LAND KÄRNTEN

SCHUTZ- UND NUTZUNGSKONZEPT

Wörthersee

Bericht 1.3

Ökologischer Zustand Makrophyten

Biotische und abiotische Belastungen

Endversion

April 2024

Abteilung 8 – Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination

LAND KÄRNTEN

Impressum:

Herausgeber:

Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 12 – Wasserwirtschaft

Unterabteilung Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft
Flatschacher Straße 70, 9021 Klagenfurt am Wörthersee

Projektbearbeitung: Arbeitspakete Ökologie

Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 8 – Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination

Unterabteilung Geologie und Gewässermonitoring – Kärntner Institut für Seenforschung
Kirchengasse 43, 9020 Klagenfurt am Wörthersee

Mit Beiträgen von

Mag. Maria Friedl

aus den Arbeitspaketen

1.2 Qualitätselement Makrophyten Wörthersee, Wiederholungsbeobachtung 2021 Teil A- Bewertung

1.3 Qualitätselement Makrophyten Wörthersee, Wiederholungsbeobachtung 2021 Teil B- Transektvergleich

2.1.1 Ökologischer Zustand Fische- Standardisierte Fischbestandserhebung 2004 und 2021

2.1.2 Fischbesatz

2.1.3 Fischereiberechtigte Auswertung des Fragebogens

2.1.4 Makrophytenfraß durch Fische

2.2.3 Modellierung von Bootswellen- Auswirkung auf Sediment und Makropyhten

2.3.1 Hydromorphologische Bewertung

2.4.1 Klimaszenarien für den Wörthersee

2.4.2 Wassertemperatur-Klima

2.5.1 Allgemein physikalisch-chemische Parameter

2.5.2 Chemismus Zubringer

2.5.4 Sedimentuntersuchung - Wiederbesiedelungspotential

2.6.1 Phytoplankton

2.6.4 Röhricht Schilf

Inhalt

1 Makrophyten 4
1.1 Einleitung 4
1.2 Trübung 4
1.2.1 Trübung biotisch durch Phytoplankton 4
1.2.2 Biogene Entkalkung 5
1.2.3 Trübung abiotisch - physikalisch-chemische Entkalkung 5
1.3 Nährstoffeintrag 6
1.3.1 Trophie Freiwasser 6
1.3.2 Trophie-Zubringer 8
1.3.3 Trophieindex- Nährstoffzeiger 9
1.4 Sediment - Substrat 10
1.5 Wellenschlag 11
1.5.1 Einfluss von Wind- und Bootswellen 11
1.5.2 Wellenschutzzaun 14
1.6 Klimawandel 15
1.6.1 Temperaturerhöhung des Seewassers 15
1.6.2 Sauerstoffsituation über Grund - Meromixis 16
1.6.3 Einfluss des Klimas auf Makrophytenarten 17
1.7 Fische 19
1.7.1 Standardisierte Fischbestandserhebung 2004 und 2022 19
1.7.2 Benthivore Fische 20
1.7.3 Fischbesatz 22
1.7.4 Fraßschutz 22
1.8 Morphologie – Uferverbau, Einbauten 23
1.8.1 Uferverbau 23
1.8.2 Uferstruktur Einbauten 25
1.8.3 Röhricht (Schilf) 26
1.9 Vegetationszonierung 26
2 Zusammenfassung 28
Abbildungsverzeichnis 31
Literaturverzeichnis 32

1 Makrophyten

1.1 Einleitung

2021 wurde das Qualitätselement Makrophyten im Rahmen einer Wiederholungsbeobachtung erhoben und bewertet. Die Bewertung ergab einen gesamt-EQR von 0,59 und entspricht einer „mäßigen“ Zustandsklasse knapp an der Grenze zum „guten“ Zustand.

Neben der Gesamtbewertung „Qualitätselement Makrophyten Wörthersee -Wiederholungsbeobachtung 2021 „Teil A-Bewertung“ wurde im Teil B „Wiederholungsbeobachtung Teil B-Transektvergleich“, die Veränderung der Makrophytengesellschaft bezogen auf das Erhebungsjahr 2007 dokumentiert.

2022 wurden mögliche Ursachen weiterführend untersucht. Basierend auf den Ergebnissen wurde 2024 ein Maßnahmenkatalog erstellt, um das Wachstum der Unterwasserpflanzen positiv zu beeinflussen und das Potential zur Verbesserung des ökologischen Zustandes hinsichtlich des Qualitätselementes Makrophyten zu fördern.

In diesem Bericht sollen die bisherigen Untersuchungsergebnisse in Bezug auf den ökologischen Zustand der Makrophyten gesetzt und zusammengefasst werden.

Detailliertere Untersuchungen hinsichtlich der Auswirkung von Wellenenergie werden im Projekt WAMOS (Wave Monitoring System) intensiviert. In Zusammenarbeit mit der TU Graz, Systema GmbH, FH Kärnten und Kobus und Partner sind im südlichen Bereich der Veldener Bucht, kombiniert mit einer Errichtung eines Wellen-Schilfschutzzaunes, weitere konkrete Ergebnisse zu erwarten.

1.2 Trübung

1.2.1 Trübung biotisch durch Phytoplankton

Die Metriken Vegetationsdichte und Vegetationsgrenze können auf eine trophisch bedingte Trübung hinweisen

Im Wörthersee wurde nach der Eutrophierungsphase der 1970iger bis zur Jahrtausendwende ein Anstieg der Algenmengen im Epilimnion dokumentiert. Von 2005 bis 2007 wurde erstmals ein deutlicher Rückgang des Algenbiovolumens im Epilimnion (0-6 m) verzeichnet, das den Erfolg der Sanierungsmaßnahmen widerspiegelt. Seit 2014 gehen die Jahresmittel der Phytoplanktonbiovolumina im Epilimnion (0-6 m) zurück (Bericht 2.6.1), so dass eine Trübung durch Phytoplankton in der Oberflächenschicht (0-6 m) nicht die Ursache für den „mäßigen“ Zustand der Makrophyten sein kann.

Für den Seentyp inneralpine Becken sind als Referenzwert für die Vegetationsgrenze 13 m angegeben. (Pall, Definition von Referenzbedingungen für die Seen der Inneralpinen Becken, 2019) Seit den 1970iger Jahren ist die fädige Blaualge *Planktothrix rubescens* fester Bestandteil der Artenzusammensetzung. Mit zunehmender Erwärmung des Oberflächenwassers schichtet sich die an Schwachlicht angepasste Art mit hohen Biovolumina zwischen 7 und 12 m Tiefe ein und beeinträchtigt in der Litoralzone auch die Ausbreitung der Unterwasserpflanzen. Allerdings zeigt die Zeitreihe, dass die Algenbiovolumina seit 2013 auch im Metalimnion (7-12 m) eine rückläufige Tendenz aufweisen und das Licht viel weniger stark limitieren.

Die abnehmenden Algenbiovolumina sowohl in der Oberflächen- als auch in der Sprungschicht (Metalimnion) sollten somit durch die geringere biotische „Trübung“ und Lichtlimitation das Wachstum von Unterwasserpflanzen fördern. In der Gesamtbewertung 2021 zeigte der Metrik Vegetationsgrenze gegenüber 2007 keine Verbesserung oder Verschlechterung an. Sowohl 2007 als auch 2021 wurde ein EQR von 0,75 errechnet.

1.2.2 Biogene Entkalkung

Durch Photosyntheseaktivität von Phytoplankton wird CO_2 dem Seewasser entzogen. In weiterer Folge wird Hydrogencarbonat als Kohlenstoffquelle genutzt und Calciumcarbonat (Kalk, $CaCO_3$) fällt aus. In der Freiwasserzone bilden sich feinste Kalkkristalle und lassen das Seewasser durch die Streuung und Reflexion des Lichtes weißlich-türkis getrübt erscheinen (Whitening). Im Juni 2023 wurde eine auffallend hohe Kalktrübe mit geringer Sichttiefenwerten (1,2 m) beobachtet. Als sogenannte Seekreide sedimentiert der Kalk schließlich auf den Gewässergrund (Uhlmann & Horn, 2001). Zu diesem Zeitpunkt wurde ein Phytoplanktonbiovolumen von 1,07 mm³/l bestimmt. Den Hauptanteil bildeten Kieselalgen (Centrales) mit 48 %.

Mit der biogenen Kalkfällung erfolgt auch eine verstärkte Sedimentation von Phytoplankton und Phosphat, das zuvor an $CaCO_3$ gebunden wurde. Im Uferbereich (Litoral) lagert sich aufgrund der biogenen Entkalkung Calciumcarbonat als Kruste auf den Blättern von Wasserpflanzen ab (Schwoerbel, 1993).

Der Effekt der biogenen Entkalkung sollte sich derzeit durch die rückläufigen Phytoplanktonbiovolumina verringern.

1.2.3 Trübung abiotisch - physikalisch-chemische Entkalkung

Neben der biogenen Entkalkung kommt es in kalkreichen Seen wie dem Wörthersee auch zur chemisch-physikalischen Bildung von Kalkteilchen. Allein durch die Erwärmung des Wassers im Frühjahr entweicht CO_2 in die Atmosphäre die Löslichkeit von Gasen nimmt mit steigender Temperatur ab (Henrysches Gesetz) und es bilden sich unabhängig von photosynthetisierenden Algen ebenfalls Kalkkristalle. Dieser Effekt könnte im kalkreichen Wörthersee zukünftig stärker zum Tragen kommen, da sich die Oberflächenschicht der Seen infolge der Klimaveränderung stärker erwärmt.

Die Lichtdurchlässigkeit des Seewassers wird durch die Menge des Phytoplanktons bestimmt und korreliert umgekehrt proportional. Je weniger Algen vorhanden sind, desto klarer ist das Seewasser. Die Kombination der Sichttiefenwerte und der Phytoplanktonbiovolumina (von 0-12 m) in der geschichteten Phase von Mai bis September, die in etwa der Vegetationsperiode der Unterwasserpflanzen entspricht, zeigte sich bis 2014 die umgekehrt proportionale Korrelation. Ab 2017 wurden geringere Phytoplanktonbiovolumina bestimmt, dennoch wird die Transparenz des Seewassers geringer.

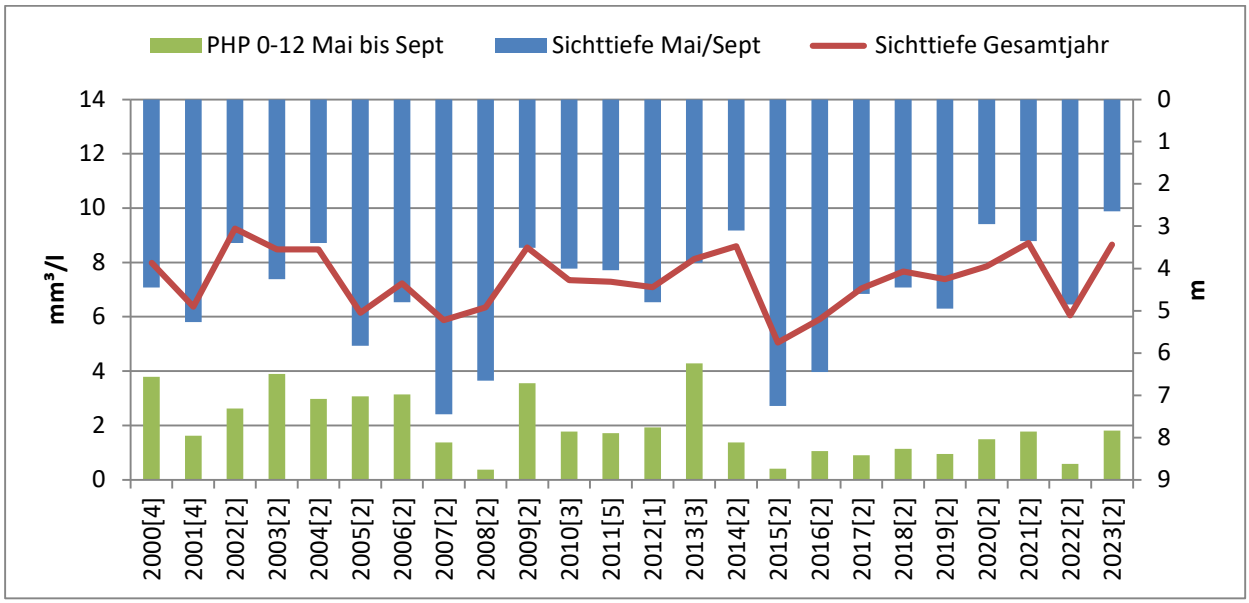


Abbildung 1: Mittelwerte der Phytoplanktonkonzentration (0-12 m) und Sichttiefe von Mai bis September von 2000 bis 2023 [Anzahl der Messtermine]

Die Trübung des Seewassers steht demnach nicht mit der Phytoplanktonmenge, sondern entweder mit der verstärkten physikalisch-chemischen Kalkbildung und/oder im Uferbereich auch mit Aufwirbelung von Sedimentpartikeln durch Wind und Schiffs- bzw. Bootswellen, sowie mit der Wühltätigkeit von Fischen in Zusammenhang.

1.3 Nährstoffeintrag

1.3.1 Trophie Freiwasser

Der Nährstoff Phosphor tritt in Seen in unterschiedlichen Verbindungen auf. Analytisch erfasst wird meist der Gesamt-Phosphor, der sich aus dem gelösten Phosphor und dem partikulären Phosphor zusammensetzt. Phosphor ist ein bestimmendes Maß für die Produktion eines Gewässers (Trophie) und stellt in Seen meist den Minimumfaktor für pflanzliche Organismen (Phytoplankton, Makrophyten und Epiphyten) dar.

Makrophyten können Nährstoffe sowohl über die Blätter aus dem Freiwasser, als auch über das Sediment aufnehmen, wobei die Aufnahme über das Sediment in Seen die bedeutendere Nährstoffquelle darstellt. Dennoch gilt die Gesamt-Phosphor-Konzentration im Freiwasser als Indikator für die Trophie, die sich auch auf den Metric Trophieindikation übertragen lässt. Während Phytoplankton schnell auf Trophieänderung reagiert, zeigen Makrophyten ein vergleichsweise konstantes Vorkommen (Melzer & Schneider, 2001).

In der Routineüberwachung (GZÜV) werden für den Parameter Gesamt-Phosphor auf Basis der volumsgewichteten Jahresmittelwerte des Mixolimnions (von der Zirkulation erfasster Wasserkörper), das beim Wörthersee bis in 50 Meter Tiefe festgelegt ist, die normierten EQR-Werte (ecological quality ratio – Quotient von Ist-Wert zu Referenz) berechnet.

