbildung 42: Biovolumen und Detritusvolumen in mm³/l im Abauf Filter 1 (oben), im Ablauf Filter 2 (mitte) und Filter 3 (unten)

6.3 Dominierende Zooplanktonorganismen/ 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 bisher 88 verschiedene Taxa nachgewiesen, pro Messstelle (Kompartiment) konnten durchschnittlich 58 Taxa registriert werden. Die höchste Taxaabundanz (67) wurde im Überstand von Filter 2 festgestellt, die geringsten Taxazahlen (43) waren im Ablauf von Filter 1 und im Frischwasser vorhanden. Ähnliche Unterschiede wurden auch für die Besiedlungsdichten registriert. Im Durchschnitt wurden 83 Ind./l festgestellt, die höchsten Individuendichten waren im Überstand von Filter 3 vorhanden (364 Ind./l), die geringsten Abundanzen wurden im Ablauf von Filter 3 nachgewiesen. Die Biomasse der Tiergemeinschaften betrug durchschnittlich 194 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 43, Abbildung 44, Tabelle 28).

Tabelle 28: Taxazahlen, Individuendichten und Biomassen von Zooplankton/Meiofauna in den einzelnen Messstellen

		Zulauf	MF Ü	MF Ab	F1 Ü	F1 Ab	F2 Ü	F2 Ab	F3 Ü	F3 Ab	FW
Taxazahl		58	54	50	48	43	67	58	58	50	43
Abundanz [Ind./l]	MW	94	37	22	154	20	79	39	397	15	19
	MIN	23	8	5	10	1	14	11	40	1	1
	MAX	190	78	46	470	80	218	66	1.150	59	72
Biomasse [µg/l]	MW	101	25	11	162	6	203	18	660	13	819
	MIN	14	9	4	23	0,5	10	3	6	1	0,4
	MAX	372	92	31	577	17	1.560	44	1.920	54	3.670

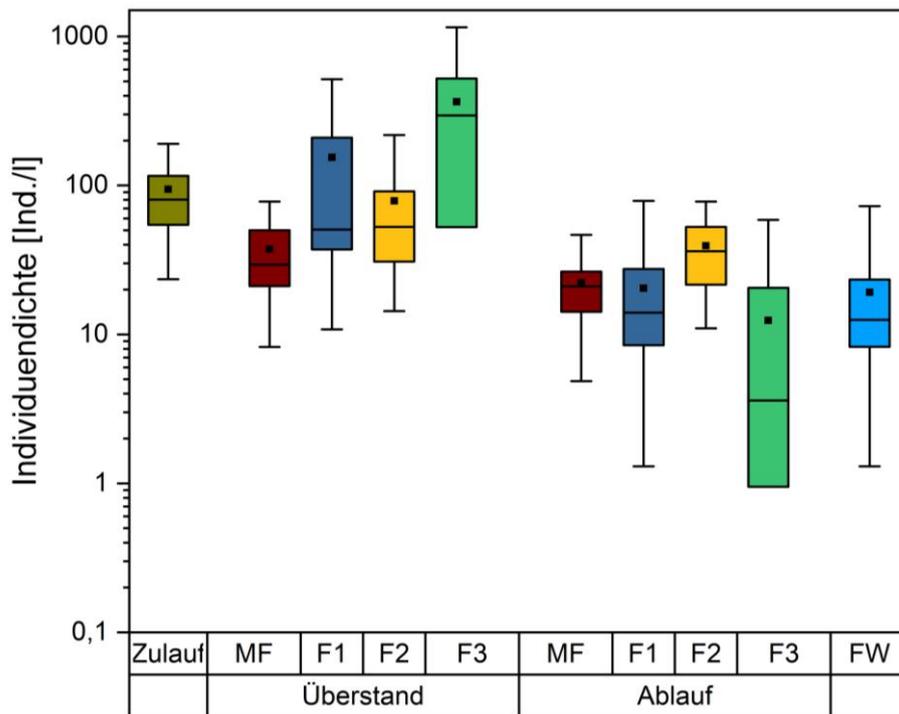


Abbildung 43: Individuendichten der Tiergruppen Zooplankton/Meiofauna für die einzelnen Messstellen (lg-Skala)

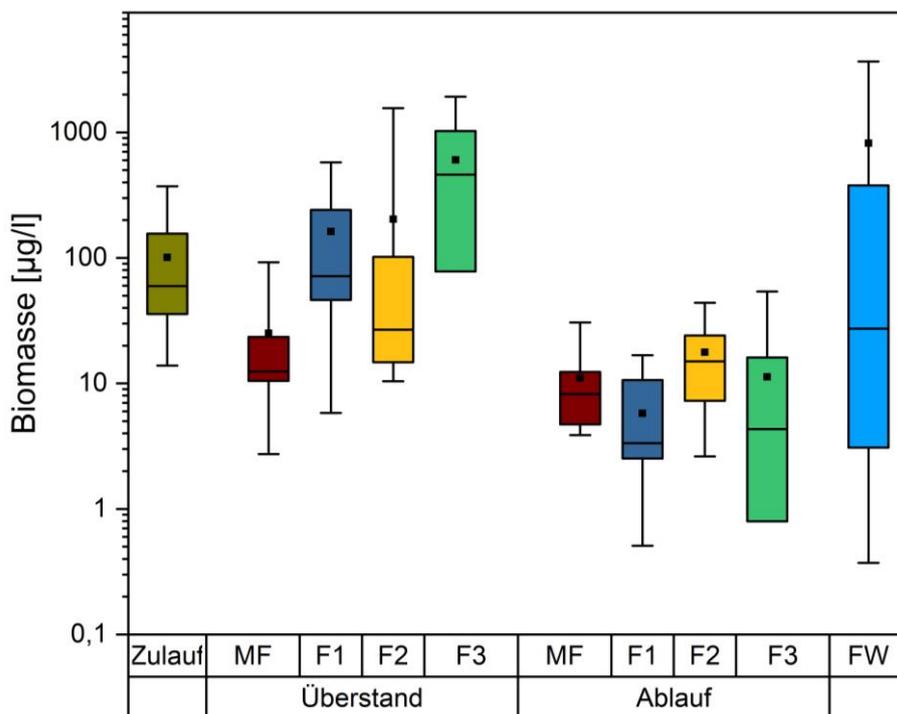


Abbildung 44: Biomassen der Tiergruppen Zooplankton/Meiofauna für die einzelnen Messstellen (lg-Skala)

Die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften hinsichtlich ihrer Stellung im Nahrungsnetz und ihrer Präferenzen für bestimmte Lebensräume ist wesentlich für die Funktion der geplanten Anlage. Beim Durchfluss durch die Kompartimente des Schiffes ändert sich der Lebensraum, indem in allen Kompartimenten der Anteil des Freiwassers geringer wird und feste Oberflächen in Form von Wänden, Füllmaterialien und Pflanzen an Bedeutung zunehmen. In natürlichen Gewässern sind dies Kleingewässer und ufernahe Bereiche größerer Wasserkörper. Im Vergleich zum Spreekanal entwickelten sich in den Kompartimenten des Schiffes Taxa, die vor allem Kleingewässer bzw. das Litoral besiedeln, Taxa des Planktons werden verdrängt. Dieser Aspektwechsel wird in den Filtern 1 bis 3, insbesondere im Ablauf der Filter deutlich (Abbildung 45).

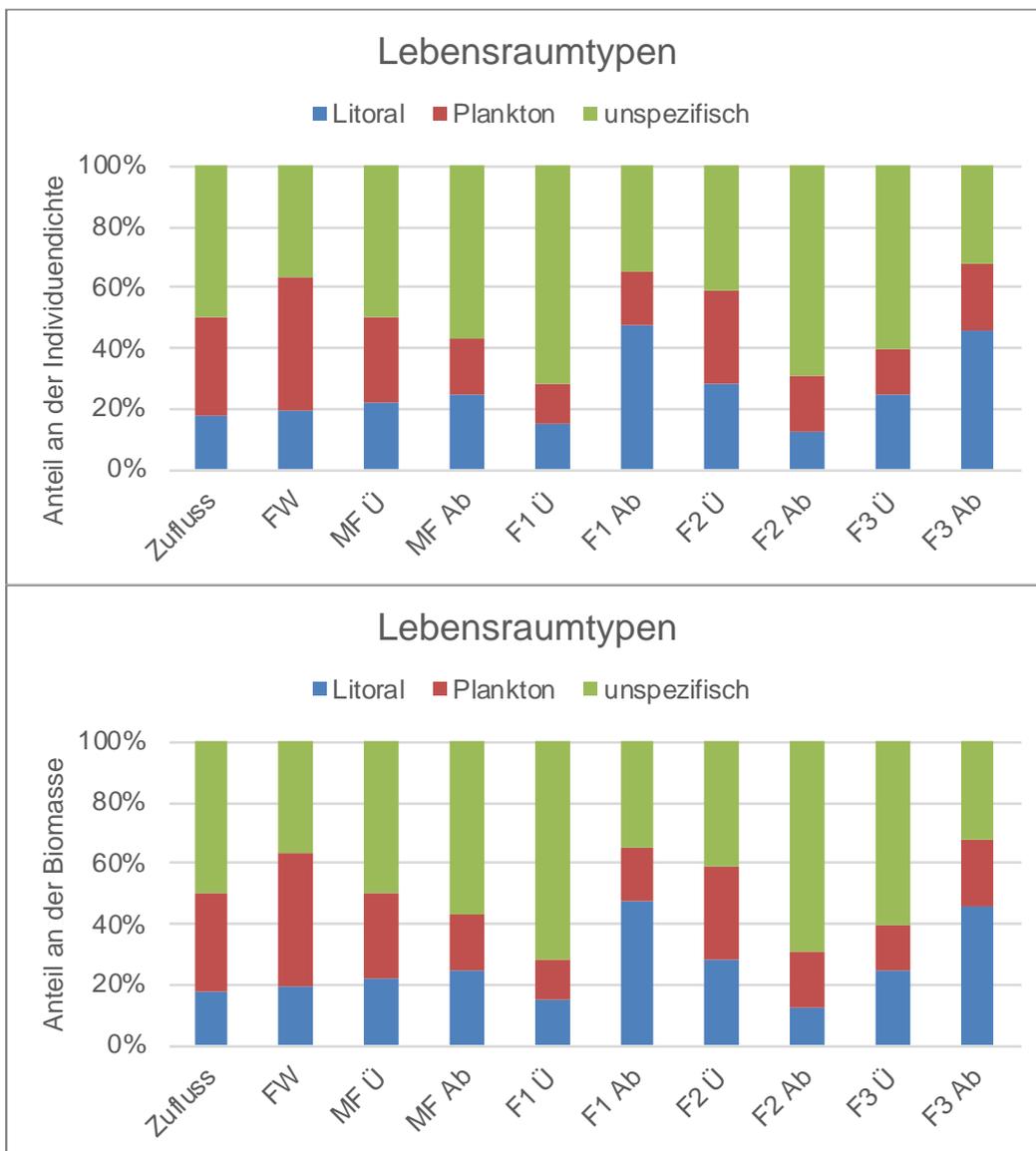


Abbildung 45: Präferenzen für Lebensräume für das Zooplankton/die Meiofauna in einzelnen Kompartimenten: Anteile an der Individuendichte (oben) und der Biomasse (unten)

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 sogenannte Substratfiltrierer, die Sedimente zunächst aufwirbeln und diese Bestandteile dann filtrieren. Zunehmende Anteile von Taxa mit detritivorer Ernährungsweise verdeutlichen diesen Aspektwechsel besonders im Filter 2 und 3 (Abbildung 46).



Abbildung 46: Ernährungstypen für das Zooplankton/ die Meiofauna in einzelnen Kompartimenten: Anteile an der Individuendichte (oben) und der Biomasse (unten)

Spreekanal

Im jahreszeitlichen Verlauf bildete das Zooplankton im Spreekanal Ende Juni (ohne Berücksichtigung des Entwicklungsmaximums der Muschellarven) und Ende September zwei Entwicklungsmaxima aus. Die Lebensgemeinschaft wurde zahlenmäßig vor allem von Kleinkrebsen aus der Tiergruppe der Hüpferlinge dominiert; im Frühjahr bildeten darüber hinaus Rädertierchen und im Herbst Blattfußkrebse höhere Bestandsdichten aus. Auf Grund ihrer Körpergröße hatten Blattfußkrebse im zeitigen Frühjahr und im Herbst große Anteile an der Biomasse der Tiergemeinschaft (Abbildung 47).

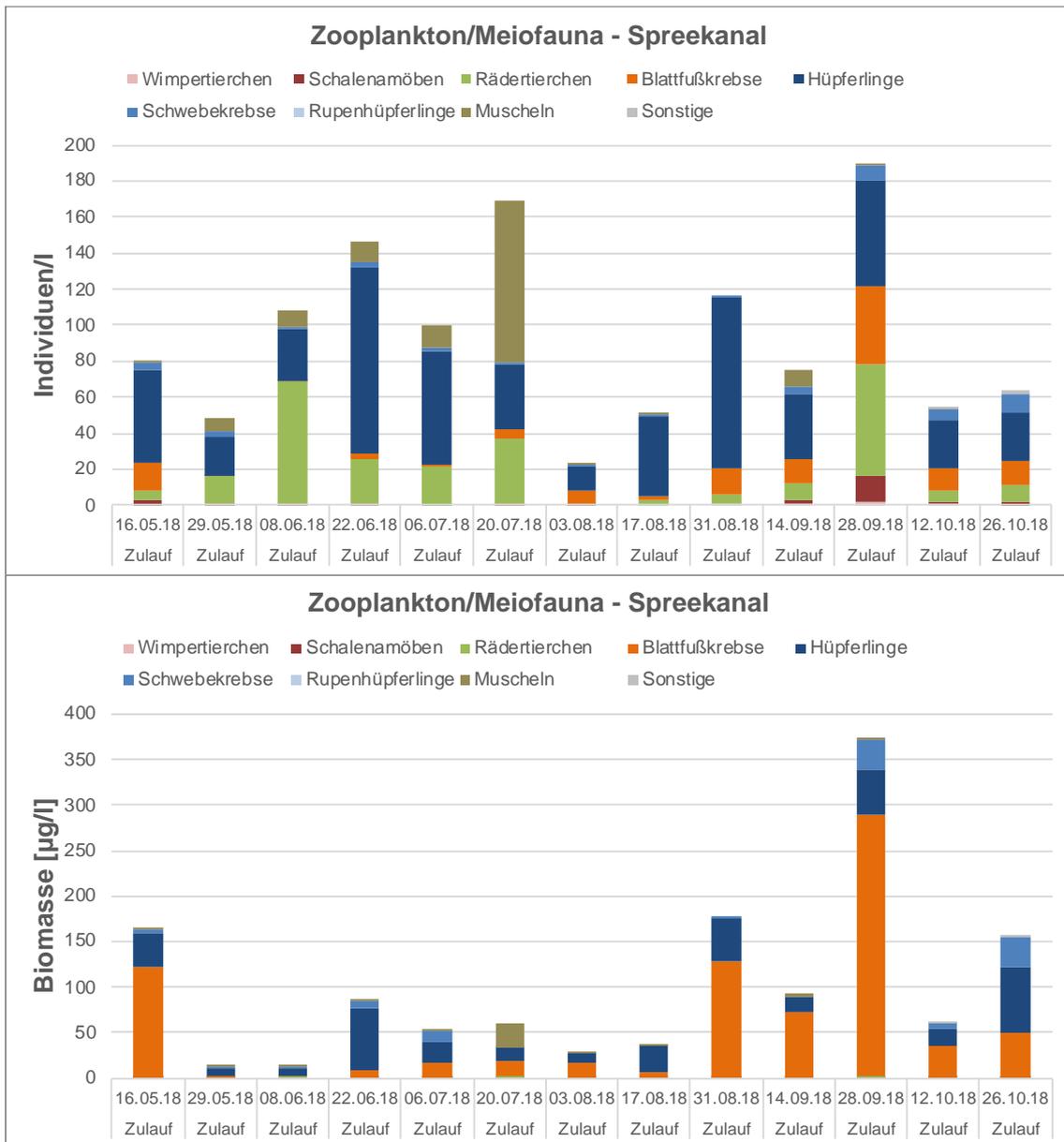


Abbildung 47: Individuendichte (oben) und Biomasse (unten) des Zooplanktons im Spreekanal

Muschelfilter

Die im Muschelfilter an Aufwuchsträgermatten lebenden Dreikant- und Quaggamuscheln sollen über Filtration die vorhandenen Algen und Detrituspartikel vermindern. Große

herbivore Arten können diesen Prozess unterstützen. Blattfuß- und Schwebekrebse gehören zu den effektiven Filtrierern, beide Tiergruppen hatten in der zweiten Jahreshälfte höhere Anteile an der Individuendichte und an der Biomasse.

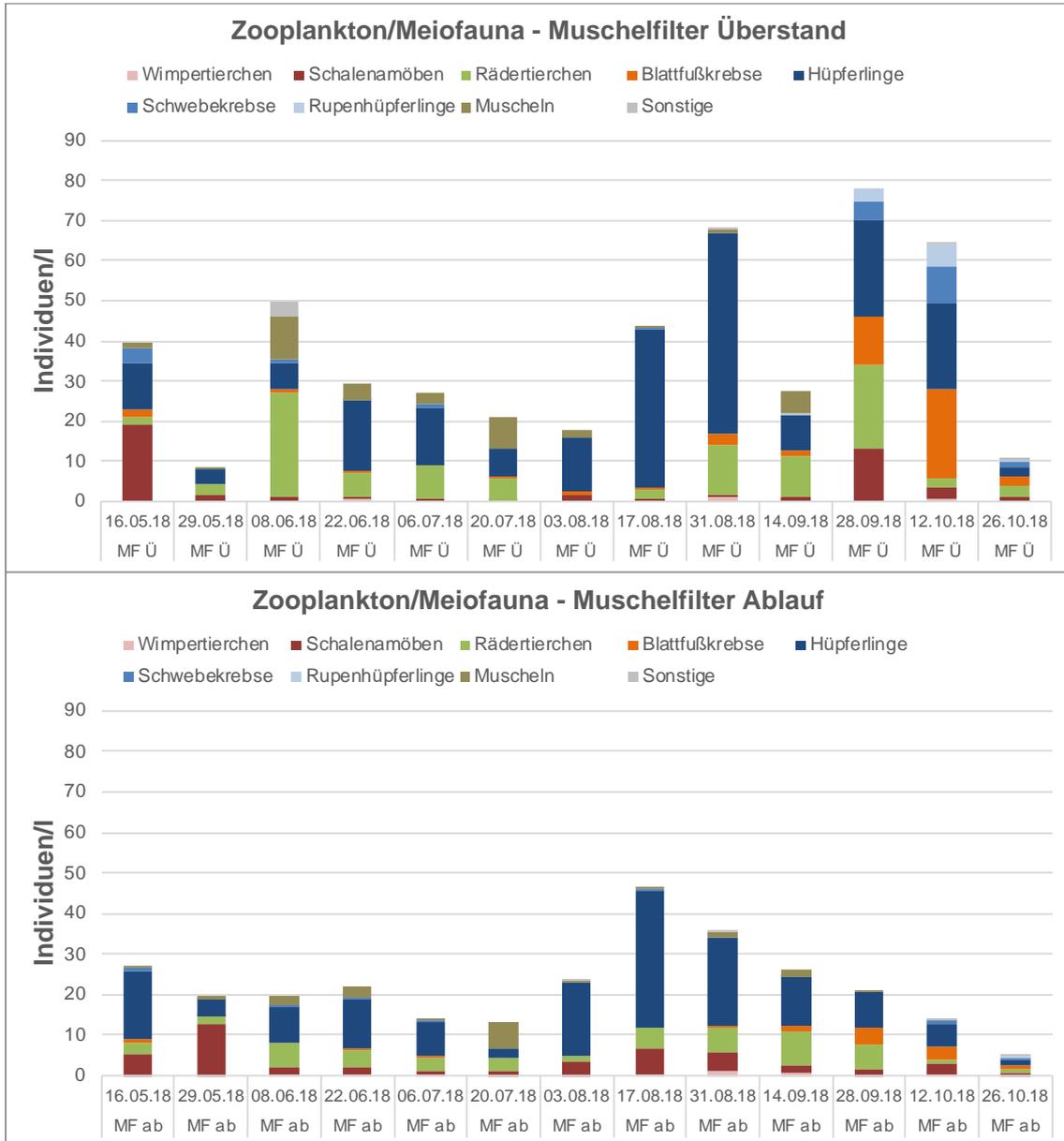


Abbildung 48: Individuendichte des Zooplanktons im Muschelfilter: Überstand (oben) und Ablauf (unten)

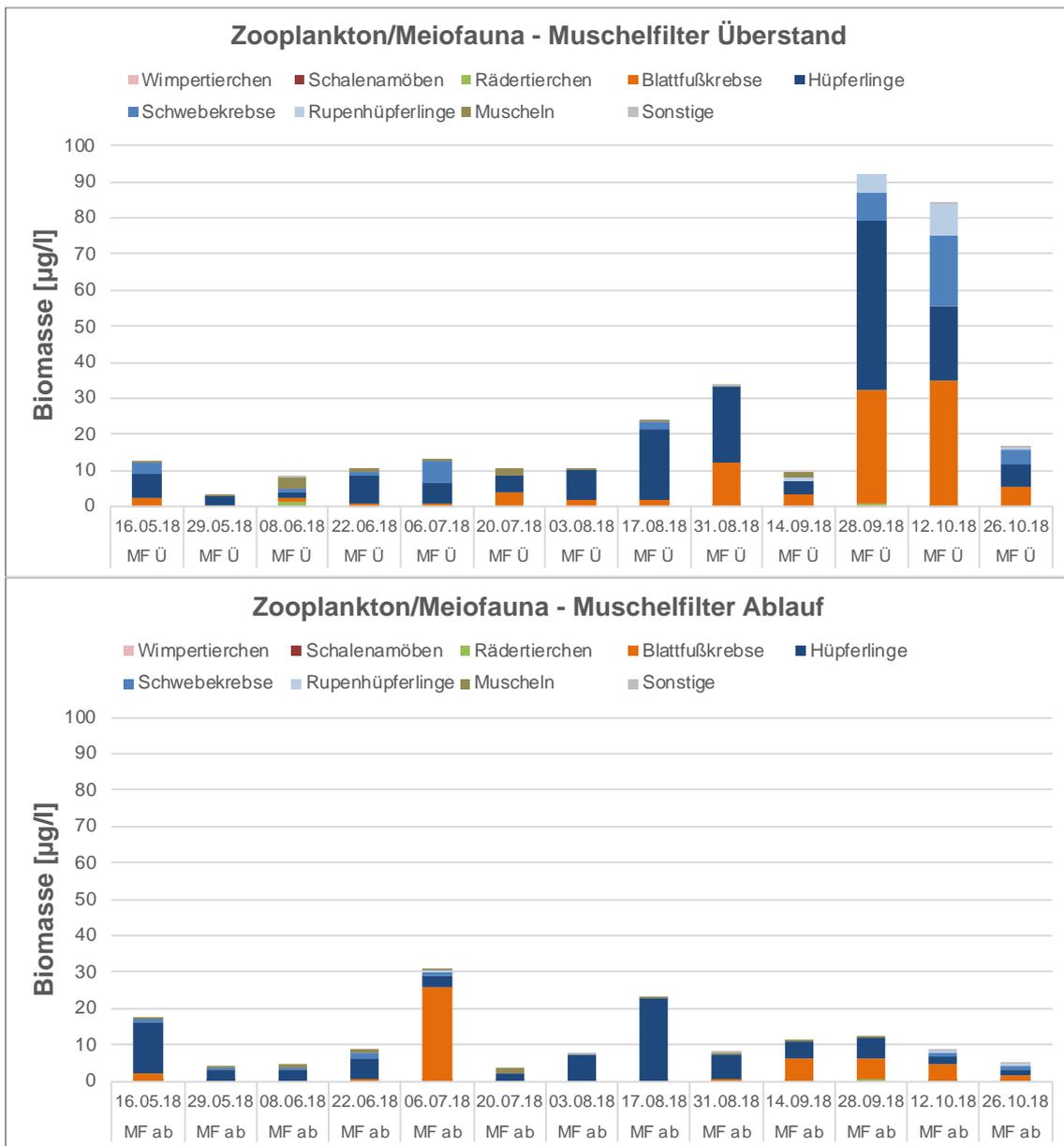


Abbildung 49: Biomasse des Zooplanktons im Muschelfilter: Überstand (oben) und Ablauf (unten)

Im Vergleich zum Spreekanal waren die Besiedelungsdichten und Biomassen des Zooplanktons im Muschelfilter ganzjährig geringer; durchschnittlich waren im Spreekanal 94 Ind./l bzw. 101 µg/l vorhanden, bereits im Überstand des Muschelfilters waren es nur noch 37 Ind./l bzw. 25 µg/l und im Ablauf wurden durchschnittlich 22 Ind./l sowie 11 µg/l registriert. Dieser Rückgang kann auf das infolge der Filtrationsleistung der Muscheln verminderte Nahrungsangebot zurückzuführen sein.

Filter 1 (Blähton)

Im Überstand von Filter 1 waren die Zooplankter im Vergleich zum Spreekanal in höheren Individuendichten und Biomassen vorhanden. Besonders deutlich waren die Unterschiede in den Sommermonaten Juli und August. Die Lebensgemeinschaft wurde in diesem Zeitraum von Hüpferlingen dominiert, die allerdings auf Grund ihrer omnivoren

Lebensweise (Allesfresser) nur bedingt an der Verminderung des Phytoplanktons beteiligt sind.

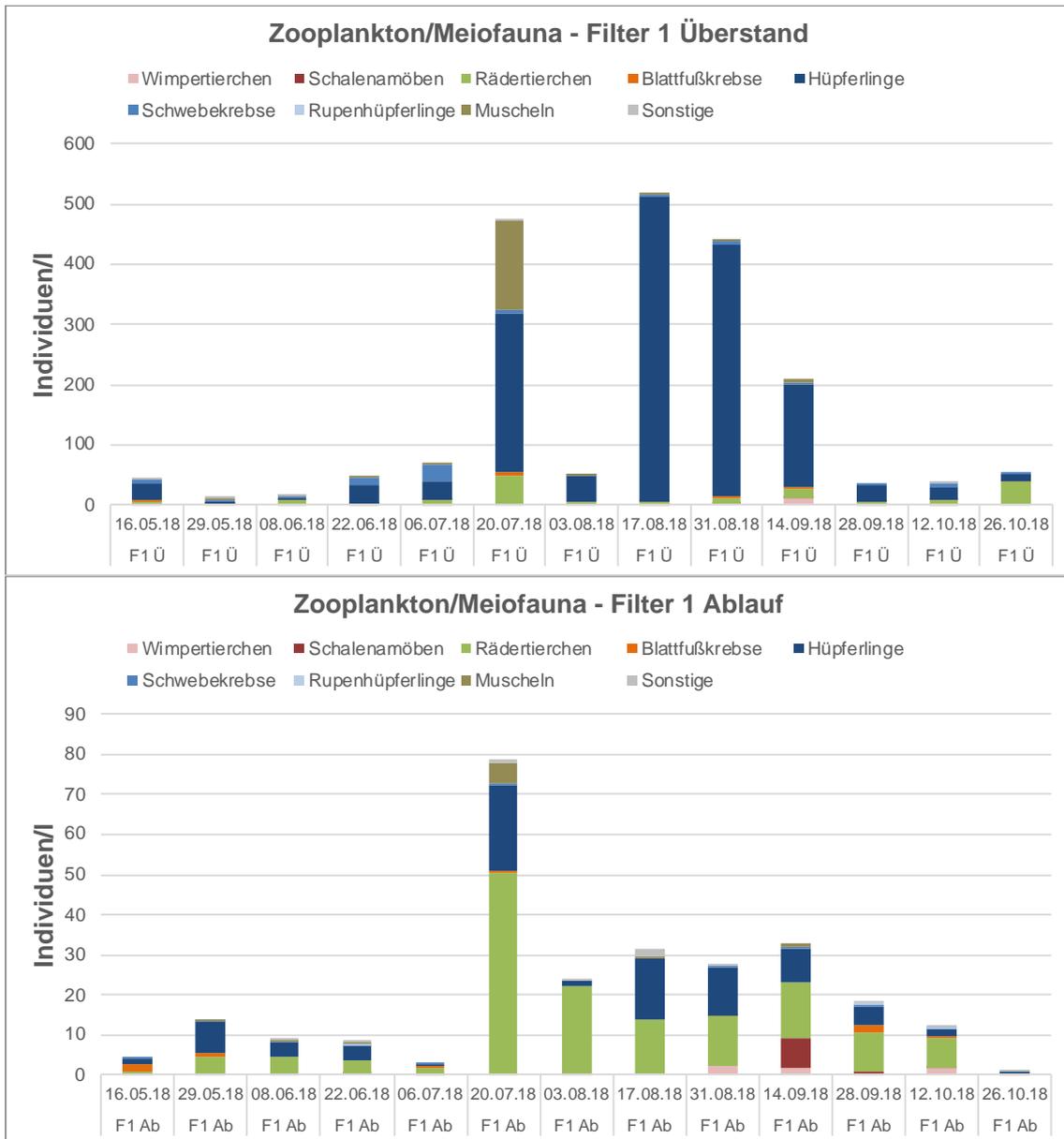


Abbildung 50: Individuendichte des Zooplanktons im Filter 1: Überstand (oben) und Ablauf (unten)

Im Ablauf des Filters waren sowohl die Individuendichten als auch die Biomassen insgesamt deutlich geringer gegenüber den Werten im Überstand. Die Rädertierchen hatten hier ab Juli einen höheren Anteil an der Individuendichte.

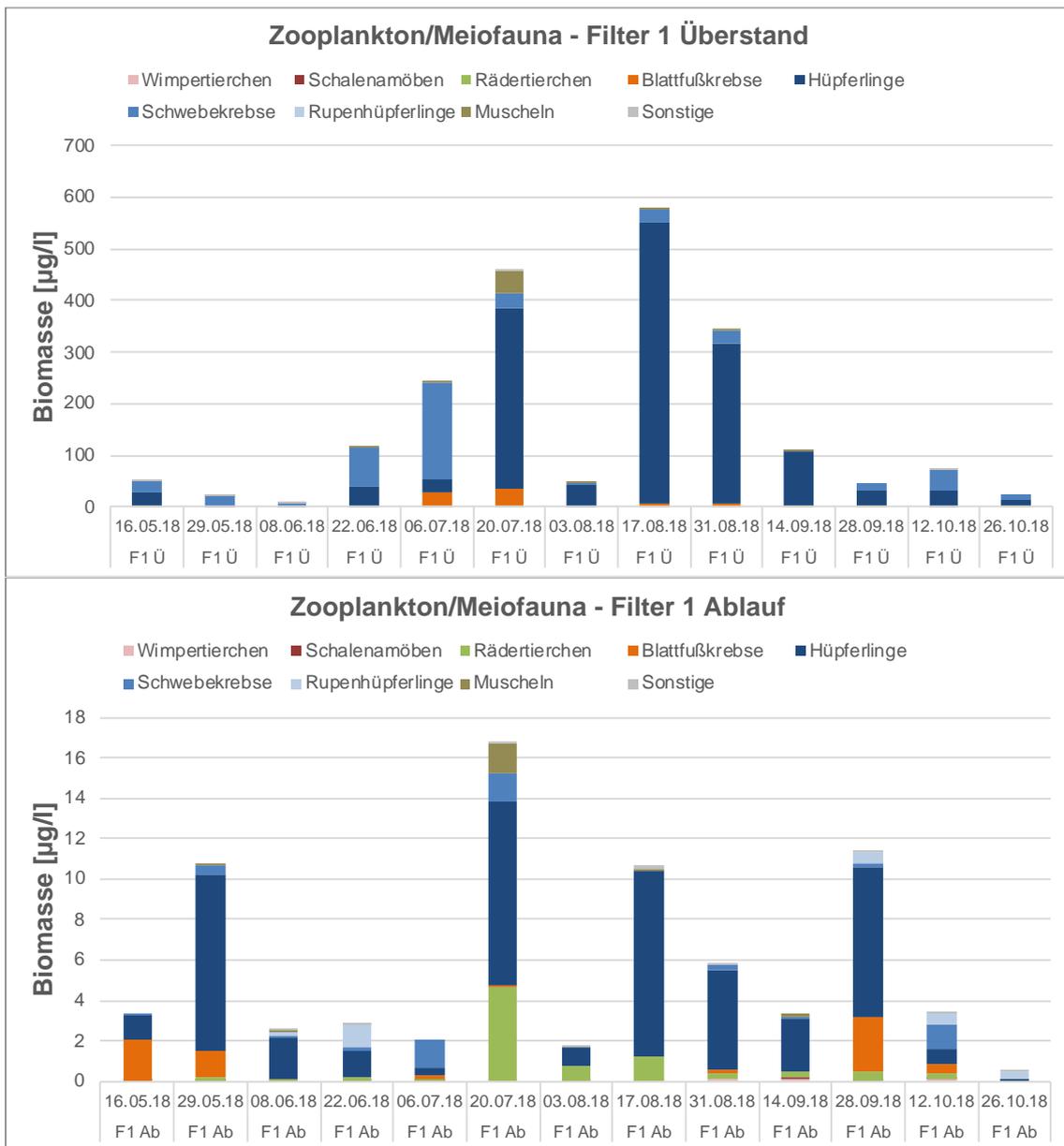


Abbildung 51: Biomasse des Zooplanktons im Filter 1: Überstand (oben) und Ablauf (unten)

Filter 2 (Lava)

Im Filter 2 entwickelten sich Zooplankten und Meiofauna konträr zu allen anderen Festbettfiltern; vergleichsweise geringeren Individuendichten und ähnlichen Biomassen im Überstand standen vergleichsweise hohe Dichten und Biomassen im Ablauf gegenüber. Im Jahresverlauf wurden die höchsten Individuendichten im Frühsommer erreicht. Zahlenmäßig wurde die Lebensgemeinschaft ganzjährig von Hüperlingen dominiert, im Frühjahr hatten Blattfußkrebse den höchsten Anteil an der Biomasse.

