

Sachbericht

MAKROPHYTEN IN WAKENITZ, KRÄHEN- UND MÜHLENTEICH

BERICHT LABOR FÜR ÖKOLOGIE (AG REINTJES)

Verfassende: Christian Lohaus, Stina Krings, Norbert Reintjes

Version: 1.0

Stand: 2025-06-18

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	3
1 Einführung und Auftrag	4
1.1 Rückblick und Anlass	4
1.2 Der Auftrag	5
2 Herangehensweise, Methoden und Materialien	7
2.1 Wakenitz - Zustand und Fließgewässertyp	7
2.2 Referenzindex Makrophyten nach Phylib	8
2.3 Materialien	9
2.4 Transekte: Makrophytenbestand, Chlorophyll und physiochemische Parameter . .	11
2.5 Messfahrt: Makrophytenbestand (Feld)	14
2.6 Nährstoffbestimmung (Labor)	14
2.7 Makrophyten - Bestimmung (Labor)	15
2.8 Makrophyten - physikalische Eigenschaften (Labor)	17
3 Ergebnisse	18
3.1 Vorkommende Makrophyten	18
3.1.1 Taxonomische Einordnung und orientierende Einstufung nach Phylib . . .	19
3.1.2 Transekte	20
3.1.3 Messfahrt	21
3.2 Untersuchungen entlang der Transekte	22
3.2.1 Physiochemische Parameter	23
3.2.2 Nährstoffe	33
3.2.3 Chlorophyll	38
3.2.4 Makrophyten - Bedeckung	40
3.2.5 Makrophyten - physikalische Eigenschaften	49
4 Diskussion	58
4.1 Wakenitz - Morphologie und Eigenschaften	58
4.2 Physiochemische Parameter	58
4.3 Nährstoffe	60
4.4 Chlorophyll	61
4.5 Makrophyten	62

4.6	Interaktion zwischen Physiochemischen Parameter, Mikroalgen und Makrophyten	63
4.7	Fazit	64
Literaturverzeichnis		66
Anhang		70
	Übersicht zu Lagemaßen der physiochemischen Parameter	70
	Übersicht zu den Nährstoffmessungen	71
	Übersicht zu den Chlorophyllmessungen	72
	Umrechnung Grenzwerte OGewV	74

Danksagung

Die Arbeitsgruppe um Prof. Dr. rer. nat. Norbert Reintjes (Labor für Ökologie) bedankt sich bei der Unteren Wasserbehörde (UWB) sowie der Lübeck Port Authority (LPA) für die konstruktive Zusammenarbeit und die technische Unterstützung. Insbesondere durch die Bereitstellung der Infrastruktur der LPA war es überhaupt erst möglich, die vorliegenden Ergebnisse der Messkampagne zu erzeugen.

1 Einführung und Auftrag

Im Folgenden wird zunächst ein Rückblick über bereits erfolgte Projekte und Aktivitäten der Stadt Lübeck und der Technischen Hochschule Lübeck (THL) geliefert. Anschließend wird auf den vorliegenden Auftrag und die Arbeiten im Jahr 2024 durch das Labor für Ökologie eingegangen.

1.1 Rückblick und Anlass

Beginnend mit Untersuchungen durch die Arbeitsgruppe (AG) um Prof. Külls im Jahr 2021 (Külls, 2021) sind in den folgenden Jahren weitere Arbeiten zur Bestimmung der Wasserqualität von Wakenitz, Kleinem See sowie Krähen- und Mühlenteich durchgeführt worden. Auch in diesem Jahr wurden für die Berücksichtigung biologischer Faktoren weitere Arbeiten durch die Untere Wasserbehörde (UWB) beauftragt und durch die AG um Prof. Norbert Reintjes durchgeführt.

Das Bestreben der UWB ist weiterhin, die Gewässergüte der Wakenitz und angeschlossener Gewässer mithilfe abiotischer und biotischer Parameter zu einzuschätzen. Die räumliche und zeitliche Dynamik der Mikroalgen in den Gewässern stand im Zentrum der in 2023 entlang der Wakenitz durchgeführten Chlorophyllmessungen (siehe Lohaus et al., 2023).

Neben Mikroalgen stellen auch Makrophyten einen wichtigen biologischen Parameter dar, der bei der Einschätzung des Gewässerzustandes im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) mit berücksichtigt und als biologischer Indikator erfasst wird. Qualitative und quantitative Daten der Makrophyten gehen in einen Referenzindex für das Gewässer ein. Weiterführende Informationen finden sich unter anderem unter gewaesser-bewertung.de, wo sowohl für Seen als auch Fließgewässer Makrophyten als biologische Qualitätskomponenten behandelt sind (Umweltbundesamt & Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, o. J.). Die Untersuchungen der Makrophytenbestände erfolgt somit bereits im Rahmen der Berichterstattung zum ökologischen Zustand in Folge der WRRL (Biologen im Arbeitsverbund, 2013; biota - Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH, 2022; Dreßler et al., 2019, 2019).

Neben diesen WRRL-Erfassungen bestand seitens der UWB der Wunsch nach einer detaillierteren Erfassung der zeitlichen und räumlichen Entwicklung von Makrophytenbeständen. So beauftragte die UWB das Labor für Ökologie (AG Reintjes), für das Jahr 2024 neben Messungen von physiochemischen und Nährstoffparametern, eine Datengrundlage zur zeitlichen und räumlichen Entwicklung submerser Makrophyten zu schaffen.

1.2 Der Auftrag

Die Stadt Lübeck unternimmt verschiedene Anstrengungen zur Verbesserung der Gewässerqualität der Wakenitz sowie der Stadtgewässer. Die Technische Hochschule Lübeck unterstützte diese Anstrengungen in den vergangenen Jahren mit Untersuchungen zum Abfluss und zu chemisch-physikalischen Parametern (Labor für Hydrologie, Prof. Külls) und zu Chlorophyllkonzentrationen aus Mikroalgen und Cyanobakterien (Labor für Ökologie, Prof. Reintjes). Physikalisch-chemische Parameter der Gewässerqualität sind bei allen Untersuchungen von Interesse. Dies umfasst allgemeine Parameter (Temperatur, pH, Leitfähigkeit, Sauerstoffkonzentration) sowie Nährstoffkonzentrationen. Ein zusätzliches Augenmerk soll in Zukunft aber auch auf die zeitliche sowie räumliche Entwicklung von Makrophyten (Wasserpflanzen) im Zusammenspiel mit Mikroalgenvorkommen gelegt werden. Die Untersuchungen der Makrophytenbestände in den Lübecker Gewässern sollen die Informationsgrundlage für das Gewässermanagement und zur Kommunikation mit Stakeholdern im öffentlichen Diskurs verbessern. Das Labor für Ökologie (Prof. Dr. Norbert Reintjes) sowie die Fachgruppe Umwelt- und Klimaschutz der Technischen Hochschule Lübeck ist mit Instrumenten zur Gewässeruntersuchung im Feld und der Ermittlung von relevanten Parametern ausgestattet. Zur Verfügung stehen sowohl Messgeräte und Sensoren als auch Arbeits- und Sicherheitsausrüstung für die Probenahme an und im Gewässer. Insbesondere zur Quantifizierung von Chlorophyllgehalten in Mikroalgen und Cyanobakterien stehen Feldmessgeräte zur Verfügung.

Im Folgenden finden sich stichwortartig Details zur Untersuchung der Makrophytenentwicklungen in 2024 für Krähenteich, Wakenitz und Kleiner See gemäß Auftrag.

Ziele der Untersuchungen

- Schaffen einer Datengrundlage zum Verständnis der lokalen Makrophytenbestände im Verbund mit Mikroalgendynamiken und Nährstoffkonzentrationen
- Abschätzen des Biomassepotentials von Makrophyten an ausgewählten Referenzstandorten über eine Wachstumsaison

Durchzuführende Arbeiten

Wiederkehrende Messkampagne zur Makrophyten- und Mikroalgenbiomasse

- Untersuchungen an 3 Messstellen: 1x Krähenteich, 1x Wakenitz, 1x Kleiner See
- Beprobung in ca. monatlichen Intervallen
 - von März bis einschließlich September 2024 (7 Termine)
 - Avisiertes Start-Datum: 13.03.2024; End-Datum: 18.09.2024
 - ergänzt durch flexible Messungen in besonderen Wachstumsphasen
 - 3 Termine, festgelegt während der Untersuchungszeit, ggf. Abstimmung
 - eine Übersicht über die durchgeführten Messkampagnen findet sich in Tabelle 3.1

- Makrophyten
 - taxonomische Einordnung auf Basis optischer Auswertung
 - halb-quantitative Ermittlung der Biomassevorkommen
- Mikroalgen
 - Quantifizierung in situ mittels Fluorometer
 - differenziert nach (1) Gesamtchlorophyll und (2) Cyanochlorophyll
- Physiochemische Parameter
 - Temperatur, Leitfähigkeit, pH, Sauerstoffgehalt, Sichttiefe
 - Nährstoffe mittels Photometer (Pulverkissentest); NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-}

Einmalige Makrophytenabschätzung der gesamten Wakenitz

- 1 Termin im September 2024
- optische Auswertung mit vereinzelter Makrophytenprobennahme und orientierender Quantifizierung des Bestandes
- Die Befahrung und Beprobung erfolgt mittels eines Bootes der LPA
 - Die LPA stellt sowohl Material als auch Personal zum Bootsführen. Für die Sicherheit an Bord hat das Personal der TH den Anweisungen der LPA Mitarbeitenden Folge zu leisten.

2 Herangehensweise, Methoden und Materialien

Im Folgenden sind theoretische Hintergrundinformationen sowie die im Rahmen der Untersuchungen eingesetzten Materialien und Herangehensweise aufgeführt. Das vorliegende Kapitel teilt sich grundsätzlich in die folgenden Komponenten

- Informationen zum Einzugsgebiet sowie theoretischer Hintergrund
- verwendete Materialien
- Arbeiten im Feld (Felduntersuchungen)
- Arbeiten im Labor

die Arbeiten im Feld umfassen

- Abschätzen der Makrophytenbestände gemäß Schätzskala
- Entnahme von Wasserproben
- Bestimmung physiochemischer Parameter
- Bestimmung von Pflanzen
- Entnahme von Pflanzenproben zur weiteren Bestimmung im Labor

während die Arbeiten im Labor folgende Punkte umfassen

- Bestimmung von Makrophyten
- Bestimmung physikalischer Eigenschaften von Makrophyten
- Aufbereitung von Wasserproben und Bestimmung von Nährstoffparametern

2.1 Wakenitz - Zustand und Fließgewässertyp

Die Wakenitz umfasst ein Einzugsgebiet von 320 km^2 und ist unterteilt in das Einzugsgebiet des Ratzeburger Sees und Schalsee. Neben dem Abfluss des Ratzeburger Sees wird die Wakenitz durch Zuflüsse aus westlich sowie östlich gelegenen Bächen gespeist (Vergleiche Külls & Kock, 2023).

Bei der Wakenitz handelt es sich um ein Seeausflussgeprägtes Fließgewässer des Norddeutsch Tieflandes mit dem LAWA-Typcode 21_N (*Wakenitz (Fließgewässer)*, 2022). Für Vertreter

dieses Flusstyps, die unter anderem kleine und mittelgroße potamalen Fließgewässer des Norddeutschen Tieflandes umfassen, werden als charakteristische Makrophytenarten der Einfache Igelkolben *Sparganium emersum*, das Gewöhnliche Pfeilkraut *Sagittaria sagittifolia* sowie Vertreter der Schwimmblattgewächse darunter die Gelbe Teichrose *Nuphar lutea*, die Weiße Seerose *Nymphaea alba* bzw. das Schwimmende Laichkraut *Potamogeton natans* aufgeführt sowie weitere Großlaichkräuter *Potamogeton lucens*, *P. perfoliatus*, *P. alpinus*, *P. gramineus* (Pottgiesser, 2018).

Die in den folgenden zwei Absätzen aufgeführten Informationen sind Wakenitz (Fließgewässer) (2022) entnommen. Entlang der Wakenitz werden 4 Badestellen und zwei wasserabhängige FFH- und Vogelschutzgebiete aufgeführt. Es sind 4 operative Messstellen vorhanden und als signifikante Belastungen sind folgende Aspekte vermerkt

- Diffuse Quellen - Atmosphärische Deposition
- Physische Veränderungen von Bett/Ufer
- Dämme, Querbauwerke und Schleusen

als Belastungsgruppen sind

- Verschmutzung mit Schadstoffen
- veränderte Habitate auf Grund morphologischer Änderungen

aufgeführt. Für die Belastungsgruppen dominieren die Abflussregelung sowie morphologische Veränderung mit 42, 5% und Einfluss von diffusen Quellen mit 55, 5%. Für die weitere aquatische Flora (submerse und emerse Makrophyten, Großalgen oder Angiospermen) ist ein guter Zustand vermerkt. Der gesamte ökologische Zustand wird letztendlich als mäßig eingestuft.

Betrachtet man die Gewässerstruktur in Abbildung 2.1 sowie Abbildung 2.2 weist die Wakenitz zunächst einen verhältnismäßig schmalen Oberlauf auf, der sich an der Eisenbahnbrücke nördlich des Nienmarker Landgrabens auf kurzer Strecke stark verjüngt (Abbildung 2.2 zwischen MP 6 und 7). Im Anschluss an die Eisenbahnbrücke findet sich eine starke Querschnittserweiterung die sich im aufgeweiteten Gewässer fortsetzt. Der Abfluss erfolgt sowohl über den Dükerkanal und angeschlossenen Krähen- und Mühlenteich sowie an der Falkenwiese (Abbildung 2.2 Nähe MP 12) in die Trave.

2.2 Referenzindex Makrophyten nach Phylib

Zur Beurteilung von Gewässern im Rahmen der WRRl wird unter anderem ein Referenzindex zur Bewertung von Gewässern herangezogen. Die Berechnung erfolgt laut Schaumburg et al. (2012), S. 59; Müller (2023), S. 13 für ein Gewässer nach Phylib gemäß Gleichung 2.1

$$RI = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} Q_{A_i} - \sum_{i=1}^{n_C} Q_{C_i}}{\sum_{i=1}^{n_g} Q_{g_i}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

- Q : Quantität des jeweiligen Einstufungstyps und Taxon
- T : Einstufungstyp nach Phylib $T = \{A, B, C\}$
- i : i-tes Taxon des jeweiligen Einstufungstyps
- n_g : Anzahl gesamt vorkommende Taxa
- n_T : Anzahl der Taxa im jeweiligen Einstufungstyps

Die Berechnungsgrundlage wird hier aufgeführt um eine Orientierung zur Einstufung der Pflanzen nach Phylib zu bieten und den Einfluss dieser auf die Bildung des Referenzindex darzustellen. Für die Einstufungstypen $T = \{A, B, C\}$ lässt sich vereinfacht sagen (Vergleiche Umweltbundesamt und Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, o. J.)

- Einstufungstyp A ist typspezifisch für die Referenzstelle und das Vorkommen nimmt bei fortschreitender Gewässerbelastung ab
- Einstufungstyp B umfasst Arten mit breiterer Toleranz sowie Arten die gut mit mittlerer Belastung umgehen können. Vertreter dieses neutralen Einstufungstyps treten bei niedriger Belastung zusammen mit Vertretern aus A auf, an stark belasteten Standorten mit Vertretern aus C
- Einstufungstyp C umfasst Störzeiger, die einen Verbreitungsschwerpunkt an degradierten Standorten zeigen

2.3 Materialien

Im Folgenden findet sich eine tabellarische Übersicht zu den verwendeten Geräten, Materialien und Chemikalien. Im Feld verwendete Materialien sind Tabelle 2.1 zu entnehmen, während die Labormaterialien in Tabelle 2.2 aufgeführt sind. Zusätzlich sind die Eigenschaften der von der LPA bereitgestellten Boote in Tabelle 2.3 aufgeführt.

Tabelle 2.1: Übersicht zu im Feld verwendeten Geräten und Materialien

Bezeichnung	Beschreibung
Transport Box	Zarges Box zum Transport von Materialien
Rettungswesten	
Harke mit Teleskopstab	Auf bis zu 5 Meter ausziehbar
Gefrierbeutel	unterschiedliche Größen zur Lagerung, Transport und Beschriftung der entnommenen Makrophytenproben

Bezeichnung	Beschreibung
Permanentmarker	Zur Beschriftung von Gefrierbeuteln
Kugelschreiber	Zur Dokumentation
Feldprotokolle	Zur Dokumentation von Transekte und Deckungsgraden
Secci-Scheibe	Eigenbau mit Markierungen je 25 cm zur Abschätzung der Secci-Tiefe
Zollstock	Zur Ermittlung der Wassertiefe
Multiparametermessgerät	WTW 3630 zur Bestimmung abiotischer Parameter (pH, O_2 , Leitfähigkeit, Temperatur)
Fluorometer	AlgaeTorch zur Bestimmung von Cyano- und Gesamtchlorophyll (bbe Moldaenke GmbH, 2020)
Unterwasserkamera + Rahmen	GoPro 8 Hero Black inkl. Haltevorrichtung zur Anbringung der Kamera und Abstandhalten vom Gewässerboden
Aquascopes	Seehilfen zur Abschätzung der Makrophytenbestände im Gewässer
Geotracker	Navigations- und Trackinghilfe
Schlauchboot	Alltechnik Allroundmarine Vario 300
Probenahmeflaschen	Zur Entnahme von Wasserproben

Tabelle 2.2: Übersicht zu im Labor verwendeten Geräten, Materialien und Chemikalien

Bezeichnung	Beschreibung
Photospektrometer	Hach Lange DR3900 Photometer (Hach Company, 2018)
Pulverkissentests	Zur Bestimmung von Nährstoffparametern mittels Photospektrometer
Filtrationsvorrichtung	Filtration von Wasserproben für die Nährstoffanalytik
Filtermaterial	Filtermaterial für die Filtration von Wasserproben
Trockenschrank	Sanyo Electric Co., Ltd. MOV202F Trockenschrank
Backbleche	Verwendet bei der Trockensubstanzbestimmung
Waage	Kern KB 3600-2N zur Trockensubstanzbestimmung
Stereolupe + Kamera	Euromex SB.1903, verwendet bei der Untersuchung und Bestimmung von Makrophyten
Uhrmacherpinzetten	Zur Bearbeitung von Makrophyten bei der Bestimmung
Weißschalen	Zur Zwischenlagerung und Bearbeitung von Makrophytenproben
Kühlschrank	temporäre Lagerung von Makrophyten bis zur Bestimmung
Bestimmungsliteratur	van de Weyer et al. (2023a); van de Weyer et al. (2023a); van de Weyer & Schmidt (2007)

Bezeichnung	Beschreibung
Handykamera	Dokumentation von Makrophytenabmessungen sowie bei der Bestimmung
Sicherheitstechnische Infrastruktur	Zur Durchführung chemischer Versuche mit Gefährdungspotential

Tabelle 2.3: Boote der LPA

Eigenschaft	Katamaran-Mehrzweckboot	Motorschleppbarkasse
Name	Hecht	Zander
Typ	Faster 650 Cat	Barkasse
Baujahr	2009	1967
Bootskörper	Leichtmetall	Eisen
Länge	7,45m	12,75m
Breite	2,48m	4,30m
Tiefgang	0,45m	1,00m
Bootsmotoren	2xSuzuki DF50 (je 36.8KW)	Jastram- Viertakt-Schiffsdiesel 80PS
Tragfähigkeit	ca. 1200kg	
Tanks	je 55L	ca 600Liter

2.4 Transekte: Makrophytenbestand, Chlorophyll und physiochemische Parameter

Für die Untersuchungen der Makrophytenvorkommen und -entwicklung im Verlauf der Messkampagne wurden nach Rücksprache und auf Wunsch der UWB insgesamt vier Transekte, anstatt der zunächst vorgesehenen drei, festgelegt. Hiervon befanden sich zwei im Verlauf der Wakenitz und jeweils eine im Kleinen See sowie Krähenteich. Die Messkampagne umfasste einen Zeitraum von April bis September. In dreiwöchigem Turnus wurden 7 Termine zur Beprobung anberaumt und durch 3 weitere flexible Termine ergänzt.

Während des ersten Beprobungstermins wurden die Transekte in Wakenitz und Kleinem See mit Bojen markiert und zunächst eine ausgedehnte Bestimmung an insgesamt 9 Punkten, mit jeweils 10m Abstand, innerhalb eines jeden Transektes erprobt. Es stellte sich heraus, dass der Aufwand zu umfangreich ist und so wurde die Untersuchung der Transekte nach Absprache mit der UWB für die weiteren Messtermine wie folgt angepasst:

- Abstand der Messpunkte 10m

- in den Transekte Wakenitz und Kleiner See wurden 4 Punkte innerhalb eines Transekts angefahren
- im Transekt Krähenteich wurden 3 Punkte innerhalb des Transektes angefahren
- optische Bestimmung von Makrophyten direkt optisch oder mittels Aquascopes soweit möglich
- Abschätzung der vorkommenden Makrophyten nach Braun-Blanquet (siehe Tabelle 2.4)
- Kameradokumentation an allen 4 Messpunkten mit Hilfe von GoPro
 - außerhalb der beauftragen Leistung und nicht in die Auswertung mit eingegangen
 - 2 Videos pro Messpunkt
- Messungen weiterer Parameter an 3 Stellen innerhalb eines Transekts
 - Messung unmittelbar unter der Wasseroberfläche
 - Gesamt- und Cyanochlorophyll mittels Fluorometer (AlgaeTorch, siehe Tabelle 2.1)
 - physiochemische Parameter
 - Temperatur
 - Trübung
 - Gelöster Sauerstoff
 - Leitfähigkeit
 - pH
- Entnahme einer Wasserprobe des Oberflächenwassers
 - unmittelbar unter der Wasseroberfläche
 - 200 — 300ml zur weiteren Aufbereitung und Nährstoffanalyse im Labor

Tabelle 2.4: Tabelle zur Schätzskala nach Braun-Blanquet zur Ermittlung des Bedeckungsgrads (Vergleiche Van De Weyer, 2003)

Wert	Artmächtigkeit	Soziabilität
+	spärlich mit geringem Deckungsgrad	
1	reichlich, aber mit geringem Deckungsgrad oder ziemlich spärlich, aber mit größerem Deckungsgrad	Einzelprosse, Einzelstämme
2	sehr zahlreich oder mindestens 1/10 bis 1/4 der Aufnahme­fläche deckend, Individuenzahl beliebig	gruppen- oder horstweise wachsend
3	1/4 bis 1/2 der Aufnahme­fläche deckend, Individuenzahl beliebig	in kleinen Kolonien wachsend oder ausgedehnte Flecken oder Teppiche bildend

Wert	Artmächtigkeit	Soziabilität
4	1/2 bis 3/4 der Aufnahme­fläche deckend, Individuenzahl beliebig	in kleinen Kolonien wachsend oder ausgedehnte Flecken oder Teppiche bildend
5	mehr als 3/4 der Aufnahme­fläche deckend, Individuenzahl beliebig	große Herden

Für die Beprobung der Transekte in Wakenitz und Kleinem See stellte die LPA sowohl Personal als auch Boot inklusive Floß. Bei der Beprobung des Krähenteichs erfolgte dies unter Verwendung eines Schlauchbootes mit elektrischem Außenbordmotor. Die Lage der Transekte und Messpunkte sind in Abbildung 2.1 dargestellt.