Jahr (Termine)	P gesamt [µg/l]	EQR P gesamt	Ökol. Zustand	3-Jahresmittel	P gesamt [µg/l]	EQR P gesamt	Ökol. Zustand
2007 (4)	13,4	0,45	gut				
2008 (5)	10,7	0,56	gut				
2009 (4)	15,7	0,38	mäßig	2007 - 2009	13,24	0,46	gut
2010 (8)	13,7	0,44	gut	2008 - 2010	13,36	0,46	gut
2011 (13)	12,2	0,49	gut	2009 - 2011	13,33	0,44	gut
2012 (4)	12,6	0,48	gut	2010 - 2012	12,81	0,47	gut
2013 (4)	13,2	0,46	gut	2011 - 2013	12,63	0,48	gut
2014 (4)	13,1	0,46	gut	2012 - 2014	12,96	0,46	gut
2015 (4)	14,7	0,41	mäßig	2013 - 2015	13,66	0,44	gut
2016 (4)	12,4	0,48	gut	2014 - 2016	13,41	0,45	gut
2017 (4)	16,4	0,37	mäßig	2015 - 2017	14,49	0,42	gut
2018 (4)	13,8	0,44	gut	2016 - 2018	14,20	0,43	gut
2019 (4)	15,0	0,40	mäßig	2017 - 2019	15,06	0,40	mäßig
2020 (4)	15,3	0,39	mäßig	2018 - 2020	15,16	0,41	mäßig
2021 (4)	13,3	0,45	gut	2019 - 2021	14,53	0,41	mäßig
2022 (4)	10,4	0,58	gut	2020 - 2022	12,99	0,47	gut

Tabelle 1: Volumsgewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentration im Mixolimnion (0-50 m) und im 3-Jahresmittel

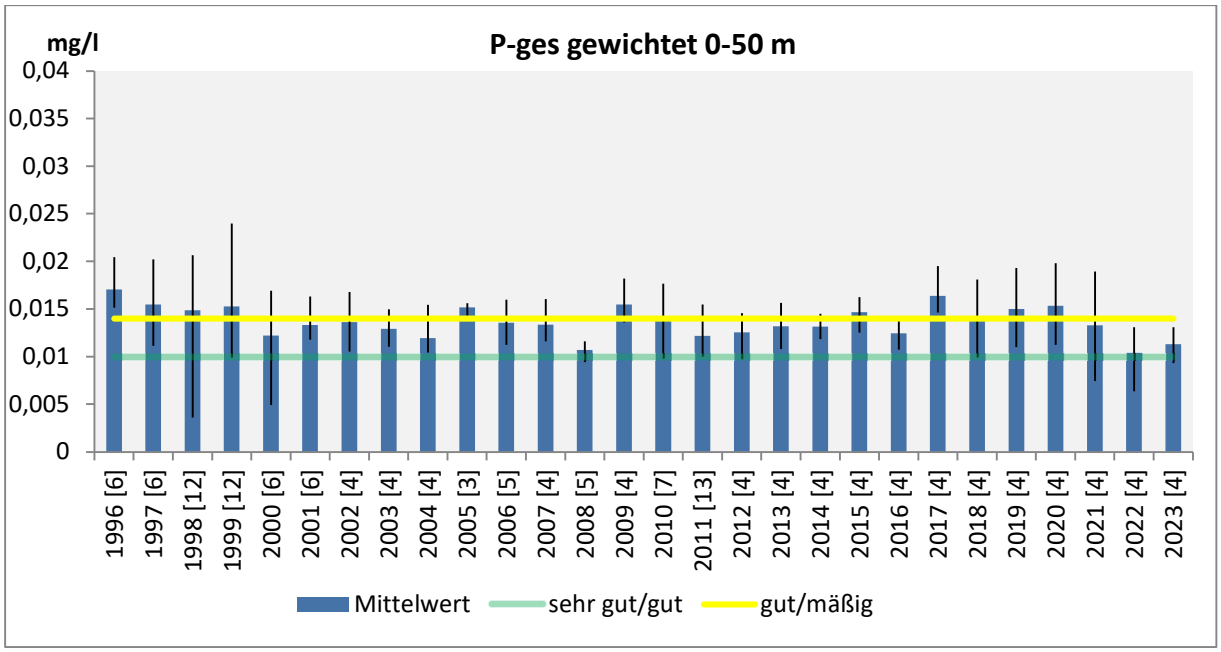


Abbildung 2: Volumsgewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentration von 0-50 m [Anzahl der Messtermine]

Die gewichteten, auf das Seevolumen bezogenen, Gesamt-Phosphor-Konzentrationen im Jahresmittel bewegten sich seit 2000 überwiegend im „guten“ Bereich. 2017 bis 2021 wurden höhere Maximalwerte bestimmt, die die höheren Phosphorgehalte in 50 m Tiefe abbilden, da die höheren Konzentrationen in 50 m Tiefe in die Berechnung einfließen (Bericht 2.5.1).

Bis in 40 m Tiefe wurden vergleichsweise geringe Konzentrationen gemessen. Ab 50 m Tiefe wurde seit den 2000-iger Jahren ein steigender Trend festgestellt. Aufgrund der ansteigenden Sauerstoffgrenze, wurde der sauerstofffreie Bereich über Grund (Monimolimnion) mächtiger und damit auch die Phosphorkonzentrationen höher, die unter anaeroben Verhältnissen durch Rücklösung aus dem Sediment und Akkumulation ansteigen.

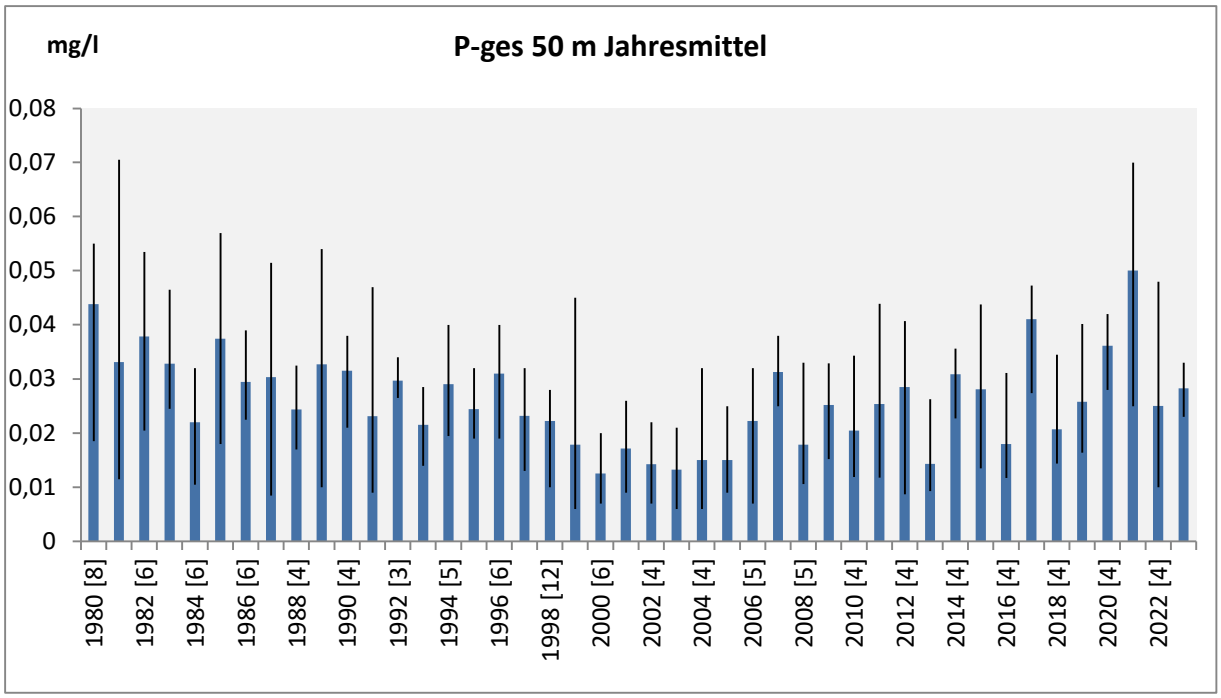


Abbildung 3: Gesamt-Phosphor-Konzentration in 50 m

Eine Erhöhung der Phosphorkonzentrationen bzw. der Trophie kann das Makrophytenwachstum in beide Richtungen beeinflussen. Die Nährstoffverhältnisse wirken sich auf die Metriken Vegetationsdichte, Vegetationsgrenze, Trophieindex und indirekt auf Vegetationszonierung und Artenzusammensetzung aus.

Im Epilimnion (0-6 m) bzw. im Tiefenbereich von 0-12 m, wo Makrophyten wachsen, zeigten die Gesamt-Phosphor-Konzentrationen ebenso wie die Phytoplanktonbiovolumina seit den 2000er Jahren einen abnehmenden Trend, so dass eine biogene Trübung durch erhöhte Algenmengen als Ursache für den Makropyhtenrückgang unwahrscheinlich ist

1.3.2 Trophie-Zubringer

Im Jahr 2020 wurden 5 Wörtherseezubringer und der Abfluss annähernd monatlich chemisch beprobt. Insgesamt sind 29 Zubringer, temporär nur zum Teil Wasser führend, bekannt (Bericht 2.5.2).

Die größten Zubringer sind der Reifnitzbach, der Abfluss des Keutschacher Sees, der Rajacherbach, der Damtschacherbach und der Köstenbergerbach. Aus den Jahren 1981 und 1999 bzw. 2000 stehen weitere Daten regelmäßiger Probenahmen an diesen Zubringern zur Verfügung.

Abbildung 4: Wörtherseezubringer ▲ (6 Probestellen)

Die Gesamtphosphorkonzentration erreicht in den Wörtherseezubringern im Mittel Werte zwischen 0,01 und 0,05 mg/l. Die Konzentration im Abfluss des Wörthersees lag 2020 im Mittel bei 0,02 mg/l. Die höchste Gesamtphosphorkonzentration wird 2020 im Mühlbach erreicht. Aus dem Vergleichsdatensatz der Zubringer anderer Seen errechnet sich eine mittlere Konzentration von 0,04 mg/l.

Bei den Parametern Phosphat und Gesamtphosphor weisen die Wörtherseezubringer eher unterdurchschnittlich hohe Konzentrationen auf. Im Zuge von Hochwasserereignissen wie zB. Mühlbach im Oktober 2020, dies legen hohen Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen nahe, können sehr wohl hohe Konzentrationen (165 µg/l) in den See eingetragen werden (Bericht 2.5.2).

Abbildung 5: Starkregenereignis mit Eintrübung

1.3.3 Trophieindex- Nährstoffzeiger

Die eingestuften Makrophyten-Taxa geben Aufschluss über die trophischen Verhältnisse des Gewässers im Uferbereich, wenn sich Sediment und Wasserkörper im Gleichgewicht befinden.

Während die verglichenen Transekte 2007 an 8 Stellen mit schlechter als „gut“ bewertet wurden, waren 2021 18 Transekte im „mäßigen“ bis „schlechtem“ Bereich einzustufen. Bei Änderungen der Nährstoffverhältnisse reagieren Makrophyten langsamer als Phytoplankton, so dass eine länger andauernde Nährstoffzufuhr an diesen Stellen angenommen werden muss.

Abbildung 6: Trophische Indikation 2007 schlechter als gut

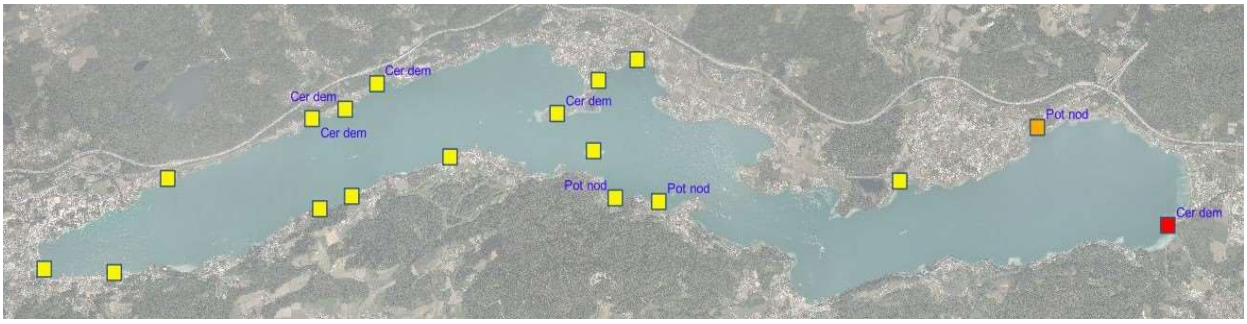


Abbildung 7: Trophische Indikation 2021 schlechter als gut

Abbildung 8: *Ceratophyllum demersum*

Die Art *Ceratophyllum demersum* zählt zu den Pleustophyten, die Nährstoffe nicht über das Sediment aufnehmen und kam 2007 an 2 der 37 untersuchten Transekte vor. 2021 wurde diese Art an 10 Transekten bestimmt.

Neben *Ceratophyllum demersum* kam 2021 eine weitere Art, *Potamogeton nodosus*, hinzu. Auch die Artenverschiebung von *Najas intermedia* (Trophieindex 2,5) zu *Myriophyllum spicatum* (Trophieindex 3) führte zur mäßigen Bewertung dieses Metriks.

Trotz rückläufigem Trend der Gesamt-Phosphor-Konzentrationen in der Oberflächenschicht des Freiwassers und trotz unauffälliger Messdaten hinsichtlich dieses Nährstoffparameters in Bezug auf die Zubringer, ließ das Auftreten der „Belastungszeiger“ *Ceratophyllum demersum* und *Potamogeton nodosus* auf punktuelle Nährstoffquellen schließen. Auffallend war das Vorkommen von *Ceratophyllum demersum* auch in Untiefen inmitten des Sees.

1.4 Sediment - Substrat

Makrophyten können Nährstoffe je nach Art sowohl über die Blätter aus dem Freiwasser als auch über die Wurzeln aus dem Sediment aufnehmen, wobei die Aufnahme über das Sediment in Seen die bedeutendere Nährstoffquelle darstellt.

Die Sedimentanalyse hinsichtlich Phosphorgehalt ergab Werte unter 100 mg/kg und diese sind gemäß Handlungsleitfaden (van de Weyer & Stuhr, 2021) als gering zu bezeichnen. Die Mindestanforderung gibt einen Wert unter 500 mg/kg vor.

Wo eine Probenahmen möglich war, an Stellen mit nicht zu harten Untergrund, wurden Sedimentteilprobenproben gezogen und die Korngrößen in einer Häufigkeitsschätzung unter der dem Mikroskop bestimmt.

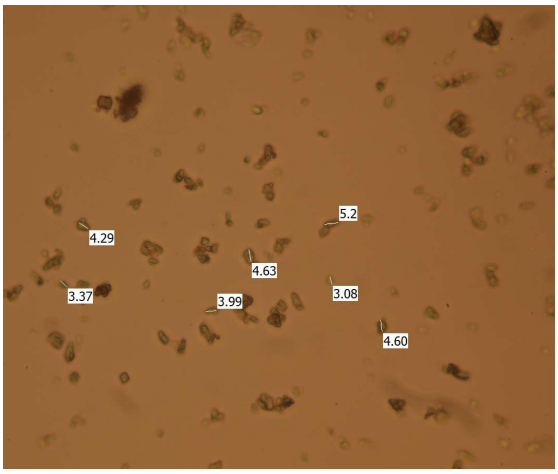


Abbildung 9: Transekt 83 aus 2,2 m Wassertiefe

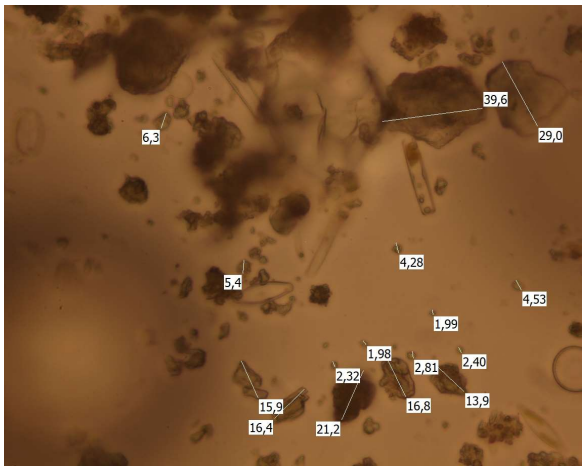


Abbildung 10: Transekt 19 aus 1,5 m Wassertiefe

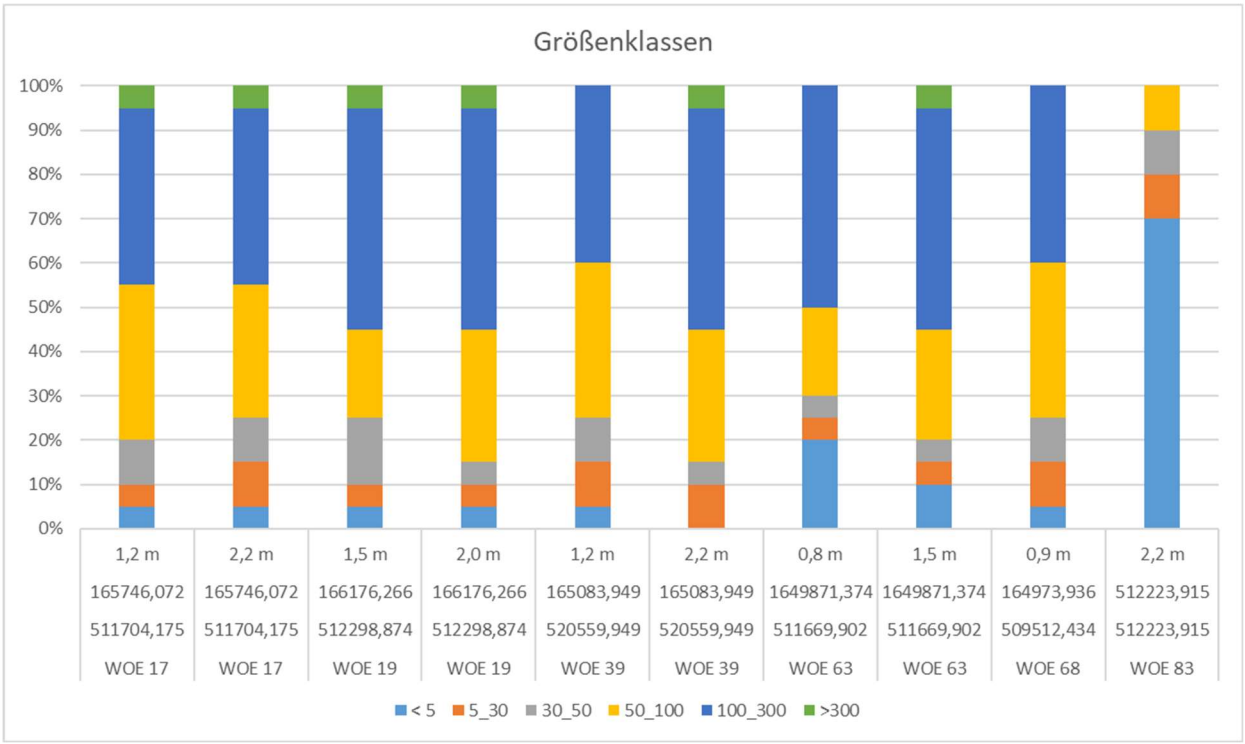
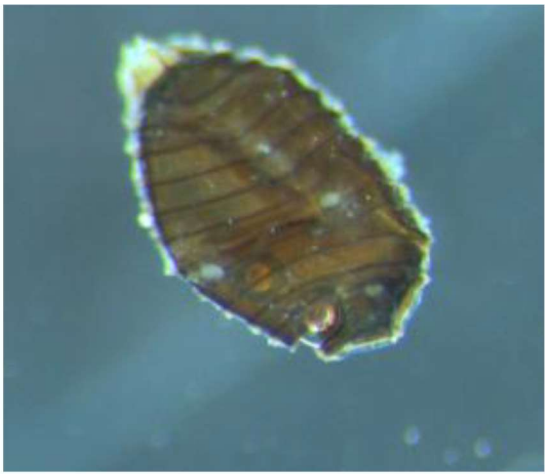