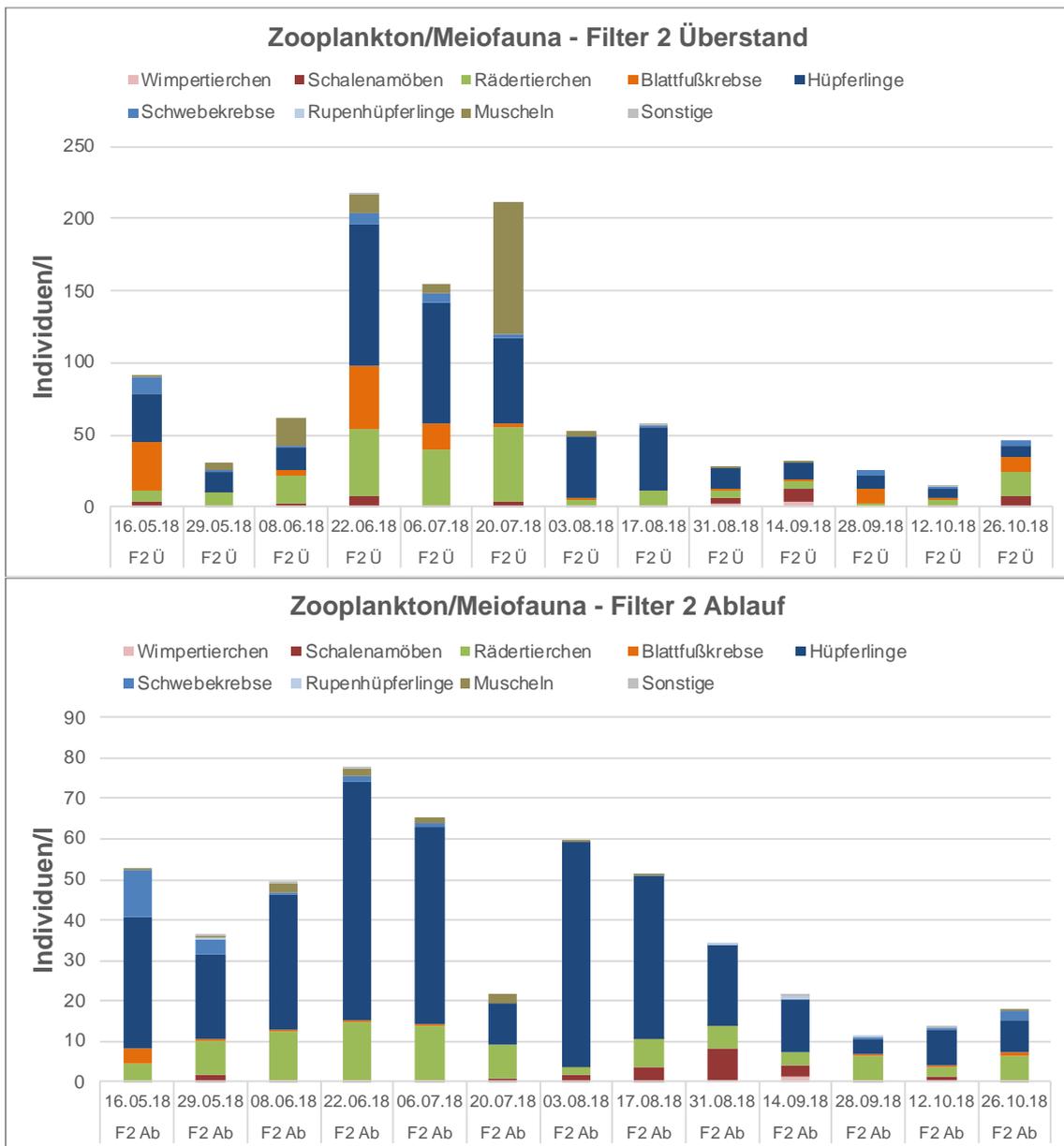


Abbildung 52: Individuendichte des Zooplanktons im Filter 2: Überstand (oben) und Ablauf (unten)

Die extrem hohe Biomasse im Überstand am 06.07.2018 wurde durch das massenhafte Vorkommen des Raubwasserfloh *Poplyphemus pediculus* verursacht. Er ernährt sich ausschließlich räuberisch von kleineren Krebsen und Rädertierchen; seine Entwicklung schränkt möglicherweise die Verminderung von Phytoplankton und Detritus über die Nahrungskette ein.

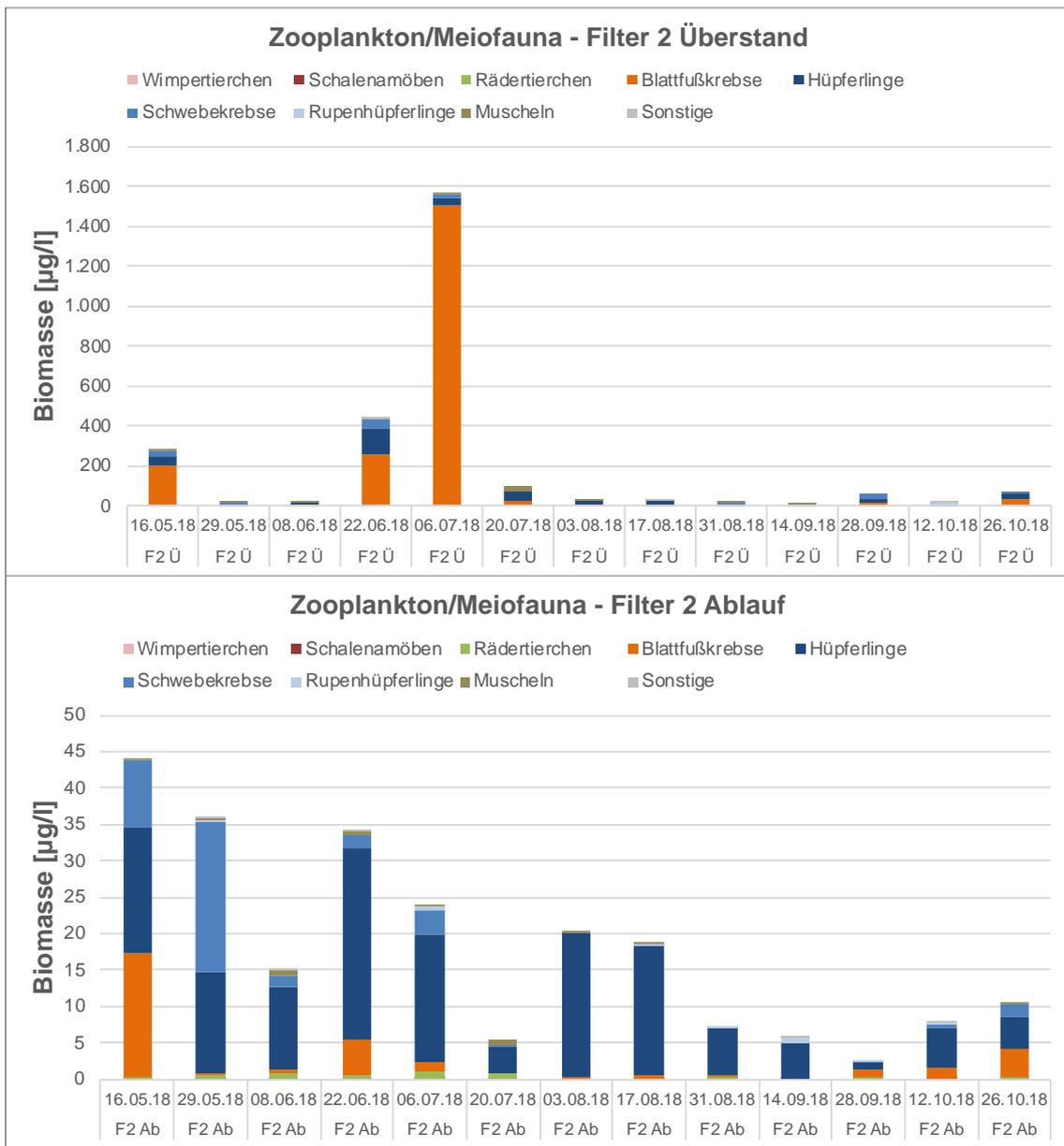


Abbildung 53: Biomasse des Zooplanktons im Filter 2: Überstand (oben) und Ablauf (unten)

Filter 3 (Kies, bepflanzt)

Filter 3 hatte von allen Festbettfiltern die höchste biologische Aktivität. Individuendichte und Biomasse von Zooplankton/Meiofauna waren doppelt bis dreifach so hoch im Vergleich zu Filter 1 und 2. Im Jahresverlauf waren zwei Entwicklungspeaks vom Mai bis Juli und im September/Oktober zu beobachten.

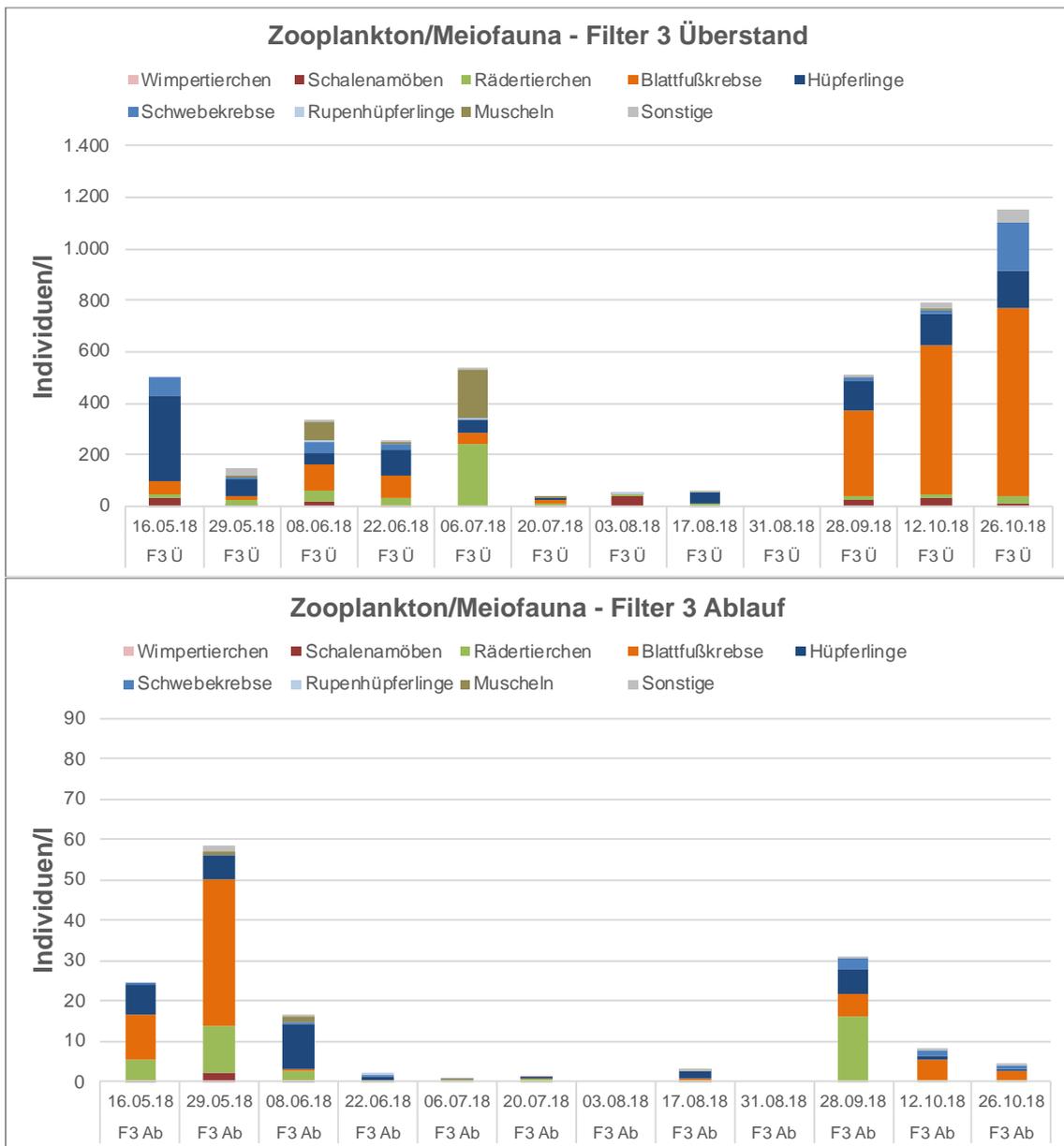


Abbildung 54: Individuendichte des Zooplanktons im Filter 3: Überstand (oben) und Ablauf (unten)

In der ersten Jahreshälfte waren die verschiedenen Tiergruppen in ähnlichen Individuendichten bzw. Anteilen vorhanden, im Herbst dominierten Arten der Blattfußkrebse. Auf Grund ihrer Körpergröße hatten letztere ganzjährig sehr hohe Anteile an der Biomasse, nur im Frühjahr überwogen die Hüpfertinge. Im Gegensatz zu Filter 1 und 2 bildeten große Schwebekrebse im Frühjahr und Herbst vergleichsweise hohe Individuendichten und Biomassen aus. Die hier vorkommenden Arten sind effektive Verwerter von Phytoplankton bzw. Detritus.

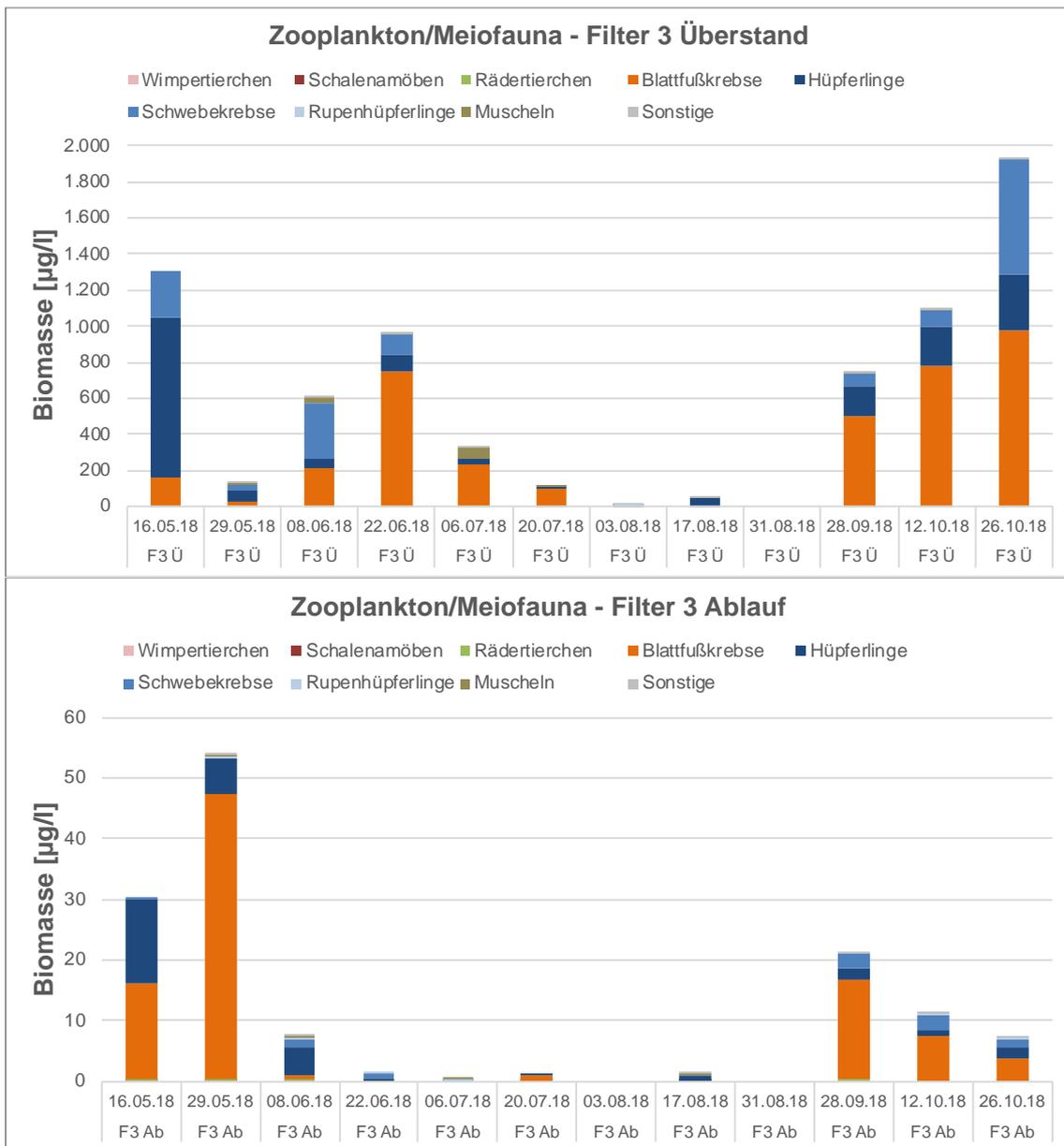


Abbildung 55: Biomasse des Zooplanktons im Filter 3: Überstand (oben) und Ablauf (unten)

Frischwasser

Das Zooplankton des Frischwassers war ähnlich individuenarm wie die Gemeinschaften im Ablauf aller Festbettfilter. Die extrem hohen Biomassewerte im Frühjahr und Frühsommer sind dem Vorkommen des Raubwasserfloh *Polyphemus pediculus* geschuldet, einem ca. 2 mm großem Blattfußkrebs, der sich räuberisch von kleineren Krebsen und Rädertierchen ernährt.

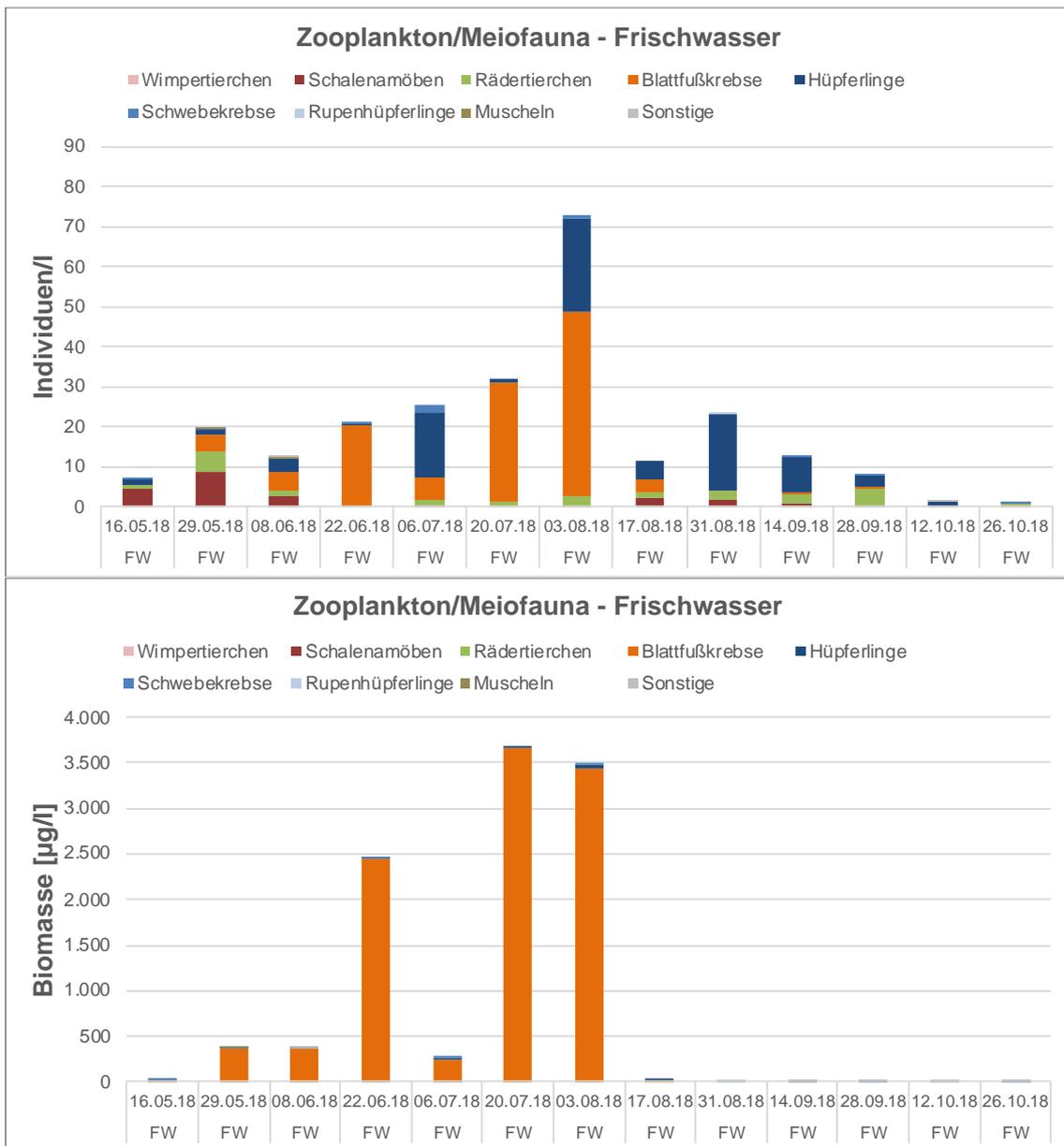


Abbildung 56: Individuendichte (oben) und Biomasse (unten) des Zooplanktons im Frischwasser

Polyphemus pediculus fand als typische Art kleinerer Gewässer offensichtlich im Frischwasserbecken ideale Entwicklungsbedingungen vor. Der Krebs war zwar in allen anderen Kompartimenten (einschließlich Spreekanal) ebenfalls vorhanden, kam dort aber nur sporadisch und in meist geringeren Individuendichten vor. Einzige Ausnahme war Filter 2; im Überstand wurden am 20.07.2018 höhere Individuendichten ausgebildet mit möglicherweise negativen Auswirkungen auf die „biologische Filtration“ von Phytoplankton und Detritus. Die weitere Dezimierung des Zooplanktons im Frischwasserbecken hatte jedoch keine negativen Folgen hinsichtlich der Badewasserqualität.

Im Anhang sind die an den einzelnen Probenahmestellen bisher gefundenen dominierenden Zooplankter-Arten aufgeführt.

Die detaillierten Daten sind in einer Datenbank vorhanden.

Tabelle 29: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Spreekanal

Name	Art-Name	OTL-Nummer
Blattfußkrebse	Acroperus	CLChyAcr000
Blattfußkrebse	Acroperus harpae	CLChyAcr040
Blattfußkrebse	Alona guttata	CLChyAlo030
Blattfußkrebse	Alona quadrangularis	CLChyAlo050
Blattfußkrebse	Alona rectanquila	CLChyCor010
Blattfußkrebse	Alona sp.	CLChyAlo000
Blattfußkrebse	Bosmina longirostris cornuta	CLBosBos020
Blattfußkrebse	Ceriodaphnia sp.	CLDapCer000
Blattfußkrebse	Chydorus sphaericus	CLChyChy030
Blattfußkrebse	Daphnia cucullata	CLDapDap040
Blattfußkrebse	Daphnia galeata	CLDapDap060
Blattfußkrebse	Daphnia hyalina	CLDapDap070
Blattfußkrebse	Daphnia sp.	CLDapDap000
Blattfußkrebse	Diaphanosoma brachyurum	CLSidDia010
Blattfußkrebse	Diaphanosoma orghidani	CLSidDia040
Blattfußkrebse	Diaphanosoma sp.	CLSidDia000
Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni	CLBosBos010
Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni coregoni	CLBosBos012
Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni qibbera	CLBosBos014
Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni thersites	CLBosBos018
Blattfußkrebse	Eubosmina longicornis	CLBosBos016
Blattfußkrebse	Eubosmina longicornis berolinensis	CLBosBos011
Blattfußkrebse	Eurycerus lamellatus	CLChyEur020
Blattfußkrebse	Pleuroxus aduncus	CLChyPle010
Blattfußkrebse	Pleuroxus denticulatus	CLChyPle010
Blattfußkrebse	Pleuroxus laevis	CLChyPle000
Blattfußkrebse	Polyphemus sp.	CLPolPol010
Blattfußkrebse	Scapholeberis mucronata	CLDapSca010
Blattfußkrebse	Simocephalus sp.	CLDapSim000
Blattfußkrebse	Simocephalus vetulus	CLDapSim030
Hüpfertinge	Acanthocyclops robustus	COCycAca030
Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Hüpfertinge	Cyclops kolensis	COCycCyc040
Hüpfertinge	Cyclops sp.	COCycCyc000
Hüpfertinge	Cyclops vicinus	COCycCyc060
Hüpfertinge	Diacyclops bicuspidatus	COCycDia010
Hüpfertinge	Macrocyclus albidus	COCycMac010
Hüpfertinge	Macrocyclus sp.	COCycMac000
Hüpfertinge	Megacyclops viridis	COCycMeg020
Hüpfertinge	Mesocyclops sp.	COCycMes010
Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Hüpfertinge	Thermocyclops crassus	COCycThe010
Hüpfertinge	Thermocyclops oithonoides	COCycThe030
Muscheln	Dreissena sp.	SMBvDre000
Rädertierchen	Bdelloidea n. det.	RB000000000
Rädertierchen	Brachionus	RMBraBra000
Rädertierchen	Brachionus angularis	RMBraBra010
Rädertierchen	Brachionus calyciflorus	RMBraBra040
Rädertierchen	Cephalodella	RMNotCep000
Rädertierchen	Colurella sp.	RMLepCol000
Rädertierchen	Euchlanis sp.	RMEucEuc000
Rädertierchen	Kellicottia longispina	RMBraKel010
Rädertierchen	Keratella cochlearis	RMBraKer010
Rädertierchen	Keratella cochlearis var. tecta	RMBraKer090
Rädertierchen	Keratella quadrata quadrata	RMBraKer050
Rädertierchen	Lecane cornuta	RMLecLec030
Rädertierchen	Lecane flexilis	RMLecLec120
Rädertierchen	Lecane sp.	RMLecLec000
Rädertierchen	Lepadella sp.	RMLepLep000
Rädertierchen	Mytilina sp.	RMMytMyt000
Rädertierchen	Notholca sp.	RMBraNot000
Rädertierchen	Polyarthra dolichoptera	RMSynPol010
Rädertierchen	Polyarthra major	RMSynPol050
Rädertierchen	Polyarthra remata	RMSynPol070
Rädertierchen	Polyarthra sp.	RMSynPol000
Rädertierchen	Polyarthra vulgaris	RMSynPol080
Rädertierchen	Pompholyx sp.	RMTesPom000
Rädertierchen	Pompholyx sulcata	RMTesPom020
Rädertierchen	Synchaeta pectinata	RMSynSyn050
Rädertierchen	Synchaeta sp.	RMSynSyn000
Rädertierchen	Trichocerca similis	RMTriTri150
Rädertierchen	Trichocerca sp.	RMTriTri000
Rädertierchen	Trichocerca stylata	RMTriTri160
Raupenhüpferting	Harpacticoida n.det.	COHar000000
Raupenhüpferting	Nauplien Harpacticoida	COHar000N00
Schalenamöben	Arcella discoides	SPAArcArc10
Schalenamöben	Arcella hemisphaerica	SPAArcArc00
Schalenamöben	Centropyxis aculeata	SPAArcCen10
Schalenamöben	Cyphoderia ampulla	SCCerCyp010
Schalenamöben	Diffugia bacillifera	SPAArcDif00
Schalenamöben	Euglypha sp.	SCCerEug000
Schalenamöben	Rhizopoda n. det.	SPA00000000
Schwebekrebse	Copepodide Calanoida	CoCal000C00
Schwebekrebse	Eudiaptomus gracilis	COCalEud010
Schwebekrebse	Eudiaptomus graciloides	COCalEud020
Schwebekrebse	Eudiaptomus sp.	COCalEud000
Schwebekrebse	Eurytemora sp.	COCalEur000
Schwebekrebse	Eurytemora velox	COCalEur030
Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Sonstige	Gastrotricha sp.	SMGas000000
Sonstige	Turbellaria n.det.	SMTur000000
Wimperntierchen	Ciliata	SCC00000000
Wimperntierchen	Tintinnopsis sp.	SCCOITin20

6.4 Bakteriologische Parameter

In Abbildung 57 bis Abbildung 63 sind die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchungen der Filter dargestellt. Alle Filter wiesen eine signifikante Reduktion der pathogenen Indikatoren auf. Die Grenzwerte der EU-Badewasserrichtlinie und die höheren Qualitätsstandards für öffentliche Schwimmteiche wurden in der Regel eingehalten, mit kurzzeitiger Ausnahme während des Mischwasserereignisses im Juli 2018. Allerdings waren die Werte im Spreekanal überwiegend schon eingehalten.

Die Vorschaltung des Muschelfilters hatte keine signifikant messbare Auswirkung auf die Elimination der meisten dieser Parameter. Exemplarisch wird dies für den Parameter Gesamtkoliforme Keime gezeigt (siehe Abbildung 58 bis Abbildung 60).

