

Untersuchungen der Wasserqualität von  
Krähenteich und Mühlenteich im Jahr 2022

Prof. Dr. Christoph Külls

2023-02-16



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>5</b>
1.1	Danksagung . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Das Studiengebiet</b>	<b>7</b>
2.1	Das Einzugsgebiet der Wakenitz . . . . .	7
2.2	Wakenitz . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Auftrag</b>	<b>11</b>
3.1	Ziel der Untersuchungen . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Herangehensweise</b>	<b>13</b>
4.1	Ansatz . . . . .	13
4.2	Monitoring . . . . .	13
4.3	Sauerstoffsonde . . . . .	13
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>15</b>
5.1	Sauerstoffmessungen . . . . .	15
5.2	Zusammenfassung der Sensordaten . . . . .	24
5.3	Messkampagnen . . . . .	25
5.4	Messkampagnen entlang der Wakenitz . . . . .	34
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Maßnahmen</b>	<b>39</b>



# 1. Einführung

In diesem Bericht werden die Untersuchungen zu den Ursachen der hohen Verkrautung, der geringen Sauerstoffkonzentration und des vereinzelt in den Sommermonaten auftretenden Fischsterbens im Krähenteich (u.a. 14.8. 2018, Schwerpunkt Krähenteich) beschrieben, die im Jahre 2022 durchgeführt wurden.

Die Stadt Lübeck hat die TH Lübeck damit beauftragt, Untersuchungen durchzuführen, die dazu dienen, die systemische Entwicklung des Fischsterbens und der zu Grunde liegenden Ursachen im Zusammenhang mit der Wasserqualität der Zuflüsse beider Stadtgewässer zu verstehen, die zeitliche Entwicklung und räumliche Verteilung des Sauerstoffgehaltes und weiterer Parameter der Wasserqualität zu ermitteln, um daraus kurzfristige, mittel- und langfristige Handlungsmöglichkeiten zur Verbesserung der Wasserqualität zu entwickeln.

Der Schwerpunkt der Arbeiten im Jahr 2022 lag darin, die Messungen der Sauerstoffsonden fortzuführen und vergleichend auszuwerten, sowie die Untersuchung und Beprobung der Gewässer fortzuführen. Im Jahr 2022 wurde zudem ein Modell der Sauerstoffbilanz beider Stadtgewässer erstellt, aus dem sich neue Erkenntnisse und Ansatzpunkte für weitere Maßnahmen ergeben.

## 1.1 Danksagung

Diese Studie wurde von der Stadt Lübeck und der Lübeck Port Authority unterstützt. Für die sehr gute Zusammenarbeit mit allen Beteiligten bei der Stadt möchten wir uns bedanken.

Die Probenahmen wurden von Marcel Kock, Laboringenieur an der TH Lübeck im Labor für Hydrologie, Rafaela Schramm (Studentin) und Nina Krüger (Doktorandin) durchgeführt. Für die Gelände- und Laborarbeit bedanke ich mich ausdrücklich.

Studierende haben zu dieser Studie über Projektarbeiten beigetragen. Für diese Beiträge von Kimberly Kasichke, Lisa Osterhoff (siehe Kasichke and Osterhoff [2021]) sowie von Wencke Stabenow und Lisa Besser (Stabenow and Besser [2021]) bedanken wir uns.

Die Arbeit von Alexander Lozancic zu den Prozessen der Sauerstoffversorgung hat wesentliche neue Erkenntnisse zur Dynamik der Sauerstoffversorgung geliefert.

## 2. Das Studiengebiet

### 2.1 Das Einzugsgebiet der Wakenitz

Das Einzugsgebiet der Wakenitz (Abb. 2.1) umfasst mit dem Einzugsgebiet der über den Schaalseekanal angebotenen Flächen des Schaalsees 445 km<sup>2</sup>. Die Abbildung zeigt die Verteilung der Landnutzung im Einzugsgebiet: Siedlungsflächen (rot), Waldflächen (grün mit Laubwald (hellgrün) und Nadelwald (dunkelgrün)), sowie Ackerflächen (hellbraun) und Weideflächen und Wiesen (braun). Die Landnutzung ist der CORINE Landnutzungskarte der EU entnommen. Die eigentliche Fläche des Ratzeburger Sees umfasst 12.57 km<sup>2</sup>, das Einzugsgebiet des Ratzeburger Sees betrug vor der Erstellung des Schaalseekanal 138 km<sup>2</sup> und hat sich durch die Überleitung von Wasser aus dem Schaalseekanal zur Stromerzeugung auf 320 km<sup>2</sup> erhöht.

Insgesamt gibt es zwei Eigenschaften des Einzugsgebietes, die Einfluss auf die Wasserqualität der Wakenitz haben:

- es gibt laut Landnutzungskarte einen ausgeprägten Anteil mit Flächen landwirtschaftlicher Ackernutzung, die zu Bodenerosion und damit Eintrag von an Sedimentpartikeln gebundenem Phosphat beitragen, insbesondere wenn die Hangneigung in einigen Bereichen des postglazial geprägten östlichen Hügellandes erhöht ist
- es gibt im Einzugsgebiete Feuchtgebiete (Moore, Auen), die zum größten Teil durch Meliorationsmaßnahmen (Drainage, Begradigung und Profiländerung der Fließgewässer) in ihrem hydrologischen Regime verändert wurden
- das Einzugsgebiet ist hydrologisch und biogeochemisch wesentlich durch den Ratzeburger See geprägt, in dem eine eigene limnologische Dynamik auftritt wie die zweimalige Mixis und die damit verbundene Speicherung, Sedimentation, Remobilisierung und Umwandlung von Nährstoffen
- der untere Lauf der Wakenitz wird stark von seinen seitlichen Zuflüssen Grönau, Niemarker Landgraben, Lüdersdorfer Landgraben geprägt, die im oberen Teil ihrer jeweiligen Einzugsgebiete von landwirtschaftlichen

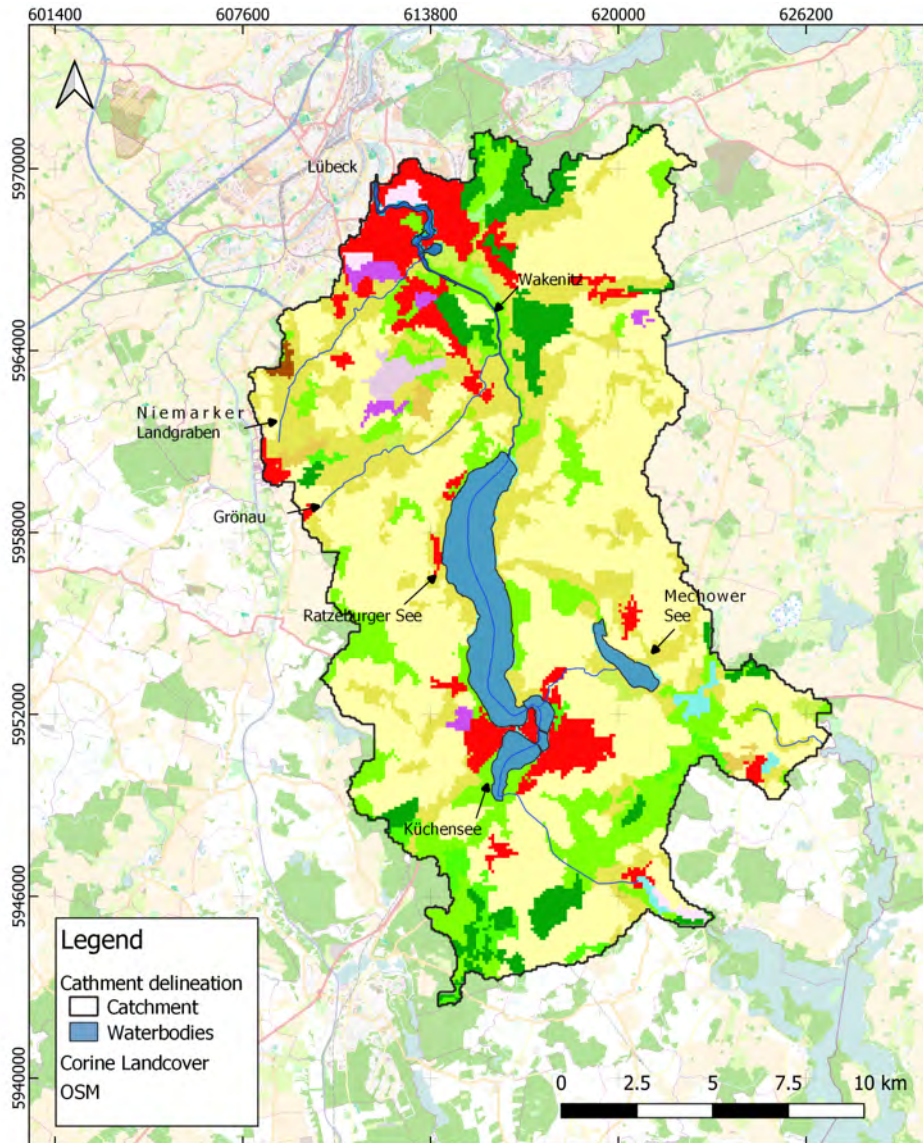


Abbildung 2.1: Das Einzugsgebiet der Wakenitz. Legende: Siedlungsflächen (rot), Waldflächen (grün mit Laubwald (hellgrün) und Nadelwald (dunkelgrün)), sowie Ackerflächen (hellbraun) und Weideflächen und Wiesen (braun). Quelle: CORINE Datenbank der EU, 2021.



Landnutzungen und meliorierten Auenbereichen und im Mündungsbereich in die Wakenitz von einer bewaldeten Auenlandschaft geprägt sind.

## 2.2 Wakenitz

Die Wakenitz stellt den nordwärts verlaufenden Abfluss des Ratzeburger Sees dar. Die Wakenitz mündete ursprünglich über einen östlich verlaufenden Mäander über das Flussbett, in dem heute der Krähen- und Mühlenteich liegen, südlich der Altstadt in die Trave (Abb. 2.2), siehe Schalties [2009]. Zur Energiegewinnung durch Wassermühlen wurde die Wakenitz vor ihrer Einmündung in die Trave zurückgestaut.

Durch den Bau des Elbe-Lübeck-Kanals wurde der Unterlauf der Wakenitz durch den mehrere Meter tiefer liegenden Kanal getrennt. Die Entwässerung der Wakenitz wird nun über einen Dükerkanal sichergestellt, der die östlich des Elbe-Lübeck-Kanals gelegene Wakenitz mit Krähen- und Mühlenteich verbindet. Die hydrologische Dynamik der Wakenitz ist bis heute durch den Rückstau vor der Einmündung in die Trave und die wasserwirtschaftlichen Maßnahmen der letzten Jahrhunderte geprägt, durch den sich die Wakenitz im mittleren und unteren Bereich vor Lübeck von einem frei fließenden Gewässer in ein staugeregeltes Gewässer mit einem Akkretionskeil aus Feinsedimenten verwandelt hat. Diese nach dem Rückstau gebildeten bis zu zwei Meter mächtigen Sedimente am Gewässerboden der Wakenitz beeinflussen die Biogeochemie, das Nährstoffregime und den pflanzlichen Bewuchs der Wakenitz.