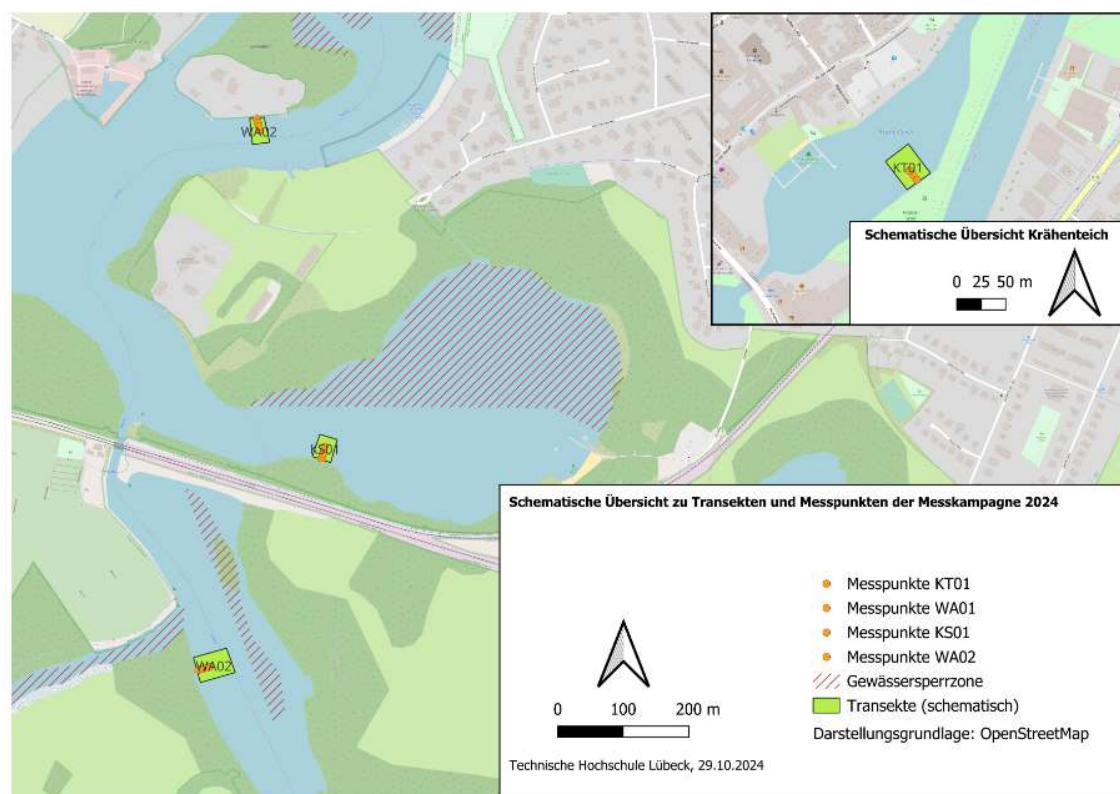


Abbildung 2.1: Übersicht zu den bearbeiteten Transekte im Rahmen der Messkampagne 2024

2.5 Messfahrt: Makrophytenbestand (Feld)

Zusätzlich zu den Untersuchungen der Transekte wurde eine Betrachtung der gesamten Wakenitz angestrebt. Zu diesem Zweck wurde an einem Termin die Wakenitz abgefahren, ein Eindruck zu den vorherrschenden Beständen an submersen Makrophyten ermittelt und einzelne Proben zur Bestimmung im Labor entnommen. Die Befahrung erfolgte mit Hilfe der LPA. Soweit möglich wurden auch hier die Bestände der submersen Makrophyten quantitativ geschätzt. Für die Befahrung wurden 12 Messpunkte ausgewählt (Abbildung 2.2).

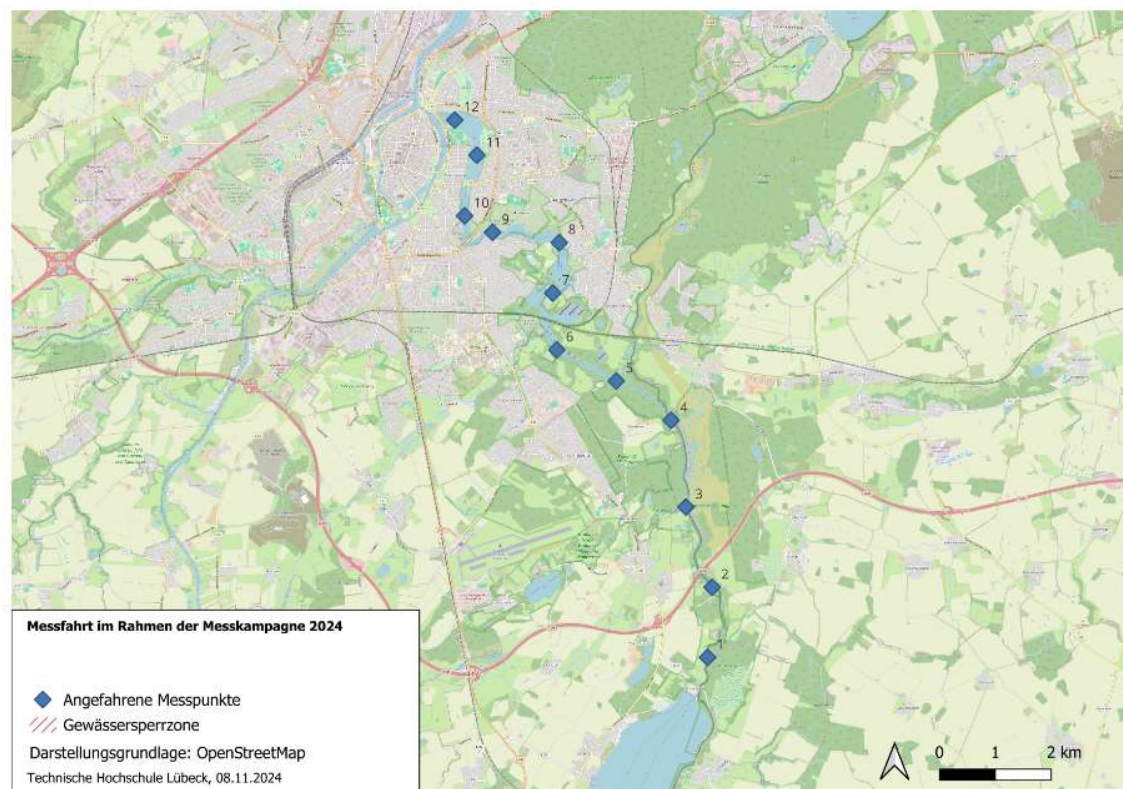


Abbildung 2.2: Übersicht zu den angefahrenen Messpunkten während der Untersuchung des Flussverlaufes im Rahmen der Messkampagne 2024

2.6 Nährstoffbestimmung (Labor)

Die im Feld genommenen Wasserproben wurden filtriert und zur Bestimmung von Nährstoffgehalten im Labor unter Verwendung eines Photospektrometers (Hach Lange DR3900, siehe auch

Tabelle 2.2) sowie den folgenden Pulverkissen- und Küvettentests analysiert

- LCK 304: Bestimmung von Ammonium
- Hach Nitra Ver6 und Hach Nitri Ver3 nach Hach Company (2019a): Bestimmung von Nitrat
- Hach Nitri Ver3 nach Hach Company (2019b): Zur Bestimmung von Nitrit
- Hach Phosver 3 nach Hach Company (2017): Zur Bestimmung von Phosphat

Die Messergebnisse wurden in einer Exceltabelle zusammengefasst und für die weitere Verarbeitung abgelegt.

2.7 Makrophyten - Bestimmung (Labor)

Die während der Felduntersuchung gesammelten Proben der Wasserpflanzen wurden im Labor zunächst gelagert und zeitnah unter Verwendung der vorliegenden Bestimmungsliteratur bestimmt. Hierfür stand zu Beginn der Untersuchungen van de Weyer & Schmidt (2007) zur Verfügung und wurde im Laufe des Untersuchungszeitraums durch van de Weyer et al. (2023a) und van de Weyer et al. (2023b) ergänzt. Bei der Durchführung wurden Stereolupe, Weißschalen und Pinzetten eingesetzt (Geräte siehe Tabelle 2.2, vergleiche Abbildung 2.3). In einzelnen Fällen wurde die Dokumentation mittels vorhandene oder im Zeitraum durch die Arbeitsgruppe angeschaffte Kameras erprobt. Informationen der Feldprotokolle und Ergebnisse der taxonomischen Bestimmung sind in in einer Exceltabelle zusammengeführt.



(a) Makrophyte in Weißschale



(b) Blatt unter Stereolupe



(c) Blattspreite durch Stereolupe

Abbildung 2.3: Untersuchung von Makrophytenproben im Labor

2.8 Makrophyten - physikalische Eigenschaften (Labor)

Im Rahmen der Erfassung physikalischer Eigenschaften wurden die Länge und Breite sowie die Trockensubstanz einzelner gesammelter Makrophyten erfasst. Für die Erfassung von Länge und Breite wurden einzelne Makrophyten ausgelegt und die Abmessungen mit Zollstöcken bestimmt.

Die Bestimmung der Trockensubstanz erfolgte in Anlehnung an Arbeiten von Malta et al. (2002) sowie Conde-Álvarez et al. (2012). Hierfür wurden die genommenen Proben gereinigt und anschließend in einem Trockenschrank bei den folgenden Einstellungen getrocknet

- Temperatur: 60 °C
- Dauer: 48 Stunden

Da Seerosen während der Probenahme nicht im Ganzen entnommen werden konnten, wurden in diesem Fall einzelne Blätter (ohne Stiel) getrocknet. Bei anderen Pflanzen wurde ein einzelnes, möglichst vollständiges und zuvor vermessenes Exemplar einer Probe in den Trocknungsprozess gegeben.

Die Ergebnisse der Bestimmung von Länge, Breite und Trockensubstanz wurden im Anschluss in die Exceltabelle mit den erfassten Feldprotokolldaten integriert.

3 Ergebnisse

Die Arbeiten wurden grundsätzlich wie geplant durchgeführt (Übersicht zu den durchgeführten Messterminen siehe Tabelle 3.1). In den folgenden Kapiteln werden zunächst die vorkommenden Makrophyten qualitativ behandelt und anschließend die Ergebnisse der Untersuchungen entlang der Transekte dargelegt.

Tabelle 3.1: Übersicht über die einzelnen Messtermine und zugeordneten Messkampagnen

Datum	Messkampagne	Kommentar
17.04.2024	MC 01	Erprobung Messmethoden Makrophyten auf Wakenitz und Kleiner See
18.04.2024	MC 01	Erprobung Messmethoden Makrophyten auf Krähenteich
08.05.2024	MC 02	regulärer Beprobungstermin
23.05.2024	MC 03	flexibler Beprobungstermin
29.05.2024	MC 04	regulärer Beprobungstermin
20.06.2024	MC 05	regulärer Beprobungstermin
10.07.2024	MC 06	regulärer Beprobungstermin
17.07.2024	MC 07	flexibler Beprobungstermin
01.08.2024	MC 08	regulärer Beprobungstermin
21.08.2024	MC 09	regulärer Beprobungstermin
28.08.2024	MC 10	flexibler Beprobungstermin
24.09.2024	MF	Messfahrt

3.1 Vorkommende Makrophyten

Es werden die zusammengetragenen Ergebnisse zur Präsenz der vorkommenden Makrophyten im Untersuchungsgebiet vorgestellt. Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen somit auf die Untersuchungen der Transekte sowie der durchgeführten Messfahrt.

3.1.1 Taxonomische Einordnung und orientierende Einstufung nach Phylib

Im Rahmen der Bestimmungsarbeiten der Proben aus den Transekten als auch der Messfahrt zeigte sich, dass nicht alle Arten sicher bestimmt werden konnten. Dies betraf, wie in Kapitel 3.1.3 aufgegriffen, insbesondere Makrophyten die den kleinblättrige Laichkräutern zugeordnet wurden. Weiterhin konnten nicht an allen Messkampagnen Proben aller vorkommender Wasserlinsenarten gesammelt werden. Darüber hinaus waren bei einem massiven Auftreten die Fadenalgen nicht detaillierter bestimmbar. Aus diesen Gründen, als auch zur besseren Visualisierung in folgenden Kapiteln, werden Makrophyten und beobachtete Fadenalgen in Gruppen zusammengefasst. Die Erstellung der Gruppen erfolgt vorwiegend in Anlehnung an die verwendete Bestimmungsliteratur van de Weyer et al. (2023b) und dort aufgeführten Hauptgruppen, ergänzt durch eine Gruppe für unbestimmbare fädige Algen sowie eine Gruppe zur Erfassung des festgestellten Froschbisses. Die Gruppen, zugehörige Abkürzungen und Erläuterungen finden sich in Tabelle 3.2.

Tabelle 3.2: Übersicht zu gebildeten Gruppen von Makrophyten in Anlehnung an die Hauptschlüssel aus van de Weyer et al. (2023b), ergänzt durch eine Gruppe für unbestimmbare fädige Algen sowie eine Gruppe zur Erfassung des festgestellten Froschbisses

Gruppenbezeichnung	Kürzel	Erläuterung
Ceratophylliden	Cer	Untergruppe der Wasserschwieber (Pleustophyten) (vergleiche Englmaier (o. J.))
Elodeiden	Elo	Wasserpestarten
Hydrocharis	Hydro	Froschbiss <i>Hydrocharis morsus-ranae</i>
Lemniden	Lem	Wasserlinsen
Magnonymphaeiden	MagNy	Teich- und Seerosen
Magnopotamiden	MagPot	Großblättrige Laichkräuter
Parvopotamiden	ParPot	Kleinblättrige Laichkräuter
Vallisneriden	Valis	Pflanzen mit grundständigen lang flutenden Blättern
NA / Fadenalge	FA	nicht bestimmbare Fadenalgen

Die in den Bestimmungsarbeiten ermittelten Arten wurden zusammengetragen. Zusätzlich wurden gemäß *Taxaliste Aller Für Das Verfahren Phylib-FG 7.00 Relevanten Taxa Der Biokomponenten Diatomeen, Makrophyten, PoD* (2024) als Orientierung die Einstufungen nach Phylib ergänzt. Bei der Angabe der Einstufungen sind alle Einstufungsarten, unabhängig des Gewässertyps, zusammengefasst worden. Hierbei zeigt sich, dass bei den vorkommenden Arten zum überwiegenden Teil die Einstufungen B/C vorliegen. Die Einstufung C findet sich für Zartes Hornblatt *Ceratophyllum submersum* sowie Krauses Laichkraut *Potamogeton crispus*. Für Alpines Laichkraut *Potamogeton alpinus* und Spiegelndes Laichkraut *Potamogeton lucens* werden die

Einstufungen A sowie A/B aufgeführt. Die vollständige Übersicht zu den identifizierten Arten, zugeordneten Gruppen und Einstufungen nach Taxaliste sind in Tabelle 3.3 aufgeführt.

Tabelle 3.3: Übersicht zur Präsenz im Untersuchungsgebiet vorkommender Makrophyten und abgeleiteter Zuordnung in Gruppen in Anlehnung an van de Weyer et al. (2023b), die Zuordnung der Einstufung nach Phylib orientiert sich an *Taxaliste Aller Für Das Verfahren Phylib-FG 7.00 Relevanten Taxa Der Biokomponenten Diatomeen, Makrophyten, PoD* (2024)

Gruppe	Art	Trivialname	Einstufung Phylib
Ceratophylliden	<i>Ceratophyllum demersum</i>	Raues Hornblatt	['B/C']
Ceratophylliden	<i>Ceratophyllum submersum</i>	Zartes Hornblatt	['C']
Elodeiden	<i>Elodea canadensis</i>	Kanadische Wasserpest	['B/C']
Elodeiden	<i>Elodea nuttallii</i>	Nuttalls Wasserpest	['B/C']
Hydrocharis	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	Froschbiss	['B/C']
Lemniden	<i>Lemna cf. minuta</i>	Winzige Wasserlinse	['C']
Lemniden	<i>Lemna gibba</i> ; <i>Lemna turionifera</i>	Bucklige Wasserlinse; Turionen Wasserlinse	['B/C']
Lemniden	<i>Wolffia arrhiza</i>	Zwergwasserlinse	['B/C']
Magnonymphaeiden	<i>Nuphar lutea</i>	Gelbe Teichrose	['B/C']
Magnonymphaeiden	<i>Nymphaea alba</i>	Weißer Seerose	['B/C']
Magnopotamiden	<i>Potamogeton alpinus</i>	Alpines Laichkraut	['A']
Magnopotamiden	<i>Potamogeton lucens</i>	Spiegelndes Laichkraut	['B/A']
Parvopotamiden	<i>Potamogeton cf. friesii</i> ; <i>Potamogeton cf. obtusifolius</i>	Stachelspitziges Laichkraut; Stumpfbältriges Laichkraut	['B']
Parvopotamiden	<i>Potamogeton crispus</i>	Krauses Laichkraut	['C']
Vallisneriden	<i>Sagittaria sagittifolia</i>	Gewöhnliches Pfeilkraut	['B/C']

3.1.2 Transekte

Im Folgenden wird die Präsenz von Makrophyten in den einzelnen Transekten über den Gesamtuntersuchungszeitraum betrachtet. Hierbei wird ausschließlich ein Überblick über das Auftreten der Gruppen und Arten ohne einen quantitativen Bezug geliefert.

In Tabelle 3.4 finden sich die vorkommenden Gruppen sowie Arten (vergleiche Kapitel 3.1.1), die in den einzelnen Transekten (Abbildung 2.1) festgestellt wurden.

Für WA2 zeigte sich, dass Vertreter aus allen Gruppen bis auf Vallisneriden angetroffen wurden. Für WA1 konnten alle Gruppen bis auf Parvopotamiden und Magnopotamiden beobachtet werden. In der Transekte KT1 konnten Vertreter der Ceratophylliden, Elodeiden, Lemniden sowie Parvopotamiden beobachtet werden. Für das Transekt KS1 wurden Vertreter der Ceratophylliden, Elodeiden, Lemniden, Magnonypaeiden, Fadenalge und Parvopotamiden gefunden.

Tabelle 3.4: Übersicht zur Präsenz von Makrophyten in den jeweiligen Transekten. Der Zahlenwerte 1 und 0 stehen für An- und Abwesenheit der Makrophytengruppe innerhalb eines Transekts.

Gruppe	Art	KS1	KT1	WA1	WA2
Ceratophylliden	<i>Ceratophyllum demersum</i>	1	1	1	1
Ceratophylliden	<i>Ceratophyllum submersum</i>	0	0	1	1
Elodeiden	<i>Elodea nuttallii</i>	1	1	1	1
Hydrocharis	<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	0	1	1	1
Lemniden	<i>Lemna cf. minuta</i>	0	1	0	0
Lemniden	<i>Lemna gibba</i> ; <i>Lemna turionifera</i>	0	1	0	0
Lemniden	<i>NA / Lemna</i>	1	1	1	1
Lemniden	<i>Wolffia arrhiza</i>	0	0	1	0
Magnonymphaeiden	<i>Nuphar lutea</i>	1	0	1	1
Magnonymphaeiden	<i>Nymphaea alba</i>	1	0	1	1
Magnopotamiden	<i>Potamogeton lucens</i>	0	0	0	1
NA / Fadenalge	<i>NA / Fädige Alge</i>	1	0	1	1
Parvopotamiden	<i>Potamogeton cf. friesii</i> ; <i>Potamogeton cf. obtusifolius</i>	0	0	1	1
Parvopotamiden	<i>Potamogeton crispus</i>	1	1	0	1
Vallisneriden	<i>Sagittaria sagittifolia</i>	0	0	1	0

3.1.3 Messfahrt

Die Befahrung der Wakenitz erfolgte unter Verwendung eines Bootes der LPA ("Zander"). Durch die starke Motorisierung wurde Boden vom Gewässergrund aufgewirbelt und führte zu starker Trübung. Aus diesem Grund wurde von einer Auswertung der quantitativen Abschätzungen

abgesehen. Die Bestimmung der an den Messstellen entnommenen Proben erfolgte im Labor und ging in die Auswertung der Gesamtpräsenz der Makrophyten (Kapitel 3.1.1) ein.

Zusätzlich wird hier ein qualitativer Eindruck der Makrophytenvorkommen entlang des Gewässers beschrieben, wie er durch das Team der THL wahrgenommen wurde.

Im oberen Verlauf der Wakenitz von MP 1 bis einschließlich MP 4 (vergleiche Abbildung 2.2) zeigte sich ein Bewuchs vornehmlich der Uferränder. Das Wasser war wenig getrübt, soweit keine Beeinflussung durch Bootsmotoren vorlag. Als Vertreter der submersen Makrophyten wurden insbesondere das Pfeilkraut *Sagittaria sagittifolia* als auch Vertreter der Gelben Teichrose *Nuphar lutea* festgestellt. In einzelnen Fällen traten Kanadische *Elodea canadensis* und Nutalls Wasserpest *Elodea nuttallii*, Wasserlinsen und das Alpen-Laichkraut *Potamogeton alpinus* auf.

Im mittleren und beginnenden unteren Verlauf der Wakenitz (d.h. von MP5 bis MP 10) wurde verstärkter Wuchs der submersen Makrophyten festgestellt. Als prominente Vertreter fanden sich Wasserlinsen, Gelbe Teich- *Nuphar lutea* und Weiße Seerose *Nymphaea alba*, die Wasspest Nutalls Wasserpest *Elodea nuttallii*, Raues Hornblatt *Ceratophyllum demersum*, zartes Hornblatt *Ceratophyllum submersum* sowie unbestimmbare Fadenalgen. Als Vertreter mit mittlerem oder vereinzelterem Auftreten wurden als großblättrige Laichkräuter das Alpen-Laichkraut *Potamogeton alpinus* und spiegelndes Laichkraut *Potamogeton lucens* festgestellt. Weiterhin konnten Froschbiss *Hydrocharis morsus-ranae* und Pfeilkraut *Sagittaria sagittifolia* ausgemacht werden. Ebenfalls wurden kleinblättrige Laichkräuter gefunden, die nicht näher bestimmt werden konnten und soweit möglich auf Stachelspitziges Laichkraut *Potamogeton cf. friesii* oder Stumpfbältriges Laichkraut *Potamogeton cf. obtusifolius* eingegrenzt wurden.

An den letzten beiden Messpunkten MP11 und 12 im unteren Verlauf der Wakenitz konnten abgesehen von einer einzelnen Gelben Teichrose *Nuphar lutea* keine submersen Makrophyten festgestellt werden.