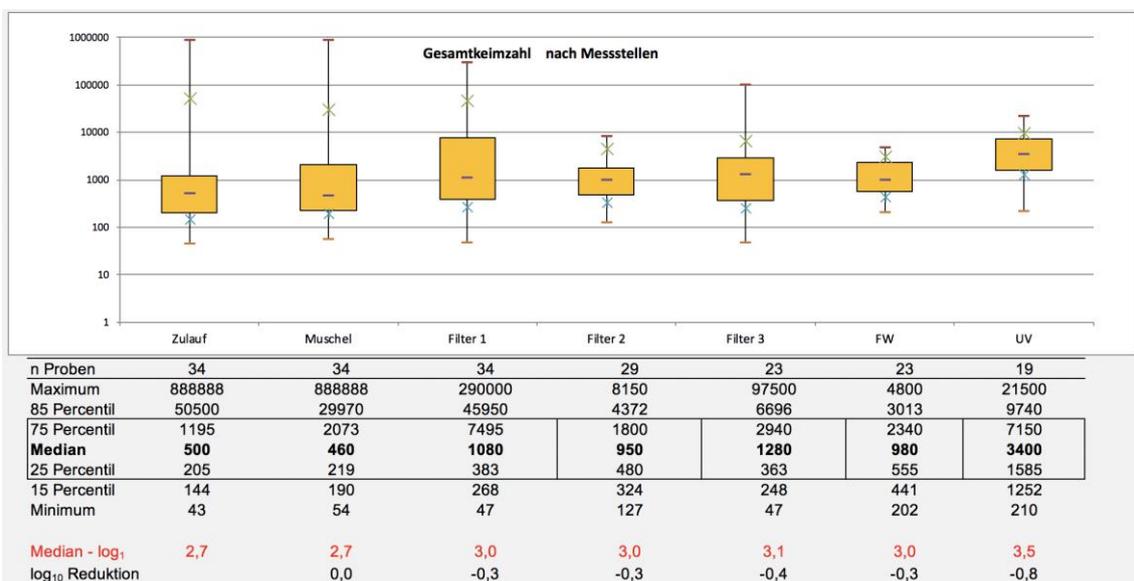


Abbildung 57: Ergebnisse Gesamtkeimzahl-Messungen in KBE/ml, Box-Whisker-Darstellung

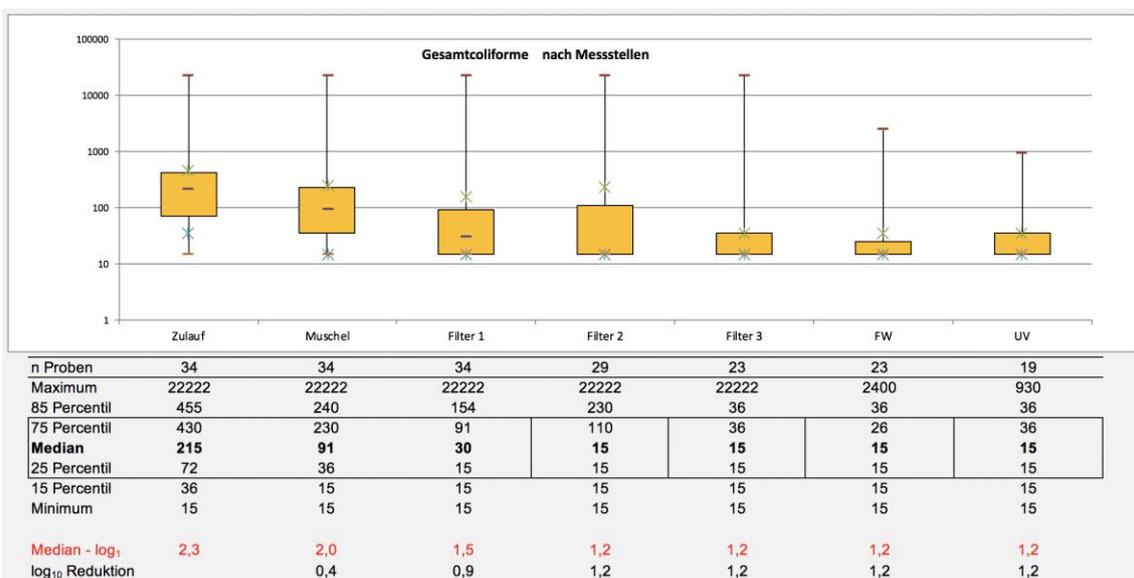


Abbildung 58: Ergebnisse Gesamtcoliforme-Messungen in MPN/100 ml, Box-Whisker-Darstellung, alle Werte

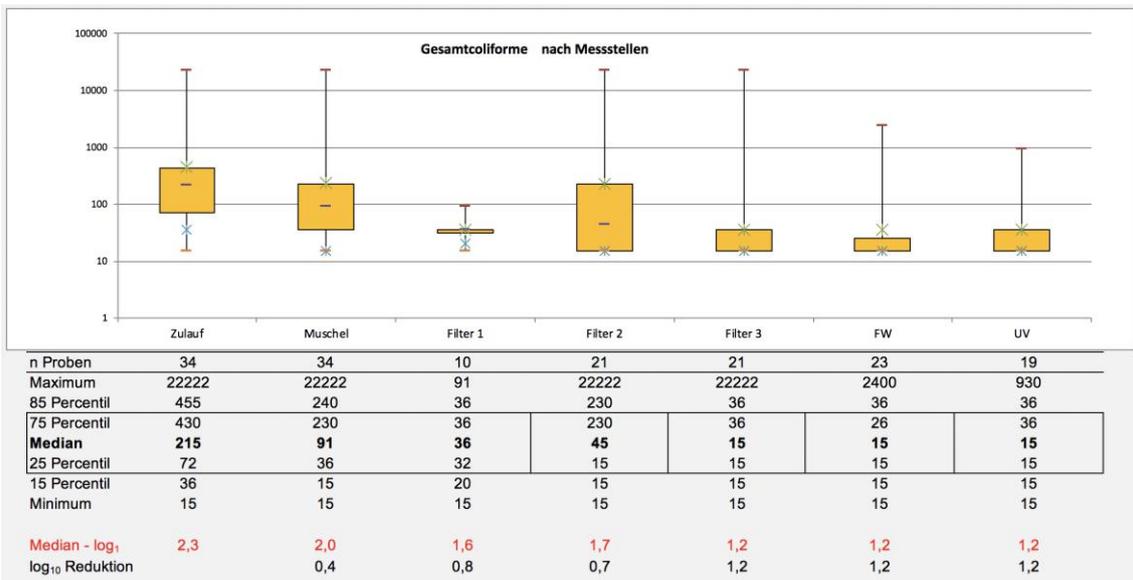


Abbildung 59: Ergebnisse Gesamtcolliforme-Messungen in MPN/100 ml, Box-Whisker-Darstellung, nur die Werte der Filter ohne vorgeschalteten Muschelfilter

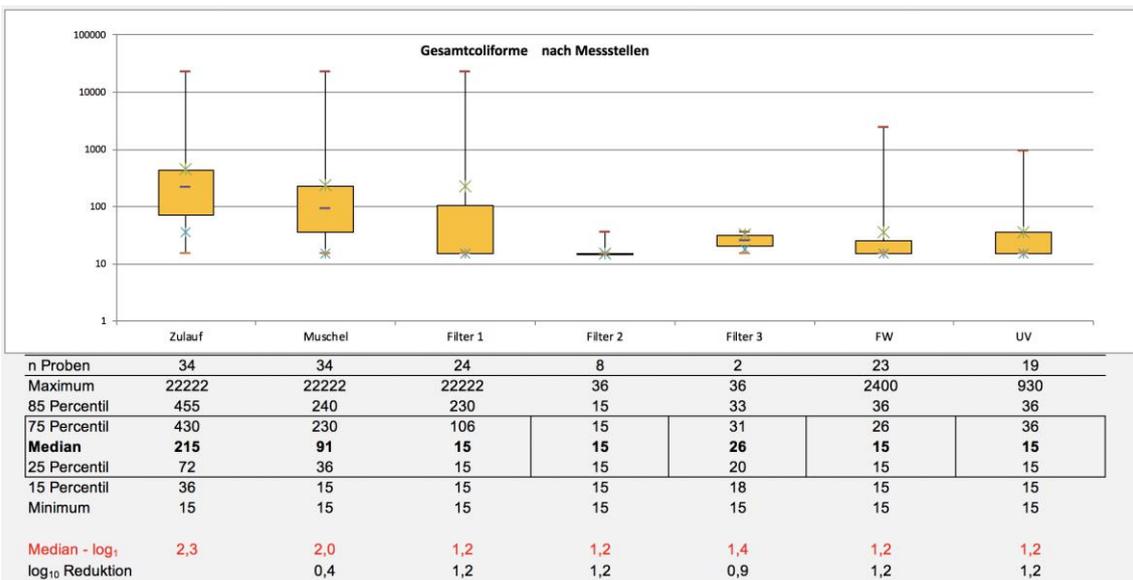


Abbildung 60: Ergebnisse Gesamtcolliforme-Messungen in MPN/100 ml, Box-Whisker-Darstellung, nur die Werte der Filter mit vorgeschalteten Muschelfilter

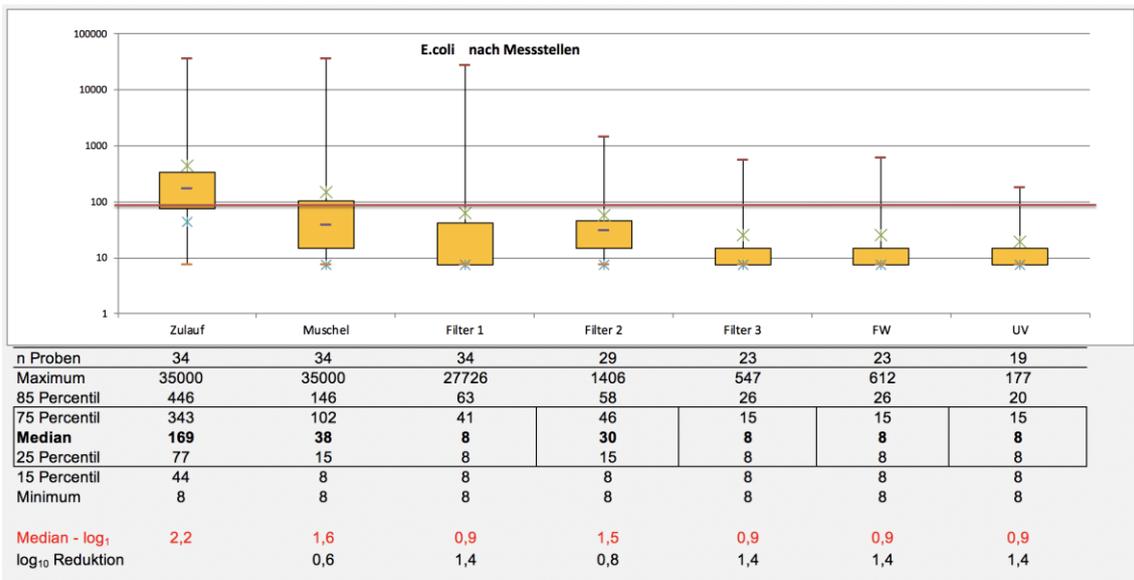


Abbildung 61: Ergebnisse E-Coli-Messungen in MPN/100 ml, Box-Whisker-Darstellung

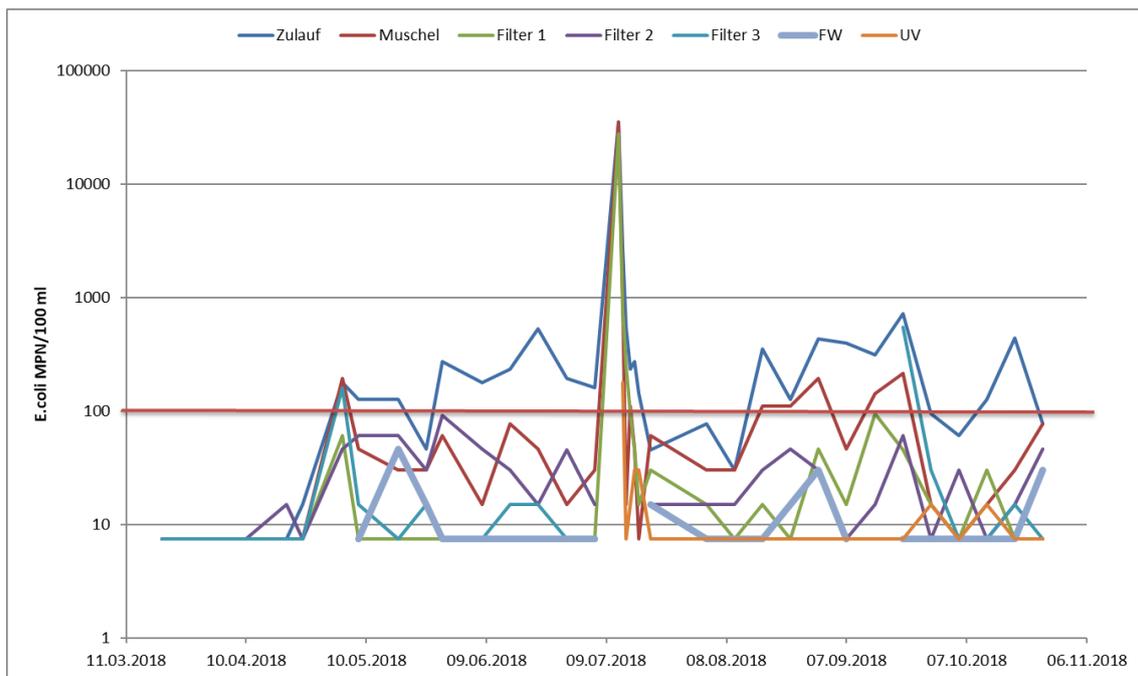


Abbildung 62: Ergebnisse E-Coli-Messungen in MPN/100 ml, (Bewertung nach Badegewässerverordnung und UBA Empfehlungen für Kleinbadeteiche soll < 100 MPN/100ml, Bestimmungsgrenze 15 MPN/100 ml)

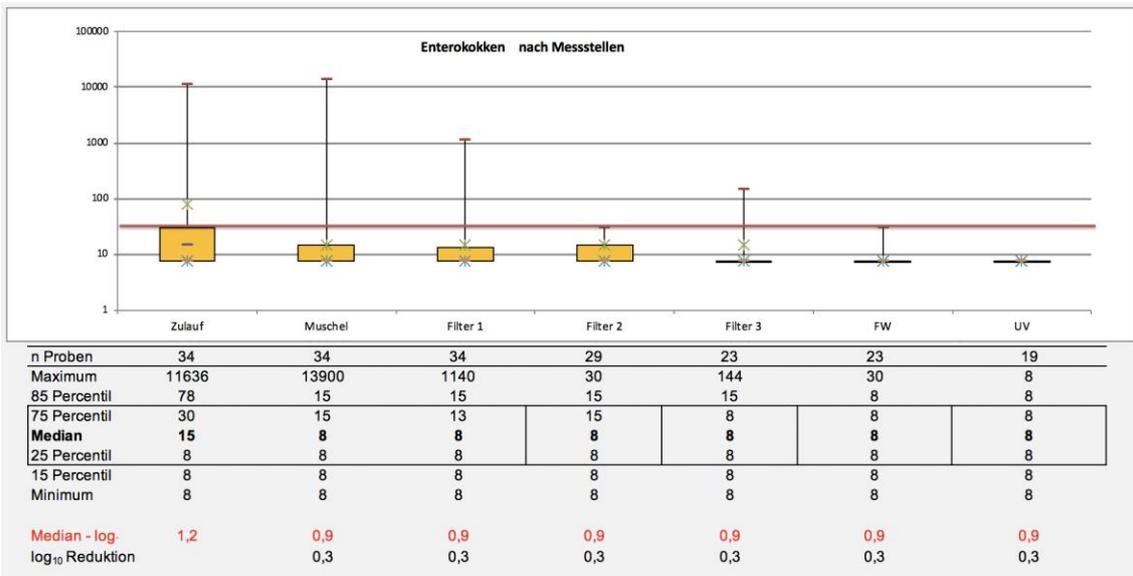


Abbildung 63: Ergebnisse Enterokokken-Messungen in MPN/100 ml, Box-Whisker-Darstellung

Bei allen o.g. Indikatororganismen konnte somit eine Reduktion von mindestens einer Log-Stufe oder die Unterschreitung der Nachweisgrenze festgestellt werden.

6.5 Chemische Parameter

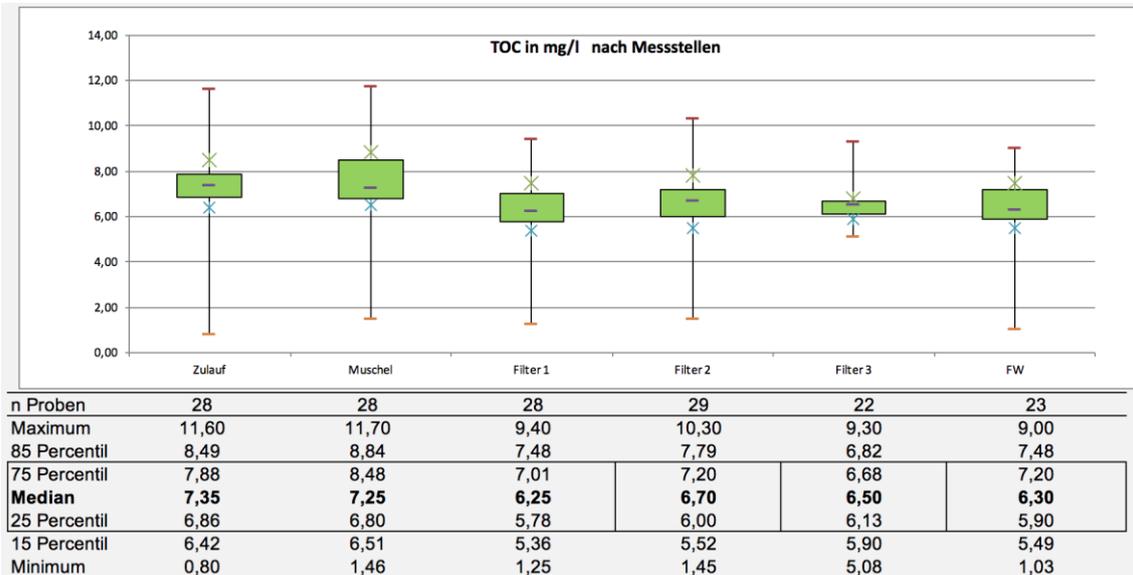


Abbildung 64: Ergebnisse TOC-Messungen, Box-Whisker-Darstellung

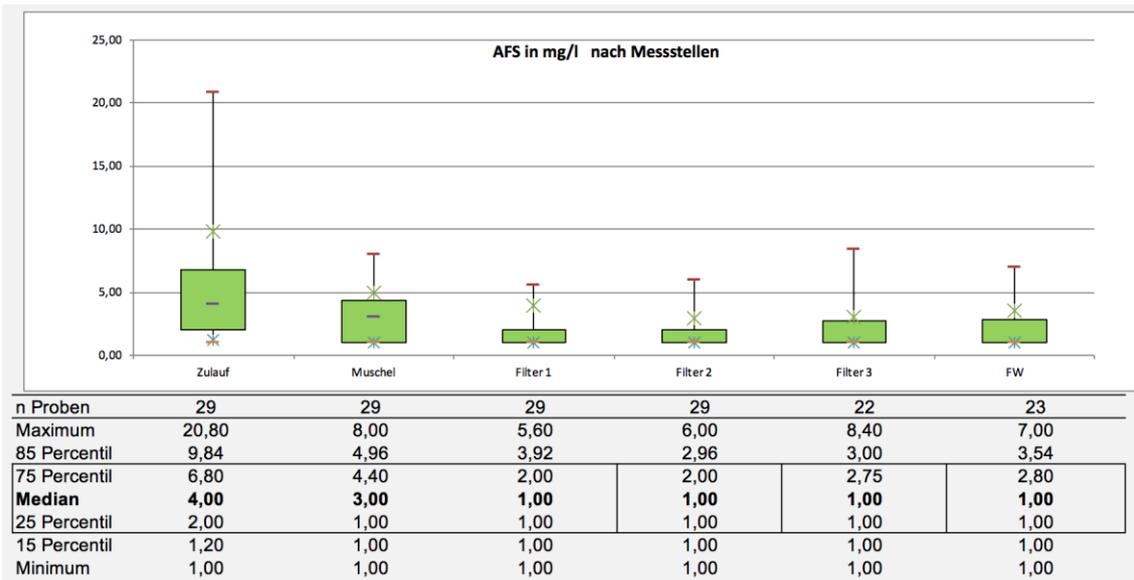


Abbildung 65: Ergebnisse AFS-Messungen, Box-Whisker-Darstellung (Bestimmungsgrenze 2 mg AFS/l)

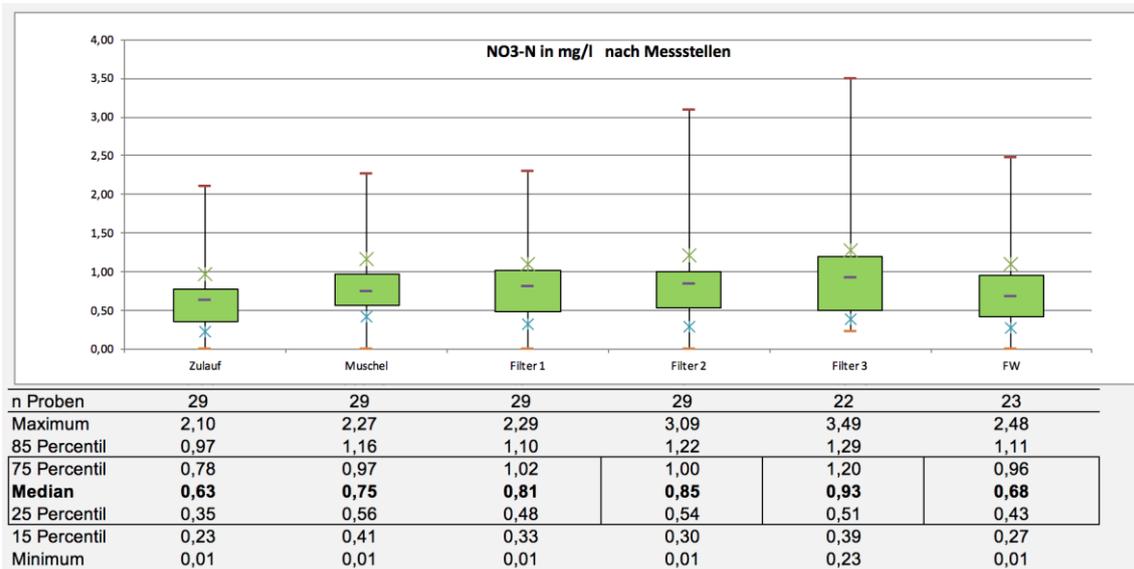


Abbildung 66: Ergebnisse Nitrat-Messungen, Box-Whisker-Darstellung (Bestimmungsgrenze 0,01 mg NO₃-N/l)

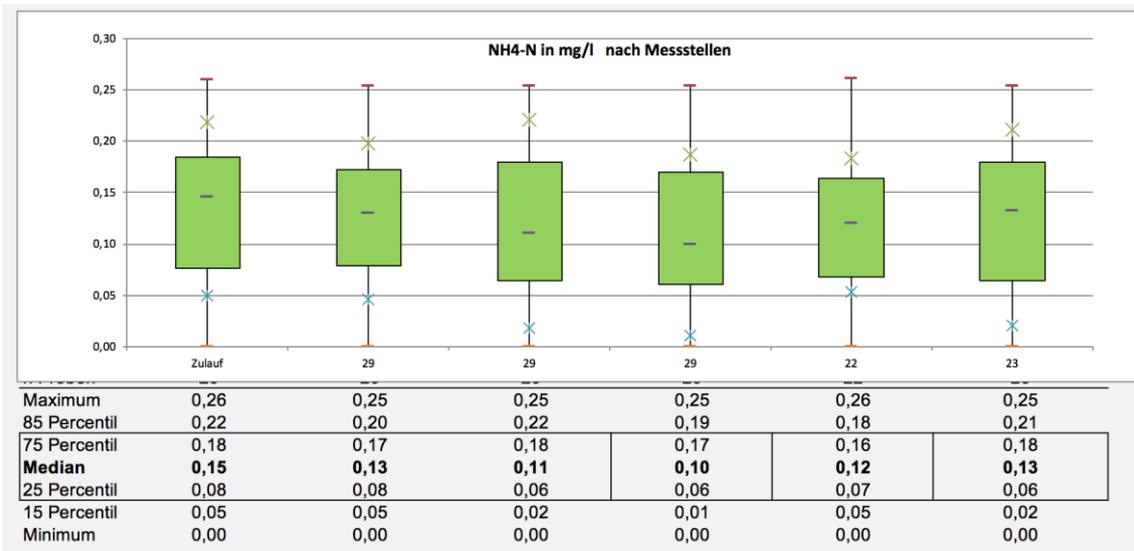


Abbildung 67: Ergebnisse Ammonium-Messungen, Box-Whisker-Darstellung (Bestimmungsgrenze 0,001 mg NH₄-N/l)

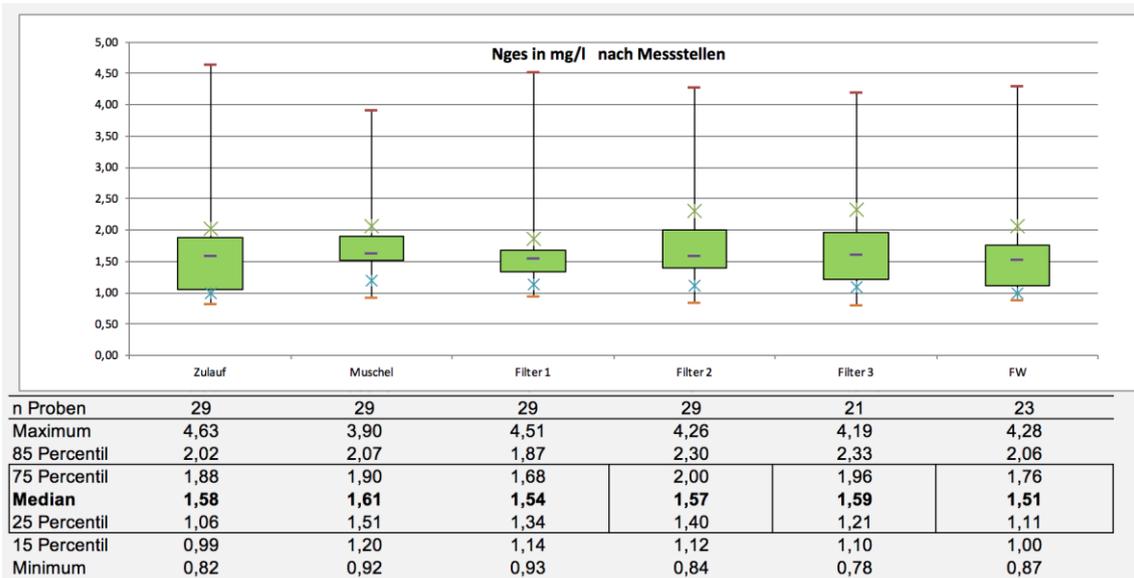


Abbildung 68: Ergebnisse Gesamtstickstoff-Messungen, Box-Whisker-Darstellung

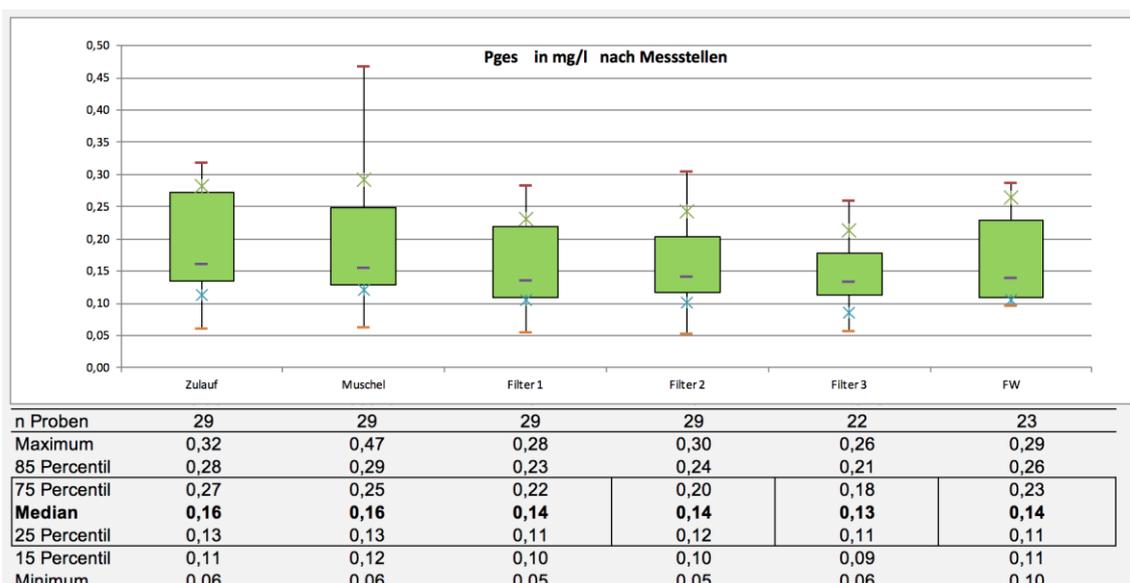


Abbildung 69: Ergebnisse Gesamtposphor-Messungen, Box-Whisker-Darstellung

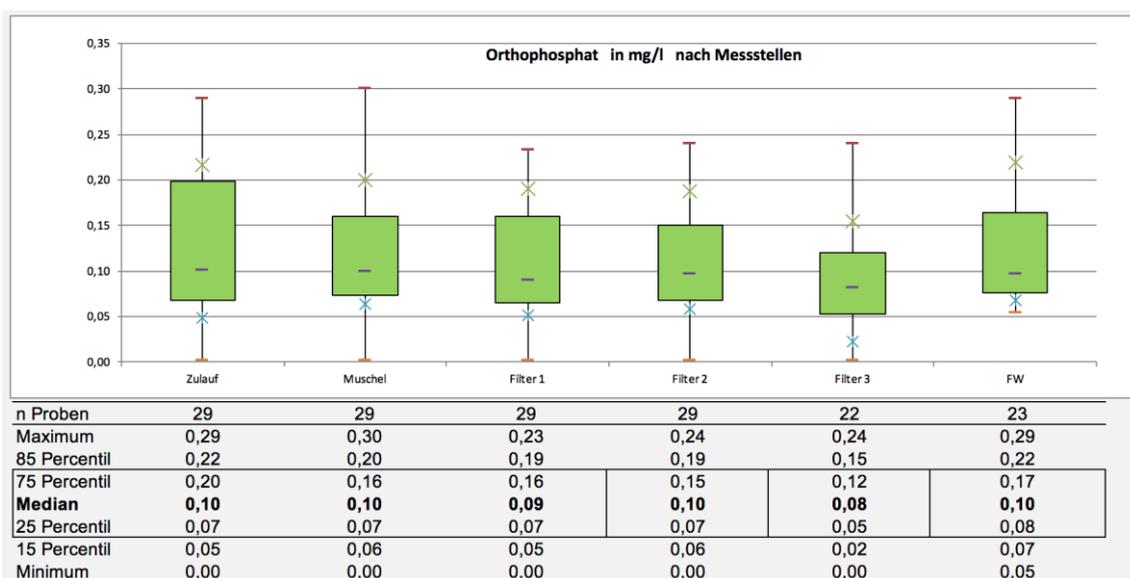


Abbildung 70: Ergebnisse ortho-Phosphat-Messungen, Box-Whisker-Darstellung
(Bestimmungsgrenze 0,005 mg NH₄-N/l)

6.6 Direkt-Parameter

In den folgenden Abbildungen sind die Messwert-Jahresverläufe für 2018 für die direkt bei der Probenahme gemessenen Parameter pH (Abbildung 71), Leitfähigkeit (Abbildung 72), Temperatur (Abbildung 73) und Sauerstoff (Abbildung 74) dargestellt.

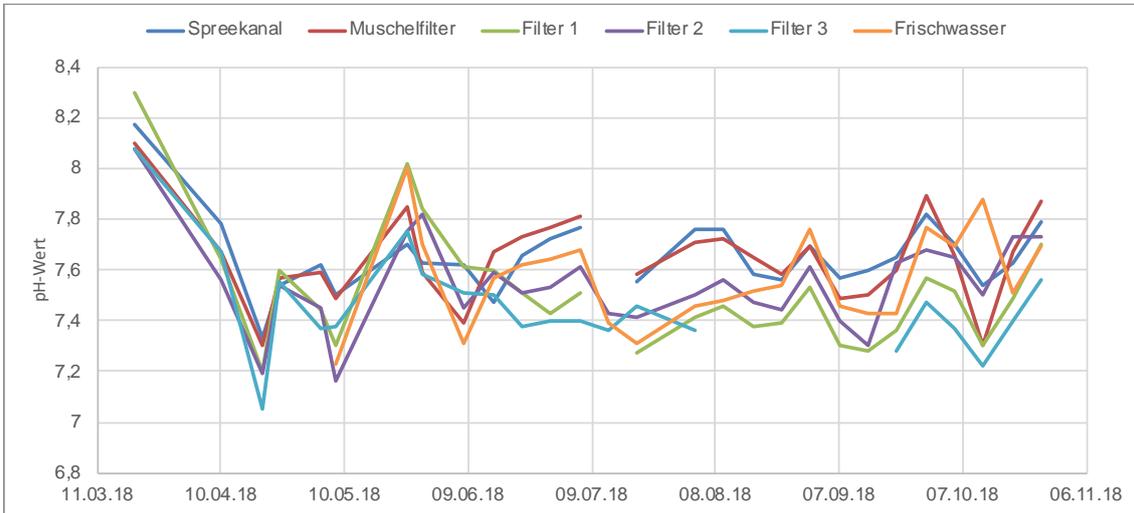


Abbildung 71: Ergebnisse der pH-Messungen 2018



Abbildung 72: Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessungen in µS/cm 2018

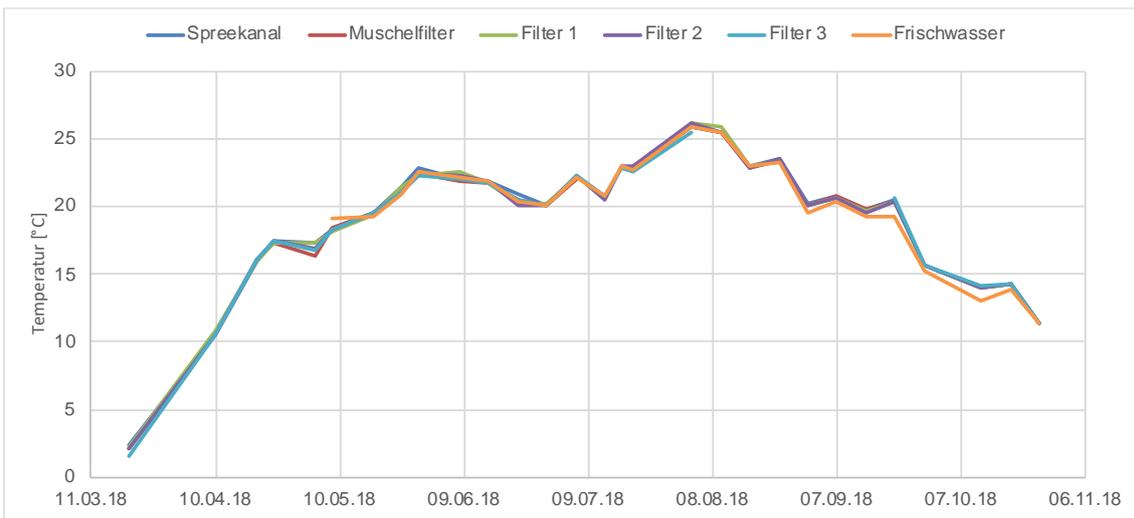


Abbildung 73: Ergebnisse der Temperaturmessungen in °C 2018

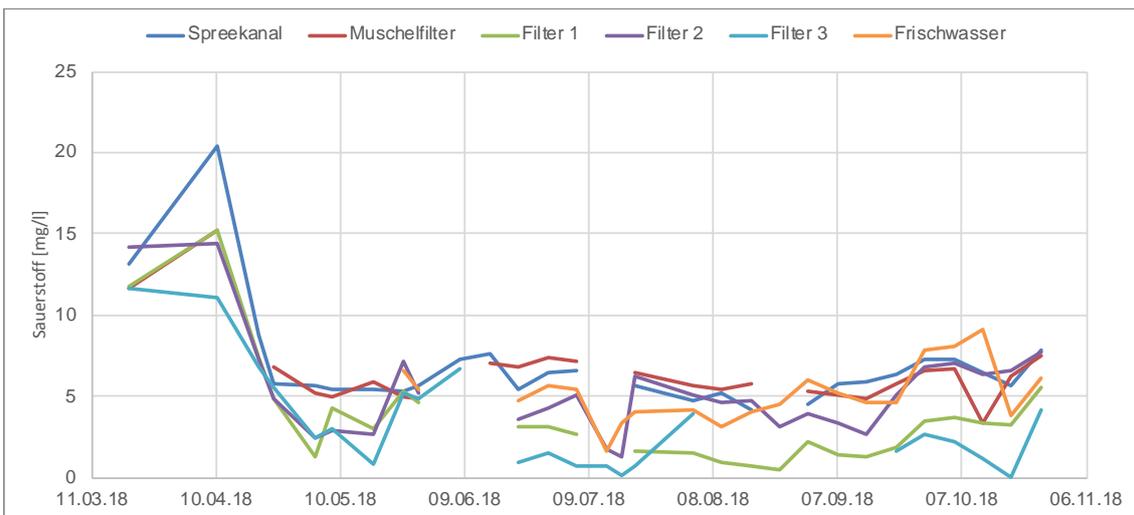


Abbildung 74: Ergebnisse der Sauerstoffmessungen in mg O₂/l 2018

Die Filter wurden zeitweise druckbelüftet. Die Belüftungsphasen sind in Abbildung 75 dargestellt. Dabei wird farblich unterschieden nach Phasen mit intermittierender Belüftung und Phasen mit Dauerbelüftung. Die Belüftung erhöhte den Sauerstoffgehalt im Ablauf der Filter signifikant.