Abbildung 11: Korngrößenverteilung in µm

Die häufigsten Fraktionen waren in der Größenordnung zwischen 50 µm und 300 µm zu finden und entsprachen den Fraktionen Pelal und Psammal. Eine Ausnahme bildete das Transekt 83 (Kapuzinerinsel), dessen Korngröße hauptsächlich aus sehr feinen < 5 µm großen Partikeln bestand. Für die Berechnung und Modellierung der Sedimentresuspension wurde eine Korngröße von 50 µm herangezogen. Grundsätzlich bleiben die Teilchen umso länger in Schwebe, je kleiner sie sind.

Makrophyten können in Bezug auf die Korngröße eine sehr weite Spanne besiedeln. Feinsedimente bieten gute Bedingungen für Arten mit starken Rhizomen (*Nuphar*, *Nymphaea*). Für Pleustophyten wie *Ceratophyllum* spielt die Korngröße des Substrates keine Rolle. Große Substrate wie große Steine oder Blöcke sind für submerse Wasserpflanzen und Characeen nicht besiedelbar bzw. nur dann, wenn dazwischen zusätzliche Feinsedimente vorhanden sind (van de Weyer & Stuhr, 2021).

Characeen werden hauptsächlich auf feinsandig-siltigem Sediment gefunden. Die Keimung der Oosporen der meisten Arten wird durch anaerobes Milieu und gleichzeitig durch Licht gefördert. Diese Bedingungen sind bei ungestörter Ablagerung in der obersten Schicht feinkörniger, calcitreicher Sedimente gegeben, die bereits in 1 cm Tiefe anaerobe Verhältnisse aufweisen aber trotzdem noch durchlichtet sind (Ostendorp & Van de Weyer, 2022).



Um das Wiederbesiedlungspotential grob abzuschätzen, wurden an 6 Stellen (Transekte 17, 19 ,39, 63, 68 und 83) Sedimente aus verschiedenen Tiefen auf das Vorkommen von Oosporen unter dem Binokular untersucht. In 11 von 30 analysierten Teilproben konnten Oosporen von Characeen nachgewiesen werden, wobei die meisten Oosporen in Sedimentproben mit einer Wassertiefe ab 2 m nachgewiesen wurden.

Abbildung 12: Oospore (Foto: Kathrin Mikula)

Die in der Hydromorphologie erhobenen Substrat-Fraktionen des Sublitorals, die dominant vorkamen waren Megalithal (> 40 cm), Makrolithal (20 – 40 cm), Mesolithal (6,3 – 20 cm), Mikrolithal (2 – 6,3 cm), Akal (0,2 – 2 cm), Psammal (0,063 – 2 mm), Pelal (< 0,063 mm) und Kalkschlamm.

Subdominant waren Makrolithal, Mesolithal, Mikrolithal, Akal, Psammal, Pelal und Kalkschlamm (Pall & Pall, Hydromorphologie Seen - Tätigkeitsbericht Feldarbeiten 2023, 2023) (Bericht 2.3.1).

1.5 Wellenschlag

1.5.1 Einfluss von Wind- und Bootswellen

Wind- und Schiffswellen können das Wachstum von Unterwasserpflanzen beeinträchtigen. Einerseits kommt es durch das Aufwirbeln von Sediment durch Abrasion zur mechanischen Schädigung, anderseits können die herausgelösten Teilchen verfrachtet werden. Durch den Suspensionstransport bleiben feine Partikel in Schwebe und werden mit der Hintergrundströmung transportiert (Hoffmann H., 2019).

Windwellen treten im Vergleich zu Schiffswellen sporadisch auf, sind jedoch in der Lage nicht nur mehr Partikel, sondern diese auch über größere Entfernungen zu transportieren. Schiffswellen hingegen treten periodisch und vor allem im Sommer auf. Bei hoher Frequenz der Fahrten erhöht sich die Partikelkonzentration. In der Nacht sinken die Teilchen wieder ab (Hoffmann H., 2019).

Im Rahmen des in Auftrag gegebenen Projektes „Modellierung von Motorbootwellen an ausgewählten Uferabschnitten des Wörthersees“ wurden im Juli 2022 über einen Tag die Wellenbewegungen der Wasseroberfläche erfasst und Testfahrten mit verschiedenen Bootstypen und Geschwindigkeiten (Fahrweisen) durchgeführt. Die Daten wurden für den Abgleich mit Modellierungen verwendet (Lang & Mirbach, Modellierung von Motorbootwellen an ausgewählten Uferabschnitten des Wörthersees, 2024) (Bericht 2.2.3).

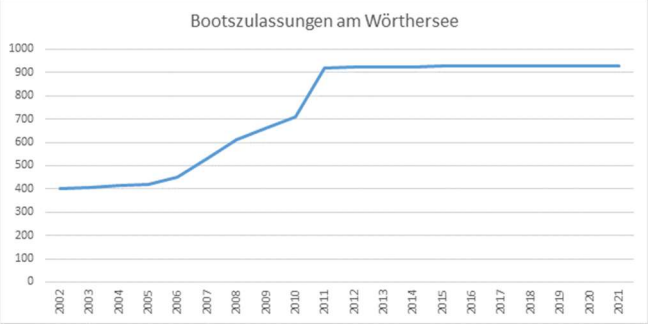
Bei leichtem Wind konnten Wind- und Bootswellen deutlich voneinander unterschieden werden. Gegen Mittag bei stärkeren Windverhältnissen, war der Ursprung der Wellen nicht eindeutig identifizierbar. Wind- und Bootswellen können sich unter bestimmten Bedingungen verstärken, indem sich die Wellenenergie der Boote zu der der Windwelle addiert. Da am Wörthersee meist windarme Verhältnisse vorliegen, dominieren somit besonders im Sommer bei starkem Bootsverkehr die Schiffswellen das Wellenfeld auf dem Wörthersee.

Es ließ sich feststellen, dass durch Sportboote Wellen mit Amplituden von über 20 cm in Abhängigkeit zur Fahrgeschwindigkeit und Fahrweise verursacht werden können. Durch Verdrängerfahrt erzeugte Wellen sind größer als bei Gleitfahrten. Neben der direkten mechanischen Belastung bis in 2 m Tiefe infolge von Sohlschubspannungen durch die Bootswellen, können in für Makrophyten relevanten Wassertiefen remobilisierte und wieder absinkende Schwebstoffe die Pflanzen bedecken und die Lichtaufnahme behindern. Die Modellergebnisse zeigten, dass dieser Fall insbesondere durch die Bootswellen von Sportbooten in Verdrängerfahrt mit hohem Tiefgang und hohen Geschwindigkeiten sowie von Linienschiffen auftreten kann.

Bei starkem Bootsverkehr ergibt sich ein Multiplikationseffekt. Remobiliserte Sedimentteilchen werden bei häufigem Wellenschlag in der Wassersäule permanent in Schwebe gehalten und können so über weite Strecken transportiert werden. Da die Turbulenzen in der Flachwasserzone stärker sind als in tieferen Bereichen, wird dadurch Sediment aus flacheren in tiefere Bereiche verlagert („sediment focusing“) (Lang & Mirbach, Modellierung von Motorbootwellen an ausgewählten Uferabschnitten des Wörthersees, 2024) (Bericht 2.2.3)

Auch wenn die Teilchen allmählich wieder absinken, werden durch die fortlaufende Wasserbewegung bei Tag die Partikel permanent in Schwebe gehalten und beeinträchtigen die Lichtdurchlässigkeit des Seewassers. Ob sich die Trübung durch remobilisierte Teilchen bis in die Freiwasserfläche auswirken kann (Entropie), wäre eventuell Gegenstand weiterer Fragestellungen im Folgeprojekt WAMOS (Wave Monitoring System based on GNSS/NS Integration).

Im Zuge der Ursachenerhebung hinsichtlich Veränderung der abiotischen Faktoren im Vergleich zu 2007 wurde festgestellt, dass in diesem Zeitraum am Wörthersee ca. 500 Bootszulassungen hinzukamen. Seit 2011 ist die Anzahl der Zulassungen für Fahrzeuge mit Elektroantrieb mit einer Antriebsnennleistung ≥ 4,4 kW reglementiert. Derzeit sind ca. 900 Boote neben der Linienschifffahrt unterwegs.



Hart verbaute Ufer reflektieren die Wellen stärker als Naturufer (Hoffmann H., 2019). Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass Uferverbauung die Wellenenergie verstärkt und je nach Bootstyp und Fahrweise massiven Einfluss auf den Sedimenthaushalt der Uferzone hat (Bericht 2.2.3)

Abbildung 13: Gesamtanzahl der zulassungspflichtigen Schiffszulassungen am Wörthersee im zeitlichen Verlauf (Quelle Abt.7)

Schwimmblattpflanzen, wie *Nymphyaea* sind an starke Wellenbewegungen schlechter angepasst als Arten mit geteilten (*Myriophyllum*) oder feinen Blättern. Die Teichrose (*Nuphar*), die neben Schwimmblättern auch Unterwasserblätter ausbildet, ist besser vor starken Wellenbewegungen geschützt als die Seerose (*Nymphaea*), die nur oberflächliche Schwimmblätter bildet. Auch für Armleuchteralgen wird angeführt, dass starker Windeinfluss bzw. Wellenschlag im Uferbereich zu einer Abnahme führt. Kleinwüchsige Arten sind besser angepasst als großwüchsige, mehrjährige Arten (*Nitellopsis obtusa*) (van de Weyer & Stuhr, 2021).

Für die Metriken Vegetationsdichte und Vegetationszonierung ist das Wellenklima als Belastungsfaktor angeführt (Pall K., 2015). Die Vegetationsdichte verschlechterte sich vor allem auf der Südseite der Veldener Bucht von „sehr gut“ in Richtung „mäßig“ (Bericht 1.2 Qualitätselement Makrophyten Wörthersee Wiederholungsbeobachtung 2021 Teil A Bewertung).

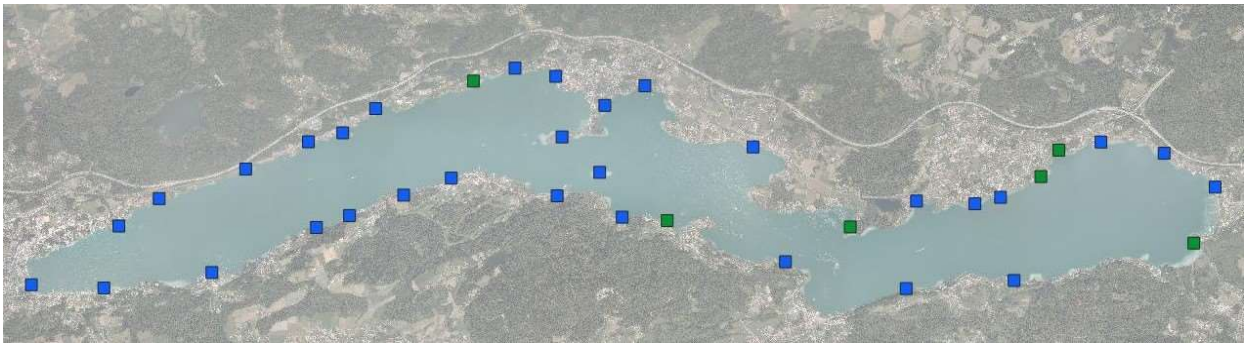


Abbildung 14: Bewertung Vegetationsdichte 2007

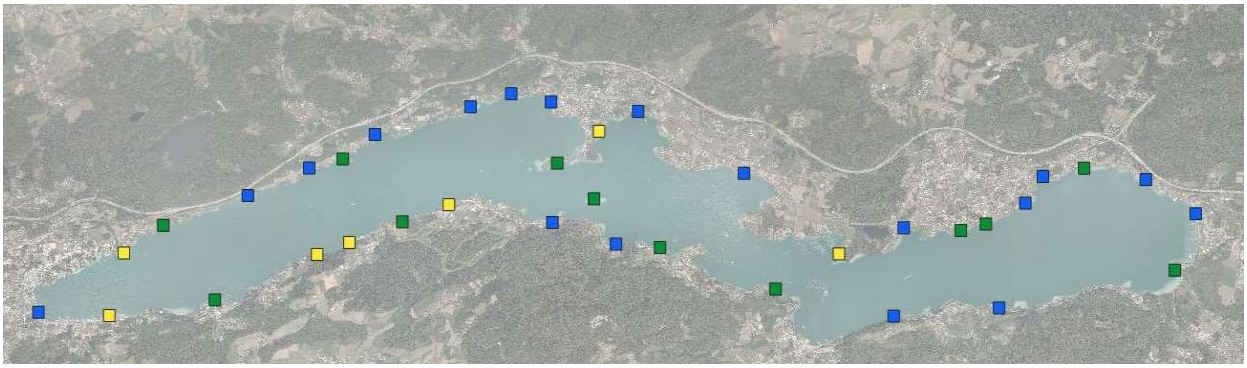


Abbildung 15: Bewertung Vegetationsdichte 2021

Im Zuge der Tauchkartierung wurde an weiteren Transekten ein deutlicher Rückgang des Makrophytenbewuchses dokumentiert, der sich zwar nicht in der Bewertung niederschlug aber dennoch den Trend zur Abnahme der submersen Vegetation zeigte.

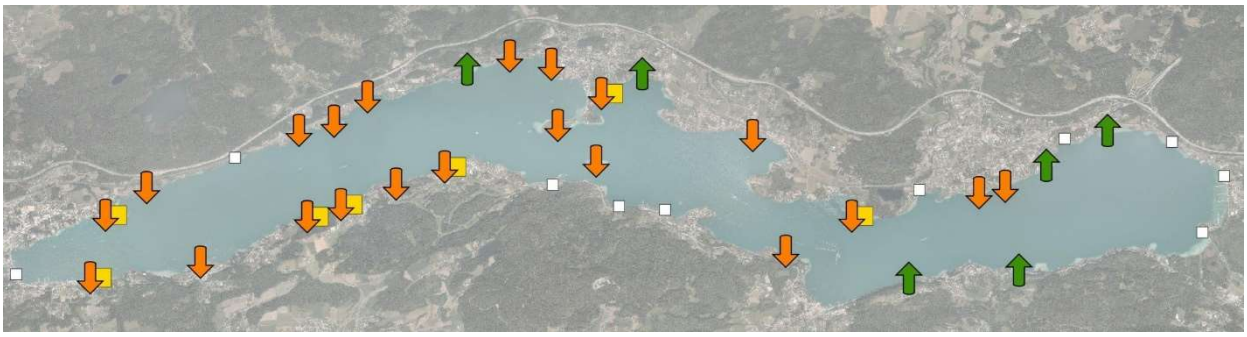


Abbildung 16: Veränderungen der Vegetationsdichte

Hinsichtlich des Metrik Vegetationszonierung fanden sich bereits 2007 auf Nordseite des Sees vor allem mäßige Bewertungsergebnisse. Die Transekte der Südseite wurden durchwegs mit mindestens „gut“ bewertet.