3.2 Untersuchungen entlang der Transekte

Dieses Kapitel stellt die ermittelten Ergebnisse aus den Transektenuntersuchungen entlang folgender Strukturierung dar:

- physiochemische Parameter
- Nährstoffe
- Chlorophyll
- Makrophyten - Bedeckung
- Makrophyten - physikalische Eigenschaften

3.2.1 Physiochemische Parameter

Als physiochemische Parameter wurden Temperatur, Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit, Trübung und pH-Werte aufgenommen. Die erzeugten Messwerte sind im Folgenden

1. für jedes Transekt und Messkampagne
2. für jedes Transekt über die gesamte Messkampagne

als Median zusammengefasst und dargestellt. Da je Transekt lediglich 3 Messungen pro Messkampagne vorgenommen wurden, ist für 1. auf die Darstellung als Boxplot verzichtet worden. Eine Übersicht zu den Lagemaßen der physiochemischen Parameter findet sich im Anhang in Tabelle 4.1.

3.2.1.1 Temperaturmessungen

Die Temperaturmessung von Luft- und Wassertemperatur sind in Abbildung 3.1 dargestellt. Zu Beginn der Untersuchungen (MC01) lagen sowohl Wasser- als auch Lufttemperatur unter 15°C und stiegen im Verlauf der Messkampagne bis zu einem Bereich zwischen 20 und 25°C an.

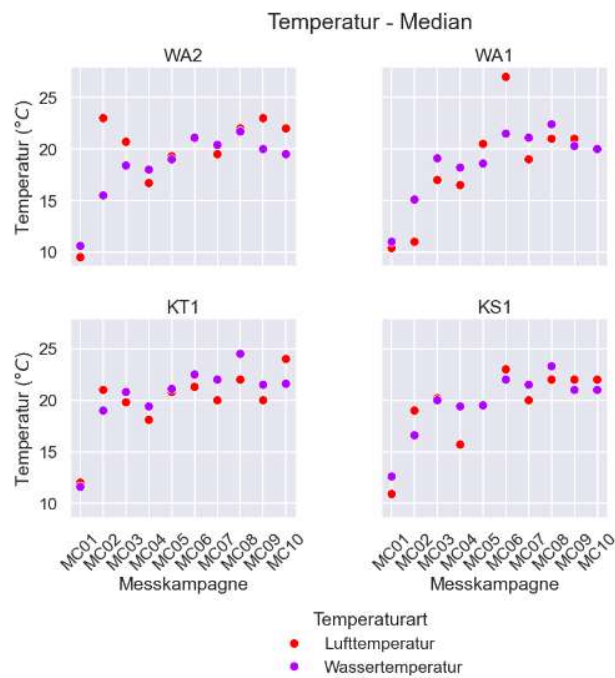


Abbildung 3.1: Gebildete Medianwerte über die Messkampagnen von Luft- und Wassertemperatur für die jeweiligen Transekten; WA1, WA2, KT1 und KS1 Transekte (siehe Abbildung 2.1); MC01 - MC10 (siehe Tabelle 3.1)

Die Darstellung in Abbildung 3.2 zeigt die über die Messkampagnen erzeugten Werte als Boxplot. Für die Lufttemperatur lagen die Medianwerte zwischen 19°C (WA1) und 21°C (WA2), für die Wassertemperatur zwischen $19,45^{\circ}\text{C}$ (WA2) und $21,45^{\circ}\text{C}$ (KT1).

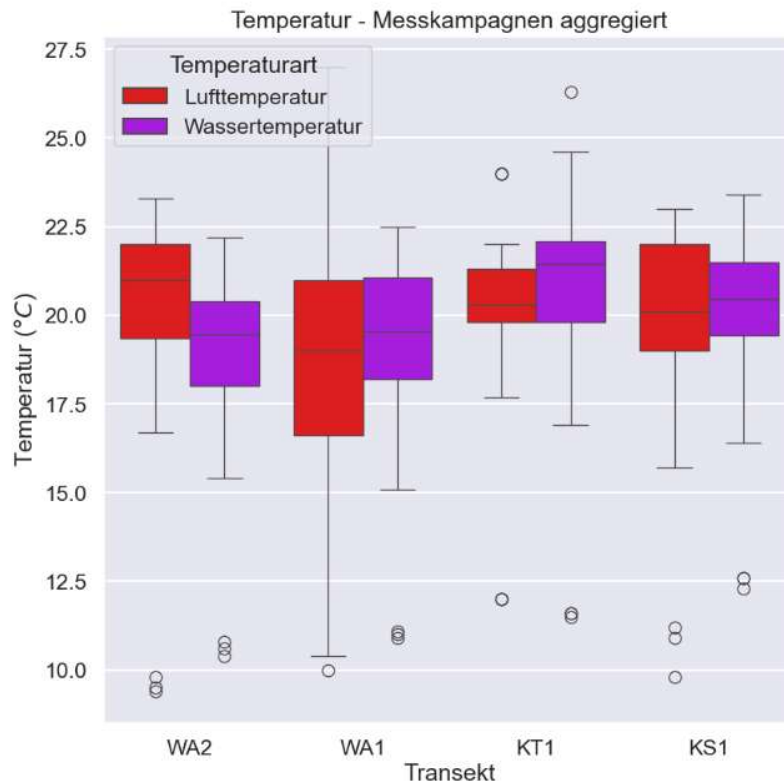


Abbildung 3.2: Als Median aggregierte Messwerte des vollständigen Untersuchungszeitraums von Luft- und Wassertemperatur für die jeweiligen Transekte

3.2.1.2 Trübung

In Abbildung 3.3 sind die über die Messkampagne erzeugten Werte für die Trübung dargestellt. In den Transekten WA1 und WA2 lagen die Messwerte unterhalb von 5 *FTU*, mit Ausnahme von Messkampagne 9, bei der ein erhöhter Trübungswert knapp unter 10 *FTU* festgestellt wurde. Für das Transekt KT1 lagen die Werte bis einschließlich MC05 sowie der Wert bei MC10 unter 5 *FTU*. Von MC06 bis MC07 konnte ein starker Anstieg auf über 15 *FTU* festgestellt werden, bevor die Trübungswerte wieder absanken. Das Transekt KS1 zeigte von Beginn an Trübungswerte im Bereich 5 – 10 *FTU* und stieg ab MC05 sprunghaft auf über 15 *FTU* an und verblieb in einem Bereich zwischen 13 – 20 *FTU*.

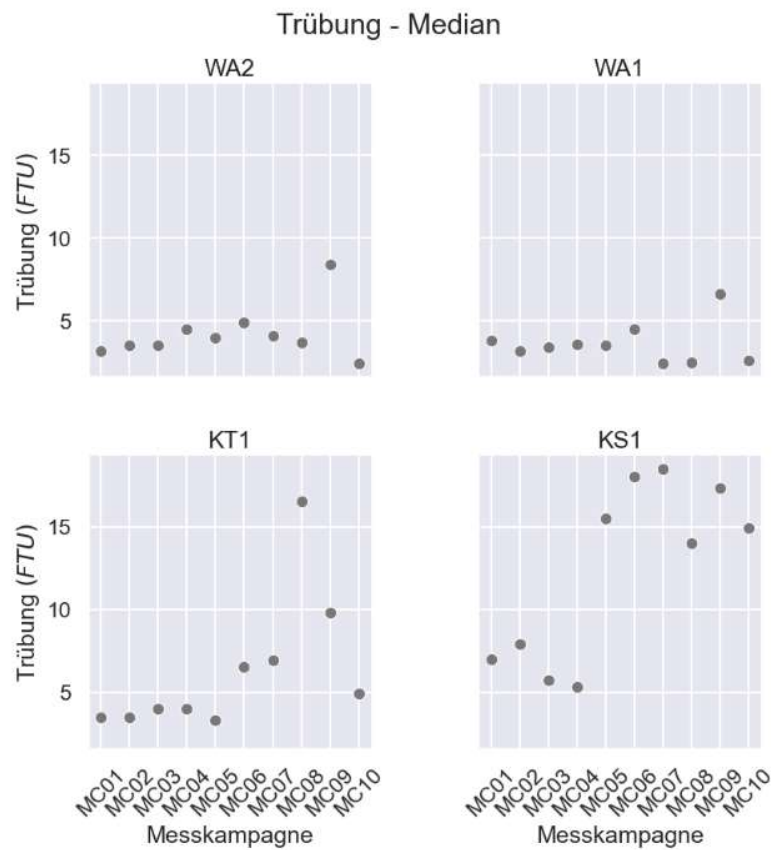


Abbildung 3.3: Gebildete Medianwerte über die Messkampagnen von der Trübung für die jeweiligen Transekte; WA1, WA2, KT1 und KS1 Transekte (siehe Abbildung 2.1); MC01 - MC10 (siehe Tabelle 3.1)

Die aggregierten Messwerte des vollständigen Untersuchungszeitraums der Trübung in Abbildung 3.4 zeigen, dass in den Transekten WA1 und WA2 ein Median von 4 *FTU* vorlag.

Das Transekt KT1 zeigte bereits einen leicht erhöhten Median von 6 *FTU*, während KS1 mit einem Wert von 14 *FTU* deutlich höher lag. KT1 und KS1 zeigten ebenfalls eine höhere Streuung im Vergleich zu WA1 und WA2.

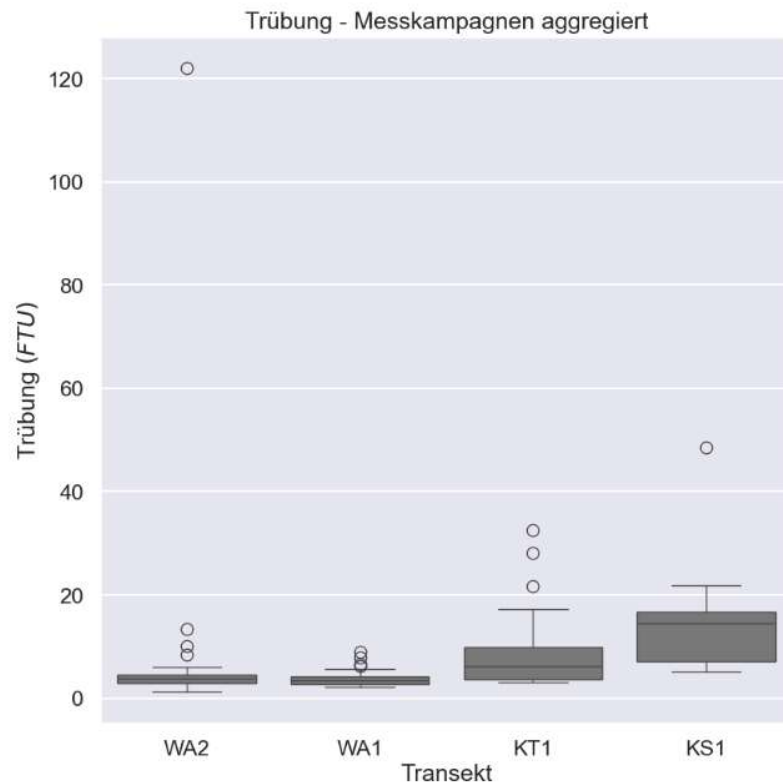


Abbildung 3.4: Als Median aggregierte Messwerte des vollständigen Untersuchungszeitraums der Trübung für die jeweiligen Transekte

3.2.1.3 Gelöster Sauerstoff

Die als Median zusammengefassten Messwerte für gelösten Sauerstoff sind in Abbildung 3.5 dargestellt. Alle Werte im Verlauf der Untersuchungen lagen über $4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ und zeigten zwischen den Messkampagnen teils starke Schwankungen um über $4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

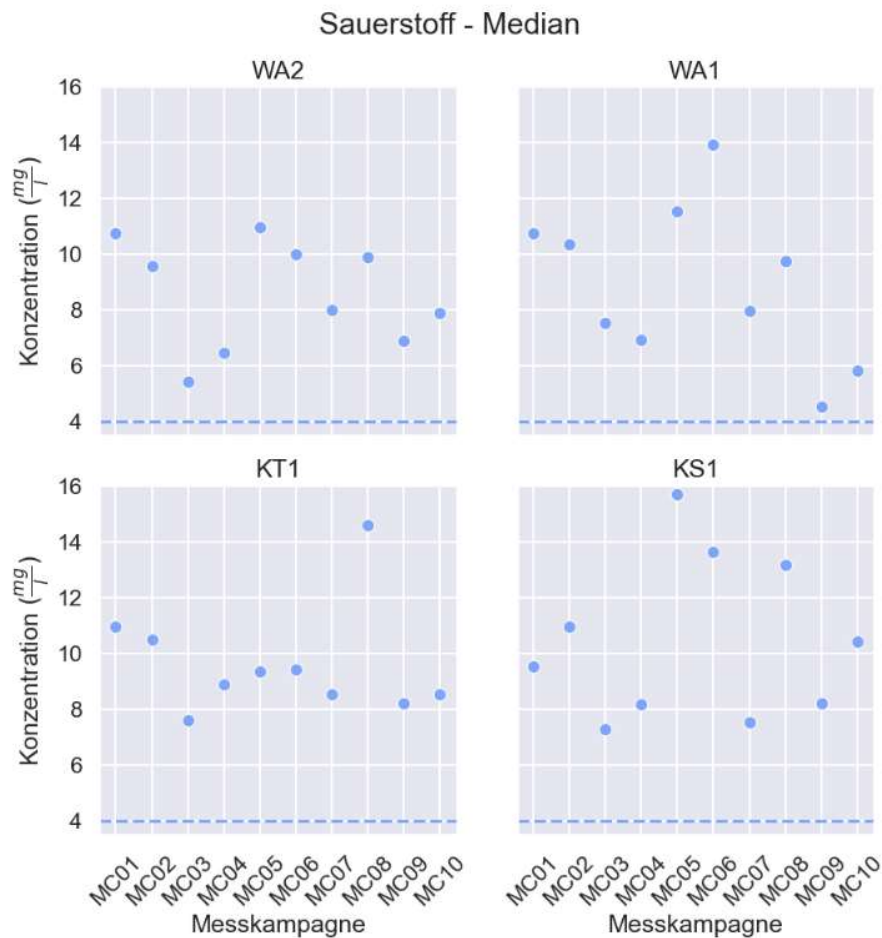


Abbildung 3.5: Gebildete Medianwerte über die Messkampagnen von gelöstem Sauerstoff für die jeweiligen Transekte; WA1, WA2, KT1 und KS1 Transekte (siehe Abbildung 2.1); MC01 - MC10 (siehe Tabelle 3.1). Zur Orientierung zeigt die gestrichelte Linie die nach Oberflächengewässerverordnung Anhang 7 (*Anlage 7 OGewV - Einzelnorm*, o. J.) mindestens einzuhaltende Sauerstoffkonzentration für einen guten ökologischen Zustand sowie Potential. Eine genauere Erläuterung erfolgt in Kapitel 4.2 sowie Kapitel 4.6

Die Zusammenfassung über die gesamte Messkampagne in Abbildung 3.6 zeigt, dass die Schwankungsbreiten zwischen den einzelnen Transekten einen ähnlichen Betrag mit wenigen Ausreißern aufwiesen. Die Medianwerte über den gesamten Untersuchungszeitraum lagen zwischen $8,04 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ und $9,73 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

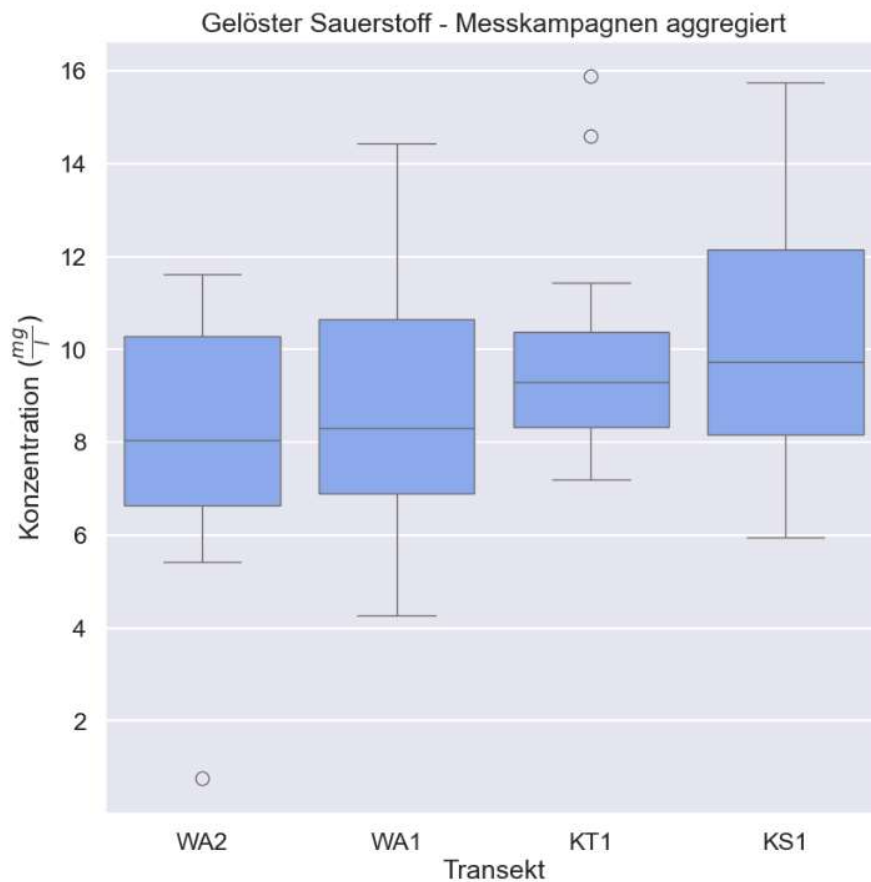


Abbildung 3.6: Als Median aggregierte Messwerte des vollständigen Untersuchungszeitraums von gelöstem Sauerstoff für die jeweiligen Transekten

3.2.1.4 Leitfähigkeit

Die als Median zusammengefassten Werte der Leitfähigkeit sind in Abbildung 3.7 dargestellt. Bis Messkampagne MC04 wurde in allen Transekten eine Leitfähigkeit zwischen $450 - 500 \mu S \cdot cm^{-1}$ beobachtet. Anschließend sank die Leitfähigkeit in den Transekten mit unterschiedlicher Intensität ab. Für WA2 und WA1 verblieb sie, bis jeweils MC08 und MC09, zwischen $400 - 450 \mu S \cdot cm^{-1}$ und stieg anschließend sprunghaft für die nachfolgende Messkampagne an.

Für KT1 erfolgte ein Absinken der Leitfähigkeit auf unter $375 \mu S \cdot cm^{-1}$ in MC07. Anschließend stieg diese wieder sprunghaft an auf knapp über $450 \mu S \cdot cm^{-1}$.

Für KS1 erfolgte ab MC05 der vergleichsweise stärkste Abfall der Leitfähigkeitswerte, die für MC06 bis MC08 unter $375 \mu S \cdot cm^{-1}$ verblieben. Anschließend wurde ein sprunghafter Anstieg auf knapp über $450 \mu S \cdot cm^{-1}$ beobachtet.

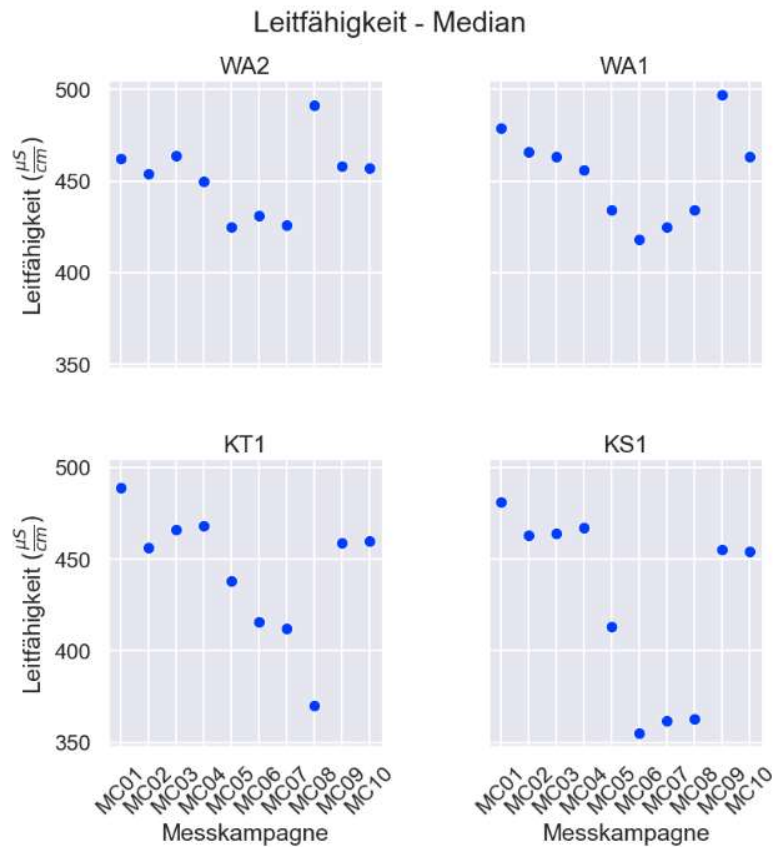


Abbildung 3.7: Gebildete Medianwerte über die Messkampagnen der Leitfähigkeit für die jeweiligen Transekte; WA1, WA2, KT1 und KS1 Transekte (siehe Abbildung 2.1); MC01 - MC10 (siehe Tabelle 3.1)

Bei der Betrachtung der aggregierten Messwerte in Abbildung 3.8 zeigte sich hingegen, dass über den gesamten Zeitraum betrachtet ähnliche Medianwerte von $454,00 - 459,50 \mu S \cdot cm^{-1}$ vorlagen. Für KT1 und KS1 zeigte sich eine höhere Streuung als für WA2 und WA1.

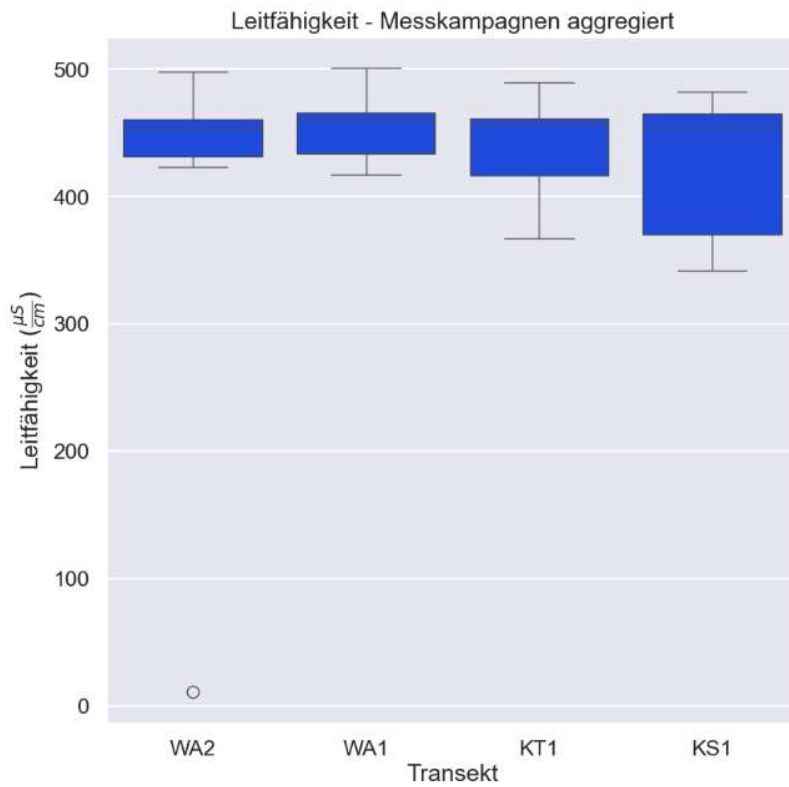


Abbildung 3.8: Als Median aggregierte Messwerte des vollständigen Untersuchungszeitraums der Leitfähigkeit für die jeweiligen Transekte

3.2.1.5 pH-Wert

Die in Abbildung 3.9 dargestellten Messwerte zeigten keine klaren Tendenzen und umfassen einen pH-Bereich von 7,5 bis 9.