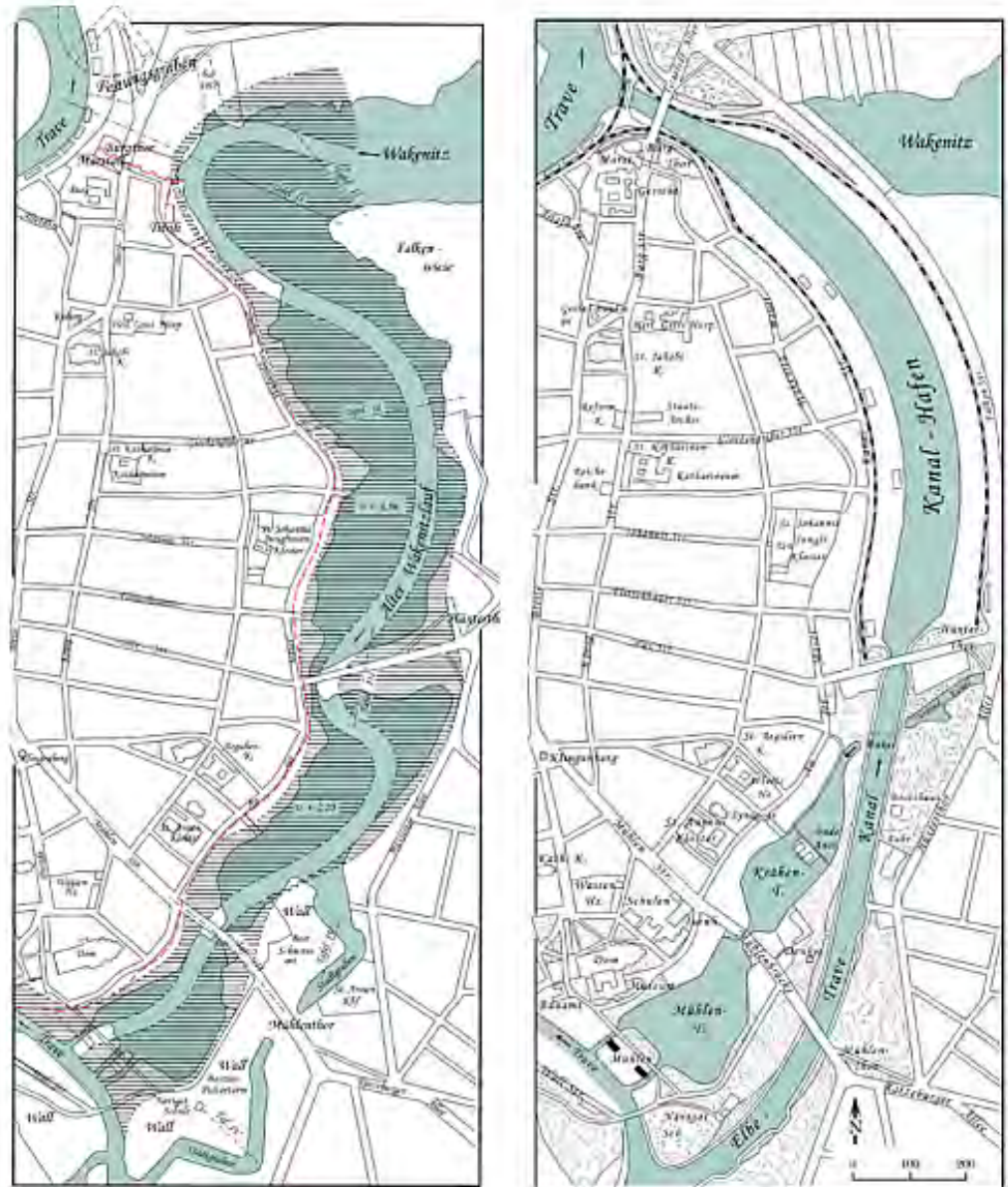


Abbildung 2.2: Wasserbauliche Veränderungen der Wakenitz

## 3. Auftrag

Die *Stadt Lübeck* hat das Labor für Hydrologie der TH Lübeck, Prof. Dr. C. Külls beauftragt, Messungen am Krähenteich und Mühlenteich durchzuführen, um die möglichen Ursachen für die zeitweise Verschlechterung der Wasserqualität zu untersuchen. Dieser Auftrag umfasst ein Programm zur begleitenden wissenschaftlichen Untersuchung der Wasserqualität in Wakenitz, Mühlen- und Krähenteich während des Jahres 2022.

### 3.1 Ziel der Untersuchungen

Ziel der Untersuchung war es, die entscheidenden Parameter der Wasserqualität in den Zuflüssen zu Krähen- und Mühlenteich zu erfassen und zu überwachen. Aus diesen Parametern soll der tiefenabhängige Zustand der Wasserqualität von Krähen- und Mühlenteich während der Sommermonate zeitnah für die Stadt Lübeck erkennbar sein.

Ein weiteres Ziel der Untersuchungen war es, die *Ursachen* des Absinkens der Sauerstoffkonzentrationen und ihre mögliche Abhängigkeit von hydrologischen Steuergrößen (Durchfluss durch den Dükerkanal bei unterschiedlicher Wasserqualität in der Wakenitz) zu ermitteln.

Im Jahre 2022 wurde insbesondere ein Modell der Sauerstoffversorgung der Gewässer erstellt, das die Prozesse der Sauerstoffaufnahme über die Oberfläche, der Zehrung am Gewässerboden und der Umsetzungen im Gewässer berücksichtigt.

In diesem Bericht werden diese Untersuchungen im Kapitel 5 vorgestellt.



## 4. Herangehensweise

### 4.1 Ansatz

Die Wasserqualität des Krähenteiches und des Mühlenteiches wird

- durch die Strömungsvorgänge und die Verweilzeit des Wassers bestimmt, die von Zufluss, Abfluss und interner Hydrodynamik abhängen,
- von der chemischen und biologischen Beschaffenheit der Zuflüsse, Abflüsse und der Wasserkörper im Einzugsgebiet geprägt und schließlich
- von den Umwandlungsprozessen in den Gewässern als einem biogeochemischen System beeinflusst.

### 4.2 Monitoring

Die Parameter der Wasserqualität wurden am Einlauf zum Dükerkanal, oberhalb und unterhalb des Dükers, im Krähenteich und im Mühlenteich an sechs Messpunkten in zwei Tiefen erfasst (12 Messungen pro Kampagne). Die genaue Festlegung der Probenahme- und Messstellen erfolgte in Absprache mit der Stadt Lübeck. Diese Kampagnen konnten auch mit Unterstützung von Studierenden durchgeführt werden. Die Untersuchung erfolgte im Labor für Hydrologie der TH Lübeck.

Das Wasserlabor der TH Lübeck hat ausgewählte Probenahmepunkte in der Wakenitz, im Dükerkanal, im Krähenteich und im Mühlenteich in das zweiwöchentliche Messprogramm aufgenommen und an diesen Punkten in jeweils zwei Tiefen Messungen der Vor-Ort-Parameter, Temperatur, Trübung, elektrischen Leitfähigkeit, des Sauerstoffgehaltes und der Sauerstoffsättigung, sowie der Haptonen vorgenommen, ebenso wurde der biochemische Sauerstoffbedarf  $BSB_5$  bestimmt.

### 4.3 Sauerstoffsonde

Bereits 2021 wurden zwei Sauerstoffsonden installiert. Die Daten wurden im Bericht 2021 mitgeteilt. Daraus war ersichtlich, dass die Sauerstoffwerte im Müh-

lenteich geringer und kritischer waren als im Krähenteich. Im Jahre 2022 wurde die Sauerstoffsonde des Krähenteiches zum 1.6. 2022 daher in den Zulaufbereich am Dükerkanal verlegt, um damit ein besseres Verständnis der Qualität des Zulaufes zu erhalten.

## 5. Ergebnisse

Die Messungen wurden im Jahr 2022 wie geplant in fünf Kampagnen mit insgesamt 60 Messungen durchgeführt. Zusätzlich wurden die Zuflüsse der Wakenitz mit einer Intensivkampagne untersucht.

### 5.1 Sauerstoffmessungen

Der Sauerstoffgehalt des Krähenteiches und des Mühlenteiches wird seit Juni 2021 mit zwei Sensoren kontinuierlich stündlich erfasst und direkt telemetrisch auf eine Datenbank übermittelt, aus denen der Zustand beider Gewässer für die Stadt Lübeck und die Lübeck Port Authority erkennbar ist. Mit diesen Daten können ggf. auch Maßnahmen ausgelöst werden. Beide Sensoren erfassen den Wasserstand, die Temperatur, den Sauerstoffgehalt und die Sauerstoffsättigung im obersten Meter des Krähen- und Mühlenteiches.

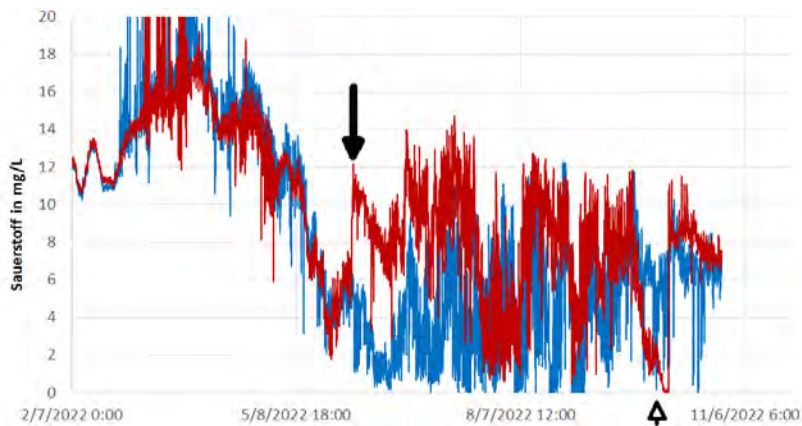


Abbildung 5.1: Umsatz des Sensors vom Krähenteich in die Wakenitz (rot), Algenbildung auf dem Sensor in der Wakenitz

Zum 1. Juni 2022 wurde die Sauerstoffsonde des Krähenteiches in den Zulaufbereich am Dükerkanal verlegt, um die Qualität des Zulaufes zu erhalten. Der

Umsatz der Messsonde ist mit dem abwärts gerichteten schwarzen Pfeil markiert und lässt einen unmittelbaren Anstieg der Sauerstoffkonzentration um mehrere mg/L erkennen.

Die Sensoren messen in einer Tiefe von 55 cm den Sauerstoffgehalt, die Sauerstoffsättigung und die Wassertemperatur. Der Wasserstand wird zur Kontrolle angezeigt. Die Sensoren waren im gesamten Jahr 2022 einsatzbereit. Ab dem 25. September 2022 kam es zu einem langsamen Abfall der Sauerstoffwerte am Sensor der Wakenitz (aufwärts gerichteter Pfeil). Am 6. Oktober wurde der Sensor gewartet und sorgfältig gereinigt und überprüft: Der Sensor war von Algen bewachsen, wurde gereinigt und zeigte nach der Reinigung wieder deutlich erhöhte Werte an. Die Daten zwischen dem 25.9. und dem 6.10. 2022 spiegeln daher nicht das natürliche Regime der Wakenitz, sondern durch den Algenbewuchs des Sensors veränderte Werte wider.

### 5.1.1 Sauerstoffkonzentrationen im Krähenteich

Die Messungen der Sauerstoffkonzentration in der Wakenitz zeigten eine saisonale Veränderung, Tagesschwankungen und eine Reaktion auf einzelne Niederschlagsereignisse. Die häufigsten Werte lagen zwischen 6 und 8 mg/L.

Die Sensoren zeichneten die Sauerstoffkonzentrationen stündlich ab Januar 2022 bis Oktober 2022 im Mühlenteich, im Krähenteich und ab dem 1.6. 2022 in der Wakenitz (Einlass Dükerkanal - nach dem Umsetzen statt Krähenteich) (siehe Abb. 5.3) auf (siehe auch Abb. 5.7). Die Sonden wurden bei Bedarf gewartet. Insgesamt hat das Monitoringsystem zuverlässig gearbeitet und kann auch als Warnsystem verwendet werden. Die Daten werden automatisch auf einen Server übertragen und stehen der Stadt Lübeck und der Lübeck Port Authority zur Einsicht zur Verfügung. Warnmeldungen werden bei weniger als 2.5 mg/L gelöstem Sauerstoff ausgelöst.