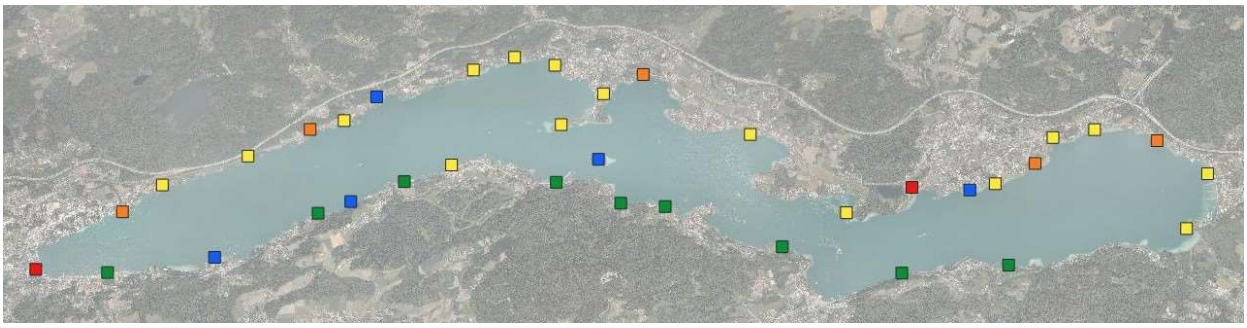


Abbildung 17: Bewertung Vegetationszonierung 2007

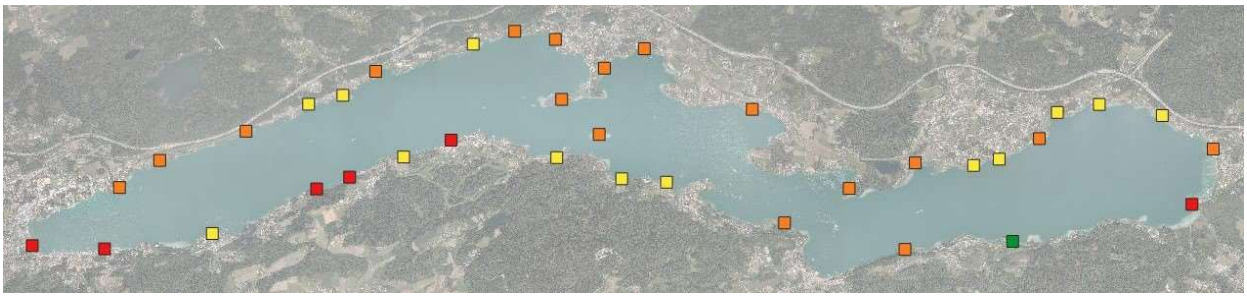


Abbildung 18: Bewertung Vegetationszonierung 2021

2021 wies auf der Südseite nur mehr der Transekt 47 die „gute“ Zustandsklasse auf. Vor allem in der Veldener Bucht veränderten sich die Bewertungen drastisch von „sehr gut“ bis „gut“ zu „schlecht“ (Bericht 1.2 Qualitätselement Makrophyten Wörthersee Wiederholungsbeobachtung 2021 Teil A Bewertung).

1.5.2 Wellenschutzzaun

Im Zuge der Untersuchungen „Direkte und indirekte Beeinträchtigung des Makrophytenbestandes durch Fischfraß“ (siehe Punkt 1.7.4 und Bericht 2.1.4) wurde je eine Versuchsanordnung vor (wellenexponiert) und hinter (wellengeschützt) dem Schilfschutzzaun errichtet. Mit Käfigen wurden verschiedene Flächen vor Fraß- und Wühlschäden geschützt.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass hinter dem Zaun, vor Wellen geschützt, bessere Wachstumsbedingungen für Makrophyten vorhanden waren, erkennbar am Bedeckungsgrad bis 90 % und Wuchshöhen bis 80 cm. Wind- und wellenexponiert erreichten die Pflanzen in den Versuchsflächen nur ca. 15 % und Wuchshöhen von Ø 10 cm, obwohl sie nicht für Fische oder Wasservögel erreichbar waren.

Der Schutzzaun wurde 2019 errichtet um dem Schilf bzw. Röhricht bessere wind-und wellengeschützte Wachstumsbedingungen zu bieten. Bereits bei der Makrophytenerhebung 2021 wurden Patches von *Myriophyllum spicatum*, im Schutz des Zaunes festgestellt. Bericht 2.1.4

Abbildung 19: Luftaufnahme der Versuchsanordnung mittels Drohne

1.6 Klimawandel

1.6.1 Temperaturerhöhung des Seewassers

Klimabedingte höhere Lufttemperaturen wirken sich auch auf die Wassertemperaturen von Seen aus. Die Erwärmung eines Wasserkörpers erfolgt durch Wärmeaufnahme aus der Atmosphäre. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Wassers erwärmen sich Seen langsam und geben die Wärme im Herbst auch zeitverzögert wieder ab. In den kommenden Jahren ist auch für den Wörthersee mit einem Anstieg der Wassertemperaturen und Veränderungen beim Schichtungs- und Durchmischungsverhalten zu rechnen.

Im Zuge des Klimawandels kommt es durch die milderen Winter zur Verkürzung der eisbedeckten Zeit bzw. fehlt die Eisbedeckung zunehmend gänzlich. Der Wörthersee war zuletzt 2006 vollständig zugefroren. Durch die frühere Erwärmung bildet sich früher eine Sommerstagnation mit einem Epilimnion, das durch die häufigeren Hitzesommer wärmer und stabiler (Temperaturgradient) bleibt. Außerdem wird die Tiefenausdehung dieser Oberflächenschicht mächtiger und bleibt länger bis in den Herbst erhalten. Aufgrund der hohen Wärmespeicherkapazität kühlen die Seen langsamer ab, die physikalischen Voraussetzungen für eine tiefergreifende Durchmischung verschiebt sich in die Wintermonate.

Für das Hypolimnion wird langfristig ein Ansteigen der Temperatur prognostiziert, allerdings geringer als in der Oberflächenschicht. Kurzfristig können einzelne Hitzesommer aufgrund der stabileren Schichtung auch zu einem kühlerem Hypolimnion im Vergleich der Vorjahre führen (Schaumburg, Wahl, Frey , Werner, & Hesselschwerdt, 2015).

Die Auswertung der Pegeldaten in Pörtschach (Bericht 2.4.2) von 1981 bis 2022 ergab einen steigenden Trend der durchschnittlichen Wassertemperatur um rd. 2,3 °C.

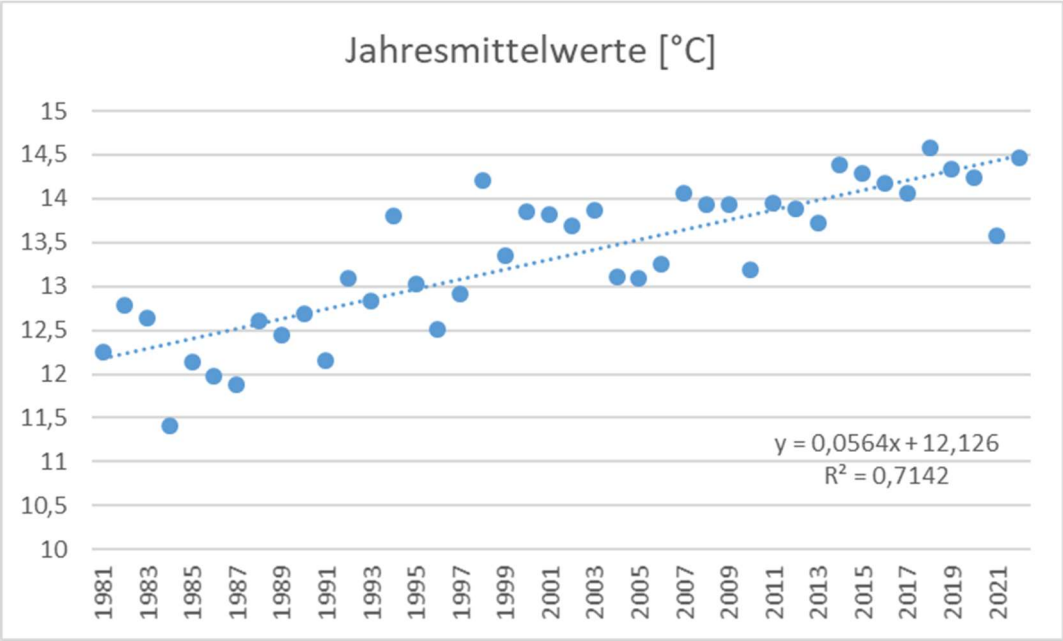


Abbildung 20: Wassertemperatur(Jahresmittelwerte) Pegel Pörtschach Lineare Regression

Die Jahre 2007 und 2021, in denen Makropyhten erhoben wurden, unterscheiden sich um 0,5 °C im Jahresmittel. 2007 war gegenüber 2021 ein wärmeres Jahr im Jahresmittel (Bericht 2.4.2).

Der Vergleich der Monatsmittel über die Jahre zeigt einen deutlich steileren Temperaturanstieg von bis zu 4°C im April (kurz vor Beginn der Vegetationsperiode) und im Juni. Die übrigen Monate weisen von 1981 bis 2022 Temperaturerhöhungen von 1,0 bis 3,0 °C auf.

1.6.2 Sauerstoffsituation über Grund - Meromixis

Der Wörthersee zählt seit Beginn der ersten limnologischen Untersuchungen zu den meromiktischen Seen, deren unterster Bereich, das Monimolimnion, zu keiner Jahreszeit von einer Zirkulation erfasst wird. In Ausnahmejahren wurden Vollzirkulationen (1931,1975, 1977, 1998, 1999, 2000, 2001 und 2010) dokumentiert (Bericht Nr. 2.5.1).

Die Verlängerung der Stagnationsphase hat Auswirkungen auf das Hypolimnion, wo Sauerstoff zehrende Prozesse länger andauern und früher zu anoxischen Verhältnissen mit einer mächtigeren Ausdehnung des Tiefenbereichs (Monimolimnion) führen. Messdaten zeigen seit ca. 30 Jahren bereits eine Abnahme der winterlichen Durchmischungstiefe, das sauerstofffreie Monimolimnion wurde in diesem Zeitraum mächtiger (Lang & Mirbach, 2024).

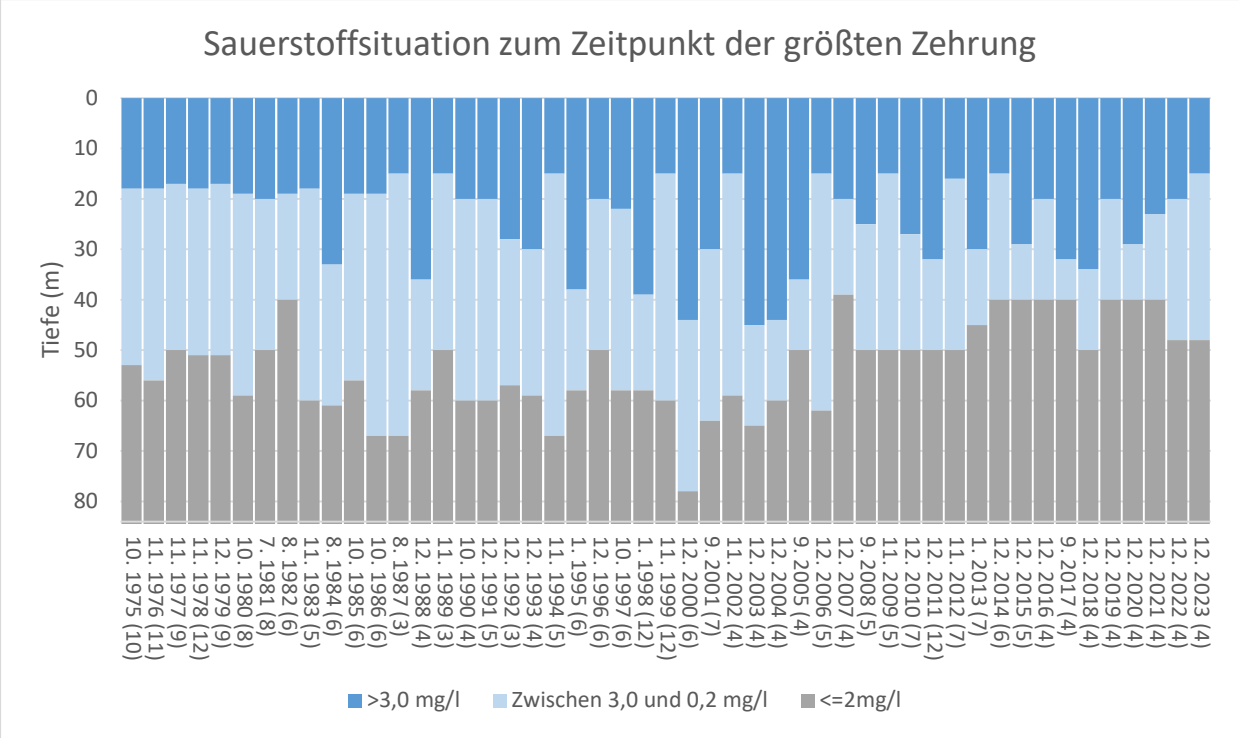


Abbildung 21: Sauerstoffsituation zum Zeitpunkt der größten Zehrung pro Jahr

Die Teildurchmischung von meromiktischen Seen führt zu einer Akkumulierung von Nährstoffen im Monimolimnion, das als „Nährstofffalle“ fungiert. Die Nährstoffe werde dem Kreislauf in der Oberflächenschicht entzogen (Mikula, 2012).

Die Auswertung von Satellitendaten (Chlorophyll-a-Gehalte als Maß für die Primärproduktion) für den Zeitraum von 1997 bis 2020 ergaben, dass die stabilere thermische Schichtung durch die Erwärmung bei großen Seen, eine Nährstoffverarmung des Oberflächenwassers bewirkt und die Nährstoffe unterhalb dieser Schicht gefangen sind. Die Reduzierung der Produktion führt dazu, dass die Seenfarbe aufgrund der stärkeren Streuung blauer wird (Kraemer, Kakouei, Muntanu, Thayne, & Adrian, 2022).

Andererseits kann in Jahren mit verbesserter vertikaler Durchmischung akkumuliertes Phosphat auch in flachere Wasserschichten transportiert werden und kann zu stärkerer Primärproduktion führen. Die Modellierung der Klimadaten des Wörthersees prognostiziert für die zukünftigen 100 Jahre ein Ansteigen der Nährstoffgehalte (Lang & Mirbach, 2024).

Im Gegenzug werden Seen, die mit Nährstoffen vorbelastet dem Klimawandel ausgesetzt werden, eine grünere Farbe aufgrund der mit der Nährstoffzunahme vermehrten Chlorophyll-a-gehalten aufweisen (Kraemer, Kakouei, Muntanu, Thayne, & Adrian, 2022).

Für die Zukunft wird eine sorgfältige Nährstofffernhaltung von besonderer Bedeutung sein, da die Seen sensibler auf eine Nährstoffzufuhr mit verstärkter Algenproduktion reagieren werden.

1.6.3 Einfluss des Klimas auf Makrophytenarten

Durch die klimatisch bedingte Temperaturerhöhung des Seewassers beginnt die Vegetationsperiode früher und wird weiter in den Spätherbst hinein verlängert. Durch mildere Winter ohne ausgeprägte Frostperioden können Arten, die normalerweise absterben, länger vital bleiben und haben im Frühjahr einen Startvorteil.

Im Wörthersee wurde *Myriophyllum spicatum* noch im November gut entwickelt mit vitalen grünen Spitzen bestimmt. Diese ausdauernde Art bildet keine Turionen (vegetative Winterknospen), der Pflanzenbestand

fällt im Winter in sich zusammen. Bleibt über den Winter mehr Biomasse übrig, > 10 °C sterben die Triebe nicht ab, sind die Ausgangsbedingungen für eine schnellere Entwicklung im Frühjahr gegeben.