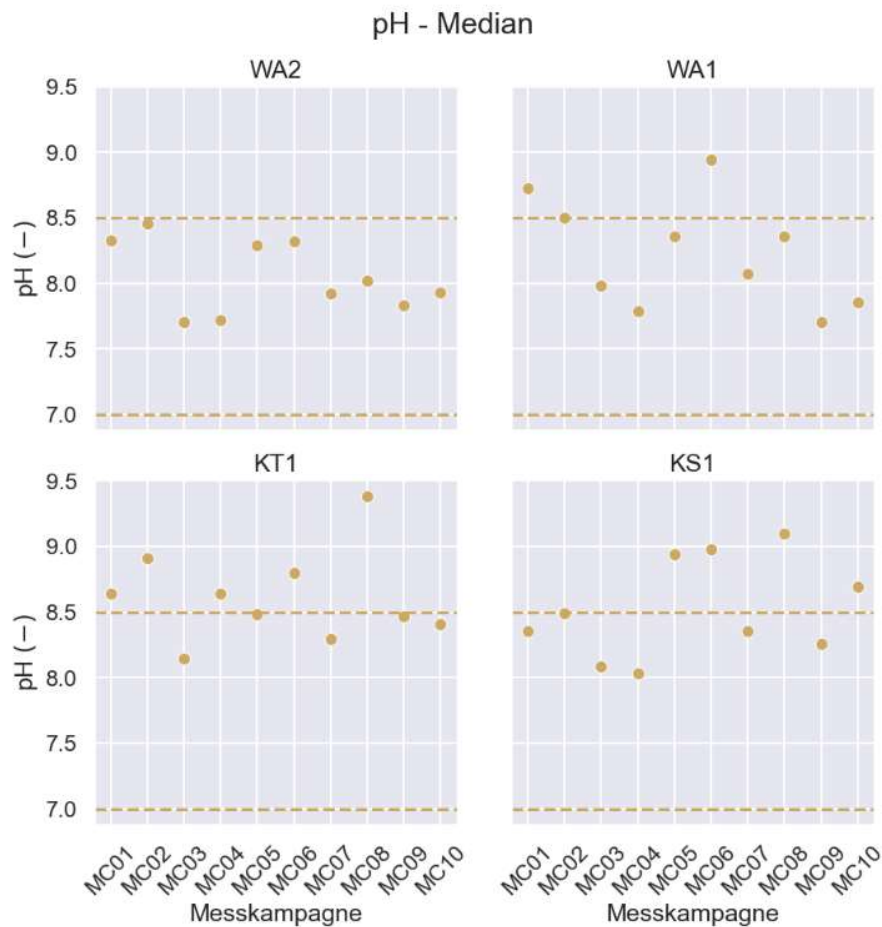


Abbildung 3.9: Gebildete Medianwerte über die Messkampagnen des pH-Wertes für die jeweiligen Transekten; WA1, WA2, KT1 und KS1 Transekten (siehe Abbildung 2.1); MC01 - MC10 (siehe Tabelle 3.1). Zur Orientierung ist der pH-Wertebereich zur Erfüllung der Anforderungen an den guten ökologischen Zustand sowie Potential gemäß Oberflächengewässerverordnung Anhang 7 als gestrichelte Linien eingetragen (Anlage 7 OGewV - Einzelnorm, o. J.). Eine genauere Erläuterung erfolgt in Kapitel 4.2 sowie Kapitel 4.6

Durch die über den gesamten Untersuchungszeitraum in Abbildung 3.10 dargestellten Werte zeigte sich, dass WA2 und WA1 mit 7,97 und 8,14 niedrigere Werte als KT1 und KS1 mit 8,49 und 8,53 aufwiesen.

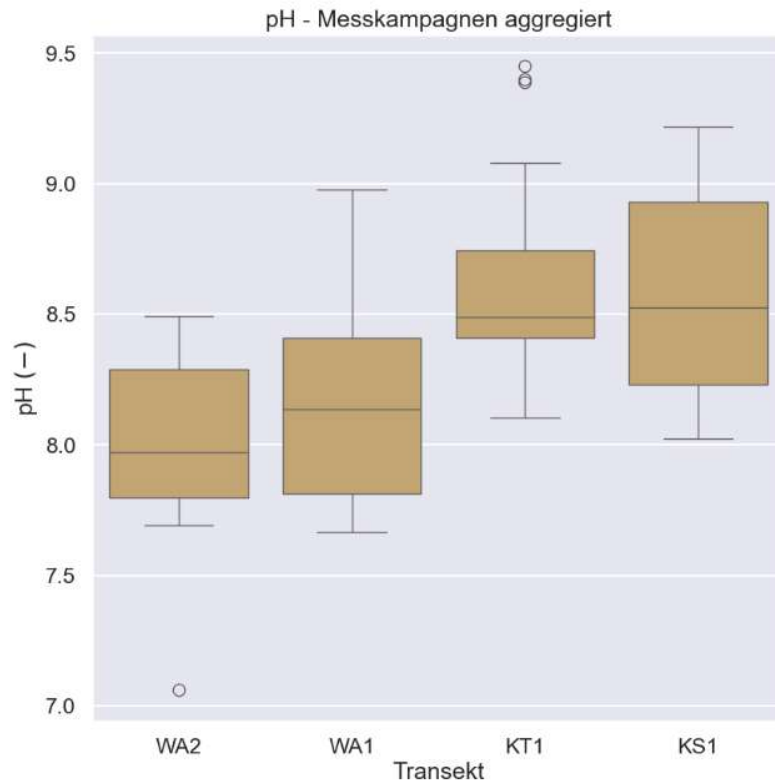


Abbildung 3.10: Als Median aggregierte Messwerte des vollständigen Untersuchungszeitraums des pH-Wertes für die jeweiligen Transekte

3.2.2 Nährstoffe

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Nährstoffmessungen durchgeführt. Diese umfassten Ammonium, Nitrit, Nitrat sowie Ortho-Phosphat. Eine tabellarische Auflistung der Messwerte, auf die im Folgenden eingegangen wird, findet sich in Tabelle 4.2.

Die Messwerte für Ammonium (NH_4^+) sind in Abbildung 3.11 dargestellt. Zu Beginn der Messkampagne ließ für WA2, WA1 sowie KT1 zunächst ein Konzentrationsbereich von unter $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ beobachten. In MC03 und MC4 kam es zu einem sprunghaften Anstieg in allen drei Transekten. Für WA2 auf $0,317$ und $0,204 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, WA1 $0,149$ und $0,183 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ sowie KT1 $0,227$ und $0,323 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Anschließend sanken die Messwerte auf einen Bereich

unter $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ab und verblieben dort für WA1 sowie KT1. Für WA2 konnte ein zweiter Anstieg in den Ammoniumkonzentrationen auf maximal $0,152 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ bei MC10 beobachtet werden. Für KS wurden keine Trends festgestellt und die Messwerte lagen im Maximum bei $0,278 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

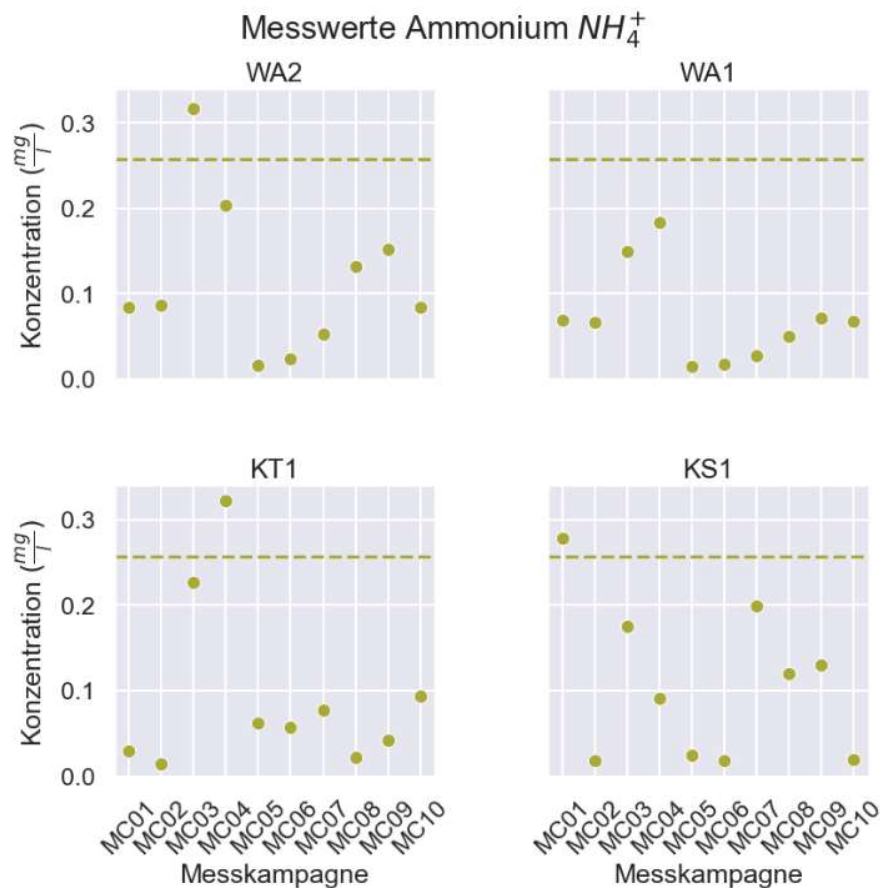


Abbildung 3.11: Messwerte im Untersuchungszeitraum für Ammonium über die einzelnen Messkampagnen in den jeweiligen Transekten; WA1, WA2, KT1 und KS1 Transekte (siehe Abbildung 2.1); MC01 - MC10 (siehe Tabelle 3.1). Zur Orientierung zeigt die gestrichelte Linie die nach Oberflächengewässerverordnung Anhang 7 (*Anlage 7 OGewV - Einzelnorm*, o. J.) maximal zulässige Jahresmittelwertkonzentration von Ammonium für einen guten ökologischen Zustand sowie Potential. Eine genauere Erläuterung erfolgt in Kapitel 4.3.

Die Messwerte für Nitrit (NO_2^-) sind in Abbildung 3.12 dargestellt. Für alle Transekten wurden

Messwerte unter $0,10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ festgestellt, mit Ausnahme der Messkampagne MC04 in Transekt KT1 mit $0,201 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. In den Transekten WA2, WA1 sowie KT1 stiegen zu Beginn der Untersuchungen bis MC04 die Konzentrationen an und ab MC05 kam es zu einem Rückgang auf unter $0,05 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Für die Transekte KS1 wurden durchgehend Konzentrationen unter $0,025 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ beobachtet, mit Ausnahme der MC04 mit einer Konzentration von $0,06 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

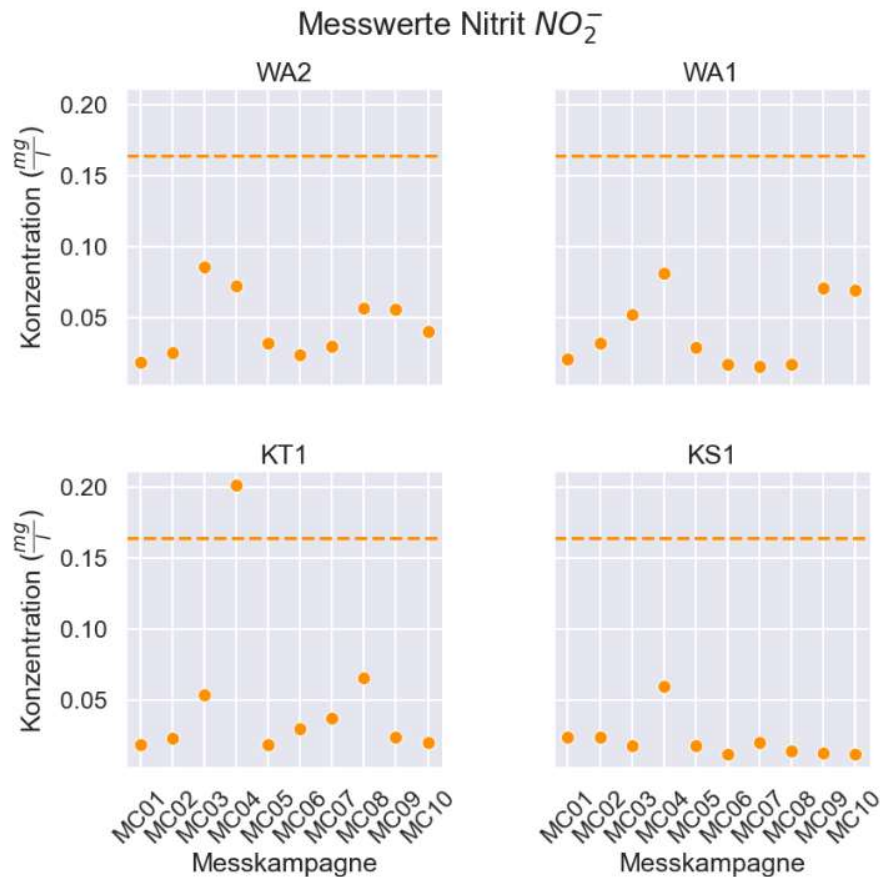


Abbildung 3.12: Messwerte im Untersuchungszeitraum für Nitrit über die einzelnen Messkampagnen in den jeweiligen Transekten; WA1, WA2, KT1 und KS1 Transekte (siehe Abbildung 2.1); MC01 - MC10 (siehe Tabelle 3.1). Zur Orientierung zeigt die gestrichelte Linie die nach Oberflächengewässerverordnung Anhang 7 (*Anlage 7 OGewV - Einzelnorm*, o. J.) maximal zulässige Jahresmittelwertkonzentration von Nitrit für einen guten ökologischen Zustand sowie Potential. Eine genauere Erläuterung erfolgt in Kapitel 4.3.

Die Messwerte für Nitrat (NO_3^-) sind in Abbildung 3.13 dargestellt. Zu Beginn der Untersuchungen bis einschließlich MC04 wiesen die Transekte WA2 und WA1 Schwankungen in den Nitratkonzentrationen auf, mit Maximalwerten von jeweils $1,04 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ und $1,15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Für die Transekte KT1 und KS1 ließ sich keine Streuung über einen Wert von $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ zu Beginn der Untersuchungen beobachten und die Konzentrationen verblieben über den gesamten Untersuchungszeitraum unter diesem Wert mit Ausnahme von einem Ausreißer für KT1 bei MC04 von $1,19 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

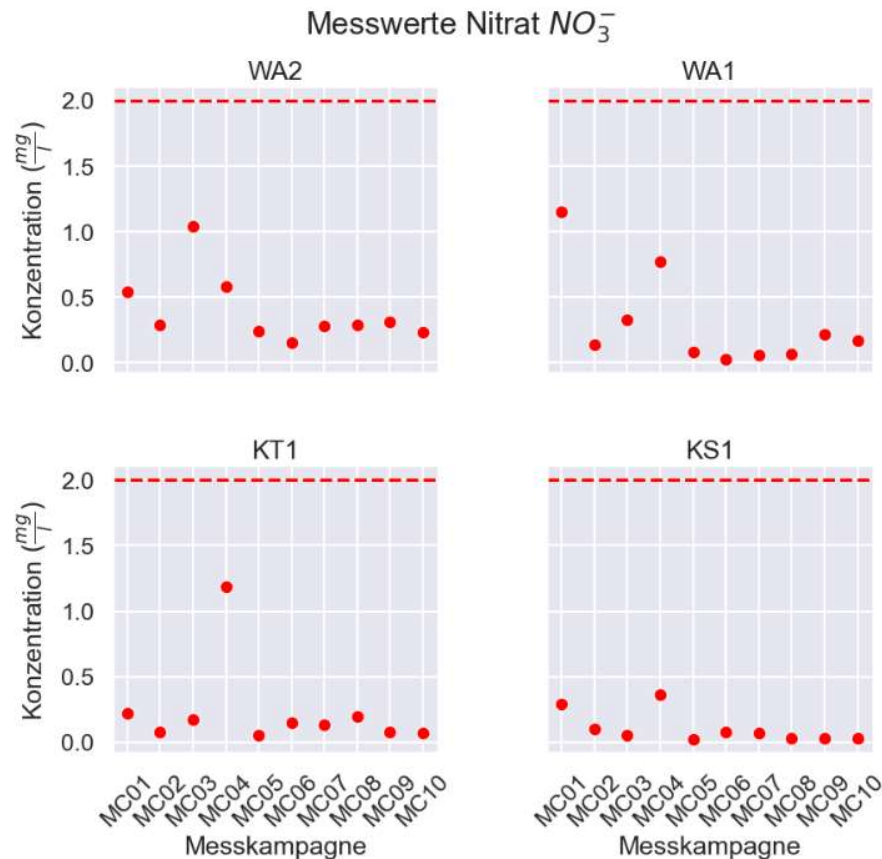


Abbildung 3.13: Messwerte im Untersuchungszeitraum für Nitrat über die einzelnen Messkampagnen in den jeweiligen Transekten; WA1, WA2, KT1 und KS1 Transekte (siehe Abbildung 2.1); MC01 - MC10 (siehe Tabelle 3.1). Zur Orientierung ist die Nitratkonzentration der kleinsten Gruppe aus dem Nitratbericht 2020 (BMEL & BMU, 2020) als gestrichelte Linie eingetragen. Eine genauere Erläuterung erfolgt in Kapitel 4.3.

Die Messwerte für Ortho-Phosphat (PO_4^{3-}) sind in Abbildung 3.14 dargestellt. Für die Transekten

WA2, KT1 sowie KS1 lagen die Konzentrationen im Untersuchungszeitraum unter $1,00 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ mit Ausnahme von Ausreißern für WA2 an MC03 mit $1,02 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, KT1 an MC06 mit $2,99 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, KS1 an MC06 mit $1,91 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Für WA2 stiegen die beobachteten Konzentrationen im Verlauf der Untersuchungen im Mittel an, zu MC09 lag die Konzentration einmal mit $1,02 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ über $1,00 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

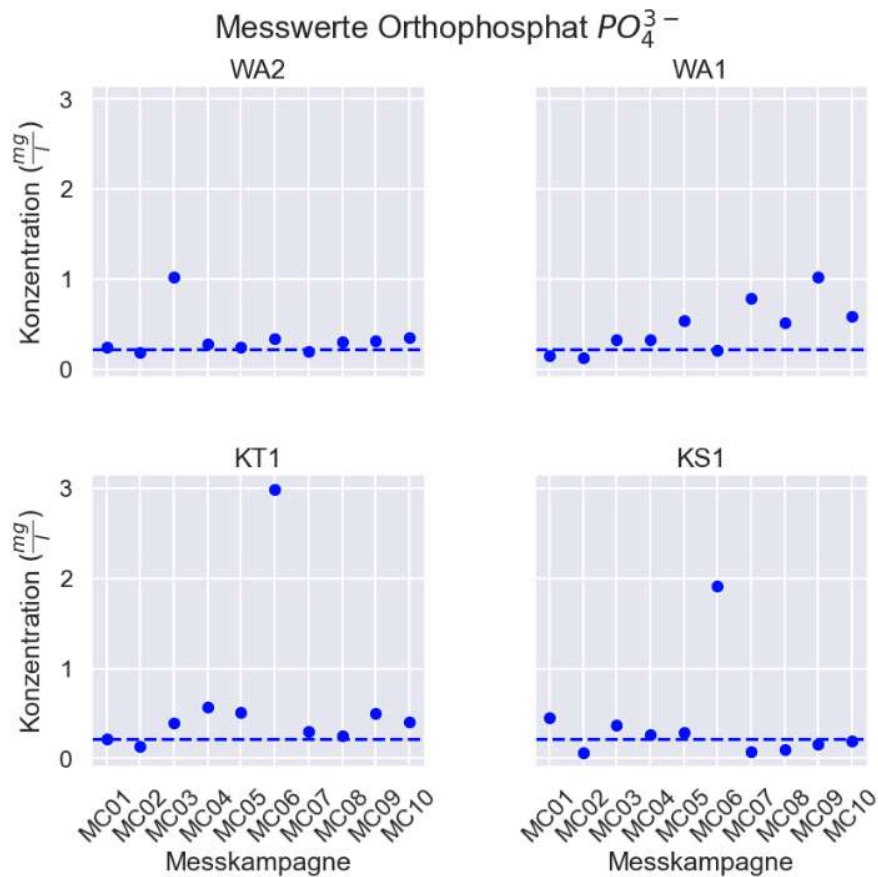


Abbildung 3.14: Messwerte im Untersuchungszeitraum für Ortho-Phosphat über die einzelnen Messkampagnen in den jeweiligen Transekten; WA1, WA2, KT1 und KS1 Transekte (siehe Abbildung 2.1); MC01 - MC10 (siehe Tabelle 3.1). Zur Orientierung zeigt die gestrichelte Linie die nach Oberflächengewässerverordnung Anhang 7 (Anlage 7 OGeWV - Einzelnorm, o. J.) die maximal zulässige Jahresmittelwertkonzentration von Ortho-Phosphat für einen guten ökologischen Zustand sowie Potential. Eine genauere Erläuterung erfolgt in Kapitel 4.3.

3.2.3 Chlorophyll

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Messungen von Gesamt- wie auch Cyanochlorophyll mit Hilfe eines Fluorometers vorgenommen (Vergleiche Kapitel 2.4). Die Dreifachmessungen innerhalb der Transekten sind als Median zusammengefasst und in Abbildung 3.15 dargestellt. Auf eine Darstellung als Boxplot wurde auf Grund der geringen Anzahl an Wiederholungsmessungen verzichtet und ein Messwert mit einer Konzentration über $300 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ wurde als Ausreißer deklariert und aus der weiteren Darstellung ausgenommen.

Für die Transekten WA2, WA1 und KT1 zeigte sich zunächst bis einschließlich MC04 ein niedriger Verlauf sowohl der Gesamt- als auch Cyanochlorophyllkonzentration von unter $20 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$.

Bei Betrachtung von WA2 kam es anschließend zu einem Anstieg insbesondere der Gesamtchlorophyllkonzentrationen auf bis zu $46,6 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ bei MC09, während die Cyanochlorophyllkonzentrationen ein Maximum von $14,3 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ bei MC07 erreichten. Bei MC10 reduzierte sich die Gesamtchlorophyllkonzentration auf $6,0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, während Cyanochlorophyll bei $1,1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ lag.

Für WA1 ließ sich, wie bei WA2, zunächst ein Anstieg der Gesamtchlorophyllkonzentration auf $24,0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ bei MC06 beobachten, die für die folgenden zwei Messkampagnen auf das vorangegangene Niveau absanken. Anschließend wurde ein Peak für Gesamtchlorophyll von $53,9 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ bei MC09 festgestellt, nachdem die Konzentration wiederum auf das Anfangsniveau absank. Die Cyanochlorophyllkonzentration erreichte im Untersuchungszeitraum eine Maximalkonzentration von $13,8 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ bei MC09.