Bis zum 31.5. sind die Werte am Mühlenteich und am Krähenteich sehr ähnlich. Vor allem in den Wintermonaten ist die Wasserqualität beider Stadtgewässer bei stärkerem Durchfluss von den gleichen Messwerten geprägt. Nach dem Umsetzen ist ein deutlicher Unterschied zwischen den Werten in der Wakenitz und im Mühlenteich zu erkennen. Die Sauerstoffwerte in der Wakenitz liegen bis auf zwei Ausnahmen jeweils um ca. 2-4 mg/L höher als im Mühlenteich.

Eine Ausnahme bildet sie bereits erwähnte Algenbildung zwischen dem 25.9. und dem 6.10., die ein Artefakt ist und damit keine Prozesse in den Gewässern selbst anzeigt. Eine weitere Ausnahme wird zwischen dem 25. Juni und dem 8. Juli beobachtet: Während dieser Zeit liegen die Werte in der Wakenitz unter denen im Mühlenteich. Nach dem 8. Juli kehrt sich dieser Zustand wieder um, und die Sauerstoffkonzentration liegt in der Wakenitz wieder um einige mg/L höher als im Mühlenteich.

Diese Phase geringerer Sauerstoffsättigung kann durch Starkregen erklärt werden. Am 20.6. und am 1.7. 2022 sind in Lübeck Starkregen aufgetreten. Nach



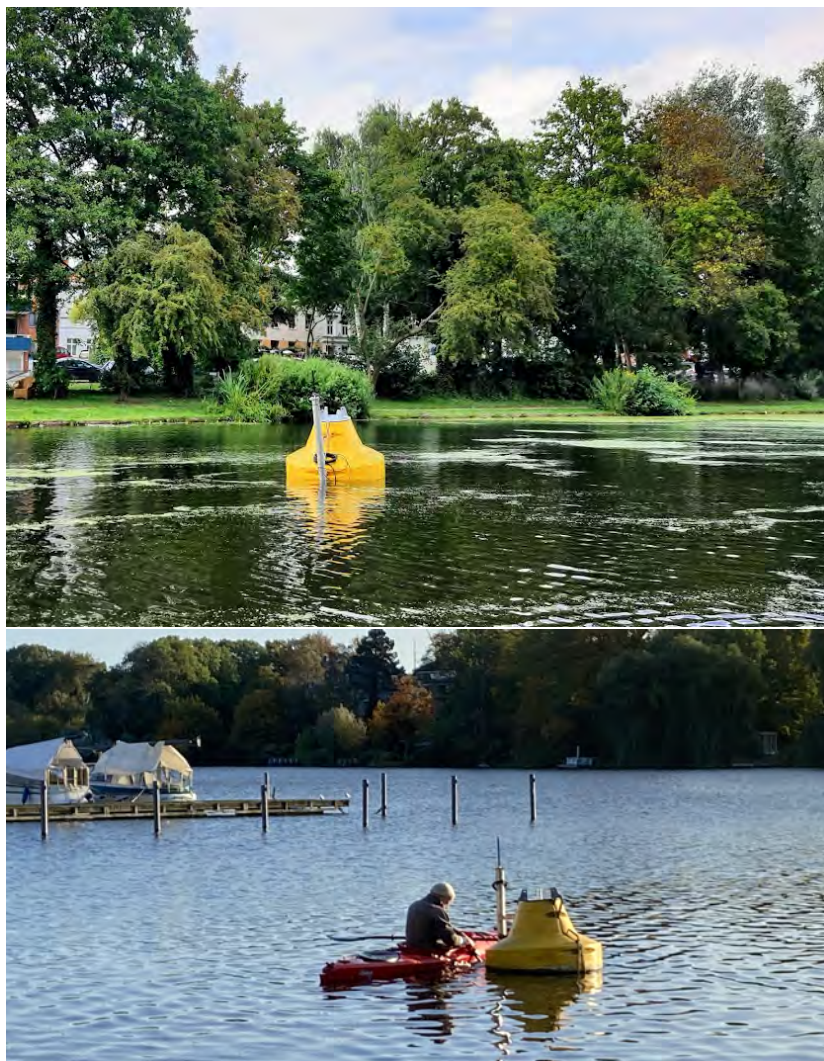


Abbildung 5.2: Sensoren im Krähenteich, seit Anfang Juni 2022 in der Wakenitz (links) und im Mühlenteich (rechts)

hohen Niederschlägen in der zweiten Maihälfte und geringen Niederschlägen danach bis zum 20. Juni war der Durchfluss durch Krähen- und Mühlenteich gering. Einflüsse der Starkregen sind im Sommer 2022 in Krähen- und Mühlenteich zu erkennen.

Aus der Arbeit zum Sauerstoffmodell ist bekannt, dass die atmosphärischen Bedingungen ebenfalls einen wichtigen Einfluss haben. Geringe Windgeschwindigkeiten bei Hochdruckwetterlagen verringern die Reaeration und damit den Sauerstoffeintrag über die Oberfläche. Eine hohe Sonneneinstrahlung führt einerseits tagsüber zu einer hohen Photosyntheseleistung, erhöht aber auch die Wassertemperatur. Nachts kommt es entsprechend ebenfalls zu einer stärkeren Respiration und generell kommt es zu einer Beschleunigung der Abbauprozesse organischen Materials und über Bodenrespiration am Gewässergrund.

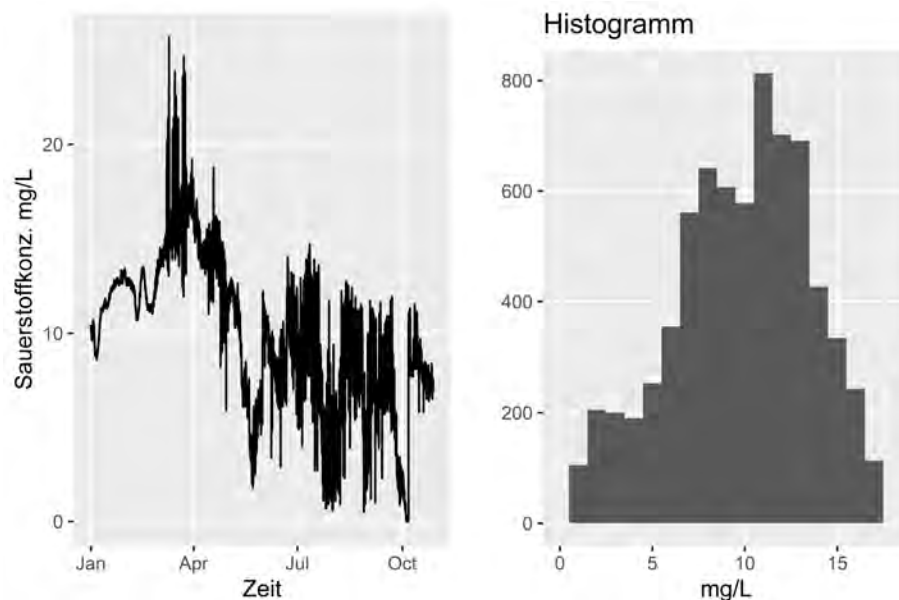


Abbildung 5.3: Zeitreihe der Sauerstoffkonzentrationen im Krähenteich und am Zulauf des Dükerkanals in der Wakenitz von Januar bis Oktober 2022

Die Zeitreihe zeigte im Mühlenteich, im Krähenteich und in der Wakenitz ab Juni 2022 erneut ausgeprägte Tagesgänge (siehe Abb. 5.4). Die Tagesgänge werden durch Photosynthese von Makrophyten und Phytoplankton tagsüber und Respiration während der Nacht verursacht. Die Werte der Sauerstoffkonzentration nehmen tagsüber im Sommer um ca. 2-3 mg/L zu und nachts um den gleichen Betrag ab. Die höchsten Werte werden in der Regel zwischen 14:00 und 16:00 erreicht, die geringsten Werte werden in den frühen Morgenstunden zwischen 4:00 und 7:00 gemessen. Wenn es zu akutem Sauerstoffmangel kommt, dann in den frühen Morgenstunden. In der Regel wird im Sommer eine positive

Nettowirkung erzielt, die jedoch gering ist und unter 0.1 bis 0.2 mg/L pro Tag liegt.

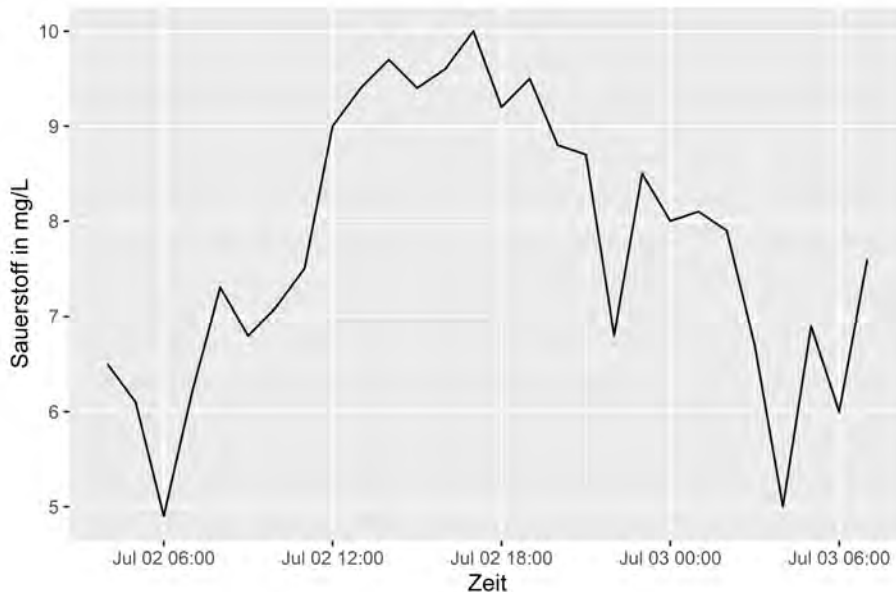


Abbildung 5.4: Tagesgänge der Sauerstoffkonzentrationen im Krähenteich und in der Wakenitz

Neben den Tagesgängen und werden Ereignisse der Sauerstoffzehrung beobachtet (Abb. 5.4). Diese Ereignisse sind jeweils 1-2 Mal pro Monat aufgetreten. Es ist auffällig, dass diese Ereignisse in der Regel nach Starkregen zu beobachten sind und 5 bis 10 Tage andauern, in denen die Sauerstoffkonzentration über diesen Zeitraum um ca. 5 mg/L fällt. Diese Episoden werden von Einträgen abbaubaren Materials in Wakenitz, Krähenteich und Mühlenteich verursacht und dauern in der Regel ca. eine Woche.

Die Sauerstoffkonzentrationen tags und nachts unterscheiden sich deutlich (Abb. 5.6). Werden von allen Messtagen jeweils die Werte um 6:00 morgens und um 14:00 nachmittags verglichen, so zeigt sich in den Häufigkeitsverteilungen der Unterschied zwischen den Minima und Maxima des Tagesganges.

