

# MAKO – FFH Ville Seen

## FFH-Gebiet Ober-, Mittel- und Untersee in der Ville- Seenkette DE-5107-305

### Gewässerökologischer Fachbeitrag 2020: Trophie und Makrophyten

- Bewertung und Handlungsempfehlung -



für den  
Rhein-Erft-Kreis

29.10.2020



DIE **GEWÄSSER**-EXPERTEN!

Dipl.-Geogr. Ingo Nienhaus

Im Alten Breidt 1, 53797 Lohmar

Tel. 02246-925 60 79

## Impressum

### Auftragnehmer



DIE **GEWÄSSER**-EXPERTEN!

Inhaber: Dipl.-Geogr. Ingo Nienhaus

Im Alten Breidt 1, 53797 Lohmar

Tel.: 02246 – 925 60 79 – FAX: 02246 – 925 44 07

[www.gewaesser-experten.de](http://www.gewaesser-experten.de), [info@gewaesser-experten.de](mailto:info@gewaesser-experten.de)

### Mitwirkende an der Projektarbeit

Dipl.-Geogr. Frauke Kramer

Projektleiter

Dipl.-Geogr. Ingo Nienhaus

Projektmitarbeiter Bereich Makrophyten

B. Sc. Geographie Katja Trefz

Projektmitarbeiter Bereich Trophie

M.Sc. Naturschutz und Landschaftsplanung  
Constanze Mächling

Projektmitarbeiter Daten und Support

### Auftraggeber



Rhein-Erft-Kreis

Amt für Kreisentwicklung und Ökologie 61/21 Kreisplanung

Biodiversität / Vertragsnaturschutz / Landwirtschaft

**Titelfoto:** *Nuphar lutea* mit Schwimmblättern (DIE GEWÄSSER-EXPERTEN! 2019).

## Inhalt

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung .....</b>                       | <b>4</b>  |
| 1.1      | Ziel.....                                     | 4         |
| 1.2      | Gebietsbeschreibung .....                     | 4         |
| <b>2</b> | <b>Methodisches Vorgehen .....</b>            | <b>7</b>  |
| 2.1      | Ermittlung der Trophie.....                   | 7         |
| 2.2      | Untersuchung der Makrophyten.....             | 8         |
| <b>3</b> | <b>Ergebnisse .....</b>                       | <b>10</b> |
| 3.1      | Seebeprobung und Analytik .....               | 10        |
| 3.1.1    | Obersee .....                                 | 10        |
| 3.1.2    | Mittelsee .....                               | 19        |
| 3.1.3    | Untersee .....                                | 26        |
| 3.2      | Makrophyten .....                             | 33        |
| 3.2.1    | Obersee .....                                 | 33        |
| 3.2.2    | Mittelsee .....                               | 36        |
| 3.2.3    | Untersee .....                                | 39        |
| <b>4</b> | <b>Bewertung .....</b>                        | <b>41</b> |
| 4.1      | Trophie .....                                 | 41        |
| 4.1.1    | Obersee .....                                 | 41        |
| 4.1.2    | Mittelsee .....                               | 42        |
| 4.1.3    | Untersee .....                                | 43        |
| 4.3      | Ergebnissynthese der Nährstoffsituation ..... | 44        |
| 4.4      | Makrophyten .....                             | 46        |
| 4.4.1    | Obersee .....                                 | 46        |
| 4.4.2    | Mittelsee .....                               | 46        |
| 4.4.3    | Untersee .....                                | 46        |
| <b>5</b> | <b>Handlungsempfehlungen .....</b>            | <b>49</b> |
|          | <b>Literatur .....</b>                        | <b>51</b> |
|          | <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>            | <b>53</b> |
|          | <b>Tabellenverzeichnis .....</b>              | <b>55</b> |

# 1 Einleitung

## 1.1 Ziel

Der gewässerökologische Fachbeitrag ist eine vertiefende Ergänzung in Vorbereitung auf das Maßnahmenkonzept (MAKO) für das FFH-Gebiet „DE-5107-305 Ober-, Mittel- und Untersee in der Ville-Seenkette“ mit besonderem Augenmerk auf die Trophie und die Makrophyten. Ziel des Fachbeitrags ist es, die spezifischen Erfordernisse der Gewässerökologie bei der Entwicklung von Zielen und Maßnahmen des MAKO zu berücksichtigen und Hintergrundinformationen als Grundlage zu den Maßnahmenkonzepten bereitzustellen.

## 1.2 Gebietsbeschreibung

Das 58 ha große FFH-Gebiet „DE-5107-305 Ober-, Mittel- und Untersee in der Ville-Seenkette“ ist Teil des Naturparks Rheinland im Wald-Seen-Komplexes der Ville südlich von Köln, der über 40 Seen umfasst. Das Gebiet enthält eine Kette von drei miteinander verbundenen Tagebau-Restseen bei Erftstadt und Brühl. Die Seenkette besteht aus dem im äußersten Westen gelegenen Obersee, dem rund drei bis vier Meter tiefer gelegenen Mittelsee, sowie dem weitere rund acht Meter tiefer gelegenen Untersee. Die Fließrichtung verläuft vom Obersee zum Untersee. Einleitungen erfolgen nicht, es bestehen jedoch zwei Zuflüsse in den Untersee, einer aus dem Franziskussee, der andere speist sich aus Entenweiher und Pingsdorfer See. Die Seen sind umgeben von forstlich genutzten Wäldern mit überwiegend standorttypischen Gehölzen (s. Abb. 1 und Abb. 2, S. 5).

Der mesotrophe Obersee hat eine Fläche von ca. 5 ha und eine maximale Wassertiefe von etwa 3,5 m (mittlere Tiefe ca. 1,5 m). Der mit 5,9 ha angrenzende oligotrophe Mittelsee verfügt über eine maximale Wassertiefe von 6,4 m (mittlere Tiefe 2,4 m). Der ebenfalls oligotrophe Untersee ist mit einer Fläche von 19,4 ha der größte und bei einer maximalen Wassertiefe von 9,7 m (mittlere Tiefe 4,7 m) auch der tiefste der drei Seen (NIXDORF ET AL 2001).

Das Grundwasser ist im Bereich von Ober-, Mittel- und Untersee sehr stark mit Sulfat angereichert (s. Karte BGR, kein Zeitbezug). Der Sulfatgehalt war hier bereits in den 1980er Jahren im Grundwasser sehr hoch, sowohl ober- als auch unterhalb des Sees. (Mitteilung per Mail Fr. Pflanz, Rhein-Erft-Kreis), ein Einfluss von Braunkohleaschen ist wahrscheinlich.

Der Standarddatenbogen (LANUV 2013a)) zur Gebietskennzeichnung klassifiziert folgende Lebensraumklassen:

- 13 % N20 Kunstforsten (z.B. Pappelbestände oder exotische Gehölze)
- 51 % N06 Binnengewässer (stehend und fließend)
- 28 % N16 Laubwald
- 8 % N08 Heide, Gestrüpp, Macchia, Garrigue, Phrygana

Von den drei Gewässern enthalten vor allem der Mittel- und der Untersee Armleuchteralgenrasen, die in NRW als stark gefährdet gelten bzw. von der Vernichtung bedroht sind (s. auch Abb. 3). Auch im Obersee wurden in einigen Jahren Armleuchteralgen-Bestände vorgefunden. Das FFH-Gebiet mit den drei Seen ist damit überregional von sehr hoher Bedeutung. Hinzu kommt, dass die Gewässer Lebensraum für zahlreiche durchziehende und z. T. brütende Wasservögel und andere Wassertiere sind. (LANUV 2013b).

Im Natura 2000 Meldedokument (LANUV (2019a)) wird aufgrund der Armleuchteralgenbestände für das FFH-Gebiet der Lebensraumtyp (LRT) „Nährstoffarme bis mäßig nährstoffreiche kalkhaltige Stillgewässer mit Armleuchteralgen“ (Code 3140) ausgewiesen.

Dieser LRT nimmt einen Anteil von ca. 33 % an der Gesamtfläche des FFH-Gebiets von 58 ha ein (s. Abb. 2, S. 5). Das Entwicklungsziel für das Gebiet ist die Erhaltung und Sicherung der überregional bedeutenden und stark gefährdeten Armleuchteralgenrasen.

Darüber hinaus soll auch der Lebensraum für zahlreiche rastende und wandernde Wasservögel und andere Wassertiere erhalten und optimiert werden sowie die Trittsteinfunktion des Gebietes für zahlreiche durchziehende Vogelarten gesteigert werden.

Das Vorkommen des Lebensraumtyps 3140 ist insbesondere aufgrund seiner Bedeutung als eines von nur fünf Vorkommen in der FFH-Gebietskulisse der atlantischen biogeographischen Region in NRW, sowie aufgrund seiner besonderen Repräsentanz für die atlantische biogeographische Region in NRW und seiner Bedeutung im Biotopverbund zu erhalten.



Abb. 1: Lage des FFH-Gebiets Ober-, Mittel- und Untersee DE-5107-305 bei Erftstadt-Liblar.

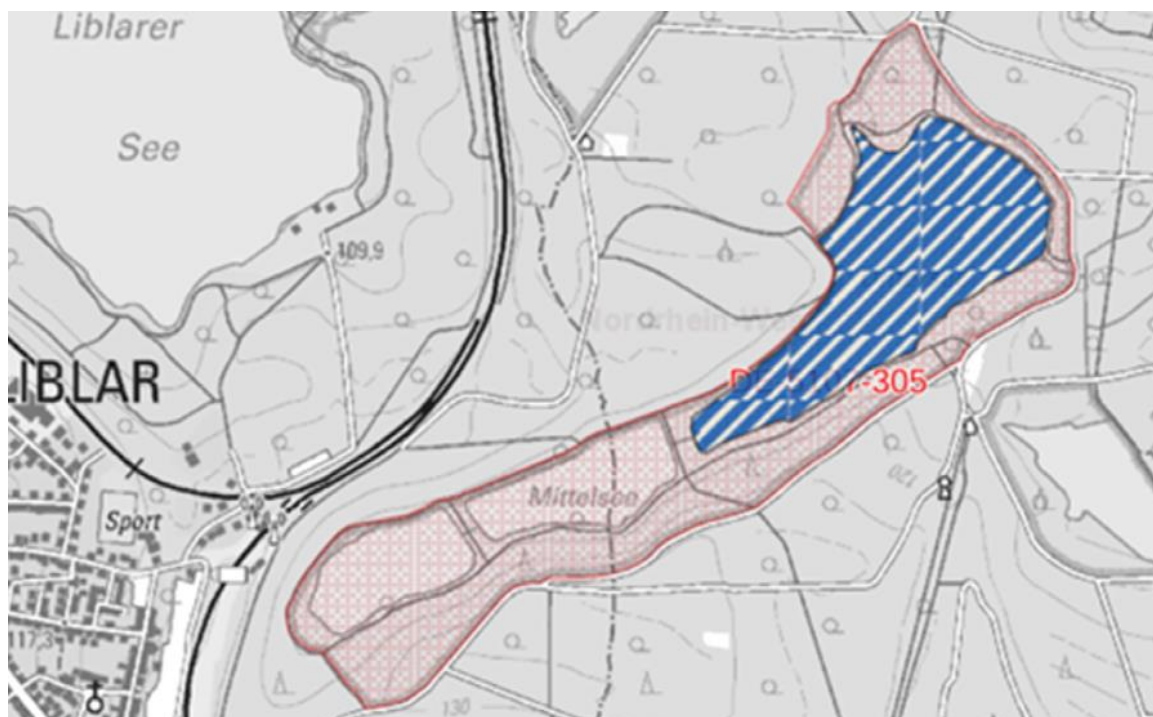


Abb. 2: Anteil des LRT 3140 am FFH- Gebiet „Ober-, Mittel- und Untersee in der Ville Seenkette“.



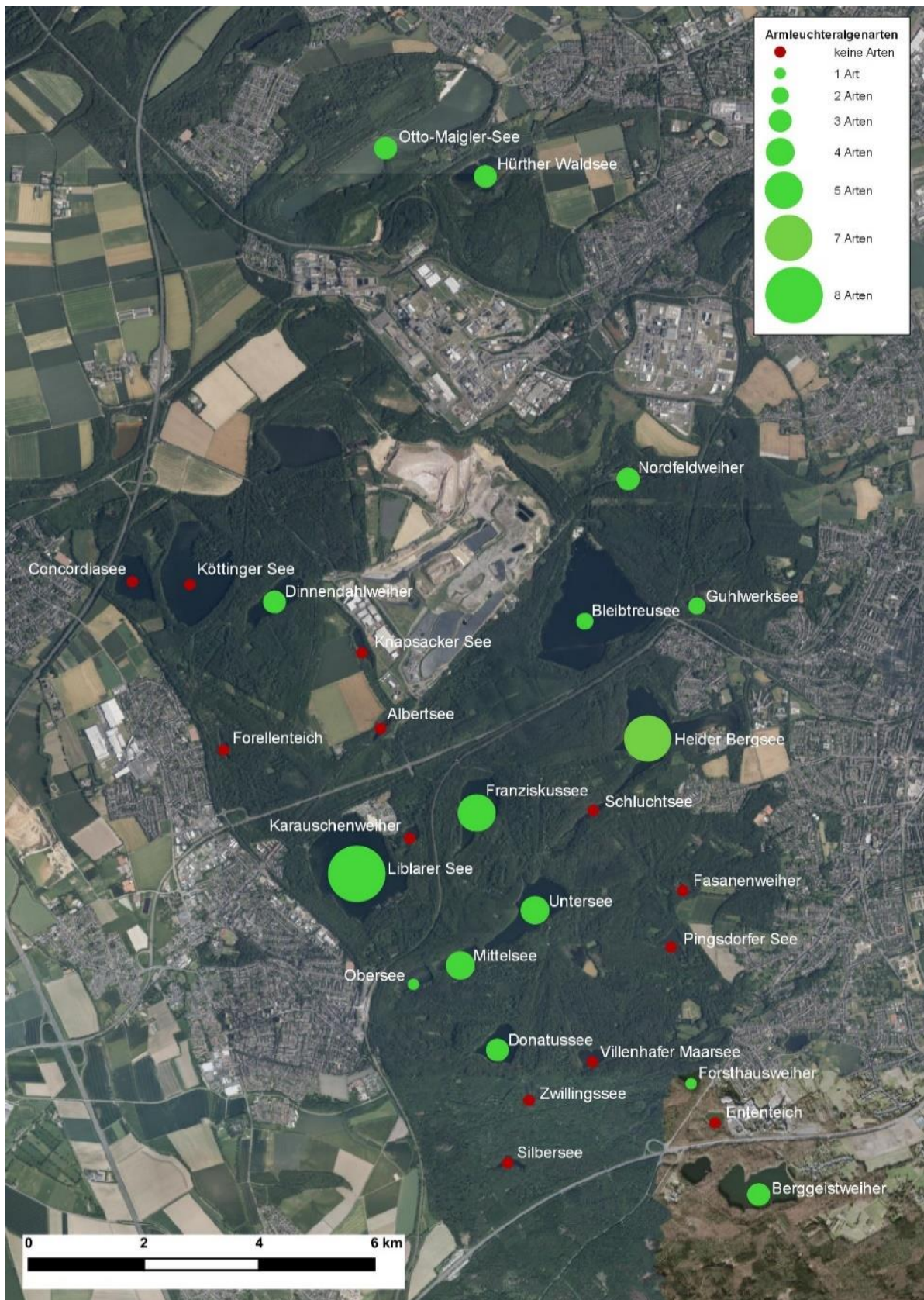


Abb. 3: Regionale Verbreitung der Armleuchteralgen (Artenanzahl) in den Ville-Seen (Quelle: GEWÄSSER-EXPERTEN (2014), verändert).

## 2 Methodisches Vorgehen

### 2.1 Ermittlung der Trophie

Zur Bestimmung der Trophie wurden im Jahr 2019 im Zeitraum von April bis September vier Termine der Seeprobenahme durchgeführt.

Die Probenahme beinhaltete eine Beprobung während der Frühjahrszirkulation im April (Startsituation). Hierbei kann der theoretisch zur Verfügung stehende Gesamtvorrat der Nährstoffe erfasst und abgebildet werden. Des Weiteren wurden drei Analysetermine innerhalb der sich anschließenden sommerlichen Vegetationsphase durchgeführt (Juni, August, September).

#### Geländearbeit und Analytik:

Zur Beurteilung der Nährstoffsituation eines Stillgewässers wird das Verfahren „Trophieklassifikation von Seen. Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen“ der LAWA herangezogen (LAWA, 2014). Wesentliche Kenngröße zur Bewertung der Trophie ist die Gesamt-Phosphorkonzentration, da eine Zunahme des Eutrophierungsgrades auf eine höhere Phosphorverfügbarkeit zurückzuführen ist.

Des Weiteren werden nach der oben genannten Richtlinie die Sichttiefe in Meter und der Gehalt von Chlorophyll a in µg/l zur Einschätzung der Trophie berücksichtigt.

Die Untersuchung erfolgt vom Boot aus über der tiefsten Stelle des Gewässers. Die tiefste Stelle wird zuvor mittels Echolotung ermittelt. Für die Beschreibung der physikalischen Wassereigenschaften und Beurteilung des Schichtungs- und Sauerstoffverhaltens werden unter Benutzung von Messsonden die Parameter Wassertemperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoffgehalt (in mg/l) und Sauerstoffsättigung (in %) über die gesamte Wassersäule in 1 m-Schritten gemessen.

Die Wasserentnahme für die spätere Analytik im Labor erfolgt in speziell vorbereiteten Probenahmegefäßen. Tab. 1 zeigt, welche Parameter zusätzlich im Labor untersucht wurden.

Tab. 1: Untersuchte Parameter in der Wasseranalytik.

| Parameter                                 | Einheit |
|---|---------|
| Säurekapazität (KS)                       | mmol/l  |
| Calcium (Ca)                              | mg/l    |
| Sulfate (SO <sub>4</sub> )                | mg/l    |
| Chlorid (Cl <sup>-</sup> )                | mg/l    |
| Phosphat (PO <sub>4</sub> )               | mg/l    |
| Ammonium (NH <sub>4</sub> )               | mg/l    |
| Nitrat (NO <sub>3</sub> )                 | mg/l    |
| Phosphor, gesamt                          | mg/l    |
| Nitrit (NO <sub>2</sub> )                 | mg/l    |
| Eisen (Fe)                                | mg/l    |
| Mangan (Mn)                               | mg/l    |
| Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)    | mg/l    |
| Nitrit-Stickstoff (NO <sub>2</sub> – N)   | mg/l    |
| Nitrat-Stickstoff (NO <sub>3</sub> – N)   | mg/l    |
| Ammonium-Stickstoff (NH <sub>4</sub> – N) | mg/l    |
| Gelöster reaktiver Phosphor (SRP)         | mg/l    |
| Chlorophyll-a (Chl a)                     | µg/l    |

## Trophiebewertung:

Das Ausmaß der pflanzlichen Primärproduktion wird als Trophie bezeichnet. Je höher der Nährstoffgehalt, desto höher die Trophie. Kenngrößen zur vollständigen Trophieklassifikation nach LAWA (2014) sind die Saisonmittelwerte von Chlorophyll-a, Gesamtphosphor, der Gesamtphosphor-Frühjahrswert und der Sichttiefe in unterschiedlichen Gewichtungen. Die Ergebnisse der Trophieuntersuchung werden in Kapitel 4 dargestellt.

Der Gesamt-Trophie-Index wird mit folgender Formel berechnet:

$$\frac{Chl\ a_{Ind} * Wf + ST_{Ind} * Wf + GesPSais_{Ind} * Wf + GesPF_{Ind} * Wf}{\Sigma Wf}$$

$Chl\ a_{Ind}$  = Chlorophyll a Index  
 $ST_{Ind}$  = Sichttiefenindex  
 $GesPSais_{Ind}$  = Gesamtphosphor-Saisonmittelwert Index  
 $GesPF_{Ind}$  = Gesamtphosphor-Frühjahrswert Index  
**Wf = Wichtungsfaktor** = Je nach Schichtungsverhalten und Größe des Sees, werden die Kenngrößen jeweils unterschiedlich gewichtet.

Abb. 4: Formel zur Berechnung der Trophie nach LAWA (2014).

Der Gesamtphosphor-Frühjahrswert soll einen Eindruck über die „Startsituation“ und die Höhe des Gesamtvorrats an Nährstoffen im See geben. Da er im April gemessen wurde und damit in der Vegetationsperiode von März bis November liegt, wird der Wert auch in den Saisonmittelwert mit einberechnet und somit zweimal berücksichtigt (LAWA, 2014).

## 2.2 Untersuchung der Makrophyten

Die Untersuchung der Makrophyten erfolgte im Jahr 2019 entlang von repräsentativen Lini-entransekten, die zum größten Teil bereits in den vorangegangenen Untersuchungsjahren 2014, 2011 und teilweise 2005 untersucht wurden. Die verorteten Transektstandorte wurden mittels GPS-Gerät erneut aufgesucht.

Die Linientransekte wurden in Anlehnung an Melzer et al. (1986, 1988) auf einer Breite von ca. 30 – 50 m senkrecht zur Uferlinie untersucht. Sofern es erforderlich erschien (z. B. wenn weitere Arten entdeckt wurden), wurde die Breite auf über 50 m erweitert. Eine flächendeckende Erfassung der Makrophyten unter Wasser ist nicht praktikabel, die repräsentativen Transekte geben ein belastbares Bild der Besiedlung des Gewässergrundes mit Armleuchteralgen und höheren Makrophyten wieder.

Je Art und See wurde für das MAKO die Gesamtdeckung aus den Transekten auf das gesamte Gewässer hochgerechnet.