Für das Transekt KT1 wurde im Anschluss an die Anfangsphase ein kurzzeitiger Einbruch der Gesamtchlorophyllkonzentration von $16,0$ auf $5,5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ für den Übergang MC04 zu MC05 beobachtet. Anschließend stiegen sowohl Gesamt- als auch Cyanochlorophyllkonzentration an und zeigten ähnliche Tendenzen im Verlauf. Dies resultierte in einem Peak für Gesamt- und Cyanochlorophyll von jeweils $100,9 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ sowie $74,1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ bei MC07 und sank bis zum Ende des Untersuchungszeitraums auf $17,0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ und $9,0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ab.

Für KS1 zeigte sich zu Beginn der Untersuchungen bis MC04 kein klares Verhalten für Gesamtchlorophyll, das zwischen $4,9 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ und $27,4 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ schwankte. Die Cyanochlorophyllkonzentration verblieb in dieser Anfangsphase kontinuierlich unter $7,0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Bei MC05 kam es zu einem sprunghaften Anstieg sowohl für Gesamt- als auch Cyanochlorophyll auf jeweils $66,3 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ und $44,5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Ab da zeigten beide Konzentrationsverläufe ähnliche Tendenzen. Im Bereich von MC05 bis MC08 erreichten Gesamt- und Cyanochlorophyll Konzentrationen von bis zu jeweils $78,2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ und $48,2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Bei MC09 wurde die Maximalkonzentration für sowohl Gesamt- als auch Cyanochlorophyll von $122,2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ und $52,2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ im Untersuchungszeitraum beobachtet. Im Anschluss sank die Konzentration für beide Chlorophyllarten bei MC 10 auf unter $50,0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ab.

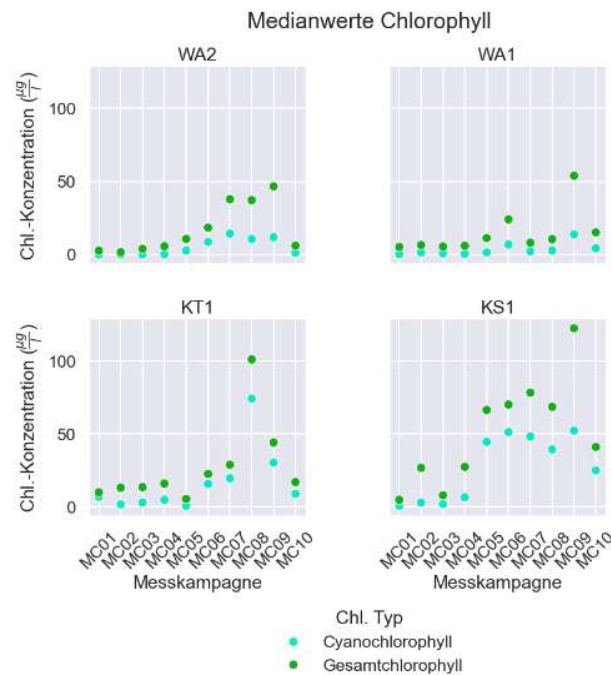


Abbildung 3.15: Messwerte von Chlorophyll über den Untersuchungszeitraum. Es wurden drei Messungen je Transekt und Messkampagne genommen und hier als Median dargestellt. Auf Grund der geringen Anzahl an Wiederholungsmessungen wurde auf eine Darstellung als Boxplot verzichtet. WA1, WA2, KT1 und KS1 Transekte (siehe Abbildung 2.1); MC01 - MC10 (siehe Tabelle 3.1)

In Abbildung 3.16 sind die Messwerte für Gesamt- und Cyanochlorophyll über den gesamten Untersuchungszeitraum aggregiert. Für WA2 und WA1 wurden im Median für Gesamtchlorophyll jeweils $5,7 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ und $8,4 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ und für Cyanochlorophyll $0,3 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ und $2,1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ beobachtet. Insbesondere für Gesamtchlorophyll lag bei WA2 eine hohe Streuung mit einem Interquartilabstand von $22,9 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ vor.

Für die Transekte KT1 ergaben sich im Median Gesamt- und Cyanochlorophyllkonzentration von $22,8 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ und $14,2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Hier wurden ebenfalls höhere Schwankungen für Gesamt- aber auch Cyanochlorophyll beobachtet im Vergleich mit WA1.

Für KS1 ergaben sich im Median Gesamt- und Cyanochlorophyllkonzentrationen von $59,5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ und $35,1 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ mit den insgesamt stärksten Streuungen aller Transekte.

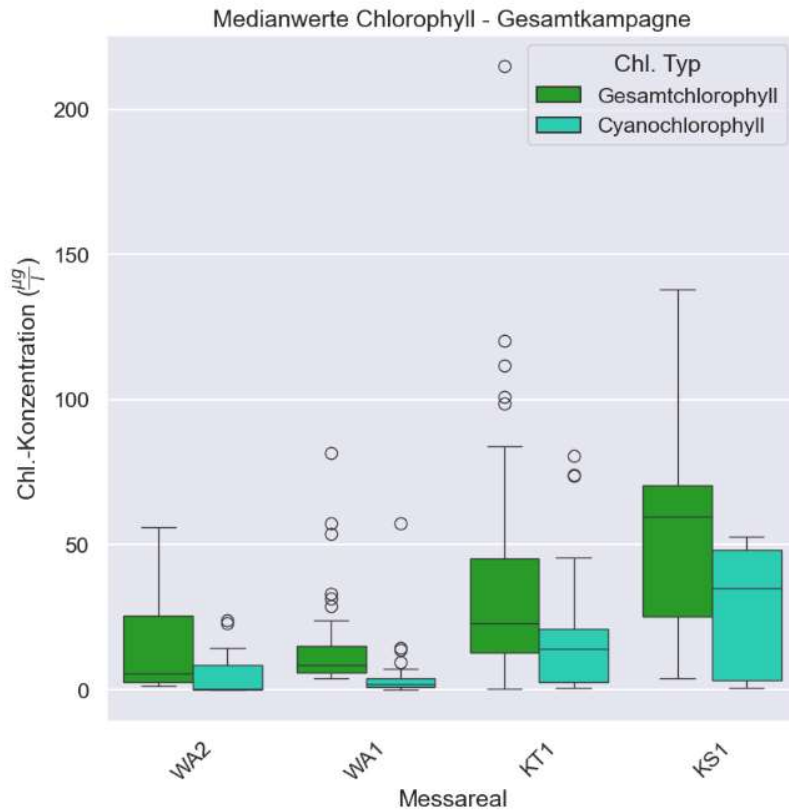


Abbildung 3.16: Zusammenfassung der Messwerte für Gesamt- und Cyanochlorophyll aus dem vollständigen Untersuchungszeitraum als Boxplot.

3.2.4 Makrophyten - Bedeckung

Im vorliegenden Kapitel wird die quantitative Abschätzung der submersen Makrophyten in den jeweiligen Transekte über den Untersuchungszeitraum dargestellt.

Für jedes Transekt ergibt sich eine eigene Darstellung, in der für jede Gruppe der Makrophyten (gemäß Kapitel 3.1.1) eine eigene Heatmap angelegt ist. Der Aufbau der Heatmap ist wie folgt (siehe auch Abbildung 3.17)

- y-Achse: Messkampagnen

- x-Ache: Messpunkte 1 - 4; dabei 1: Ufernähe bis 4: am weitesten vom Ufer entfernter Messpunkt
- Numerischer Wert + Farbskala: Bedeckungsgrad in numerischer Form gemäß Tabelle 2.4; dabei entsprechen die Werte 1: '+', 2: '1', 3: '2', 4: '3', 5: '4', 6: '5'

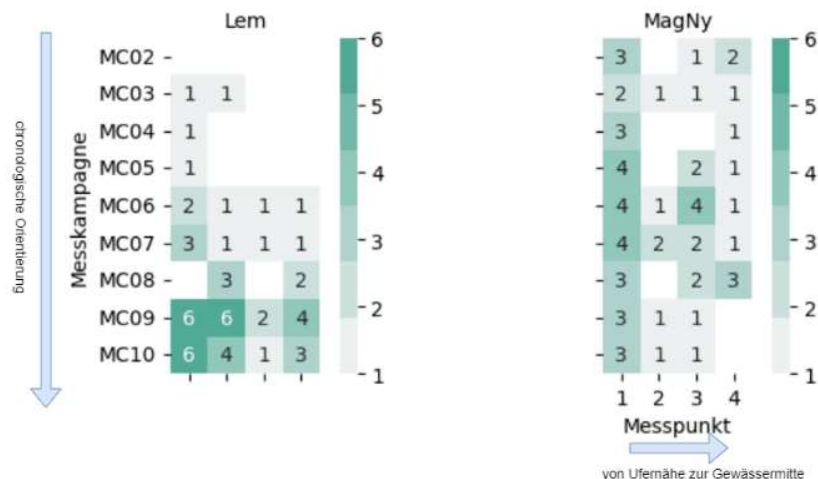


Abbildung 3.17: Beispieldarstellung zu angefertigten Heatmaps. Die chronologische Reihenfolge ist von oben nach unten, während die Messpunkte von Ufernähe (MP1) in Richtung Gewässermitte (MP4) verlaufen. Numerische Werte entsprechen den Bedeckungsgraden wie folgt: 1: '+', 2: '1', 3: '2', 4: '3', 5: '4', 6: '5'

Folgend werden die einzelnen Transekte in der Reihenfolge WA2, WA1, KT1 und KS1 behandelt (Vergleiche Abbildung 2.1).

In Abbildung 3.18 ist die Entwicklung der submersen Makrophyten über den Untersuchungszeitraum für das Transekt WA2 dargestellt.

Ceratophylliden (Cer), Vertreter der Hornkräuter, traten fast vollständig über alle Messkampagnen auf. Sie wurden nicht in unmittelbarer Ufernähe festgestellt sondern insbesondere an MP2 sowie zu einzelnen Messkampagnen an den Punkten MP3 und MP4. Im Vergleich zu anderen submersen Makrophyten ist die Präsenz innerhalb des untersuchten Transekts nur mit geringer Ausprägung festgestellt worden, den Intensitäten '+' und 1 nach Braun-Blanquet.

Elodeiden (Elo), Vertreter der Wasserpest, wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum vereinzelt und über die Messpunkte verstreut festgestellt. Die Intensität der Bedeckungsgrade lag bei den Einzelfunden ebenfalls im niedrigen Bereich zwischen '+' sowie 1 nach Braun-Blanquet.

Fadenalgen (FA) wurden einmal direkt zu Beginn des Untersuchungszeitraums an MC02 festgestellt und traten dann erst wieder ab MC08 auf, ab dann mit hohen Bedeckungsgraden von 4 und 5 nach Braun-Blanquet.

Hydrocharis (Hydro), der Froschbiss, wurde in den letzten 3 Messkampagnen in Ufernähe an MP1 in geringer Ausprägung mit den Bedeckungsgraden ‘+’ und 1 nach Braun-Blanquet festgestellt.

Lemniden (Lem), Vertreter der Wasserlinsen, wurden zu allen Messkampagnen außer MC02 festgestellt. Während diese in der ersten Hälfte der Messkampagnen in Ufernähe beobachtet wurden, verteilte sich die Präsenz in der zweiten Hälfte über alle Messpunkte und die Intensität nahm auf einen Bedeckungsgrad bis zu 5 nach Braun-Blanquet zu.

Magnonymphaeiden (MagNy), Vertreter der Teich- und Seerosen, wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum festgestellt und fanden sich mit erhöhten Bedeckungsgraden von bis zu 3 nach Braun-Blanquet insbesondere in Ufernähe, während sie an den Messpunkten MP2 bis MP4 in der Regel vereinzelt beobachtet wurden.

Magnopotamiden (MagPot), Vertreter der großblättrigen Laichkräuter, konnten über den kompletten Untersuchungszeitraum im Transekt festgestellt werden. In Ufernähe wurden die Pflanzen lediglich an einzelnen Messkampagnen und vereinzelt beobachtet, während ein massives Auftreten mit einem Bedeckungsgrad bis zu 5 nach Braun-Blanquet insbesondere an den Messpunkten MP2 und MP4 festgestellt wurden. An MP3 waren die Pflanzen ebenfalls fast durchgängig präsent, aber maximal mit einem Bedeckungsgrad von bis zu 3 nach Braun-Blanquet.

Parvopotamiden (ParPot), Vertreter der kleinblättrigen Laichkräuter, konnten über den kompletten Untersuchungszeitraum im Transekt festgestellt werden. Hierbei wurden sie insbesondere an den Messpunkten MP2 bis MP4 fast durchgängig beobachtet, während in Ufernähe nicht zu jeder Messkampagne ein Auftreten festgestellt wurde. Die Bedeckungsgrade wurden mit einer Ausnahme zu Messkampagne MC08 mit einer Bedeckung von 4 nach Braun-Blanquet mit niedrigen Intensitäten von überwiegend ‘+’ bis 1 festgestellt.

Vallisneriden (Valis), Vertreter von Pflanzen mit lang flutenden Blättern, konnten innerhalb des Transekts nicht festgestellt werden.

Bei der südlich der Eisenbahnbrücke und Nähe Nienmarker Landgraben gelegenen Transekte zeigten sich somit zusammenfassend dominierende Präsenzen von Magnonymphaeiden (Teich- und Seerosen) sowie Magnopotamiden (großblättrigen Laichkräutern) über den gesamten Untersuchungszeitraum und Fadenalgen sowie Lemniden gegen Ende der Untersuchungen. Zusätzlich wurde ein vereinzelt aber kontinuierliches Auftreten der Parvopotamiden (kleinblättrigen Laichkräuter) festgestellt.

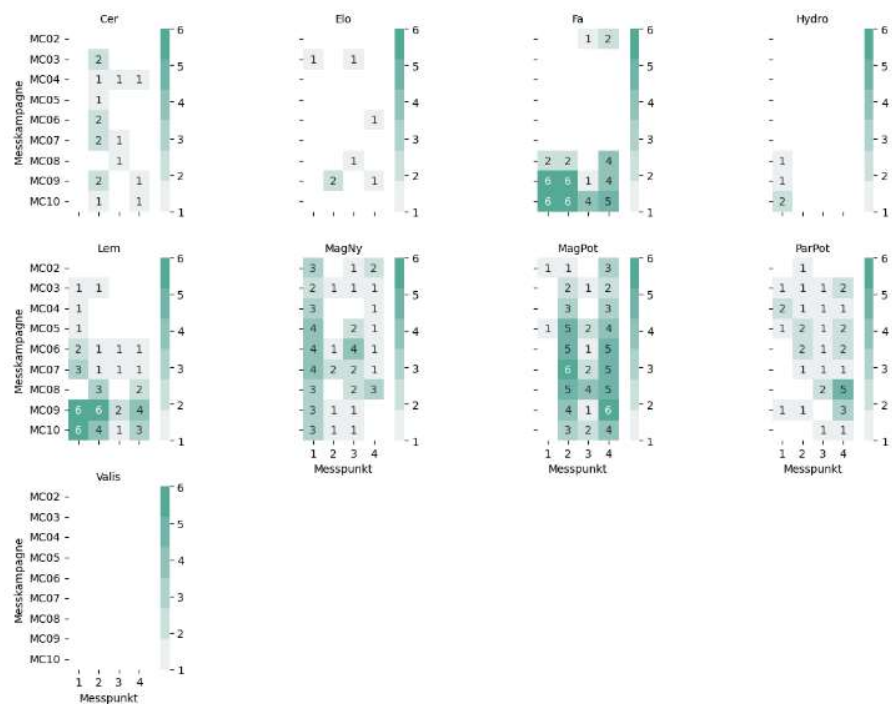


Abbildung 3.18: Transekte WA2 - Heatmaps zur Darstellung des Bedeckungsgrads verschiedener Makrophyten-Gruppen (Cer, Elo, Fa, Hydro, Lem, MagNy, MagPot, ParPot, Valis) entlang von Messkampagnen (MC02 bis MC10) und Messpunkten (MP1 bis MP4). Numerische Werte entsprechen den Bedeckungsgraden wie folgt: 1: '+', 2: 1, 3: 2, 4: 3, 5: 4, 6: 5.

In Abbildung 3.19 ist die Entwicklung der submersen Makrophyten über den Untersuchungszeitraum für das Transekt WA1 dargestellt.

Ceratophylliden (Cer), Vertreter der Hornkräuter, wurden über alle Messkampagnen und alle bis auf einen Messpunkt, MC02 und MP2, festgestellt. Die Ceratophyden traten fast durchgängig mit mittleren bis hohen Bedeckungsgraden von 3 bis maximal 5 nach Braun-Blanquet auf.

Elodeiden (Elo), Vertreter der Wasserpest, waren durchgängig über alle Messkampagnen und an allen Messpunkten vertreten. Die Bedeckungsgrade lagen im mittlerem bis hohem Bereich nach Braun-Blanquet und stiegen im Untersuchungszeitraum tendenziell von '+' bis 1 auf überwiegend 3 bis 4 nach Braun-Blanquet an.

Fadenalgen (FA) wurden durchgängig über den gesamten Untersuchungszeitraum und an allen Messpunkten, mit Einer Ausnahme von MP3 zu MC04, gefunden. Dabei wurde beobachtet, dass

die Fadenalgen die vorhandene Vegetation überlagern. Die Bedeckungsgrade lagen überwiegend bei 5 nach Braun-Blanquet.

Hydrocharis (Hydro), der Froschbiss, konnte zu einem Zeitpunkt in der letzten Messkampagne in Ufernähe festgestellt werden.

Lemniden (Lem), Vertreter der Wasserlinsen, traten zu Beginn des Untersuchungszeitraums vereinzelt im Transekt auf. Ab MC07 traten sie an allen Messpunkten auf, lediglich in MC08 an MP3 konnten keine festgestellt werden. Die Vertreter der Wasserlinsen nahmen insbesondere in Ufernähe, den Messpunkten MP1 und MP2, im Bedeckungsgrad zu und traten mit 2 bis 4 nach Braun-Blanquet auf.

Magnonymphaeiden (MagNy), Vertreter der Teich- und Seerosen, traten durchgängig während des Untersuchungszeitraums am MP1 auf. Die Bedeckungsgrade lagen überwiegend zwischen 1 und 2 nach Braun-Blanquet. An anderen Messpunkten konnte diese Gruppe der submersen Makrophyten nicht festgestellt werden.

Magnopotamiden (MagPot), Vertreter der großblättrigen Laichkräuter, konnten im Transekt nicht festgestellt werden.

Parvopotamiden (ParPot), Vertreter der kleinblättrigen Laichkräuter, konnten nur als Einzelfund zur Messkampagne MC06 an MP1 festgestellt werden.

Vallisneriden (Valis), Vertreter von Pflanzen mit lang flutenden Blättern, konnten nur als Einzelfunde an den Messkampagnen MC06 und MC10 an MP1 festgestellt werden.

Bei der nördlich der Eisenbahnbrücke am Spieringshorst gelegenen Transekte zeigte sich somit eine starke Dominanz von Vertretern der Elodeiden (Wasserpest) sowie Ceratophylliden (Hornkräuter) und Fadenalgen. Zusätzlich wurden in Ufernähe Magnonymphaeiden (Teich- und Seerosen) festgestellt.

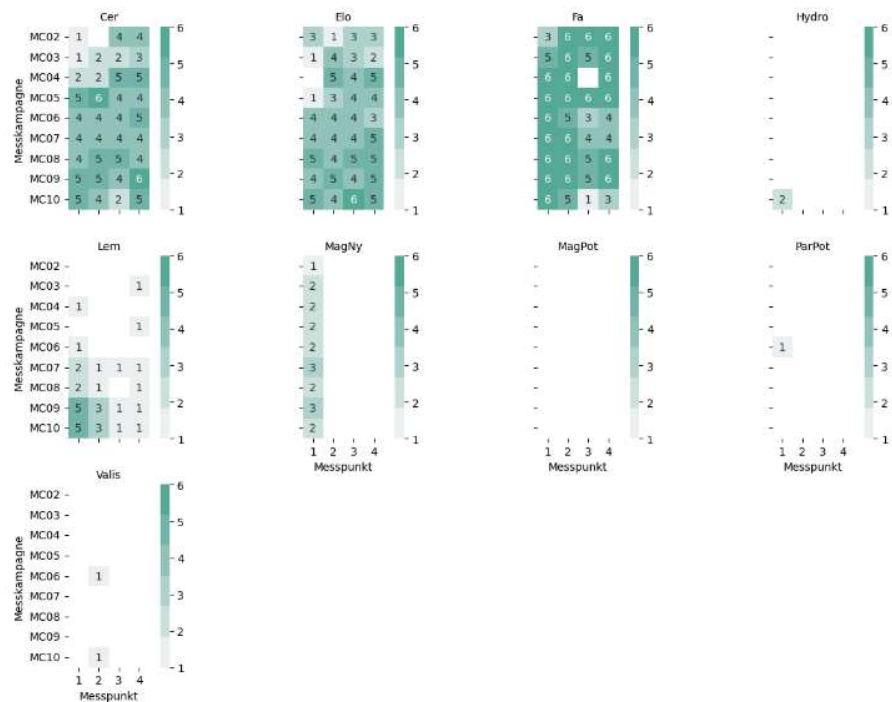


Abbildung 3.19: Transekte WA1 - Heatmaps zur Darstellung des Bedeckungsgrads verschiedener Makrophyten-Gruppen (Cer, Elo, Fa, Hydro, Lem, MagNy, MagPot, ParPot, Valis) entlang von Messkampagnen (MC02 bis MC10) und Messpunkten (MP1 bis MP4). Numerische Werte entsprechen den Bedeckungsgraden wie folgt: 1: '+', 2: 1, 3: 2, 4: 3, 5: 4, 6: 5.

In Abbildung 3.20 ist die Entwicklung der submersen Makrophyten über den Untersuchungszeitraum für das Transekt KT1 dargestellt.

Ceratophylliden (Cer), Vertreter der Hornkräuter, wurden lediglich als Einzelfunde im Untersuchungszeitraum festgestellt und dies insbesondere an MP3.

Elodeiden (Elo), Vertreter der Wasserpest, wurden in der ersten Hälfte der Messkampagnen als Einzelfunde am MP3 festgestellt. Ab MC07 wurden sie wiederholt an MP1 in den Bedeckungsgraden 1 bis 2 nach Braun Blanquet festgestellt.

Fadenalgen (FA) wurden im Untersuchungszeitraum innerhalb des untersuchten Transekts nicht festgestellt.

Hydrocharis (Hydro), der Froschbiss, wurde einmalig als Einzelfund bei der Messkampagne MC04 an MP1 beobachtet.

Lemniden (Lem), Vertreter der Wasserlinsen, traten im Rahmen der Messkampagnen vereinzelt mit Bedeckungsgraden zwischen '+' und 1 an MP1 auf.

Mangnonymphaeiden (MagNy), Vertreter der Teich- und Seerosen, wurden im untersuchten Transekt nicht festgestellt.