### 5.1.2 Sauerstoffkonzentrationen im Mühlenteich

Die Messungen der Sauerstoffkonzentration im Mühlenteich zeigten ähnliche saisonale Veränderungen, Tagesschwankungen und Reaktionen auf einzelne Niederschlagsereignisse (Abb. 5.7). Auch im Jahr 2022 gab es eine Phase starken Sauerstoffmangels im Mühlenteich, während der die Sauerstoffwerte deutlich unter 5 mg/L lagen. Die Sauerstoffkonzentrationen im Mühlenteich lagen häufiger

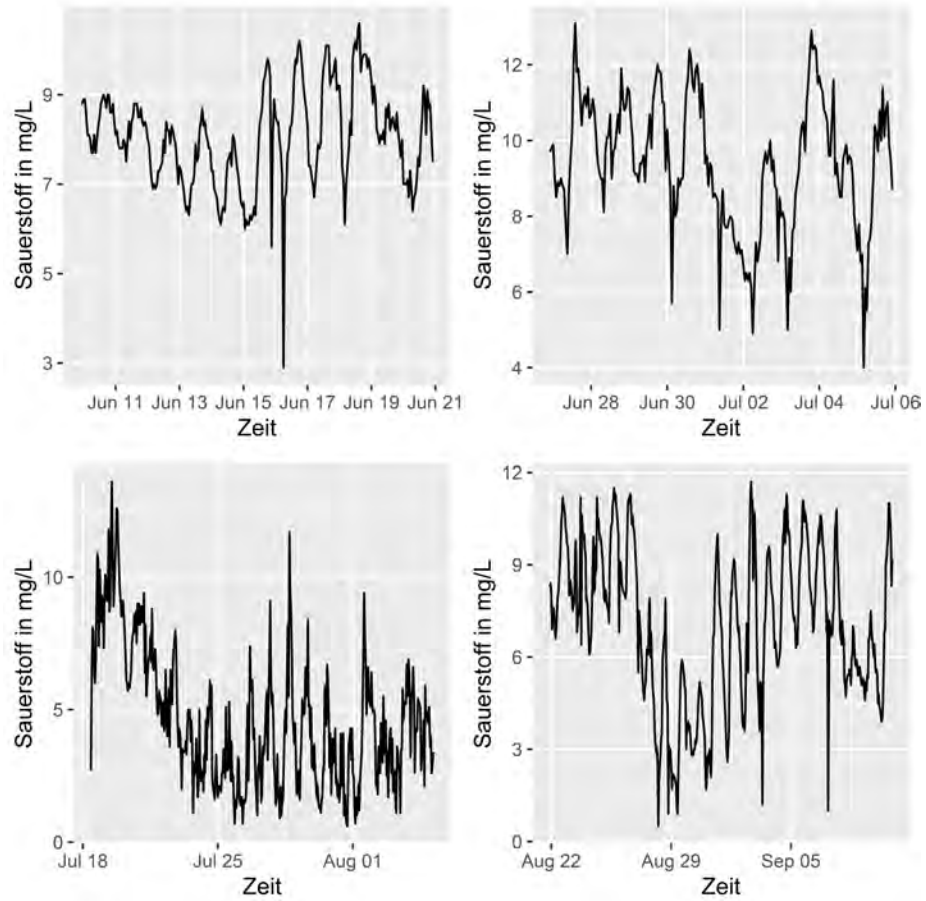


Abbildung 5.5: Ereignis mit Abnahme der Sauerstoffkonzentrationen im Krähenteich

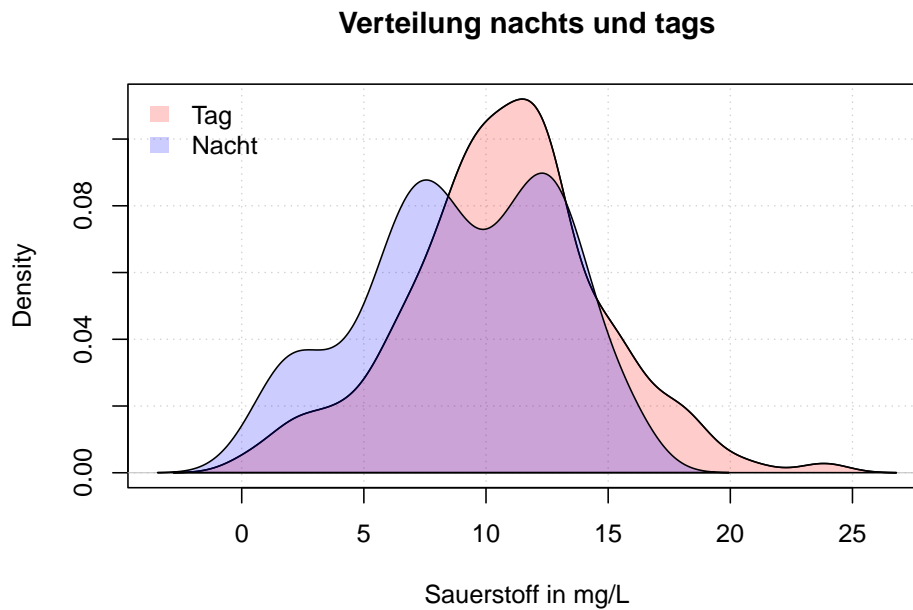


Abbildung 5.6: Vergleich der Sauerstoffkonzentrationen im Krähenteich in den frühen Morgenstunden (6 Uhr) und nachmittags (14 Uhr)

zwischen ca. 0.5-2 mg/L im Minimum und erreichten nur vor Mai 2022 maximale Werte von ca. 10.5 mg/L.

Die Zeitreihe zeigte im Mühlenteich ebenfalls ausgeprägte Tagesgänge. Insgesamt lagen die Werte niedriger als im Krähenteich. Die Häufigkeitsverteilungen von Tag- und Nachtwerten unterscheiden sich im Mühlenteich weniger als im Krähenteich.

Die Zeitreihe zeigte im Mühlenteich ebenfalls ausgeprägte Tagesgänge (Abb. 5.8). Insgesamt lagen die Werte niedriger als im Krähenteich und in der Wakenitz.

Neben den Tagesgängen und werden auch im Mühlenteich Ereignisse der Sauerstoffzehrung beobachtet (Abb. 5.9).

Der statistische Vergleich der Sauerstoffkonzentrationen im Mühlenteich und in der Wakenitz zeigt, dass der Mühlenteich deutlich geringere Sauerstoffkonzentrationen aufweist. Dafür wurde eine Häufigkeitsverteilung der Sauerstoffkonzentrationen erstellt, der über die täglichen, episodischen und saisonalen Schwankungen mittelt und den zentralen Wert und die Streuung zeigt (Abb. 5.10).

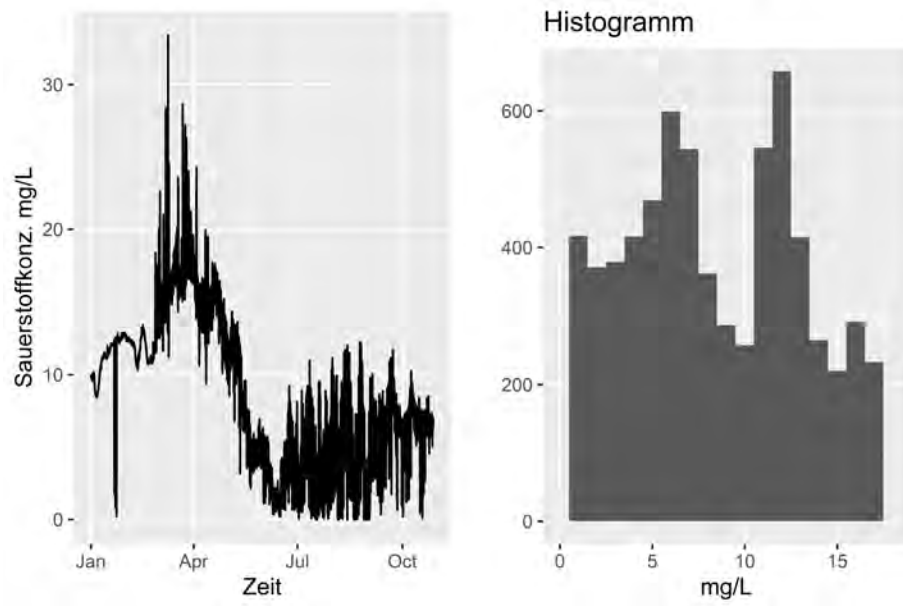


Abbildung 5.7: Zeitreihe der Sauerstoffkonzentrationen im Mühlenteich vom Januar bis zum Oktober 2022