In allen Gewässern waren die Sichtverhältnisse ausreichend für eine Erfassung der Makrophyten durch Tauchuntersuchungen. Alle Transekte wurden im Schlauchboot mit Elektromotor-Antrieb angefahren, die Tauchuntersuchungen wurden mit modifizierter Sporttauchausrüstung durchgeführt. Im Flachwasser wurden Arten auch schnorchelnd ohne den Einsatz von Pressluft erfasst.

Die vertikale Unterteilung der Transekte erfolgte nach Tiefenzonen in Anlehnung sowohl an das PHYLIB-Verfahren (SCHAUMBURG ET AL. 2011, 2014), als auch an das NRW-Monitoring (MUNLV 2009). Die Makrophyten wurden getrennt nach Tiefenzonen halbquantitativ erfasst (0-1 m, 1-2 m, 2-4 m, 4-6 m usw. bis zur Makrophyten-Tiefengrenze).

Für jede Tiefenzone wurde die Häufigkeit der Makrophyten anhand der von KOHLER (1978) beschriebenen Skala (s. Tab. 2, S. 9) und der Deckungsgrad in Prozent (gem. FFH-Verfahren) erfasst.



In jedem Transekt wurde der Bedeckungsgrad der besiedelbaren Fläche mit Armleuchteralgen anhand der Klassen > 50 %, > 25 - 50 %, > 10 - 25 %, 5 - 10 % und < 5 % erfasst. Aus den einzelnen Werten der Bedeckungsgrade wurde eine Gesamtdeckung für jeden See geschätzt.

Alle Arten wurden unter Wasser direkt bestimmt und ihre Häufigkeit in den Tiefenzonen auf einer Schreibtafel erfasst.

Tab. 2: Schätzskala der Häufigkeiten nach KOHLER (1978).

| Häufigkeitsklasse | Beschreibung               |
|-------------------|----------------------------|
| 1                 | sehr selten                |
| 2                 | selten                     |
| 3                 | verbreitet                 |
| 4                 | häufig                     |
| 5                 | sehr häufig bis massenhaft |

Sofern eine Bestimmung unter Wasser nicht direkt möglich war (z. B. bei Armleuchteralgen, Kleinlaichkrauten oder Moosen), wurden Proben entnommen und in beschrifteten Tüten für die spätere Bestimmung im Feldlabor verpackt.

### **Bestimmung der Makrophyten:**

Die Bestimmung der Makrophyten erfolgte im Wesentlichen nach dem aktuellen Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) in Deutschland Band 1 und Band 2 (LFU 2018 a und b). Darüber hinaus wurden für die Bestimmung weitere Standardwerke eingesetzt:

#### Farne und Blütenpflanzen:

CASPER, S.J. U. H.-D. KRAUSCH (2008a): Pteridophyta und Anthophyta Teil 1. In: Ettl, H., Gerloff, J. U. H. Heynig (Hrsg.): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 23: G. Fischer Jena.

#### Gefäßpflanzen:

ROTHMALER, W. (1999): Exkursionsflora von Deutschland Band 2: Gefäßpflanzen.

#### Moose:

FRAHM, J.-P. U. W. FREY (2004): Moosflora (4. Auflage). Ulmer Verlag.

#### ArMLEUCHTERALGEN und Makrophyten:

KRAUSE, W. (1997): Charales (Charophyceae). In: Ettl, H., Gärtner, G., Heynig, H. U. D. Mollenhauer (Hrsg.): Süßwasserflora von Mitteleuropa 18: 202 S., G. Fischer Jena.

Landesamt für Umwelt des Landes Brandenburg (2018a): Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) in Deutschland. Band 1: Bestimmungsschlüssel, 2. Aktualisierte Auflage

Landesamt für Umwelt des Landes Brandenburg (2018b): Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) in Deutschland. Band 2: Abbildungen, 2. Aktualisierte Auflage.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Seebeprobung und Analytik

#### 3.1.1 Obersee

Im Obersee wurden im Jahr 2019 insgesamt 4 Probenahmeterminen durchgeführt, im April (Frühjahrszirkulation) und in den Monaten Juni, August und September (Sommerstagnation). Nachfolgend wird das Temperatur- und Schichtungsverhalten, die Sauerstoffverhältnisse, die pH-Entwicklung und die Leitfähigkeit, Chlorophyll a und Sichttiefen und die Nährstoffsituation beschrieben. Die Bewertung der Trophie erfolgt in Kap. 4.1 (s. S. 41).

Da alle drei Seen mit Grundwasser gefüllt worden sind und die Speisung des Obersees über das Grundwasser erfolgt, sind die hohen gemessenen Sulfatwerte im Obersee (s. Kap. 3.1.1.6, S. 31), die den Grenzwert von  $\leq 250 \text{ mg/l}$  der Oberflächengewässerverordnung überschreiten, wohl geogenen Ursprungs. Diese zeigten sich auch bereits in den 1980er Jahren (1986: Sulfatgehalt Obersee:  $645,1\text{--}695,0 \text{ g/m}^3$ , Mittelsee  $560 \text{ g/m}^3$  und im Untersee  $430\text{--}645 \text{ g/m}^3$  aus Mitteilung per Mail von Fr. Pflanz, Rhein-Erft-Kreis).

Nach Angaben des Rhein-Erft-Kreises gab es auf der Fläche des jetzigen Obersees eine Brikettfabrik. Außerdem war dort eine Kippe mit gemischten Abfällen. Drei Altlasten sind noch im Einzugsgebiet vorhanden: die in Ufernähe befindliche Last im Südwesten besteht aus Erdaushub, Bauschutt, Ziegelbruch, Schlacke und Asche und wahrscheinlich auch aus Hausmüll. Die zwei Altablagerungen im Nordwesten setzen sich aus Abraum, Asche und Rückständen des Bergbaus zusammen. Auch am Untersee befindet sich im Nordosten und im Südosten des Sees je eine Altlast. Letztere besteht aus Abraum, Braunkohleasche und phosphathaltigen Rückständen (NIXDORF ET AL 2001).

### 3.1.1.1 Temperatur

Die Temperatur eines stehenden Gewässers ist eine entscheidende Steuergröße für alle im Gewässer stattfindenden Prozesse.

Zur Charakterisierung des Wasserkörpers ist zu prüfen, ob eine Schichtung ausgebildet ist. Die mögliche Ausbildung einer Schichtung im Wasserkörper beeinflusst den Stoffhaushalt und die Lebensbedingungen im Gewässer in vielfältiger Weise. Der hierzu relevante Parameter ist die Wassertemperatur im Vertikalprofil.

Die Temperaturkurven des Obersees deuten sehr früh im Jahr eine Temperaturschichtung an. Diese löst sich im Sommer allerdings vollständig auf. Daher wird der Obersee als „ungeschichtet“ eingestuft. Die tiefste Messung wurde im Obersee bei - 3 m durchgeführt.

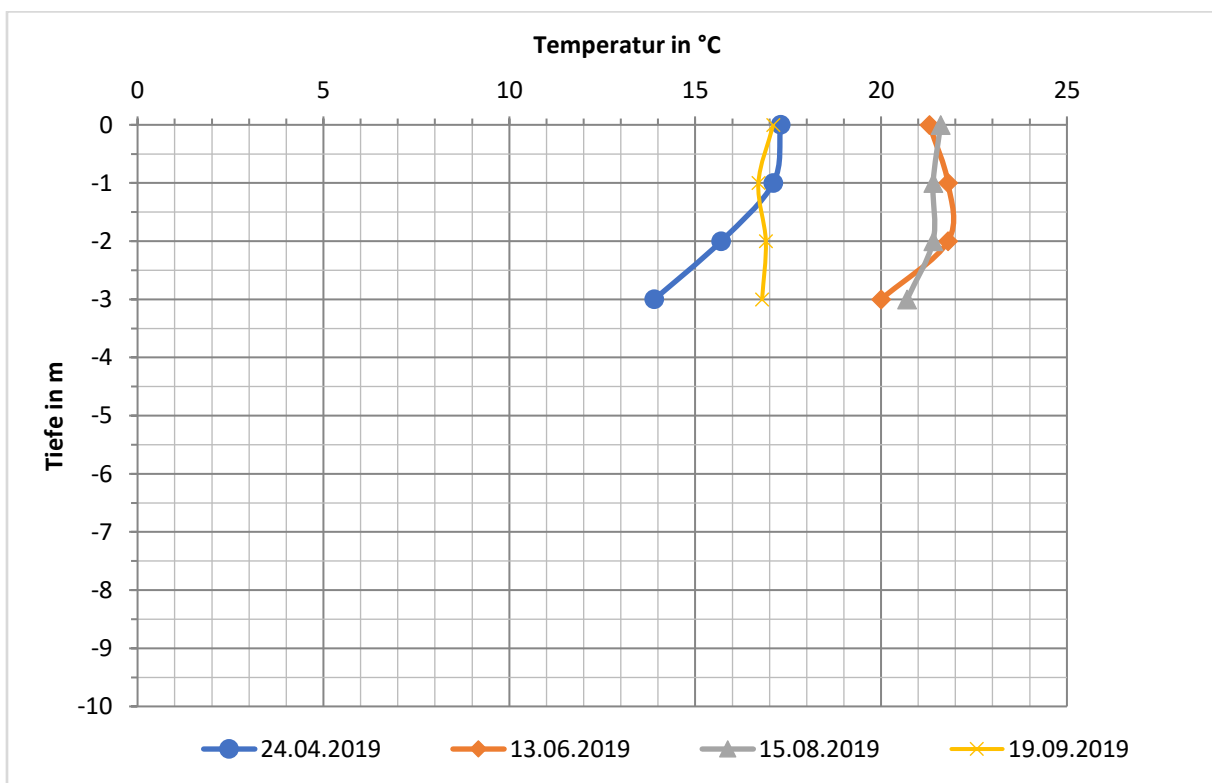


Abb. 5: Obersee – Wassertemperatur im Tiefenprofil.

### 3.1.1.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Summenparameter für gelöste, dissoziierte Salze und hängt von der Konzentration und dem Dissoziationsgrad der im Wasser enthaltenen Ionen sowie von der Temperatur ab. Steigt die Temperatur, steigt häufig auch die Leitfähigkeit, da vermehrt wasserlösliche Stoffe gelöst werden. Die Leitfähigkeit gibt keinen Hinweis auf bestimmte Stoffe, eignet sich allerdings gut zur Erfassung von Mischungsverhältnissen der gelösten Stoffe im Tiefenprofil.

Im Obersee liegt die elektrische Leitfähigkeit während des Untersuchungszeitraums im Tiefenprofil konstant zwischen 1250 und 1400  $\mu\text{S}$ . Das deutet zum einen auf eine Gleichverteilung der gelösten Stoffe im Tiefenprofil hin. Zum anderen sind die Messwerte relativ hoch, sodass von einer größeren Menge gelöster Stoffe ausgegangen werden kann. Zur Einordnung, der Grenzwert für die elektrische Leitfähigkeit liegt laut der deutschen Trinkwasserverordnung bei 2790  $\mu\text{S}$  bei einer Temperatur von 25 °C. Die elektrische Leitfähigkeit von destilliertem Wasser liegt bei 20  $\mu\text{S}$  (KÖLLE 2010).

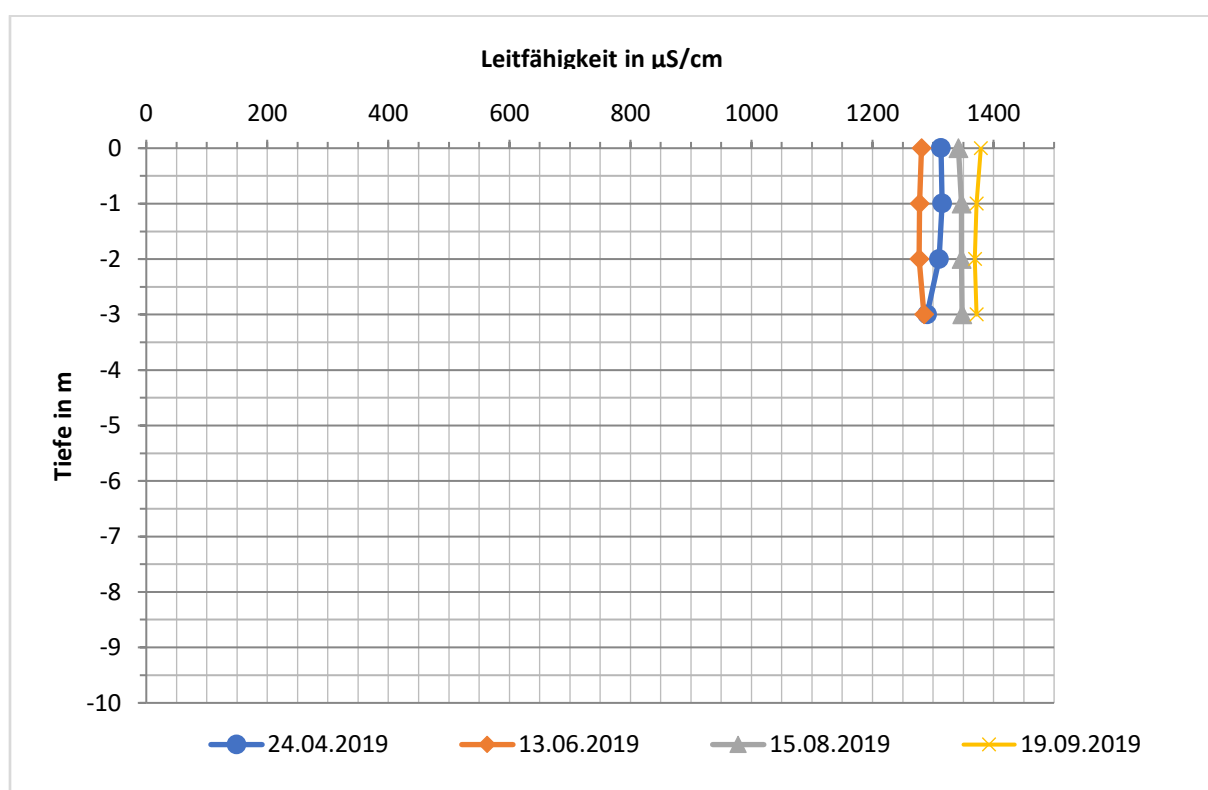


Abb. 6: Obersee - Elektrische Leitfähigkeit im Tiefenprofil.



### 3.1.1.3 Sauerstoff

In Verbindung mit steigender Temperatur steigt die Sauerstoffsättigung ebenfalls an, was auf eine hohe biologische Produktivität schließen lässt.

Der Sauerstoffgehalt ist neben der Temperatur einer der wichtigsten Steuerungsfaktoren in einem Gewässer. Er steuert u. a. die Stoffumsätze sowie die Besiedlung im Pelagial (Freiwasser), Profundal (bodennaher Bereich) und Benthos (Gewässergrund).

Das organische Material in einem See unterliegt Stoffwechselprozessen und wird so mineralisiert. Diese Prozesse laufen sauerstoffzehrend ab. Für Partikel, die auf dem Weg zum Sediment nicht vollständig mineralisiert wurden, ist an der Sedimentoberfläche Sauerstoff zur Umsetzung erforderlich.

Der Sauerstoffgehalt im Obersee steigt im April und Juni zunächst auf über 120 % an und sinkt in der Tiefe auf um die 50 % ab, was auf eine hohe biologische Produktivität schließen lässt, die im Spätsommer, August und September bereits stark zurückgeht. Ein Sauerstoffdefizit ist zu keinem Zeitpunkt vorhanden.

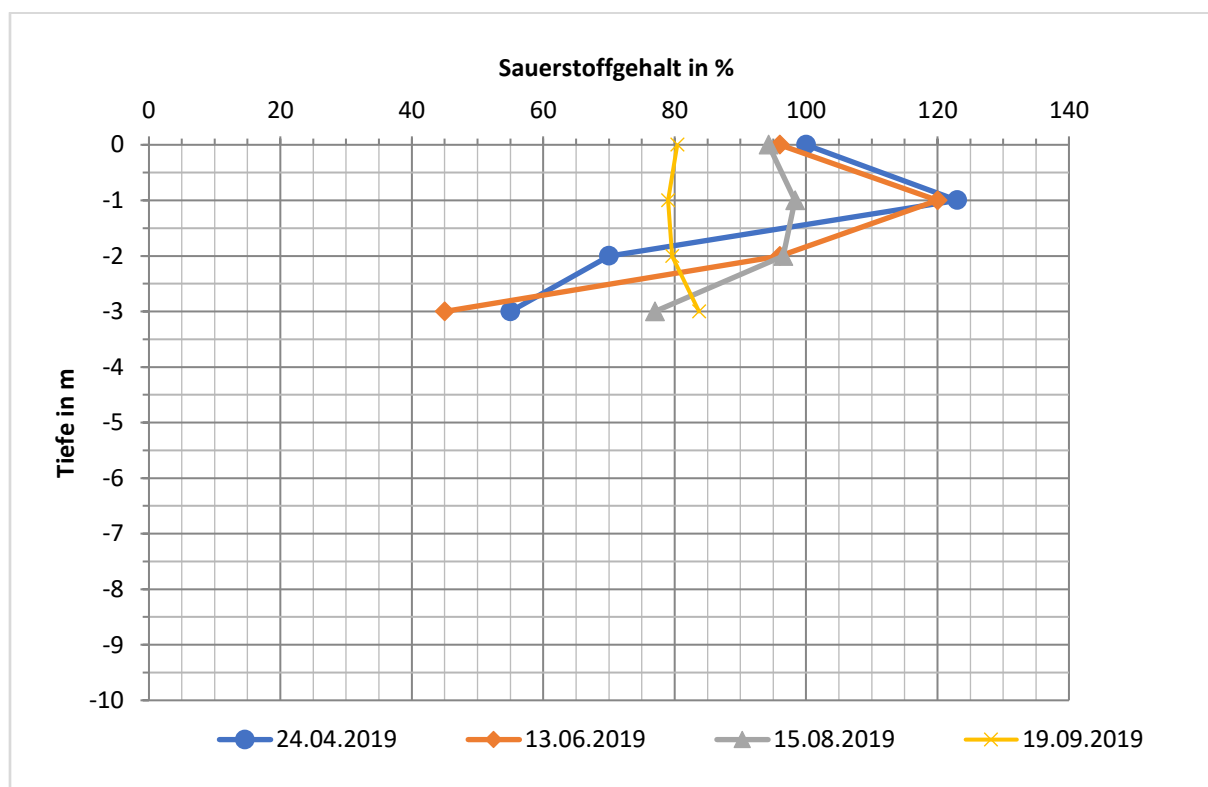


Abb. 7: Obersee – Sauerstoffsättigung im Tiefenprofil.

In Tab. 3 werden die Sauerstoffwerte in mg/l dargestellt:

Tab. 3: Obersee – Sauerstoffgehalt in mg/l.

| Tiefe [m] | 24.04.2019 | 13.06.2019 | 15.08.2019 | 19.09.2019 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 0         | 9,5        | 8,4        | 8,22       | 7,88       |
| -1        | 11,7       | 10,4       | 8,56       | 7,7        |
| -2        | 6,9        | 8,32       | 8,43       | 7,7        |
| -3        | 5,6        | 4,04       | 6,77       | 8,16       |

### 3.1.1.4 pH-Wert

Der pH-Wert gibt den sauren oder alkalischen Charakter des Wassers an und beeinflusst viele chemische und biologische Prozesse. Der pH-Wert 7 entspricht einer neutralen Lösung, darunter zeigt er saure Verhältnisse an. Die pH-Werte über 7 zeigen basische Verhältnisse an. Stark saure und alkalische Verhältnisse wirken toxisch auf Organismen. Nach der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016) liegt der Normalbereich bei Seen zwischen einem pH-Wert von 6,5 bis 8,5. Für die meisten Organismen ist ein Bereich zwischen pH-Wert 6 und 9 unproblematisch.

Im April, August und September liegt der pH-Wert bei 8. Die Abnahme in der Tiefe im April, geht mit der Abnahme des Sauerstoffgehalts einher. Im Juni sinkt der pH-Wert auf ca. 7,5, was ebenfalls mit den Sauerstoffschwankungen korreliert. Die Bildung von  $\text{CO}_2$  im Wasser kann dazu führen, dass der pH-Wert sinkt. So kann es zu unterschiedlichen pH-Werten kommen, je nachdem zu welcher Tageszeit die Messungen durchgeführt werden (BAFU 2016).