Magnopotamiden (MagPot), Vertreter der großblättrigen Laichkräuter, wurden im untersuchten Transekt nicht festgestellt.

Parvopotamiden (ParPot), Vertreter der kleinblättrigen Laichkräuter, wurden bis zur Messkampagne MC04 mit einem Bedeckungsgrad von 5 nach Braun-Blanquet an MP1 festgestellt. In MC5 ging der Bedeckungsgrad auf 4 zurück und bei den folgenden Messkampagnen konnte diese Gruppe der submersen Makrophyten nicht mehr beobachtet werden.

Vallisneriden (Valis), Vertreter von Pflanzen mit lang flutenden Blättern, wurden im untersuchten Transekt nicht festgestellt.

Zusammenfassend lässt sich für die im Krähenteich befindlichen Transekte feststellen, dass zu Beginn der Untersuchungen an einem Messpunkte eine starke Präsenz von Parvopotamiden (Kleinblättrigen Laichkräutern) festgestellt wurde. Für die verbleibenden Messpunkte und Messkampagnen ließen sich lediglich Einzelfunde oder niedrige Präsenzen von Vertretern der Elodeiden (Wasserpest), Ceratophyliden (Hornkräuter) oder Lemniden (Wasserlinsen) beobachten. Als qualitativer Hinweis beobachtete das Team, dass die Verhältnisse am Krähenteich sehr heterogen waren. Während innerhalb der Transekte teils wenig bis kein Wachstum beobachtet wurde, zeigte sich in unmittelbarer Nähe, wie auch dem gegenüberliegenden Ufer, das als Einstieg diente, teils starkes Wachstum von submersen Makrophyten (vergleiche Abbildung [3.21](#)).

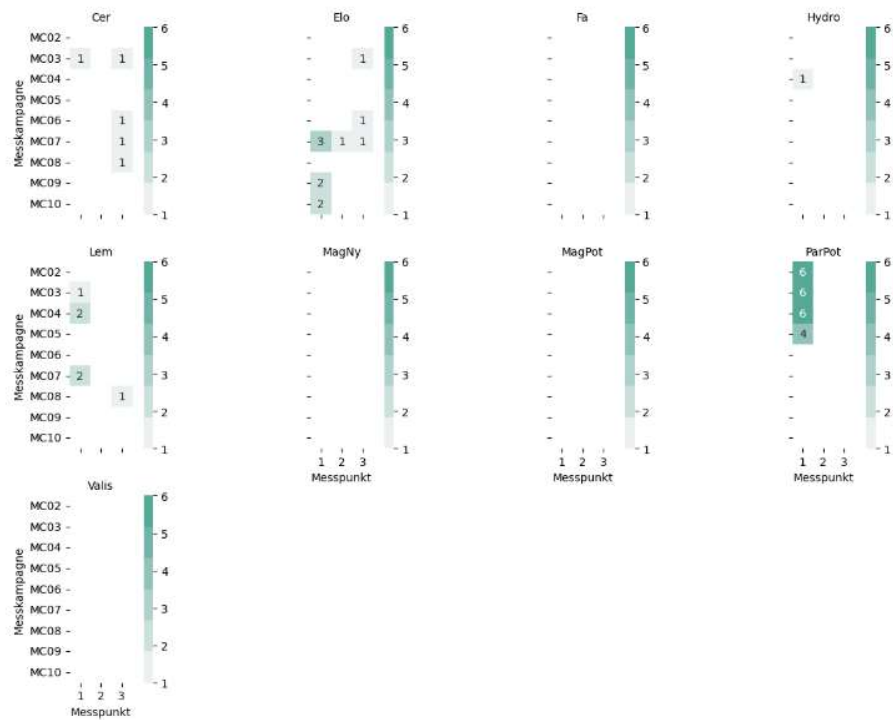


Abbildung 3.20: Transekte KT1 - Heatmaps zur Darstellung des Bedeckungsgrads verschiedener Makrophyten-Gruppen (Cer, Elo, Fa, Hydro, Lem, MagNy, MagPot, ParPot, Valis) entlang von Messkampagnen (MC02 bis MC10) und Messpunkten (MP1 bis MP4). Numerische Werte entsprechen den Bedeckungsgraden wie folgt: 1: '+', 2: 1, 3: 2, 4: 3, 5: 4, 6: 5.



Abbildung 3.21: Eindrücke an der Einstiegsstelle zur Untersuchung der Transekte am Krähenteich.

In Abbildung 3.22 ist die Entwicklung der submersen Makrophyten über den Untersuchungszeitraum für das Transekt KS1 dargestellt.

Ceratophylliden (Cer), Vertreter der Hornkräuter, traten im Untersuchungszeitraum wiederholt als Einzelfunde und einmalig mit geringem Bedeckungsgrad von 1 nach Braun Blanquet vorwiegend an MP1 auf.

Elodeiden (Elo), Vertreter der Wasserpest, wurden als Einzelfund und mit geringem Bedeckungsgrad von 1 nach Braun Blanquet an zwei Messkampagnen festgestellt.

Fadenalgen (FA) wurden nur einmalig als Einzelfund festgestellt werden.

Hydrocharis (Hydro), der Froschbiss, wurde im untersuchten Transekt nicht festgestellt.

Lemniden (Lem), Vertreter der Wasserlinsen, traten durchgängig über alle Messkampagnen im Transekt als Einzelfunde oder mit niedrigem Bedeckungsgrad von 1 nach Braun-Blanquet auf. Das Vorkommen beschränkte sich hierbei auf die Ufernähe bei MP1 sowie MP2.

Mangnonympheiden (MagNy), Vertreter der Teich- und Seerosen, wurden über alle Messkampagnen für die Messpunkte MP1 und MP2 beobachtet. Diese Gruppe der submersen Makrophyten trat mit deutlichen Bedeckungsgraden insbesondere in Ufernähe mit einem überwiegenden Grad von 5 nach Braun-Blanquet auf, während in MP2 überwiegend Bedeckungsgrad 3 festgestellt wurde.

Magnopotamiden (MagPot), Vertreter der großblättrigen Laichkräuter, wurden im untersuchten Transekt nicht festgestellt.

Parvopotamiden (ParPot), Vertreter der kleinblättrigen Laichkräuter, wurden lediglich als Einzelfunden an zwei Messkampagnen in einzelnen Messpunkten beobachtet.

Vallisneriden (Valis), Vertreter von Pflanzen mit lang flutenden Blättern, wurden im untersuchten Transekt nicht festgestellt.

Für die im Kleinen See gelegene Transekte lässt sich zusammenfassen, dass für die ersten beiden Messpunkte eine deutliche Präsenz von Magnonymphaeiden (Teich- und Seerosen) vorherrschte. Als vorwiegend Einzelfunde wurden im Untersuchungszeitraum außerdem Ceratophylliden (Hornkräuter), Elodeiden (Wasserpest), Parvopotamiden (Kleinblättrige Laichkräuter) sowie Lemniden (Wasserlinsen) festgestellt.

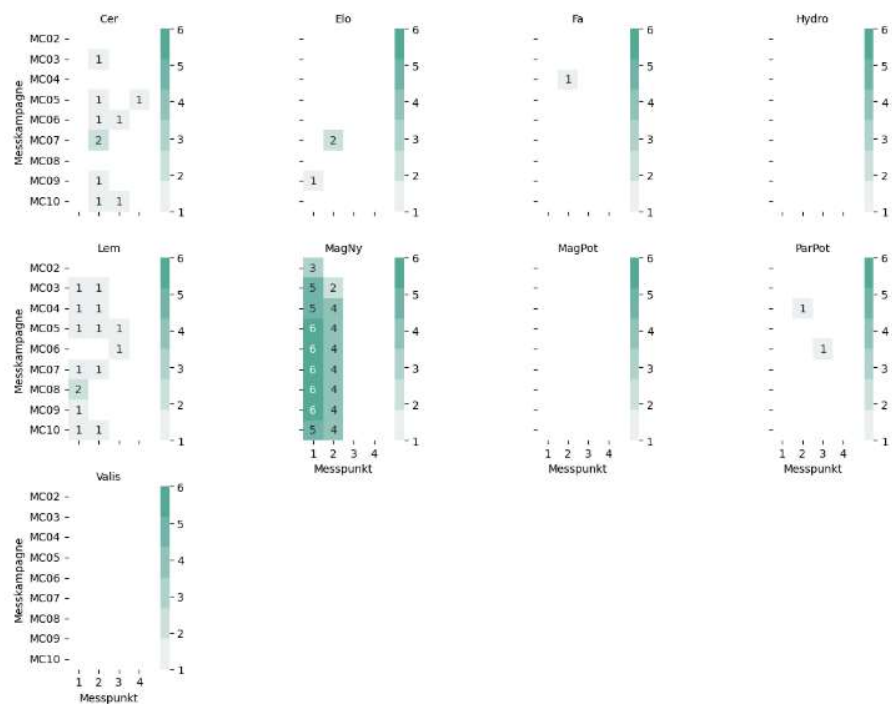


Abbildung 3.22: Transekte KS1 - Heatmaps zur Darstellung des Bedeckungsgrads verschiedener Makrophyten-Gruppen (Cer, Elo, Fa, Hydro, Lem, MagNy, MagPot, ParPot, Valis) entlang von Messkampagnen (MC02 bis MC10) und Messpunkten (MP1 bis MP4). Numerische Werte entsprechen den Bedeckungsgraden wie folgt: 1: '+', 2: 1, 3: 2, 4: 3, 5: 4, 6: 5.

3.2.5 Makrophyten - physikalische Eigenschaften

Im Folgenden werden die physikalischen Eigenschaften einzelner gesammelter Makrophytenproben behandelt, die folgendes umfassen

- Trockensubstanz
- Länge
- Breite

Boxplots stellen die Verteilung der Daten anhand Medianwert, Interquartilabstand (IQD) sowie Ausreißern dar.

In Abbildung 3.23 sind die zusammengefassten Messwerte für die Trockenmasse der sechs Makrophyten-Gruppen (Elo, Cer, MagNy, ParPot, MagPot und Hydro, nach Kapitel 3.1.1) dargestellt.

Für die Allgemeinen Merkmale lässt sich festhalten

Elodeiden (Elo), die Vertreter der Wasserpest, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 0,13 g
- die Verteilung zeigte eine geringe Streuung bei einem IQD von 0,15 g

Ceratophylliden (Cer), die Vertreter der Hornkräuter, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 0,75 g.
- die Verteilung zeigte mit einem IQD von 1,36 g eine, für die dargestellten Gruppen, vergleichsweise mittlere Streuung

Magnonpymphaeiden (MagNy), Vertreter der Teich- und Seerosen, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 2,83 g
- die Verteilung zeigte unter den dargestellten Gruppen die höchste Streuung mit einem IQD von 2,26 g

Parvopotamiden (ParPot), Vertreter der kleinblättrigen Laichkräuter, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 0,45 g
- die Gruppe zeigte eine mittlere Streuung mit einem IQD von 0,60 g

Magnopotamiden (MagPot), Vertreter der großblättrigen Laichkräuter, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 3,10 g
- die Streuung war, nach der Gruppe der MagNy, die höchste mit einem IQD von 2,26 g

Hydrocharis (Hydro), der Froschbiss, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 0,62 g

- die Streuung lag im mittleren Bereich mit einem IQD von 0,65 g

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Gruppen MagNy und MagPot die größten Verteilungen und Medianwerte aufwiesen, während Elo und Hydro die geringsten Trockenmassen und die engsten Verteilungen zeigten.

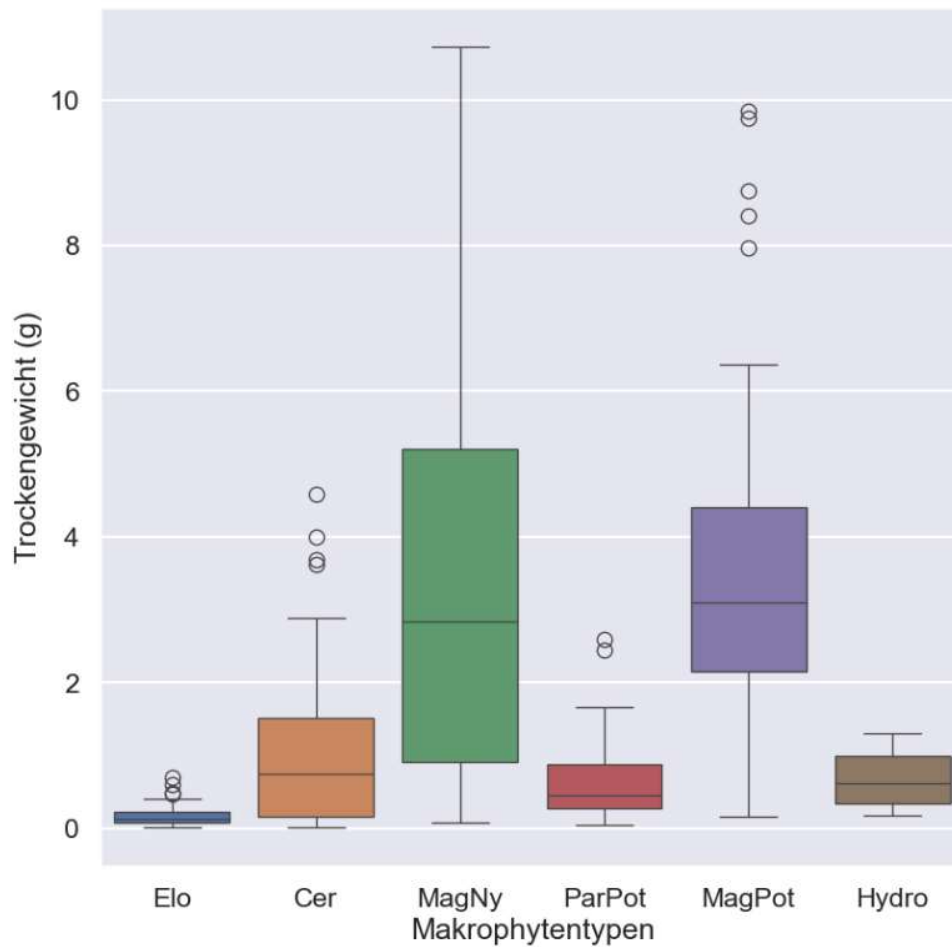


Abbildung 3.23: Boxplot-Darstellung der Trockenmasse für die Makrophyten-Gruppen (Elo, Cer, MagNy, ParPot, MagPot, Hydro). Die Darstellung umfasst den Median sowie Interquartilabstand (IQD) und Ausreißer (als Punkte markiert).

Tabelle 3.5: Lagemaße zu den untersuchten physikalischen Parametern, hier Trockenmasse, der Makrophytengruppen

Gruppe	$\tilde{x}_{TG}(g)$	$Q_{TG,0,25}(g)$	$Q_{TG,0,75}(g)$	$IQD_{TG}(g)$
Cer	0,75	0,15	1,52	1,36
Elo	0,13	0,08	0,23	0,15
Hydro	0,62	0,34	0,98	0,65
MagNy	2,83	0,92	5,21	4,29
MagPot	3,10	2,15	4,41	2,26
ParPot	0,45	0,27	0,87	0,60

Im Folgenden sind die Werte zur Länge der untersuchten Makrophytengruppen beschrieben wie sie in Abbildung 3.24 und Tabelle 3.6 dargestellt sind.

Elodeiden (Elo), die Vertreter der Wasserpest, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 32 *cm*
- die Verteilung zeigte eine moderate Streuung, mit einem IQD von 28 *cm*

Ceratophyliden (Cer), die Vertreter der Hornkräuter, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 58 *cm*
- die Verteilung zeigte eine größere Streuung, mit einem IQD von 63 *cm*

Magnonymphaeiden (MagNy), Vertreter der Teich- und Seerosen, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 62 *cm*
- die Verteilung zeigte die größte Streuung mit einem IQD von 98 *cm*

Parvopotamiden (ParPot), Vertreter der kleinblättrigen Laichkräuter, zeigten folgende Eigenschaften - der Median lag bei 66 *cm* - die Gruppe zeigte eine moderate Streuung mit einem IQD von 78 *cm*

Magnopotamiden (MagPot), Vertreter der großblättrigen Laichkräuter, zeigten folgende Eigenschaften - der Median lag bei 192 *cm* - die Gruppe zeigte eine moderate Streuung, mit einem IQD von 55 *cm*

Hydrocharis (Hydro), der Froschbiss, weist folgende Eigenschaften auf - der Median lag bei 42 *cm* - Die Streuung lag im Bereich eines engen IQD von 18 *cm*

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Gruppe der Magnopotamiden die längsten gefundenen Vertreter darstellten, gefolgt von Ceratophyliden, Magnonymphaeiden und

Parvopotamiden. Für die zuvor genannten Gruppen zeigen sich auch die größten Streuungen um den Median.

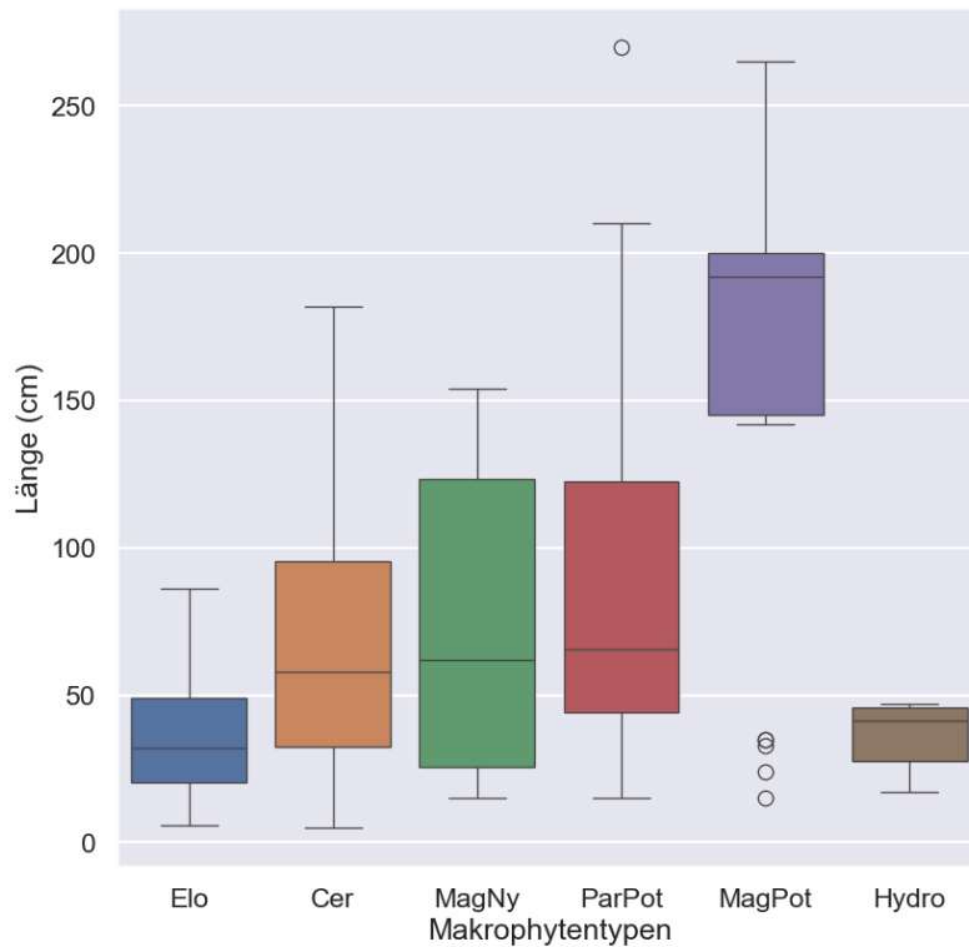


Abbildung 3.24: Boxplot-Darstellung der Längenmaße für die Makrophyten-Gruppen (Elo, Cer, MagNy, ParPot, MagPot, Hydro). Die Darstellung umfasst den Median sowie Interquartilabstand (IQD) und Ausreißer (als Punkte markiert).

Tabelle 3.6: Lagemaße zu den untersuchten physikalischen Parametern, hier Länge, der Makrophytengruppen

Gruppe	$\tilde{x}_L(cm)$	$Q_{L,0,25}(cm)$	$Q_{L,0,75}(cm)$	$IQD_L(cm)$
Cer	58	32	96	63
Elo	32	20	49	28
Hydro	42	28	46	18
MagNy	62	26	124	98
MagPot	192	145	200	55
ParPot	66	44	122	78

Im Folgenden sind die Werte zur Breite der untersuchten Makrophytengruppen beschrieben wie sie in Abbildung 3.25 und Tabelle 3.7 dargestellt sind.

Elodeiden (Elo), die Vertreter der Wasserpest, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 6 *cm*
- die Streuung lag im Vergleich in einem niedrigen Bereich, mit einem IQD von 6 *cm*

Ceratophyliden (Cer), die Vertreter der Hornkräuter, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 15 *cm*.
- die Verteilung zeigte eine hohe Streuung mit einem IQD von 18 *cm*

Magnonymphaeiden (MagNy), Vertreter der Teich- und Seerosen, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 22 *cm*
- die Verteilung zeigte eine geringe Streuung mit einem IQD von 8 *cm*

Parvopotamiden (ParPot), Vertreter der kleinblättrigen Laichkräuter, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 16 *cm*
- die Gruppe zeigte eine hohe Streuung mit einem IQD von 17 *cm*

Magnopotamiden (MagPot), Vertreter der großblättrigen Laichkräuter, zeigten folgende Eigenschaften

- der Median lag bei 35 *cm*
- die Streuung war im Vergleich der Gruppen die größte, mit einem IQD von 22 *cm*

Hydrocharis (Hydro), der Froschbiss, weist folgende Eigenschaften auf

- der Median lag bei 16 *cm*
- zeigte eine mittlere Streuung mit einem IQD von 17 *cm*

Zusammenfassend lässt sich gemäß der Breite festhalten, dass die Gruppe der Magnopotamiden die Gruppe mit der größten Abmessung darstellte, gefolgt von Ceratophyliden, Magnonymphaeiden, Parvopotamiden und Hydrocharis. Insbesondere bei Magnopotamiden, Ceratophyliden und Parvopotamiden ließen sich die größten Streuungen mit Bezug zur Breite feststellen.