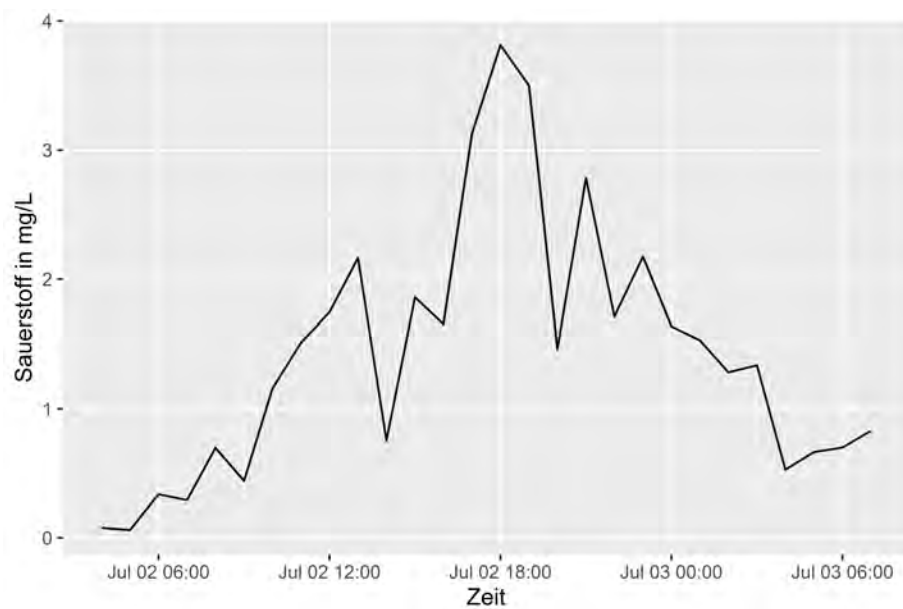


Abbildung 5.8: Tagesgänge der Sauerstoffkonzentrationen 2022 im Mühlenteich

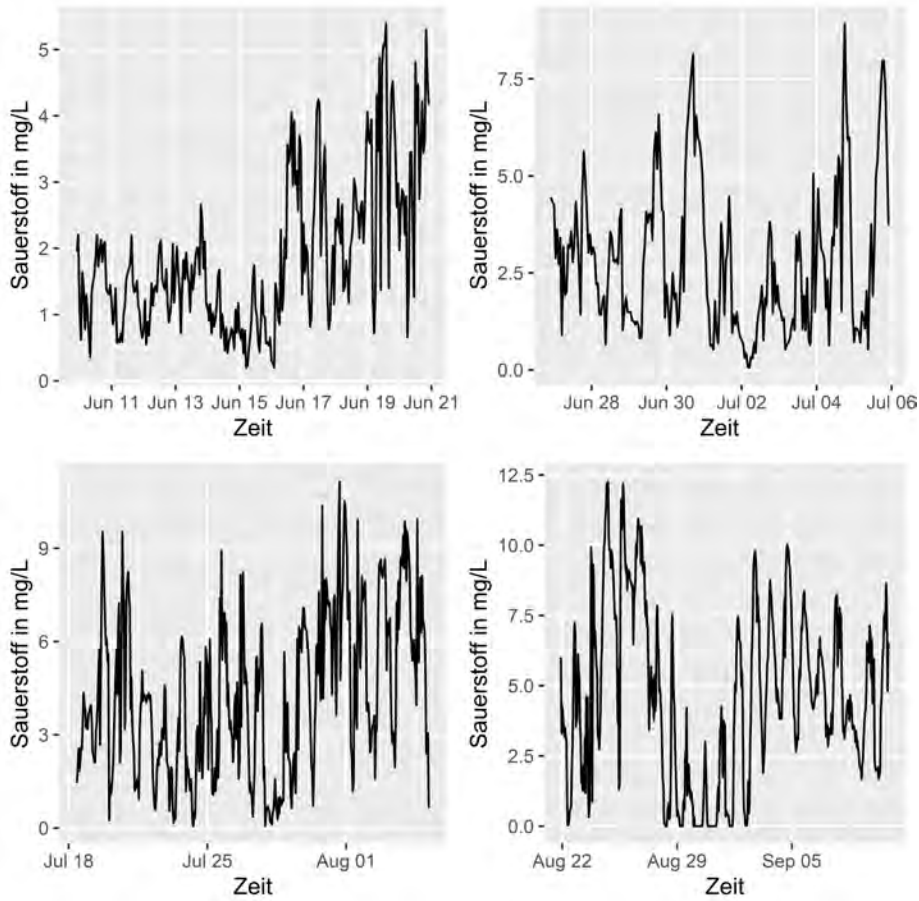


Abbildung 5.9: Ereignis mit Abnahme der Sauerstoffkonzentrationen im Mühlenteich

### Verteilung in der Wakenitz und im Mühlenteich 2022

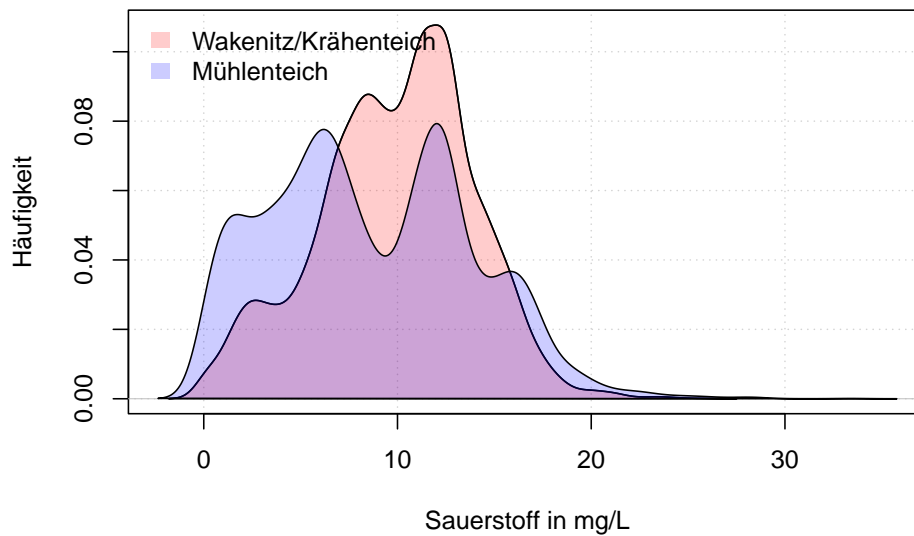


Abbildung 5.10: Vergleich der Sauerstoffkonzentrationen in der Wakenitz und im Mühlenteich

## 5.2 Zusammenfassung der Sensordaten

Die Messungen zeigen einen starken Tagesgang mit einem Anstieg während des Tages und einem Abfall während der Nacht. Diese Schwankungen werden durch die Photosynthese der Wasserpflanzen verursacht. In der oberen Wasserschicht, die im Sommer wärmeres Wasser aufweist, liegen die Werte höher und schwanken stärker. In der tieferen Wasserschicht liegen die Werte konstant niedriger.

- Die Sauerstoffgehalte lagen im Juni im Mittel bei 6-8 mg/L und sind im Juli auf teilweise 2-4 mg/L gesunken. Die tägliche Schwankung beträgt ca. +/- 2.5 mg/L Sauerstoff.
- Die Messungen zeigen auch einen allmählichen Rückgang des Sauerstoffgehaltes in der Woche nach einem Starkregen. Dieses war vier mal, im Juni, Anfang Juli und je einmal im August und September der Fall.

Für diesen Rückgang gibt es mehrere Möglichkeiten:

- zunächst kann bei Starkregen organischen Material mobilisiert werden. Die Mobilisierung von Einmündungsbereichen stammen, in denen sich organisches Material sammelt und durch Einträge aus Oberflächenabfluss über die Bodenerosion
- Auch der Eintrag von Pollen nach einer längeren Trockenphase muss betrachtet werden. Die Deposition von Maispollen wurde von Hofmann et al. (2014) auch in Norddeutschland untersucht (siehe Hofmann, F., Ot-



to, M. & Wosniok, W. Maize pollen deposition in relation to distance from the nearest pollen source under common cultivation - results of 10 years of monitoring (2001 to 2010). *Environ Sci Eur* 26, 24 (2014). <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0024-3>). Dabei nimmt die Deposition mit der Distanz der Felder ab. Die Deposition wurde mit  $Y = 1.271 \cdot 106 \cdot X - 0.585$  angegeben, wobei  $Y$  die Pollenzahl pro  $m^2$  ist. Wenn die Daten von Hofmann et al. (2014) angelegt werden und eine mittlere Distanz von 1- 10 km von der Pollenquelle, so kommt es zu einer Deposition von 177 mg Pollen pro  $m^2$ . Pollen enthalten leicht abbaubare Kohlenwasserstoffe. Nach einer längeren Trockenperiode kann es daher zu einem nennenswerten Eintrag von Pollen kommen. Eine überschlägige Frachtberechnung aus der Pollendeposition und der Abflussbildung kommt zu Belastungen des Wassers im Bereich von 10-100 mg Pollen pro Liter nach längeren Trockenphasen. Von daher können Pollen im Sommer zu erhöhten Werten des biologischen Sauerstoffbedarfes führen.

## 5.3 Messkampagnen

Das Wasserlabor der TH Lübeck hat ebenfalls regelmäßige Messkampagnen in Krähenteich und Mühlenteich durchgeführt. Bei insgesamt **5** Messkampagnen wurde eine Vielzahl an wasserchemischen Parametern gemessen, um die Wasserqualität genauer zu beurteilen.

### 5.3.1 Kampagne am 22.7. 2022

Die erste Kampagne wird detailliert mit Tabelle dargestellt. Die weiteren Kampagnen werden graphisch und teilweise tabellarisch dargestellt. Alle Daten sind in der Anlage und im Begleitmaterial enthalten.

Am 22.7. 2022 wurde die erste Messkampagne durchgeführt. Dabei wurden an sechs Messstellen in jeweils zwei Tiefen, einmal 30 bis 50 cm und einmal unter 150 cm im Gewässer die Vor-Ort-Parameter bestimmt und Proben für die Bestimmung der Nährstoff-Parameter  $BSB_5$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$  und  $PO_4^{3-}$  genommen.

Die Ergebnisse der Vor-Ort-Parameter sind in Tabelle 5.1 dargestellt. Auffallend sind die hohen pH-Werte über dem Gleichgewichtswert von 7.4, die auf Aufnahme von Kohlendioxid hindeuten und aktive Photosynthese anzeigen. Die Sauerstoffwerte fallen entsprechend entlang der Fließrichtung von der Wakenitz, über den Dükerkanal und Krähen- und Mühlenteich. Die Sauerstoffsättigung sinkt dabei von 76 % in der Wakenitz auf 20 % im unteren Mühlenteich (am Wehr).

Die Tabelle 5.2 zeigt die Nährstoffe der ersten Kampagne. Die Werte für gelöstes Orthophosphat zeigen einen erhöhten Wert im Hypolimnion des Mühlenteiches. Die Ammonium und die Nitritkonzentrationen deuten an, dass keine Umwandlung von Stickstoff bei reduzierenden Bedingungen erfolgt und dass keine primäre Verschmutzungsquelle mit Ammonium und Nitrit vorhanden ist.

Tabelle 5.1: Vor Ort Parameter der ersten Kampagne am 22.7. 2022

Probe	Ort	°C		μS/cm	mg/L	%	°C
		Luft-T.	pH	Leitf.	O2	Sättg.	Temp
W12o	Wakenitz	18	8.2	386	6.6	75.4	23.0
W12u	Wakenitz	18	8.2	386	6.6	76.5	22.9
W10o	Duker	17	8.1	377	6.3	72.7	22.7
W10u	Duker	17	8.2	377	6.1	70.2	22.5
W8o	Krahenteich	17	8.1	381	6.1	69.9	22.8
W8u	Krahenteich	17	8.2	381	6.0	67.2	22.6
W6o	Krahenteich	17	8.0	376	5.4	60.8	22.7
W6u	Krahenteich	17	8.1	376	5.7	64.6	22.2
W4o	Mühlenteich	17	8.0	378	4.6	53.5	22.8
W4u	Mühlenteich	17	7.7	378	3.8	41.7	22.5
W2o	Mühlenteich	17	7.5	382	1.8	20.2	22.8
W2u	Mühlenteich	17	7.6	382	2.1	23.8	22.2

Die Biologische Sauerstoffzehrung in 5 Tagen liegt bei den meisten Proben im Epilimnion bei 0.0, ist aber im Hypolimnion des Krähenteiches auffällig erhöht.

### 5.3.2 Kampagne vom 29. Juli 2022

Die zweite Messkampagne wurde am 29.7. 2022 durchgeführt. Die durchgehende Bezeichnung der Probenahmepunkte wurde entsprechend der Festlegung in 2021 beibehalten und ist auf einer Karte dargestellt. Die Proben wurden in allen Kampagnen an den hier dargestellten Punkten genommen.

Die zweite Kampagne am 29.7. 2022. zeigt einige wichtige Eigenschaften des Systems in Tab. 5.3.

Die Ergebnisse der Vor-Ort-Parameter sind in Tabelle 5.3 dargestellt.

Die Tabelle 5.4 zeigt die Nährstoffe der zweiten Kampagne. Auffällig ist hier ein hoher Ammoniumwert im Krähenteich, der in Verbindung mit hohen pH-Werten kritisch für Fische sein kann. Auffällig ist hier ebenfalls, dass es durchgehend im Hypolimnion hohe  $BSB_5$  Werte gibt, die von der Wakenitz in Fließrichtung zum Mühlenteich abnehmen. Im Epilimnion hat bereits ein Abbau der Werte stattgefunden.

Die Kampagne vom 29.7. 2022 zeigt deutlich die Abnahme von Sauerstoff von der Wakenitz über den Dükerkanal bis in den Mühlenteich (Abb. 5.12).

Es wird bestätigt und deutlich gezeigt, wie der Abbau von organischem Material die beobachtete Sauerstoffzehrung verursacht. Der Sauerstoffbedarf ist hierbei interessanterweise besonders im Hypolimnion erhöht und nimmt entlang des

Tabelle 5.2: Nährstoffe der ersten Kampagne am 22.7. 2022

Probe	Ort	mg/L			
		Ortho-P.	Nitrit	NH4	BSB5
W12o	Wakenitz	0.114	0.048	0.272	0.0
W12u	Wakenitz	0.110	0.044	0.288	0.0
W10o	Duker	0.106	0.022	0.262	0.0
W10u	Duker	0.101	0.023	0.281	0.0
W8o	Krahenteich	0.160	0.062	0.266	0.0
W8u	Krahenteich	0.103	0.061	0.257	8.5
W6o	Krahenteich	0.133	0.025	0.344	0.0
W6u	Krahenteich	0.114	0.027	0.359	10.9
W4o	Muhleenteich	0.485	0.016	0.052	0.0
W4u	Muhleenteich	0.085	0.038	0.096	1.1
W2o	Muhleenteich	0.079	0.111	0.267	0.0
W2u	Muhleenteich	0.141	0.110	0.274	6.7

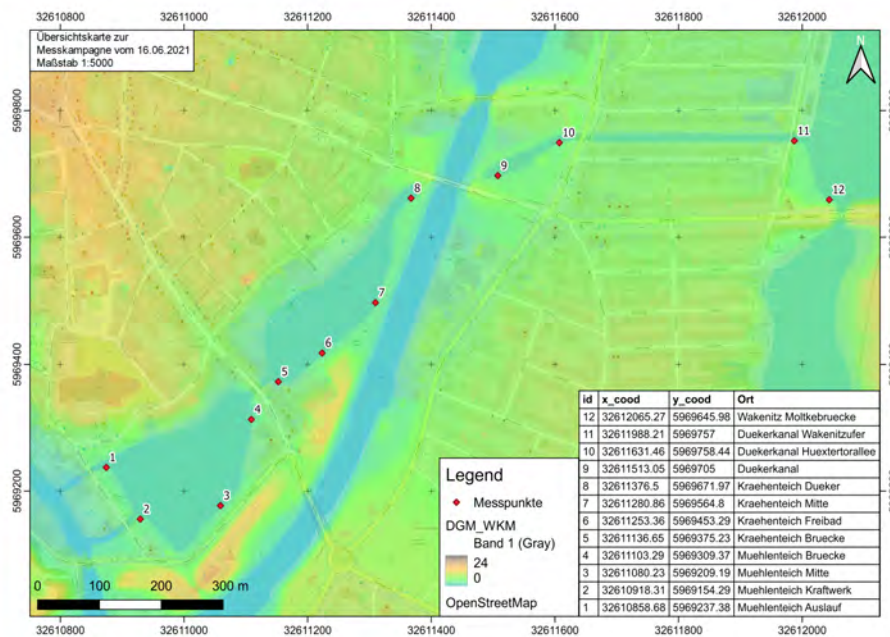


Abbildung 5.11: Probenahmepunkte ab Moltkebrücke bis zum Mühleenteich, Karte erstellt von W. Stabenow