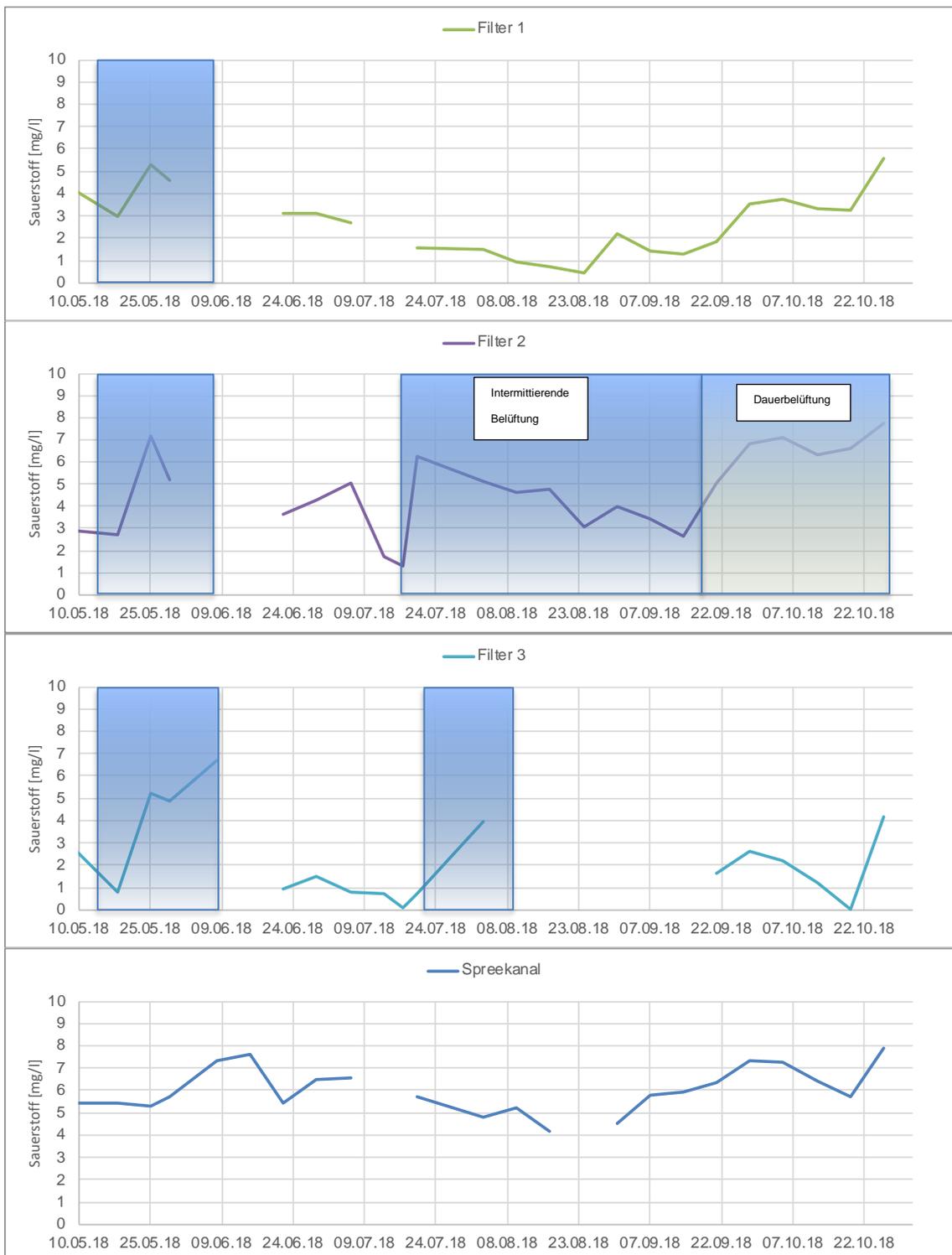


Abbildung 75: Ergebnisse der Sauerstoffmessungen in den Filter in mg O₂/l 2018, oben Filter 1, mitte Filter 2, unten Filter 3, ganz unten Spreekanal, Phasen mit Druckbelüftung sind markiert, unterschieden nach intermittierender Belüftung und Dauerbelüftung

6.7 Multiparametersonden

In den folgenden Abbildungen sind die Messwert-Jahresverläufe für 2018 für die Parameter Chlorophyll-a [$\mu\text{g/l}$], Leitfähigkeit [$\mu\text{S/cm}$], Sauerstoff [mg/l] und Trübung [NTU] dargestellt. Oben in den Grafiken ist jeweils der Standortwechsel der Sonden angegeben (ZU = im Spreekanal, MU = Ablauf Muschelfilter, F 1-3 = Filterablauf).

In Tabelle 30 ist nochmal zusammengefasst, an welchen Stellen die Sonden jeweils in den entsprechenden Messorten eingesetzt waren.

Tabelle 30: Messorte der Multiparametersonden, Hach

Datum	DS5x-1 (1)	DS5x-2 (2)
03.05.2018	Spreekanal (ZU)	Spreekanal
18.05.2018	Spreekanal	Ablauf Filter 1 (F1)
31.05.2018	Ablauf Filter 3 (F3)	Ablauf Filter 3
02.06.2018	Spreekanal	Ablauf Filter 3
08.06.2018	Spreekanal	Ablauf Muschelfilter (MU)
22.06.2018	Ablauf Muschelfilter	Spreekanal
29.06.2018	Spreekanal	Ablauf Muschelfilter
06.07.2018	Eingeschickt zum Hersteller	Eingeschickt zum Hersteller
07.08.2018	Spreekanal	Spreekanal
10.08.2018	Spreekanal	Spreekanal
24.08.2018	Spreekanal	Ablauf Filter 2 (F2)

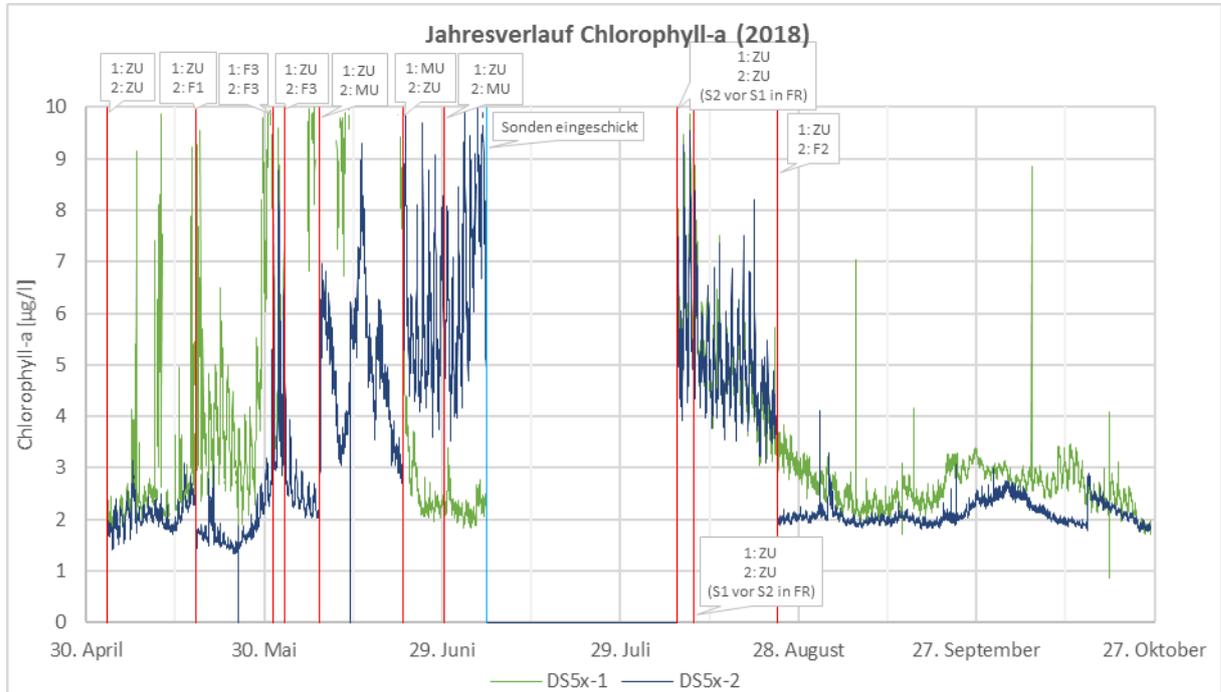


Abbildung 76: Jahresverlauf der online Messwerte für Chlorophyll-a [$\mu\text{g/l}$], Werte sind nicht kalibriert, lediglich zur Veranschaulichung und Dokumentation

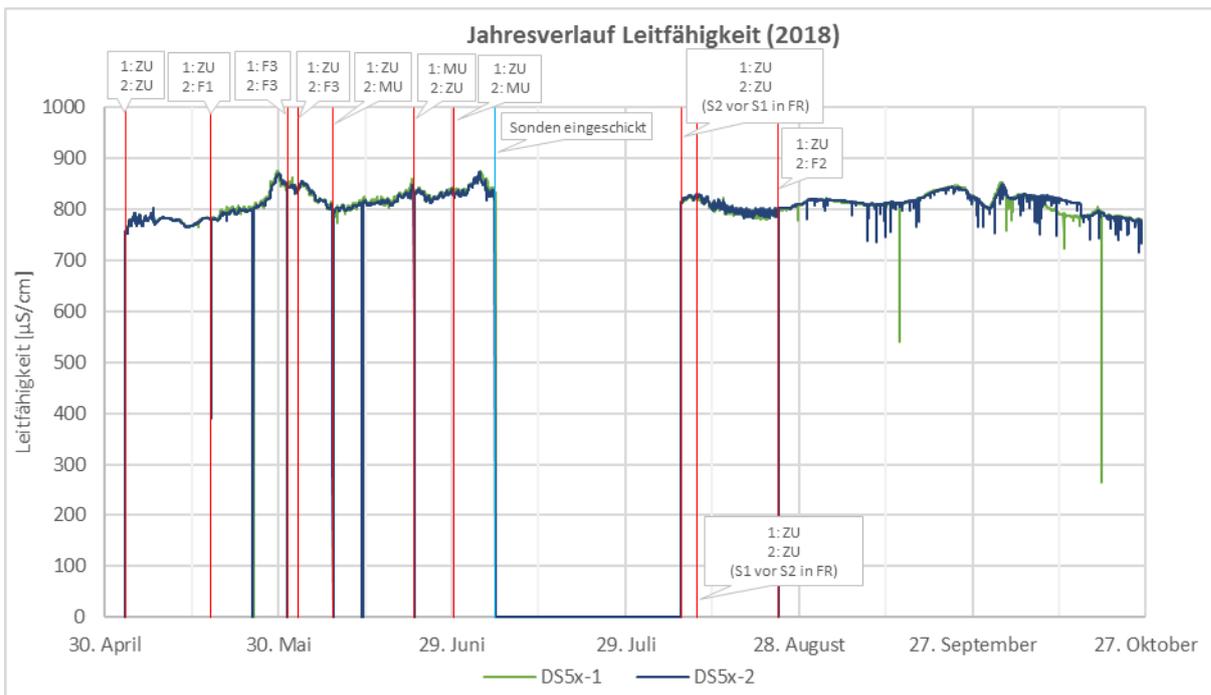


Abbildung 77: Jahresverlauf der Messwerte für Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$]

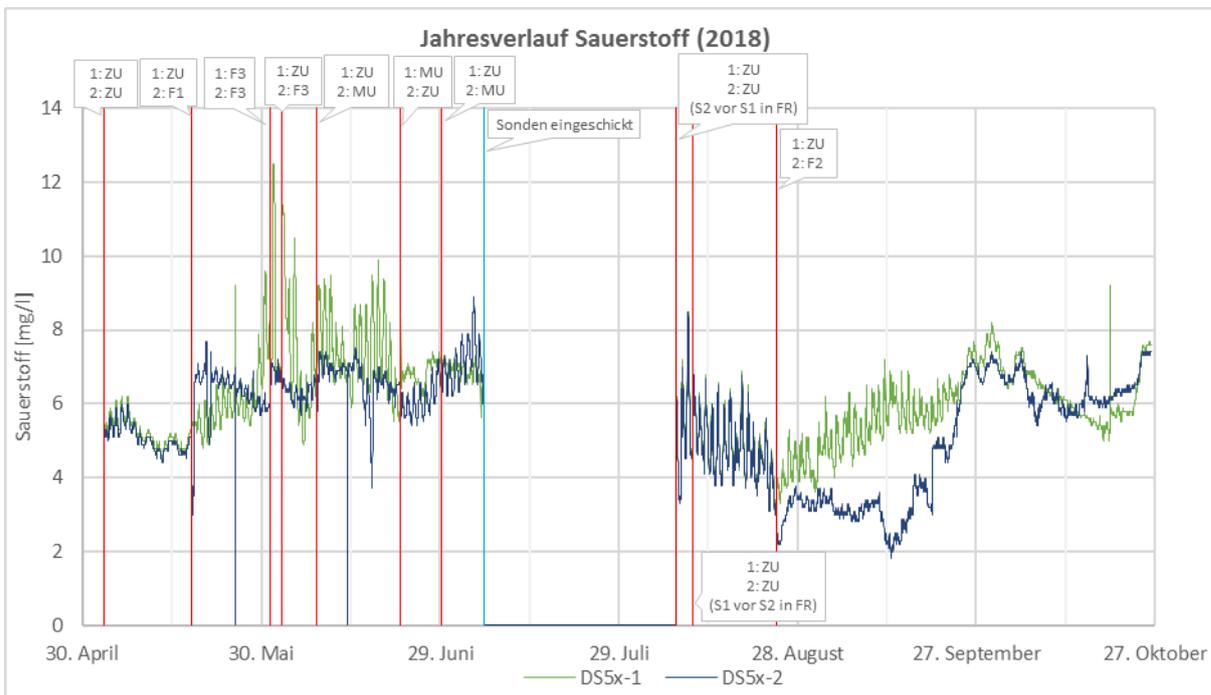


Abbildung 78: Jahresverlauf der Messwerte für Sauerstoff [$\text{mg O}_2/\text{l}$]

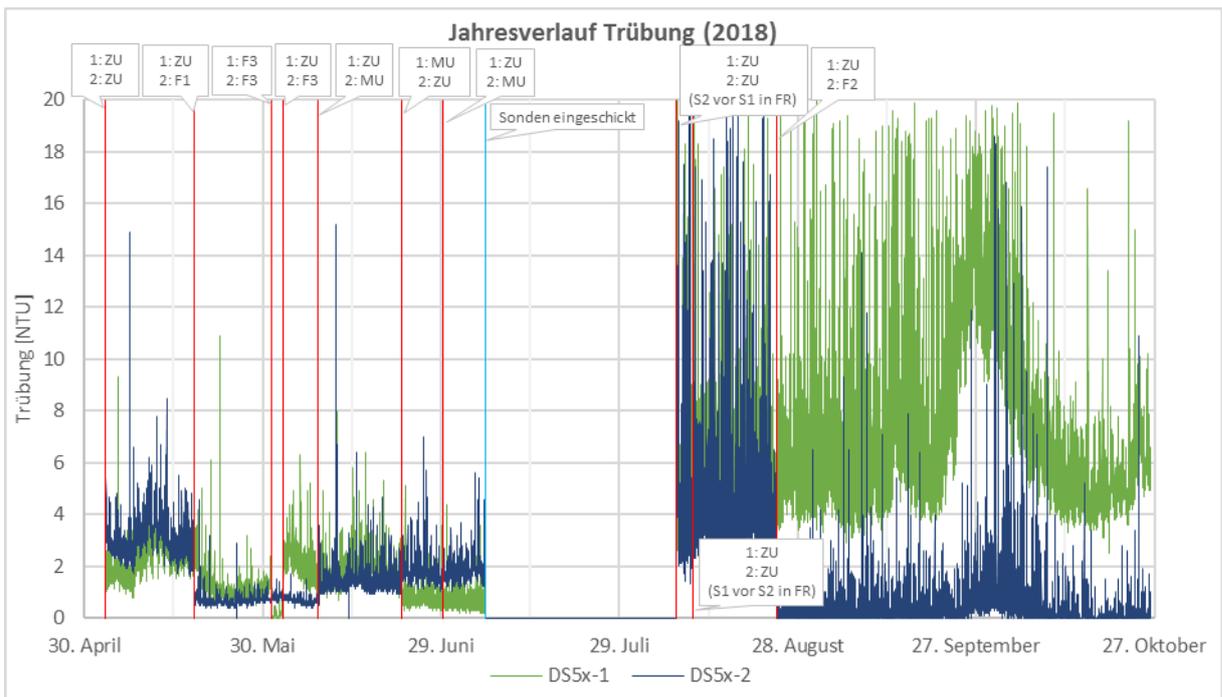


Abbildung 79: Jahresverlauf der Messwerte für Trübung [NTU], Werte unkalibriert, lediglich zu Veranschaulichung und Dokumentation

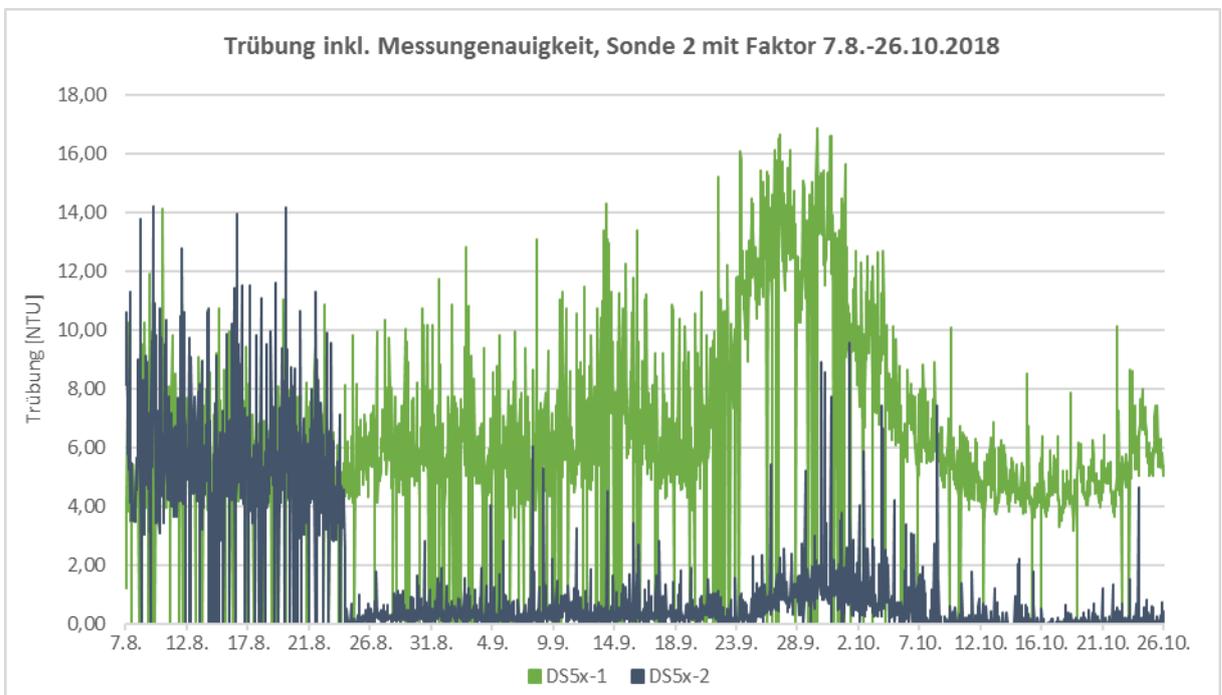


Abbildung 80: Vergleich der Trübungs Messwerte beider Sonden (Sonde 2 mit Faktor korrigiert, Ablauf Filter 2) im Zeitraum 07.08.-26.10.2018

Diese Abbildung zeigt eine deutliche Abnahme der Trübung im Ablauf des Filters 2. D. h., von etwa 6 NTU nach 1 NTU im August/ September und von etwa 15 NTU auf 2 NTU Anfang Oktober. Im Fluss wurde ein Maximum zwischen 18.09.2018 und 07.10.2018 beobachtet.

7 Intensiv-Monitoring 11./12.07.2018 (Mischwasserüberlauf)

7.1 Allgemeines

In der Nacht vom 11.07.2018 zum 12.07.2018 kam es bedingt durch Starkniederschläge zu einem signifikanten Mischwasserabschlag in die Spree oberhalb der Versuchsanlage. In Tabelle 31 sind die Entlastungsbauwerke aufgeführt, von denen Daten übermittelt wurden. Übermittelt wurde, jeweils im 15-Minutenabstand, ob es zu Entlastungen kam, jedoch nicht die aktuelle Entlastungswassermenge. Der Mischwasserabschlag begann am 11.07.2018 um 23:00 Uhr und endete am 12.07.2018 um 19:30 Uhr. Aus den Entlastungsbauwerken im Einzugsgebiet, von denen Daten von BWB übermittelt wurden, wurden insgesamt 42.000 m³ Mischwasser in die Spree eingeleitet (Tabelle 32). Der Verlauf des Mischwasserabschlags in den einzelnen Bauwerken ist in Abbildung 82 dargestellt.

Tabelle 31: Relevante Mischwasserentlastungsbauwerke der BWB, (Quelle BWB)

	Straße / Platz	RÜ	Standort	Ordinate (Rohrsohle) müNN	Dimension DN oder Schwellenlänge in m	Vorfluter/Einleitungspunkt
BIn V	HPW Friedrichshain,	<u>BW</u>	Str. d. Pariser Kommune	32,70	20,00	Spree, Str. d. Pariser Kommune
		<u>RÜ 20</u>	An der Schillingbrücke	33,31	4,46	Spree, Schillingbrücke
		<u>RÜ 21</u>	An der Michael -Kirch -Brücke	33,20	2,39	Spree, Michael - Kirch - Brücke
		<u>RÜ 8 (Alex)</u>	Alexanderstraße	33,34	20,00	Spree, Rolandufer
BIn XII	APW Friedrichshain,	<u>RÜ 3/1</u>	Corinthstr./Persiusstr.	33,31	1,25	Spree, Rochowstr.
		<u>RÜ 2</u>	Stralauer Allee/Danneckerstr.	33,15	0,62	Spree, Danneckerstraße
		<u>RÜ 1</u>	APW Friedrichshain, Rudolfstr.	34,13	5,72	Spree, Oberbaumbrücke
BIn IIIa	UPW Mitte, Breite Str.	<u>RÜ 29N</u>	Breite Straße	32,05	0,60	Kupfergraben



Abbildung 81: Mischwassereinzugsgebiete in Berlin (Quelle BWB)

Tabelle 32: Abgeschlagene Mischwassermengen in der Zeit 11.07.2018 bis 12.07.2018 in ausgewählten Entlastungsbauwerken oberhalb vom Testfilter (Daten BWB)

Einzugsgebiet	11.07.18	12.07.18	Summe
	m ³	m ³	m ³
IIIa	957	1.689	2.646
V	40	37.198	37.238
XII	9	2.153	2.162
Summe	1.006	41.040	42.046

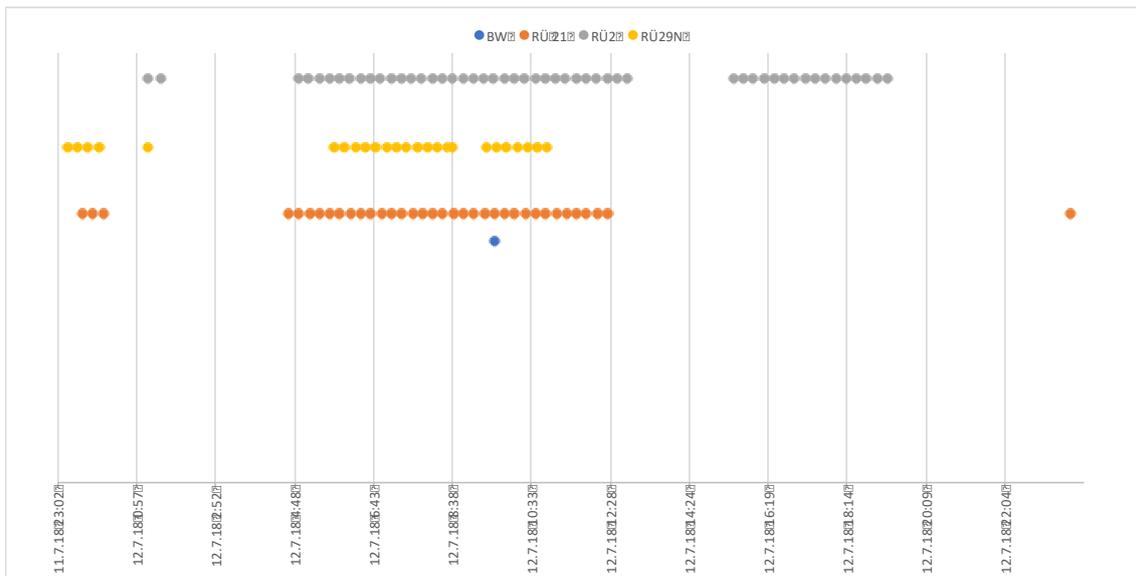


Abbildung 82: Zeitlicher Verlauf des Mischwasserabschlags, Punkt = Überlauf am jeweiligen Bauwerk (Quelle BWB)

Tabelle 33: Niederschlagsmengen am 11.07.2018 und 12.07.2018 im Einzugsgebiet oberhalb Testfilter (Daten BWB)

Einzugsgebiet	11.07.18	12.07.18	Summe
	mm	mm	mm
V	30	34,6	64,6
IV	21,8	19,3	41,1

Aus dem Einzugsgebiet oberhalb des Testfilters wurden Daten von zwei Niederschlagsmessern von BWB zur Verfügung gestellt (Tabelle 33). Zum einen vom Gebiet V, zum anderen vom Gebiet IV. Von den Gebieten IIIa und XII gibt es keine Daten, hier können die Daten von Gebiet IV als ähnlich für Gebiet III und von Gebiet V für Gebiet XII angesehen werden.

Die überwiegende Regenmenge ging in der Nacht vom 11.07.2018 auf den 12.07.2018 nieder. Danach war lang anhaltender Regen zu beobachten. Ab dem 13.07.2018 war lang anhaltendes Schönwetter mit Sonnenschein und hohen Temperaturen zu beobachten.

Kurz vor Mitternacht 11.07.2018 kam es zu ersten Mischwasserabschlägen, nachdem die Speichervolumina im Kanalnetz weitestgehend gefüllt waren. Ab ca. 5:00 Uhr waren anhaltende Mischwasserabschläge zu beobachten. Um 9:39 Uhr am 12.07.2018 wurde kurzzeitig auch am Bauwerk BW im Gebiet V Mischwasser abgeschlagen (Abbildung 82.)

Im Spreekanal kam es zu extrem hohem Abfluss. Am Morgen des 12.07.2018 flossen, ganz grob geschätzt, über 10 m³/s ab. Später war im Spreekanal bis zum Ende der Intensivbeprobung kaum noch Abfluss zu beobachten (Abbildung 83).

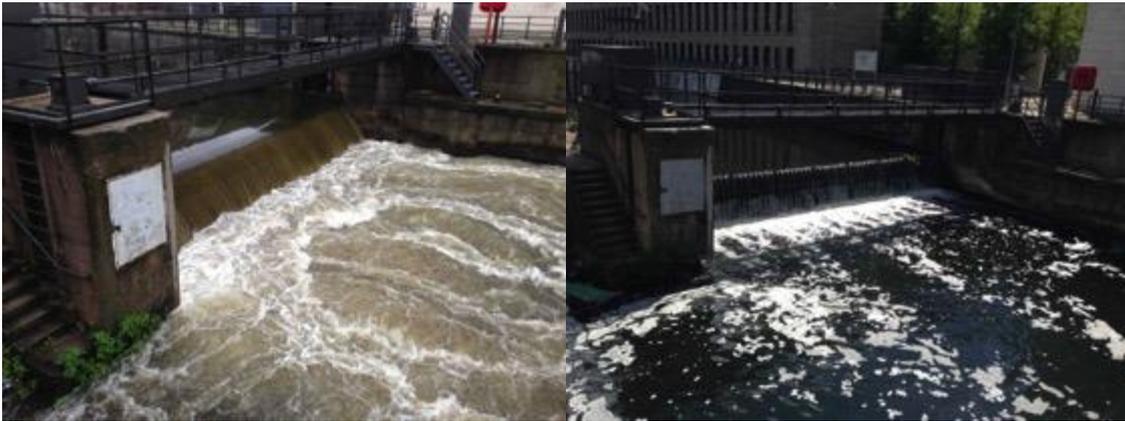


Abbildung 83 Abfluss im Spreekanal am Wehr unterhalb Testfilter; links am 12.07.2018 11:00 Uhr, rechts am 15.07.2018 14:30 Uhr

Mittels der automatischen Probenehmer wurden jeweils 1-Stunden-Mischproben entnommen. Alle 24 Stunden wurden die Probenehmer entleert, die Proben umgefüllt und ins Labor geschafft oder am Wochenende zunächst im Kühlschrank zwischengelagert.

Es wurden jeweils aus 3 1-h-Stundenmischproben 3-h-Mischproben erstellt, bei denen die mikrobiologischen Parameter untersucht wurden. Aus jeweils zwei aufeinander folgenden 3-h-Mischproben wurden 6-h-Mischproben erstellt, bei denen die chemischen Parameter analysiert wurden.

Wegen technischer Schwierigkeiten mit den automatischen Probenehmern konnten nicht alle Proben genommen werden. Das betraf vor allem den Muschelfilter, wo die Werte vom 13.07.2018 zum 14.07.2018 fehlen.

In der Regel einmal täglich wurden vor-Ort-Parameter gemessen sowie einige weitere Stichproben entnommen.

Am 13.07.2018 fand zusätzlich die Standardbeprobung an allen Messstellen statt.

7.2 Basisparameter

In Abbildung 84 bis Abbildung 87 sind die Ergebnisse der Messung der Basisparameter Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt dargestellt. Gezeigt werden jeweils die Werte vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis.

Durch den Mischwasserabschlag nahmen die Temperatur, der pH-Wert, der Sauerstoffgehalt und die Leitfähigkeit im Spreekanal ab, am deutlichsten die Leitfähigkeit. Nach dem Ereignis stiegen die Parameter alle wieder an.