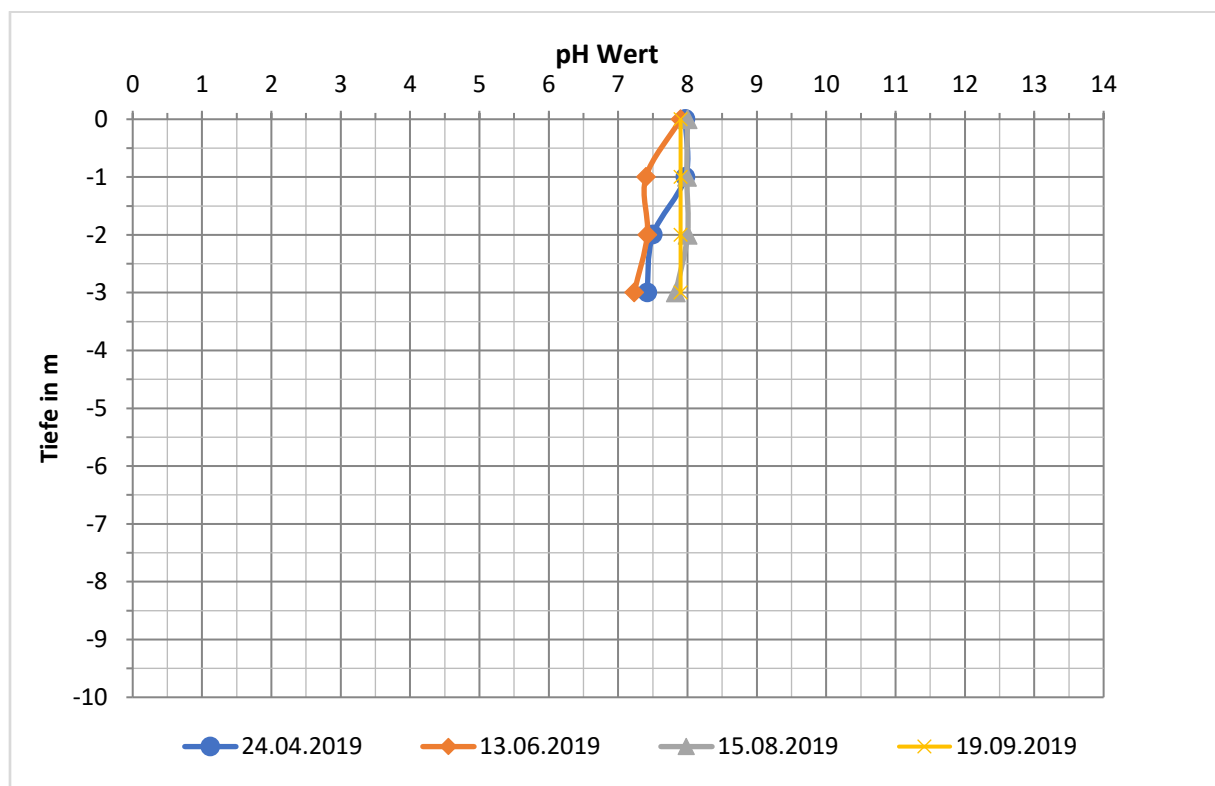


Abb. 8: Obersee - pH-Wert im Tiefenprofil.

### 3.1.1.5 Chlorophyll-a und Sichttiefen

Chlorophyll a ist ein Indikator für die Phytoplanktonproduktion eines Gewässers. Je mehr Phytoplankton vorhanden ist, desto höher sind die Werte für Chlorophyll a. Dementsprechend verhält sich die Sichttiefe entgegengesetzt. Je weniger Chlorophyll a im Wasser vorhanden ist, desto höher sollte die Sichttiefe sein.

Im August ist die Sichttiefe trotz hohem Chlorophyll a Gehalt sehr hoch, was darauf schließen könnte, dass am Rande eines Klarwasserstadiums gemessen wurde. Als „Klarwasserstadium“ wird der Gewässerzustand beschrieben, bei dem es durch den Fraß von Zooplankter zu einem Phytoplanktonminimum kommt. Die Sichttiefe ist dann mehr als zwei Mal so hoch, wie der Mittelwert der sonstigen sommerlichen Sichttiefen.

Kommt es zu einer Messung innerhalb einer Klarwasserphase, werden diese Messwerte nicht mit in die Berechnung der Trophie einbezogen, da das Klarwasserstadium nur wenige Wochen anhält und die Messwerte daher nicht repräsentativ sind (LAWA, 2003). Im August ist die Sichttiefe nicht doppelt so hoch wie der Mittelwert der anderen drei Sichttiefen. Es ist möglich, dass die Messung kurz vor einem Klarwasserstadium stattfand, da der Chlorophyll a Wert noch sehr hoch ist. Das Klarwasserstadium war zum Zeitpunkt der Beprobung nicht vollständig ausgeprägt. Daher werden auch die August-Werte in der späteren Trophieberechnung berücksichtigt.

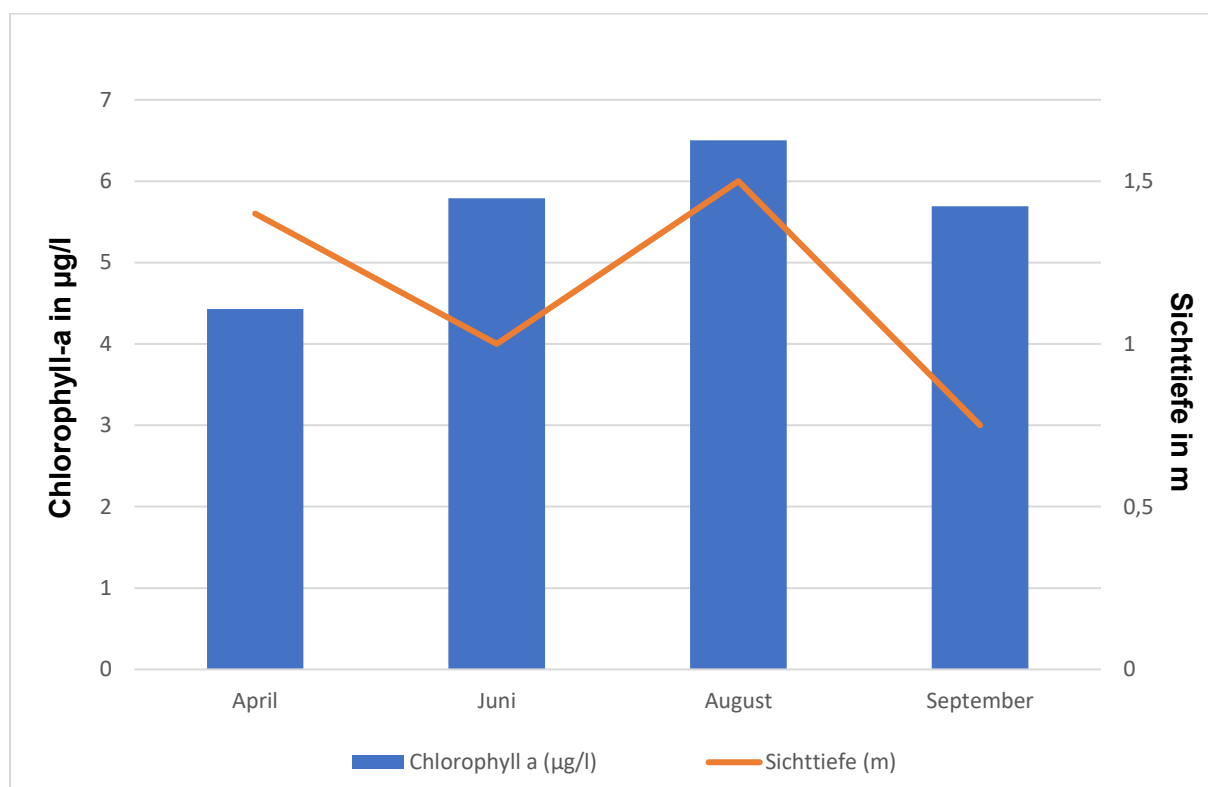


Abb. 9: Obersee – Verhältnis zwischen Chlorophyll-a und der Sichttiefe.

### 3.1.1.6 Nährstoffe, Minerale und Metalle

Im Obersee wurden im gesamten Untersuchungszeitraum 2019 Calciumwerte über 200 mg/l gemessen. Calcium gehört zu den Erdalkalimetallen und ist für Lebewesen essenziell. Im Gewässer verbrauchen neben Algen auch Muscheln oder Schnecken Calcium.

Üblicherweise wird die Calciumkonzentration durch das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht beeinflusst und liegt daher nicht über 100 mg/l. Infolge von Neutralisierungsreaktionen durch Säureeinträge können aber auch Spitzenwerte bis 284 mg/l (KÖLLE, 2009) erreicht werden. Einen Grenzwert gibt es laut Oberflächengewässerverordnung bei Calcium nicht.

Die **Sulfat**werte sind ebenfalls deutlich zu hoch und überschreiten den Grenzwert von  $\leq 250$  mg/l der Oberflächengewässerverordnung. Sulfate sind als Bestandteil verschiedener Mineralien weit verbreitet. Die höchsten anthropogenen Sulfatbelastungen von Oberflächengewässern werden heute durch den Braunkohletagebau verursacht, in dem das Grundwasser künstlich abgesenkt wird. Dadurch reichert sich das Grundwasser um die Seen durch geogenes Gestein auf natürliche Weise mit Sulfat an. Werden anschließend die Tagebaurestseen mit Grundwasser geflutet, sind die Sulfatwerte von vornherein erhöht. Messwerte von 1989 bestätigen, dass zu dieser Zeit die Sulfatwerte bereits sehr hoch waren. Eine gesteigerte Konzentrationsänderung bei Sulfaten kann im Allgemeinen nur durch die Einleitung von Abwässern ausgelöst werden (KÖLLE, 2009). Im Obersee gibt es jedoch keine oberflächlichen Einleitungen, sodass diese Annahme ausgeschlossen werden kann.

Die Eisenwerte sind erhöht, aber befinden sich noch deutlich unter dem Grenzwert von 0,8 mg/l der Oberflächengewässerverordnung.

Alle weiteren Stoffe sind unauffällig. Einen Überblick der im Labor ermittelten Werte gibt Tab. 4 (s. S. 17).



Tab. 4: Obersee – Ergebnisse der Wasseranalytik im Labor.

|  |         | 24.04.2019 | 13.06.2019 | 15.08.2019 | 19.09.2019 |
|--|---------|------------|------------|------------|------------|
| Parameter                                | Einheit | Mischprobe | Mischprobe | Mischprobe | Mischprobe |
| Ammonium-Stickstoff (NH <sub>4</sub> -N) | mg/l    | 0,2        | 0,25       | 0,07       | 0,33       |
| Nitrat-Stickstoff (NO <sub>3</sub> -N)   | mg/l    | < 0,51     | < 0,51     | < 0,51     | < 0,51     |
| Nitrit-Stickstoff (NO <sub>2</sub> -N)   | mg/l    | <0,01      | < 0,01     | < 0,01     | < 0,01     |
| Ammonium (NH <sub>4</sub> )              | mg/l    | 0,25       | 0,28       | 0,09       | 0,42       |
| Nitrat (NO <sub>3</sub> )                | mg/l    | < 2,26     | < 2,26     | < 2,26     | < 2,26     |
| Nitrit (NO <sub>2</sub> )                | mg/l    | < 0,03     | < 0,03     | < 0,03     | < 0,03     |
| Gesamtphosphor (P <sub>ges</sub> )       | mg/l    | 0,017      | 0,005      | 0,004      | < 0,003    |
| Phosphat (PO <sub>4</sub> )              | mg/l    | < 0,009    | < 0,009    | < 0,009    | < 0,009    |
| Calcium (Ca)                             | mg/l    | 216        | 204        | 213        | 210        |
| gelöster reaktiver Phosphor (SRP)        | mg/l    | < 0,003    | < 0,003    | < 0,003    | < 0,003    |
| Sulfate (SO <sub>4</sub> )               | mg/l    | 539        | 522        | 426        | 532        |
| Eisen (Fe)                               | mg/l    | 0,29       | 0,288      | 0,267      | 0,305      |
| Mangan (Mn)                              | mg/l    | 0,507      | 0,407      | 0,288      | 0,318      |
| Chlorid (Cl <sup>-</sup> )               | mg/l    | 34,5       | 34,1       | 35         | 36,7       |
| Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)   | mg/l    | 10,1       | 11,8       | 11,8       | 12,2       |
| Säurekapazität 4,3 (Ks)                  | mmol/l  | 4,55       | 4,14       | 4,09       | 4,24       |
| Chlorophyll a (Chl a)                    | µg/l    | 4,43       | 5,79       | 6,5        | 5,69       |
| Chlorophyll b (Ch b)                     | µg/l    | 0,18       | 0,72       | 0,99       | 0,69       |

### 3.1.1.7 Zusammenfassung der relevanten Ergebnisse für die Trophiebewertung

Je nach Schichtungsverhalten fallen die vier Parameter unterschiedlich ins Gewicht. Der Obersee wird mit einer Größe  $\geq 5$  ha und einer mittleren Tiefe  $\leq 3$  m als „ungeschichtet“ eingestuft. Daher wird der Gesamt-Trophie-Index für den Obersee mit folgender Formel berechnet:

$$\frac{Chl\ a_{Ind} * 10 + ST_{Ind} * 6 + GesPSais_{Ind} * 6 + GesPF_{Ind} * 4}{26}$$

$Chl\ a_{Ind}$  = Chlorophyll a Index  
 $ST_{Ind}$  = Sichttiefenindex  
 $GesPSais_{Ind}$  = Gesamtphosphor-Saisonmittelwert Index  
 $GesPF_{Ind}$  = Gesamtphosphor-Frühjahrswert Index  
 Zahlen in Rot = unterschiedliche Gewichtungen

Abb. 10: Angepasste Formel zur Ermittlung der Trophie für den Obersee nach LAWA (2013).

Die relevanten Ergebnisse der einzelnen Parameter für die Berechnung der Trophie sind in Tab. 5 zusammengefasst:

Tab. 5: Ergebnisse der erhobenen Daten zur Bestimmung der Trophie nach LAWA (2014) im Obersee.

| Datum      | Probe               | Chl-a (µg/l) | Pgesamt (µg/l) | P-Frühjahrswert (µg/l) | Sichttiefe (m) |
|------------|---------------------|--------------|----------------|------------------------|----------------|
| 03.04.2019 | Mischprobe          | 4,43         | 17             | 17                     | 1,4            |
| 17.06.2019 | Mischprobe          | 5,79         | 5              | -                      | 1              |
| 14.08.2019 | Mischprobe          | 6,5          | 4              | -                      | 1,5            |
| 18.09.2019 | Mischprobe          | 5,69         | 3              | -                      | 0,75           |
|            | <b>Mittelwerte:</b> | 5,6          | 7,25           | 17                     | 1,16           |

Aus den Mittelwerten von Chlorophyll a und Gesamtphosphor sowie dem Mittelwert der Sichttiefe und dem Phosphor Frühjahrswert werden zunächst nach Anleitung der LAWA (2014) Indices berechnet, die anschließend in die Formel zur Berechnung der Trophie eingesetzt werden. Daraus ergibt sich folgende Berechnung:

$$\frac{2,03 \cdot 10 + 3,15 \cdot 6 + 0,97 \cdot 6 + 1,92 \cdot 4}{26} = 2,03$$

Abb. 11: Berechnung des Trophieindex für den Obersee.

Das Ergebnis wird in Kap. 4.1 (s. S. 41) klassifiziert und bewertet.

### 3.1.2 Mittelsee

Im Mittelsee wurden im Jahr 2019 insgesamt 4 Probenahmeterminen durchgeführt, im April (Frühjahrszirkulation) und in den Monaten Juni, August und September (Sommerstagnation). Nachfolgend wird das Temperatur- und Schichtungsverhalten, die Sauerstoffverhältnisse, die pH-Entwicklung und die Leitfähigkeit, Chlorophyll a und Sichttiefen und die Nährstoffsituation beschrieben. Die Bewertung der Trophie erfolgt in Kap. 4.1 (s. S.42).

#### 3.1.2.1 Temperatur

Ebenso wie beim Obersee deuten auch die Temperaturkurven des Mittelsees eine frühe Schichtung an. Da diese allerdings nicht konstant über den Sommer gehalten werden kann, wird auch der Mittelsee als „ungeschichtet“ eingestuft. Die maximale Tiefe wurde im April bei - 6 m erreicht.

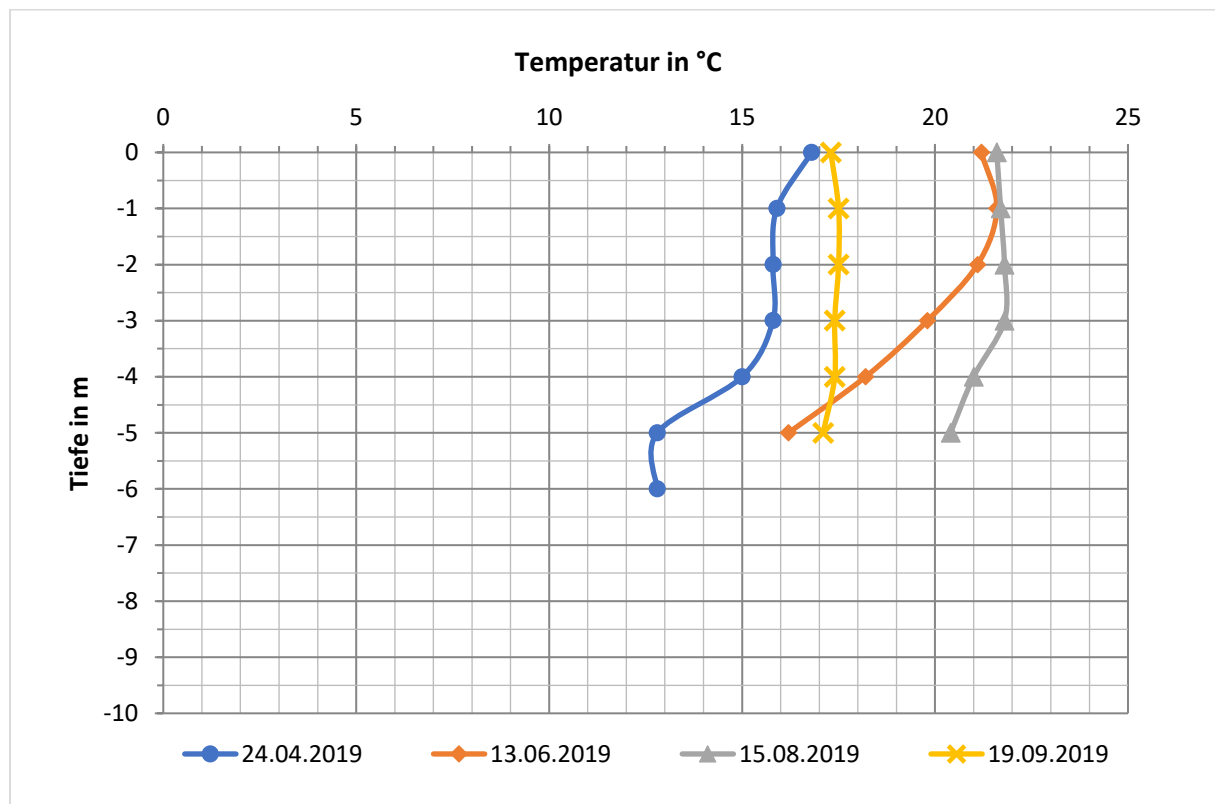


Abb. 12: Mittelsee – Wassertemperatur im Tiefenprofil.

### 3.1.2.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit befindet sich während des Untersuchungszeitraums im Tiefenprofil konstant zwischen 1000 und 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Somit ist die Menge gelöster Stoffe auch im Mittelsee relativ hoch, jedoch niedriger als im Obersee. Im Tiefenprofil sind die Mischungsverhältnisse der gelösten Stoffe gleichmäßig verteilt. Im August steigt die Leitfähigkeit im Hypolimnion leicht an.

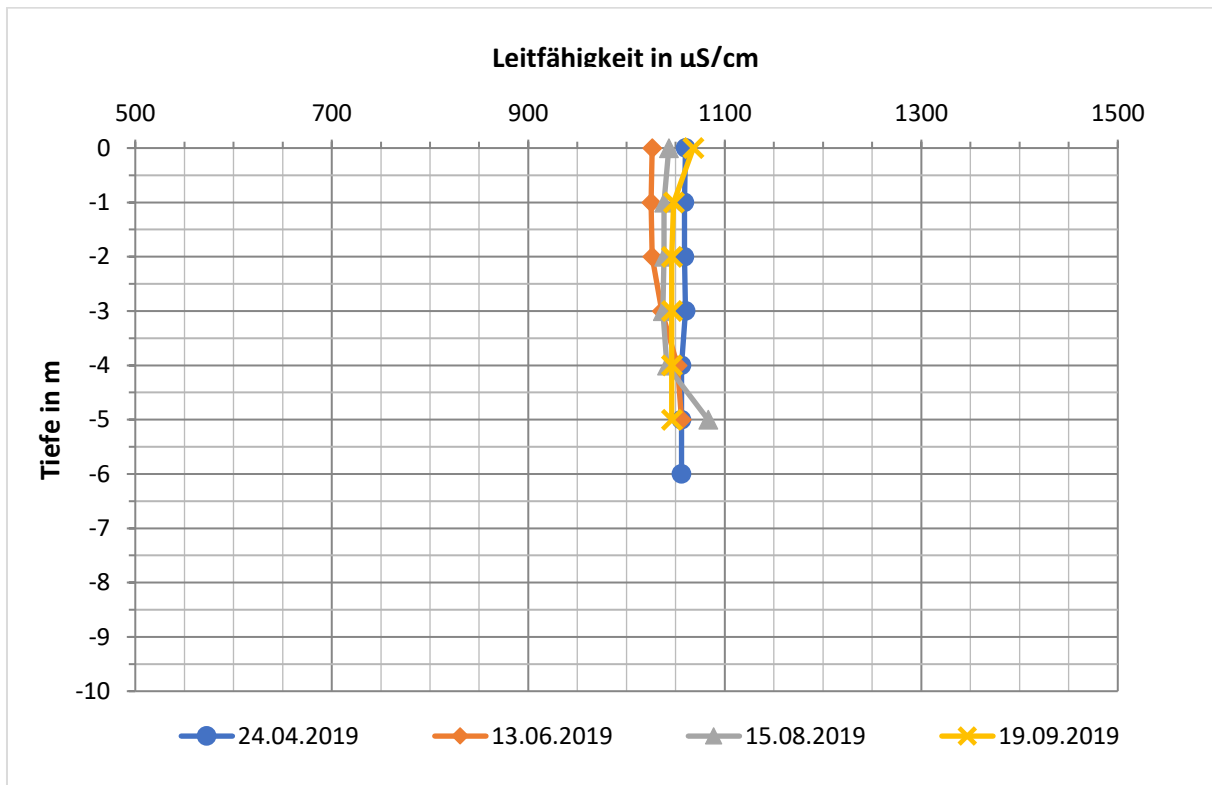


Abb. 13: Mittelsee – Leitfähigkeit im Tiefenprofil.