Tabelle 5.3: Vor Ort Parameter der zweiten Kampagne am 29.7. 2022

Probe	Ort	°C		µS/cm	mg/L	%	°C
		Luft-T.	pH	Leitf.	O2	Sättg.	Temp
W12o	Wakenitz	19	9.0	404	11.9	134.8	24.2
W12u	Wakenitz	19	8.8	410	10.2	114.2	21.3
W10o	Duker	19	8.8	389	7.6	81.6	20.8
W10u	Duker	19	8.6	388	6.4	71.8	22.0
W8o	Krahenteich	22	7.9	389	4.3	46.3	20.6
W8u	Krahenteich	22	8.3	389	4.4	47.7	20.7
W6o	Krahenteich	22	8.0	416	5.5	60.8	21.1
W6u	Krahenteich	22	7.8	417	5.9	65.0	20.9
W4o	Muhlenteich	22	7.7	416	2.2	24.4	20.8
W4u	Muhlenteich	22	7.2	440	1.2	13.3	21.7
W2o	Muhlenteich	22	7.5	388	5.0	55.0	20.9
W2u	Muhlenteich	22	7.5	387	3.6	41.4	21.7

Tabelle 5.4: Nährstoffe der zweiten Kampagne am 29.7. 2022

Probe	Ort	mg/L			
		Ortho-P.	Nitrit	NH4	BSB5
W12o	Wakenitz	0.523	0.162	0.447	0.0
W12u	Wakenitz	0.000	0.012	0.049	10.7
W10o	Duker	0.000	0.022	0.042	0.0
W10u	Duker	0.568	0.024	0.047	8.2
W8o	Krahenteich	0.000	0.029	0.164	0.0
W8u	Krahenteich	0.000	0.028	0.193	9.6
W6o	Krahenteich	0.000	0.027	0.212	0.0
W6u	Krahenteich	0.000	0.022	0.092	5.3
W4o	Muhlenteich	0.266	0.043	1.080	0.0
W4u	Muhlenteich	0.000	0.035	0.059	3.0
W2o	Muhlenteich	0.000	0.057	0.160	0.0
W2u	Muhlenteich	0.915	0.065	0.081	0.0

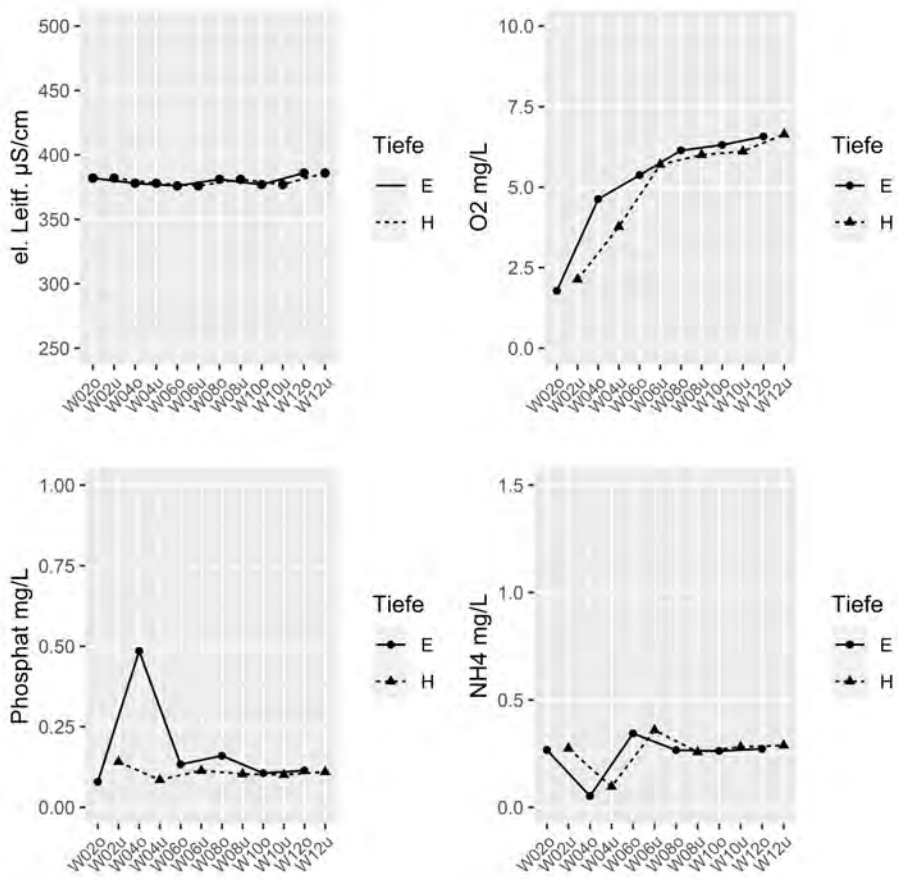


Abbildung 5.12: Nährstoffe, Kampagne vom 22.7. 2022

Fließweges ab. Ortho-Phosphat wird durch die biologische Aktivität in der oberen Wasserschicht aufgenommen und nimmt daher entlang des Fließweges ab (Abb. 5.13).

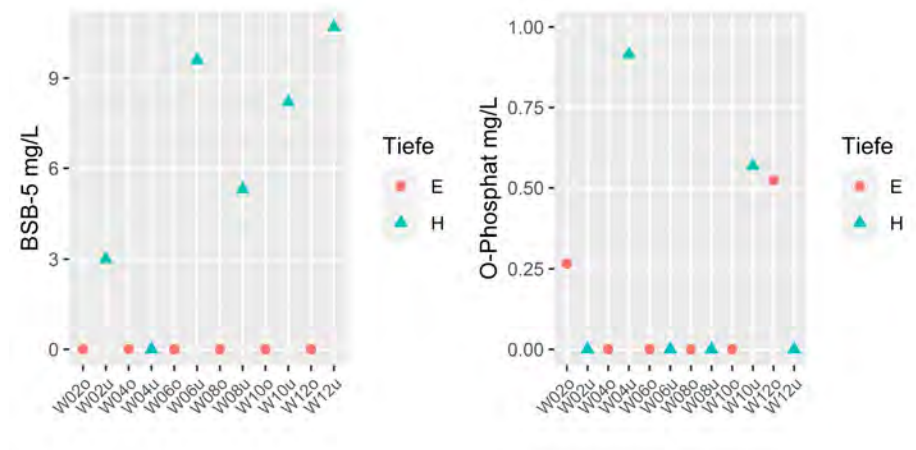


Abbildung 5.13: Kampagne vom 22.7. 2022, Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen und Phosphat für flaches Wasser (50 cm) und tiefes Wasser (> 150 cm Tiefe)

### 5.3.3 Kampagnen vom August 2022

Die dritte und vierte Kampagne wurden am 5 und 12.8. durchgeführt. Hier wird die Kampagne vom 12. August detailliert dargestellt. Es wurden die Wakenitz, der Dükerkanal, der Krähenteich und der Mühlenteich beprobt. Die elektrische Leitfähigkeit zeigt homogene Verhältnisse ohne Zuflüsse an, siehe Abb. 5.14. Wie auch im Juli 2022 nimmt die Sauerstoffkonzentration entlang des Fließweges deutlich ab. Der Sauerstoffbedarf  $BSB_5$  nimmt im Epilimnion ab und weist durchgehend erhöhte Werte im Hypolimnion auf.

Die Werte des biologischen Sauerstoffbedarfes im Hypolimnion liegen in 2022 im Vergleich zu 2021 deutlich höher. In den tieferen Wasserschichten scheint es zu einer Mobilisierung von abbaubarem organischem Material zu kommen, das auf diesem Wege in den Krähenteich und Mühlenteich gelangt.

### 5.3.4 Die Kampagnen vom Spätsommer 2022

Die letzte Kampagne vom 19. August wies erneut geringe Sauerstoffwerte aber inzwischen geringere Belastungen mit organischem Material auf (Abb. 5.16 und 5.17).

Die elektrische Leitfähigkeit zeigt erneut keine Inhomogenitäten, daher ist davon auszugehen, dass keine Zuflüsse von Regenwasser direkt in den Krähen-

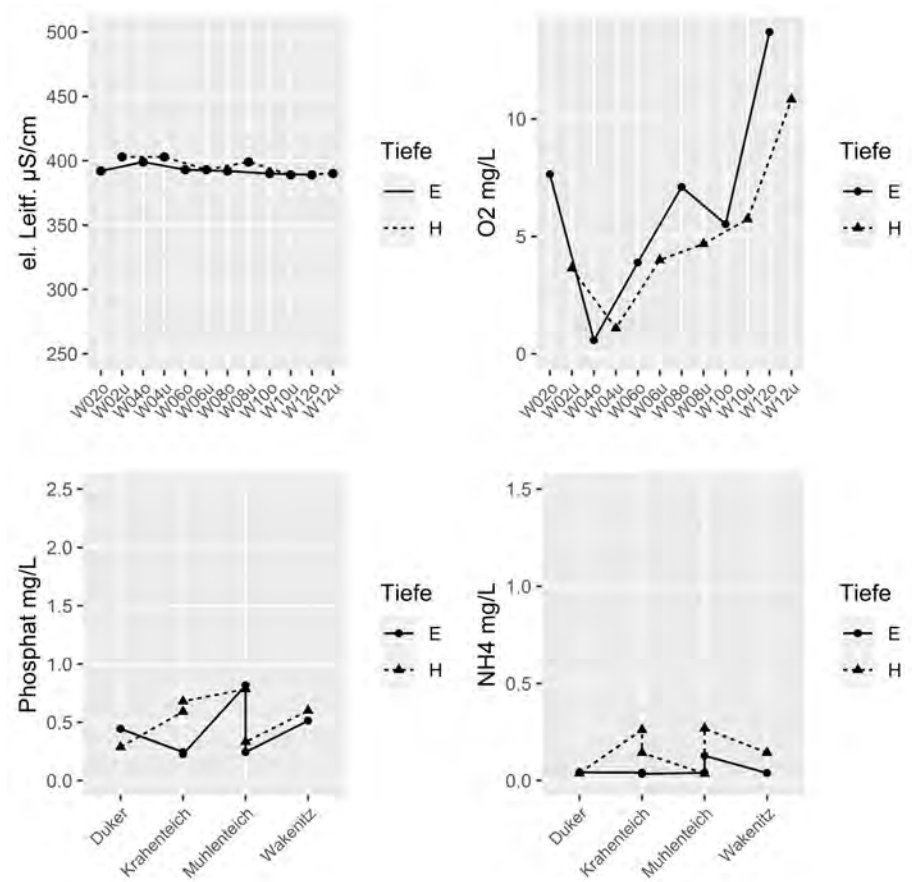


Abbildung 5.14: Nährstoffe, Kampagne vom 12. August 2022 mit Vor Ort Parameter elektrische Leitfähigkeit und Sauerstoffkonzentration (mg/L) oben, sowie für Phosphat und Ammonium jeweils in mg/L (unten)

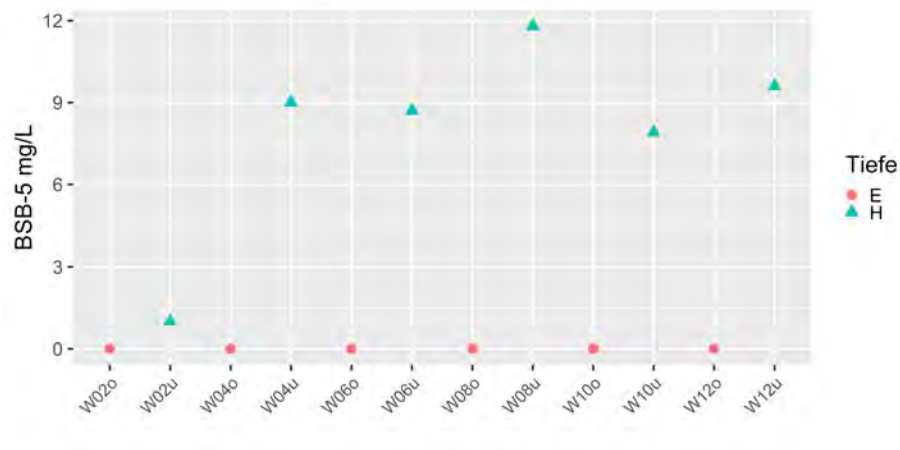


Abbildung 5.15: Nährstoffe, Kampagne vom 8. August 2022, Biologischer Sauerstoffbedarf in mg/L für das Epilimnion (E) und das Hypolimnion (H)

und Mühlenteich auftreten, sondern, dass die Belastungen über Wakenitz und Dükerkanal in den Krähenteich und Mühlenteich gelangen.