Abbildung 84: Wassertemperatur vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen

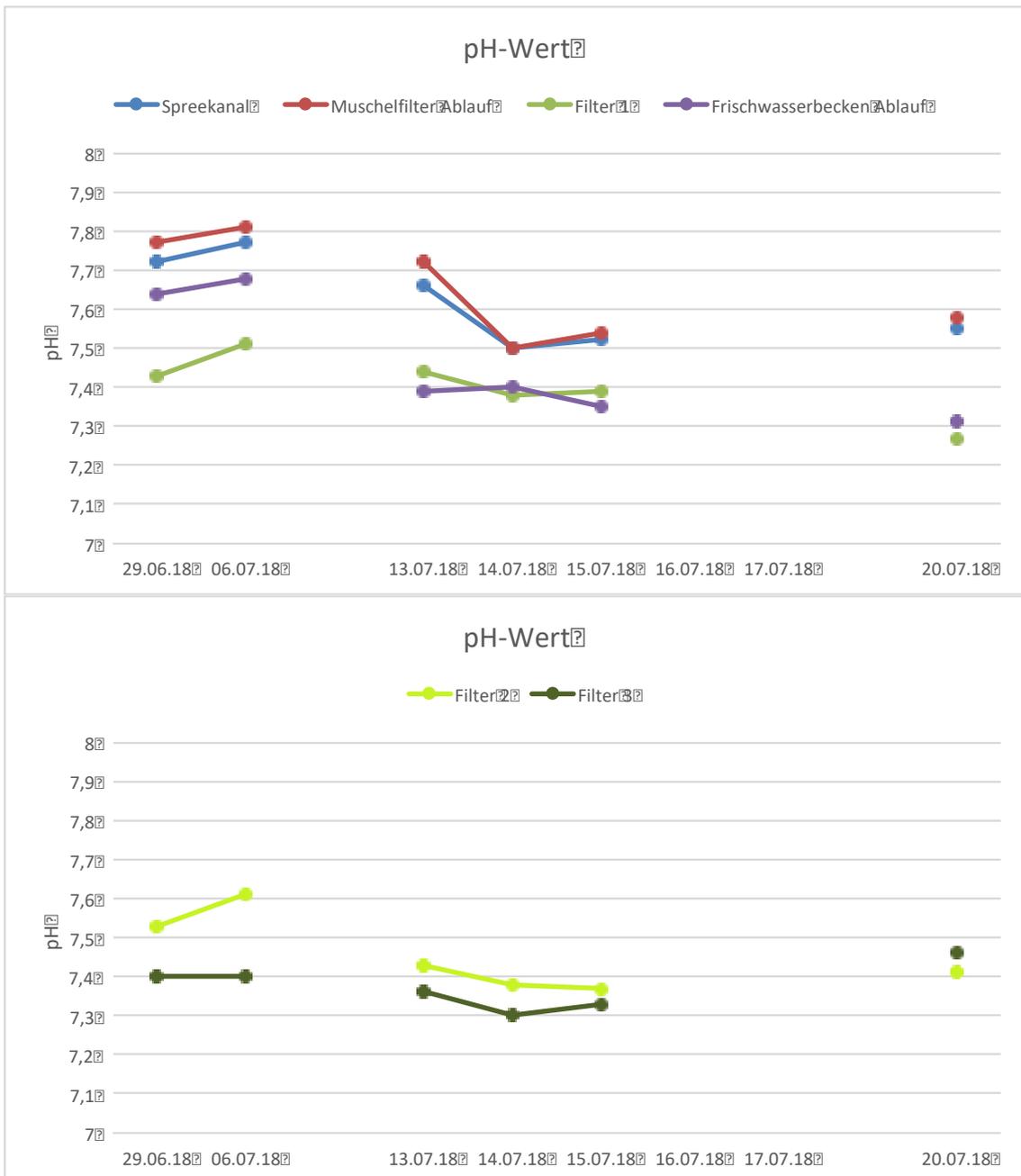


Abbildung 85: pH-Wert vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen

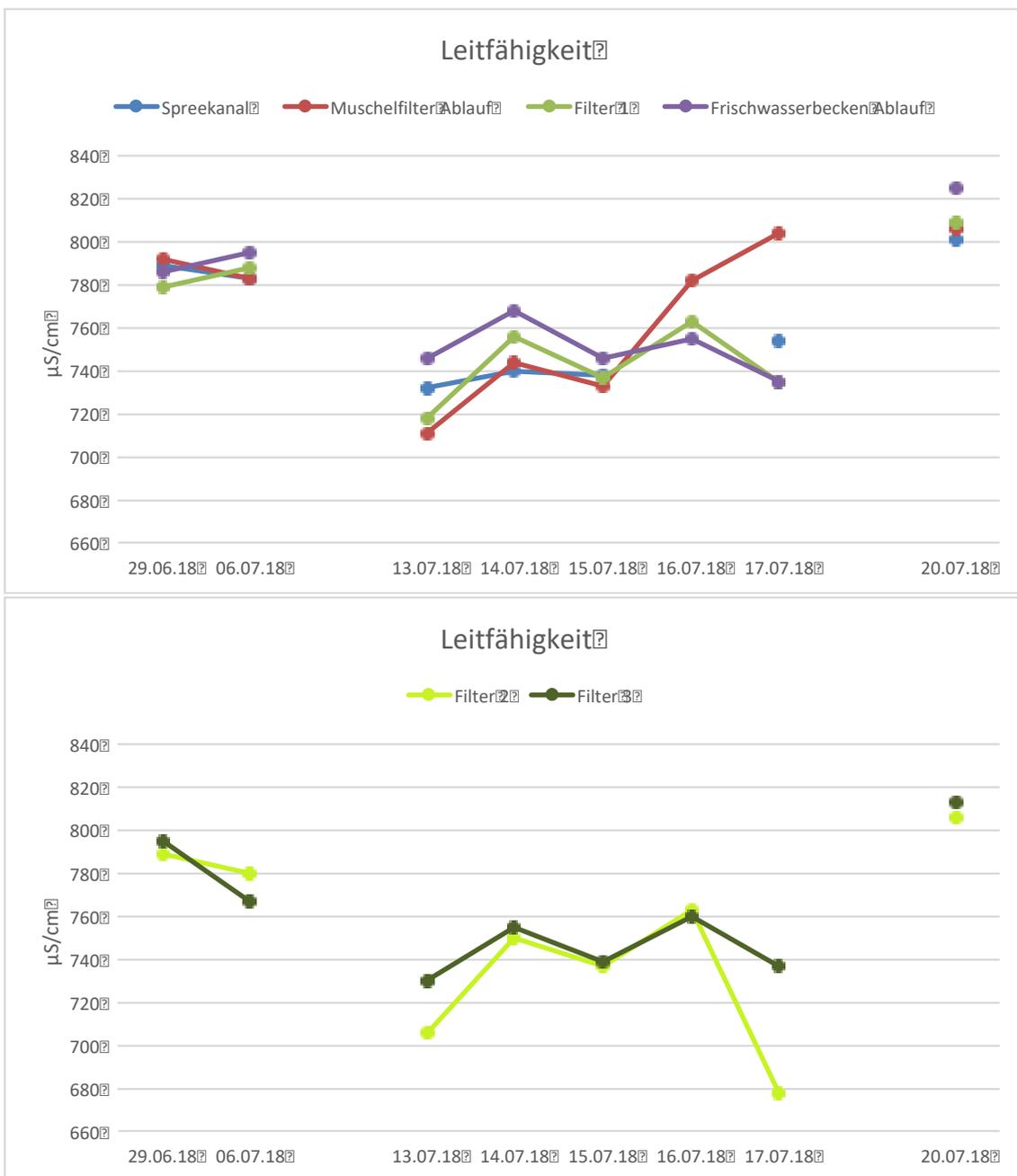


Abbildung 86: Leitfähigkeit vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen

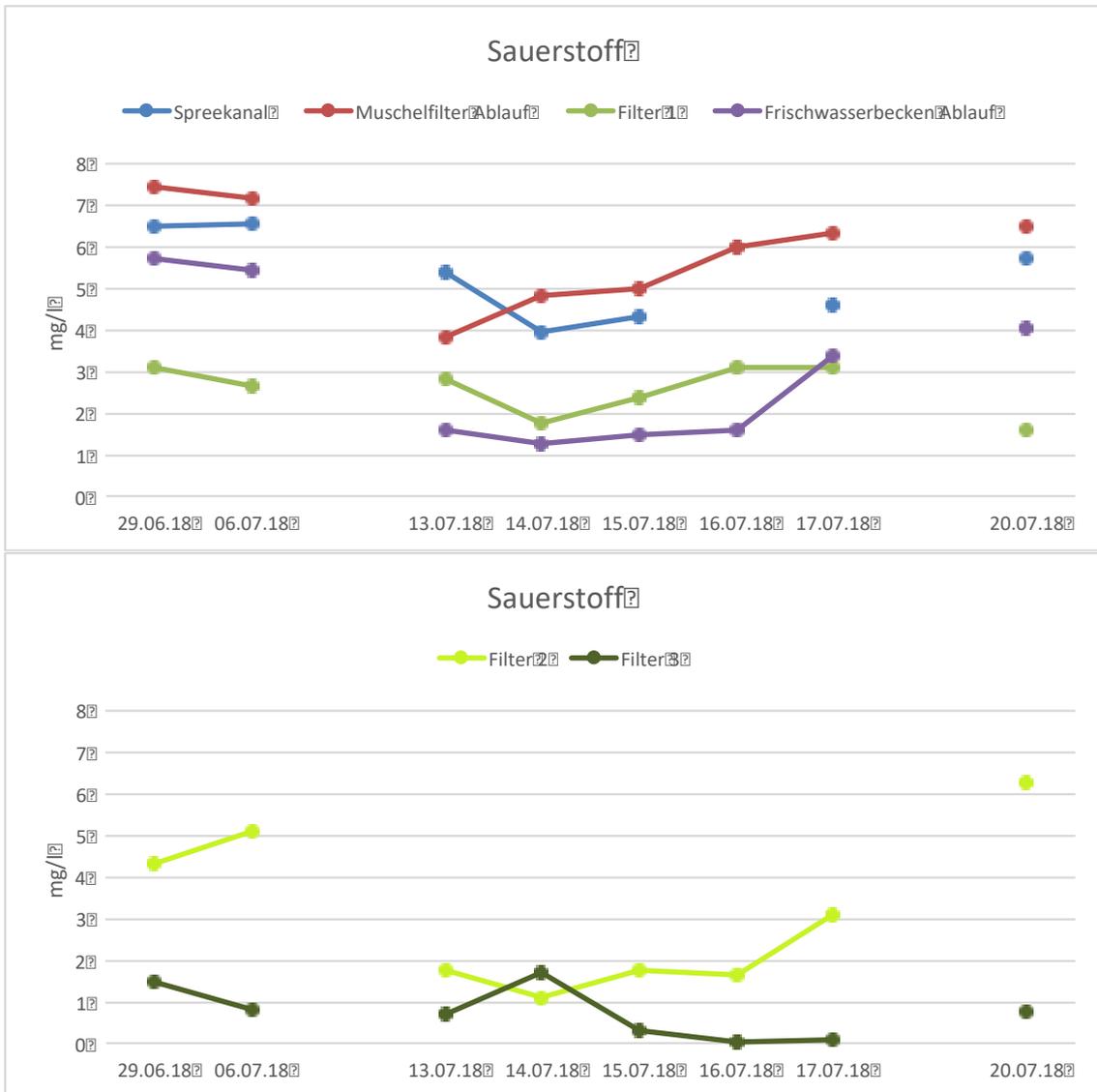


Abbildung 87: Sauerstoffgehalt vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen

7.3 Chemische Parameter

In Abbildung 88 bis Abbildung 90 sind die Ergebnisse der Messung der untersuchten chemischen Parameter dargestellt. Gezeigt werden jeweils die Werte vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis.

Alle Werte nahmen zunächst zu, später wieder ab. Zu Beginn der Messungen am 12.07.2018 8:30- 12:30 war ein deutlich erhöhter P-Wert im Muschelfilter zu beobachten.

Bei den Stickstoffwerten gab es einen ausgeprägten Peak in der Nacht vom 13.07.2018 zum 14.07.2018. Am Ende der Intensivbeprobung stiegen die Stickstoffwerte erneut an.

AFS und BSB₅ (Daten nicht gezeigt) stiegen nur kurz, am Beginn des Ereignisses an, um danach wieder abzufallen, BSB₅ bis unter den Messbereich.

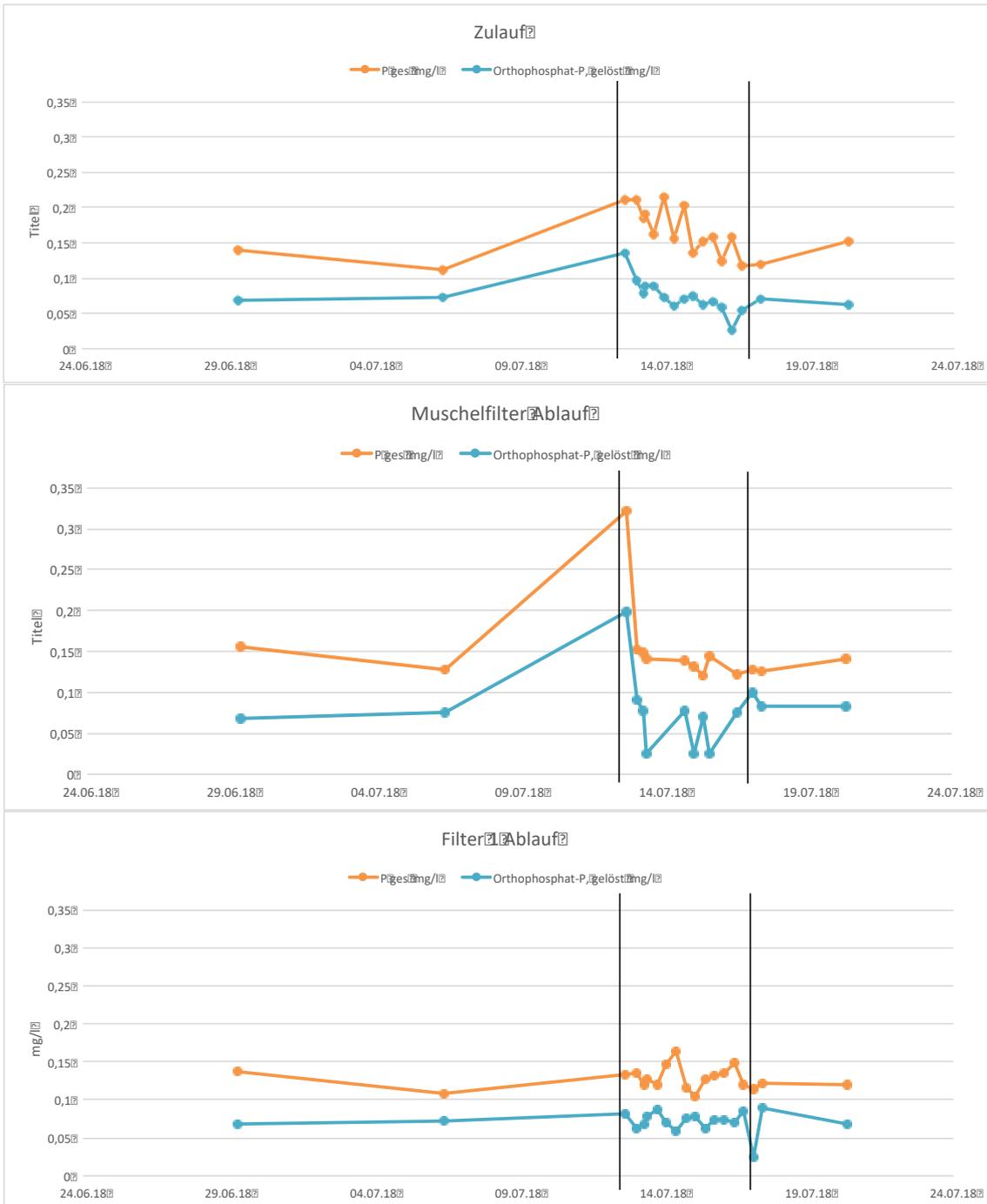


Abbildung 88: Phosphorgehalte vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen

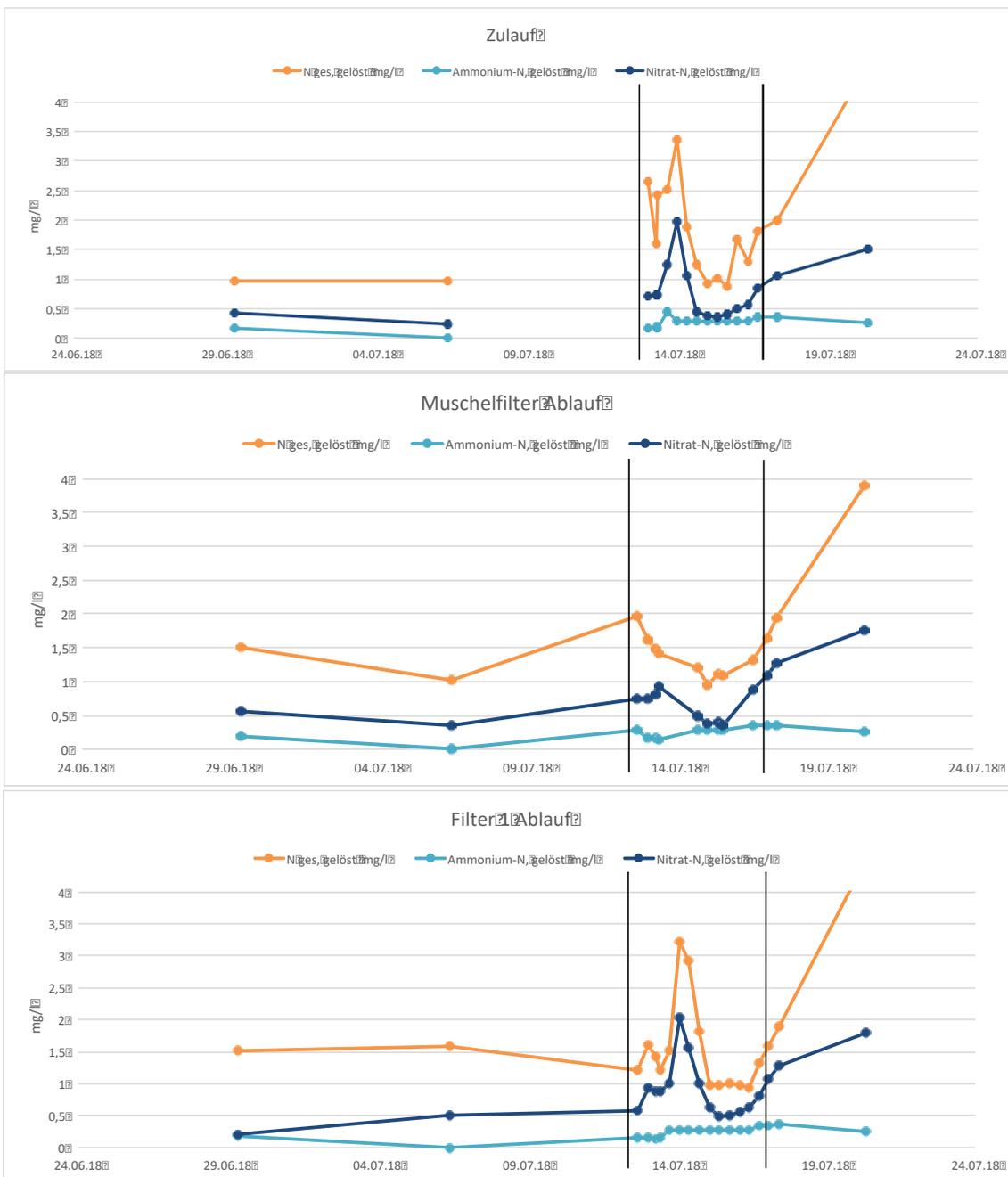


Abbildung 89: Stickstoffparameter vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen

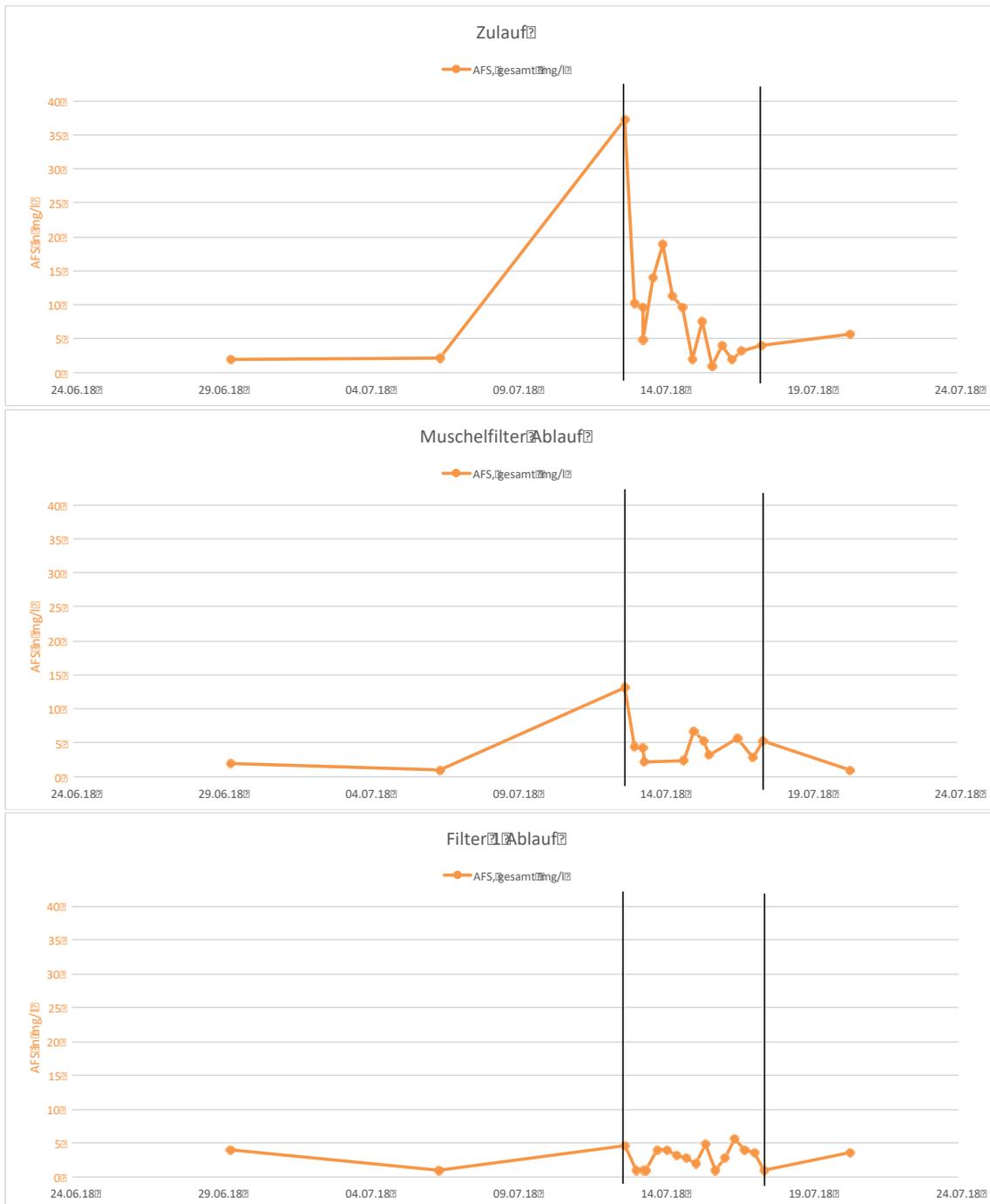


Abbildung 90: AFS vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis in verschiedenen Messstellen

7.4 Bakteriologische Parameter

In Abbildung 91 bis Abbildung 97 sind die Ergebnisse der Messung der untersuchten bakteriologischen Parameter dargestellt. Gezeigt werden jeweils die Werte vor, während und nach dem Mischwasserabschlagsereignis.

Soweit relevant werden auch die Grenzwerte nach EU Badegewässerrichtlinie bzw. BadeGewVO, die Qualitätsanforderungen für öffentliche Schwimmteiche (Sollwert) sowie die Messgrenze der Analysemethoden dargestellt.

Auffällig sind periodisch auftretende sehr niedrige Werte für *E. coli*. Diese fallen jeweils mit dem Leeren der automatischen Probenehmer zusammen. Die Proben, die jeweils am längsten im Probenehmer verblieben waren, hatten diese niedrigen Werte.

Im Spreekanal war auch 5 Tage nach dem Mischwasserabschlagsereignis die Badewasserqualität schlecht.

Im Ablauf Filter 1 (= Zulauf Frischwasserbehälter) war die Badewasserqualität für ca. einen Tag am Beginn des Mischwasserabschlagsereignisses schlecht.

Im Ablauf der UV-Anlage wurde Badewasserqualität zu allen Messzeiten eingehalten (Stichprobenmessungen, Abbildung 98).

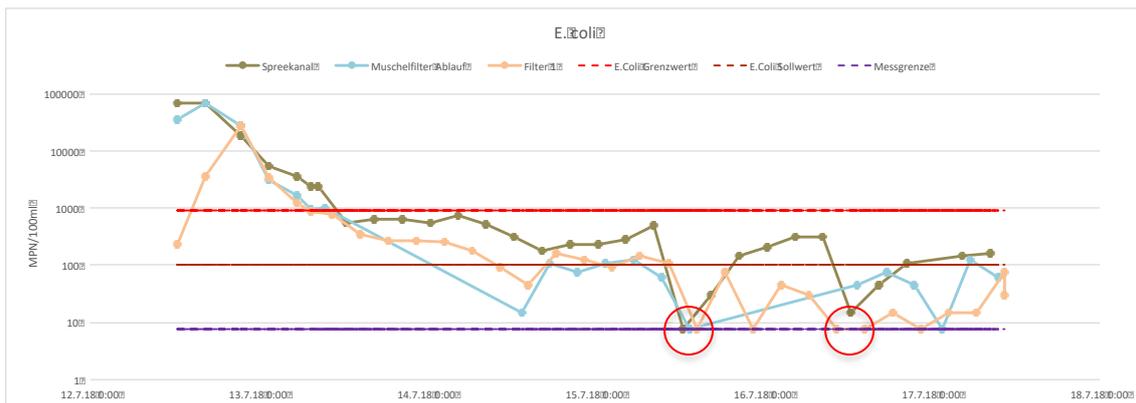


Abbildung 91: *E. coli* während des Mischwasserereignisses in verschiedenen Messstellen

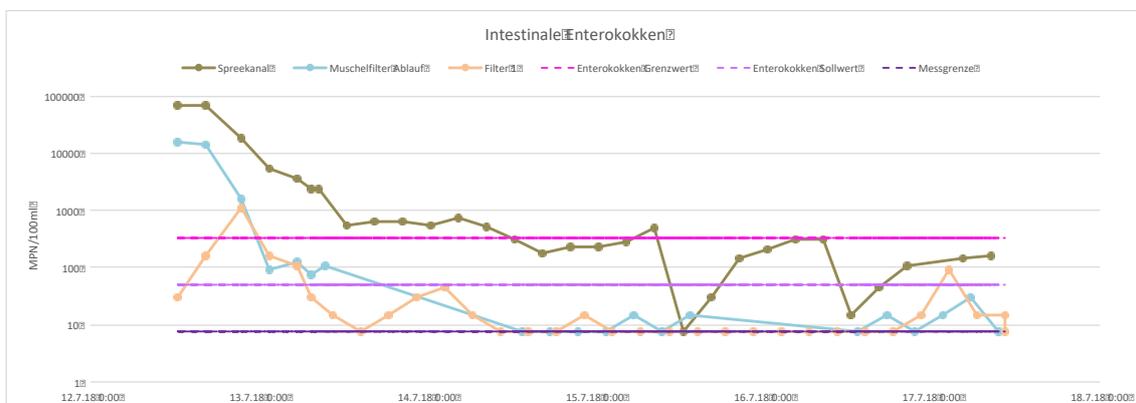


Abbildung 92: Intestinale Enterokokken während des Mischwasserereignisses in verschiedenen Messstellen

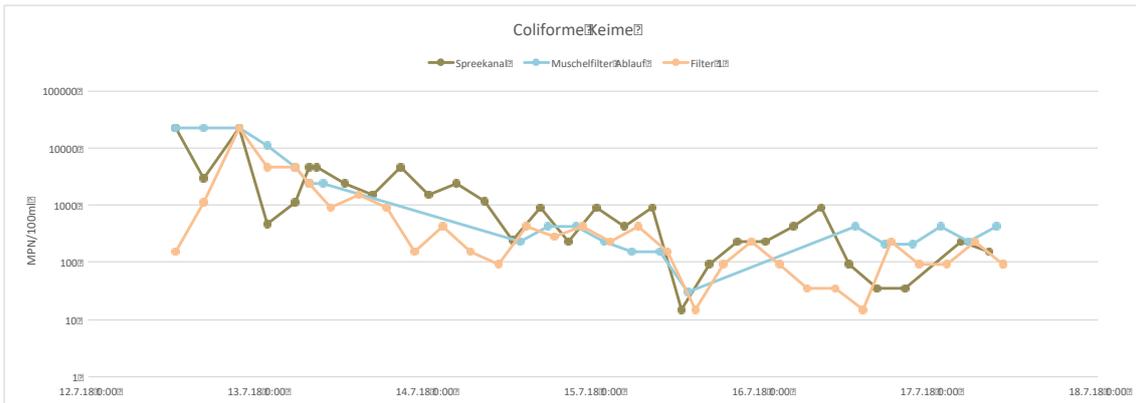


Abbildung 93: Coliforme Keime während des Mischwasserereignisses in verschiedenen Messstellen

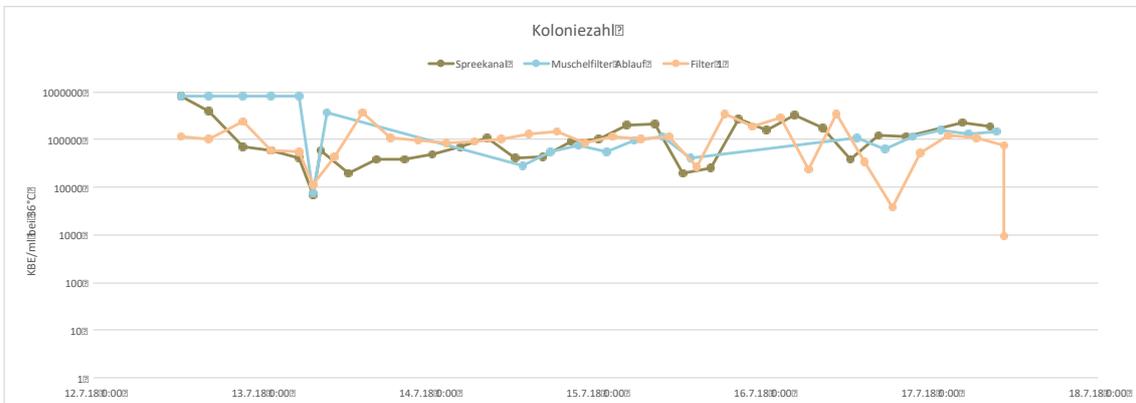


Abbildung 94: Gesamtkeimzahl während des Mischwasserereignisses in verschiedenen Messstellen

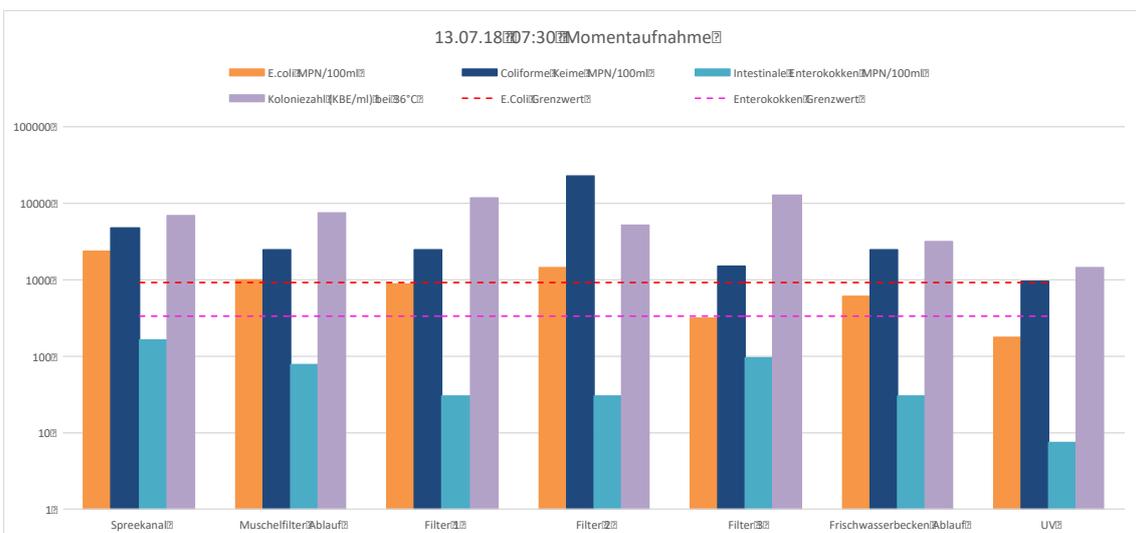


Abbildung 95: Momentaufnahme mikrobiologische Parameter während des Mischwasserereignisses an allen Messstellen

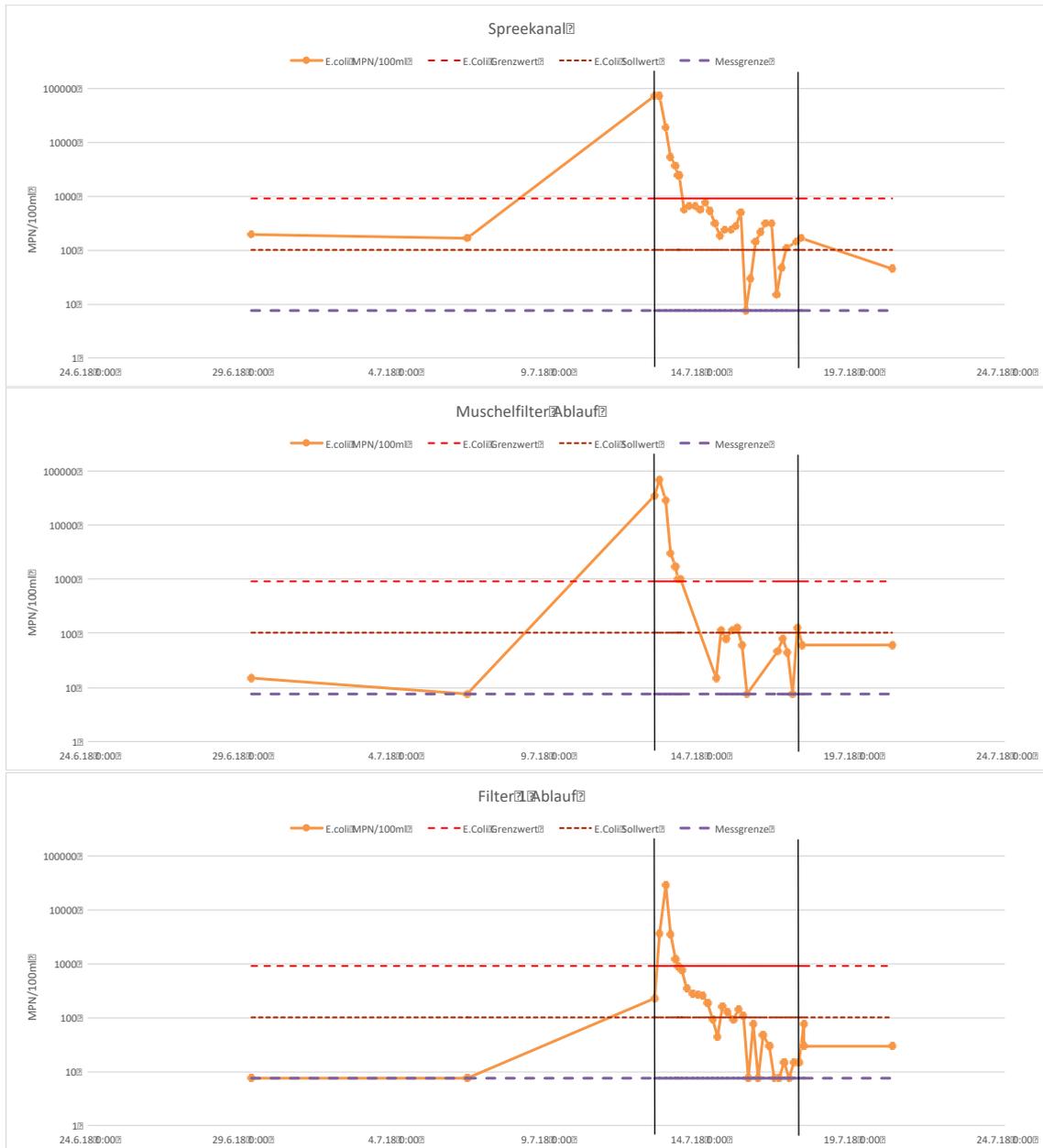


Abbildung 96: *E. coli* vor, während und nach dem Mischwasserabschlag in verschiedenen Messtellen