Die schnellwüchsige Art wird als „etwas wärmeliebend“ beschrieben und hat durch seine langen Triebe einen Vorteil gegenüber kleinwüchsigeren Formen, indem sie einer Beschattung entwachsen kann und andere Arten beschattet (Schneider, 2004).

Mit Hilfe von allelopathischen (wachstumshemmende) Stoffen gegenüber Algen (z.B. Epiphyten) und anderen Makrophyten (*Najas marina*) kann sie als konkurrenzstark angesehen werden. Die Makropyhtenerhebungen 2007 und 2021 ergaben hinsichtlich der relativen Pflanzenmenge eine Zunahme dieser Art von 19 % (2007) auf 63 % (2021).

Abbildung 22: *Myriophyllum spicatum* im November 2022 (Foto mit Tauchdrohne Firma Copter log Services)

Auch Patches von *Najas* sp. wurden spät im Jahr im November angetroffen. Das als wärmeliebend beschriebene Nixenkraut tritt in vielen Seen seit einigen Jahren verstärkt auf, als wahrscheinliche Ursache wird der Klimawandel angeführt. *Najas intermedia (Najas marina*) ist einjährig und vermehrt sich nicht vegetativ sondern nur durch Samen. Die Pflanze ist zweihäusig und entwickelt sich spät im Jahr. Das nah verwandte Große Nixkraut (*Najas major*) keimt ab einer Wassertemperatur von 15 °C aus.

Die Bildung der männlichen und weiblichen Blüten erfolgt erst, wenn im Sommer mindestens 6 Wochen mindestens 20 °C herrschen. (Raeder, 2022) Bemerkenswert ist der Umstand, dass männliche Pflanzen von *Najas intermedia* schneller wachsen als weibliche Exemplare und bis zu einem Monat früher blühen. Kurz nach Erscheinen der weiblichen Blüten sterben die männlichen Pflanzen ab. Für *Najas intermedia* wurde eine starke Abhängigkeit von der Wassertemperatur angegeben. Temperaturen unter 15 °C führen zum Absterben der Pflanzen, bzw. sie keimen gar nicht aus (Hoffmann, 2014).

Abbildung 23: *Najas* sp. im November 2022 (Foto mit Tauchdrohne Firma Copter log Services)

Beide Arten *Myriophyllum spicatum* und *Najas intermedia (Najas marina)* würden derzeit vom Klimawandel hinsichtlich der Wassertemperaturen profitieren. Die Makropyhtenerhebungen 2007 und 2021 ergaben hinsichtlich der relativen Pflanzenmenge eine Zunahme von *Myriophyllum spicatum* von 19 % (2007) auf 63 % (2021). Für *Najas intermedia* wurde eine Abnahme der relativen Pflanzenmenge von 39 % (2007) auf 15 % (2021) berechnet.

Characeen werden durch die Klimaerwärmung je nach Art beeinflusst. Einige Arten zählen zu den potentiellen Gewinnern (*Chara globularis*). Andere Arten werden zu den potentiellen Verlierern zugeordnet. *Chara contraria* und *Nitellopsis obtusa*, zwei aktuell im Wörthersee vorkommende Arten, werden den potentiellen Verlierern zugeordnet (Joye, & Rey-Boissezon, 2014).

In Nordamerika wird *Nitellopsis obtusa* als invasive Art gesehen, die dort heimische Unterwasserpflanzen negativ beeinflussen kann. Die rindenlose Armleuchteralge vermehrt sich vegetativ mittels Fragmenten oder sternförmigen Bulbillen. Die zweihäusige Art bildet männliche und weibliche Bestände, die weit voneinander entfernt wachsen können. In Nordamerika wurden bisher nur männliche Pflanzen gefunden. Während Gametangien vor allem im Flachwasserbereich gebildet werden, vermehren sich die Tiefenformen hauptsächlich vegetativ.

Bei leichter Eutrophierung weicht diese Art in Flachwasserbereiche aus. *Nitellopsis obtusa*, als typspezifische Art der Seen der inneralpinen Becken, denen der Wörthersee zugeordnet wird, wächst vor allem in der Tiefe und bildet dort ausgedehnte Einartbestände. Im Wörthersee ging diese Art seit 2007 fast völlig zurück.

In flachen Seen und weniger ausgeprägt in der Litoralzone von tiefen, geschichteten Seen, kann die Zusammensetzung der Primärproduzenten zwischen zwei stabilen Zuständen wechseln, einem Makrophyten -dominierten mit klarem Wasser und einem Phytoplankton-dominierten mit trüben Wasser. Da das Phytoplankton als schnell reagierende Komponente durch die früher einsetzende Erwärmung früher im Jahr hohe Dichten bilden könnte, hätten Makrophyten in der frühen Wachstumsphase Nachteile in der Konkurrenz um das Licht für die Photosynthese.

In langen Hitzeperioden mit stabiler Schichtung würden Makrophyten profitieren, da das Phytoplankton im Freiwasser die Nährstoffe verbraucht hat und durch geringer Biovolumina mehr Licht in die von Unterwasserpflanzen besiedelbaren Zonen kommt (Schaumburg, Wahl, Frey, Werner, & Hesselschwerdt, 2015).

1.7 Fische

1.7.1 Standardisierte Fischbestandserhebung 2004 und 2022

2004 wurde eine Fischbestandserhebung gemäß WRRL durchgeführt, die mit einem Gesamt-EQR von 0,68 den „guten“ Zustand des Qualitätselementes Fische ergab. Abweichungen vom Referenzzustand wurden für die Metrics „Kleinfischarten“, „Nachweisqualität stenöke Arten“ und vor allem für die „Fischbiomasse“ errechnet.

Im Zuge der Ursachenerforschung für den „mäßigen“ Zustand der Makrophyten wurde 2022 die Fischbestandserhebung des Wörthersees wiederholt. Die Gesamtbewertung des Qualitätselementes Fische wurde mit einem Gesamt-EQR von 0,76 mit „gut“ beurteilt, die Abweichungen vom Referenzzustand waren im Vergleich zu 2004 geringfügig. Vor allem die “Fischbiomasse“ verbesserte sich von 2004 (EQR: 0,40) auf 2022 (EQR: 0,80).

Die standardisierte Fischbestandserhebung in Seen basiert auf den drei Methoden, Kiemennetz- Elektrobefischung im Uferbereich und einer Hydroakustikaufnahme.

Bei der Kiemennetzbefischung wurden im Vergleich zu 2004 im Untersuchungsjahr 2022 insgesamt weniger Fische gefangen, gewichtsmäßig lag der Gesamtfang 2022 mit 126,7 kg jedoch höher als 2004 mit 98,9 kg.

Bezüglich des Gewichtes (Kiemennetzbefischung) war 2022 das Rotauge (26,3 kg) und der Flussbarsch mit 24,3 kg am häufigsten vorhanden.

Die Uferelektrobefischung 2022 ergab, dass das Rotauge hinsichtlich der Artenzusammensetzung einen Anteil von 27 % bildete. Auch die Rotfeder als pflanzenfressende Art und der Aitel kamen mit je 17 % vor. Insgesamt wurden 1330 Fische bestimmt. 2004 bestand 50 % des Arteninventars aus Rotaugen, die vor allem in Uferbereichen mit Schilfzonen auftraten. In mit Stegen verbauten Bereichen überwogen zahlenmäßig die Sonnenbarsche (21 %). Lauben bildeten 15 % der Individuen. Insgesamt wurden 1978 Fische gezählt.

In der Gegenüberstellung der beiden Hydroakustikaufnahmen ergab sich eine deutliche Zunahme der mittleren Fischbiomasse von 18 kg/ha (2004) auf 68 kg/ha (2022).

Die mittlere Längen-Gewichtsverteilung zeigte 2022 fast über die gesamte Längenverteilung höhere Biomassen, vor allem größere Anteile der Fischlängen zwischen 30 cm und 60 cm, als 2008 an (Luger, Achleitner, Pamminger-Lahnsteiner, & Gassner, 2023) (Bericht 2.1.4).

Für die Fragestellung wäre die quantitative Zuordnung der Arten, die sich auf Makrophyten auswirken, hilfreich.

1.7.2 Benthivore Fische

Bestimmte Fischarten können sich auf Makrophyten negativ auswirken, indem sie durch Fraß-und/oder Wühltätigkeit bei der Nahrungssuche bewuchsfreie Flächen verursachen. Benthivore Cypriniden können Unterwasserpflanzen direkt durch Fraß (Rotauge, Rotfeder) schädigen. Indirekt (Karpfen, Brachsen) führt das Unterwühlen zum Losreißen der Pflanzen und zusätzlich kommt es durch aufgewirbeltes Sediment zu Ablagerungen auf den Makrophyten, die die Lichtaufnahme verhindern (van de Weyer & Stuhr, 2021). Zusätzlich verursacht die Wühltätigkeit eine höhere Sedimentmobilisierung.

Unter den aktuell im Wörthersee vorkommenden Arten, die Wasserpflanzen fressen oder die auf der Suche nach Nahrung das Sediment aufwühlen, werden Aitel, Brachse, Güster, Karpfen, Rotauge, Rotfeder, Rußnase und Schleie angeführt. Auch Bitterling und Laube nehmen zum Teil pflanzliche Nahrung auf.

Die Kiemennetzbefischung stellt keine quantitative Erhebung dar, Häufigkeiten (Anzahl und Gewicht) können dennoch abgeleitet werden.

Für 981 Rotaugen wurde 2004 ein Gewicht von 22,8 kg bestimmt, während 2022 die Anzahl von 757 Rotaugen ein höheres Gewicht von 26,2 kg ergab, folglich weniger aber größere Individuen vorhanden waren.

Für folgende Arten, die Makrophyten beeinflussen können, wurde eine größere Häufigkeit hinsichtlich des Gewichtes angegeben: Rotauge, Güster und Aitel.

Die häufigste Art (Anzahl und Gewicht) sowohl bei der Kiemennetz- als auch bei der Uferelektrobefischung war das Rotauge. In der Längenfrequenzverteilung der beiden Jahre kann für beide Jahre ein Peak für die Größenklasse 5 – 6 cm abgelesen werden, die Anzahl jedoch ist 2022 um die Hälfte geringer als 2004. Der zweite Peak (n > 20) lag in beiden Jahren zwischen 9 bis 14 cm Länge. Im Unterschied zum Vergleichsjahr ergeben sich 2022 für die Größenklassen 20 bis 23 cm höhere Individuenzahlen.

Die Summen (Individuenanzahl) aus Kiemennetz- und Uferelektrobefischung zeigen 2022 weniger Fische (Anzahl) hinsichtlich Rotauge, Flussbarsch Laube, Seelaube und Sonnenbarsch. Mehr Individuen wurden für Rotfeder, Aitel, Güster und Kaulbarsch bestimmt.

Während 2004 kein Karpfen gefangen wurde, waren 2022 sowohl bei der Kiemennetz- als auch bei der Uferelektkrobefischung Exemplare vorhanden. Auch im Zuge der Makrophtenkartierung und bei den Kontrollen der Frassschutzkäfige wurden an verschiedenen Stellen Karpfengruppen (Villa Ida) bzw. größere Einzelexemplare (Lido, Walterskirchen) dokumentiert. Karpfen nehmen Makrophyten z.B. *Chara aspera* (Miller & Crowl, 2006) direkt auf oder beschädigen sie indirekt durch Abbrechen von Pflanzenteilen und Unterwühlen bei der Nahrungssuche.

Abbildung 24: Karpfengruppe vor Villa Ida

Die standardisierte Fischbestandsberhebung ist für die Aufnahme von Karpfen bzw. eine quantitative Aussage nicht geeignet. Für ein zukünftiges Fischmanagement wäre eine quantitative Zuordnung der Fischbiomassen zu Arten, die sich auf Unterwasserpflanzen auswirken wünschenswert.

Im Zuge der Makrophytenerhebungen wurden an folgenden Transekten sogenannte Wühltrichter dokumentiert: 8, 10, 13, 17, 23, 35, 28, 38, 47, 60, 63, 67 und 83.

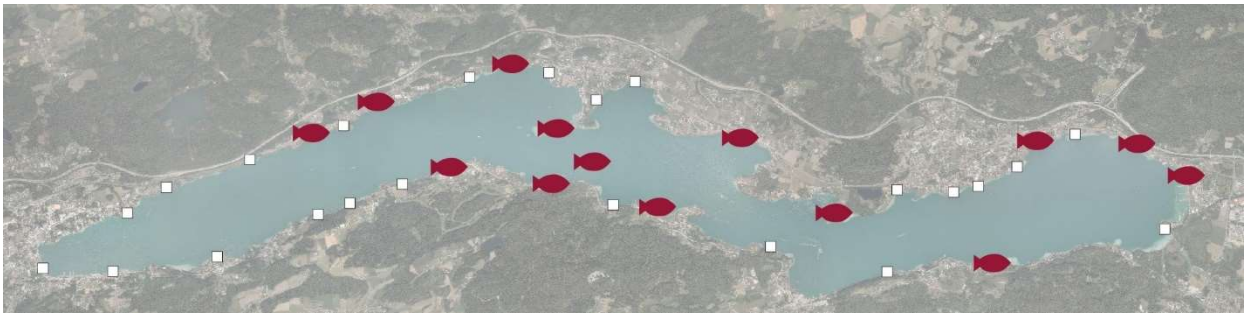


Abbildung 25: Transekte mit Wühltrichtern

Abbildung 26: Wühltrichter

1.7.3 Fischbesatz

Die Auswertung (in kg) der zur Verfügung stehenden Besatzdaten ergab bezüglich der für Makrophyten relevanten Arten eine Veränderung des Fischbesatzes. Bereits von 1985 bis 1993 wurden Karpfen besetzt, 2004 vor allem Wildkarpfen. Für 2011 wurden Karpfen, Wildkarpfen gemeldet und in den Jahren 2019/20 wurden je über 1000 kg Karpfen besetzt, so dass ein Trend zu herbivoren Arten deutlich wird.

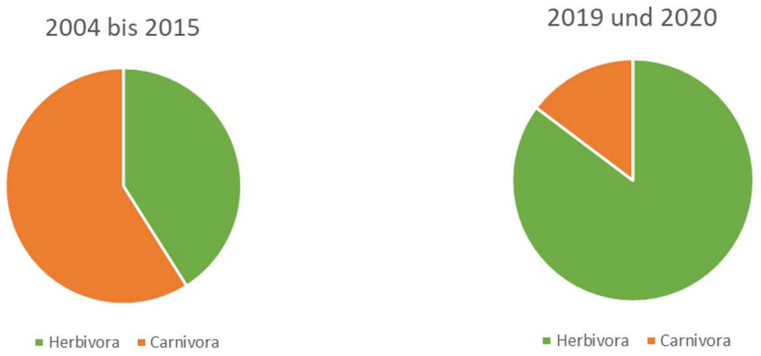
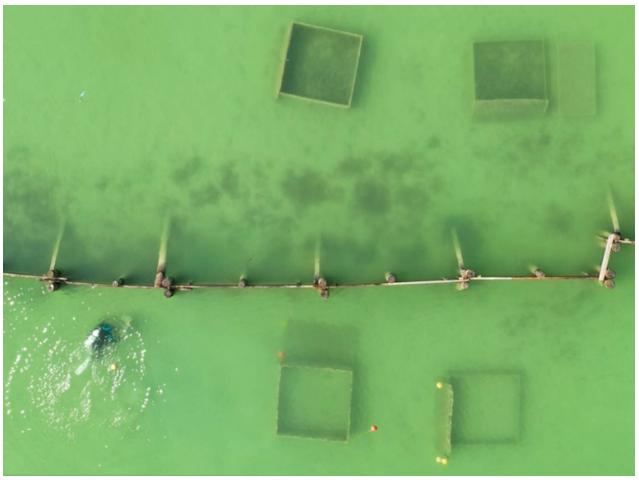


Abbildung 27 Relative Anteile von herbi-/omnivoren und carnivoren Arten im Vergleichszeitraum

Wurden Karpfen und andere Weißfische vor Jahrzehnten noch als Speisefisch entnommen, so ist heute „Catch & Release“ gängige Praxis. Im Hinblick auf die Erarbeitung eines Fischmanagementplanes sollte die Entnahme von Makrophyten relevanten Fischen, betrifft auch Rotauge, Rotfeder, Güster und eventuell Aitel, mitberücksichtigt werden (Bericht 2.1.4).