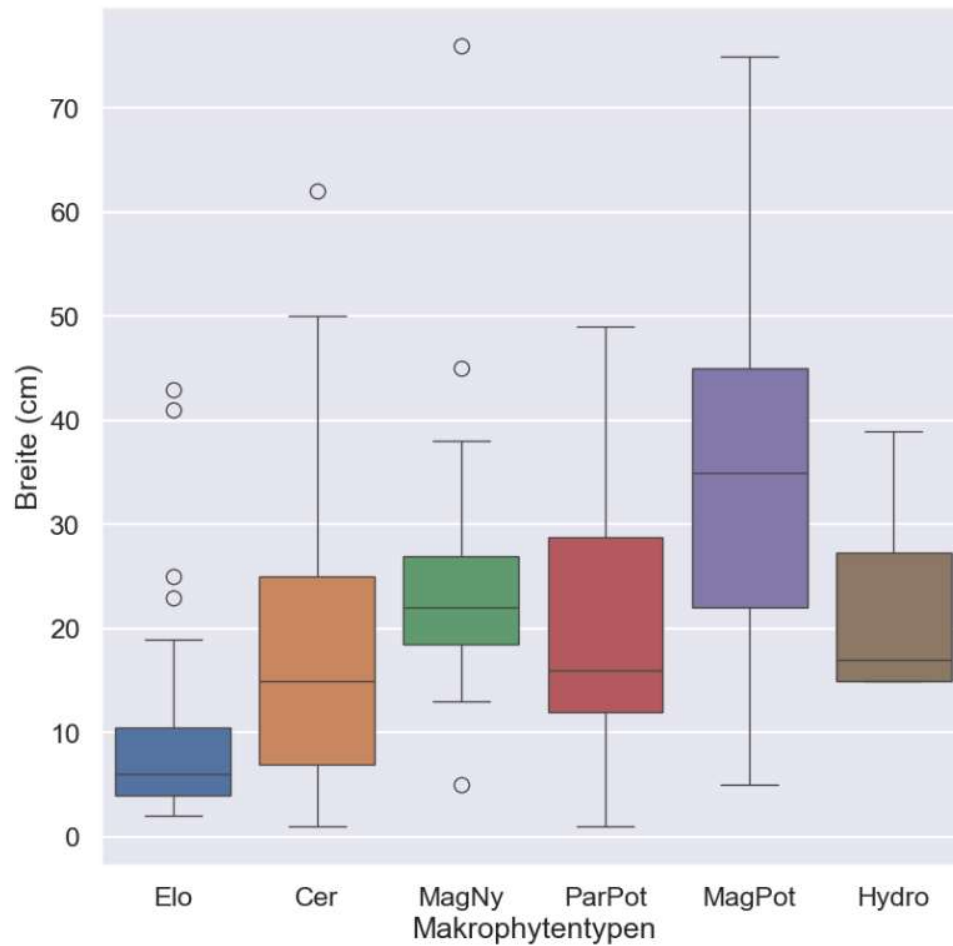


Abbildung 3.25: Boxplot-Darstellung der Breitenmaße für die Makrophyten-Gruppen (Elo, Cer, MagNy, ParPot, MagPot, Hydro). Die Darstellung umfasst den Median sowie Interquartilabstand (IQD) und Ausreißer (als Punkte markiert).

Tabelle 3.7: Lagemaße zu den untersuchten physikalischen Parametern, hier der Breite, der Makrophytengruppen

Gruppe	$\tilde{x}_B(cm)$	$Q_{B,0,25}(cm)$	$Q_{TG,0,75}(cm)$	$IQD_B(cm)$
Cer	15	7	25	18
Elo	6	4	10	6
Hydro	17	15	27	12
MagNy	22	18	27	8
MagPot	35	22	45	23
ParPot	16	12	29	17

4 Diskussion

Im Rahmen der Diskussion werden die morphologischen Eigenschaften der Wakenitz, physiochemischen Parameter, Nährstoffkonzentrationen, Chlorophyll und Makrophyten behandelt und anschließend ein Überblick über die gesamt durchgeführten Untersuchungen als Zusammenfassung geliefert. Aus der Diskussion ausgenommen sind die physikalischen Parameter der Makrophyten, da diese bei der Einordnung der Ergebnisse eine untergeordnete Rolle spielen.

4.1 Wakenitz - Morphologie und Eigenschaften

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben zeigt die Wakenitz eine Verjüngung mit anschließender Vergrößerung der Gewässeroberfläche im Verhältnis zum vorangegangenen Verlauf. Eine solche Eigenschaft kann innerhalb der Wakenitz insbesondere an der Eisenbahnbrücke, nördlich der Transekte WA2 beobachtet werden (siehe Abbildung 2.1). Im Anschluss an den Durchfluss unter der Eisenbahntrasse kommt es zu einer starken Verbreiterung des Flussverlaufes die sich bis zum Spieringshorst fortsetzt. Wird die durchflossene Fläche vergrößert, kann das Areal ähnlich wie ein Retentionsbecken oder Dränsystem fungieren und so Sedimentation unterstützen (Vergleiche Heidel, 2017; Steidl & Kalettka, 2016). Somit ist davon auszugehen, dass es in diesem Areal besonders zu Sedimentations- und Verlandungseffekten kommen kann. Im Falle von Dränsystemen wird diese Eigenschaft genutzt, um partikuläre Stoffe abzuscheiden und somit das Absetzen von Phosphorverbindungen zu verstärken, damit dieses dem weiteren Gewässerverlauf entzogen werden. Die abgelagerten Nährstoffe werden anschließend dem System in regelmäßigen Abständen durch bspw. Ausbaggern entnommen. Solche massiven Eingriffe sind für das System der Wakenitz als Natur- und Landschaftsschutzgebiet jedoch ausgeschlossen und somit verbleiben sedimentierte Schwebstoffe mitsamt gebundenem Phosphor innerhalb des Systems.

4.2 Physiochemische Parameter

Bei der Auswertung der physiochemischen Parameter ist zunächst darauf hinzuweisen, dass diese in Oberflächennähe bestimmt wurden.

Der Temperaturverlauf zeigt eine saisonale Abhängigkeit und weist keine starken Schwankungen zwischen den untersuchten Transekten auf. Besondere Auffälligkeiten sind nicht zu beobachten.

Die Trübungswerte bleiben bis auf einzelne Ausreißer für die Transekte WA2 und WA1 im Vergleich zu KT1 und KS1 bei einem niedrigen Niveau. Für die Transekte KT1 und KS1 lassen sich insbesondere in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums erhöhte Werte feststellen. Die Trübungsmessung kann durch Zoo- und Phytoplankton sowie weitere organische und anorganische Substanzen beeinflusst werden (Vergleiche Cremella et al., 2018). Gerade bei hohen Biomassevorkommen von Mikroalgen wird der Wert beeinflusst, was insbesondere für KS1 vorliegen kann, da hier sowohl hohe Chlorophyllkonzentrationen (Abbildung 3.15) als auch Trübungswerte (Abbildung 3.3) in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums festzustellen sind. Im Gegensatz dazu stehen die Beobachtungen bei WA2. Hier sind in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums niedrige Trübungswerte vorhanden, während die Gesamtchlorophyllwerte hingegen erhöht sind.

Die festgestellten Sauerstoffkonzentrationen liegen für den Untersuchungszeitraum im höheren Bereich und sind stark schwankend. Durch die oberflächennahe sowie (zeit-)punktweise Messung sind die Werte allerdings nicht für den Wasserkörper als repräsentativ einzuordnen, da der Parameter im Tagesverlauf stark variiert. Für eine nähere Betrachtung inklusive der Tagesgänge sei hier für das untersuchte Gewässer auf Külls (2023) sowie Külls & Kock (2023) verwiesen, in denen auch kritische Phasen in den Morgenstunden dargestellt werden.

Die Leitfähigkeitsmessungen in allen Transekten zeigen einen ähnlichen Verlauf. Die Medianwerte über den Gesamtzeitraum liegen für alle Transekte in einem identischen Bereich. Für KT1 und KS1 weisen erhöhte Schwankungsbreiten auf, was aus niedrigen Werten in MC 6-8 resultiert. Die Gründe für diese erhöhte Dynamik sind an dieser Stelle jedoch nicht ermittelbar.

Bei Betrachtung des pH-Wertes lassen sich zu mehreren Zeitpunkten und in allen Transekten bis auf WA2 Werte über 8,5 feststellen. Die Oberflächengewässerverordnung (OGewV) legt in "Anlage 7 - Allgemeine physikalisch-chemische Qualitätskomponenten" zum Einhalten des guten ökologischen Zustands einen pH-Wert Bereich von 7,5 – 8,5 für den vorliegenden Gewässertyp 21 N fest (siehe *Anlage 7 OGewV - Einzelnorm*, o. J.). Dazu werden die Minimal- und Maximalwerte der letzten drei Kalenderjahre berücksichtigt.

Der pH-Wert Bereich wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen somit mehrfach überschritten. Dies deckt sich auch mit den Informationen aus *Wakenitz (Fließgewässer)* (2022), worin die ergänzende Komponente Versauerungszustand als nicht eingehalten dokumentiert ist. Nicht festzustellen ist, ob diese Einstufung aufgrund eines Über- oder Unterschreitens des pH-Wertes erfolgte. Die Transekte WA2, WA1 weisen einen niedrigeren pH-Wert auf als KT1 und KS1, die am oberen Grenzwert bzw. darüber liegen (Abbildung 3.10).

Das DWA (2024) verweist bei hohen pH-Werten ab dem Wertebereich 9 bis 10 auf toxische Ammoniakbildung und negative Effekte bei Zooplankton. Somit sollte in Zukunft bei Maßnahmen

auch der potentielle Effekt auf den pH-Wert des Gewässers berücksichtigt und eine weitere Erhöhung vermieden werden.

Zusammenfassend lässt sich für die physiochemischen Parameter feststellen, dass sich die Transekte WA2, WA1 von KS1, KT1 insbesondere bezüglich der Leitfähigkeit, Trübung und pH unterscheiden. Die Gründe für diese Beobachtungen lassen sich im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht abschließend klären. Es zeigt jedoch, dass das Gewässer nicht als ein einheitliches Areal verstanden werden sollte, sondern unterschiedliche Bedingungen in den Gewässerabschnitten vorliegen.

4.3 Nährstoffe

Insgesamt lassen sich für die Nährstoffparameter ähnliche Konzentrationsbereiche wie in der Vorjahresuntersuchung durch Külls & Kock (2023) beobachten.

Für Ammonium zeigt sich insbesondere für WA2 und WA1 ein tendenziell ähnlicher Verlauf im Untersuchungszeitraum, während KS1 eine stärkere Dynamik in den Ammoniumkonzentrationen zeigt (Vergleiche Abbildung 3.11).

Nimmt man den gemäß OGewV für den guten ökologischen Zustand vorgesehenen Bereich von umgerechnet unter $0,25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{NH}_4$ im Jahresmittel als Referenz (Vergleiche Anlage 7 OGewV - Einzelnorm, o. J.), so liegen die in dieser Untersuchung gefundenen Werte fast ausnahmslos darunter.

Eine ähnliche Tendenz zeigt sich für Nitrit. Hier sollten gemäß Anlage 7 OGewV - Einzelnorm (o. J.) Konzentrationen von umgerechnet unter $0,16 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{NO}_2^-$ vorliegen. Die Werte in der Messreihe liegen i.d.R. unter dieser Schwelle. Allerdings lassen sich insbesondere in WA2, WA1 und KT1 an einzelnen Messkampagnen Überschreitungen dieses Messbereiches beobachten (Vergleiche Abbildung 3.12).

Für Nitrat kann als Orientierung der Nitratbericht 2020 (BMEL & BMU, 2020) herangezogen werden. Hier ist als kleinste Gruppe der Nitratkonzentrationen der Bereich unter $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{NO}_3^-$ angegeben, während der Schwellenwert bei $50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{NO}_3^-$ liegt. Im Untersuchungszeitraum wurde die kleinste Gruppe zu keinem Zeitpunkt verlassen. Die Belastung durch Nitrat erscheint somit gering.

Für Orthophosphat legt die Anlage 7 OGewV - Einzelnorm (o. J.) umgerechnet einen Grenzwert von unter $0,21 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{o-PO}_4$ im Jahresmittel für die Erreichung des guten ökologischen Zustandes fest. Dieser Wert wird, über alle Messungen und Transekten betrachtet, in über der Hälfte der Fälle überschritten (siehe Abbildung 3.14 sowie Tabelle 4.2 im Anhang). Es sei aber darauf hingewiesen, dass eine abweichende Methode zur Orthophosphatbestimmung eingesetzt wurde und das Labor nicht die Rahmenbedingungen und Vorgaben zur Bestimmung nach der OGewV erfüllt. Angesichts der vorliegenden Konzentrationen, Morphologie und Rahmenbedingungen

am Gewässer sollte der Parameter jedoch als kritisch und für die Überlegungen zu weiteren Maßnahmen am Gewässerkörper relevant betrachtet werden.

Zusammenfassend lässt sich somit feststellen, dass sowohl Phosphor als auch Stickstoff als kritische Parameter ausgemacht werden konnten. Angesichts niedriger Stickstoffkonzentrationen bei gleichzeitiger Präsenz von Phosphor könnte auch Stickstoff ein limitierender Faktor sein. Sobald temporär und / oder lokal Stickstoffeinträge diese Limitierung aufheben, ist bei ausreichend vorhandenen Phosphorverbindungen die Bildung von Biomasse möglich.

Nährstoffeinträge sowohl von Stickstoff- als auch Phosphorverbindungen in das Gewässer sind folglich zu minimieren.

4.4 Chlorophyll

Für Cyanochlorophyll zeigen die Transekte WA2, WA1 und KT1 ähnliche Tendenzen mit einem Anstieg im Untersuchungszeitraum und gegen Ende einem Rückgang der Konzentrationen (Vergleiche Abbildung 3.15). Für das Verhältnis zwischen Gesamt- und Cyanochlorophyll zeigen sich unterschiedliche Ausprägungen. So liegt in der zweiten Hälfte des Untersuchungszeitraums insbesondere für WA2 die Gesamtchlorophyllkonzentration wesentlich höher als die für Cyanochlorophyll. Zeitgleich verbleibt wie in Kapitel 4.2 vermerkt der Trübungswert für das Transekt verhältnismäßig gering. Für das Transekt WA1 gibt es zu einzelnen Messkampagnen stark erhöhte Gesamtchlorophyllkonzentrationen im Vergleich zu Cyanochlorophyll, während für KT1 sowie KS1 der überwiegende Anteil an Gesamtchlorophyll durch das Cyanochlorophyll abgedeckt wird. Dies kann darauf hindeuten, dass die Transekte unterschiedliche Dynamiken in den Algenpopulationen begünstigen und insbesondere in KT1 sowie KS1 Cyanobakterien bessere Bedingungen vorfinden, was sich auch in den festgestellten aggregierten Medianwerten zeigt (siehe Abbildung 3.16). Mit Blick auf die Untersuchungen aus dem Vorjahr (Lohaus et al., 2023) liegen die Chlorophyllwerte im Median in ähnlichen Konzentrationsbereichen. So wurden in der Nähe des Nienmarker Landgrabens, Kleiner See und Krähenteich im Vorjahr jeweils 4, 5 sowie 57, 77 und 30, 22 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ festgestellt und für dieses Jahr jeweils 5, 7 sowie 59, 5 und 22, 8 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Für Cyanochlorophyll zeigen sich vergleichbare Übereinstimmungen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Wasserkörper unterschiedliche Bedingungen für die Ausprägung von Mikroalgen bietet. Der Chlorophyllwert als Indikator für dynamische Effekte, wie sie in anderen Regionen durch Talling (1993) gezeigt wurden, findet sich auch in diesem Jahr für das untersuchte Lübecker Gewässer wieder in Übereinstimmung mit den Feststellungen aus 2023 (Vergleiche Lohaus et al., 2023).

4.5 Makrophyten

Die Makrophytenpräsenz, die im Rahmen der Transektenuntersuchungen sowie der Befahrung der Wakenitz beobachtet werden konnten, umfasste mehr als 15 Arten, die wiederum in 8 Gruppen zusammengefasst wurden, zusätzlich einer Gruppe für fädige Algen (siehe Kapitel 3.1.1).

Legt man die Einstufungstypen zur Berechnung des Referenzindex nach Phylib zugrunde (Kapitel 2.2), so sind die überwiegende Anzahl der gefundenen Arten zur Beurteilung des ökologischen Zustandes mit den Einstufungen 'B/C' indifferent. Es finden sich nach Pottgiesser (2018) charakteristische Vertreter wie das Gewöhnliche Pfeilkraut *Sagittaria sagittifolia*, Gelbe Teichrose *Nuphar lutea* und Weiße Seerose *Nymphae alba* sowie Vertreter der Laichkräuter *Potamogeton lucens* und *P. alpinus*, aber auch Störzeiger wie Vertreter des Hornkrauts.

Einige der gefundenen Arten wie Spiegelndes Laichkraut *Potamogeton lucens*, Gelbe Teichrose *Nuphar lutea* und Weiße Seerose *Nymphae alba* sowie die Störzeiger Nuttalls Wasserpest *Elodea nuttalli* und raues Hornkraut *Ceratophyllum demersum* lassen sich in bestehenden Berichten wiederfinden (Biologen im Arbeitsverbund, 2013, S. 47ff., 55; Dreßler et al., 2019, S. 105 ff.; biota - Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH, 2022, S. 29). Die vorliegenden Berichte kommen je nach Messstelle zu einer mäßigen oder guten Einstufung des Gewässers.

Bezüglich der untersuchten räumlichen und quantitativen Verteilungen der Gruppen zeigt sich, dass die Transekte unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Das Transekt WA2 ist geprägt durch die Gruppen der Magnonymphaeiden (Teich- und Seerosen) sowie Magnopotamiden (großblättrigen Laichkräutern) und auch weitere Gruppen finden sich dort in weniger starker Ausprägung. Festzustellen ist ein Rückgang der Makrophytenquantität in Richtung der Gewässermitte, was durch Befahrung des Gewässers der Berufsschifffahrt bedingt sein dürfte. Das Transekt WA1 hingegen wird dominiert von Vertretern der Ceratophyliden (Hornkräuter) sowie Elodeiden (Wasserpest), die in diesem Bereich massiv auftreten. Zusätzlich gibt es in Ufernähe Magnonymphaeiden (Teich- und Seerosen), die allerdings eine untergeordnete Rolle spielen. Für beide Transekte WA2 und WA1 lässt sich im Untersuchungszeitraum die Entwicklung von Fadenalgen beobachten. Für WA2 treten die Fadenalgen schlagartig und dann massiv in den drei Messkampagnen von Anfang bis Ende August und somit bis zum Ende der Messkampagne auf, während für WA1 diese über den gesamten Untersuchungszeitraum massiv präsent sind. Die auftretenden Fadenalgen haben dabei die Eigenschaft vorhandene Pflanzen zu überwuchern. Für das Transekt KT1 zeigt sich zunächst eine starke Präsenz von kleinblättrigen Laichkräutern ausschließlich im Uferbereich, während andere Pflanzen nur geringfügig im gesamten Transekt auftreten. Der Grund für schlagartige Abnahme der kleinblättrigen Laichkräuter ab MC06 konnte bislang nicht ermittelt werden. Zusätzlich ist auf die heterogene Struktur des Krähenteichs hinzuweisen, die sich nicht im Transekt widerspiegelt. Das Team entschied sich gegen ein Verlegen der Transekte um ein methodisch konsistentes Vorgehen zu gewährleisten, stellte aber starkes Wachstum von submersen Makrophyten in den Uferbereichen außerhalb der untersuchten Transekte fest. Das Transekt KS1 im Kleinen See wiederum zeigt eine ausschließliche Dominanz

von Magnonymphaeiden (Teich- und Seerosen), was möglicherweise auf die sandgeprägte Beschaffenheit des Grundes zurückzuführen ist, der sich insbesondere von den Transekten WA2, WA1 unterscheidet.

Somit lässt sich festhalten, dass das Gewässer unterschiedliche Räume für Makrophyten bietet und nicht als homogen betrachtet werden kann. Die Makrophytenbestände bieten Lebensraum für weitere Lebewesen wie Fische und Zooplankton und stehen ebenso als Nahrungsquelle zur Verfügung. Im unteren Wakenitzverlauf, d.h. nördlich der Eisenbahnbrücke, finden die Makrophyten durch den aufgeweiteten Gewässerverlauf und damit verbundenen geringen Verschattung und hoher Nährstoffsedimentation und -verfügbarkeit gute Wachstumsbedingungen.

Im Management eutrophierter Gewässer wird im Allgemeinen die Verschiebung von Mikroalgenbiomasse zugunsten der Biomasse an Makrophyten positiv bewertet (Vergleiche Lüring et al. (2016) sowie Grünberg & Epe (2024)).

Weiterhin werden Makrophyten stabilisierende Eigenschaften für ein Gewässer zugeordnet (DWA, 2024). Im Gegensatz dazu können Invasive Makrophytenarten das Ökosystem stark beeinflussen und auch massiv auftreten (Vergleiche Hussner et al., 2014; Stiers et al., 2011). Im Untersuchungsgebiet wurde gemäß Unionsliste als invasive Art *Elodea nuttalli* festgestellt, die für Deutschland mit dem Status "etabliert" vermerkt ist (BfN, o. J.). Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass Makrophyten einen tendenziell positiven Einfluss auch auf das Gewässersediment aufweisen, wobei sie Sauerstoff in das Sediment transportieren und positiven Einfluss auf das Redoxpotential nehmen (Vergleiche Carpenter et al., 1983; Schneider, 2004). Daher kann der derzeitige Zustand der Wakenitz mit verschiedenen submersen Makrophyten durchaus als positiv betrachtet werden.

Einzelne vorkommende Pflanzenarten deuten auf einen erhöhten Nährstoffgehalt im Gewässer hin, beispielsweise findet sich in Phillips et al. (1978) *Ceratophyllum demersum* und das Auftreten fädiger Algenpopulationen während in Sand-Jensen (1990) grundsätzlich auf Epiphyten, also aufwachsende Pflanzen, als ein Indikator für erhöhtes Nährstoffvorkommen verwiesen wird. Die vorkommenden Störzeiger deuten somit auf einen verbesserungswürdigen Zustand zumindest in Teilabschnitten des Gewässers hinsichtlich des Nährstoffangebots hin. Dies passt zu den in Kapitel 4.3 festgestellten Nährstoffparametern, insbesondere der hohen Phosphorverfügbarkeit. Diese Entwicklung sollte weiter verfolgt und bei geplanten Maßnahmen berücksichtigt werden.

4.6 Interaktion zwischen Physiochemischen Parameter, Mikroalgen und Makrophyten

Der Zustand des Gewässers liegt, zieht man im Vergleich die Grenzwerte der WRRL heran, anhand der beobachteten Nährstoff und physiochemischen Messwerte im Bereich des guten ökologischen Zustands, wobei einzelne Ausreißer beobachtet werden und Messwerte teilweise am oberen Rand

des zulässigen Messwertebereichs liegen. Insbesondere scheinen neben Phosphorverbindungen auch Stickstoffverbindungen für die Mikroalgen limitierende Faktor im Gewässer darzustellen. Die weitere Anreicherungen dieser Nährstoffe sollte somit minimiert werden.

Es besteht ein Zusammenhang zwischen Mikroalgenpopulationen und physiochemische Parametern. Ein Bezug zu pH-Werten wird insbesondere in Essa et al. (2024); Chakraborty et al. (2021); Wood et al. (2015) dargestellt. Dabei beobachteten Chakraborty et al. (2021) für 3 Arten die Auswirkungen von pH-Werten auf die Zusammensetzung der Phytoplanktongemeinschaft. Es zeigte sich, dass insbesondere pH Werte über 9 einen Einfluss auf die Morphologie der untersuchten Organismen hatten. Wood et al. (2015) konnten beobachten, dass andererseits Matten von Mikroalgen hohe pH-Werte über 9 verursachen können und so insbesondere in räumlicher Nähe (wenige mm) starken Einfluss auf ihre Umgebung ausüben. Bei höheren pH-Werten kann vorkommendes Ammonium zu Ammoniak umgesetzt werden, das fischtoxisch wirkt (Vergleiche Schneider, 2004). Es sollten somit Zonen höherer pH-Werte für das Gewässer vermieden und Maßnahmen zur Reduktion des pH-Wertes insgesamt getroffen werden. Dies würde ein breiteres Spektrum an Phytoplankton sowie Makrophyten erlauben und reduziert die Wahrscheinlichkeit durch Ammoniak ausgelöster Fischsterben.