Der Sauerstoffgehalt fällt wieder deutlich entlang des Fließweges im Epilimnion und im Hypolimnion. Die beobachteten Konzentrationen von Orthophosphat sind wieder erhöht, die Konzentration von Ammonium  $NH_4^+$  deutet auf eine Umwandlung von Stickstoff im Gewässerkörper hin.

Die Kampagnen vom Spätsommer 2022 sind aufschlussreich, da sie die Variabilität der Zuflüsse und die Reaktion des Systems Krähenteich und Mühlenteich auf diese veränderten Zuflüsse sehr deutlich zeigen. Vor allem die sehr hohen Konzentrationen von  $BSB_5$  zeigen eine Belastung mit organischem Material an. Die Werte nehmen von der Moltkebrücke (10 mg/L) über den Dükerkanal (über 5 mg/L) in den Krähenteich ab und steigen im Mühlenteich wieder leicht an. Das organische Material wird im Krähen- und Mühlenteich unter Sauerstoffverbrauch abgebaut und führt zu Sauerstoffarmut. Gleichzeitig werden dadurch Nährstoffe in beiden Gewässern freigesetzt (Orthophosphat, Ammonium), die wiederum erneutes Algen- und Pflanzenwachstum auslösen.

### 5.3.5 Synthese

Es wurden neben Sauerstoffgehalt, Temperatur, pH und Salzgehalt, auch die Nährstoffe, insbesondere Nitrat, Ammonium und Orthophosphat bestimmt. Der Biologische Sauerstoffbedarf in 5 Tagen wurde als Maß für die Belastung mit leicht abbaubaren und sauerstoffzehrenden Substanzen im Labor bestimmt.

- Der bestimmende Prozess für die Wasserqualität in Krähenteich und Mühlenteich ist der Zufluss von organischem Material über die Wakenitz. Die



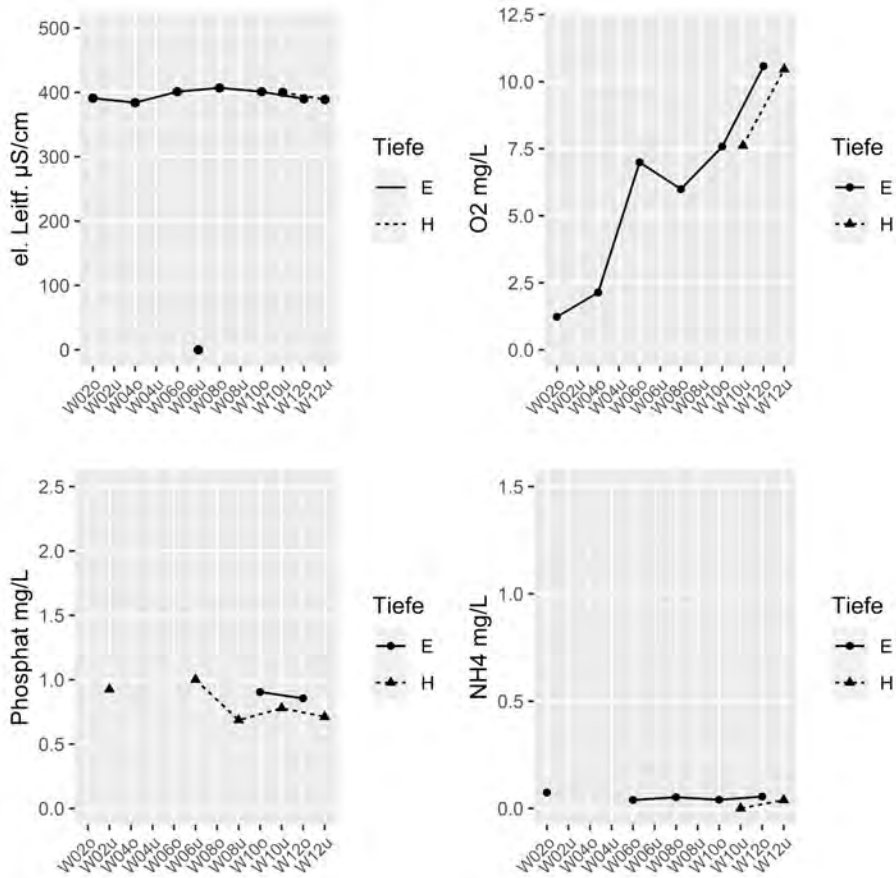


Abbildung 5.16: Nährstoffe, Kampagne am 19. August 2022 für die Vor Ort Parameter elektrische Leitfähigkeit und Sauerstoffkonzentration (oben) und die Nährstoffe Phosphat und Ammonium in mg/L (unten)

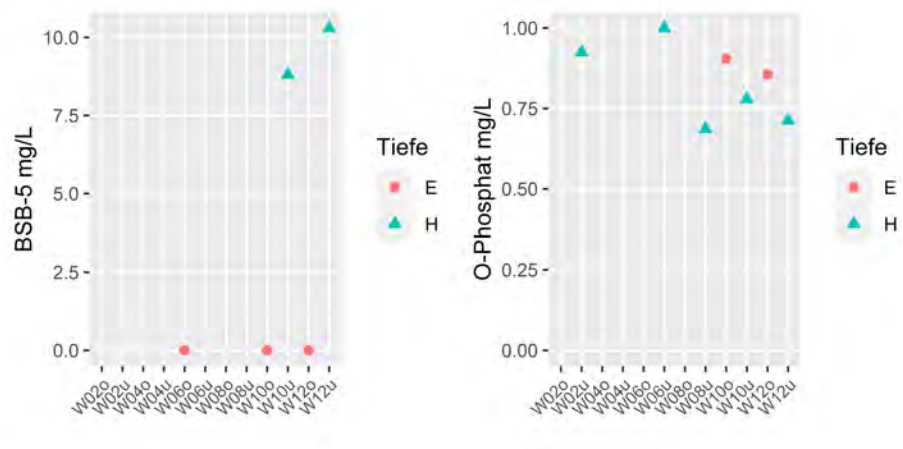


Abbildung 5.17: Nährstoffe, Kampagne vom 19. August 2022, Biologischer Sauerstoffbedarf und Phosphat für das Epilimnion (E, roter Kreis) und das Hypolimnion (H, blaues Dreieck)

Konzentrationen von  $BSB_5$  Werten liegen gegenüber 2021 höher.

- Die Kampagnen aus dem Jahr 2022 haben insbesondere deutlicher gezeigt, dass Phosphat mit hohen Konzentrationen im Hypolimnion in Krähenteich und Mühlenteich gelangt.

## 5.4 Messkampagnen entlang der Wakenitz

### 5.4.1 Gelöste organische Substanz entlang der Wakenitz

Um die Herkunft und Quellen des organischen Materials besser zu identifizieren, das die Abbauprozesse auslöst, wurden Proben entlang der Wakenitz von Rothenhusen bis zum Zufluss des Dükerkanals genommen. Diese Proben wurden auf Nährstoffe und Vor Ort Parameter untersucht. Im Einzelnen wurden gelöster Sauerstoff (DO, dissolved oxygen) und der biologische Sauerstoffbedarf (BOD, biological oxygen demand) bestimmt.

Der biologische Sauerstoffbedarf war bei den Probenahmekampagnen durchgehend gering (BOD, entsprechend  $BSB_5$ ). Die Menge gelösten Sauerstoffs (dissolved oxygen, DO in mg/L) zeigt eine deutliche Variation entlang des Fließweges. In der Graphik sind ebenfalls die Sättigungen als Beschriftung gegeben. Der Abfluss der Wakenitz beginnt mit ca. 9 mg/L Sauerstoffsättigung und 95 Prozent Sättigung. Die Werte fallen entlang der Wakenitz und sinken bis auf 6 mg/L Sauerstofflösung. Am Kleinen See steigt die Sauerstoffsättigung durch Photosynthese auf über 100 Prozent. Dieses Signal kann bis zum Dükerkanal verfolgt werden.

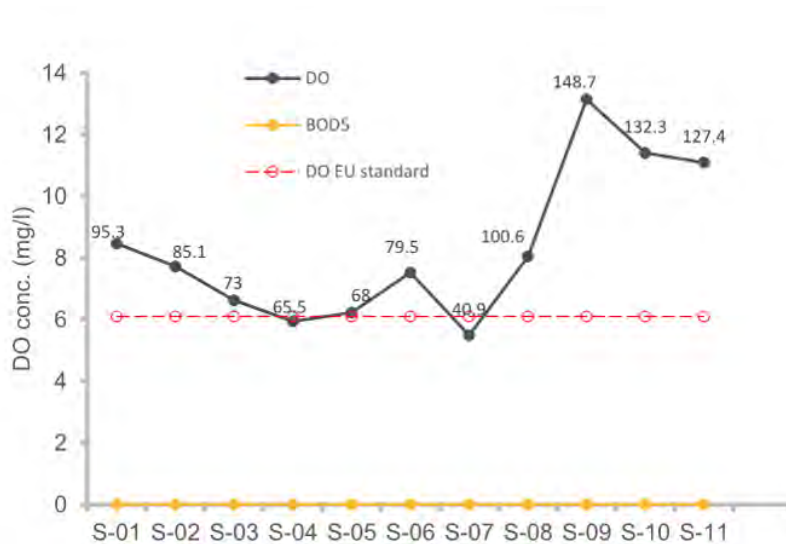


Abbildung 5.18: Entwicklung des gelösten Sauerstoffes (DO=dissolved oxygen in mg/L) und des biologischen Sauerstoffbedarfes in 5 Tagen (BOD=biological oxygen demand in mg/L) entlang der Wakenitz von Probenahmen ab Rothenhusen (1) bis zum Zufluss Dükerkanal (12)

#### 5.4.2 Nährstoffe entlang der Wakenitz

Um die Herkunft und Quellen der Nährstoffe Nitrat und Phosphat zu untersuchen, wurden entlang eines Profils von Rothenhusen bis zum Zufluss des Dükerkanals Proben auf Nitrat und Phosphat untersucht.

Hierbei fallen erhöhte Werte von Nitrat am Zufluss der Grönau und leicht erhöhte Werte von Phosphat an den Zuflüssen des Lüdersdorfer Landgrabens und des Niemarker Landgrabens auf. Die Probe S06 wurde im Mündungsbereich der Grönau in stehendem Wasser genommen.