1.7.4 Fraßschutz

Um den Einfluss von benthivoren Fischen (eventuell auch Wasservögel) zu erheben, wurden östlich der Kapuzinerinsel inner- und außerhalb des Schilfschutzzaunes unterschiedliche Versuchsflächen errichtet. Zwei verschieden hohe Käfige schützten die bepflanzten Flächen vor direktem Fraß, auf einer weiteren Fläche sollten aufgelegte Gitter am Gewässergrund die Wühltätigkeit, aber nicht den Fraß, verhindern. Eine initialbepflanzte Fläche blieb ungeschützt. Außerhalb des Schilfschutzzaunes wurde dieselbe Anordnung errichtet, um das Wachstum unter wellenexponierten Bedingungen zu erfassen.



Es erfolgten Initialbepflanzungen mit *Najas intermedia*, *Myriophyllum spicatum* und *Potamogeton x cooperi*. Die Anordnung wurde regelmäßig kontrolliert und das Wachstum mittels Betauchung protokolliert, das Monitoring wurde im Folgejahr in der Vegetationsperiode fortgeführt.

Abbildung 28: Luftaufnahme der Versuchsanordnung mittels Drohne (31.08.2023)

Die Ergebnisse zeigten auf den ungeschützten Flächen keine Etablierung der bepflanzten Makrophyten außerhalb des Schilfschutzzaunes. Innerhalb des Schilfschutzzaunes wurden wenige Einzelpflanzen mit geringer Wuchshöhe dokumentiert. Auf den Gitterflächen (Schutz vor Wühltätigkeit, kein Fraßschutz) wurden ebenso nur wenige Einzelpflanzen mit geringer Wuchshöhe bestimmt.

In den Käfigen (Wühl- und Fraßschutz) gediehen die Pflanzen deutlich besser. Außerhalb des Schutzzaunes lag die Bedeckung bei immerhin 15 % mit Ø 10 cm Wuchshöhe, während in den Käfigen innerhalb des Schutzzaunes ein Bedeckungsgrad von bis zu 90 % dokumentiert wurden. Die Wuchshöhen erreichten jeweils die Käfighöhe, so dass die bepflanzten Bereiche innerhalb des Schutzzaunes, vor Wellen und vor Fraß geschützt, die besten Wachstumsbedingungen für Makrophyten zeigten.

Ursprünglich wurden mit *Potamogeton* x *cooperi*, *Myriophyllum spicatum* und *Najas intermedia* drei Arten initial bepflanzt. Über die beiden Untersuchungsjahre entwickelten sich von Natur aus *Ceratophyllum demersum*, *Chara contraria*, *Potamogeton pusillus* sowie *Chara globularis*, *Nuphar lutea*, *Stuckenia* sp. und *Chara tomentosa*..

1.8 Morphologie – Uferverbau, Einbauten

1.8.1 Uferverbau

Seeufer bilden den Übergang zwischen der Freiwasserzone und den terrestrischen Lebensräumen und erfüllen wichtige ökologische Funktionen. Gut entwickelte Röhrichtzonen stabilisieren den Gewässerzustand indem sie belastende Einträge aus der Umgebung puffern, die Wirkung von Wellenschlag dämpfen und so die Erosion der Uferbereiche verringern. Gleichzeitig bildet die Röhrichtzone den Lebensraum einer Vielfalt von terrestrischen und aquatischen Organismen.

Entsprechend der zunehmenden touristischen Nutzung des Wörthersees wurde die Uferlinie zunehmend verbaut. Auch zum Zeitpunkt der Makrophytenerhebung 2007 bestand bereits eine Belastung des Wörthersees durch hart verbaute Uferabschnitte. Eine bereits 2010 durchgeführte Bewertung der Seeufer (SFI - Lake Shorezone Functionality Index) im Rahmen des Projektes Silmas (INTERREG IIB) ergab für die Uferlinie des Wörthersees nur 16 % „gut oder sehr gut“ mehr als 80 % der Uferbereiche wurden mit „mäßig bis schlecht“ bewertet. Insgesamt wurde der Wörthersee hinsichtlich des SFI mit 3,7 „unbefriedigend“ bewertet.

Vom Land Kärnten wurden gemeinsam mit der Bundesforste AG, als Seeeigentümerin, „ökologische Schutzzonen“ ausgewiesen, die für Grundstücke gilt, die durch die Bundesforste bewirtschaftet werden.

Abbildung 29: Ökologische Schutzzonen

2023 wurde von der Firma Systema eine Erhebung des Wörthersees hinsichtlich des hydromorphologischen Zustandes zur Erfassung von Referenzbedingungen im Auftrag des Bundes und im Rahmen des Schutz- und Nutzungskonzeptes Wörthersee durchgeführt. Der aus mehreren Metriken ermittelte EQR-Wert nach dem Hydromorphologie-Überblicksverfahren entsprach mit 0,59 dem „mäßigen“ Zustand. In Bezug auf den Metrik Uferverbau (bauliche Eingriffe zur Stabilisierung des Ufers) wurde ein EQR von 0,42 ermittelt.

EQR Hydromorphologie = 0,59 Hydromorphologischer Zustand „mäßig verändert“				
EQR HL 0,81	EQR LN 0,51	EQR VT 0,64	EQR UV 0,42	EQR US 0,55

Für den Wörthersee ergibt sich nach dem Hydromorphologie-Überblicksverfahren „HYMO-Screen“ mit einem EQR-Wert von 0,59 insgesamt ein „mäßig veränderter hydromorphologischer Zustand“.

Einzig für das Metric „Hydrologie“ (HY) errechnete sich, basierend auf dem Vergleich aktueller (2016 bis 2020) mit historischen (1903 bis 1907) Pegeldaten, ein „naturnaher“ Zustand. Immerhin nur „leicht verändert“ zeigte sich das Bewertungsergebnis für das Metric „Vegetation“ (VT). Alle übrigen Metrics, betreffend die Landnutzung (LN), den Uferverbau (UV) und die Uferstruktur (US) wurden, wie auch der Gesamtsee mit „mäßig verändert“ bewertet. Am schlechtesten schneidet hierbei das Metric „Uferverbau“ (UV) ab. Es folgen Landnutzung (LN) und dann die Uferstruktur (US). Hier sind jeweils deutlich Abweichungen von einem „naturnahen“ bis nur „leicht veränderten“ Zustand offensichtlich (Bericht 2.3.1).

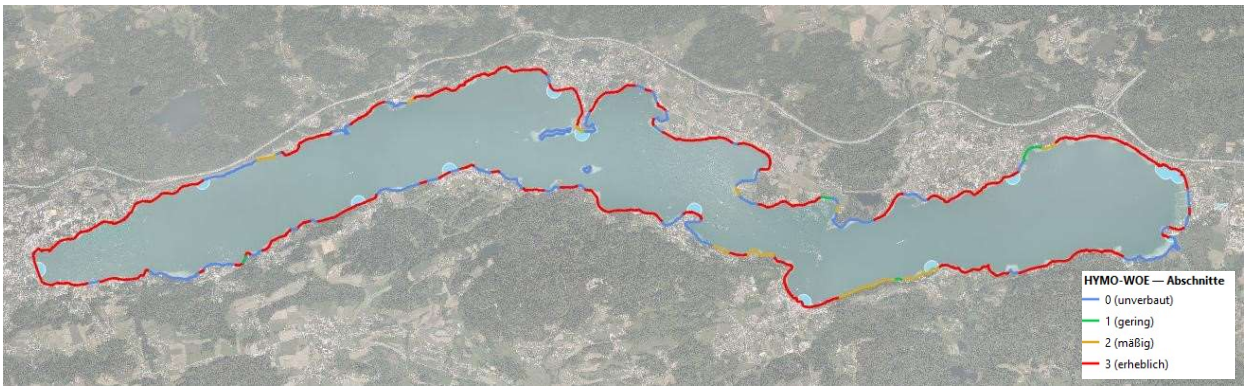


Abbildung 30: Hydromorphologie

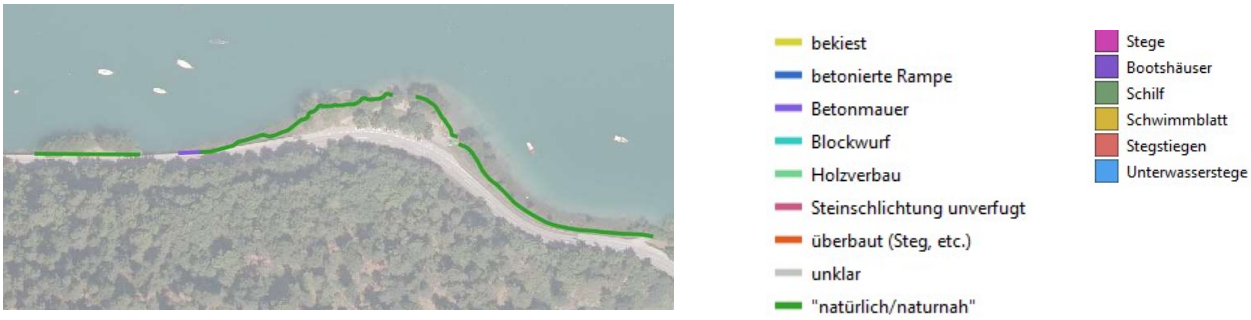


Abbildung 31: Naturnaher; unverbauter Bereich

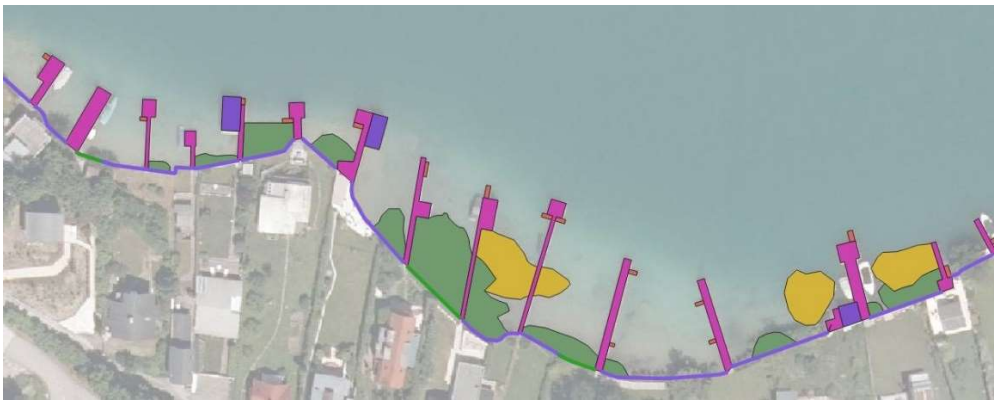


Abbildung 32: Bereiche mit Ufermauer (Uferverbau) und Einbauten (Stege)

Hinsichtlich der Definition sind unter Uferverbau (UV) bauliche Eingriffe zur Stabilisierung des Ufers zu verstehen, Seeeinbauten sind bauliche Eingriffe zur anthropogenen Nutzung entlang und innerhalb der Uferlinie und sind ein Teilaspekt der Uferstruktur (US).

In Bezug auf Makrophyten können sich Ufermauern einerseits direkt auf dem Wege der Lebensraumvernichtung und Überschüttung und indirekt durch die Folgen, die sich aus der Reflexion von Wellen ergeben, auswirken, so dass vor Ufermauern vegetationsfreie Streifen entstehen. Die oberer Makrophytengrenze wird nach unten verschoben. Angenommen wird ein mechanischer Stress durch die turbulente Wasserbewegung vor der Ufermauer in Verbindung mit der Abrasionswirkung der transportierten Teilchen (Hoffmann H., 2019).

Im Bericht 2.3.3 Verbauung Seefläche-Seeufer wurde für das Wörtherseeufer eine Verbauung von insgesamt 62 % berechnet. Davon entfallen 30 % auf hart verbaute Betonmauern, 15 % sind mit Stegen, Bootshäusern oder Plattformen überbaut. 13 % des Ufers sind mit Blockwurf gesichert. Lediglich 38 % der Uferlinie sind unverbaut.

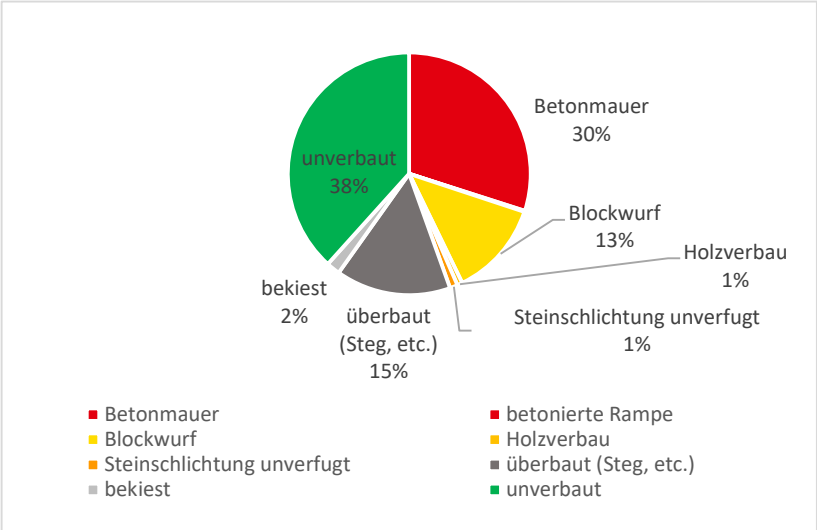


Abbildung 33: Verbauungsgrad

1.8.2 Uferstruktur Einbauten

Einbauten wie Stege, Slipstellen und Plattformen wirken sich direkt durch Überbauung, Beschattung und allgemeine Vernichtung des Lebensraums aus.

Die Erhebung der überbauten Fläche ergab eine Fläche von 91.033 m² (entspricht 0,0091 km²), wovon der überwiegende Teil auf Stege fällt. In Relation zur Fläche des Flachwassers bis zu einer Tiefe von 10

m, die etwa dem besiedelbaren Bereich (ca. 2 km²) von Unterwasserpflanzen entspricht, nehmen Überwasserplattformen beachtliche 4,53 % in Anspruch. Der Flächenvergleich von Überwasserbauten anhand von Orthofotos ergab eine Zunahme von 3.850 m² innerhalb von 12 Jahren. Dies entspricht einem Anstieg von 4,4% der Überwasserplattformen (Bericht 5.2.1).

Die Auswirkung von Stegen und Plattformen hängt von der Ausrichtung, Höhe über der Wasserlinie, Art (durchbrochen oder vollflächig) und vor allem von der Breite ab. Lichtmessungen ergaben direkt auf der Plattform bei Sonnenschein Messwerte von 100000 lux, unter der Plattform wurden in 1,4 m Tiefe nur 1800 lux gemessen. In 1,5 m Tiefe neben der Plattform wurden 58000 lux dokumentiert.

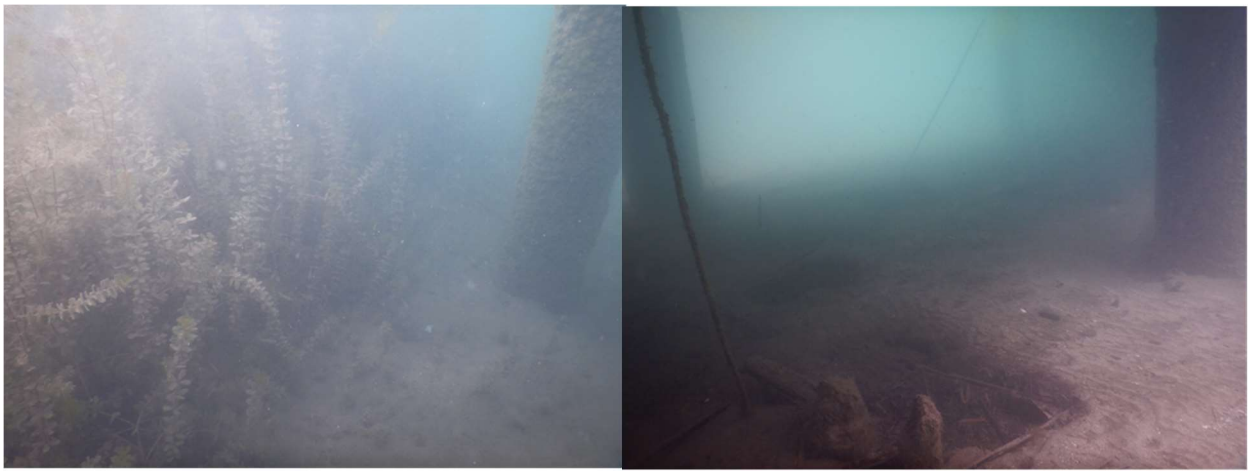


Abbildung 34: Makrophyten neben dem Steg und vegetationsfreier Bereich unter dem Steg

1.8.3 Röhricht (Schilf)

Röhricht erfüllt wichtige Ökosystemfunktionen an der Schnittstelle zwischen Land- und Wasserfläche. Neben dem Lebensraum (Strukturelement) für verschiedenste Lebensformen (Artenschutz) und der Festigung des Substrates durch Verwurzelung (Uferschutz) fungiert der Schilfgürtel als Phosphor-und Kohlenstoffspeicher. Durch die Dämpfung der Wellenenergie werden sowohl das Ufer als auch submerse Wasserpflanzen geschützt.