Weiterhin stehen Mikroalgen und insbesondere submerse Makrophyten in einem Konkurrenzverhalten um Licht und verfügbare Nährstoffe. Wie in Kapitel 4.5 erwähnt, kann der derzeitige Zustand mit einer ausgeprägten Entwicklung von Makrophyten grundsätzlich als positiv betrachtet werden, da diese gegenüber einer reinen Dominanz von Mikroalgen und Cyanobakterien zu bevorzugen sind (siehe Kapitel 4.5 und vergleiche Lüring et al. (2016); Grünberg & Epe (2024); DWA (2024)). Angesiedelte submerse Makrophyten beeinflussen das Sediment, indem sie dabei zur Sauerstoffanreicherung im Sediment beitragen, somit das Redoxpotential an der Wasser-Sediment-Grenzschicht verringern und die Wahrscheinlichkeit für eine Rücklösung gebundener Phosphorverbindungen aus dem Sediment reduzieren (Vergleiche Carpenter et al., 1983; Schneider, 2004). Vielfältige Makrophytenbestände innerhalb des Gewässers liefern zudem Habitate mit unterschiedlichen Eigenschaften, die verschiedenen weiteren Lebewesen Nahrung und Lebensraum bieten.

4.7 Fazit

Es bleibt für die vorliegenden Untersuchungen folgendes festzuhalten

- die Wakenitz stellt einen diversen Lebensraum dar
 - Makrophyten liefern Lebensraum für weitere Organismen
 - dynamisches System zwischen Gruppen wie bspw. Mikroalgen und Makrophyten
- Nährstoffeinträge aus den vorgelagerten Gebieten

- sind weiter zu berücksichtigen
- nach Möglichkeit zu reduzieren
- Handlungsmöglichkeiten
 - am Wasserkörper selbst aufgrund der Eigenschaft als Natur- und Landschaftsgebiet schwierig
 - Einträge (insbesondere partikulärer Natur) aus den vorgeschalteten Gewässern reduzieren
- das Zusammenspiel von abiotischen Faktoren, Mikroalgen und Makrophyten sollte für das vorliegende Gewässer weiter durchdrungen werden, um eine gute Begleitung angestrebter Maßnahmen zu ermöglichen

Literaturverzeichnis

- Anlage 7 OGEV - Einzelnorm. (o. J.). Abgerufen 3. Dezember 2024, von https://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/anlage_7.html
- bbe Moldaenke GmbH. (2020). *AlgaeTorch - User Manual* [Manual].
- BfN. (o. J.). *Neobiota: Art. 4: Die Unionsliste*. Abgerufen 30. Januar 2025, von <https://neobiota.bfn.de/unionsliste/art-4-die-unionsliste.html>
- Biologen im Arbeitsverbund. (2013). *Überblicksweises und Operatives Monitoring der QK Makrophyten/Phytobenthos in Fließgewässern nach WRRL FGE Schlei/Trave 2012 Lose 2 und 3* (S. 175 + Anhang + CD). Landesverband der Wasser- und Bodenverbände.
- biota - Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH. (2022). *Untersuchungsprogramm Zum Operativen Und Zum Überblicksmonitoring Der Qualitätskomponente Makrophyten/Phytobenthos in Fließgewässern Nach WRRL in Schleswig-Holstein (2021, FGE Schlei, Trave)* (S. 74 + Anlagen + 1 CD). im Auftrag des Landesverbandes der Wasser- und Bodenverbände Schleswig-Holstein.
- BMEL, & BMU (Hrsg.). (2020). *Nitratbericht 2020*. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/nitratbericht_2020_bf.pdf
- Carpenter, S. R., Elser, J. J., & Olson, K. M. (1983). Effects of Roots of *Myriophyllum Verticillatum* L. on Sediment Redox Conditions. *Aquatic Botany*, 17(3), 243–249. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(83\)90060-8](https://doi.org/10.1016/0304-3770(83)90060-8)
- Chakraborty, S., Karmaker, D., Rahman, Md. A., Bali, S. C., Das, S. K., & Hossen, R. (2021). Impacts of pH and Salinity on Community Composition, Growth and Cell Morphology of Three Freshwater Phytoplankton. *Plant Science Today*, 8(3). <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.3.1190>
- Conde-Álvarez, R. M., Bañares-España, E., Nieto-Caldera, J. M., Flores-Moya, A., & Figueroa, F. L. (2012). Submerged Macrophyte Biomass Distribution in the Shallow Saline Lake Fuente de Piedra (Spain) as Function of Environmental Variables. *Anales Del Jardín Botánico de Madrid*, 69(1, 1), 119–127. <https://doi.org/10.3989/ajbm.2305>
- Cremella, B., Huot, Y., & Bonilla, S. (2018). Interpretation of Total Phytoplankton and Cyanobacteria Fluorescence from Cross-Calibrated Fluorometers, Including Sensitivity to Turbidity and Colored Dissolved Organic Matter. *Limnology and Oceanography: Methods*, 16(12), 881–894. <https://doi.org/10.1002/lom3.10290>
- Dreßler, M., Kuhn, U., & Werner, P. (2019). *Monitoring Makrophyten Und Benthische Diatomeen in Fließgewässern Schleswig-Holsteins Für 79 Messstellen Aus Dem Jahr 2018 (FGE Schlei-Trave)*

- (S. 119 + Anhang + 1CD). Auftraggeber: Landesverband der Wasser- und Bodenverbände S-H.
- DWA. (2024). *Merkblatt DWA-M 606 - Grundlagen Und Maßnahmen Der Seentherapie*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Englmaier, P. (o. J.). *Die Makroflora Des Süßwassers: Immer Noch Ein Lohnendes Forschungsthema*. www.biologiezentrum.at
- Essa, D. I., Elshobary, M. E., Attiah, A. M., Salem, Z. E., Keshta, A. E., & Edokpayi, J. N. (2024). Assessing Phytoplankton Populations and Their Relation to Water Parameters as Early Alerts and Biological Indicators of the Aquatic Pollution. *Ecological Indicators*, 159, 111721. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111721>
- Grünberg, B., & Epe, T. (2024, Mai 11). *Aktuelle Herausforderungen Bei Der Sanierung Und Restaurierung von Seen – Neuerungen Im Merkblatt DWA-M 606 „Grundlagen Und Maßnahmen Der Seentherapie“*. Seen - Umsetzung von Maßnahmen Zur Erreichung Des Guten Ökologischen Zustands Gemäß EG-WRRL.
- Hach Company. (2017). *Phosphorus, Reactive (Orthophosphate) - Method 8048* (Method DOC316.53.01119). HACH COMPANY.
- Hach Company. (2018). *DR 3900 USER MANUAL* (Manual 8).
- Hach Company. (2019a). *Nitrate Cadmium Reduction Method Method 8192* (Method DOC316.53.01067). HACH COMPANY.
- Hach Company. (2019b). *Nitrite - USEPA Diazotization Method1 Method 8507* (Method DOC316.53.01074). HACH COMPANY.
- Heidel, P. (2017). Phosphatrückhaltung durch Anlage eines Retentionsbeckens. *Wasser und Abfall*, 19(9), 47–49. <https://doi.org/10.1007/s35152-017-0107-8>
- Hussner, A., Nehring, S., & Hilt, S. (2014). From First Reports to Successful Control: A Plea for Improved Management of Alien Aquatic Plant Species in Germany. *Hydrobiologia*, 737(1), 321–331. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1757-5>
- Külls, C. (2021). *Untersuchung der Wasserqualität von Krähenteich und Mühlenteich* (LaHy 2021-11; S. 58). <https://uhydro.de/bericht/wqhl/>
- Külls, C. (2023). *Untersuchungen der Wasserqualität von Krähenteich und Mühlenteich im Jahr 2022*.
- Külls, C., & Kock, M. (2023). *Untersuchungen der Wasserqualität von Wakenitz, Krähenteich und Mühlenteich im Jahr 2023*.
- Lohaus, C., Krings, S., & Reintjes, N. (2023). *Messreihe Wakenitz, Krähen- und Mühlenteich 2023*.
- Lüring, M., Mackay, E., Reitzel, K., & Spears, B. M. (2016). Editorial – A Critical Perspective on Geo-Engineering for Eutrophication Management in Lakes. *Water Research*, 97, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.035>
- Malta, E., Verschuure, J. M., & Nienhuis, P. H. (2002). Regulation of Spatial and Seasonal Variation of Macroalgal Biomass in a Brackish, Eutrophic Lake. *Helgoland Marine Research*, 56(3), 211–220. <https://doi.org/10.1007/s10152-002-0115-1>
- Müller, A. (2023). *Phylib 7 - Technische Dokumentation*. https://gewaesser-bewertung-berechnung.de/files/downloads/phylib/dev/700a-d/Phylib_DevelopersManual.pdf
- Phillips, G. L., Eminson, D., & Moss, B. (1978). A Mechanism to Account for Macrophyte Decline

- in Progressively Eutrophicated Freshwaters. *Aquatic Botany*, 4, 103–126. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(78\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0304-3770(78)90012-8)
- Pottgiesser, T. (2018). *Die deutsche Fließgewässertypologie Zweite Überarbeitung der Steckbriefe der Fließgewässertypen* (FKZ 3714 24 221 0).
- Sand-Jensen, K. (1990). Epiphyte Shading: Its Role in Resulting Depth Distribution of Submerged Aquatic Macrophytes. *Folia Geobotanica Et Phytotaxonomica*, 25(3), 315–320. <https://doi.org/10.1007/BF02913033>
- Schaumburg, J., Schranz, C., Stelzer, D., Vogel, A., & Gutowski, A. (2012). *Verfahrensanleitung Für Die Ökologische Bewertung von Fließgewässern Zur Umsetzung Der EG- Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten Und Phytobenthos Phylib* [Verfahrensanleitung]. https://gewaesser-bewertung.de/files/verfahrensanleitung_fg.pdf
- Schneider, S. (2004). *Indikatoreigenschaften Und Ökologie Aquatischer Makrophyten in Stehenden Und Fließenden Gewässern* [Habilitationsschrift, Technische Universität München]. <https://dnb.info/977710866/34#page=11>
- Steidl, J., & Kalettka, T. (2016). *Handlungsempfehlungen für die Anlage von Reinigungsteichen zum Rückhalt von Nährstoffausträgen aus landwirtschaftlichen Dränsystemen als Maßnahme zum Gewässerschutz*. Müncheberg.
- Stiers, I., Crohain, N., Josens, G., & Triest, L. (2011). Impact of Three Aquatic Invasive Species on Native Plants and Macroinvertebrates in Temperate Ponds. *Biological Invasions*, 13(12), 2715–2726. <https://doi.org/10.1007/s10530-011-9942-9>
- Talling, J. F. (1993). Comparative Seasonal Changes, and Inter-Annual Variability and Stability, in a 26-Year Record of Total Phytoplankton Biomass in Four English Lake Basins. *Hydrobiologia*, 268(2), 65–98. <https://doi.org/10.1007/BF00006879>
- Taxaliste Aller Für Das Verfahren Phylib-FG 7.00 Relevanten Taxa Der Biokomponenten Diatomeen, Makrophyten, PoD. (2024). [Dataset]. <https://gewaesser-bewertung-berechnung.de/index.php/phylib-online.html>
- Umweltbundesamt und Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. (o. J.). *Gewässerbewertung: Fließgewässer / Biologische Qualitätskomponenten / Makrophyten / Phytobenthos / Makrophyten / Bewertung Ökologischer Zustand*. www.gewaesser-bewertung.de. Abgerufen 29. Januar 2025, von https://gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=439&clang=1
- Umweltbundesamt, & Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. (o. J.). *Gewässerbewertung Gemäß WRRl*. www.gewaesser-bewertung.de. Abgerufen 16. Dezember 2024, von <https://www.gewaesser-bewertung.de/>
- Van De Weyer, K. (2003). *Kartieranleitung zur Erfassung und Bewertung der aquatischen Makrophyten der Fließgewässer in NRW gemäß den Vorgaben der EU-Wasser-Rahmen-Richtlinie* (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Hrsg.; Merkblatt 39). Walter de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783598440830.178>
- van de Weyer, K., & Schmidt, C. (2007). *Bestimmungsschlüssel Für Die Aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen Und Moose) in Deutschland*. <http://www.flora.naturkundemuseum-bw.de/BestimmungMakrophyten.pdf>
- van de Weyer, K., Schmidt, C., Kreimeier, B., & Wassong, D. (2023a). *Bestimmungsschlüssel Für Die*

- Aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen Und Moose) in Deutschland* (LfU, Hrsg.; 4. Aufl., Bd. 2). Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. <https://lfu.brandenburg.de/lfu/de/ueber-uns/veroeffentlichungen/detail/~13-02-2023-bestimmungsschluessel-fuer-die-aquatischen-makrophyten-in-deutschland-band-2-abbildungen>
- van de Weyer, K., Schmidt, C., Kreimeier, B., & Wassong, D. (2023b). *Bestimmungsschlüssel Für Die Aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen Und Moose) in Deutschland* (LfU, Hrsg.; 4. Aufl., Bd. 1). Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. <https://lfu.brandenburg.de/lfu/de/ueber-uns/veroeffentlichungen/detail/~13-02-2023-bestimmungsschluessel-fuer-die-aquatischen-makrophyten-in-deutschland-band-1-bestimmungs>
- Wakenitz (Fließgewässer). (2022). © BfG. https://geoportal.bafg.de/birt_viewer/frameset?__report=RW_WKSB_21P1.rptdesign¶m_wasserkoerper=DERW_DESH_UTR_20_A&agreeToDisclaimer=true
- Wood, S. A., Depree, C., Brown, L., McAllister, T., & Hawes, I. (2015). Entrapped Sediments as a Source of Phosphorus in Epilithic Cyanobacterial Proliferations in Low Nutrient Rivers. *PLOS ONE*, 10(10), e0141063. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141063>

Anhang

Übersicht zu Lagemaßen der physiochemischen Parameter

Tabelle 4.1: Übersicht zu den Lagemaßen der erfassten physiochemischen Parameter

Tabelle 4.1					
Parameter	Lagemaß	WA2	WA1	KT1	KS1
Lufttemperatur (°C)	Median	21,0	19,0	20,3	20,1
Lufttemperatur (°C)	1. Quartil	19,4	16,6	19,8	19,0
Lufttemperatur (°C)	3. Quartil	22,0	21,0	21,3	22,0
Lufttemperatur (°C)	Interquartilabstand	2,6	4,4	1,5	3,0
Wassertemperatur (°C)	Median	19,4	19,6	21,4	20,4
Wassertemperatur (°C)	1. Quartil	18,0	18,2	19,8	19,4
Wassertemperatur (°C)	3. Quartil	20,4	21,1	22,1	21,5
Wassertemperatur (°C)	Interquartilabstand	2,4	2,9	2,3	2,1
pH (-)	Median	7,973	8,136	8,488	8,525
pH (-)	1. Quartil	7,798	7,810	8,410	8,230
pH (-)	3. Quartil	8,287	8,408	8,745	8,928
pH (-)	Interquartilabstand	0,489	0,598	0,335	0,698
gelöster Sauerstoff (mg * l ⁻¹)	Median	8,04	8,30	9,29	9,73
gelöster Sauerstoff (mg * l ⁻¹)	1. Quartil	6,66	6,91	8,33	8,16
gelöster Sauerstoff (mg * l ⁻¹)	3. Quartil	10,29	10,66	10,38	12,14
gelöster Sauerstoff (mg * l ⁻¹)	Interquartilabstand	3,63	3,75	2,06	3,98
Leitfähigkeit (µS * cm ⁻¹)	Median	454	460	457	454
Leitfähigkeit (µS * cm ⁻¹)	1. Quartil	431	434	416	370
Leitfähigkeit (µS * cm ⁻¹)	3. Quartil	460	466	461	465
Leitfähigkeit (µS * cm ⁻¹)	Interquartilabstand	29	32	45	94
Trübung (FTU)	Median	3,8	3,5	6,2	14,4
Trübung (FTU)	1. Quartil	2,9	2,7	3,5	7,2
Trübung (FTU)	3. Quartil	4,6	4,1	9,9	16,7
Trübung (FTU)	Interquartilabstand	1,7	1,4	6,4	9,5

Übersicht zu den Nährstoffmessungen

Tabelle 4.2: Übersicht zu den Messwerten der Nährstoffparameter Ammonium (NH₄), Nitrit (NO₂), Nitrat (NO₃) sowie Ortho-Phosphat (PO₄). Im Laufe der Untersuchungen wurden teilweise Mehrfachmessungen für Orthophosphat angestellt die im vorliegenden Datensatz als Median zusammengefasst sind.

Tabelle 4.2					
Transekte	Messkampagne	NH ₄ (mg·l ⁻¹)	NO ₂ (mg·l ⁻¹)	NO ₃ (mg·l ⁻¹)	PO ₄ (mg·l ⁻¹)
KS1	MC01	0,278	0,024	0,29	0,45
KS1	MC02	0,018	0,024	0,10	0,06
KS1	MC03	0,175	0,018	0,05	0,37
KS1	MC04	0,091	0,060	0,36	0,26
KS1	MC05	0,024	0,018	0,02	0,29
KS1	MC06	0,018	0,012	0,08	1,91
KS1	MC07	0,199	0,020	0,07	0,07
KS1	MC08	0,120	0,014	0,03	0,10
KS1	MC09	0,130	0,013	0,03	0,16
KS1	MC10	0,019	0,012	0,03	0,19
KT1	MC01	0,029	0,019	0,22	0,22
KT1	MC02	0,014	0,023	0,08	0,13
KT1	MC03	0,227	0,054	0,17	0,39
KT1	MC04	0,323	0,201	1,19	0,57
KT1	MC05	0,062	0,019	0,05	0,51
KT1	MC06	0,057	0,030	0,15	2,99
KT1	MC07	0,078	0,037	0,13	0,30
KT1	MC08	0,022	0,066	0,20	0,25
KT1	MC09	0,042	0,024	0,08	0,50
KT1	MC10	0,094	0,020	0,07	0,41
WA1	MC01	0,069	0,021	1,15	0,15
WA1	MC02	0,066	0,032	0,14	0,13
WA1	MC03	0,149	0,052	0,33	0,33
WA1	MC04	0,183	0,081	0,77	0,33
WA1	MC05	0,015	0,029	0,08	0,54
WA1	MC06	0,018	0,017	0,03	0,21
WA1	MC07	0,028	0,016	0,06	0,79
WA1	MC08	0,050	0,017	0,07	0,52
WA1	MC09	0,071	0,071	0,22	1,02
WA1	MC10	0,068	0,069	0,17	0,59

Transekte	Messkampagne	NH4 (mg * l ⁻¹)	NO2 (mg * l ⁻¹)	NO3 (mg * l ⁻¹)	PO4 (mg * l ⁻¹)
WA2	MC01	0,084	0,019	0,54	0,24
WA2	MC02	0,087	0,025	0,29	0,19
WA2	MC03	0,317	0,086	1,04	1,02
WA2	MC04	0,204	0,072	0,58	0,28
WA2	MC05	0,016	0,032	0,24	0,25
WA2	MC06	0,024	0,024	0,15	0,34
WA2	MC07	0,052	0,030	0,28	0,20
WA2	MC08	0,132	0,057	0,29	0,30
WA2	MC09	0,152	0,056	0,31	0,31
WA2	MC10	0,084	0,040	0,23	0,35

Übersicht zu den Chlorophyllmessungen

Tabelle 4.3: Übersicht zu den Messwerten der Gesamt- und Cyanochlorophyllkonzentrationen für die jeweilige Messkampagne als Median von 3 Messwerten zusammengefasst.

Tabelle 4.3			
Transekt	Messkampagne	Gesamtchlorophyll (µg * l ⁻¹)	Cyanochlorophyll (µg * l ⁻¹)
WA2	MC01	2,7	0,0
WA2	MC02	1,6	0,0
WA2	MC03	3,9	0,0
WA2	MC04	5,7	0,1
WA2	MC05	10,7	2,7
WA2	MC06	18,4	8,6
WA2	MC07	37,8	14,3
WA2	MC08	37,2	10,6
WA2	MC09	46,6	11,9
WA2	MC10	6,0	1,1
WA1	MC01	5,2	0,2
WA1	MC02	6,5	1,4
WA1	MC03	5,5	0,8
WA1	MC04	6,0	0,4
WA1	MC05	11,3	1,5
WA1	MC06	24,0	6,9
WA1	MC07	8,1	2,2

Transekt	Messkampagne	Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Cyanochlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)
WA1	MC08	10,5	2,9
WA1	MC09	53,9	13,8
WA1	MC10	15,2	4,3
KT1	MC01	10,0	7,0
KT1	MC02	13,2	1,8
KT1	MC03	13,6	3,0
KT1	MC04	16,0	4,9
KT1	MC05	5,5	0,8
KT1	MC06	22,6	15,8
KT1	MC07	28,9	19,6
KT1	MC08	100,9	74,1
KT1	MC09	44,1	30,4
KT1	MC10	17,0	9,0
KS1	MC01	4,9	0,8
KS1	MC02	26,8	3,0
KS1	MC03	8,0	2,1
KS1	MC04	27,4	6,7
KS1	MC05	66,3	44,5
KS1	MC06	70,0	51,2
KS1	MC07	78,2	48,2
KS1	MC08	68,5	39,4
KS1	MC09	122,2	52,2
KS1	MC10	41,0	25,0

Tabelle 4.4: Übersicht zu den aggregierten Messwerten der Gesamt- und Cyanochlorophyllkonzentrationen.

Tabelle 4.4					
Parameter	Lagemaß	WA2	WA1	KT1	KS1
Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Median	5,7	8,4	22,8	59,5
Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	1. Quantil	2,7	6,0	12,8	25,1
Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	3. Quantil	25,6	15,0	45,3	70,4
Gesamtchlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Interquantilabstand	22,9	9,0	32,5	45,2
Cyanochlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Median	0,3	2,1	14,2	35,1
Cyanochlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	1. Quantil	0,0	0,9	2,6	3,5
Cyanochlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	3. Quantil	8,6	4,0	21,0	48,2
Cyanochlorophyll ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	Interquantilabstand	8,6	3,1	18,4	44,8

Umrechnung Grenzwerte OGewV

Tabelle 4.5: Umrechnung der Grenzwerte aus der Oberflächengewässerverordnung

	Parameter	Grenzwert_OGewV	Grenzwert_OGewV_Einheit	Grenzwert_Ber	Grenzwert_Ber_Einheit
0	Ammonium	0.20	mg * l ⁻¹ NH ₄ -N	0.257143	mg * l ⁻¹ NH ₄
1	Nitrit	0.05	mg * l ⁻¹ NO ₂ -N	0.164214	mg * l ⁻¹ NO ₂
2	Orthophosphat	0.07	mg * l ⁻¹ o-PO ₄ -P	0.214566	mg * l ⁻¹ o-PO ₄