### 3.1.2.3 Sauerstoff

Der Sauerstoffgehalt im Mittelsee steigt im April auf 180 % an und sinkt im Hypolimnion wieder stark ab. Dies zeigt die bereits sehr hohe biologische Produktion im Frühjahr im Metalimnion. Über den Sommer nimmt die Sauerstoffsättigung immer weiter ab, sodass im August ein Sauerstoffdefizit im Hypolimnion gemessen wurde. Allerdings befindet sich der Sauerstoffgehalt im September wieder bei durchschnittlich 80 %.

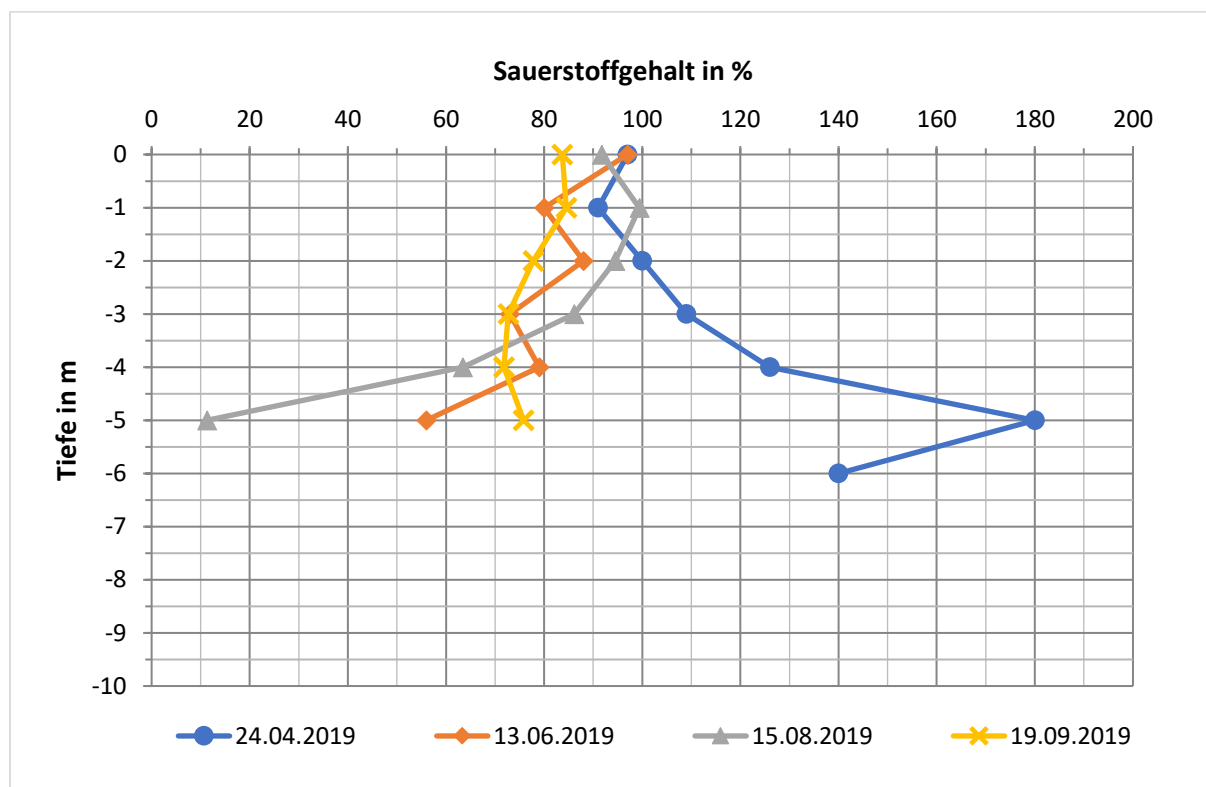


Abb. 14: Mittelsee – Sauerstoffgehalt im Tiefenprofil.

In Tab. 6 werden die Sauerstoffwerte in mg/l dargestellt, die einzelnen Kurven verhalten sich wie in Abb. 14.

Tab. 6: Obersee – Sauerstoffgehalt in mg/l.

| Tiefe [m] | 24.04.2019 | 13.06.2019 | 15.08.2019 | 19.09.2019 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 0         | 9,3        | 8,5        | 7,99       | 8,13       |
| -1        | 8,9        | 7,0        | 8,59       | 8,2        |
| -2        | 9,8        | 7,7        | 8,16       | 7,49       |
| -3        | 10,7       | 6,6        | 7,4        | 7          |
| -4        | 12,5       | 7,4        | 5,54       | 6,94       |
| -5        | 18,8       | 5,4        | 0,97       | 7,3        |
| -6        | 14,6       | -          | -          | -          |

Auch die Sauerstoffwerte in mg/l zeigen ein starkes Sauerstoffdefizit im August bei einer Tiefe von -5 m. Der für Fische kritisch werdende Grenzwert liegt bei 3,3 mg/l.

### 3.1.2.4 pH-Wert

Die Messungen des pH-Wertes zeigen im gesamten Untersuchungszeitraum basische Verhältnisse im Mittelsee an. Im April steigen die pH-Werte sogar kurzzeitig über 8. Über den Sommer liegen die pH-Werte konstant zwischen 7 und 8 und damit im Normalbereich.

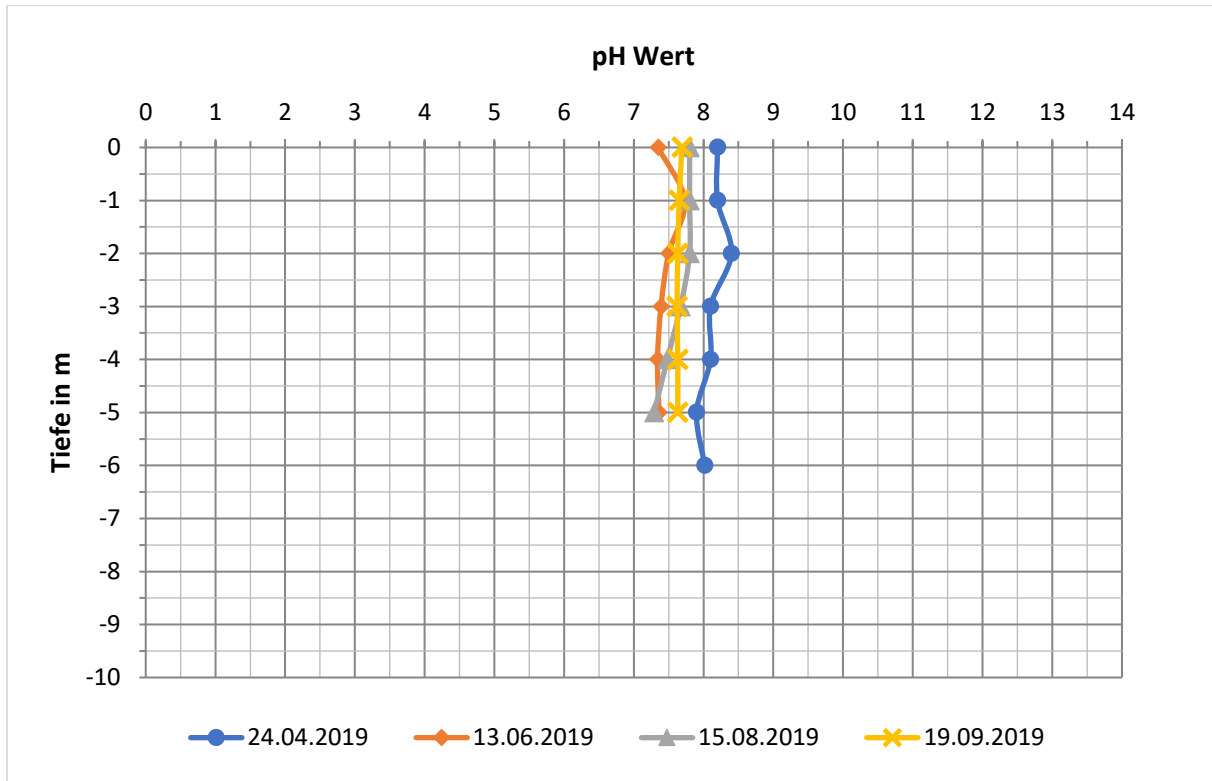


Abb. 15: Mittelsee – pH-Wert im Tiefenprofil.

### 3.1.2.5 Chlorophyll-a und Sichttiefen

Die Sichttiefe ist im April trotz bereits relativ hoher Chlorophyll a Werten noch recht hoch, sinkt aber im Laufe des Untersuchungszeitraums auf knapp über einen Meter. Der Chlorophyll a Wert ist im August mit 3,53 µg/l am höchsten. Ein Klarwasserstadium ist nicht zu beobachten.

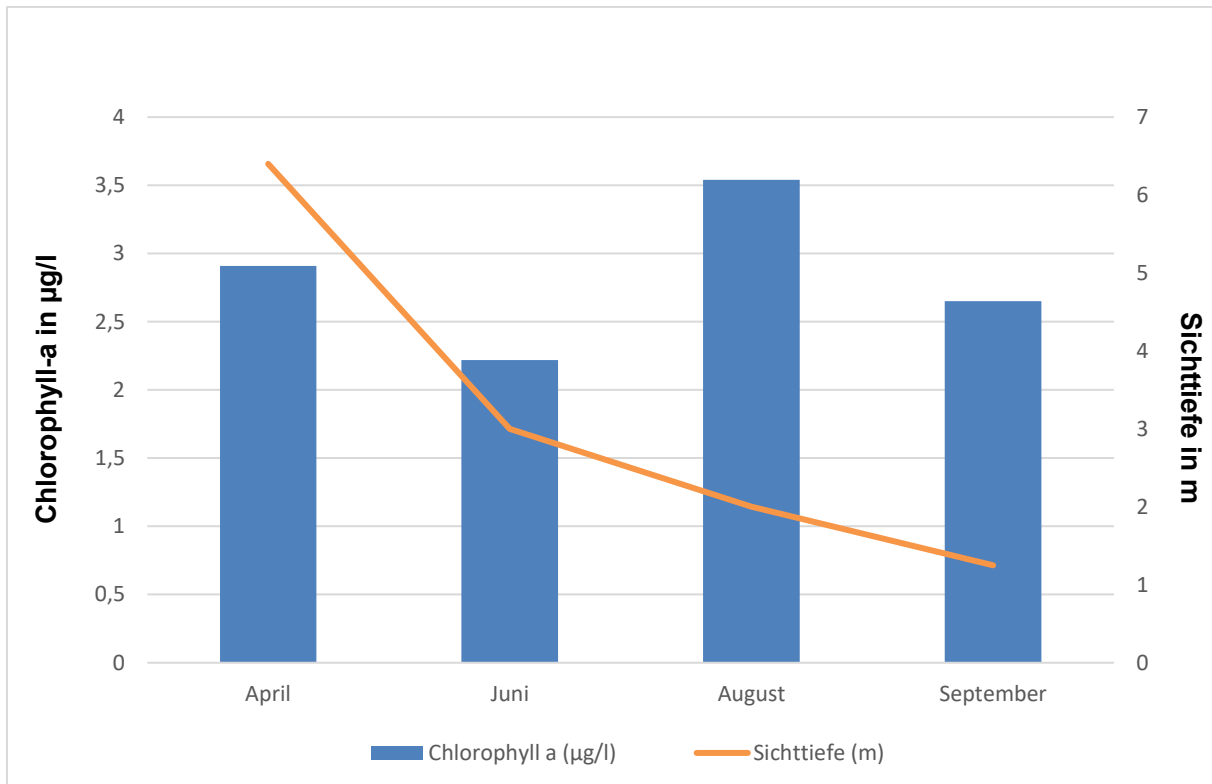


Abb. 16: Mittelsee – Verhältnis Chlorophyll-a zu Sichttiefe.

### 3.1.2.6 Nährstoffe, Minerale und Metalle

Auch im Mittelsee liegen die Sulfatwerte fast durchgehend über dem Grenzwert von 250 mg/l, sind jedoch deutlich geringer als im Obersee. Ebenso verhalten sich die Calciumwerte.

Die Eisenwerte sind ausschließlich im August erhöht, jedoch ebenfalls noch unter dem Grenzwert von 0,8 mg/l.

Alle weiteren Stoffe sind unauffällig. Einen Überblick der im Labor ermittelten Werte gibt Tab. 7.

Tab. 7: Mittelsee - Ergebnisse der Wasseranalytik im Labor.

|  |         | 24.04.2019 | 13.06.2019 | 15.08.2019 | 19.09.2019 |
|--|---------|------------|------------|------------|------------|
| Parameter                                | Einheit | Mischprobe | Mischprobe | Mischprobe | Mischprobe |
| Ammonium-Stickstoff (NH <sub>4</sub> -N) | mg/l    | 0,29       | 0,1        | 0,18       | 0,04       |
| Nitrat-Stickstoff (NO <sub>3</sub> -N)   | mg/l    | < 0,51     | < 0,51     | < 0,51     | < 0,51     |
| Nitrit-Stickstoff (NO <sub>2</sub> -N)   | mg/l    | < 0,01     | < 0,01     | < 0,01     | < 0,01     |
| Ammonium (NH <sub>4</sub> )              | mg/l    | 0,37       | 0,13       | 0,23       | 0,05       |
| Nitrat (NO <sub>3</sub> )                | mg/l    | < 2,26     | < 2,26     | < 2,26     | < 2,26     |
| Nitrit (NO <sub>2</sub> )                | mg/l    | < 0,03     | < 0,03     | < 0,03     | < 0,03     |
| Gesamtphosphor (P <sub>ges</sub> )       | mg/l    | 0,007      | 0,007      | 0,02       | 0,012      |
| Phosphat (PO <sub>4</sub> )              | mg/l    | < 0,009    | < 0,009    | 0,23       | < 0,009    |
| Calcium (Ca)                             | mg/l    | 157        | 148        | 152        | 135        |
| gelöster reaktiver Phosphor (SRP)        | mg/l    | < 0,003    | < 0,003    | < 0,003    | < 0,003    |
| Sulfate (SO <sub>4</sub> )               | mg/l    | 382        | 389        | 248        | 405        |
| Eisen (Fe)                               | mg/l    | 0,077      | 0,084      | 0,407      | 0,102      |
| Mangan (Mn)                              | mg/l    | 0,075      | 0,323      | 0,329      | 0,2        |
| Chlorid (Cl <sup>-</sup> )               | mg/l    | 32,2       | 33,1       | 28,2       | 34,6       |
| Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)   | mg/l    | 10,7       | 11,6       | 12         | 11         |
| Säurekapazität 4,3 (Ks)                  | mmol/l  | 3,29       | 3,2        | 2,99       | 2,44       |
| Chlorophyll a (Chl a)                    | µg/l    | 2,91       | 2,22       | 3,54       | 2,65       |
| Chlorophyll b (Ch b)                     | µg/l    | 0,1        | 0,11       | 0,96       | 0,27       |



### 3.1.2.7 Zusammenfassung der relevanten Ergebnisse für die Trophiebewertung

Der Mittelsee wird mit einer Größe  $\geq 5$  ha und einer mittleren Tiefe  $\leq 3$  m als „ungeschichtet“ eingestuft. Daher ergibt sich der Gesamt-Trophie-Index aus folgender Formel:

$$\frac{Chl\ a_{Ind} * 10 + ST_{Ind} * 6 + GesPSais_{Ind} * 6 + GesPF_{Ind} * 4}{26}$$

$Chl\ a_{Ind}$  = Chlorophyll a Index  
 $ST_{Ind}$  = Sichttiefenindex  
 $GesPSais_{Ind}$  = Gesamtphosphor-Saisonmittelwert Index  
 $GesPF_{Ind}$  = Gesamtphosphor-Frühjahrswert Index  
 Zahlen in Rot = unterschiedliche Gewichtungen

Abb. 17: Angepasste Formel zur Ermittlung der Trophie für den Mittelsee nach LAWA (2013).

Die relevanten Ergebnisse der einzelnen Parameter für die Berechnung der Trophie sind in Tab. 8 zusammengefasst:

Tab. 8: Ergebnisse der erhobenen Daten zur Bestimmung der Trophie nach LAWA (2014) im Mittelsee.

| Datum      | Probe               | Chl-a (µg/l) | Pgesamt (µg/l) | P-Frühjahrswert (µg/l) | Sichttiefe (m) |
|------------|---------------------|--------------|----------------|------------------------|----------------|
| 03.04.2019 | Mischprobe          | 2,91         | 7              | 7                      | 6,4            |
| 17.06.2019 | Mischprobe          | 2,22         | 7              | -                      | 3              |
| 14.08.2019 | Mischprobe          | 3,54         | 20             | -                      | 2              |
| 18.09.2019 | Mischprobe          | 2,65         | 12             | -                      | 1,25           |
|            | <b>Mittelwerte:</b> | 2,83         | 11,5           | 7                      | 3,16           |

Aus den Mittelwerten von Chlorophyll a und Gesamtphosphor sowie dem Mittelwert der Sichttiefe und dem Phosphor Frühjahrswert werden zunächst nach Anleitung der LAWA (2014) Indices berechnet, die anschließend in die Formel zur Berechnung der Trophie eingesetzt werden. Daraus ergibt sich folgende Berechnung:

$$\frac{1,45*10+1,87*6+1,45*6+0,897*4}{26} = 1,46$$

Abb. 18: Berechnung des Trophieindex für den Mittelsee.

Das Ergebnis wird in Kapitel 4.1 S. 42 klassifiziert und bewertet.

### 3.1.3 Untersee

Im Untersee wurden im Jahr 2019 insgesamt 4 Probenahmetermini durchgeführt, im April (Frühjahrszirkulation) und in den Monaten Juni, August und September (Sommerstagnation). Nachfolgend wird das Temperatur- und Schichtungsverhalten, die Sauerstoffverhältnisse, die pH-Entwicklung und die Leitfähigkeit, Chlorophyll a und Sichttiefen und die Nährstoffsituation beschrieben. Die Bewertung der Trophie erfolgt in Kap. 4.1 (s. S.43).

#### 3.1.3.1 Temperatur

Die gemessenen Temperaturkurven im Untersee zeigen von April bis September eine konstante Schichtung an. Im April befindet sich die Sprungschicht bei - 4 bis - 6 m. Richtung Spätsommer verlagert sie sich typischerweise in die Tiefe. Die maximale Tiefe wurde im Juni bei - 9 m erreicht.

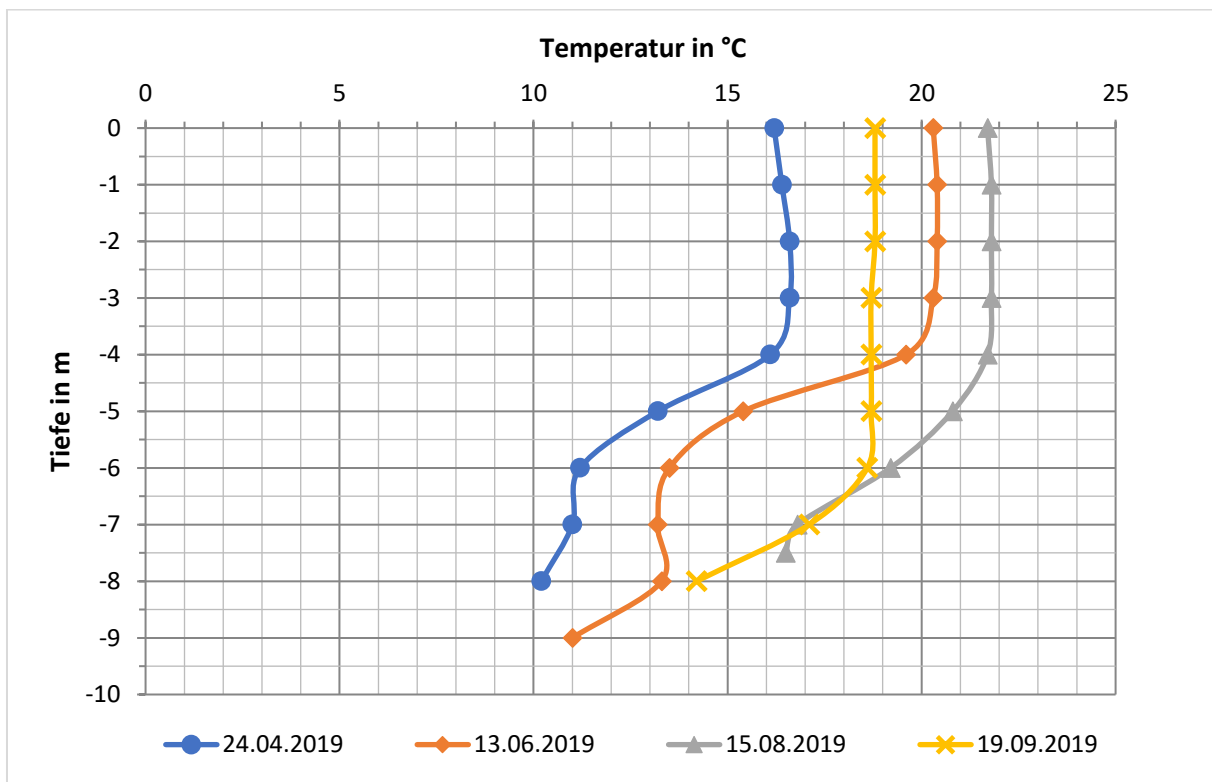


Abb. 19: Untersee – Wassertemperatur im Tiefenprofil.