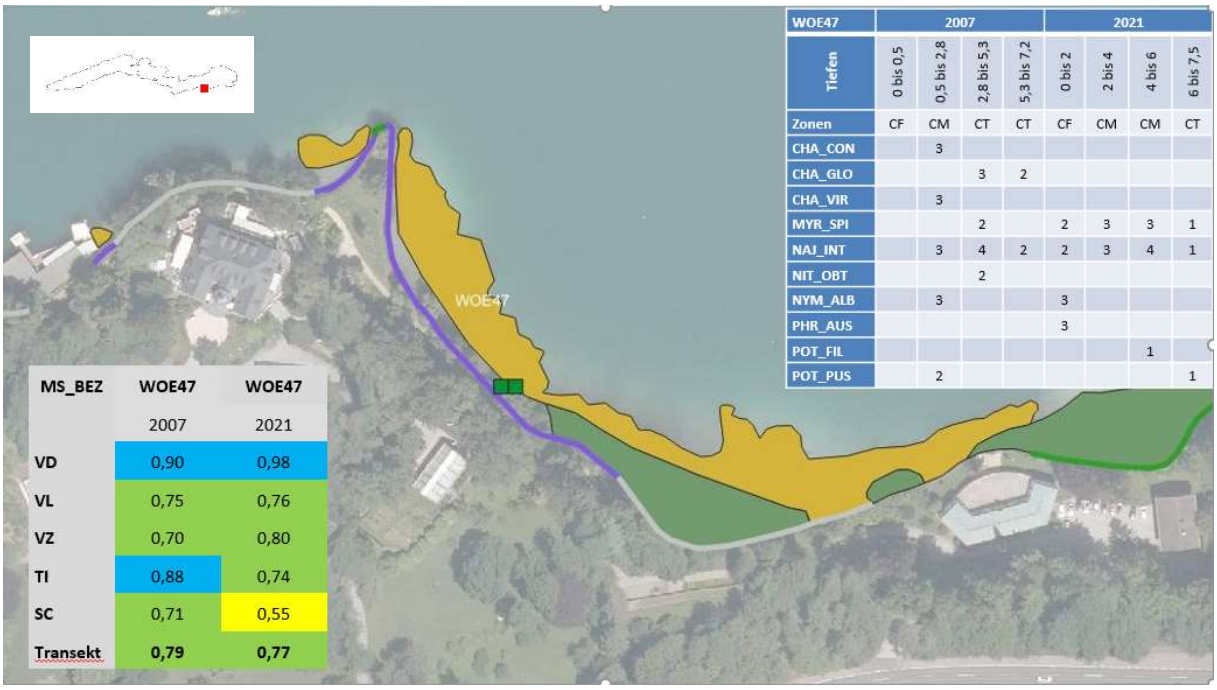
Die Analyse der Luftbilder aus den 1950er Jahren in Zusammenhang mit den perspektivischen Aufnahmen von Ansichtskarten und Fotos hat einen Gesamtbestand für den Wörthersee von 573.000m² ergeben. Die Schilfpotenzialfläche, also jene Fläche, die prinzipiell für den Schilfwuchs geeignet wäre (mit Wassertiefen bis zu 1,8 m) liegt bei ca. 1,12 Mio m². Mit Stand von 2019 konnte für den See eine Röhrichtfläche von 239.000 m² festgestellt werden. Somit ist seit den 1950er Jahren der Röhrichtbestand um 58 % zurückgegangen (Bericht 2.6.4).

1.9 Vegetationszonierung

Der Metrik Vegetationszonierung wies mit einer „unbefriedigenden“ Bewertung die größte Verschlechterung in der Bewertung auf.

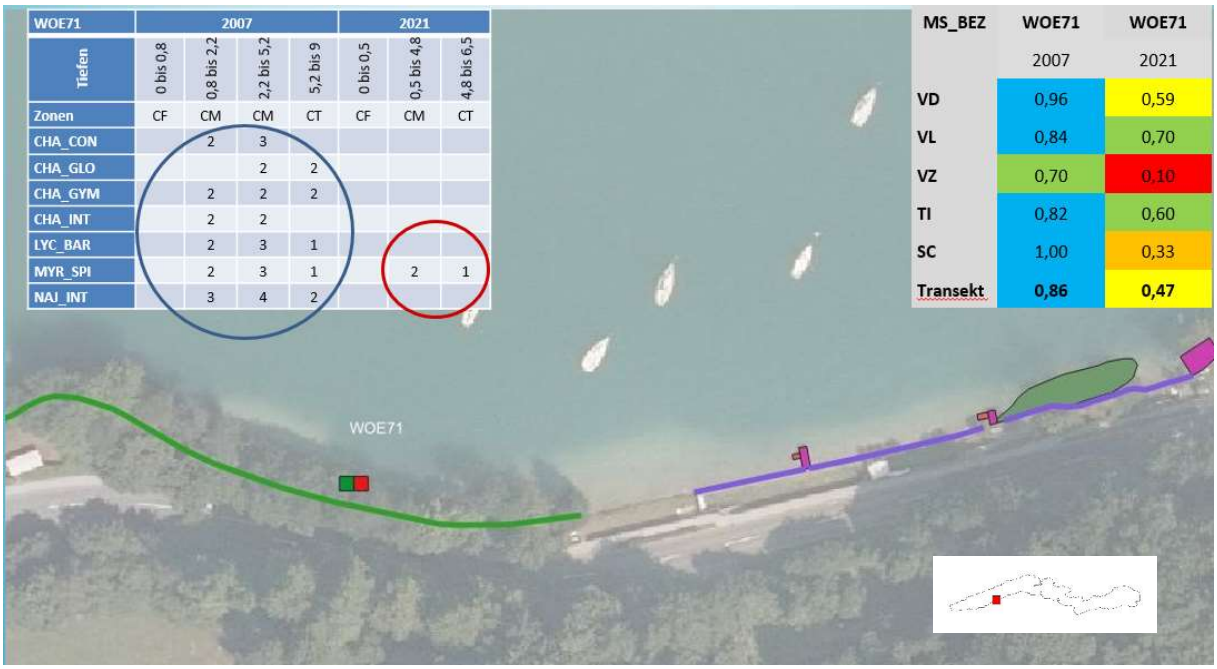
Das einzige Transekt 47, das 2021 mit „gut“ bewertet wurde liegt wellengeschützt vor einem Schwimmblatt- und Schilfgürtel.

Transekte, die einen EQR-Wert von wenigstens 0,6 (Transekte 12,35,36,62) aufwiesen waren meist mit naturnahen Uferbereich, mit vorgelagerten Schilfbeständen oder Schwimmblattgürtel und eher wellengeschützer Lage gekennzeichnet.



WOE47	2007				2021			
Tiefen	0 bis 0,5	0,5 bis 2,8	2,8 bis 5,3	5,3 bis 7,2	0 bis 2	2 bis 4	4 bis 6	6 bis 7,5
Zonen	CF	CM	CT	CT	CF	CM	CM	CT
CHA_CON		3						
CHA_GLO			3	2				
CHA_VIR		3						
MYR_SPI			2		2	3	3	1
NAJ_INT		3	4	2	2	3	4	1
NIT_OBT			2					
NYM_ALB		3			3			
PHR_AUS					3			
POT_FIL							1	
POT_PUS		2						1

Abbildung 35: Vegetationszonierung „gut“ Transekt 47



WOE71	2007				2021		
Tiefen	0 bis 0,8	0,8 bis 2,2	2,2 bis 5,2	5,2 bis 9	0 bis 0,5	0,5 bis 4,8	4,8 bis 6,5
Zonen	CF	CM	CM	CT	CF	CM	CT
CHA_CON		2	3				
CHA_GLO			2	2			
CHA_GYM		2	2	2			
CHA_INT		2	2				
LYC_BAR		2	3	1			
MYR_SPI		2	3	1		2	1
NAJ_INT		3	4	2			

Abbildung 36: Vegetationszonierung „schlecht“ Transekt 71

Der 2007 als Referenz ausgewiesene Transekt 71 zeigte eine drastische Verschlechterung nahezu aller Metriken und auch der Artenzahl. Während 2007 neben *Najas intermedia* 5 Characeen-Arten bestimmt wurden, war 2021 als einzige Art *Myriophyllum spicatum* vereinzelt bis selten vorhanden.

Transekte für die eine EQR-Wert hinsichtlich der Vegetationszonierung 0,1 = schlecht (Transekte 67,70,71,79,82) berechnet wurde, lagen durchwegs vor einem verbauten Ufer, Wellenschlag dämpfender Schilfbewuchs fehlte gänzlich oder war nur spärlich vorhanden und wiesen eine wellenexponierte Lage auf.

2 Zusammenfassung

Makrophyten interagieren auf komplexe Weise mit ihrer Umwelt und deren Verwendung als Bioindikatoren hat bereits eine lange Tradition. Für die Bewertung des ökologischen Zustandes von Seen stellen sie ein eigenes Qualitätselement dar. Gemäß Wasserrahmenrichtlinie wird bei Nichterreichen des „guten" Zustandes das Qualitätsziel unterschritten und führt in weiterer Folge zum „Handlungsbedarf".

Während das Qualitätselement Makrophyten 2007 mit einem EQR-Wert von 0,73 mit „gut" bewertet wurde, ergab die Wiederholungsbeobachtung 2021 mit einem EQR-Wert von 0,59 den „mäßigen" Zustand (siehe Bericht 1.2).

Tabelle 2. Vergleich der Makrophytenbewertung 2007 und 2021

Metrik	T37 (2007)	T37 (2021)
Gesamt	0,71	0,59
Vegetationsdichte (VD)	0,89	0,79
Vegetationsgrenze (VL)	0,75	0,75
Vegetationszonierung (VZ)	0,61	0,38
Trophische Indikation (TI)	0,69	0,59
Artenzusammensetzung (SC)	0,62	0,45

Im Rahmen des Seensanierungskonzeptes Wörthersee wurden mögliche Ursachen erhoben und die Ergebnisse in Arbeitspaketen detailliert dargestellt.

Ausgehend von den Ergebnisberichten der einzelnen Arbeitspakete wurden die Ergebnisse hinsichtlich der abiotischen und biotischen Wirkung auf Makrophyten zu einem Synthesebericht zusammengeführt. Die unterschiedlichen Themenbereiche wurden gruppiert und zu vier Schwerpunkten (Morphologie, Wellenschlag, Fische und Seeökosystem) zusammengefasst, aus denen jeweils Maßnahmenkataloge erstellt werden sollen.

Tabelle 3: Verschlechterung der Einstufung je Metrik und betroffene Transekte.

Metrik	Mögliche Belastung	Transekte
Vegetationsdichte	Uferverbau, Wellenbelastung, Wasserstandsschwankungen, Trophieänderung	4 ,5 9,17 19, 28,32, 33,36,55,67,68,70,75,79,83
	Wühltrichter	8,10,13,23,35,28,37 38,39,47,60,63,83
Vegetationsgrenze	Trübung	9,10,12,13,71
Vegetationszonierung	Uferverbau, erhöhte Wellendynamik , Klimawandel, Characeenrückgang	5,7,9,10,13,14,17,19,23,28, 32,33,39,41,50,55,60,62, 63,67,68,70,71,75,79,83
	Konkurrenzstarke Arten, Allelopathie	10,17, 19 20, 23, 55, 60,83
Trophieindikation	Nährstoffzufuhr, Artenverschiebung	8,9,12,17,19,20,33,35,39, 41,47,60,67,71,83
Artenzusammensetzung	Characeenrückgang, Artenverschiebung *Najas* zu *Myriophyllum*	7,9,10,12,13,14,17,19,20, 23,32,38,39,41,47,55,60,6768,70,71,75,79,83

Weitere Faktoren wie abiotosche Trübung (Kalkfällung), Klimawandel, Meromixis, Wühltätigkeit (Bioturbation) und Fraßdruck wurden in die Belastungsanalyse hinsichtlich der Auswirkung auf das Makropyhtenwachstum einbezogen.

Bereits bei einzelnen Betauchungen in vorangegangenen Jahren wurde ein deutlicher Rückgang (zB. Transekt 75) von Unterwasserpflanzen festgestellt. Vor allem an ehemaligen Referenztransekten auf der Südseite der Veldener Bucht waren nur mehr wenige Einzelpflanzen vorhanden, so dass diese Stellen mit „Makrophytenverödung“ gekennzeichnet werden müssen. In bestimmten Bereichen wie zB. Transekt 58 in der geschützten Bucht von Maria Wörth waren andererseits gut entwickelte Bestände anzutreffen, die vor allem von *Myriophyllum spicatum* dominiert wurden.

Hinsichtlich der Nährstoffbelastung, als Parameter wird die Gesamt-Phosphor-Konzentration herangezogen, zeigen die Daten des Freiwassers in der Oberflächenschicht (besiedelbarer Bereich für Makrophyten) langfristig eine rückläufige Tendenz. In den Tiefenbereichen steigen die Phosphorgehalte in 50 m Tiefe wieder an, da der Wasserkörper weniger tief zirkuliert und der sauerstofffreie Bereich und damit der rückgelöste Phosphor ansteigt. Der Litoralbereich weist naturgemäß eine höhere Trophie auf.

Als grundlegender Nährstoff für das Phytoplankton kann Phosphor zu Trübungen durch vermehrtes Algenwachstum und zur Verminderung der Sichttiefe führen. Wie die Gesamt-Phosphor-Konzentrationen im Epilimnion (0-6 m) zeigte auch die Auswertung der Phytoplanktondaten eine rückläufige Tendenz. Dennoch weisen die Sichttiefendaten auf keine höhere Lichtdurchlässigkeit des Seewassers hin. Die Trübung des Seewassers steht demnach nicht mit der Phytoplanktonmenge, sondern entweder mit der verstärkten physikalisch-chemischen Kalkbildung und/oder im Uferbereich auch mit Aufwirbelung von Sedimentpartikeln durch Wind und Schiffs bzw. Bootswellen sowie mit der Wühltätigkeit von Fischen im Zusammenhang.

Die Auswertung der 5 regelmäßig wasserführenden Zubringer ergab keine auffälligen Nährstoffgehalte. Dennoch zeigt der Metric Trophieindikation durch Vorkommen von Arten mit höherem Trophieindex (*Ceratophyllum demersum*) punktuell einen Anstieg der Trophie im Litoralbereich.

In Bezug auf die Morphologie wurden die Seeufer schon früh verbaut. Die Ufermauern waren bereits 2007 vorhanden und wirkten schon zum Zeitpunkt der Erhebung 2007 negativ in Form von Lebensraumvernichtung, Durchbrechung der Pufferzone auf die Ufervegetation und Reflexion sowie Verstärkung der Wellenenergie auf die submerse Vegetation ein. Die Fläche der Einbauten und Stege haben seit 2007 um 3.850 m² zugenommen und tragen ihren Teil zum Nutzungsdruck auf den See bei. Auf die Makrophyten wirken Überbauungen durch Beschattung hemmend ein.

Transekte für die ein EQR-Wert hinsichtlich der Vegetationszonierung 0,1 = schlecht (Transekte 67,70,71,79,82) berechnet wurde, lagen durchwegs vor einem verbauten Ufer, Wellenschlag dämpfender Schilfbewuchs fehlte gänzlich oder war nur spärlich vorhanden und wiesen eine wellenexponierte Lage auf.