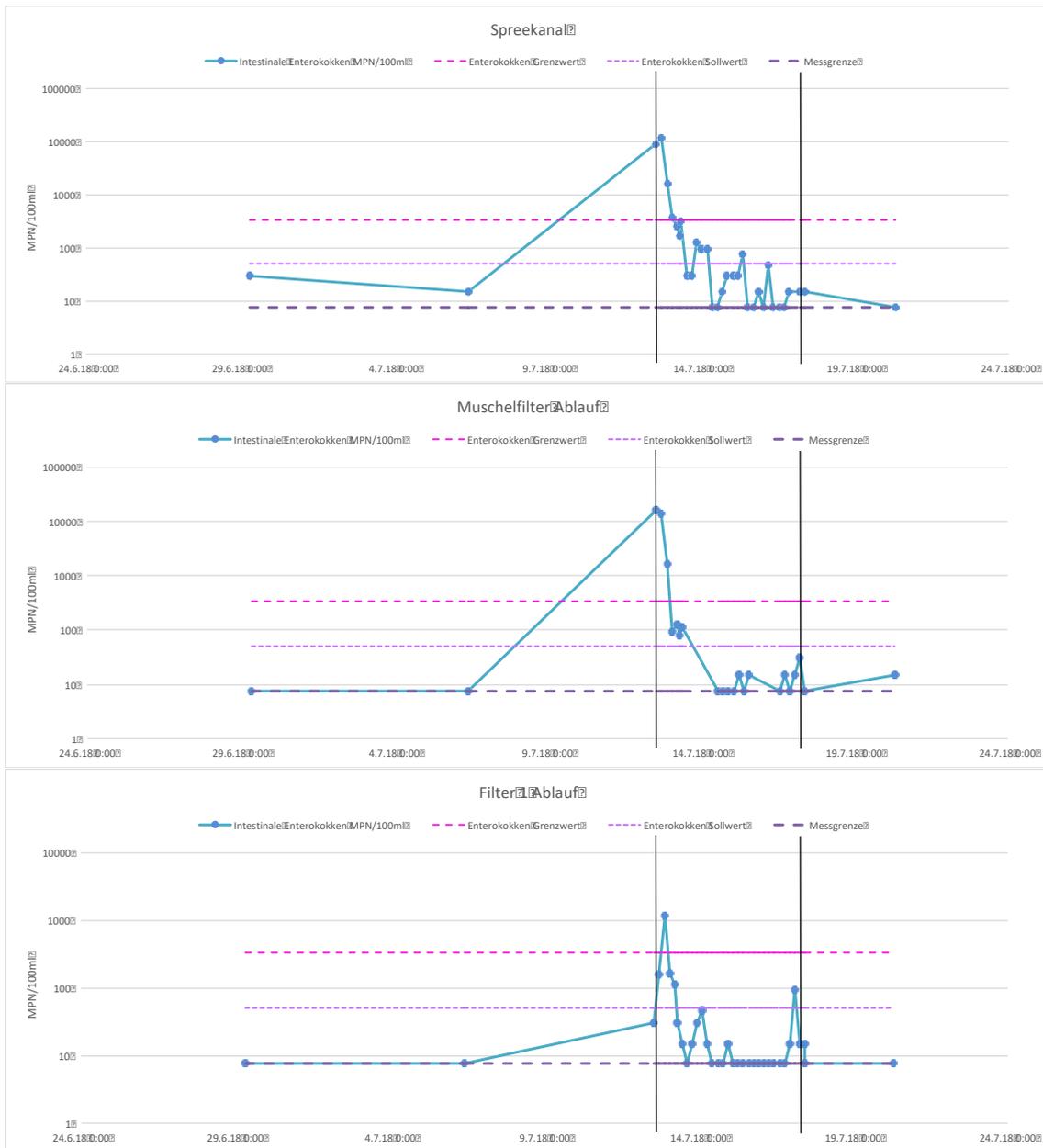


Abbildung 97: Intestinale Enterokokken vor, während und nach dem Mischwasserabschlag in verschiedenen Messstellen

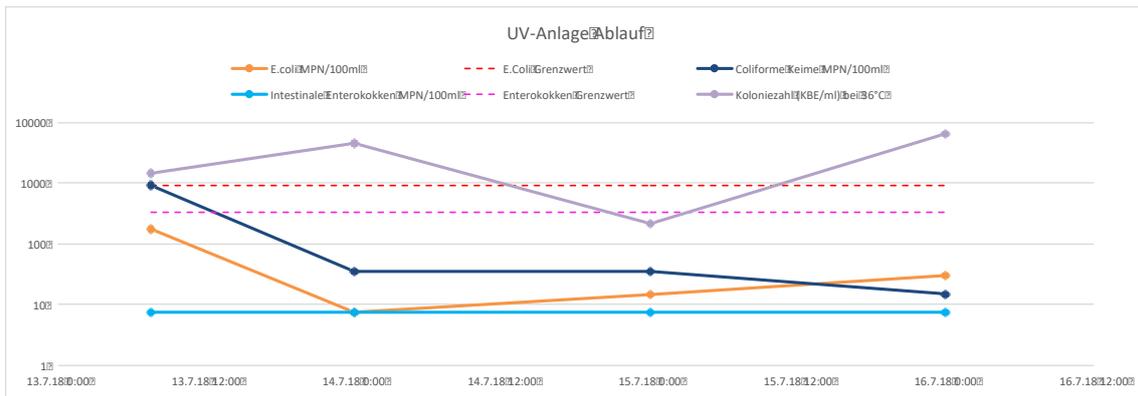


Abbildung 98: Bacteriologische Parameter während des Mischwasserereignisses im Ablauf der UV-Anlage

8 Diskussion

8.1 Einhaltung Badewasserqualität

Während des gesamten Betrachtungszeitraums war im Ablauf der Filter eine sehr gute Wasserqualität festzustellen. Hinsichtlich der bakteriologischen Parameter war im Spreekanal im Betrachtungszeitraum an allen planmäßigen Messtagen (ohne Mischwassereinfluss) zumindest „ausreichende“ Qualität nach BadeGewVO vorhanden.

Im Vergleich dazu wurde im Frischwasserbecken, das die meiste Zeit aus den Abläufen von Filter 1 oder Filter 3 gespeist wurde (bis Ende August, vergl. Tabelle 11) eine sehr gute Wasserqualität erzielt. D.h. der Grenzwert der BadeGewVO von 500 MPN/100 ml wurde unter Berücksichtigung des 95-Perzentils für *E.coli* nur zu einem Zehntel ausgefüllt. Diese Qualität entsprach im Prinzip dem Ablauf der UV-Anlage. Der strengere Grenzwert für Schwimmteiche von 100 MPN/100 ml wurde immer noch um die Hälfte unterschritten (vergl. Tabelle 34).

Betrachtet man die direkten Filterabläufe zeichnet sich hier der Filter 2 durch die niedrigsten Spitzenwerte aus (95-Perzentile). Dies ist überraschend, da bei Betrachtung mittlerer Häufigkeiten (Median) Filter 1 und Filter 3 deutlich besser abschneiden.

Ein ähnliches Bild zeichnet sich für den Parameter Enterokokken ab.

Tabelle 34 Bewertung der 95-Perzentile von Indikatororganismen an Hand der Badewasser Qualitätsanforderungen

Messstelle	Zulauf	Muschel	Filter 1	Filter 2	Filter 3	FW	UV
n Proben	34	34	34	29	23	23	19
MPN/100 ml (95-Perzentil)	1418	495	434	80	297	44	45
E.coli							
BadeGewVO	Ausreichend	Ausgezeichnet	Ausgezeichnet	Ausgezeichnet	Ausgezeichnet	Ausgezeichnet	Ausgezeichnet
UBA/ Schwimmteich	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt
MPN/100 ml (95-Perzentil)	180	78	63	15	88	14	8
Enterokokken							
BadeGewVO	Ausgezeichnet						
UBA/ Schwimmteich	nicht erfüllt	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt

Während des intensiv untersuchten Mischwasserüberlaufereignisses am 11.07./ 12.07. 2018 war im Spreekanal (Zulauf zum Testfilter) mehrere Tage lang die Anforderung der Badewasserqualität nach BadeGewVO nicht eingehalten (siehe Abbildung 91 und Abbildung 92).

Maßgeblich für die Bewertung der einzelnen Filterleistung ist eher die mittlere Ablaufkonzentration (Median) oder sogar das arithmetische Mittel anstelle von Ablaufspitzenkonzentrationen (95-Perzentil), wenn man die dauerhafte Reduzierung der Fracht als Maßstab nimmt. Außerdem ist der Betrachtungszeitraum statistisch gesehen noch sehr kurz, um allein die Spitzenwerte (95-Perzentile) zu bewerten. Laut BadeGewVO sollen hierfür ja auch Zeiträume von 4 Jahren zugrunde gelegt werden.

Falls sich der Modellmaßstab der Testfilteranlage so auf die Realität übertragen lässt, wäre bei vorhandenem Filterbetrieb die Wasserqualität im Spreekanal in der „Badesaison“ 2018 mit „ausgezeichnet“ zu bewerten gewesen.

Allerdings war das Jahr 2018 klimatisch und von der Ausgangswasserqualität in der Spree untypisch. Es gab kaum Mischwassereinleitungen und die Wasserqualität war hier bereits besser als der langjährige Durchschnitt.

8.2 Filter-Hydraulik

Die Filter 1 und 2 haben im ersten Betriebsjahr die hydraulischen Bemessungsvorgaben sicher erfüllt. Auch bei einer um 30% erhöhten Beaufschlagung (bis zu 10 m/d) konnte kein erhöhter Druckverlust beobachtet werden. Zu prüfen ist, ob die Filterleistung über einen längeren Betriebszeitraum bzw. den geplanten Nutzungszeitraum Bestand hat. Am Ende des Versuchszeitraums zeigte Filter 1 eine minimale messbare Steigerung des Filterwiderstandes.

Filter 3 zeigte dagegen bereits vollständige Kolmation. Das heißt, das zur Verfügung stehende Energiepotenzial für die Filterströmung aus der maximal möglichen Wasserspiegeldifferenz zwischen Filterüberstand und Ablaufdrainage wurde bereits ausgeschöpft und der Filter musste in mehrere Regenerationsphasen gehen.

Es wurde ansatzweise versucht, ob und wie dieser Filter regeneriert werden kann. Dies müsste jedoch weiter geprüft werden.

Als mögliche Ursachen für die Kolmation von Filter 3 kommen derzeit verschiedene Faktoren mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit in Betracht.

- Die Körnung des Kiesel in Filter 3 ist deutlich feinkörniger, als die der Filtermaterialien der anderen Filter.
- Eine mögliche aber nicht erwartete Ursache könnten die Pflanzen sein, die den Porenraum mit ihren Wurzeln zunehmend verkleinern. Dies wäre anhand der Pflanzenentwicklung im Wurzelraum zu prüfen.
- Eine wahrscheinliche Ursache liegt in der Art der Bepflanzung. Die Schilfpflanzen wurden jeweils als Topfpflanzen mit Erdballen relativ dicht gepflanzt, um möglichst schnell einen guten Schilfbewuchs zu erhalten. Insgesamt wurden rund 30 Pflanzen je Quadratmeter gepflanzt. Das humusartige Substrat der Ballen war vergleichsweise gering durchlässig und nahm in diesem Fall bereits einen großen Anteil der Filteroberfläche ein (etwa 20% der Oberfläche). Das stichprobenartig qualitativ untersuchte Filtermaterial machte den Eindruck, dass feine Anteile hieraus auf der Oberfläche und in die tieferen Schichten verlagert wurden, so dass es hier zu einer inneren Kolmation gekommen sein kann.

8.3 Muschelfilter

Der Bewuchs der Matten im Reaktor hat sich nicht so gut entwickelt, wie erhofft. Dies betrifft vor allem die Größe aber auch die Gesamtzahl der Muscheln. Der untere Teil der Matten war eher schlecht bewachsen, sogar schlechter als im Jahr 2017. Die Ursachen könnten an einem noch nicht optimalen Versuchsaufbau liegen, der die zu erwartenden Verhältnisse im großtechnischen Maßstab auch nicht gut genug widerspiegelt.

Zum einen könnte es an der schlechteren Versorgung mit Nahrung im unteren Bereich liegen. Dies würde gelten, wenn die Muscheln im Zulaufbereich bereits das Nahrungsangebot hinreichend dezimieren. Ein weiterer Störfaktor könnte hydraulischer Stress durch die Zulaufwassereinspeisung sein. Auffällig war, dass im „Sprüschatten“ der Zulaufrohre signifikant mehr und größere Muscheln wuchsen, als im Rest des Filters. Möglicherweise ist auch das verwendete Aufwuchsmaterial (weiches Kunststoffgewebe) nicht optimal. Die mit Abstand größten Muscheln wuchsen auf festen, glatten Oberflächen (z.B. Kabelbindern).

Die Wirkung des Muschelreaktors war noch nicht signifikant. Ob die im Filter 1 beobachtete Biozönose (Zoobenthos und –plankton) oder die Biofilmentwicklung maßgeblich durch die Vorschaltung des Muschelreaktors beeinflusst war, lässt sich noch nicht sagen. Ein nicht zu vernachlässigender Effekt im Muschelfilter könnte auf Absetzung beruhen. Dies wäre noch zu untersuchen.

Die in der Spree im Bereich der Oberbaumbrücke verbliebenen Muschelmatten sind hingegen derzeit mit ca. 30 mal so vielen Muscheln bewachsen, wie die im Muschelreaktor eingebauten Matten. Vermutlich ist die Nahrungsversorgung in der Spree, auch verursacht durch das Aufwirbeln des Gewässersediments durch vorbeifahrende Schiffe, wesentlich höher als im Muschelreaktor.

Der Vergleich mit den sehr gut bewachsenen Matten in der Spree zeigt, dass diese bei einem solchen Einbau im großtechnischen Maßstab (ohne vorgeschaltete Pumpen, Stress etc.) durchaus interessant sind. Es sollte versucht werden, das Reinigungspotenzial durch einen optimierten Betrieb des Muschelreaktors festzustellen. Es sollte beispielsweise in Betracht gezogen werden, diese sehr gut bewachsenen Muschelmatten aus der Spree in den Muschelreaktor zu transferieren und diesen mit deutlich weniger Matten zu bestücken, als bisher.

8.4 Mikroskopisches Bild

Hinsichtlich Makrozoobenthos haben sich in den einzelnen Anlagenteilen unterschiedliche, scheinbar stabile Biozönosen herausgebildet. Filtermaterial und der Einsatz von submersen und emersen Pflanzen scheinen einen Einfluss auf die Ausbildung dieser Biozönosen zu haben. Zumindest lassen sich die festgestellten deutlichen Unterschiede nicht anders erklären.

Auf der Oberfläche der Filterschicht kamen vor allem Flohkrebse massenhaft vor. Die Allesfresser sorgen dort für den Abbau der absinkenden Stoffe. Die Anzahl der Flohkrebse war auf der Sohle zwischen den dichten benthischen Algenwatten im Filterbecken 2 besonders hoch.

An den Wänden im Frischwasserbecken wurden viele Wasserschnecken vorgefunden. Sie weiden den Biofilm ab, wodurch dieser in seiner Dichte gering gehalten wird und es nicht zu Ablösungsprozessen kommt.

Auf der sandigen Gewässersohle im Frischwasserbecken wurden im Vergleich zu den Filterbecken entsprechend dem geringeren Nahrungsangebot wenige Flohkrebse und Wasserschnecken vorgefunden.

Die sehr differenzierte Ausbildung der Biozönosen in den verschiedenen Filtern zeigt, wie wichtig die Erprobung verschiedener Filtertypen bzw. Materialien ist. Es ist allerdings noch nicht ausreichend geklärt, welche Biozönose hinsichtlich der beabsichtigten Reinigungsleistung der Filter hier optimal ist und ob die Filter in der Lage sind, ganzjährig Badewasserqualität in der „Frischwasserzone“ zu gewährleisten. Es ist bekannt, dass die Hygienisierung in Filtern (z.B. Langsandsfilter) nicht durch Sedimentation sondern durch Fraß der räuberischen Tierchen des „biologischen Rasens“ stattfindet.

Als Resultat dieser Untersuchungen ist die Frage zu klären, welche (Stoffwechsel)-Funktionen das Zooplankton/ die Meiofauna in diesem Zusammenhang haben. In erster Linie geht es um eine biologische Minimierung von Phytoplankton und Detritus über die Nahrungskette. Eine Verminderung von Phytoplankton und Detritus führt zwangsläufig auch zu einer Verminderung des Zooplanktons/ der Meiofauna auf Grund von Nahrungslimitierung, so dass sich bereits über rein quantitative Größen wie Individuendichte und Biomasse ein entsprechender Effekt nachweisen lässt. Darüber

hinaus führt der Abbau des Phytoplanktons über die Nahrungskette in den einzelnen Festbettfiltern zu einem qualitativen Umbau der Lebensgemeinschaft. Dieser Umbau ist umso größer, je komplexer die biozönotischen Strukturen in den Filtern sind. In dem mit Kies gefüllten und großflächig bepflanzten Filter entwickelte sich auf Grund der vielfältigen Habitatstrukturen eine vielgestaltigere Lebensgemeinschaft mit entsprechend komplexen Nahrungsbeziehungen, gegenüber einem nur mit Blähton gleichförmiger Körnung gefülltem Filter.

8.5 Makrophyten

Ein wesentlicher Bestandteil von „Reinigungsbiotopen“ oder künstlichen Feuchtgebieten zur Wasserbehandlung ist die Ausstattung mit Pflanzen. Diesen wird je nach Anwendung eine eigene Reinigungsleistung zugeschrieben, oder sie sollen mittelbar zu deren Optimierung beitragen.

Eine weitere wesentliche Funktion ist die Verbesserung der Oberflächenstruktur von Vertikalfiltern zur Aufrechterhaltung der hydraulischen Leistung einer sich entwickelnden sekundären Anschwemmschicht. Diese soll sich bestenfalls zu einem Sekundärfilter und nicht zu einer dichten Sedimentschicht entwickeln.

Die Testfilter sollten belegen, ob die Bepflanzung einen zusätzlichen Nutzen bringt, oder überhaupt notwendig ist. Diese Frage lässt sich noch nicht abschließend beantworten (vergl. Hydraulik). Schilf hat sich in Filter 3 erwartungsgemäß dominant entwickelt. Um zu prüfen, ob die Vegetation ursächlich für die beobachtete Kolmation ist, wäre es erforderlich, den Kiesfilter vergleichsweise ohne Bepflanzung zu betreiben. Um zu klären, ob die Pflanzen (oder der Humus aus den Wurzelballen) Ursache für das vielfältige Artenspektrum sind, müsste zudem ein Filter mit dem gleichen Substrat, aber mit Schilfbepflanzung, jedoch ohne Wurzelballen, getestet werden.

Die submersen Wasserpflanzen in Filter 2 wurden durch die massive Lemna sp.-Entwicklung auf der Wasseroberfläche verdrängt. Es ist fraglich, ob diese in der nächsten Vegetationsperiode eine Überlebenschance haben. Der weitere Einsatz scheint nicht zielführend, solange sich regelmäßig eine Schwimmdecke mit Lemna sp. ausbilden wird. Die abgesunkenen Algenmatten an der Filteroberfläche erklären die hier dominierenden Zooplanktonorganismen. Es wäre zu prüfen, ob sich ohne diesen Belag des Filters die biologische Reinigungsleistung ändern wird.

Die massive Lemna sp.-Entwicklung auf Filter 1 und Filter 2 und teilweise auch im Frischwasserbecken muss weiter beobachtet werden. Bei der zukünftigen Planung einer großtechnischen Anlage muss auf jeden Fall die mögliche Bildung einer solchen Lemnadecke berücksichtigt werden. Auf den Testfiltern sollte weiter geprüft werden, welche Effekte diese weiterhin haben. Z.B. wäre es möglich, dass die im Winter sedimentierten Pflanzen aufgrund ihrer geringen Größe in die Poren des grobkörnigen Filtermaterials eindringen werden und so zu einer evtl. irreversiblen Verstopfung führen. Umgekehrt kann eine solche natürliche dichte Schwimmdecke das Wachstum von fädigen Grünalgen wirksam verhindern, welche bereits im Sommer ebenfalls zu einer Verstopfung führen könnten. Falls im großtechnischen Maßstab auf eine Bepflanzung verzichtet werden soll, ist in jedem Fall mit einem derartigen spontanen Bewuchs der Wasseroberfläche zu rechnen. Dies würde sich natürlich auf das Erscheinungsbild erheblich auswirken.

Für den zukünftigen Badebereich im Spreekanal sollte das Vorkommen von Lemna sp. nicht kritisch sein. Die Übertragung der Verhältnisse zwischen dem Test-Frischwasserbecken im Vergleich zum Flussabschnitt unterhalb des geplanten Bodenfilters ist in dieser Hinsicht nicht ideal: Volumen und Tiefe im Frischwasserbereich

passen zwar im Modellmaßstab zu denen im geplanten Badebereich. Dagegen ist wegen des wesentlich größeren Länge/Breite-Verhältnisses des Kanalabschnitts im Gegensatz zu dem des Frischwasserbeckens mit etwa der vierfachen Fließgeschwindigkeit zu rechnen. Dies wird erwartungsgemäß zum Austrag der Lemna sp. führen. Schließlich wird in der Spree auch nicht ein derartiges Aufkommen beobachtet.

8.6 Filterwirksamkeit

Ziel der Untersuchungen war zunächst der Nachweis, dass der bisher vorgesehene bepflanzte Kiesfilter die gewünschte Reinigungsleistung erbringt. Die Variation der getesteten Filtertypen und -kombinationen sollte ggf. eine Optimierung bewirken.

Das Reinigungsziel ist einerseits Badewasserqualität im folgenden Flussabschnitt (hier im Frischwasserbehälter als Modellmaßstab) hinsichtlich der Parameter Sichttiefe und Konzentration pathogener Indikatororganismen nach Badegewässerrichtlinie und andererseits eine Verbesserung der Gewässergüte im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie.

Im Testfilterbetrieb 2018 kam es zu einer signifikanten Reduktion der Algen in allen Filtern. Blaualgen wurden bisher trotz hoher Filtrationsraten von bis zu 10 m/d und trotz sehr stark angestiegenem Blaualgengehalt im Spreekanal ab Ende Juli 2018 sicher entfernt. Es bleibt abzuwarten, ob diese „Überlebenskünstler“ nachhaltig geschädigt wurden, oder ob diese nach mehrjährigem Filterbetrieb im Ablauf der Filter durchbrechen können.

Bezüglich des Zooplanktons und der Meiofauna zeigen die quantitativen Kenngrößen (Individuendichte und Biomasse) für den Muschelfilter (Überstand und Ablauf) sowie für den Ablauf aller Festbettfilter eine Verminderung und somit eine Verbesserung der Wasserqualität an (Tabelle 28).

Darüber hinaus gibt es deutliche Unterschiede in der Artenzusammensetzung zwischen den einzelnen Gemeinschaften, die auf entsprechende Stoffwechselaktivitäten hinweisen. Die Lebensgemeinschaften des Zooplanktons spiegeln als Teil der Nahrungskette das Nahrungsangebot im Wasser bzw. den Filtern wider und sind somit ein biologischer Indikator für nicht sichtbare Unterschiede in der Wasserqualität. Mit Hilfe einer Korrelationsmatrix (Pearson) lässt sich die Signifikanz dieser Unterschiede/ Verbesserungen untersuchen (Tabelle 35).

Die Auswertung zeigt, dass das Endergebnis stimmt: die Unterschiede (in den Lebensgemeinschaften) und die damit verbundene Verbesserung der Wasserqualität ist signifikant. Bei Betrachtung der einzelnen „Aufbereitungsschritte“ gibt es jedoch Unterschiede.

Das Ergebnis für den **Muschelfilter** allein kann nicht überzeugen, die zooplanktischen Lebensgemeinschaften unterscheiden sich dort nicht gegenüber dem Wasser des Spreekanals (d.h. der Korrelationswert zwischen Zu und MF ist immer $>0,90$, fett markiert in der Tabelle). Eine Verbesserung der Wasserqualität ist somit auch im Ablauf des Muschelfilters nicht bzw. nicht über das Zooplankton nachweisbar. Hier müssen weitere Parameter in die Auswertungen/ Untersuchungen einbezogen werden.

Ähnliche Aussagen müssen auch für den **Filter 2** getroffen werden, selbst die Lebensgemeinschaft im Ablauf des Filters entspricht etwa derjenigen im Wasserkörper des Spreekanals. Ein spezifischer Effekt auf das Zooplankton kann auch hier nicht nachgewiesen werden.

Im **Filter 1** veränderte sich die Gemeinschaft des Zooplanktons/ Meiofauna signifikant während des Filtrationsprozesses, was auf entsprechende Stoffwechselreaktionen und eine Veränderung der Wasserqualität hinweist. Hier sind die Veränderungen schon im

Filterüberstand relevant. Dies entspricht der Funktion eines überströmten hydrobotanischen Feuchtgebietes (oder von natürlichen Röhrichtzonen des Litorals), in dem die Makrophyten mit ihren Aufwuchsflächen und sonstigen Eigenschaften günstige Lebensbedingungen schaffen. Im **Filter 3** ändert sich die Lebensgemeinschaft gravierend, bereits im Überstand bildet sich eine komplett andere Zoozönose aus. Dieses Ergebnis ist jedoch auch im Zusammenhang mit der Kolmation des Filters und der im Herbst sehr geringen Beaufschlagung des Filters mit Wasser aus dem Spreekanal/ dem Muschelfilter zu interpretieren.

Tabelle 35: Korrelationsmatrix (Korrelationskoeffizient nach Pearson; Unähnlichkeitsschwellenwert: 0,9). Niedrige Werte zeigen eine Veränderung der Zusammensetzung an

	Zu	MF Ü	MF Ab	F1 Ü	F1 Ab	F2 Ü	F2 Ab	F3 Ü	F3 Ab	FW
Zu	1	0,975	0,963	0,926	0,694	0,967	0,946	0,215	0,564	0,556
MF Ü		1	0,979	0,914	0,696	0,938	0,956	0,266	0,592	0,575
MF Ab			1	0,922	0,699	0,925	0,976	0,192	0,576	0,597
F1 Ü				1	0,648	0,906	0,906	0,190	0,526	0,545
F1 Ab					1	0,733	0,716	0,118	0,485	0,423
F2 Ü						1	0,901	0,240	0,538	0,554
F2 Ab							1	0,107	0,558	0,605
F3 Ü								1	0,387	0,103
F3 Ab									1	0,337
FW										1

Die Tatsache, dass die Wasserqualität im **Frischwasserbecken** am besten erschien, solange der Ablauf von Filter 1 oder 3 in das Frischwasserbecken geleitet wurde, spiegelt sich hier auch in einem vergleichbar niedrigen Korrelationswert mit der Lebensgemeinschaft im Zulaufwasser wider.

Während des gesamten Betrachtungszeitraums war im Ablauf der Filter eine sehr gute Wasserqualität festzustellen. Es kam zu einer signifikanten Reduktion der sauerstoffzehrenden Wasserinhaltsstoffe inklusive Nitrifizierung des Ammoniums. Hinsichtlich der bakteriologischen Parameter war im Spreekanal im Betrachtungszeitraum an allen Messtagen zumindest „ausreichende“ Badewasserqualität nach EU-Richtlinie bereits vorhanden.

Ein besonderer Anspruch dieser Filteranlage besteht darin, den folgenden Gewässerabschnitt vor Stoßbelastungen aus Mischwasserüberläufen der Kanalisation zu schützen. Bei dem einzigen gemessenen Mischwasserabschlagsereignis im Sommer 2018 kam es sehr schnell zum Eintreffen der Wasserwelle am Testfilter, deutlich weniger als 8 Stunden nach dem Regenbeginn. Das wird unter anderem daran liegen, dass dies ein singulärer Starkregen war. Gleichzeitig (oder in Folge dessen) wurde der Durchfluss durch den Spreekanal durch Veränderung der Wehrstellung stark erhöht, was zu einem beschleunigten Abfluss führte. Es bleibt zu untersuchen, ob diese Verhältnisse reproduzierbar, also regelmäßig zu erwarten sind. Zum Zeitpunkt des Beginns der dann gestarteten Intensivbeprobung am 12.07.2018 um 8:30 Uhr war die Spitze der Schmutzfracht voraussichtlich bereits vorbei, was sich mithilfe der zeitverzögerten Ablaufwerte aus dem Muschelfilter (insbesondere P) zeigen lässt.

Die Messwerte deuten darauf hin, dass es eine ganz ausgeprägte Schmutzfrachtspitze gegeben hat. Diese ging auch einher mit stark erhöhten Keimzahlen. *E. coli* und Enterokokken schlugen durch Filter 1 für einige Stunden so stark durch, dass zeitweise

keine Badewasserqualität mehr gegeben war. Ob dies auch bei nicht so ausgeprägten Schmutzfrachtspitzen so sein wird, muss noch untersucht werden, wenn entsprechende Regenereignisse eintreten. Demgegenüber war die hydraulische Spitze der Mischwassereinleitung aus den betrachteten Bauwerken scheinbar erst gegen 9:00 Uhr am 12.07.2018. Das bedeutet, Frachtspitze und hydraulische Spitze fielen bei diesem Ereignis zeitlich nicht zusammen.

Gegebenenfalls etwas verfälschend wird sich ausgewirkt haben, dass der Durchfluss durch den Spreekanal ab dem 13.07.2018 dann wieder sehr niedrig war, was sich auch auf die Wasserqualität im Spreekanal positiv ausgewirkt hat. Vermutlich wurde das Wehr wieder hochgezogen. Das Wassermanagement im Fluss entspricht derzeit nicht dem des zukünftigen Filterbetriebs mit gleichmäßigem Durchfluss.

Das Ansteigen der Stickstoffwerte am fünften Messtag deutet darauf hin, dass eine weitere, geringere Schmutzfrachtwelle in der Spree ablief, vielleicht von einem weiter entfernt flussaufwärts gelegenen Einzugsgebiet abstammend.

Die *E. coli*-Werte zeigen einen deutlichen „Zackenverlauf“ (Abbildung 91). Es ist auffällig, dass immer diejenigen Proben sehr niedrige Werte aufwiesen, die am längsten in den automatischen Probenehmern gelagert waren. Bedingt dadurch, dass es pro Probenehmer nur einen Kühlakku gab, war die Kühlung über fünf Tage hinweg nur stark eingeschränkt möglich. Vermutlich sind diese niedrigen Werte deshalb Fehlmessungen. Die Beprobung infolge des untersuchten Mischwasserereignis erfolgte über fünf Tage ab dem Beginn des Abschlagsereignisses. Daher erfolgte auch eine Probenahme am Wochenende. Die Proben wurden ein mal täglich aus den automatischen Probenehmern entnommen und an Arbeitstagen direkt zur Analyse ins Labor gebracht. Am Wochenende wurden die Proben in einem Kühlschrank zwischengespeichert und am darauffolgenden Montag ins Labor zur Analyse gebracht. Die Ergebnisse weisen keine Auffälligkeiten diesbezüglich auf. Bei ausreichender Kühlung (in den Probenehmern oder im separaten Kühlschrank) ist die Aussagekraft der Ergebnisse auch gegeben, wenn mehrere Tage zwischen Probenahme und Analyse liegen.

Ergänzend zu den Filtern kann mithilfe der von Xylem zur Verfügung gestellten UV-Anlage der Ablauf eines Filters nachbehandelt werden. Diese Möglichkeit wurde während des Überlaufereignisses nicht weiter untersucht. Aufgrund der regelmäßig guten Ablaufwerte der UV-Anlage ist aber davon auszugehen, dass diese Möglichkeit grundsätzlich funktioniert. Diese Option sollte bei weiteren Mischwasserereignissen nochmals mit untersucht werden.

8.7 Versuchsanlage

Die mobile Testfilteranlage auf dem Schiff hat sich sehr gut bewährt und bietet viele Vorteile. Die Tatsache, dass das Schiff allerdings im Winter jeweils herausgefahren werden muss, ist für ganzjährige Untersuchungen extrem hinderlich. Dies führt wegen der für den Transport notwendigen Entleerung der Filter und des Frischwasserbereiches zu einer nachhaltigen Störung der Biozöosen. Der Filter im großtechnischen Maßstab würde schließlich auch nicht bewegt werden.

Die anfänglichen Schwierigkeiten mit der Datenübertragung aus dem Datenlogger konnten überwunden werden. Die Anlage ist gut eingefahren und steht für weitere intensive Untersuchungen zur Verfügung.

Die verwendeten Multiparametersonden wiesen allerdings eine erhebliche Unzuverlässigkeit insbesondere hinsichtlich der Einordnung der Parameter Chloophyll-a und Trübung auf. Die aufgezeichneten Werte können bestenfalls Hinweise über qualitative

Verläufe geben. Für eine permanente Darstellung von Momentanwerten via Internet scheinen die Sonden nicht geeignet zu sein.

Der mit Schilf bepflanzte Kiesfilter (Filter 3) muss verändert und seine Wirkungsweise erneut untersucht werden. Es sollte untersucht werden, ob Kies ohne Schilf oder Kies bepflanz mit Schilf ohne Pflanzballen eine höhere Belastung verträgt, bzw. ob die Umsetzung des Schilfes (ohne Wurzelballen) von Filter 3 nach Filter 1 dort zu ähnlichen Problemen, oder auch Vorteilen (hydrobotanisches Systems) führt.

Um die biologischen Wirkmechanismen der Filter zu beschreiben, ist die Untersuchung mehrerer Vegetationsperioden erforderlich, denn biologische Stoffkreisläufe und Nahrungsnetze müssen sich zunächst herausbilden und stabil funktionieren. Darüber hinaus war der bisherige Untersuchungszeitraum von einer extremen Wetterlage gekennzeichnet und eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist somit wenig aussagekräftig.