### 3.1.3.2 Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit liegt im Untersee konstant zwischen 850 und knapp über 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Die Menge gelöster Stoffe ist geringer als im Ober- und Mittelsee, im Tiefenprofil aber ebenfalls gleichverteilt. Diese Gleichverteilung der Mischungsverhältnisse ist eher untypisch für einen geschichteten See.

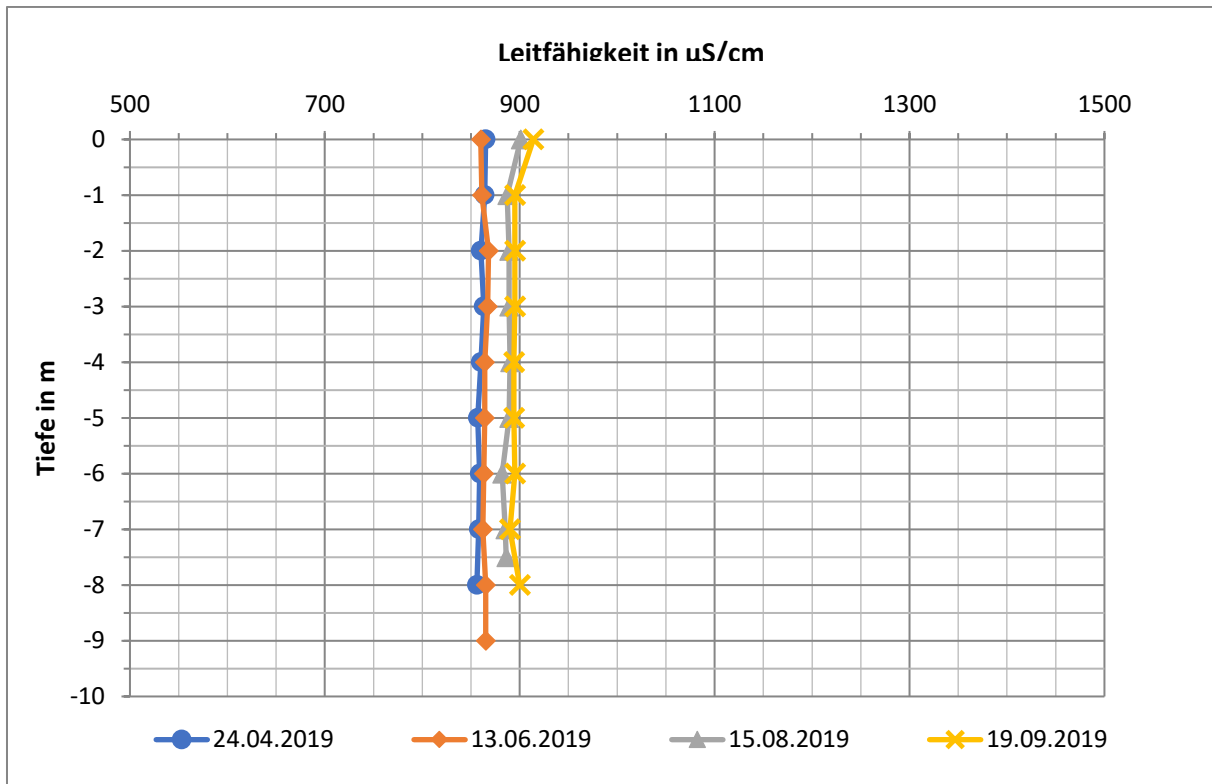


Abb. 20: Untersee – Elektrische Leitfähigkeit im Tiefenprofil.

### 3.1.3.3 Sauerstoff

Der Sauerstoffgehalt wurde im Untersee von Juni bis September gemessen. Aufgrund einer defekten Sauerstoffsonde fehlen die Messdaten für April. Die gemessenen Sauerstoffkurven verhalten sich typisch für einen geschichteten See. Zunächst verhält sich der Sauerstoffgehalt konstant bis zur Sprungschicht. Unterhalb der Sprungschicht findet eine Sauerstoffzehrung statt. Aufgrund der Temperaturschichtung kann sich das Wasser zwischen den Schichten nicht mehr vermischen. Im September kommt es zu einem Sauerstoffdefizit im Hypolimnion. In einer Tiefe von 8 m sinkt die Sauerstoffsättigung im September auf 13 %.

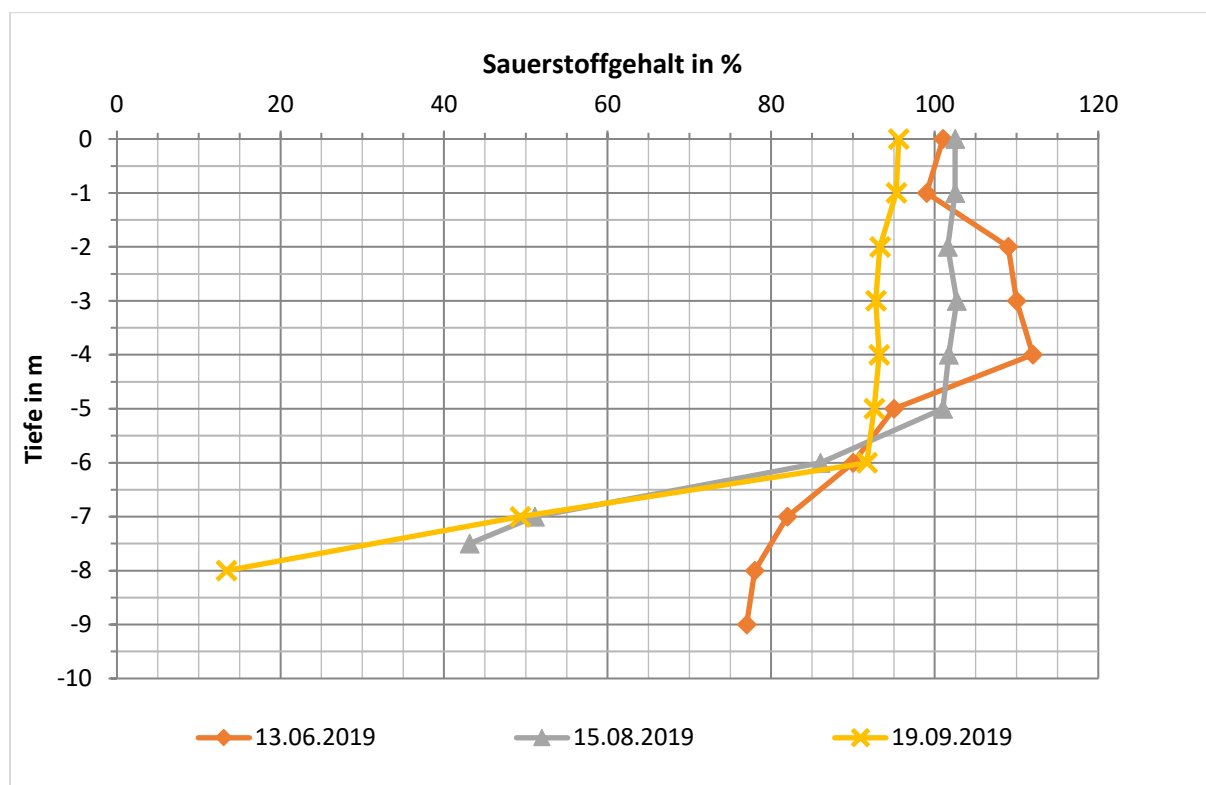


Abb. 21: Untersee – Sauerstoffgehalt im Tiefenprofil (aufgrund eines Sondenfehlers wurden am 24.04.2019 keine Sauerstoffwerte erfasst).

In Tab. 9 werden die Sauerstoffwerte in mg/l dargestellt, die einzelnen Kurven verhalten sich wie in Abb. 21.

Tab. 9: Untersee – Sauerstoffgehalt in mg/l.

| Tiefe [m] | 24.04.2019 | 13.06.2019 | 15.08.2019 | 19.09.2019 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| 0         | -          | 9,01       | 8,89       | 9,00       |
| -1        | -          | 8,82       | 8,89       | 8,93       |
| -2        | -          | 9,71       | 8,80       | 8,75       |
| -3        | -          | 9,82       | 8,92       | 8,72       |
| -4        | -          | 10,13      | 8,86       | 8,77       |
| -5        | -          | 9,37       | 8,80       | 8,71       |
| -6        | -          | 9,26       | 7,90       | 8,64       |
| -7        | -          | 8,49       | 4,88       | 4,70       |
| -8        | -          | 8,06       | 4,17       | 1,37       |
| -9        | -          | 8,39       |            |            |

Auch die Sauerstoffwerte in mg/l zeigen ein starkes Sauerstoffdefizit im September bei einer Tiefe von 8 m.

### 3.1.3.4 pH-Wert

Die pH-Werte im Untersee befinden sich im Epilimnion im gesamten Untersuchungszeitraum über 8, also im basischen Bereich.

Die Abnahme der pH-Werte während der sommerlichen Stagnationsphase im Hypolimnion ist eng an den Sauerstoffhaushalt gebunden.

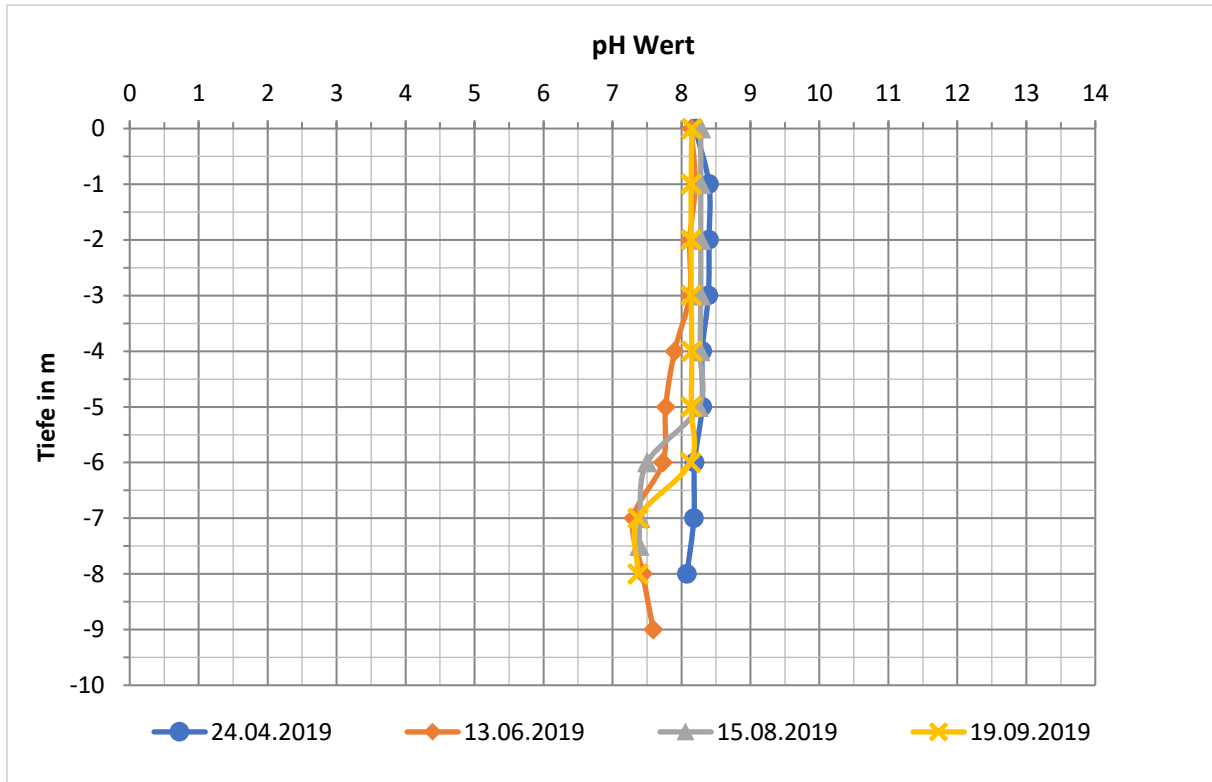


Abb. 22: Untersee – pH-Wert im Tiefenprofil.

### 3.1.3.5 Chlorophyll a und Sichttiefen

Die Sichttiefe verhält sich im Vergleich zu den Chlorophyll a Werten entsprechend der Faustregel: Je weniger Chlorophyll a im Wasser vorhanden ist, desto höher sollte die Sichttiefe sein. Im Juni scheint zum Ende eines Klarwasserstadiums gemessen worden zu sein, jedoch ist die Sichttiefe im Juni nicht ganz doppelt so hoch, wie der Mittelwert aller Sichttiefen, so dass auch die Werte im Juni mit in die Trophieberechnung mit eingehen.

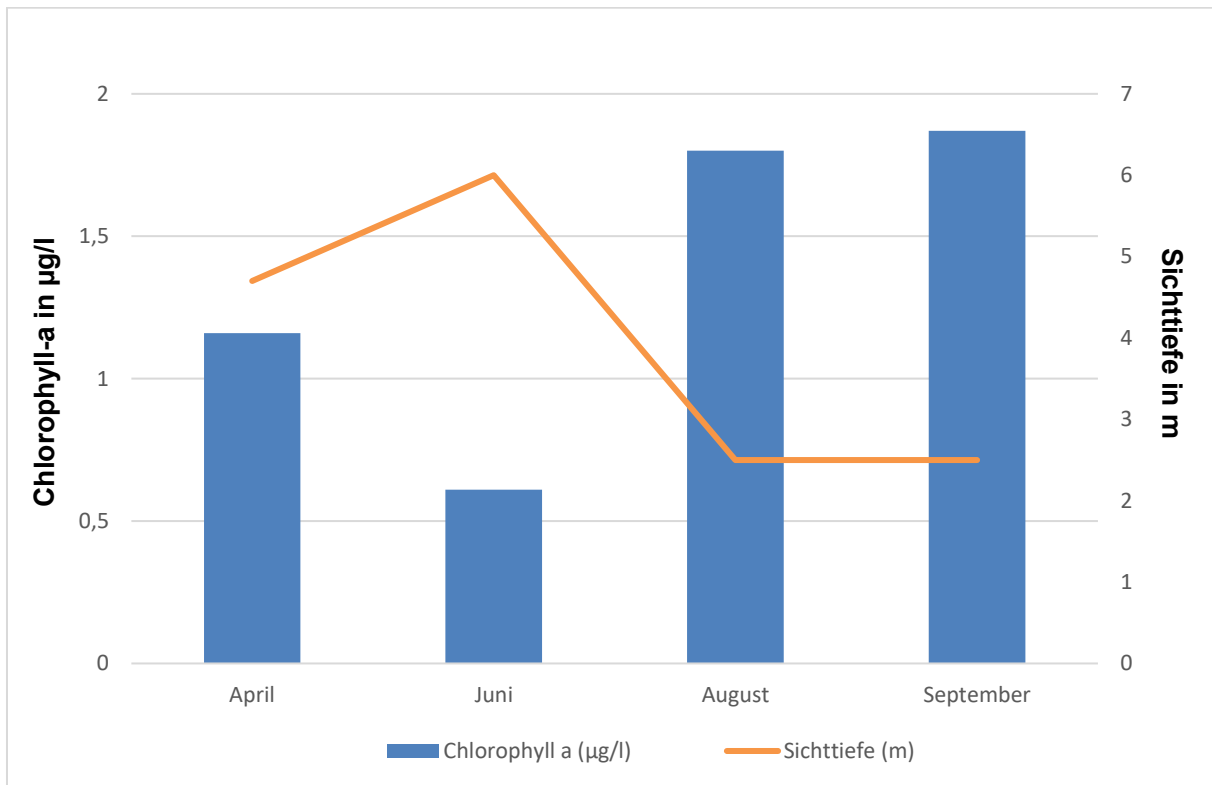


Abb. 23: Untersee – Verhältnis Chlorophyll-a zu Sichttiefe.



### 3.1.3.6 Nährstoffsituation

Ebenso wie im Ober- und Mittelsee sind die Sulfat- und Calciumwerte sehr hoch. Die Eisenwerte befinden sich hier im Normalbereich.

Alle weiteren Stoffe sind unauffällig. Einen Überblick der im Labor ermittelten Werte gibt Tab. 10:

Tab. 10: Untersee – Ergebnisse der Wasseranalyse im Labor

|  |         | 24.04.<br>2019 | 13.06.2019 |         | 15.08.2019 |         | 19.09.2019 |         |
|--|---------|----------------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| Parameter                                | Einheit | Mischprobe     | oben       | unten   | oben       | unten   | oben       | unten   |
| Ammonium-Stickstoff (NH <sub>4</sub> -N) | mg/l    | 0,17           | 0,09       | 0,05    | < 0,03     | 0,2     | 0,05       | 0,14    |
| Nitrat-Stickstoff (NO <sub>3</sub> -N)   | mg/l    | < 0,51         | < 0,51     | < 0,51  | < 0,51     | < 0,51  | < 0,51     | < 0,51  |
| Nitrit-Stickstoff (NO <sub>2</sub> -N)   | mg/l    | < 0,01         | < 0,01     | < 0,01  | < 0,01     | < 0,01  | < 0,01     | < 0,01  |
| Ammonium (NH <sub>4</sub> )              | mg/l    | 0,22           | 0,11       | 0,07    | < 0,04     | 0,26    | 0,07       | 0,18    |
| Nitrat (NO <sub>3</sub> )                | mg/l    | < 2,26         | < 2,26     | < 2,26  | < 2,26     | < 2,26  | < 2,26     | < 2,26  |
| Nitrit (NO <sub>2</sub> )                | mg/l    | < 0,03         | < 0,03     | < 0,03  | < 0,03     | < 0,03  | < 0,03     | < 0,03  |
| Gesamtposphor (P <sub>ges</sub> )        | mg/l    | 0,007          | 0,017      | 0,011   | < 0,003    | < 0,003 | 0,006      | 0,008   |
| Phosphat (PO <sub>4</sub> )              | mg/l    | < 0,009        | < 0,009    | < 0,009 | < 0,009    | < 0,009 | < 0,009    | < 0,009 |
| Calcium (Ca)                             | mg/l    | 136            | 133        | 132     | 145        | 144     | 135        | 136     |
| gelöster reaktiver Phosphor (SRP)        | mg/l    | < 0,003        | < 0,003    | < 0,003 | < 0,003    | < 0,003 | < 0,003    | < 0,003 |
| Sulfate (SO <sub>4</sub> )               | mg/l    | 282            | 277        | 274     | 150        | 125     | 277        | 282     |
| Eisen (Fe)                               | mg/l    | 0,156          | 0,049      | 0,038   | 0,044      | 0,28    | 0,045      | 0,068   |
| Mangan (Mn)                              | mg/l    | 0,088          | 0,033      | 0,194   | 0,031      | 0,782   | 0,072      | 0,943   |
| Chlorid (Cl <sup>-</sup> )               | mg/l    | 22             | 22,7       | 22,4    | 21,7       | 21      | 22,2       | 21,3    |
| DOC                                      | mg/l    | 14,4           | 14,1       | 13,4    | 15,1       | 14,2    | 13,8       | 13,1    |
| Säurekapazität 4,3 (Ks)                  | mmol/l  | 3,67           | 3,64       | 3,65    | 3,65       | 3,74    | 3,63       | 3,73    |
| Chlorophyll a (Chl a)                    | µg/l    | 1,16           | 0,61       | 0,81    | 1,8        | 1,1     | 1,87       | 1,53    |
| Chlorophyll b (Chl b)                    | µg/l    | 1,16           | 0,04       | 0,07    | 0,38       | 0,17    | 0,29       | 0,32    |

### 3.1.3.7 Zusammenfassung der relevanten Ergebnisse für die Trophiebewertung

Der Untersee wird mit einer Größe  $\geq 5$  ha und einer mittleren Tiefe von  $> 3$  m als „geschichtet“ eingestuft. Der Gesamt-Trophie-Index wird daher mit folgender Formel berechnet:

$$\frac{Chl\ a_{Ind} * 10 + ST_{Ind} * 7 + GesPSais_{Ind} * 7 + GesPF_{Ind} * 6}{30}$$

$Chl\ a_{Ind}$  = Chlorophyll a Index  
 $ST_{Ind}$  = Sichttiefenindex  
 $GesPSais_{Ind}$  = Gesamtphosphor-Saisonmittelwert Index  
 $GesPF_{Ind}$  = Gesamtphosphor-Frühjahrswert Index  
 Zahlen in Rot = unterschiedliche Gewichtungen

Abb. 24: Angepasste Formel zur Ermittlung der Trophie für den Untersee nach LAWA (2014).