Transekte, die einen EQR-Wert von wenigstens 0,6 (Transekte 12,35,36,62) aufwiesen, waren meist mit naturnahen Uferbereich, mit vorgelagerten Schilfbeständen oder Schwimmblattgürtel und eher wellengeschützer Lage gekennzeichnet.

Die Entwicklung des Röhrichtes (Schilf) zeigte seit den 1950iger Jahren einen Rückgang um ca. 58 % von 573.000 m² auf 239.000 m² (2019). Röhricht erfüllt wichtige Ökosystemfunktionen an der Schnittstelle zwischen Land- und Wasserfläche. Neben dem Lebensraum (Strukturelement) für verschiedenste Lebensformen (Artenschutz) und der Festigung des Substrates durch Verwurzelung (Uferschutz) fungiert der Schilfgürtel als Phosphor-und Kohlenstoffspeicher. Durch die Dämpfung der Wellenenergie werden sowohl das Ufer als auch submerse Wasserpflanzen geschützt.

Wasserstandschwankungen werden am Wörthersee durch die Regulierung des Pegels ausgeglichen, so dass Schwankungen für die Flachwasservegetation keine gravierende Rolle spielen. Sehr wohl können

jedoch Hochwasserereignisse wie z.B. im August 2023 kurzzeitige Nährstoffeinträge und Trübungen bewirken. Generell spielt für das Schilf der Zeitpunkt von Hochwasserereignissen eine Rolle, zu Beginn der Wachstumsperiode sind die Halme empfindlicher, wenn sie umknicken.

In Bezug auf die Wellenenergie wurde schon bei der Bewertung der Makrophyten 2007 auf die bestehende Wellenbelastung verwiesen. Seitdem kamen zusätzliche ca. 500 Bootszulassungen hinzu. Vor allem Sportboote in Verdrängerfahrt und Linienschiffe können direkt durch mechanische Belastung im Flachwasserbereich und indirekt durch Sedimentmobilisation auch in den tieferen Vegetationszonen negativ auf Makrophyten wirken, indem die Photosynthese durch Überdeckung behindert wird. Remobilisierte Sedimentteilchen werden bei häufigem Wellenschlag in der Wassersäule permanent in Schwebe gehalten und können so über weite Strecken transportiert werden. Bei starkem, anhaltendem Bootsverkehr ergibt sich ein Multiplikationseffekt. Der 2019 errichtete Schilfschutzzaun im Bereich der Kapuzinerinsel zeigte bereits 2021 Wirkung, indem innerhalb des Zaunes vor Wellen geschützt Makrophyten aufkamen.

Bestimmte Fischarten (Cypriniden) können sich auf Makrophyten negativ auswirken, indem sie durch Fraß-und/oder Wühltätigkeit bei der Nahrungssuche bewuchsfreie Flächen verursachen. In der Gegenüberstellung der beiden Fischbestandserhebungen ergab sich eine deutliche Zunahme der mittleren Fischbiomasse von 18 kg/ha (2004) auf 68 kg/ha (2022), wobei die Methodik keine Aussage zur Artenzusammensetzung zulässt. Unter den aktuell im Wörthersee vorkommenden Arten, die Wasserpflanzen fressen oder die auf der Suche nach Nahrung das Sediment aufwühlen, werden Aitel, Brachse, Güster, Karpfen, Rotauge, Rotfeder, Rußnase und Schleie angeführt.

Die mittlere Längen-Gewichtsverteilung zeigte 2022 fast über die gesamte Längenverteilung höhere Biomassen, vor allem größere Anteile der Fischlängen zwischen 30 cm und 60 cm, als 2008 an. Über die Kiemennetz- und Elektrobefischung können lediglich Häufigkeiten abgeleitet werden. Folgende für Makrophyten relevante Arten vergrößerten ihre Häufigkeit hinsichtlich des Gewichtes: Rotauge, Güster und Aitel.

Die Summen (Individuenanzahl) aus Kiemennetz- und Uferelektrobefischung zeigen 2022 weniger Fische (Anzahl) hinsichtlich Rotauge, Flussbarsch Laube, Seelaube und Sonnenbarsch. Mehr Individuen wurden für Rotfeder, Aitel, Güster und Kaulbarsch bestimmt. Während 2004 kein Karpfen bestimmt wurde, waren 2022 sowohl bei der Kiemennetz- als auch bei der Uferelektrobefischung Exemplare vorhanden.

Auch im Zuge der Makrophytenkartierung und bei den Kontrollen der Fraßschutzkäfige (Enclosures) konnten an verschiedenen Stellen Karpfengruppen (Villa Ida) bzw. größere Einzelexemplare (Lido, Walterskirchen) beobachtet werden. Die zu Verfügung gestellten Besatzdaten, die große Lücken aufweisen, gaben an, dass zB. 2019/20 über 1000 kg/Jahr besetzt wurden.

In die Erarbeitung eines zukünftigen Fischmanagementplanes sollten auch die für Makrophyten relevanten Fische einbezogen werden. Neben einem Besatzstopp für Karpfen sollten auch Rotaugen, Rotfedern, Güster und eventuell Aitel mitberücksichtigt werden und die Bewirtschaftung unter ökologischen Aspekten, insbesondere der Makrophyten, erfolgen.

Die Ergebnisse der Fraßschutzkäfige zeigen deutlich, dass die Bereiche innerhalb des Schutzzaunes, vor Wellen und vor Fraß geschützt, die besten Wachstumsbedingungen für Makrophyten aufweisen.

Auch Seen zeigen bereits einen Temperaturanstieg, der sich den Klimaprognosen entsprechend in Form von Nährstofferhöhung, höhere Algenbiovolumina, Veränderung der Artenzusammensetzung, stabilere Schichtungsphasen, verminderte Durchmischung und ein mächtigeres Monimolimnion auswirken wird. Umso mehr wird die Fernhaltung von Nährstoffen an Bedeutung für das Seeökosystem in Zukunft gewinnen.

Makrophyten werden durch Erhöhung der Wassertemperatur und längerer stabilerer Schichtungsphasen mit dem Absinken der Nährstoffe generell gefördert. Negative Veränderungen finden sich in Seen höherer Trophieebene, wenn das Phytoplankton als schnell reagierende Komponente zu Beginn der Vegetations-

zone zu Trübungen und zur Lichtlimitation der Unterwasserpflanzen führt. Arten wie das Ährige Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*) und das wärmeliebende Nixkraut (*Najas intermedia*) sind an die Temperaturerhöhung angepasst und würden derzeit profitieren.

Der Rückgang der Makrophyten am Wörthersee und damit einhergehend die „mäßige“ Bewertung ist auf multifaktorielle Bedingungen, die schon seit einem längeren Zeitraum einwirken, zurück zu führen. Eine Verbesserung wird erst durch das Ineinandergreifen mehrerer Maßnahmen positiv beeinflusst werden. Die Maßnahmen beziehen sich auf Reduzierung der Wellenenergie, verbessertes Fischereimanagement, sorgfältige Fernhaltung von Nährstoffen und Renaturierung der Seeufer zur Stärkung der Resilienz des Seeökosystems.

Tabelle 4: Veränderung möglicher Belastungen in den Jahren 2007 und 2021 und mögliche Maßnahmen

Belastung	Jahr		Maßnahmen
	2007	2021	
Trophie Nährstoffe Freiwasser		geringer	Fernhaltung Nährstoffe
Uferverbau	Ja	Ja	Rückbau
Uferstruktur, Einbauten, Stege	Ja	Ja	Verringerung der Flächen
Substrat, Schilf			Schutzzonen
Wasserstandschwankungen		Ja	Pegelregulierung
Trübung Phytoplankton		geringer	
Wellenbelastung	Ja	Ja, mehr	Wellenenergie (Boote) reduzieren
Fische - Fraßdruck		Ja, mehr	Fischereiliche Bewirtschaftung optimieren
Konkurrenzstarke Arten		Ja, mehr	
Klimawandel	Ja	Ja, mehr	Keine anthropogene Wärmezufuhr

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mittelwerte der Phytoplanktonkonzentration (0-12 m) und Sichttiefe von Mai bis September von 2000 bis 2023 [Anzahl der Messtermine] 5
Abbildung 2: Volumsgewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentration von 0-50 m [Anzahl der Messtermine] 7
Abbildung 3: Gesamt-Phosphor-Konzentration in 50 m 7
Abbildung 4: Wörtherseezubringer ▲ (6 Probestellen) 8
Abbildung 5: Starkregenereignis mit Eintrübung 8
Abbildung 6: Trophische Indikation 2007 schlechter als gut 9
Abbildung 7: Trophische Indikation 2021 schlechter als gut 9
Abbildung 8: *Ceratophyllum demersum* 9
Abbildung 9: Transekt 83 aus 2,2 m Wassertiefe Abbildung 10: Transekt 19 aus 1,5 m Wassertiefe 10
Abbildung 11: Korngrößenverteilung in µm 10
Abbildung 12: Oospore (Foto: Kathrin Mikula) 11
Abbildung 13: Gesamtanzahl der zulassungspflichtigen Schiffszulassungen am Wörthersee im zeitlichen Verlauf (Quelle Abt.7) 12
Abbildung 14: Bewertung Vegetationsdichte 2007 13
Abbildung 15: Bewertung Vegetationsdichte 2021 13
Abbildung 16: Veränderungen der Vegetationsdichte 14
Abbildung 17: Bewertung Vegetationszonierung 2007 14
Abbildung 18: Bewertung Vegetationszonierung 2021 14
Abbildung 19: Luftaufnahme der Versuchsanordnung mittels Drohne 15

Abbildung 20: Wassertemperatur(Jahresmittelwerte) Pegel Pörtschach Lineare Regression 16
Abbildung 21: Sauerstoffsituation zum Zeitpunkt der größten Zehrung pro Jahr 17
Abbildung 22: *Myriophyllum spicatum* im November 2022 (Foto mit Tauchdrohne Firma Copter log Services) 18
Abbildung 23: *Najas* sp. im November 2022 (Foto mit Tauchdrohne Firma Copter log Services) 18
Abbildung 24: Karpfengruppe vor Villa Ida 21
Abbildung 25: Transekte mit Wühltrichtern 21
Abbildung 26: Wühltrichter 21
Abbildung 27 Relative Anteile von herbi-/omnivoren und carnivoren Arten im Vergleichszeitraum 22
Abbildung 28: Luftaufnahme der Versuchsanordnung mittels Drohne (31.08.2023) 22
Abbildung 29: Ökologische Schutzzonen 23
Abbildung 30: Hydromorphologie 24
Abbildung 31: Naturnaher; unverbauter Bereich 24
Abbildung 32: Bereiche mit Ufermauer (Uferverbau) und Einbauten (Stege) 25
Abbildung 33: Verbauungsgrad 25
Abbildung 34: Makrophyten neben dem Steg und vegetationsfreier Bereich unter dem Steg 26
Abbildung 35: Vegetationszonierung „gut“ Transekt 47 27
Abbildung 36: Vegetationszonierung „schlecht“ Transekt 71 27

Literaturverzeichnis

AG, (. C. (2016). *Armleuchteralgen- Die Characeen Dutschlands.* Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.

Gassner, H., Luger, M., & Achleitner, D. (2007). Wörthersee Standardisierte Fischbestandserhebung und Bewertung gemäß WRRL. (B. f. Wasserwirtschaft, Hrsg.) S. 27.

Hoffmann H., O. W. (2019). Seeufer: Wellen – Erosion – Schutz – Renaturierung. Handlungsempfehlungen für den Gewässerschutz. *Ergebnisse aus dem ReWaM-Verbundprojekt HyMoBioStrategie (2015-2018)*.

Hoffmann, M. (2014). *Invasionen heimischer und neophytischer Wasserpflanzen- Untersuchungen an den Modellarten Najas marina ssp. intermedia und Elodea nuttallii.* München: Technische Universität München.

Joye,, D., & Rey-Boissezon, A. (2014). *Will charophyte species increase or decreas their distribution in a changing climate?* Aquatic Botany 120:. Von http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.05.003 abgerufen

Körner, S., Schreiber , E., & Walz, N. (2002). *Herbivory on submerged macrophytes- who`s to blame?* Stuttgart: Verh. Internat. Verein. Limnol. 28 (967-970).

Kraemer, B., Kakouei, K., Muntanu, C., Thayne, M. W., & Adrian, R. (2022). *Worldwide moderate-resolution mapping of lake surface chl-a reveals variable responses to global change (1997-2020).* PLOS Water 1 (10): e0000051. Abgerufen am 29. 04 2024 von https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000051

Lang, U., & Mirbach, S. (2024). *Modellierung von Motorbootwellen an ausgewählten Uferabschnitten des Wörthersees .* Stuttgart.

Lang, U., & Mirbach, S. (2024). *Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wörthersee anhand ausgesuchter Klimaszenarien.* Stuttgart.

Larkin, D., Monfils, A., Boissezon, A., Sleith, R., Skawinski, P., Welling, C., . . . Karol, K. (2018). *Biology, ecology, and management of starry stonewort (Nitellopsis obtusa;Characeae) A Red-listed Eurasian green alga invasive in Norh America.* Aquatic Botany 148.

Luger, M., Achleitner, D., Pamminger-Lahnsteiner, & Gassner, H. (2023). *Wörthersee (2022) Standardisierte Fischbestandserhebung und Bewertung des fischökologischen Zustandes gemäß EU-WRRL.*

Melzer, A., & Schneider, S. (2001). *Submerse Makrophyten als Indikatoren der Nährstoffbelasung von Seen.* In: Steinberg, Bernhardt, Klapper (eds.): Handbuch Angewandte Limnologie. VIII-1.2.1.

Mikula, K. (2012). *Literaturstudie: Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt stehender Gewässer.* Klagenfurt: Kärntner Institut für Klimaschutz.

Miller, S., & Crowl, T. (2006). *Effects of common carp (Cyprinus carpio) on macrophytes and invertebrate communities in al shallow lake.* Freshwater Biology 51 (85 - 94).

Ostendorp , W., & Van de Weyer, K. (2022). *Erosionsschutzmaßnahmen in Unterwasserdenkmälern am Bodensee-Obersee: Auswirkungen auf die Makrophytenvegetation und Naturshutzverträglichkeit.* Freiburg/Breisgau: Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz. doi:10.6094/BLNN/Mitt/25.02

Pall K., M. V. (2015). *Leitfaden zur Erhebung der Biologischen Qualitätselemente Teil B3 - Makrophyten.* Wien: Bundesmnisterium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Pall, K. (2009). *Makrophytenkartierung Wörthersee Bewertung.* Systema Bio-und Management Consulting GmbH. Amt der Kärntner Landesregierung Abt 8 Umwelt, Wasser und Naturschutz.

Pall, K. (2019). *Definition von Referenzbedingungen für die Seen der Inneralpinen Becken.* Systema Bio- und Management Consulting GmbH, Makrophyten-basierte Bewertung von Seen in Österreich. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Amt der Kärntner Landesregerung Abt.8.

Pall, K., & Pall, S. (2023). *Hydromorphologie Seen - Tätigkeitsbericht Feldarbeiten 2023.* Wien: Bundesministeriium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft.

Raeder, U. (2022). *Bayerische Seen im Klimawandel - Forschungsergebnisse der Technischen Universität München.* München: Bayrisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz.

Schaumburg, J., Wahl, B., Frey, W., Werner, S., & Hesselschwerdt, J. (2015). *Einfluss des Klimawandels auf Seen Literaturauswertungsstudie im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA.* Konstanz: KLIWA KLIWA - Kooperationsvorhaben Klimaveränderung und Wasserwirtschaft.

Schneider, S. (2004). *Indikatoreigenschaften und Ökologie aquatischer Makrophyten in stehenden und fließenden Gewässert.* Habilitationsschrift, Technische Universität München, München.

Schwoerbel, J. (1993). *Einführung in die Limnologie 7. Auflage.* Jena, Stuttgart: G, Fischer.

Uhlmann , D., & Horn , W. (2001). *Hydrobiologie im Binnengewässer.* Stuttgart: Verlag eugen Ulmer GmbH & Co.

van de Weyer, K., & Stuhr. (2021). *Entwicklung eines Handlungsleitfadens für die Ansiedlung von aquatischen Makrophyten in schleswig-holsteinischen Seen.* Flintbek: Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig Holstein.

Wolfram, G., & Karl, D. (2015). *Leitfaden zur typspezifischen Bewertng allgemein physikalisch-chemische Parameter.* Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.