Der Filterbetrieb und der Frischwasserbereich wurden technisch noch optimiert. Der Muschelfilter bietet nach einem Umbau noch Potenzial zur Verbesserung der Leistung. Die UV-Entkeimung bei Stoßbelastungen und der Einfluss und Nutzen der optionalen Filterbelüftung auch bei Stoßbelastungen konnten bisher noch nicht ausreichend geprüft werden. Die Auswirkungen müssen untersucht werden.

Die automatischen Probenehmer müssen mit Ersatz-Kühlakkus ausgestattet werden, um eine bessere Kühlung in den Probenehmern zu gewährleisten.

9 Untersuchungsbedarf und –programm

9.1 Allgemeines

Das ursprüngliche Untersuchungsprogramm sah einen Betriebszeitraum von 3 Jahren vor (2016-2018). Im Wesentlichen liegen wegen des verzögerten Einfahrbetriebes nur Erfahrungen eines Jahres (2018) vor. Zudem war das Jahr 2018 klimatisch extrem untypisch mit lang anhaltender Trockenheit ohne die sonst häufiger auftretenden Mischwasserabschläge. Aufgrund der deutlich verkürzten Untersuchungszeit konnten die zu untersuchenden Fragestellungen noch nicht ausreichend abgearbeitet werden.

Die Auswertung des ersten Betriebsjahres erlaubt eine zielgerichtete Anpassung des Untersuchungsprogramms für die nächsten Jahre, um so den Zeitraum bis zur Umsetzung im großtechnischen Maßstab dafür zu nutzen, ausreichend Kenntnisse für die optimale Gestaltung und genügend Sicherheit für den langfristigen Betrieb eines solchen Filters zu erhalten.

9.2 Untersuchungsziele

Die folgenden Fragestellungen konnten noch nicht vollständig untersucht werden und sind zu vertiefen:

- Auswirkung von Mischwassereinleitungen auf hygienische Parameter im Spreekanal (ohne einen Filterbetrieb, d.h. der Ausgangszustand)
- Potenzial zur Verbesserung der chemischen und mikrobiologischen Wasserqualität im Schwimmbereich mit und ohne Mischwassereinleitungen. Es fehlen noch weitere Ereignisse, um eine Aussage treffen zu können.
- Optimierungspotenzial durch Belüftung oder Kombination mit UV-Behandlung
- Leistungsfähigkeit und optimale Betriebsführung des Muschelreaktors (Vermehrung der Muscheln, Schlammfall, Abscheidung von Algen und Trübstoffen)
- Betriebliches Optimierungspotenzial durch Modifizierung der Wasserspiegel und Variation der Durchflüsse
- Potenzial von bepflanzten Systemen im Vergleich zu unbepflanzten Filtern
- Auswahl des besten Filtermaterials
- Langfristige hydraulische Leistungsfähigkeit der Biofilter (Kolmation) zur Auslegung der erforderlichen Filterfläche der großtechnischen Anlage
- Auswirkungen der Aufenthaltszeit im Frischwasserbecken auf die Algenentwicklung (minimal erforderlicher Durchfluss)
- Wirkung der Anlage im Ganzjahresbetrieb im Vergleich zum saisonalen Sommerbetrieb auf die Flusswasserqualität
- Auswirkungen auf das Design der großtechnischen Anlage (erforderliche Filterfläche, maximal zulässige Durchströmung, Belüftungseinrichtungen, Integration einer Vor- oder/und Nachbehandlung)

Insgesamt sollte die Untersuchung der Filterprozesse, insbesondere in Verbindung mit dem Filtersubstrat, intensiviert werden. So kann z.B. über Aktivitätsmessungen und Biofilmuntersuchungen durch Entnahme von Materialproben aus unterschiedlichen Tiefen auf Potenzial bei Verkleinerung oder Vergrößerung der Fließstrecke (= Filtertiefe) zurückgeschlossen werden. Basierend auf den bisherigen Erkenntnissen werden

nachfolgend Vorschläge für die weitere Versuchsdurchführung bei einem dreijährigen Verlängerungszeitraum gemacht.

Erst nach Auswertung des Untersuchungszeitraums von mindestens drei (besser vier) Jahren können fundierte Bemessungsvorgaben für die Planung der großtechnischen Anlage gemacht werden. Dadurch können Kostenrisiken minimiert werden.

9.3 Umbauten

Filter 1: Das Filtermaterial (Blähton 4/8 mm) hat sich im ersten Jahr bewährt. Es waren keine Verstopfungen zu erkennen, jedoch deutete sich hier ein messbarer minimaler Filterwiderstand im cm-Bereich an. Filter 3 hat gezeigt, dass die hydrobotanische Betriebsweise sich vorteilhaft auswirkt. Es wird empfohlen, den Filter 1 nach einem weiteren Testjahr ohne Pflanzen mit Schilf (ohne Ballen) zu besetzen. Dann liegen am Ende Ergebnisse aus jeweils 2 Jahren Betrieb mit und ohne Bepflanzung vor.

Filter 2: Das Filtermaterial (Lava Schotter 8/16 mm) zeigt im Mittel eine etwas schlechtere Reinigungswirkung und eine geringere biologische Aktivität (Sauerstoffzehrung). Dies könnte an den größeren Poren und der geringeren Aufwuchsfläche liegen. Dieses Filtermaterial würde dann zum Tragen kommen, wenn sich der Kies oder Blähton als ungeeignet erweisen (z.B. wegen Kolmation).

Dieser Filter bietet sich an für den Umbau mit einer umgekehrten Strömung von unten nach oben. Damit kann erprobt werden, ob dies zur Verhinderung der Bildung einer Schwimmdecke durch Lemna sp. nützlich ist.

Filter 3: Dieser Filter erneuert werden. Dazu ist das Filtermaterial herauszunehmen und zu waschen oder auszutauschen. Die Pflanzenwurzeln sind ebenfalls zu waschen und danach erneut einzusetzen. Ein unbepflanzter Betrieb erscheint wegen der Entwicklung von fädigen Grünalgen oder Lemna langfristig nicht sinnvoll. Die Vorteile der hydrobotanischen Betriebsweise haben sich bereits gezeigt.

Es muss festgestellt werden, ob dieses kostengünstigere natürliche Filtermaterial ggf. bei reduziertem Durchfluss oder ohne die möglicherweise nachteilige Pflanzenerde hydraulisch ebenso geeignet ist, wie der Blähton in Filter 1 oder Lava in Filter 2

Muschelfilter: Die nur schwach besiedelten Muschelaufwuchsmatten im Muschelreaktor sollten gegen die bisher in der Spree verbliebenen, mittlerweile sehr stark bewachsenen Matten ausgetauscht werden. Gleichzeitig sollte die Zahl der eingehängten Muschelmatten reduziert werden.

Die Einströmung sollte durch eine bessere Verteilung an der Oberfläche optimiert werden. Anstelle des einen Rohres könnte ein (herausnehmbares) Rohrregister den Zulauf gleichmäßig über der gesamten Oberfläche verteilen. Die Rohre sollten zudem eingetaucht werden, so dass wie im großtechnischen Einsatz kein zusätzliche Sauerstoffanreicherung durch die Verdüsung eintritt.

9.4 Versuchsplanung

Bei der Versuchsplanung ist generell zu berücksichtigen, dass naturnahe Systeme wie bepflanzte biologische Filteranlagen träge reagieren und klimatische Umwelteinflüsse (Vegetationsperiode) eine bedeutende Rolle spielen. Auch ist nicht im Voraus zu bestimmen, wann und wie oft sich Gelegenheit für die Untersuchung von Mischwasserentlastungen ergibt. Darüber hinaus sind die konkreten klimatischen Verhältnisse

(Temperaturen, Niederschläge) in jedem Jahr unterschiedlich, was zu einer veränderlichen Ausgangswasserqualität in der Spree führt. Um auch diese Variationen mit berücksichtigen zu können, ist eine mehrjährige Versuchsdurchführung zwingend erforderlich.

Offen ist, wie sich die Testfilter verhalten, wenn Regenereignisse mit anderem Verlauf eintreten, zum Beispiel mit lange anhaltendem Niederschlag über mehrerer Tage.

Die Beprobung sollte so kurz wie möglich nach Beginn von relevanten Mischwasserabschlagsereignissen erfolgen, wobei das Problem darin bestehen wird, relevante Ereignisse zu erkennen. Dazu können Niederschlagsprognosen dienen. Die Beprobungsdauer von fünf Tagen nach dem Ereignis erscheint angemessen. Das Absinken des Parameters Leitfähigkeit kündigt vermutlich das Eintreffen der Mischwasserwelle an.

Schwerpunkte 2019

Der siebenmonatige Versuchszeitraum für die Sommerperiode läuft von April bis Oktober.

In diesem Zeitraum sollen folgende Schwerpunktuntersuchungen stattfinden:

1. Messung von mindestens drei Regenereignissen
 - a) Messung des zeitlichen Konzentrationsverlaufs in der Spree nach einem Ereignis
 - b) zeitlich abgestimmte Messung des Ablaufs zweier ausgewählter Anlagenstufen
 - c) Generelle Probenahme an allen Filtern
2. Vergleich der Testfilter bei Nenndurchfluss
3. Nachschaltung der UV-Anlage

Stichprobenuntersuchungen im Winter zur Ermittlung der Ganzjahresleistung

Schwerpunkte 2020

In diesem Jahr sollen die Versuchsergebnisse weiter verifiziert und in Abhängigkeit des Versuchsverlaufes einzelne Fragestellungen zur Optimierung nachgegangen werden (Belüftung, Durchsatz, Bepflanzung, Filtertiefe).

Schwerpunkte 2021

Von entscheidender Bedeutung ist die Untersuchung des Kolmationsverhaltens im Langzeitbetrieb. Im dritten Betriebsjahr wird geprüft, inwieweit eine Stoffanreicherung in den Filterporen erfolgt und zu einer hydraulischen Einschränkung führen kann. Es sind erneut Tracerversuche durchzuführen, wie sie zu Beginn in 2017 vorgenommen wurden.

Berichtsverfasser:



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

Berlin, 18.01.2019

10Literatur

AKUT (2017). Betriebsbericht 2017, Berlin

AKUT (2018). Betriebsbericht 2018-1, 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)

Betz, Kilian (2018). Einfahren einer Testfilteranlage zur Flusswasserbehandlung. Bachelorarbeit, Institut für Bauingenieurwesen, FG Siedlungswasserwirtschaft, Berlin

Flussbad Berlin (Hrsg) (2015). Vertiefende Konzeption Flussbad Berlin, www.flussbad-berlin.de

Liederwald, Joel (2017). Simulationsgestützte Optimierung einer Kiesfilteranlage an einem urbanen Gewässer. Masterarbeit, FG Wasserwirtschaft und Hydrosystemmodellierung Fakultät VI der Technischen Universität Berlin

Rustige, H., Nowak, J., Kallähne, A. (2018). Pilot system for in-situ treatment of the river Spree in Berlin. Conference Proceedings, Vol 1 (228 – 231), ICWA 30 September – 4 October, 2018, UPVA, Valencia, Spain

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

11 Anhang:

11.1 Ergebnisse Untersuchung Phytoplanktonorganismen

In Tabelle 36 bis Tabelle 41 sind die bisher gefundenen dominierenden Phytoplanktonorganismen 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 36: Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Spreekanal

Probenahmestelle	Algenklasse	Taxon
Spreekanal	anorganische Partikel	anorganische Partikel 1
Spreekanal	anorganische Partikel	anorganische Partikel 2
Spreekanal	anorganische Partikel	anorganische Partikel 3
Spreekanal	anorganische Partikel	anorganische Partikel 4
Spreekanal	Blualgen	Anabaena flos-aque
Spreekanal	Blualgen	Aphanocapsa sp.
Spreekanal	Blualgen	Microcystis aeruginosa / flos-aque
Spreekanal	Grünalgen	Chlamydomonas sp. 1
Spreekanal	Grünalgen	Scenedesmus spp.
Spreekanal	Grünalgen	Tribonema sp.
Spreekanal	Kieselalgen	Asterionella formosa
Spreekanal	Kieselalgen	Aulacoseira granulata
Spreekanal	Kieselalgen	Fragilaria acus 1
Spreekanal	Kieselalgen	Navicula spp. 3
Spreekanal	Kieselalgen	Nitzschia spp. 4
Spreekanal	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 1
Spreekanal	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 2
Spreekanal	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 4
Spreekanal	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 5
Spreekanal	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 1
Spreekanal	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 2
Spreekanal	Kryptomonaden	Rhodomonas lacustris var. nannoplanctica
Spreekanal	organische Partikel	Detritusflocke 1
Spreekanal	organische Partikel	Detritusflocke 2
Spreekanal	organische Partikel	Detritusflocke 3
Spreekanal	organische Partikel	Detritusflocke 4

Anhang:

Tabelle 37: Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf
Muschelfilter

Probenahmestelle	Algenklasse	Taxon
Muschelfilter Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 1
Muschelfilter Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 2
Muschelfilter Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 3
Muschelfilter Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 4
Muschelfilter Ablauf	Blualgen	Anabaena flos-aque
Muschelfilter Ablauf	Blualgen	Aphanocapsa sp.
Muschelfilter Ablauf	Blualgen	Microcystis aeruginosa / flos-aque
Muschelfilter Ablauf	Grünalgen	Chlamydomonas sp. 1
Muschelfilter Ablauf	Grünalgen	Scenedesmus spp.
Muschelfilter Ablauf	Grünalgen	Tribonema sp.
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Asterionella formosa
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Aulacoseira granulata
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Fragilaria acus 1
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 2
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 3
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 1
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 3
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 4
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 1
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 2
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 4
Muschelfilter Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 5
Muschelfilter Ablauf	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 1
Muschelfilter Ablauf	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 2
Muschelfilter Ablauf	Kryptomonaden	Rhodomonas lacustris var. nannoplanctica
Muschelfilter Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 1
Muschelfilter Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 2
Muschelfilter Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 3
Muschelfilter Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 4

Anhang:

Tabelle 38: Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 1

Probenahmestelle	Algenklasse	Taxon
Filter 1 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 1
Filter 1 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 2
Filter 1 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 3
Filter 1 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 4
Filter 1 Ablauf	Blualgen	Anabaena flos-aque
Filter 1 Ablauf	Blualgen	Aphanocapsa sp.
Filter 1 Ablauf	Blualgen	Microcystis aeruginosa / flos-aque
Filter 1 Ablauf	Grünalgen	Chlamydomonas sp. 1
Filter 1 Ablauf	Grünalgen	Scenedesmus spp.
Filter 1 Ablauf	Grünalgen	Tribonema sp.
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Achnanthydium lanceolatum
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Asterionella formosa
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Aulacoseira granulata
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Fragilaria acus 1
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Fragilaria acus 2
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 1
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 2
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 3
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 4
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 1
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 3
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 4
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Pennale Kieselalgen groß
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 1
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 2
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 4
Filter 1 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 5
Filter 1 Ablauf	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 1
Filter 1 Ablauf	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 2
Filter 1 Ablauf	Kryptomonaden	Rhodomonas lacustris var. nannoplanctica
Filter 1 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 1
Filter 1 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 2
Filter 1 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 3
Filter 1 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 4

Anhang:

Tabelle 39: Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 2

Probenahmestelle	Algenklasse	Taxon
Filter 2 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 1
Filter 2 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 2
Filter 2 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 3
Filter 2 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 4
Filter 2 Ablauf	Blualgen	Anabaena flos-aque
Filter 2 Ablauf	Blualgen	Aphanocapsa sp.
Filter 2 Ablauf	Blualgen	Microcystis aeruginosa / flos-aque
Filter 2 Ablauf	Grünalgen	Chlamydomonas sp. 1
Filter 2 Ablauf	Grünalgen	Scenedesmus spp.
Filter 2 Ablauf	Grünalgen	Tribonema sp.
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Achnanthydium lanceolatum
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Asterionella formosa
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Aulacoseira granulata
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Cocconeis sp.
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Fragilaria acus 1
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Fragilaria acus 2
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 1
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 2
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 3
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 4
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia acicularis
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 1
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 2
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 3
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 4
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Pennale Kieselalgen groß
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Rhoicosphenia curvata 1
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Rhoicosphenia curvata 2
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 1
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 2
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 4
Filter 2 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 5
Filter 2 Ablauf	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 1
Filter 2 Ablauf	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 2
Filter 2 Ablauf	Kryptomonaden	Rhodomonas lacustris var. nannoplanctica
Filter 2 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 1
Filter 2 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 2
Filter 2 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 3
Filter 2 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 4

Anhang:

Tabelle 40: Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Ablauf Filter 3

Probenahmestelle	Algenklasse	Taxon
Filter 3 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 1
Filter 3 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 2
Filter 3 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 3
Filter 3 Ablauf	anorganische Partikel	anorganische Partikel 4
Filter 3 Ablauf	Blualgen	Anabaena flos-aque
Filter 3 Ablauf	Blualgen	Aphanocapsa sp.
Filter 3 Ablauf	Blualgen	Microcystis aeruginosa / flos-aque
Filter 3 Ablauf	Grünalgen	Chlamydomonas sp. 1
Filter 3 Ablauf	Grünalgen	Scenedesmus spp.
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Achnanthydium lanceolatum
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Asterionella formosa
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Aulacoseira granulata
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Cocconeis sp.
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Fragilaria acus 1
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 1
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 2
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 3
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 4
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 1
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 3
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 4
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Pennale Kieselalgen groß
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Rhoicosphenia curvata 1
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 1
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 2
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 4
Filter 3 Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 5
Filter 3 Ablauf	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 1
Filter 3 Ablauf	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 2
Filter 3 Ablauf	Kryptomonaden	Rhodomonas lacustris var. nannoplanctica
Filter 3 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 1
Filter 3 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 2
Filter 3 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 3
Filter 3 Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 4

Tabelle 41: Bisher gefundene dominierende Phytoplanktonorganismen im Frischwasserbehälter

Probenahmestelle	Algenklasse	Taxon
Frischwasser Ablauf	Blualgen	Anabaena flos-aque
Frischwasser Ablauf	Blualgen	Aphanocapsa sp.
Frischwasser Ablauf	Blualgen	Microcystis aeruginosa / flos-aque
Frischwasser Ablauf	Grünalgen	Chlamydomonas sp. 1
Frischwasser Ablauf	Grünalgen	Chlamydomonas sp. 2
Frischwasser Ablauf	Grünalgen	Scenedesmus spp.
Frischwasser Ablauf	Grünalgen	Tribonema sp.
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Achnanthydium lanceolatum
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Aulacoseira granulata
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Fragilaria acus 2
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 2
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Navicula spp. 4
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia acicularis
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 1
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 3
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Nitzschia spp. 4
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Rhoicosphenia curvata 1
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Rhoicosphenia curvata 2
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 1
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 2
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 3
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 4
Frischwasser Ablauf	Kieselalgen	Zentrale Diatomeen 5
Frischwasser Ablauf	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 1
Frischwasser Ablauf	Kryptomonaden	Cryptomonas sp. 2
Frischwasser Ablauf	Kryptomonaden	Rhodomonas lacustris var. nannoplanctica
Frischwasser Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 1
Frischwasser Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 2
Frischwasser Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 3
Frischwasser Ablauf	organische Partikel	Detritusflocke 4
Frischwasser Ablauf	Panzerflagellaten	Gymnodinium lantzschii
Frischwasser Ablauf	Zieralgen	Cosmarium sp.

11.2 Ergebnisse Untersuchung Zooplanktonorganismen

In Tabelle 42 bis Tabelle 51 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 42: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Spreekanal

Probenahmestelle	Name	Art-Name	OTL-Nummer
Spreekanal	Blattfußkrebse	Alona sp.	CLChyAlo000
Spreekanal	Blattfußkrebse	Bosmina longirostris cornuta	CLBosBos020
Spreekanal	Blattfußkrebse	Ceriodaphnia sp.	CLDapCer000
Spreekanal	Blattfußkrebse	Chydorus sphaericus	CLChyChy030
Spreekanal	Blattfußkrebse	Daphnia cucullata	CLDapDap040
Spreekanal	Blattfußkrebse	Daphnia galeata	CLDapDap060
Spreekanal	Blattfußkrebse	Daphnia hyalina	CLDapDap070
Spreekanal	Blattfußkrebse	Daphnia sp.	CLDapDap000
Spreekanal	Blattfußkrebse	Diaphanosoma brachyurum	CLSidDia010
Spreekanal	Blattfußkrebse	Diaphanosoma sp.	CLSidDia000
Spreekanal	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni	CLBosBos010
Spreekanal	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni coregoni	CLBosBos012
Spreekanal	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni thersites	CLBosBos018
Spreekanal	Blattfußkrebse	Eubosmina longicornis	CLBosBos016
Spreekanal	Blattfußkrebse	Eubosmina longicornis berlinensis	CLBosBos011
Spreekanal	Blattfußkrebse	Pleuroxus aduncus	CLChyPle010
Spreekanal	Blattfußkrebse	Pleuroxus denticulatus	CLChyPic010
Spreekanal	Blattfußkrebse	Polyphemus sp.	CLPolPol010
Spreekanal	Ciliaten	Ciliata	SCC00000000
Spreekanal	Ciliaten	Tintinnopsis sp.	SCCOITin20
Spreekanal	Hüpfertinge	Acanthocyclops robustus	COCycAca030
Spreekanal	Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Spreekanal	Hüpfertinge	Cyclops kolensis	COCycCyc040
Spreekanal	Hüpfertinge	Cyclops vicinus	COCycCyc060
Spreekanal	Hüpfertinge	Megacyclops viridis	COCycMeg020
Spreekanal	Hüpfertinge	Mesocyclops sp.	COCycMes010
Spreekanal	Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Spreekanal	Hüpfertinge	Thermocyclops crassus	COCycThe010
Spreekanal	Hüpfertinge	Thermocyclops oithonoides	COCycThe030
Spreekanal	Muscheln	Dreissena sp.	SMBivDre000
Spreekanal	Rädertierchen	Bdelloidea, n. det.	RB000000000
Spreekanal	Rädertierchen	Brachionus angularis	RMBraBra010
Spreekanal	Rädertierchen	Brachionus calyciflorus	RMBraBra040
Spreekanal	Rädertierchen	Cephalodella	RMNotCep000
Spreekanal	Rädertierchen	Keratella cochlearis	RMBraKer010
Spreekanal	Rädertierchen	Keratella cochlearis var. tecta	RMBraKer090
Spreekanal	Rädertierchen	Keratella quadrata quadrata	RMBraKer050
Spreekanal	Rädertierchen	Lecane flexilis	RMLecLec120
Spreekanal	Rädertierchen	Lepadella sp.	RMLepLep000
Spreekanal	Rädertierchen	Polyarthra dolichoptera	RMSynPol010
Spreekanal	Rädertierchen	Polyarthra sp.	RMSynPol000
Spreekanal	Rädertierchen	Polyarthra vulgaris	RMSynPol080
Spreekanal	Rädertierchen	Pompholyx sulcata	RMTesPom020
Spreekanal	Rädertierchen	Synchaeta pectinata	RMSynSyn050
Spreekanal	Rädertierchen	Synchaeta sp.	RMSynSyn000
Spreekanal	Rädertierchen	Trichocerca sp.	RMTriTri000
Spreekanal	Schalenamöben	Arcella hemisphaerica	SPAArcArc00
Spreekanal	Schalenamöben	Centropyxis aculeata	SPAArcCen10
Spreekanal	Schalenamöben	Cyphoderia ampulla	SCCerCyp010
Spreekanal	Schalenamöben	Diffugia bacillifera	SPAArcDif00
Spreekanal	Schalenamöben	Rhizopoda n. det.	SPA00000000
Spreekanal	Schwebekrebse	Copepodide Calanoida	CoCal000C00
Spreekanal	Schwebekrebse	Eudiaptomus gracilis	COCalEud010
Spreekanal	Schwebekrebse	Eudiaptomus graciloides	COCalEud020
Spreekanal	Schwebekrebse	Eurytemora sp.	COCalEur000
Spreekanal	Schwebekrebse	Eurytemora velox	COCalEur030
Spreekanal	Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Spreekanal	Sonstige	Turbellaria n.det.	SMTur000000

Tabelle 43: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Muschelfilter Überstand

Anhang:

Probenahmestelle	Name	Art-Name	OTL-Nummer
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Alona rectangula	CLChyCor010
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Alona sp.	CLChyAlo000
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Bosmina longirostris comuta	CLBosBos020
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Chydorus sphaericus	CLChyChy030
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Daphnia cucullata	CLDapDap040
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Daphnia galeata	CLDapDap060
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Diaphanosoma sp.	CLSidDia000
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni	CLBosBos010
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni thersites	CLBosBos018
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Pleuroxus denticulatus	CLChyPic010
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Pleuroxus laevis	CLChyPle000
Muschelfilter Überstand	Blattfußkrebse	Simocephalus sp.	CLDapSim000
Muschelfilter Überstand	Ciliaten	Ciliata	SCC00000000
Muschelfilter Überstand	Ciliaten	Tintinnopsis sp.	SCCOITin20
Muschelfilter Überstand	Hüpfertinge	Acanthocyclops robustus	COCycAca030
Muschelfilter Überstand	Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Muschelfilter Überstand	Hüpfertinge	Cyclops kolensis	COCycCyc040
Muschelfilter Überstand	Hüpfertinge	Cyclops vicinus	COCycCyc060
Muschelfilter Überstand	Hüpfertinge	Mesocyclops sp.	COCycMes010
Muschelfilter Überstand	Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Muschelfilter Überstand	Hüpfertinge	Thermocyclops crassus	COCycThe010
Muschelfilter Überstand	Hüpfertinge	Thermocyclops oithonoides	COCycThe030
Muschelfilter Überstand	Muscheln	Dreissena sp.	SMBivDre000
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Bdelloidea, n. det.	RB000000000
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Brachionus angularis	RMBraBra010
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Brachionus calyciflorus	RMBraBra040
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Cephalodella	RMNotCep000
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Colurella sp.	RMLepCol000
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Keratella cochlearis	RMBraKer010
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Keratella cochlearis var. tecta	RMBraKer090
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Keratella quadrata quadrata	RMBraKer050
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Lecane flexilis	RMLecLec120
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Lecane sp.	RMLecLec000
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Lepadella sp.	RMLepLep000
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Polyarthra dolichoptera	RMSynPol010
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Polyarthra sp.	RMSynPol000
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Pompholyx sulcata	RMTesPom020
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Synchaeta sp.	RMSynSyn000
Muschelfilter Überstand	Rädertierchen	Trichocerca sp.	RMTriTri000
Muschelfilter Überstand	Raupenhüpfertling	Harpacticoida n.det.	COHar000000
Muschelfilter Überstand	Raupenhüpfertling	Nauplien Harpacticoida	COHar000N00
Muschelfilter Überstand	Schalenamöben	Arcella hemisphaerica	SPAARcArc00
Muschelfilter Überstand	Schalenamöben	Centropyxis aculeata	SPAARcCen10
Muschelfilter Überstand	Schalenamöben	Diffugia bacillifera	SPAARcDif00
Muschelfilter Überstand	Schalenamöben	Euglypha sp.	SCCerEug000
Muschelfilter Überstand	Schalenamöben	Rhizopoda n. det.	SPA00000000
Muschelfilter Überstand	Schwebekrebse	Copepodide Calanoida	CoCal000C00
Muschelfilter Überstand	Schwebekrebse	Eudiaptomus gracilis	COCalEud010
Muschelfilter Überstand	Schwebekrebse	Eudiaptomus graciloides	COCalEud020
Muschelfilter Überstand	Schwebekrebse	Eurytemora sp.	COCalEur000
Muschelfilter Überstand	Schwebekrebse	Eurytemora velox	COCalEur030
Muschelfilter Überstand	Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Muschelfilter Überstand	Sonstige	Gastrotricha sp.	SMGas000000
Muschelfilter Überstand	Sonstige	Turbellaria n.det.	SMTur000000

Anhang:

Tabelle 44: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Muschelfilter Ablauf

Probenahmestelle	Name	Art-Name	OTL-Nummer
Muschelfilter Ablauf	Blattfußkrebse	<i>Alona quadrangularis</i>	CLChyAlo050
Muschelfilter Ablauf	Blattfußkrebse	<i>Alona rectangula</i>	CLChyCor010
Muschelfilter Ablauf	Blattfußkrebse	<i>Chydorus sphaericus</i>	CLChyChy030
Muschelfilter Ablauf	Blattfußkrebse	<i>Daphnia cucullata</i>	CLDapDap040
Muschelfilter Ablauf	Blattfußkrebse	<i>Eubosmina coregoni</i>	CLBosBos010
Muschelfilter Ablauf	Blattfußkrebse	<i>Eubosmina coregoni coregoni</i>	CLBosBos012
Muschelfilter Ablauf	Blattfußkrebse	<i>Pleuroxus denticulatus</i>	CLChyPic010
Muschelfilter Ablauf	Blattfußkrebse	<i>Polyphemus</i> sp.	CLPolPol010
Muschelfilter Ablauf	Ciliaten	Ciliata	SCC00000000
Muschelfilter Ablauf	Ciliaten	<i>Tintinnopsis</i> sp.	SCCOliTin20
Muschelfilter Ablauf	Hüpfertinge	<i>Acanthocyclops robustus</i>	COCycAca030
Muschelfilter Ablauf	Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Muschelfilter Ablauf	Hüpfertinge	<i>Mesocyclops</i> sp.	COCycMes010
Muschelfilter Ablauf	Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Muschelfilter Ablauf	Hüpfertinge	<i>Thermocyclops crassus</i>	COCycThe010
Muschelfilter Ablauf	Hüpfertinge	<i>Thermocyclops oithonoides</i>	COCycThe030
Muschelfilter Ablauf	Muscheln	<i>Dreissena</i> sp.	SMBivDre000
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Bdelloidea</i> , n. det.	RB000000000
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Brachionus angularis</i>	RMBraBra010
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Cephalodella</i>	RMNotCep000
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Colurella</i> sp.	RMLepCol000
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Keratella cochlearis</i>	RMBraKer010
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Keratella cochlearis</i> var. <i>tecta</i>	RMBraKer090
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Keratella quadrata quadrata</i>	RMBraKer050
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Lecane cornuta</i>	RMLecLec030
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Lecane</i> sp.	RMLecLec000
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Lepadella</i> sp.	RMLepLep000
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Mytilina</i> sp.	RMMytMyt000
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Polyarthra dolichoptera</i>	RMSynPol010
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Polyarthra major</i>	RMSynPol050
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Polyarthra</i> sp.	RMSynPol000
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Polyarthra vulgaris</i>	RMSynPol080
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Pompholyx</i> sp.	RMTesPom000
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Pompholyx sulcata</i>	RMTesPom020
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Synchaeta</i> sp.	RMSynSyn000
Muschelfilter Ablauf	Rädertierchen	<i>Trichocerca</i> sp.	RMTriTri000
Muschelfilter Ablauf	Raupenhüpferting	Harpacticoida n.det.	COHar000000
Muschelfilter Ablauf	Raupenhüpferting	Nauplien Harpacticoida	COHar000N00
Muschelfilter Ablauf	Schalenamöben	<i>Arcella hemisphaerica</i>	SPAARcArc00
Muschelfilter Ablauf	Schalenamöben	<i>Centropyxis aculeata</i>	SPAARcCen10
Muschelfilter Ablauf	Schalenamöben	<i>Cyphoderia ampulla</i>	SCCerCyp010
Muschelfilter Ablauf	Schalenamöben	<i>Diffugia bacilifera</i>	SPAARcDif00
Muschelfilter Ablauf	Schalenamöben	<i>Euglypha</i> sp.	SCCerEug000
Muschelfilter Ablauf	Schalenamöben	Rhizopoda n. det.	SPA00000000
Muschelfilter Ablauf	Schwebekrebse	Copepodide Calanoida	CoCal000C00
Muschelfilter Ablauf	Schwebekrebse	<i>Eurytemora</i> sp.	COCalEur000
Muschelfilter Ablauf	Schwebekrebse	<i>Eurytemora velox</i>	COCalEur030
Muschelfilter Ablauf	Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Muschelfilter Ablauf	Sonstige	<i>Gastrotricha</i> sp.	SMGas000000
Muschelfilter Ablauf	Sonstige	<i>Turbellaria</i> n.det.	SMTur000000