Die relevanten Ergebnisse der einzelnen Parameter für die Berechnung der Trophie sind in Tab. 11 zusammengefasst:

Tab. 11: Ergebnisse der erhobenen Daten zur Bestimmung der Trophie nach LAWA (2014) im Untersee.

| Datum      | Probe               | Chl-a ( $\mu\text{g/l}$ ) | Pgesamt ( $\mu\text{g/l}$ ) | P-Frühjahrswert ( $\mu\text{g/l}$ ) | Sichttiefe (m) |
|------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 03.04.2019 | Mischprobe          | 1,16                      | 7                           | 7                                   | 4,7            |
| 17.06.2019 | Mischprobe          | 0,61                      | 17                          | -                                   | 6              |
| 14.08.2019 | Mischprobe          | 1,8                       | 3                           | -                                   | 2,5            |
| 18.09.2019 | Mischprobe          | 1,87                      | 6                           | -                                   | 2,5            |
|            | <b>Mittelwerte:</b> | 1,36                      | 8,25                        | 7                                   | 3,93           |

Aus den Mittelwerten von Chlorophyll a und Gesamtphosphor sowie dem Mittelwert der Sichttiefe und dem Phosphor Frühjahrswert werden zunächst nach Anleitung der LAWA (2014) Indices berechnet, die anschließend in die Formel zur Berechnung der Trophie eingesetzt werden. Daraus ergibt sich folgende Berechnung:

$$\frac{0,82*10+1,77*7+0,94*7+0,87*6}{30} = 1,08$$

Abb. 25: Berechnung des Trophieindex für den Untersee.

Das Ergebnis wird in Kapitel 4.3 S. 43 klassifiziert und bewertet.

## 3.2 Makrophyten

### 3.2.1 Obersee

Im Obersee wurde im Jahr 2019 ein Transekt flächenhaft untersucht. Die Untersuchung erfolgte auf denselben Flächen wie in den vorangegangenen Untersuchungsjahren.

Bei der Untersuchung konnten insgesamt 8 Makrophytenarten nachgewiesen werden, davon gehörte lediglich 1 Art zur Gruppe der Armleuchteralgen. Im Vergleich zu den Untersuchungsjahren 2014 und 2011 ist die Artenzahl relativ konstant geblieben.

Im Obersee dominiert *Nuphar lutea* und bildet am Gewässergrund ausgedehnte Unterwasserblätter und Wurzelgeflechte aus. Untergeordnet kommen die höheren Makrophyten *Najas major*, *Myriophyllum verticillatum*, *Potamogeton pectinatus* und *Hippuris vulgaris* vor.

Aus der Gruppe der Armleuchteralgen wurde lediglich *Chara globularis* an einem Standort gefunden. Der Deckungsgrad liegt bei unter 1 %. Die im Jahr 2014 nachgewiesene Leitart *Nitellopsis obtusa* konnte im Jahr 2019 trotz intensiver Suche nicht nachgewiesen werden.

Die Makrophyten, insbesondere die Grundblätter von *Nuphar lutea*, waren zum Zeitpunkt der Untersuchung mit einer Sedimentschicht belegt (s. Abb. 26), dies deutet auf das Vorhandensein von bodenwühlenden Fischarten hin. Die Fangergebnisse und Beobachtungen zahlreicher adulter Karpfen während der Elektrofischung im Jahr 2020 bestätigt die Vermutung.

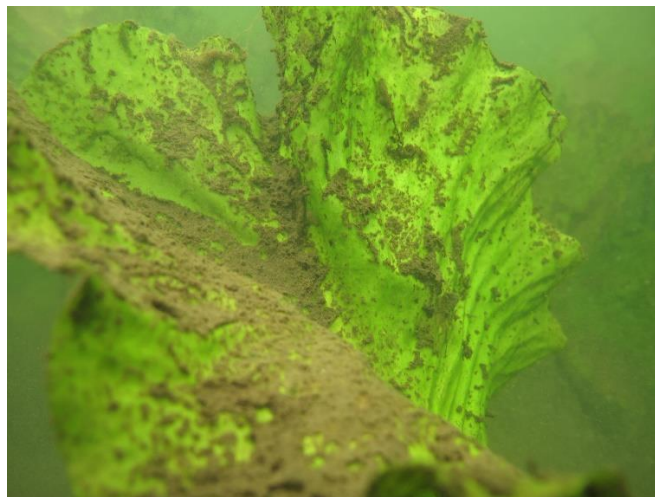


Abb. 26: Mit Sediment belegte Grundblätter von *Nuphar lutea*.



Abb. 27: Mit Sediment belegte Bestände von *Chara globularis* im Jahr 2011.

Es wird weiterhin vermutet, dass die im Jahr 2011 vorgefundenen ausgedehnten Bestände von *Chara globularis* und im Jahr 2014 vorgefundenen ausgedehnten Bestände von *Nitellopsis obtusa* aufgrund der fischereilich bedingten Eintrübung und Sedimentbelegung rückläufig waren.

Aufgrund der Seemorphologie konnte keine Makrophyten-Tiefengrenze ermittelt werden, der Seegrund ist flächendeckend, wenn auch an einigen Stellen spärlich bewachsen.

Alle gefundenen Arten können der Tab. 12 entnommen werden.

Da der Obersee nicht die Anforderungen eines LRT 3140 erfüllt, wird dieser im Kap. 4.1 (s. S. 41) nicht nach dem FFH-Verfahren bewertet. Allerdings sind die in den Vorjahren festgestellten ausgedehnten Bestände sowohl von *Chara globularis*, als auch von *Nitellopsis obtusa* für das FFH-Gebiet von Bedeutung.

Tab. 12: Artenlisten des Obersees der Untersuchungsjahre 2019, 2014 und 1980er im Vergleich.

| Art   | 1980er <sup>1</sup> | 2011 <sup>2</sup> | 2014 <sup>2</sup> | 2019 <sup>2</sup> | Status RL |
|---|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| <b>Armleuchteralgen</b>   |                     |                   |                   |                   |           |
| <i>Chara globularis</i>   |                     | X                 |                   | X                 | *         |
| <i>Nitellopsis obtusa</i>   |                     |                   | X                 |                   | V         |
| <b>Anzahl Armleuchteralgen:</b>   | <b>0</b>            | <b>1</b>          | <b>1</b>          | <b>1</b>          |           |
| <b>Höhere Makrophyten</b>   |                     |                   |                   |                   |           |
| <i>Hippuris vulgaris</i>  |                     | X                 | X                 | X                 | 2         |
| <i>Lemna minor</i>  | X                   |                   |                   |                   | *         |
| <i>Myriophyllum verticillatum</i>   |                     | X                 | X                 | X                 | 2         |
| <i>Najas major</i>  |                     |                   |                   | X                 | k. A.     |
| <i>Nuphar lutea</i>   | X                   | X                 | X                 | X                 | *         |
| <i>Potamogeton crispus</i>  |                     | X                 | X                 | X                 | *         |
| <i>Potamogeton pectinatus</i>   | X                   | X                 | X                 | X                 | *         |
| <i>Utricularia australis agg</i>  | X                   | X                 | X                 | X                 | 3         |
| <b>Anzahl der höheren Makrophyten:</b>  | <b>4</b>            | <b>6</b>          | <b>6</b>          | <b>7</b>          |           |
| <b>Arten insgesamt:</b>   | <b>4</b>            | <b>7</b>          | <b>7</b>          | <b>8</b>          |           |
| <sup>1</sup> Quelle: Ville-Seen Gutachten aus den 1980er Jahren<br><sup>2</sup> Quelle: DIE GEWÄSSER-EXPERTEN! 2019, 2014, 2011.<br>V: Vorwarnliste der Roten Liste 2010<br>*: ungefährdet<br>2: stark gefährdet<br>3: gefährdet<br>k.A.: Nicht in der RL-NRW enthalten |                     |                   |                   |                   |           |

## Fototafel Obersee



Nuphar lutea, Grundblätter



Nuphar lutea, Schwimmblätter



Hippuris vulgaris



Myriophyllum verticillatum



Potamogeton pectinatus



Potamogeton crispus



### 3.2.2 Mittelsee

Im Mittelsee wurden im Jahr 2019 insgesamt zwei Transekte untersucht. Die Untersuchung erfolgte an denselben Standorten wie in den vorangegangenen Untersuchungsjahren 2014 und 2011.

Bei der Untersuchung konnten insgesamt 8 Makrophytenarten nachgewiesen werden, davon gehört nur 1 Art zur Gruppe der Armleuchteralgen. Im Vergleich zum Untersuchungsjahr 2014 konnten 5 Arten weniger nachgewiesen werden. Der Rückgang liegt vor allem im Bereich der Armleuchteralgen von 4 Arten auf 1 Art begründet.

Dominant in beiden Transekten ist die Art *Potamogeton pectinatus*, die Deckungsgrade von weit mehr als 50 % einnimmt. Die Art ist als Störzeiger einzustufen und ihre Zunahme im Vergleich zu den Untersuchungen in den Jahren 2014 und 2011 deutet auf eine Zunahme der Eutrophierung hin. Diese Zunahme wurde im Rahmen der 2019 durchgeführten Trophieuntersuchung bestätigt (s. Kap. 4.1.2, S. 42).

In allen Transekten dominieren die höheren Makrophyten *Myriophyllum heterophyllum*, *Myriophyllum verticillatum*, *Potamogeton pectinatus* und *Elodea nuttallii*. Untergeordnet kommen insgesamt 7 Armleuchteralgen vor, diese finden sich vorwiegend im Flachwasserbereich und in der Tiefe und bilden lockere, mosaikartige Bestände. Zusammenhängende Armleuchteralgenrasen finden sich innerhalb der Transekte nicht.

Weiterhin sind aus der Gruppe der höheren Makrophyten die Arten *Nuphar lutea* und *Potamogeton verticillatum* für die Bestände in den beiden Transekten prägend.

Konnten in der Voruntersuchung 2014 noch ausgedehnte Bestände von Armleuchteralgen vom Flachwasser bis in die Tiefe nachgewiesen werden, so sind diese Bestände im Untersuchungsjahr 2019 weitestgehend verschwunden. Der ursprünglich im Jahr 2014 festgestellte Deckungsgrad des besiedelbaren Gewässergrundes von mehr als 50 % konnte im Jahr 2019 mit < 5 % nicht ansatzweise mehr erreicht werden.

Tab. 13: Vergleich von Makrophyten-Tiefengrenze und Armleuchteralgendeckung der Jahre 2019, 2014 und 2011.

|                                      | Transekt 1           | Transekt 2           |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Makrophyten-Tiefengrenze 2011        | 5,2 m                | 4,2 m                |
| Makrophyten-Tiefengrenze 2014        | n.e.<br>(min. 5,5 m) | n.e.<br>(min. 5,5 m) |
| <b>Makrophyten-Tiefengrenze 2019</b> | <b>4,0 m</b>         | <b>4,0 m</b>         |
| Arملهuchteralgendeckung 2011         | > 50 %               | > 50 %               |
| Arملهuchteralgendeckung 2014         | > 50 %               | > 50 %               |
| <b>Arملهuchteralgendeckung 2019</b>  | <b>&lt; 5 %</b>      | <b>&lt; 5 %</b>      |
| Anm.: n.e. = nicht erreicht          |                      |                      |

Im Jahr 2019 wurden lediglich geringe Bestände von *Nitella opaca* festgestellt. Weitere Arten wurden im Jahr 2019 nicht nachgewiesen. Der Rückgang der Armleuchteralgen kann durch eine Zunahme der konkurrenzstarken Bestände aus *Potamogeton pectinatus* begründet werden. Mit dem Rückgang der Armleuchteralgen-Bestände einher geht auch eine Reduzierung der mittleren Makrophyten-Tiefengrenze von 5,5 m auf 4,0 m im Jahr 2019.





Abb. 28: Ausgeprägte Bestände von Armleuchteralgen – wie hier im Jahr 2011 beobachtet – konnten im Jahr 2019 nicht mehr nachgewiesen werden.



Abb. 29: Statt der ausgeprägten Bestände von Armleuchteralgen wurden im Jahr 2019 und 2020 ausgedehnte Bestände von *Potamogeton pectinatus* nachgewiesen, die teilweise dichte und bis 1 m hoch wachsende Monobestände bilden (Fotos: Betauchung im Juli 2020).

Tab. 14: Artenlisten des Mittelsees der Untersuchungsjahre 1980er, 2011, 2014 und 2019 im Vergleich.

| Art  | 1980er <sup>1</sup> | 2011 <sup>2</sup> | 2014 <sup>2</sup> | 2019 <sup>2</sup> | Status RL |
|--|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| <b>Armleuchteralgen</b>  |                     |                   |                   |                   |           |
| <i>Chara contraria</i>   |                     | X                 | X                 |                   | *         |
| <i>Chara globularis</i>  |                     | X                 | X                 |                   | *         |
| <i>Chara vulgaris</i>  |                     | X                 |                   |                   | *         |
| <i>Nitella opaca</i>   |                     | X                 | X                 | X                 | *         |
| <i>Nitellopsis obtusa</i>  |                     | X                 | X                 |                   | V         |
| <b>Anzahl Armleuchteralgen:</b>  | <b>0</b>            | <b>5</b>          | <b>4</b>          | <b>1</b>          |           |
| <b>Höhere Makrophyten</b>  |                     |                   |                   |                   |           |
| <i>Hippuris vulgaris</i>   |                     |                   | X                 |                   | 2         |
| <i>Myriophyllum heterophyllum</i>  | X                   |                   |                   |                   | *         |
| <i>Myriophyllum verticillatum</i>  | X                   | X                 | X                 | X                 | 2         |
| <i>Nuphar lutea</i>  |                     | X                 | X                 | X                 | *         |
| <i>Potamogeton berchtoldii</i>   |                     |                   | X                 |                   | *         |
| <i>Potamogeton crispus</i>   | X                   | X                 | X                 | X                 | *         |
| <i>Potamogeton lucens</i>  |                     |                   | X                 | X                 | 3         |
| <i>Potamogeton pectinatus</i>  | X                   | X                 | X                 | X                 | *         |
| <i>Potamogeton pusillus</i>  |                     |                   | X                 | X                 | *         |
| <i>Potamogeton trichoides</i>  |                     | X                 |                   |                   | 3         |
| <i>Utricularia australis agg</i>   |                     | X                 | X                 | X                 | 3         |
| <b>Anzahl der höheren Makrophyten:</b>   | <b>4</b>            | <b>6</b>          | <b>9</b>          | <b>7</b>          |           |
| <b>Arten insgesamt:</b>  | <b>0</b>            | <b>5</b>          | <b>13</b>         | <b>8</b>          |           |
| <sup>1</sup> Quelle: Ville-Seen Gutachten aus den 1980er Jahren<br><sup>2</sup> Quelle: DIE GEWÄSSER-EXPERTEN! 2019, 2014, 2011.<br>V: Vorwarnliste der Roten Liste 2010<br>*: ungefährdet    2: stark gefährdet    3: gefährdet |                     |                   |                   |                   |           |

### 3.2.3 Untersee

Im Untersee wurden im Jahr 2019 insgesamt drei Transekte untersucht. Die Untersuchung erfolgte an denselben Standorten wie in den vorangegangenen Untersuchungsjahren 2014 und 2011.

Bei der Untersuchung konnten insgesamt lediglich 8 Makrophytenarten nachgewiesen werden, davon gehörten 2 Arten zur Gruppe der Armleuchteralgen. Im Vergleich zum Untersuchungsjahr 2014 konnten deutlich weniger Arten nachgewiesen werden (s. Tab. 12). Die reduzierte Artenanzahl erreicht wieder das Niveau von 2011.

Der Gewässergrund ist stellenweise, insbesondere Richtung Makrophyten-Tiefengrenze, nur spärlich bewachsen. Dominant sind die höheren Makrophyten *Nuphar lutea* und *Myriophyllum verticillatum*. Im Jahr 2019 konnten von den im Jahr 2014 nachgewiesenen 4 Arten nur *Chara globularis* und *Nitella mucronata* nachgewiesen werden, diese bilden jedoch nur lockere Bestände, keineswegs zusammenhängende Armleuchteralgenrasen. Die Deckungsgrade des besiedelbaren Gewässergrundes sind allerdings mit 5 – 10 % vergleichbar zu den Ergebnissen aus 2014.

Die mittlere Makrophyten-Tiefengrenze ist 2019 mit 5,13 m vergleichbar unverändert zu der Tiefengrenze von 2014 mit 4,93 m.

Tab. 15: Vergleich von Makrophyten-Tiefengrenze und Armleuchteralgendeckung der Jahre 2019, 2014 und 2011.

|                                      | Transekt 1      | Transekt 2      | Transekt 3      | mittlere Werte  |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Makrophyten-Tiefengrenze 2011</b> | 5,6 m           | 4,6 m           | n.u.            | 5,1 m           |
| <b>Makrophyten-Tiefengrenze 2014</b> | 4,8 m           | 5,3 m           | 4,7 m           | 4,9 m           |
| <b>Makrophyten-Tiefengrenze 2019</b> | <b>5,6 m</b>    | <b>5,7 m</b>    | <b>4,1 m</b>    | <b>5,1 m</b>    |
| <b>Arملهuchteralgendeckung 2011</b>  | < 5 %           | 5 – 10 %        | n.u.            | < 10 %          |
| <b>Arملهuchteralgendeckung 2014</b>  | 5 – 10 %        | 5 – 10 %        | < 5 %           | 5 – 10 %        |
| <b>Arملهuchteralgendeckung 2019</b>  | <b>&lt; 5 %</b> | <b>5 – 10 %</b> | <b>5 – 10 %</b> | <b>5 – 10 %</b> |
| Anm.: n.u. = nicht untersucht        |                 |                 |                 |                 |

Tab. 16: Artenlisten des Untersees der Untersuchungsjahre 2019, 2014, 2011 und 1980er im Vergleich.

| Art   | 1980er <sup>1</sup> | 2011 <sup>2</sup> | 2014 <sup>2</sup> | 2019 <sup>2</sup> | Status RL |
|---|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| <b>Armleuchteralgen</b>   |                     |                   |                   |                   |           |
| <i>Chara contraria</i>  |                     |                   | X                 |                   | *         |
| <i>Chara globularis</i>   | X                   | X                 | X                 | X                 | *         |
| <i>Chara vulgaris</i>   | X                   |                   |                   |                   | *         |
| <i>Nitella mucronata</i>  |                     |                   |                   | X                 | *         |
| <i>Nitellopsis obtusa</i>   |                     |                   | X                 |                   | V         |
| <i>Tolypella intricata</i>  |                     |                   | X                 |                   | 1         |
| <b>Anzahl Armleuchteralgen:</b>   | <b>2</b>            | <b>1</b>          | <b>4</b>          | <b>2</b>          |           |
| <b>Höhere Makrophyten</b>   |                     |                   |                   |                   |           |
| <i>Eleocharis accicularis</i>   |                     |                   | X                 |                   | 3         |
| <i>Elodea nuttallii</i>   |                     | X                 | X                 |                   | *         |
| <i>Myriophyllum heterophyllum</i>   | X                   |                   |                   |                   | *         |
| <i>Myriophyllum verticillatum</i>   | X                   | X                 | X                 | X                 | 2         |
| <i>Najas major</i>  |                     |                   |                   | X                 | k. A.     |
| <i>Nuphar lutea</i>   | X                   | X                 | X                 | X                 | *         |
| <i>Potamogeton berchtoldii</i>  | X                   |                   | X                 |                   | *         |
| <i>Potamogeton crispus</i>  | X                   |                   |                   |                   | *         |
| <i>Potamogeton lucens</i>   | X                   |                   |                   |                   | 3         |
| <i>Potamogeton pectinatus</i>   | X                   | X                 | X                 |                   | *         |
| <i>Potamogeton pusillus</i>   |                     |                   | X                 |                   | *         |
| <i>Utricularia australis agg</i>  | X                   |                   |                   |                   | 3         |
| <b>Anzahl der höheren Makrophyten:</b>  | <b>7</b>            | <b>4</b>          | <b>7</b>          | <b>3</b>          |           |
| <b>Arten insgesamt:</b>   | <b>9</b>            | <b>5</b>          | <b>11</b>         | <b>5</b>          |           |
| <sup>1</sup> Quelle: Ville-Seen Gutachten aus den 1980er Jahren<br><sup>2</sup> Quelle: DIE GEWÄSSER-EXPERTEN! 2019, 2014, 2011.<br>V: Vorwarnliste der Roten Liste 2010<br>*: ungefährdet<br>2: stark gefährdet<br>3: gefährdet<br>k.A.: Nicht in der RL-NRW enthalten |                     |                   |                   |                   |           |

## 4 Bewertung

### 4.1 Trophie

#### 4.1.1 Obersee

Aus der Berechnung in Kapitel 3.1.1.7 (S. 17) ergibt sich für den Obersee die in Tab. 17 dargestellte Trophiebewertung:

Tab. 17: Obersee - Ergebnis der Trophieuntersuchung nach LAWA (2014).

| Bezeichnung | Jahr | Anzahl Messtermine | Gesamt-Trophie-Index | Trophieklasse |
|-------------|------|--------------------|----------------------|---------------|
| Obersee     | 2019 | 4                  | 2,03                 | Mesotroph 1   |

Der Obersee wird mit der **Trophieklasse II „mesotroph 1“** bewertet. Der Gesamt-Trophie-Index befindet sich im Grenzbereich zu Trophieklasse III „mesotroph 2“.

Mesotrophe Gewässer haben eine höhere Nährstoffverfügbarkeit und damit eine höhere biologische Produktion. Die Phytoplanktonentwicklung ist mäßig, mit einem Maximum im Frühjahr, weist jedoch eine hohe Artenvielfalt auf. In mesotrophen Seen kommt es im Metalimnion, im Bereich der Sprungschicht häufig zu einer Sauerstoffzehrung, weshalb im Hypolimnion ein Sauerstoffmangel auftreten kann. Dazu kommt es im Obersee jedoch aufgrund der Topographie nicht.

Im Vergleich zu früheren Trophieergebnissen aus den Jahren 1980 und 2000 hat sich der Obersee von einem oligotrophen Gewässer zu einem mesotrophen Gewässer entwickelt (s. Tab. 18). Der gemittelte Chlorophyll a Wert ist seit 2000 deutlich gestiegen, was auf eine gesteigerte Produktion schließen lässt und was den Sprung in die nächste Trophieklasse erklärt. Auch die Phosphorwerte sind im Jahr 2019 höher als im Jahr 2000.