Diese Probenahme zeigt, wenn auch nur für eine Stichtagssituation, dass die Zuflüsse Einträge von Phosphat an Schweb- und Bodenpartikeln liefern und dass über die seitlichen Zuflüsse auch Nitrat in das System Wakenitz eingetragen wird. Der Eintrag von gelösten organischen Kohlenstoffen scheint besonders im Bereich des kleinen Sees oder witterungsabhängig bei Starkregen zu erfolgen (dies hatten die Untersuchungen von 2021 gezeigt). Neben dem kleinen See scheinen hier besonders auch die Mündungsbereiche mit Anlagerungen von Sedimenten Quellen von Nährstoffen und von biologisch abbaubarem Material zu sein, die bei Starkregen Einträge liefern können.

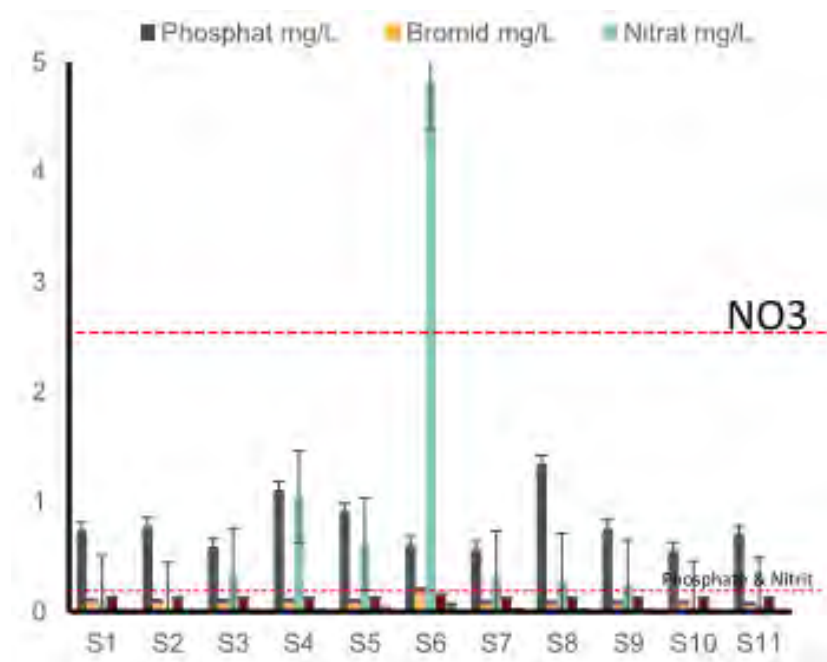


Abbildung 5.19: Entwicklung der Konzentrationen von Nitrat und Phosphat entlang der Wakenitz von Probenahmen ab Rotenhusen (1) bis zum Zufluss Dükerkanal (12)

## 6. Diskussion

Die Untersuchungen der Wasserqualität von Krähenteich und Mühlenteich, die 2021 begonnen wurden, wurden 2022 fortgeführt. Die Untersuchungen umfassten die Überwachung der Sauerstoffwerte und Temperatur (stündlich) und Messkampagnen entlang eines Profils von der Wakenitz über den Dükerkanal, den Krähenteich bis zum Mühlenteich. Im gleichen Zeitraum wurde ein Modell der Sauerstoffkonzentration im Krähenteich und Mühlenteich entwickelt.

Die Messstation im Krähenteich wurde an den Zulauf von der Wakenitz zu den Stadtseen vor dem Dükerkanal verlegt. Damit liegen nun Daten über die Wasserqualität des Zulaufwassers vor. Die Messstation im Mühlenteich wurde unverändert weitergeführt.

Das Messsystem hat sich bewährt und hat ohne Unterbrechungen gemessen. Die Messstation an der Wakenitz wurde im August/September 2022 einmal gereinigt, da sich hier Algen auf der Messsonde gebildet hatten und die Messwerte in Folge dieses Bewuchses abgesunken waren. Sofort nach der Reinigung hat die Messsonde wieder repräsentative Werte geliefert. Die Funktionstüchtigkeit wurde über eine Vergleichsmessung mit einem Handgerät überprüft, die eine Abweichung von weniger als 0.15 mg/L Sauerstoff aufwies.

Die Messsensoren wurden auch im Winter 2021/2022 betrieben und zeigen, wie sich das Gewässersystem vollständig erholt und hohe Sauerstoffsättigungen erreicht, sobald im Spätherbst die Temperaturen fallen und eine Maxis im Ratzeburger See eintritt.

Insgesamt war die Situation der Sauerstoffsättigung 2022 im Mühlenteich noch kritischer als 2021. Es ist nicht zu einem Fischsterben gekommen, aber die Sauerstoffkonzentrationen lagen im Juli, August und Anfang September 2022 im Mühlenteich bei geringen Werten von 2.5 bis 5.0 mg/L.

Die Messkampagnen 2022 haben noch wesentlich deutlicher gezeigt, wie der Abbau von Sauerstoff von der Wakenitz über Dükerkanal und Mühlenteich kontinuierlich erfolgt und einen eindeutigen Trend aufweist. Mehrere Profile haben deutlich die Abnahme gezeigt. Ursächlich hierfür war der sehr geringe Zufluss aus der Wakenitz auf Grund der Trockenheit. Dadurch hat sich die Verweilzeit im System Krähenteich und Mühlenteich erhöht und es konnte bei hohen

Temperaturen ein stärkerer Abbau erfolgen.

Neue Erkenntnisse haben die Messungen der Nährstoffe geliefert. Hohe Werte von Phosphat wurden im tieferen Wasser der Wakenitz (Hypolimnion, Tiefen unter der sehr schwach ausgeprägten Sprungschicht) beobachtet. Dies deutet auf eine Mobilisierung von Phosphaten über die Gewässersohle hin.

Die  $BSB_5$  Werte, die im Jahr 2022 beobachtet wurden lagen deutlich höher als die Werte von 2021. Während 2021 in der Regel geringe Werte von unter 5 mg/L beobachtet wurden und vor allem nach Starkregen eine stärkere Belastung zu beobachten war, so lagen die Werte im Sommer und Herbst 2022 deutlich höher und waren auch durchgehend nachweisbar. Auch hier konnten höhere Werte in den tieferen Wasserproben beobachtet werden.

Ein neuer Mechanismus konnte beobachtet werden, der den Abfall der Sauerstoffwerte erklärt. Bei einer Abkühlung der Lufttemperatur und Wassertemperatur kommt es in den darauffolgenden Tagen zu einem Abfall der Sauerstoffsättigungen. Dieses wird mit einer Wirkung der Temperatur auf das komplexe System und Gleichgewicht der sauerstoffzehrenden und -produzierenden Prozesse erklärt. Sauerstoff wird über die Oberfläche der Gewässer eingetragen und zwar um so mehr, je windiger es ist, je schneller das Wasser fließt und je größer das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen ist, was im wesentlichen von der Tiefe des Gewässers abhängt. Sauerstoff wird am Gewässerboden gezehrt und zwar um so stärker je mehr organisches Material sich in diesem befindet. Algen und Wasserpflanzen produzieren Sauerstoff am Tag und zehren nachts Sauerstoff. Bei Absterben der Algen kommt es am Ende des Sommers oder nach starken Algenblüten zu einer von der vorhandenen und absterbenden Biomasse abhängigen Zehrung.

Im Jahr 2022 wurde ein Rechenmodell erstellt, das diese Prozesse darstellt und vorhersagbar macht. Mit dem Modell konnten die Schwankungen der Sauerstoffkonzentrationen für die einzelnen Monate in Abhängigkeit von Strahlung, Wind, Temperatur und von Parametern der Gewässermorphologie, der Fließgeschwindigkeit abgebildet werden. Dieses Modell wurde verwendet um die Prozesse zu quantifizieren.

## 7. Maßnahmen

Nach zwei Jahren kontinuierlicher Messungen der Sauerstoffkonzentrationen und jeweils in den Jahren mehrfach durchgeführter Kampagnen besteht ein deutlich besseres Verständnis der Prozesse, die zu Sauerstoffmangel führen. Die Rolle der Witterung, insbesondere von Starkregen, Wind, Bewölkung, Strahlung und Temperaturveränderungen ist erkennbar. Die Zusammenhänge zwischen Witterungsfaktoren, Wetterlagen, Trockenperioden und der genaue Einfluss dieser Parameter auf die Sauerstoffkonzentrationen sollte näher untersucht werden mit dem Ziel, eine Vorhersage und Warnung vor Sauerstoffdefiziten erhalten zu können.

Im Jahr 2022 wurde ein Sauerstoffmodell des Krähen- und Mühlenteiches erstellt. Dieses Modell ermöglicht eine Vorhersage der Sauerstoffsättigung auf physikalischer Basis. Das Modell wird zur Zeit nur monatsweise angepasst. Es wird vorgeschlagen, dieses Modell zu generalisieren und für die Sommerperiode insgesamt anzupassen, um eine Vorhersage der Sauerstoffsättigung für einige Tage bei gegebenen Randbedingungen zu erreichen.

Im Jahr 2022 wurde über die Arbeit von Thore Edler versucht, die in Ergänzung zu diesem Bericht übermittelt wird, die Abflussverhältnisse im Krähen- und Mühlenteich zu erfassen. Es wurde eine Abflusscharakteristik für den Düker erstellt, die eine Übersetzung von Dükerstellungen und Abflüssen ermöglicht. Abflussmessungen am Mühlentor wurden durchgeführt, die aber erhebliche Gegenströmungen zeigten. Aufbauend auf den Ergebnissen von 2022 sollte die Gesamtsituation der Abflüsse geklärt werden, wobei auch die Abflüsse über den Falkendamm zu erfassen sind.

Es wird empfohlen die Belüftungsanlage fertigzustellen. Das Messsystem und die oben genannten Modelle sollten zu einer möglichen Steuerung der Belüftungsanlage verwendet werden.

Es wurden erste Beprobungen der Zuflüsse zur Wakenitz durchgeführt. Es wird empfohlen einen stärkeren Fokus auf die Quellen und die Herkunft der Nährstoffe und organischen Belastungen in der Wakenitz zu legen und diese genauer zu beproben. Hierbei sollten Proben jeweils vor und nach den Zuflüssen und entlang des Profils der Wakenitz genommen werden.

Die hydrologischen, physikalischen und hydrochemischen Parameter und Verhältnisse sind durch die bisherigen Untersuchungen recht gut bekannt. Relativ wenig bekannt ist jedoch noch der Einfluss von Algen und Makrophyten, also der biologischen Randbedingungen. Es wird empfohlen, die Dynamik der Algenblüten und die Verteilung der Makrophyten genauer zu untersuchen. Für eine Gesamtanalyse, die die Rolle der meteorologischen, der hydrologischen, der physikalischen (Sauerstofflösung durch Wind, Rolle der Strahlung) und hydrochemischen Faktoren mit den gewässerökologischen verbindet fehlt noch die hydrobiologische Expertise, damit in Zukunft auch mögliche Maßnahmen zur Kontrolle von Makrophyten und Fischbesatz mit einbezogen werden können. Solange dieses Gesamtverständnis noch nicht vorhanden ist, wird empfohlen,

- auf eine Erkundung und Verringerung der Belastungen hinzuarbeiten,
- Maßnahmen zum Monitoring und zur Warnung vor Sauerstoffdefiziten unter Verwendung der vorhandenen Monitoringstationen des Sauerstoffes und der Klimaparameter umzusetzen,
- die Abflussverhältnisse auf täglicher Basis so gut zu klären, dass eine Steuerung der Zuflüsse und Überläufe die gewässerökologischen Zustandsgrößen berücksichtigen und möglichst verbessern kann.



# Literaturverzeichnis

Kimberly Kasichke and Lisa Osterhoff. Artificial wetland design for niemarker landgraben. Report, TH Lübeck, 2021.

Ingrid Schalies. Wasserbaumaßnahmen im mittelalterlichen und neuzeitlichen lübeck. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit*, 21:73–86, 2009. ISSN 1619-1471.

Wencke Stabenow and Lisa Besser. Water quality of lübeck city lakes krähen- teich and mühlenteich. Report, TH Lübeck, 2021.