Tabelle 45: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 1 Überstand

Probenahmestelle	Name	Art-Name	OTL-Nummer
Filter 1 Überstand	Blattfußkrebse	<i>Alona rectangula</i>	CLChyCor010
Filter 1 Überstand	Blattfußkrebse	<i>Bosmina longirostris comuta</i>	CLBosBos020
Filter 1 Überstand	Blattfußkrebse	<i>Chydorus sphaericus</i>	CLChyChy030
Filter 1 Überstand	Blattfußkrebse	<i>Daphnia cucullata</i>	CLDapDap040
Filter 1 Überstand	Blattfußkrebse	<i>Daphnia</i> sp.	CLDapDap000
Filter 1 Überstand	Blattfußkrebse	<i>Diaphanosoma</i> sp.	CLSidDia000
Filter 1 Überstand	Blattfußkrebse	<i>Pleuroxus denticulatus</i>	CLChyPic010
Filter 1 Überstand	Blattfußkrebse	<i>Polyphemus</i> sp.	CLPoIPoI010
Filter 1 Überstand	Ciliaten	Ciliata	SCC00000000
Filter 1 Überstand	Ciliaten	<i>Tintinnopsis</i> sp.	SCCOliTin20
Filter 1 Überstand	Hüpfertinge	<i>Acanthocyclops robustus</i>	COCycAca030
Filter 1 Überstand	Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Filter 1 Überstand	Hüpfertinge	<i>Cyclops kolensis</i>	COCycCyc040
Filter 1 Überstand	Hüpfertinge	<i>Diacyclops bicuspidatus</i>	COCycDia010
Filter 1 Überstand	Hüpfertinge	<i>Mesocyclops</i> sp.	COCycMes010
Filter 1 Überstand	Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Filter 1 Überstand	Hüpfertinge	<i>Thermocyclops crassus</i>	COCycThe010
Filter 1 Überstand	Hüpfertinge	<i>Thermocyclops oithonoides</i>	COCycThe030
Filter 1 Überstand	Muscheln	<i>Dreissena</i> sp.	SMBivDre000
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Bdelloidea</i> , n. det.	RB000000000
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Brachionus angularis</i>	RMBraBra010
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Brachionus calyciflorus</i>	RMBraBra040
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Cephalodella</i>	RMNotCep000
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Colurella</i> sp.	RMLepCol000
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Keratella cochlearis</i>	RMBraKer010
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Keratella cochlearis</i> var. <i>tecta</i>	RMBraKer090
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Keratella quadrata quadrata</i>	RMBraKer050
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Lecane comuta</i>	RMLecLec030
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Lecane flexilis</i>	RMLecLec120
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Lecane</i> sp.	RMLecLec000
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Lepadella</i> sp.	RMLepLep000
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Mytilina</i> sp.	RMMytMyt000
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Polyarthra</i> sp.	RMSynPol000
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Pompholyx sulcata</i>	RMTesPom020
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Synchaeta</i> sp.	RMSynSyn000
Filter 1 Überstand	Rädertierchen	<i>Trichocerca</i> sp.	RMTriTri000
Filter 1 Überstand	Raupenhüpferting	<i>Harpacticoida</i> n.det.	COHar000000
Filter 1 Überstand	Schalenamöben	<i>Arcella hemisphaerica</i>	SPAArcArc00
Filter 1 Überstand	Schalenamöben	<i>Centropyxis aculeata</i>	SPAArcCen10
Filter 1 Überstand	Schalenamöben	<i>Cyphoderia ampulla</i>	SCCerCyp010
Filter 1 Überstand	Schalenamöben	<i>Diffugia bacilifera</i>	SPAArcDif00
Filter 1 Überstand	Schalenamöben	<i>Rhizopoda</i> n. det.	SPA00000000
Filter 1 Überstand	Schwebekrebse	Copepodide Calanoida	CoCal000C00
Filter 1 Überstand	Schwebekrebse	<i>Eudiaptomus gracilis</i>	COCalEud010
Filter 1 Überstand	Schwebekrebse	<i>Eudiaptomus graciloides</i>	COCalEud020
Filter 1 Überstand	Schwebekrebse	<i>Eurytemora velox</i>	COCalEur030
Filter 1 Überstand	Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Filter 1 Überstand	Sonstige	<i>Turbellaria</i> n.det.	SMTur000000

Tabelle 46: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 1 Ablauf

Probenahmestelle	Name	Art-Name	OTL-Nummer
Filter 1 Ablauf	Blattfußkrebse	Acroperus harpae	CLChyAcr040
Filter 1 Ablauf	Blattfußkrebse	Alona sp.	CLChyAlo000
Filter 1 Ablauf	Blattfußkrebse	Chydorus sphaericus	CLChyChy030
Filter 1 Ablauf	Blattfußkrebse	Diaphanosoma sp.	CLSidDia000
Filter 1 Ablauf	Blattfußkrebse	Pleuroxus denticulatus	CLChyPic010
Filter 1 Ablauf	Ciliaten	Ciliata	SCC00000000
Filter 1 Ablauf	Ciliaten	Tintinnopsis sp.	SCCOliTin20
Filter 1 Ablauf	Hüpfertinge	Acanthocyclops robustus	COCycAca030
Filter 1 Ablauf	Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Filter 1 Ablauf	Hüpfertinge	Cyclops kolensis	COCycCyc040
Filter 1 Ablauf	Hüpfertinge	Mesocyclops sp.	COCycMes010
Filter 1 Ablauf	Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Filter 1 Ablauf	Hüpfertinge	Thermocyclops crassus	COCycThe010
Filter 1 Ablauf	Hüpfertinge	Thermocyclops oithonoides	COCycThe030
Filter 1 Ablauf	Muscheln	Dreissena sp.	SMBivDre000
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Bdelloidea, n. det.	RB000000000
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Cephalodella	RMNotCep000
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Colurella sp.	RMLepCol000
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Euchlanis sp.	RMEucEuc000
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Kellicottia longispina	RMBraKel010
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Keratella cochlearis	RMBraKer010
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Keratella cochlearis var. tecta	RMBraKer090
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Keratella quadrata quadrata	RMBraKer050
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Lecane comuta	RMLecLec030
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Lecane sp.	RMLecLec000
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Lepadella sp.	RMLepLep000
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Mytilina sp.	RMMytMyt000
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Polyarthra dolichoptera	RMSynPol010
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Polyarthra sp.	RMSynPol000
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Pompholyx sulcata	RMTesPom020
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Synchaeta sp.	RMSynSyn000
Filter 1 Ablauf	Rädertierchen	Trichocerca sp.	RMTriTri000
Filter 1 Ablauf	Raupenhüpfertling	Harpacticoida n.det.	COHar000000
Filter 1 Ablauf	Raupenhüpfertling	Nauplien Harpacticoida	COHar000N00
Filter 1 Ablauf	Schalenamöben	Arcella hemisphaerica	SPAArcArc00
Filter 1 Ablauf	Schalenamöben	Centropyxis aculeata	SPAArcCen10
Filter 1 Ablauf	Schalenamöben	Diffugia bacilifera	SPAArcDif00
Filter 1 Ablauf	Schwebekrebse	Copepodide Calanoida	CoCal000C00
Filter 1 Ablauf	Schwebekrebse	Eudiaptomus graciloides	COCalEud020
Filter 1 Ablauf	Schwebekrebse	Eurytemora velox	COCalEur030
Filter 1 Ablauf	Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Filter 1 Ablauf	Sonstige	Gastrotricha sp.	SMGas000000
Filter 1 Ablauf	Sonstige	Turbellaria n.det.	SMTur000000

Tabelle 47: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 2 Überstand

Probenahmestelle	Name	Art-Name	OTL-Nummer
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Acroperus harpae	CLChyAcr040
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Alona quadrangularis	CLChyAlo050
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Alona sp.	CLChyAlo000
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Bosmina longirostris comuta	CLBosBos020
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Ceriodaphnia sp.	CLDapCer000
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Chydorus sphaericus	CLChyChy030
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Daphnia cucullata	CLDapDap040
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Daphnia galeata	CLDapDap060
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Daphnia sp.	CLDapDap000
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Diaphanosoma sp.	CLSidDia000
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni	CLBosBos010
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni coregoni	CLBosBos012
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni gibbera	CLBosBos014
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni thersites	CLBosBos018
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Eubosmina longicornis	CLBosBos016
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Eubosmina longicornis berolinensis	CLBosBos011
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Eurycercus lamellatus	CLChyEur020
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Pleuroxus aduncus	CLChyPle010
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Pleuroxus denticulatus	CLChyPic010
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Pleuroxus laevis	CLChyPle000
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Polyphemus sp.	CLPolPol010
Filter 2 Überstand	Blattfußkrebse	Simocephalus sp.	CLDapSim000
Filter 2 Überstand	Ciliaten	Ciliata	SCC00000000
Filter 2 Überstand	Hüpfertinge	Acanthocyclops robustus	COCycAca030
Filter 2 Überstand	Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Filter 2 Überstand	Hüpfertinge	Cyclops vicinus	COCycCyc060
Filter 2 Überstand	Hüpfertinge	Macrocyclus albidus	COCycMac010
Filter 2 Überstand	Hüpfertinge	Megacyclops viridis	COCycMeg020
Filter 2 Überstand	Hüpfertinge	Mesocyclops sp.	COCycMes010
Filter 2 Überstand	Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Filter 2 Überstand	Hüpfertinge	Thermocyclops crassus	COCycThe010
Filter 2 Überstand	Hüpfertinge	Thermocyclops oithonoides	COCycThe030
Filter 2 Überstand	Muscheln	Dreissena sp.	SMBivDre000
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Bdelloidea, n. det.	RB000000000
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Brachionus	RMBraBra000
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Brachionus angularis	RMBraBra010
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Cephalodella	RMNotCep000
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Keratella cochlearis	RMBraKer010
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Keratella cochlearis var. tecta	RMBraKer090
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Keratella quadrata quadrata	RMBraKer050
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Lecane cornuta	RMLecLec030
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Lecane flexilis	RMLecLec120
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Lecane sp.	RMLecLec000
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Lepadella sp.	RMLepLep000
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Mytilina sp.	RMMytMyt000
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Polyarthra dolichoptera	RMSynPol010
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Polyarthra major	RMSynPol050
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Polyarthra remata	RMSynPol070
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Polyarthra sp.	RMSynPol000
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Polyarthra vulgaris	RMSynPol080
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Pompholyx sulcata	RMTesPom020
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Synchaeta pectinata	RMSynSyn050
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Synchaeta sp.	RMSynSyn000
Filter 2 Überstand	Rädertierchen	Trichocerca sp.	RMTriTri000
Filter 2 Überstand	Raupenhüpfertling	Harpacticoida n. det.	COHar000000
Filter 2 Überstand	Raupenhüpfertling	Nauplien Harpacticoida	COHar000N00
Filter 2 Überstand	Schalenamöben	Arcella discoidea	SPAARcArc10
Filter 2 Überstand	Schalenamöben	Arcella hemisphaerica	SPAARcArc00
Filter 2 Überstand	Schalenamöben	Centropixys aculeata	SPAARcCen10
Filter 2 Überstand	Schalenamöben	Diffugia bacillifera	SPAARcDif00
Filter 2 Überstand	Schalenamöben	Rhizopoda n. det.	SPA00000000
Filter 2 Überstand	Schwebekrebse	Copepodide Calanoida	CoCal000C00
Filter 2 Überstand	Schwebekrebse	Eudiaptomus gracilis	COCalEud010
Filter 2 Überstand	Schwebekrebse	Eudiaptomus graciloides	COCalEud020
Filter 2 Überstand	Schwebekrebse	Eurytemora velox	COCalEur030
Filter 2 Überstand	Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Filter 2 Überstand	Sonstige	Turbellaria n. det.	SMTur000000

Tabelle 48: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 2 Ablauf

Probenahmestelle	Name	Art-Name	OTL-Nummer
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Alona sp.	CLChyAlo000
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Bosmina longirostris comuta	CLBosBos020
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Chydorus sphaericus	CLChyChy030
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Daphnia cucullata	CLDapDap040
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Daphnia galeata	CLDapDap060
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Daphnia sp.	CLDapDap000
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Diaphanosoma sp.	CLSidDia000
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni	CLBosBos010
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni coregoni	CLBosBos012
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Eubosmina longicornis	CLBosBos016
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Eubosmina longicornis berlinensis	CLBosBos011
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Pleuroxus aduncus	CLChyPle010
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Pleuroxus denticulatus	CLChyPic010
Filter 2 Ablauf	Blattfußkrebse	Simocephalus sp.	CLDapSim000
Filter 2 Ablauf	Ciliaten	Ciliata	SCC00000000
Filter 2 Ablauf	Hüpfertinge	Acanthocyclops robustus	COCycAca030
Filter 2 Ablauf	Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Filter 2 Ablauf	Hüpfertinge	Cyclops kolensis	COCycCyc040
Filter 2 Ablauf	Hüpfertinge	Mesocyclops sp.	COCycMes010
Filter 2 Ablauf	Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Filter 2 Ablauf	Hüpfertinge	Thermocyclops crassus	COCycThe010
Filter 2 Ablauf	Hüpfertinge	Thermocyclops oithonoides	COCycThe030
Filter 2 Ablauf	Muscheln	Dreissena sp.	SMBivDre000
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Bdelloidea, n. det.	RB000000000
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Brachionus angularis	RMBraBra010
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Brachionus calyciflorus	RMBraBra040
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Cephalodella	RMNotCep000
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Colurella sp.	RMLepCol000
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Keratella cochlearis	RMBraKer010
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Keratella cochlearis var. tecta	RMBraKer090
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Keratella quadrata quadrata	RMBraKer050
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Lecane comuta	RMLecLec030
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Lecane flexilis	RMLecLec120
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Lecane sp.	RMLecLec000
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Lepadella sp.	RMLepLep000
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Mytilina sp.	RMMytMyt000
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Polyarthra dolichoptera	RMSynPol010
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Polyarthra major	RMSynPol050
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Polyarthra sp.	RMSynPol000
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Polyarthra vulgaris	RMSynPol080
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Pompholyx sp.	RMTesPom000
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Pompholyx sulcata	RMTesPom020
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Synchaeta pectinata	RMSynSyn050
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Synchaeta sp.	RMSynSyn000
Filter 2 Ablauf	Rädertierchen	Trichocerca sp.	RMTriTri000
Filter 2 Ablauf	Raupenhüpfertling	Harpacticoida n.det.	COHar000000
Filter 2 Ablauf	Raupenhüpfertling	Nauplien Harpacticoida	COHar000N00
Filter 2 Ablauf	Schalenamöben	Arcella discoides	SPAArcArc10
Filter 2 Ablauf	Schalenamöben	Arcella hemisphaerica	SPAArcArc00
Filter 2 Ablauf	Schalenamöben	Centropyxis aculeata	SPAArcCen10
Filter 2 Ablauf	Schalenamöben	Diffugia bacillifera	SPAArcDif00
Filter 2 Ablauf	Schalenamöben	Euglypha sp.	SCCerEug000
Filter 2 Ablauf	Schalenamöben	Rhizopoda n. det.	SPA00000000
Filter 2 Ablauf	Schwebekrebse	Copepodide Calanoida	CoCal000C00
Filter 2 Ablauf	Schwebekrebse	Eurytemora velox	COCalEur030
Filter 2 Ablauf	Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Filter 2 Ablauf	Sonstige	Gastrotricha sp.	SMGas000000
Filter 2 Ablauf	Sonstige	Turbellaria n.det.	SMTur000000

Tabelle 49: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 3 Überstand

Probenahmestelle	Name	Art-Name	OTL-Nummer
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Acroperus	CLChyAcr000
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Alona guttata	CLChyAlo030
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Alona sp.	CLChyAlo000
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Bosmina longirostris comuta	CLBosBos020
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Ceriodaphnia sp.	CLDapCer000
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Chydorus sphaericus	CLChyChy030
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Daphnia cucullata	CLDapDap040
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Daphnia sp.	CLDapDap000
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni	CLBosBos010
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Eubosmina longicornis berlinensis	CLBosBos011
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Pleuroxus aduncus	CLChyPle010
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Pleuroxus denticulatus	CLChyPic010
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Pleuroxus laevis	CLChyPle000
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Polyphemus sp.	CLPolPol010
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Simocephalus sp.	CLDapSim000
Filter 3 Überstand	Blattfußkrebse	Simocephalus vetulus	CLDapSim030
Filter 3 Überstand	Ciliaten	Ciliata	SCC00000000
Filter 3 Überstand	Hüpfertinge	Acanthocyclops robustus	COCycAca030
Filter 3 Überstand	Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Filter 3 Überstand	Hüpfertinge	Cyclops kolensis	COCycCyc040
Filter 3 Überstand	Hüpfertinge	Cyclops sp.	COCycCyc000
Filter 3 Überstand	Hüpfertinge	Cyclops vicinus	COCycCyc060
Filter 3 Überstand	Hüpfertinge	Megacyclops viridis	COCycMeg020
Filter 3 Überstand	Hüpfertinge	Mesocyclops sp.	COCycMes010
Filter 3 Überstand	Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Filter 3 Überstand	Hüpfertinge	Thermocyclops crassus	COCycThe010
Filter 3 Überstand	Hüpfertinge	Thermocyclops oithonoides	COCycThe030
Filter 3 Überstand	Muscheln	Dreissena sp.	SMBivDre000
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Bdelloidea, n. det.	RB000000000
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Brachionus calyciflorus	RMBraBra040
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Cephalodella	RMNotCep000
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Colurella sp.	RMLepCol000
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Keratella cochlearis	RMBraKer010
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Keratella cochlearis var. tecta	RMBraKer090
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Keratella quadrata quadrata	RMBraKer050
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Lecane comuta	RMLecLec030
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Lecane sp.	RMLecLec000
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Lepadella sp.	RMLepLep000
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Mytilina sp.	RMMytMyt000
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Polyarthra sp.	RMSynPol000
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Pompholyx sulcata	RMTesPom020
Filter 3 Überstand	Rädertierchen	Synchaeta sp.	RMSynSyn000
Filter 3 Überstand	Raupenhüpfertling	Harpacticoida n.det.	COHar000000
Filter 3 Überstand	Raupenhüpfertling	Nauplien Harpacticoida	COHar000N00
Filter 3 Überstand	Schalenamöben	Arcella discoides	SPAArcArc10
Filter 3 Überstand	Schalenamöben	Arcella hemisphaerica	SPAArcArc00
Filter 3 Überstand	Schalenamöben	Centropyxis aculeata	SPAArcCen10
Filter 3 Überstand	Schalenamöben	Diffugia bacilifera	SPAArcDif00
Filter 3 Überstand	Schalenamöben	Euglypha sp.	SCCerEug000
Filter 3 Überstand	Schalenamöben	Rhizopoda n. det.	SPA000000000
Filter 3 Überstand	Schwebekrebse	Copepodide Calanoida	CoCal000C00
Filter 3 Überstand	Schwebekrebse	Eudiaptomus gracilis	COCalEud010
Filter 3 Überstand	Schwebekrebse	Eudiaptomus graciloides	COCalEud020
Filter 3 Überstand	Schwebekrebse	Eudiaptomus sp.	COCalEud000
Filter 3 Überstand	Schwebekrebse	Eurytemora sp.	COCalEur000
Filter 3 Überstand	Schwebekrebse	Eurytemora velox	COCalEur030
Filter 3 Überstand	Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Filter 3 Überstand	Sonstige	Turbellaria n.det.	SMTur000000

Tabelle 50: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Filter 3 Ablauf

Probenahmestelle	Name	Art-Name	OTL-Nummer
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Acroperus	CLChyAcr000
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Alona guttata	CLChyAlo030
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Alona sp.	CLChyAlo000
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Bosmina longirostris cornuta	CLBosBos020
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Ceriodaphnia sp.	CLDapCer000
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Chydorus sphaericus	CLChyChy030
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Daphnia cucullata	CLDapDap040
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Daphnia galeata	CLDapDap060
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Daphnia sp.	CLDapDap000
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Eubosmina coregoni	CLBosBos010
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Pleuroxus denticulatus	CLChyPic010
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Pleuroxus laevis	CLChyPle000
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Scapholeberis mucronata	CLDapSca010
Filter 3 Ablauf	Blattfußkrebse	Simocephalus sp.	CLDapSim000
Filter 3 Ablauf	Ciliaten	Ciliata	SCC00000000
Filter 3 Ablauf	Hüpfertinge	Acanthocyclops robustus	COCycAca030
Filter 3 Ablauf	Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Filter 3 Ablauf	Hüpfertinge	Cyclops kolensis	COCycCyc040
Filter 3 Ablauf	Hüpfertinge	Cyclops vicinus	COCycCyc060
Filter 3 Ablauf	Hüpfertinge	Megacyclops viridis	COCycMeg020
Filter 3 Ablauf	Hüpfertinge	Mesocyclops sp.	COCycMes010
Filter 3 Ablauf	Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Filter 3 Ablauf	Hüpfertinge	Thermocyclops crassus	COCycThe010
Filter 3 Ablauf	Hüpfertinge	Thermocyclops oithonoides	COCycThe030
Filter 3 Ablauf	Muscheln	Dreissena sp.	SMBivDre000
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Bdelloidea, n. det.	RB000000000
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Brachionus angularis	RMBraBra010
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Brachionus calyciflorus	RMBraBra040
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Keratella cochlearis	RMBraKer010
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Keratella cochlearis var. tecta	RMBraKer090
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Keratella quadrata quadrata	RMBraKer050
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Lecane cornuta	RMLecLec030
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Lecane sp.	RMLecLec000
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Lepadella sp.	RMLepLep000
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Mytilina sp.	RMMytMyt000
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Polyarthra remata	RMSynPol070
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Polyarthra sp.	RMSynPol000
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Pompholyx sulcata	RMTesPom020
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Synchaeta sp.	RMSynSyn000
Filter 3 Ablauf	Rädertierchen	Trichocerca similis	RMTriTri150
Filter 3 Ablauf	Raupenhüpfertling	Harpacticoida n.det.	COHar000000
Filter 3 Ablauf	Schalenamöben	Arcella discoides	SPAArcArc10
Filter 3 Ablauf	Schalenamöben	Arcella hemisphaerica	SPAArcArc00
Filter 3 Ablauf	Schalenamöben	Centropyxis aculeata	SPAArcCen10
Filter 3 Ablauf	Schwebekrebse	Copepodide Calanoida	CoCal000C00
Filter 3 Ablauf	Schwebekrebse	Eudiaptomus gracilis	COCalEud010
Filter 3 Ablauf	Schwebekrebse	Eudiaptomus graciloides	COCalEud020
Filter 3 Ablauf	Schwebekrebse	Eurytemora velox	COCalEur030
Filter 3 Ablauf	Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Filter 3 Ablauf	Sonstige	Turbellaria n.det.	SMTur000000

Tabelle 51: Bisher gefundene dominierende Zooplankter im Frischwasserbehälter

Probenahmestelle	Name	Art-Name	OTL-Nummer
Frischwasser	Blattfußkrebse	Acroperus harpae	CLChyAcr040
Frischwasser	Blattfußkrebse	Alona guttata	CLChyAlo030
Frischwasser	Blattfußkrebse	Alona quadrangularis	CLChyAlo050
Frischwasser	Blattfußkrebse	Bosmina longirostris cornuta	CLBosBos020
Frischwasser	Blattfußkrebse	Chydorus sphaericus	CLChyChy030
Frischwasser	Blattfußkrebse	Daphnia sp.	CLDapDap000
Frischwasser	Blattfußkrebse	Eurycerus lamellatus	CLChyEur020
Frischwasser	Blattfußkrebse	Pleuroxus denticulatus	CLChyPic010
Frischwasser	Blattfußkrebse	Polyphemus sp.	CLPolPol010
Frischwasser	Blattfußkrebse	Simocephalus sp.	CLDapSim000
Frischwasser	Ciliaten	Ciliata	SCC00000000
Frischwasser	Hüpfertinge	Acanthocyclops robustus	COCycAca030
Frischwasser	Hüpfertinge	Copepodide Cyclopoida	COCyc000C00
Frischwasser	Hüpfertinge	Macrocyclus sp.	COCycMac000
Frischwasser	Hüpfertinge	Mesocyclops sp.	COCycMes010
Frischwasser	Hüpfertinge	Nauplien Cyclopoida	COCyc000N00
Frischwasser	Hüpfertinge	Thermocyclops oithonoides	COCycThe030
Frischwasser	Muscheln	Dreissena sp.	SMBivDre000
Frischwasser	Rädertierchen	Bdelloidea, n. det.	RB000000000
Frischwasser	Rädertierchen	Cephalodella	RMNotCep000
Frischwasser	Rädertierchen	Colurella sp.	RMLepCol000
Frischwasser	Rädertierchen	Keratella cochlearis	RMBraKer010
Frischwasser	Rädertierchen	Keratella cochlearis var. tecta	RMBraKer090
Frischwasser	Rädertierchen	Keratella quadrata quadrata	RMBraKer050
Frischwasser	Rädertierchen	Lecane cornuta	RMLecLec030
Frischwasser	Rädertierchen	Lecane sp.	RMLecLec000
Frischwasser	Rädertierchen	Lepadella sp.	RMLepLep000
Frischwasser	Rädertierchen	Mytilina sp.	RMMytMyt000
Frischwasser	Rädertierchen	Notholca sp.	RMBraNot000
Frischwasser	Rädertierchen	Polyarthra sp.	RMSynPol000
Frischwasser	Rädertierchen	Pompholyx sulcata	RMTesPom020
Frischwasser	Rädertierchen	Synchaeta sp.	RMSynSyn000
Frischwasser	Rädertierchen	Trichocerca sp.	RMTriTri000
Frischwasser	Rädertierchen	Trichocerca stylata	RMTriTri160
Frischwasser	Raupenhüpfertling	Nauplien Harpacticoida	COHar000N00
Frischwasser	Schalenamöben	Arcella discoides	SPAArcArc10
Frischwasser	Schalenamöben	Arcella hemisphaerica	SPAArcArc00
Frischwasser	Schalenamöben	Centropyxis aculeata	SPAArcCen10
Frischwasser	Schalenamöben	Diffugia bacilifera	SPAArcDif00
Frischwasser	Schalenamöben	Rhizopoda n. det.	SPA00000000
Frischwasser	Schwebekrebse	Eurytemora velox	COCalEur030
Frischwasser	Schwebekrebse	Nauplien Calanoida	CoCal000N00
Frischwasser	Sonstige	Turbellaria n.det.	SMTur000000

11.3 Ergebnisse der Muschelzählungen

In Tabelle 52 bis Tabelle 55 sind die Ergebnisse der bisher erfolgten Muschelzählungen dargestellt.

Tabelle 52: Ergebnisse der Muschelzählung am 19.12.2016

Entnahme Teilstücke des Trägermaterials: 19.12.2016
Anzahl Jungmuscheln Dreissena sp.

	Rahmen 1	Rahmen 3	Rahmen 5	Rahmen 7
Länge Maschengeflecht cm	16	7	19	23
Körperlänge Jungmuscheln				
1 - 1,5 mm	13	3	6	3
2 - 2,5 mm	7	2	6	10
3 - 3,5 mm	8		5	3
4 - 4,5 mm	9	2	1	6
5 - 5,5 mm	5	1		2
6 - 6,5 mm	2			
7 - 7,7 mm				1
Summe	44	8	18	25
Jungmuscheln/10 cm Geflecht	28	11	9	11

Fazit: Maschengeflecht unterschiedlich dicht besiedelt
Länge Maschengeflecht gesamt (cm): 65
Anzahl Jungmuscheln gesamt: 95
Mittelwert Jungmuscheln/ 10 cm Maschengefl: 15

Tabelle 53: Ergebnisse der Muschelzählung am 08.09.2017

Entnahme Teilstücke des Trägermaterials: 8.09.2017
Anzahl Muscheln Dreissena bugensis und D. polymorpha

	Rahmen Uferseite			Rahmen Uferseite			Rahmen Kanalseite			Rahmen Kanalseite		
	Tiefe 0,45 m			Tiefe 1,2 m			Tiefe 0,45 m			Tiefe 1,2 m		
	Dreissena bugensis	Dreissena polymorpha	Summe									
Länge Maschengeflecht cm	36 cm											
Körperlänge Muscheln												
1 - 1,5 mm		1	1			0	1		1	2		2
2 - 2,5 mm	1	1	2		1	1		4	4		2	2
3 - 3,5 mm		3	3	1	1	2	1	4	5			0
4 - 4,5 mm	1	1	2			0		11	11		1	1
5 - 5,5 mm			0			0	5	4	9		5	5
6 - 6,5 mm	2	3	5			0	1	8	9	1	1	2
7 - 7,5 mm	2	3	5	1		1	4		4	2		2
8 - 8,5 mm	1	2	3			0	4	1	5		1	1
9 - 9,5 mm	3		3	1		1	1		1			0
10 - 10,5 mm	6		6	1		1	5		5			0
11 - 11,5 mm			0			0	2		2			0
12 - 12,5 mm	1		1			0	1		1	1		1
13 - 13,5 mm	2		2			0	2		2			0
14 - 14,5 mm			0			0	2		2	1		1
Summe	19	14	33	4	2	6	29	32	61	7	10	17
Muscheln/10 cm Geflecht	5	4	9	1	0,6	2	8	9	17	2	3	5

Fazit:

Maschengeflechte unterschiedlich dicht besiedelt
obere Bereiche dichter besiedelt als in 1,2 m Tiefe

Mittelwert Muscheln/ 10 cm Maschengeflecht: 8
Mittelwert Muscheln/ 10 cm Maschengeflecht in 0,45 m Tiefe: 13
Mittelwert Muscheln/ 10 cm Maschengeflecht in 1,2 m Tiefe: 3,5

Längenspektrum Muscheln: 1,1 - 14,5 mm

Jungmuscheln < 8 mm Länge von 2017 vorhanden

Anzahl Muscheln im oberen Bereich der Träger vergleichbar mit Beprobung am 19.12.2016 (wurde nur oberer Bereich beprobt: 15 Muscheln/ 10 cm Maschengeflecht)

Längenzuwachs um 7 mm bei den größten Muscheln seit Dezember 2016

Beprobung:

kleine mit Wasser gefüllte Weißschale unter Träger legen, mit Zahnbürste alle Muscheln von definierter Fläche abbürsten

Tabelle 55: Ergebnisse der Muschelzählung am 17.08.2018 bei den Muschelmatten, die weiterhin am Steg im Bereich Oberbaumbrücke hingen

	Rahmen Oberbaumbrücke			Rahmen Oberbaumbrücke			Rahmen Oberbaumbrücke		
	Tiefe 0,45 m			Tiefe 0,65 m			Tiefe 1,2 m		
	Dreissena bugensis	Dreissena polymorpha	Summe	Dreissena bugensis	Dreissena polymorpha	Summe	Dreissena bugensis	Dreissena polymorpha	Summe
Länge Maschengeflecht cm	36 cm			36 cm			36 cm		
Körperlänge Muscheln									
1 - 1,5 mm	123			142			148		
2 - 2,5 mm	158			139			150		
3 - 3,5 mm	135			125			123		
4 - 4,5 mm	86			143			82		
5 - 5,5 mm	174			104			186		
6 - 6,5 mm	158			169			172		
7 - 7,5 mm	119			124			139		
8 - 8,5 mm	49			87			54		
9 - 9,5 mm	23			43			21		
10 - 10,5 mm	8			14			4		
11 - 11,5 mm				3					
12 - 12,5 mm	2			2			3		
13 - 13,5 mm	1			1			5		
14 - 14,5 mm	4			1					
15 - 15,5 mm	2			2			2		
16 - 16,5 mm	5			1			1		
17 - 17,5 mm	7			2			5		
18 - 18,5 mm	2			3					
19 - 19,5 mm	4			2					
20 - 20,5 mm									
21 - 21,5 mm	1						2		
22 - 22,5 mm									
23 - 23,5 mm									
24 - 24,5 mm	1								
Summe	1061	0	0	1107	0	0	1097	0	0
Muscheln/10 cm Geflecht	294,7	0,0	0,0	307,5	0,0	0,0	304,7	0,0	0,0
Fazit:									
Maschengeflechte ähnlich dicht besiedelt									
							MF	MF	Oberbaumbrücke
							2017-09	2018-07	2018-08
Mittelwert Muscheln/ 10 cm Maschengeflecht:							8 3 (10 mit Tiefe 0,25 m)		303
Mittelwert Muscheln/ 10 cm Maschengeflecht in 0,25 m Tiefe:								24	
Mittelwert Muscheln/ 10 cm Maschengeflecht in 0,45 m Tiefe:							13	5	295
Mittelwert Muscheln/ 10 cm Maschengeflecht in 0,65 m Tiefe:									308
Mittelwert Muscheln/ 10 cm Maschengeflecht in 1,2 m Tiefe:							3,5	1,3	305
Längenspektrum Muscheln: 1 bis 17,5 mm, wenige große Muscheln mit bis zu 24,5 mm Länge auf Maschengeflecht									
Jungmuscheln < 8 mm Länge zahlreich vorhanden									

11.4 Ergebnisse Chemische und Mikrobiologische Parameter

Die Ergebnisse der chemischen und mikrobiologischen Messungen werden digital in einer Datenbank übergeben.

11.5 Durchflüsse zum Zeitpunkt der Probenahmen

In Tabelle 56 sind die Durchflüsse für die Tage, an denen die Probenahmen für PWU stattfanden, dargestellt. Hierfür wurden die stündlichen Durchflüsse für 24 Stunden vor der Probenahme gemittelt.

Tabelle 56: Zeitpunkte der Probenahme und gemittelte Durchflüsse

Datum der Probenahme	Zeitpunkt	Durchfluss [m ³ /h] (24h vor Probenahme, gemittelt)			
		F1	F2	F3	FW
20.03.2018	12:30	3,20	3,10	2,70	0,00
10.04.2018	08:30	3,20	3,20	2,70	0,00
20.04.2018	08:30	3,28	3,19	2,56	0,00
24.04.2018	08:30	2,70	2,60	4,68	0,00
04.05.2018	11:30	1,26	1,49	1,44	1,29
08.05.2018	11:30	3,95	3,72	4,09	3,96
18.05.2018	09:00	4,14	3,84	4,01	4,14
25.05.2018	12:15	4,29	4,07	4,04	4,30
29.05.2018	10:30	4,33	4,19	4,14	4,33
08.06.2018	10:00	4,29	3,73	4,02	4,27
15.06.2018	11:00	4,65	4,95	4,62	4,65
22.06.2018	10:00	2,82	5,01	4,57	2,82
29.06.2018	08:00	2,58	5,00	4,39	2,57
06.07.2018	10:00	2,00	5,46	2,86	1,99
13.07.2018	07:30	5,01	4,59	2,73	2,78
17.07.2018	11:00	5,00	4,70	3,03	3,11
20.07.2018	08:30	4,54	5,21	2,99	3,01
27.07.2018	09:30	2,79	4,25	0,00	2,78
03.08.2018	08:30	2,80	4,69	0,00	2,79
10.08.2018	08:30	2,85	4,90	0,00	2,80
17.08.2018	08:30	5,01	5,03	2,96	3,03
24.08.2018	10:00	5,00	4,84	0,08	3,03
31.08.2018	09:00	4,73	5,12	0,00	3,15
07.09.2018	10:00	4,91	4,52	0,00	2,74
14.09.2018	09:00	4,64	2,52	0,00	1,50
21.09.2018	09:30	5,08	2,29	1,23	1,32
28.09.2018	09:30	5,09	3,74	1,95	2,80
05.10.2018	09:30	4,90	4,40	2,11	2,34
12.10.2018	09:30	4,99	0,41	2,31	0,26
19.10.2018	10:00	4,40	5,00	1,76	1,76
26.10.2018	10:00	4,41	5,08	2,89	2,90