Tab. 18: Obersee – Trophieergebnisse im Vergleich 1980 bis 2019.

| Jahr   | 2019 <sup>1</sup> | 2000 <sup>2</sup> | 1980er Jahre <sup>3</sup> |
|--|-------------------|-------------------|---------------------------|
| Trophieklasse  | mesotroph 1       | oligotroph        | oligotroph                |
| Trophie-Index  | 2,03              | 1,07              | - *                       |
| $\bar{X}$ Chlorophyll a ( $\mu\text{g/l}$ )  | 5,6               | 1,38              | - *                       |
| $\bar{X}$ Phosphor ( $\mu\text{g/l}$ )   | 7,25              | 6,14              | - *                       |
| <sup>1</sup> Quelle: Eigene Erhebung, DIE GEWÄSSER-EXPERTEN! 2019<br><sup>2</sup> Quelle: Trophieuntersuchung LANUV NRW<br><sup>3</sup> Quelle: Ville-Seen Gutachten aus den 1980er Jahren<br>* Hinweis: es liegen keine detaillierten Daten vor |                   |                   |                           |

## 4.1.2 Mittelsee

Aus der Berechnung in Kapitel 3.1.2.7 (S. 25) ergibt sich für den Mittelsee die in Tab. 19 dargestellte Trophiebewertung:

Tab. 19: Mittelsee - Ergebnis der Trophieuntersuchung nach LAWA (2014).

| Bezeichnung | Jahr | Anzahl Messtermine | Gesamt-Trophie-Index | Trophieklasse |
|-------------|------|--------------------|----------------------|---------------|
| Mittelsee   | 2019 | 4                  | 1,46                 | Oligotroph    |

Der Mittelsee wird mit der **Trophieklasse I „oligotroph“** bewertet. Der Gesamt-Trophie-Index befindet sich im Grenzbereich zu Klasse „mesotroph 1“.

Im Vergleich zu früheren Trophieergebnissen aus den Jahren 1980, 2000 und 2015 ist der Mittelsee stets oligotroph geblieben, innerhalb der Klasse steigen die Werte allerdings, mit Tendenz zu Klasse „mesotroph 1“ (s. Tab. 20). Die Chlorophyll a Werte sind über die Jahre relativ unverändert geblieben. Die Phosphorkonzentration ist stark angestiegen. Phosphor ist der limitierende Faktor für eine Eutrophierung und dient im Gewässer als „Dünger“ für Wasserpflanzen und Nahrung für Planktonlebewesen.

Tab. 20: Mittelsee – Trophieergebnisse im Vergleich 1980 bis 2019.

| Jahr                           | 2019 <sup>1</sup> | 2015 <sup>2</sup> | 2000 <sup>2</sup> | 1980er Jahre <sup>3</sup> |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| Trophieklasse                  | oligotroph        | oligotroph        | oligotroph        | oligotroph                |
| Trophie-Index                  | 1,46              | 1,09 *            | 1,14              | - **                      |
| $\bar{X}$ Chlorophyll a (µg/l) | 2,83              | < 3               | 2,12              | - **                      |
| $\bar{X}$ Phosphor ((µg/l)     | 11,5              | 7                 | 5,57              | - **                      |

<sup>1</sup> Quelle: Eigene Erhebung, DIE GEWÄSSER-EXPERTEN! 2019

<sup>2</sup> Quelle: Trophieuntersuchung LANUV NRW

<sup>3</sup> Quelle: Ville-Seen Gutachten aus den 1980er Jahren

\* Hinweis: 2015 liegen der Berechnung nur zwei Messtermine zu Grunde

\*\* Hinweis: Keine Altdaten vorhanden



### 4.1.3 Untersee

Aus der Berechnung in Kapitel 3.1.3.7 (S. 32) ergibt sich für den Untersee die in Tab. 21 dargestellte Trophiebewertung:

Tab. 21: Untersee - Ergebnis der Trophieuntersuchung nach LAWA (2014).

| Bezeichnung | Jahr | Anzahl Messtermine | Gesamt-Trophie-Index | Trophieklasse |
|-------------|------|--------------------|----------------------|---------------|
| Untersee    | 2019 | 4                  | 1,08                 | oligotroph    |

Der Untersee wird mit der **Trophieklasse I „oligotroph“** bewertet. Der Gesamt-Trophie-Index befindet sich im mittleren Bereich in dieser Klasse.

Oligotrophe Gewässer haben ein geringes Nährstoffangebot und sind daher von geringer biologischer Produktion. Das geringe Aufkommen von Phosphor limitiert das Pflanzen- und Algenwachstum. Phyto- und Zooplankton sind zwar artenreich vorhanden, jedoch individuenarm.

Im Vergleich zu früheren Trophieergebnissen aus den Jahren 2000 und 1980 ist der Untersee stets ein oligotrophes Gewässer geblieben (s. Tab. 22). Die Chlorophyll a Werte sind nur minimal gestiegen, die Phosphorwerte etwas deutlicher.

Tab. 22: Untersee - Trophieergebnisse im Vergleich 1980 bis 2019.

| Jahr  | 2019 <sup>1</sup> | 2000 <sup>2</sup> | 1980er Jahre <sup>3</sup> |
|---|-------------------|-------------------|---------------------------|
| Trophieklasse   | oligotroph        | oligotroph        | oligotroph                |
| Trophie-Index   | 1,08              | 0,73              | - *                       |
| $\bar{X}$ Chlorophyll a ( $\mu\text{g/l}$ )   | 1,36              | 0,79              | - *                       |
| $\bar{X}$ Phosphor ( $\mu\text{g/l}$ )  | 8,25              | 5,3               | - *                       |
| <sup>1</sup> Quelle: Eigene Erhebung, DIE GEWÄSSER-EXPERTEN! 2019<br><sup>2</sup> Quelle: Trophieuntersuchung LANUV NRW<br><sup>3</sup> Quelle: Ville-Seen Gutachten aus den 1980er Jahren<br>* Hinweis: Keine Altdaten vorhanden |                   |                   |                           |

## 4.3 Ergebnissynthese der Nährstoffsituation

In Tab. 23 sind die Saisonmittelwerte von Calcium, Chlorid, Eisen, Mangan und Sulfat im Ober-, Mittel- und Untersee im Vergleich dargestellt.

Tab. 23: Mittelwerte einiger anorganischer Wasserinhaltsstoffe im Vergleich

| Parameter                  | Einheit | Obersee $\bar{X}$ | Mittelsee $\bar{X}$ | Untersee $\bar{X}$ |
|----------------------------|---------|-------------------|---------------------|--------------------|
| Calcium (Ca)               | mg/l    | 210,75            | 148                 | 137,13             |
| Chlorid (Cl <sup>-</sup> ) | mg/l    | 35,08             | 32,03               | 21,91              |
| Eisen (Fe)                 | mg/l    | 0,288             | 0,168               | 0,105              |
| Mangan (Mn)                | mg/l    | 0,38              | 0,23                | 0,279              |
| Sulfate (SO <sub>4</sub> ) | mg/l    | 504,75            | 356                 | 313,5              |

In Abb. 30 und Abb. 31 wird deutlich sichtbar, dass die Konzentration dieser Wasserinhaltsstoffe, bis auf Mangan, von Ober- zu Untersee stark abnimmt. Bereits 1989 sind im Ober-, Mittel- und Untersee hohe Sulfatwerte gemessen worden. Damals wurde im Obersee ein Sulfatgehalt von 645,1 - 695,0 g/m<sup>3</sup> nachgewiesen. Im Mittelsee 560 g/m<sup>3</sup> und im Untersee 430 - 645 g/m<sup>3</sup>.

Aus einem Gewässerbericht von 1986 geht hervor, dass der Obersee nur durch Grundwasser gespeist wird und keine oberflächlichen Einleitungen bestehen. Aus der Karte der geogenen Grundwasserbeschaffenheit Deutschlands der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR, 2013) ist abzulesen, dass das Grundwasser im Bereich der Ville Seen bereits stark mit Sulfat angereichert ist.

Somit gehen die hohen Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe auf einen geogenen Ursprung zurück. Die abnehmenden Konzentrationen von Ober- zu Untersee hängen mit der Größe und dem Volumen der Seen zusammen, da die Konzentration der Wasserinhaltsstoffe aus dem Grundwasser im Oberflächenwasser mit der Zeit verdünnt wird.

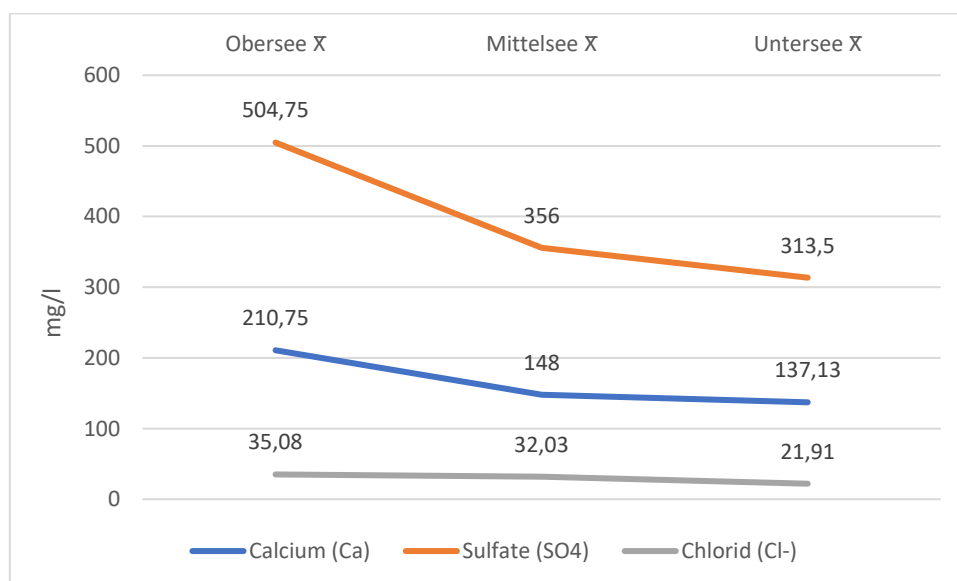


Abb. 30: Calcium-, Chlorid- und Sulfatmittelwerte im Vergleich

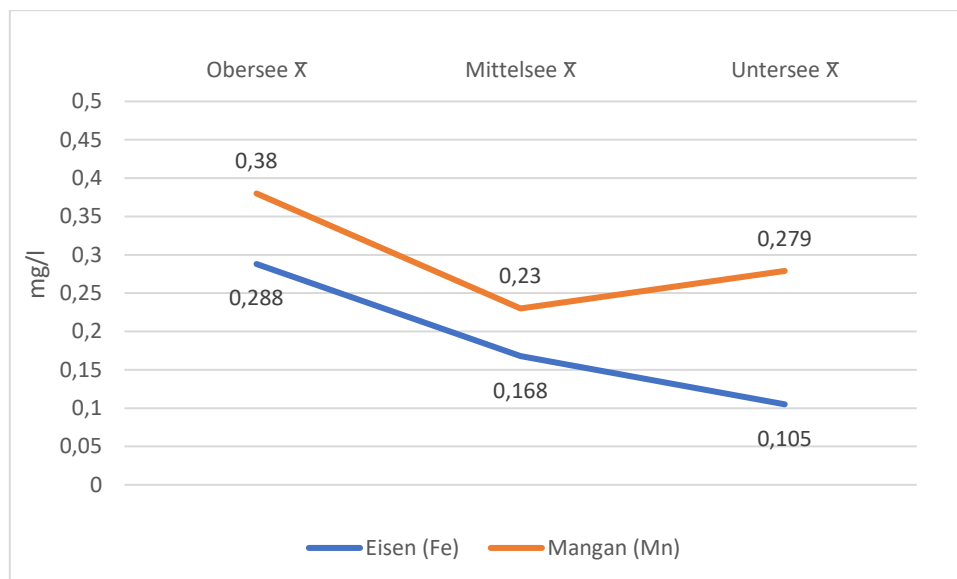


Abb. 31: Eisen- und Manganmittelwerte im Vergleich.

Der Rückgang der Armeleuchteralgen aus dem Ober- und dem Mittelsee ist also nicht auf die hohen anorganischen Wasserinhaltsstoffe zurückzuführen, da diese sich über die Jahre nicht verändert haben. Aus Tab. 22 wird ersichtlich, dass der Phosphorwert im Mittelsee angestiegen ist, welcher eine flächendeckende Besiedlung mit *Potamogeton pectinatus* begünstigt.

Daraus erfolgt die Annahme, dass der Rückgang der Armeleuchteralgen durch eine Zunahme der konkurrenzstarken Bestände aus *Potamogeton pectinatus* begründet werden kann. Die bis zu 1 m hochwachsende Pflanze entzieht den kleineren Characeen nicht nur das Licht, sondern benötigt nach dem Absterben auch viel Sauerstoff, aufgrund von mehr Biomasse, um zu zersetzen (UBA, 2020). Damit lässt sich auch der festgestellte Sauerstoffmangel im Mittelsee erklären.

Der Eintrag des Phosphors in den See ist diffus und lässt sich mit den bisher durchgeführten Untersuchungen nicht nachvollziehen. Eine Resuspension aus dem Sediment lässt sich nicht ausschließen und könnte auf wühlende Fische zurückzuführen sein.

## 4.4 Makrophyten

### 4.4.1 Obersee

Für den Obersee erfolgt keine Bewertung. Er liegt zwar im FFH-Gebiet, dennoch ist er kein ausgewiesener LRT 3140. Auch die jetzigen Untersuchungen geben keine Hinweise darauf, dass er als LRT 3140 eingestuft werden kann, da der Deckungsgrad des besiedelten Gewässergrundes mit Armleuchteralgen-Unterwasserrasen bei < 10% liegt. Für ein LRT 3140-Gewässer ist eine Besiedelung von 10% des Gewässergrund Voraussetzung. Dies weicht von der Vorgehensweise in den Jahren der Voruntersuchung 2014 und 2011 ab.

### 4.4.2 Mittelsee

Für den Mittelsee erfolgt keine Bewertung. Er liegt zwar im FFH-Gebiet, dennoch ist er kein ausgewiesener LRT 3140. Auch die jetzigen Untersuchungen geben keine Hinweise darauf, dass er als LRT 3140 eingestuft werden kann, da der Deckungsgrad des besiedelten Gewässergrundes mit Armleuchteralgen-Unterwasserrasen bei < 10% liegt. Für ein LRT 3140-Gewässer ist eine Besiedelung von 10% des Gewässergrund Voraussetzung. Dies weicht von der Vorgehensweise in den Jahren der Voruntersuchung 2014 und 2011 ab.

### 4.4.3 Untersee

Die Bewertung der Makrophytenvegetation für den LRT 3140 erfolgt nach den aktuellen Vorgaben des LANUV NRW und kann der Tab. 24 entnommen werden. Neben der Bedeckung des besiedelbaren Gewässergrundes mit Armleuchteralgen-Unterwasserrasen und der Vollständigkeit des Lebensraum-typischen Arteninventars (Kenn- und Trennarten) werden verschiedene Beeinträchtigungen in die Bewertung einbezogen.

Tab. 24: Bewertungskriterien des LRT 3140 gem. LANUV 2020.

| Kriterien für die Bewertung des Erhaltungszustandes LRT Oligo- bis mesotrophe kalkhaltige Gewässer mit benthischer Vegetation aus Armleuchteralgen (3140) |  |          |                        |
|---|--|----------|------------------------|
| LR-typische Strukturen<br>(nur<br>Characeenvegetation)  | A – hervorragend   | B – gut  | C- mittel bis schlecht |
|   | Feld 1: Vegetationsstrukturelemente: Bedeckungsgrad des besiedelbaren Gewässergrundes mit Characeen-Unterwasserrasen   |          |                        |
|   | > 50 %   | 25 - 50% | 10 - 25 %              |
| Vollständigkeit des LR-<br>typischen<br>Arteninventars  | Feld 1: Kenn- und Trennarten   |          |                        |
|   | > 5  | 4 – 5    | 1 – 3                  |
| Beeinträchtigungen*   | Feld 1: Untere Makrophytengrenze   |          |                        |
|   | > 8 m  | 4 - 8 m  | 2,5 - < 4              |
|   | Feld 2: Anteil Störanzeiger an der Wasserpflanzenvegetation wie <i>Elodea canadensis</i> , <i>Elodea nuttallii</i> , <i>Potamogeton pectinatus</i> , <i>Myriophyllum spicatum</i> , <i>Lemna minor</i> [%] |          |                        |
|   | < 10   | 10 - 25  | > 25 - 50              |
|   | Feld 3: Anteil der durch benthivore Fischarten, v.a. Karpfen, gestörten Wasserpflanzen-vegetation [%]  |          |                        |
|   | < 10   | 10 - 25  | 25 - 50                |
| *Die Gesamtbewertung der Beeinträchtigungen wird durch die niedrigste Bewertung eines Teilparameters bestimmt   |  |          |                        |

In Rücksprache mit dem LANUV NRW (Herr Dr. Hetzel, 18.06.2020) und nach gutachterlicher Abschätzung fließen bei der Bewertung des Untersees zusätzliche Störzeiger in das Beeinträchtigungskriterium mit ein:

- *Nuphar lutea* (Charakterart Myriophyllo-Nupharetum)

Alle Arten stehen in starker Konkurrenz zu den charakteristischen Kenn- und Trennarten des LRT 3140. Die Art *Myriophyllum verticillatum* wird nicht als Störzeiger angesehen, da es sich um eine endemische und vor allem nach Roter Liste NRW gefährdeter Art handelt.

Innerhalb des Bewertungskriteriums Beeinträchtigungen wird die Gesamtbewertung durch die schlechteste (niedrigste) Bewertung eines Teilparameters bestimmt.

Die drei Bewertungskriterien LR-typische Strukturen, Vollständigkeit des LR-typischen Arteninventars und Beeinträchtigung werden unter Mittelwertbildung miteinander verrechnet, um den Erhaltungszustand des LRT 3140 zu ermitteln.

### Bewertung des Untersees:

Der Deckungsgrad des besiedelbaren Gewässergrundes mit Armleuchteralgen-Unterwasserrasen im Untersee liegt bei 10 % (s. Tab. 15, S. 39). Insgesamt wird gutachterlich von einem Deckungsgrad im gesamten Gewässer ca. 10 % ausgegangen. Im Vergleich zu den Untersuchungsjahren 2014 und 2011 kann eine leichte Zunahme des Deckungsgrades verzeichnet werden, vom Zielzustand „B – gut“ ist die Deckung aber noch weit entfernt.

Für einen LRT 3140 hat der Untersee einen recht niedrigen Deckungsgrad mit Armleuchteralgen-Unterwasserrasen, hier sollten sinnvolle Maßnahmen zur Förderung der Armleuchteralgen umgesetzt werden.

Der Erhaltungszustand des Kriteriums „LR-typische Strukturen“ wird daher gem. den Bewertungskriterien als „C – mittel bis schlecht“ bewertet.

In Bezug auf das Bewertungskriterium „Vollständigkeit des LR-typischen Arteninventars“ wurden im Untersuchungsjahr 2019 insgesamt nur 2 Kenn- und Trennarten nachgewiesen. Der Nachweis von *Chara contraria* und *Nitellopsis obtusa* und *Tolypella intricata* aus dem Jahr 2014 konnte in 2019 nicht bestätigt werden. Dafür wurde zusätzlich zu der in beiden Jahren nachgewiesenen Art *Chara globularis* die Art *Nitella mucronata* nachgewiesen.

Der Erhaltungszustand des Kriteriums „Vollständigkeit des LR-typischen Arteninventars“ wird demnach mit „C – mittel bis schlecht“ bewertet.

Ein geringer Anteil der durch benthivore Fischarten (<10 %) gestörten Wasserpflanzenvegetation und ein geringer Anteil von Störzeigern führen im Kriterium Beeinträchtigungen zu Bewertungen mit „A – hervorragend“. Da für das Kriterium Beeinträchtigungen aber die Gesamtbewertung durch die niedrigste Bewertung eines Teilparameters das Ergebnis bestimmt, wird durch die Bewertung der Tiefengrenze mit „B – gut“ die Bewertung des Kriteriums Beeinträchtigungen mit „B – gut“ bestimmt.

Insgesamt kann der LRT 3140 für den Untersee mit „C – mäßig bis schlecht“ bewertet werden. Der Erhaltungszustand des Untersees induziert daher sowohl für den See selbst, als auch für die oberhalb gelegenen Gewässer Ober- und Mittelsee einen Handlungsbedarf.

Tab. 25: Bewertung des LRT 3140 nach den Vorgaben des FFH-Verfahrens in NRW für den Untersee.

| Kriterien für die Bewertung des Erhaltungszustandes LRT Nährstoffärmere kalkhaltige Stillgewässer (3140) |   |          |   |
|--|---|----------|---|
|  | A – hervorragend  | B – gut  | C- mittel bis schlecht                                |
| LR-typische Strukturen (nur Characeenvegetation)   | Feld 1: Vegetationsstrukturelemente: Bedeckungsgrad des besiedelbaren Gewässergrundes mit Characeen-Unterwasserrasen  |          |   |
|  | > 50 %  | > 25-50% | 10-25 %   |
|  |   |          | 10%   |
| Vollständigkeit des LR-typischen Arteninventars  | Kenn- und Trennarten (diagnostisch relevante Arten): Gefäßpflanzen: <i>Potamogeton coloratus</i> , <i>Chara aspera</i> , <i>Chara aculeolata</i> , <i>Chara contraria</i> , <i>Chara globularis</i> , <i>Chara hispida</i> , <i>Chara polyacantha</i> , <i>Nitella capillaris</i> , <i>Nitella mucronata</i> , <i>Nitella opaca</i> , <i>Nitella syncarpa</i> , <i>Nitella tenuissima</i> , <i>Nitellopsis obtusa</i> , <i>Tolypella glomerata</i> , <i>Tolypella intricata</i> |          |   |
|  | Feld 1: Kenn- und Trennarten  |          |   |
|  | > 5   | 4 – 5    | 1 – 3   |
|  |   |          | <i>Chara globularis</i> ,<br><i>Nitella mucronata</i> |
|  |   |          | 2   |
| Beeinträchtigungen   | Feld 1: Untere Makrophytengrenze  |          |   |
|  | > 8 m   | > 4 -8 m | 2,5 - 4 m   |
|  |   | 5,1 m    |   |
|  | Feld 2: Anteil Störanzeiger an der Wasserpflanzenvegetation wie <i>Potamogeton pectinatus</i> , <i>Myriophyllum spicatum</i> , <i>Lemna minor</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Elodea nuttallii</i> , <i>Elodea canadensis</i> [%]  |          |   |
|  | < 10  | 10 - 25  | > 25 -50  |
|  | <i>Nuphar lutea</i>   |          |   |
|  | < 10 %  |          |   |
|  | Feld 3: Anteil der durch benthivore Fischarten, v.a. Karpfen, gestörten Wasserpflanzenvegetation [%]  |          |   |
|  | < 10  | 10 - 25  | > 25-50   |
|  | x   |          |   |
| Gesamtbewertung  |   |          | x   |

## 5 Handlungsempfehlungen

Im **Obersee** konnten in der Vergangenheit (2011 und 2014) Armleuchteralgenbestände mit einem Deckungsgrad von ca. 5 % des besiedelbaren Gewässergrundes nachgewiesen werden. Im Jahr 2019 lag der Deckungsgrad bei unter 1 % und beschränkt sich auf ein einzelnes, räumlich sehr stark begrenztes Vorkommen von *Chara globularis*. Der Rückgang der Armleuchteralgen wird, nach Auswertung der Befischungsdaten aus dem Jahr 2020, mit dem Vorhandensein von großen, bodenwühlenden Karpfen in Verbindung gebracht.

Die festgestellte Trophieentwicklung des Obersees von oligotrophen Verhältnissen in den 1980er Jahren und im Jahr 2000 hin zu einem mesotrophen Gewässer im Jahr 2019 stellt eine Verschlechterung der trophischen Verhältnisse dar und kann aus gutachterlicher Sicht ebenfalls mit dem Fischbestand begründet werden. Aufgrund der Verschlechterung der Trophie wird empfohlen, in den folgenden Jahren weitere Trophieuntersuchungen im Obersee durchzuführen.

Nach BAER ET AL. (2007) wird empfohlen, vor allem in kleinen oligo- bis mesotrophen Seen, die in der Regel gut ausgebildete Makrophytengesellschaften aufweisen, Karpfenbesatz - wenn überhaupt - nur in sehr geringen Mengen gewässerangepasst empfohlen.

Bei bekannten Vorkommen seltener Pflanzenarten, hierzu wird v. a. *Nitellopsis obtusa* gezählt, die durch das Gründeln der Karpfen und die dadurch entstehende Trübung im Bestand gefährdet sind, sollte aus Vorsorgegründen auf Karpfenbesatz in diesen Gewässern gänzlich verzichtet werden.

Als Handlungsempfehlung schlagen wir daher für den Obersee gutachterlich eine fischereiliche Nutzungsänderung des Fischbestandes vor. Dadurch sollte die Trübung und das Aufwirbeln von Sediment in den nächsten Jahren vermieden werden. Weitergehende Maßnahmen sind für den Obersee nicht erforderlich.

Eine Wiederbesiedlung und Ausdehnung der Bestände der Armleuchteralgen wird innerhalb von kurzer Zeit (ggf. sogar schon von einem Jahr auf das nächste nach der Anpassung des Fischbestandes) sichtbar werden.

Der Obersee kann mit dieser einfachen Maßnahme als Gewässer mit Wiederbesiedlungspotenzial für die charakteristischen Leitarten des LRT 3140 entwickelt werden.

Im **Mittelsee** wurde ein massiver Rückgang der Armleuchteralgenbestände von Deckungsgraden von mehr als 50 % im Jahr 2014 auf unter 5 % im Jahr 2019 festgestellt. Mit dem Rückgang der Deckung einher geht auch eine Reduzierung der Armleuchteralgenarten von 4 auf eine Art, eine Reduzierung der Makrophytentiefengrenze von 5,5 m auf 4,0 m und eine wesentliche Zunahme der Deckungsgrade des Störzeigers *Potamogeton pectinatus*.

Die Veränderung der Situation der Makrophyten im Mittelsee steht in direktem Zusammenhang mit einer leichten Verschlechterung der Trophie von oligotroph im Jahr 2000 auf oligotroph an der Grenze zu mesotroph im Jahr 2019.

Gutachterlich wird vermutet, dass die Verschlechterung der Trophie auch durch die fischereiliche Nutzung des Mittelsees hervorgerufen werden kann. Daher sollte ein besonderes Augenmerk dem Karpfen-Bestand gelten. Aufgrund der Größe der Tiere und ihrer Verhaltens- und Ernährungsweise (gründelnde Ernährungsweise, Wühlen im Gewässergrund) kann ein hoher Bestand an Großkarpfen Wasserpflanzenbestände nachhaltig schädigen, eine Trübung des Gewässers verursachen und durch Phosphatresuspension die Nährstoffsituation in einem Gewässer erheblich beeinflussen.

Ob die vorhandenen Großkarpfen alleine für die Verschlechterung der Trophie verantwortlich gemacht werden können, kann an dieser Stelle (noch) nicht abschließend nachgewiesen werden. Zumindest werden diese ihren Teil dazu beitragen und es sollte aus gewässerökologischer Sicht zukünftig gänzlich auf den Besatz mit Karpfen verzichtet werden.



Es wird aus gutachterlicher Sicht empfohlen eine trophische Sanierung des Gewässers durchzuführen. Maßnahmen zur Reduzierung können sein:

- Anpassung des Fischbestandes und Verbot eines Besatzes mit Karpfen.
- Verbesserung der trophischen Situation im Obersee (direkter Zufluss).
- Verzicht auf das zusätzliche Anfüttern beim Angeln von 1 kg Trockenfutter pro Angler und Tag, entfällt voraussichtlich weitestgehend durch Verzicht auf Karpfengelei.
- Bathymetrische Vermessung des Gewässers, gezielter Freischnitt der Überhängenden Vegetation an geeigneten Flachwasserstellen und Entkrautung zur Entwicklung und Förderung von zusätzlichen neuen Armleuchteralgen-Beständen
- Zusätzliche Entkrautung von Bereichen im Mittelsee (vor allem im Bereich der *Potamogeton pectinatus* Bestände).
- Kontrolle und Reduzierung des im Rahmen der Befischung festgestellten Bestandes an Marmorkrebsen (Neobiota-Management).
- Reduzierung der Gewässerzugänge und damit Verminderung der Stoffeinträge durch Erosion und Trittschäden.

Der Erfolg der Maßnahmen sollte durch ein intensives Monitoring dokumentiert und begleitet werden. Es empfiehlt sich Trophieuntersuchungen nach dem Vorbild der Untersuchungen 2000 nach erfolgten Maßnahmen monatlich durchzuführen.

In ersten Versuchen können sogenannte Enclosures eingerichtet werden. Innerhalb der Enclosures sollte eine manuelle Entkrautung durchgeführt werden. Die nachfolgende Wiederbesiedlung mit Characeen erfolgt aus dem Sediment, die Entwicklung kann ohne den Einfluss wühlender Fischarten prognostiziert werden.

Im **Untersee** kommen Armleuchteralgen zwar in 2019 und den vorangegangenen Untersuchungen 2014 und 2011 vor, in Bezug auf die Kriterien des LRT 3140 sind sie aber eher unterrepräsentiert. Es sollten daher gezielte Maßnahmen zur Unterstützung der Armleuchteralgen unternommen werden.

Hierzu zählen:

- Gewässerspezifische Anpassung des Fischbestandes durch Reduzierung des Weißfischbestandes (insb. Karpfen).
- Verzicht auf den Eintrag zusätzlicher Nährstoffe durch das Anfüttern mit Boilies.
- Kontrolle und Reduzierung des im Rahmen der Befischung festgestellten Bestandes an Marmorkrebsen (Neobiota-Management).
- Reduzierung der Gewässerzugänge und damit Verminderung der Stoffeinträge durch Erosion und Trittschäden.
- Gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der trophischen Situation in Ober- und Mittelsee für eine langfristige Stabilisierung der Trophie im oligotrophen Bereich.

Die geringen Deckungsgrade trotz fehlender Besiedlungsdichte durch andere Arten deutet darauf hin, dass der Bestand der Armleuchteralgen durch die Fischfauna in größerem Umfang gestört wird. Auch im Untersee sollten nach Anpassung des Fischbestandes sogenannte Enclosures eingerichtet werden, um den Bestand an Armleuchteralgen gezielt zu fördern. Nach einem zweijährigen Erfolg können die installierten Enclosures abgebaut und an weiteren Stellen wieder errichtet werden.

## Literatur

- ARBEITSGRUPPE CHARACEEN DEUTSCHLANDS (HRSG.) (2016): Armleuchteralgen – Die Characeen Deutschlands. Springer.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT (BAFU) (2016): Wie funktioniert ein See? Zur Limnologie von Seen. (abrufbar unter: [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch))
- BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (BMJV) (2016): OGewV - Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer. (abrufbar unter: [http://www.gesetze-im-internet.de/ogewv\\_2016/BJNR137310016.html](http://www.gesetze-im-internet.de/ogewv_2016/BJNR137310016.html))
- BUSCHMANN, W., GILSON N. & RINN B. (2008): Braunkohlenbergbau im Rheinland (aus: Die Bau- und Kunstdenkmäler von Nordrhein-Westfalen 1: Rheinland). Hrsg: Landschaftsverband Rheinland und MBV-NRW. Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms, S. 276 u. 322.
- CASPER, S.J. U. H.-D. KRAUSCH (2008a): Pteridophyta und Anthophyta Teil 1. In: Ettl, H., Gerloff, J. U. H. Heynig (Hrsg.): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 23: G. Fischer Jena.
- FORSCHUNGSSTELLE REKULTIVIERUNG (2017): Die Bedeutung von Gewässern in der Rekultivierung des Rheinischen Braunkohlentagebaus für Vögel und Libellen. Zusammenfassender Ergebnisbericht. Unveröffentlicht.
- FRAHM, J.-P. U. W. FREY (2004): Moosflora (4. Auflage). Ulmer Verlag.
- KOHLER, A. (1978): Methoden der Kartierung von Flora und Vegetation von Süßwasserbiotopen. - Landschaft + Stadt 10: 23-85.
- KÖLLE, W. (2010): Wasseranalysen – richtig beurteilt: Grundlagen, Parameter, Wassertypen, Inhaltsstoffe. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 3. Auflage.
- KRAUSE, W. (1997): Charales (Charophyceae). In: Ettl, H., Gärtner, G., Heynig, H. U. D. Mollenhauer (Hrsg.): Süßwasserflora von Mitteleuropa 18: 202 S., G. Fischer Jena.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (Hrsg.) (2014): Trophieklassifikation von Seen. Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen. Kulturbuch-Verlag Berlin GmbH. Hannover.
- Landesamt für Umwelt des Landes Brandenburg LfU (2018a): Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) in Deutschland. Band 1: Bestimmungsschlüssel, 2. Aktualisierte Auflage
- Landesamt für Umwelt des Landes Brandenburg LfU (2018b): Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) in Deutschland. Band 2: Abbildungen, 2. Aktualisierte Auflage.
- LANUV (2013): <https://natura2000-meldedok.naturschutzinformationen.nrw.de/natura2000-meldedok/de/fachinfo/listen/meldedok/DE-5107-302>
- LANUV (2019): <https://natura2000-meldedok.naturschutzinformationen.nrw.de/natura2000-meldedok/web/babel/media/zdok/DE-5107-302.pdf>
- LANUV (2020): Bewertungskriterien des LRT 3140. Abruf auf [www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de) am 25.06.2020.
- MELZER, A., HARLACHER, R., HELD, K., SIRCH, R. U. E. VOGT (1986): Die Makrophytenvegetation des Chiemsees. – Informationsber. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft 4/86. München

MELZER, A., HARLACHER, R., HELD, K., SIRCH, R. U. E. VOGT (1988): Die Makrophytenvegetation des Ammer-, Wörth- und Pilsensees sowie des Weißlinger Sees. – Informationsber. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft 1/88. München.

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NRW (MUNLV NRW) (2009): Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer. Integriertes Monitoringskonzept der landesspezifischen, nationalen und internationalen Messprogramme – Teil A: Durchführung des Monitorings.

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (NLWKN) (o.J.): Güteparameter – Grundprogramm des NLWKN. (abrufbar unter: [https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwasserbericht\\_niedersachsen/grundwasserbeschaffenheit/guteparameter/grundprogramm\\_des\\_nlwkn/](https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwasserbericht_niedersachsen/grundwasserbeschaffenheit/guteparameter/grundprogramm_des_nlwkn/))

NIXDORF, B., HEMM, M., SCHLUNDT, A., KAPFER, M. & KRUMBECK, H. (2001): Braunkohlentagebauseen in Deutschland - Gegenwärtiger Kenntnisstand über wasserwirtschaftliche Belange von Braunkohlentagebaurestlöchern. Abschlussbericht BTU Cottbus.

OGEWV (2016): Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373), die durch Artikel 255 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328).

ROTHMALER, W. (1999): Exkursionsflora von Deutschland Band 2: Gefäßpflanzen.

SCHAUMBURG, J., SCHRANZ, C., STELZER, (2014): Bewertung von Seen mit Makrophyten & Phytobenthos für künstliche und natürliche Gewässer sowie Unterstützung der Interkalibrierung. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Endbericht im Auftrag der LAWA (Projekt Nr. O 10.10), 163 S, Augsburg/Wielenbach.

SCHAUMBURG, J., SCHRANZ, C., STELZER, D. (2011): Bewertung von Seen mit Makrophyten & Phytobenthos gemäß EG-WRRL – Anpassung des Verfahrens für natürliche und künstliche Gewässer sowie Unterstützung der Interkalibrierung. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Endbericht im Auftrag der LAWA (Projekt Nr. O 10.09), 161 S, Augsburg/Wielenbach.

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abb. 1: Lage des FFH-Gebiets Ober-, Mittel- und Untersee DE-5107-305 bei Ertstadt-Liblar.   | 5  |
| Abb. 2: Anteil des LRT 3140 am FFH- Gebiet „Ober-, Mittel- und Untersee in der Ville Seenkette“.  | 5  |
| Abb. 3: Regionale Verbreitung der Armleuchteralgen (Artenanzahl) in den Ville-Seen (Quelle: GEWÄSSER-EXPERTEN (2014), verändert).   | 6  |
| Abb. 4: Formel zur Berechnung der Trophie nach LAWA (2014).   | 8  |
| Abb. 5: Obersee – Wassertemperatur im Tiefenprofil.   | 11 |
| Abb. 6: Obersee - Elektrische Leitfähigkeit im Tiefenprofil.  | 12 |
| Abb. 7: Obersee – Sauerstoffsättigung im Tiefenprofil.  | 13 |
| Abb. 8: Obersee - pH-Wert im Tiefenprofil.  | 14 |
| Abb. 9: Obersee – Verhältnis zwischen Chlorophyll-a und der Sichttiefe.   | 15 |
| Abb. 10: Angepasste Formel zur Ermittlung der Trophie für den Obersee nach LAWA (2013).   | 17 |
| Abb. 11: Berechnung des Trophieindex für den Obersee.   | 18 |
| Abb. 12: Mittelsee – Wassertemperatur im Tiefenprofil.  | 19 |
| Abb. 13: Mittelsee – Leitfähigkeit im Tiefenprofil.   | 20 |
| Abb. 14: Mittelsee – Sauerstoffgehalt im Tiefenprofil.  | 21 |
| Abb. 15: Mittelsee – pH-Wert im Tiefenprofil.   | 22 |
| Abb. 16: Mittelsee – Verhältnis Chlorophyll-a zu Sichttiefe.  | 23 |
| Abb. 17: Angepasste Formel zur Ermittlung der Trophie für den Mittelsee nach LAWA (2013).   | 25 |
| Abb. 18: Berechnung des Trophieindex für den Mittelsee.   | 25 |
| Abb. 19: Untersee – Wassertemperatur im Tiefenprofil.   | 26 |
| Abb. 20: Untersee – Elektrische Leitfähigkeit im Tiefenprofil.  | 27 |
| Abb. 21: Untersee – Sauerstoffgehalt im Tiefenprofil (aufgrund eines Sondenfehlers wurden am 24.04.2019 keine Sauerstoffwerte erfasst).   | 28 |
| Abb. 22: Untersee – pH-Wert im Tiefenprofil.  | 29 |
| Abb. 23: Untersee – Verhältnis Chlorophyll-a zu Sichttiefe.   | 30 |
| Abb. 24: Angepasste Formel zur Ermittlung der Trophie für den Untersee nach LAWA (2014).  | 32 |
| Abb. 25: Berechnung des Trophieindex für den Untersee.  | 32 |
| Abb. 26: Mit Sediment belegte Grundblätter von <i>Nuphar lutea</i> .  | 33 |
| Abb. 27: Mit Sediment belegte Bestände von <i>Chara globularis</i> im Jahr 2011.  | 33 |
| Abb. 28: Ausgeprägte Bestände von Armleuchteralgen – wie hier im Jahr 2011 beobachtet – konnten im Jahr 2019 nicht mehr nachgewiesen werden.  | 37 |
| Abb. 29: Statt der ausgeprägten Bestände von Armleuchteralgen wurden im Jahr 2019 und 2020 ausgedehnte Bestände von <i>Potamogeton pectinatus</i> nachgewiesen, die teilweise dichte und bis 1 m hoch wachsende Monobestände bilden (Fotos: Betauchung im Juli 2020). | 37 |
| Abb. 30: Calcium-, Chlorid- und Sulfatmittelwerte im Vergleich  | 44 |

|   |    |
|---|----|
| Abb. 31: Eisen- und Manganmittelwerte im Vergleich..... | 45 |
|---|----|

## Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tab. 1: Untersuchte Parameter in der Wasseranalytik. ....  | 7  |
| Tab. 2: Schätzskala der Häufigkeiten nach KOHLER (1978). ....  | 9  |
| Tab. 3: Obersee – Sauerstoffgehalt in mg/l. ....   | 13 |
| Tab. 4: Obersee – Ergebnisse der Wasseranalytik im Labor. ....   | 17 |
| Tab. 5: Ergebnisse der erhobenen Daten zur Bestimmung der Trophie nach LAWA (2014) im Obersee. ....            | 18 |
| Tab. 6: Obersee – Sauerstoffgehalt in mg/l. ....   | 21 |
| Tab. 7: Mittelsee - Ergebnisse der Wasseranalytik im Labor. ....   | 24 |
| Tab. 8: Ergebnisse der erhobenen Daten zur Bestimmung der Trophie nach LAWA (2014) im Mittelsee. ....          | 25 |
| Tab. 9: Untersee – Sauerstoffgehalt in mg/l. ....  | 28 |
| Tab. 10: Untersee – Ergebnisse der Wasseranalyse im Labor. ....  | 31 |
| Tab. 11: Ergebnisse der erhobenen Daten zur Bestimmung der Trophie nach LAWA (2014) im Untersee. ....          | 32 |
| Tab. 12: Artenlisten des Obersees der Untersuchungsjahre 2019, 2014 und 1980er im Vergleich. ....              | 34 |
| Tab. 13: Vergleich von Makrophyten-Tiefengrenze und Armlauchteralgedeckung der Jahre 2019, 2014 und 2011. .... | 36 |
| Tab. 14: Artenlisten des Mittelsees der Untersuchungsjahre 1980er, 2011, 2014 und 2019 im Vergleich. ....      | 38 |
| Tab. 15: Vergleich von Makrophyten-Tiefengrenze und Armlauchteralgedeckung der Jahre 2019, 2014 und 2011. .... | 39 |
| Tab. 16: Artenlisten des Untersees der Untersuchungsjahre 2019, 2014, 2011 und 1980er im Vergleich. ....       | 40 |
| Tab. 17: Obersee - Ergebnis der Trophieuntersuchung nach LAWA (2014). ....                                     | 41 |
| Tab. 18: Obersee – Trophieergebnisse im Vergleich 1980 bis 2019. ....  | 41 |
| Tab. 19: Mittelsee - Ergebnis der Trophieuntersuchung nach LAWA (2014). ....                                   | 42 |
| Tab. 20: Mittelsee – Trophieergebnisse im Vergleich 1980 bis 2019. ....  | 42 |
| Tab. 21: Untersee - Ergebnis der Trophieuntersuchung nach LAWA (2014). ....                                    | 43 |
| Tab. 22: Untersee - Trophieergebnisse im Vergleich 1980 bis 2019. ....   | 43 |
| Tab. 23: Mittelwerte einiger anorganischer Wasserinhaltsstoffe im Vergleich. ....                              | 44 |
| Tab. 24: Bewertungskriterien des LRT 3140 gem. LANUV 2020. ....  | 46 |
| Tab. 25: Bewertung des LRT 3140 nach den Vorgaben des FFH-Verfahrens in NRW für den Untersee. ....             | 48 |