LAND KÄRNTEN

# SCHUTZ- UND NUTZUNGSKONZEPT

## Wörthersee | Gesamtbericht

# Impressum:

**Herausgeber:**
Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 12 – Wasserwirtschaft
Unterabteilung Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft
Flatschacher Straße 70, 9021 Klagenfurt am Wörthersee

**Projektleitung:**
DI Dr. Barbara Kogelnig
Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 12 – Wasserwirtschaft
Unterabteilung Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft

**Projektkoordination:**
DI Dr. Karoline Angermann & Mag. Dr. Jacqueline Jerney
eb&p Umweltbüro GmbH
Bahnhofstraße 39/2
9020 Klagenfurt am Wörthersee.

**Fachliche Koordination**
Mag. Georg Santner & Dr. Roswitha Fresner
Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 8 – Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination
Unterabteilung Geologie und Gewässermonitoring
Kärntner Institut für Seenforschung

**Bildnachweis**
Titelbild: © Abteilung 8 – Kärntner Institut für Seenforschung

Datum 9. April 2025

# Inhalt


1 Einleitung ... 3
1.1 Hintergrund ... 3
1.2 Projektziel ... 4
1.3 Projektablauf und Beteiligte ... 4
1.3.1 Projektablauf ... 4
1.3.2 Projektbeteiligte ... 4
1.4 Projektinhalte und Ergebnisse ... 5
2 Ökologische Funktionsfähigkeit Wörthersee ... 7
2.1 Bewertung des ökologischen Zustands nach WRG ... 7
2.1.1 Makrophyten ... 7
2.1.2 Phytoplankton ... 10
2.1.3 Fische ... 10
2.1.4 Hydromorphologie ... 12
2.1.5 Allgemein chemisch-physikalische Qualitätskomponente ... 13
2.2 Weitere ökologische Untersuchungen ... 15
2.2.1 Makrozoobenthos ... 15
2.2.2 Röhricht - Schilf ... 16
2.2.3 Zirkulationsverhalten des Wörthersees - Meromixis ... 18
3 Mögliche Einflussfaktoren auf das Ökosystem und insbesondere Makrophyten ... 20
3.1 Biologische Einflussfaktoren ... 20
3.1.1 Wasservögel ... 20
3.1.2 Krebse ... 21
3.1.3 Neozoa ... 22
3.1.4 Fische ... 22
3.2 Wellenschlag ... 29
3.2.1 Wellenmessungen ... 29
3.2.2 Modellierung von Bootswellen - Auswirkung auf Sediment und Makrophyten ... 30
3.3 Stoffliche Belastungen ... 32
3.3.1 Nähr- und Schadstoffkonzentrationen der Zubringer ... 32
3.3.2 Antifouling ... 34
3.3.3 Sedimentuntersuchungen - Wiederbesiedelungspotenzial mit Characeae ... 34
3.4 Wassertemperatur-, Wasserstands- und Witterungsänderungen ... 36
3.5 Klimawandel ... 37
3.6 Nutzung der Seefläche ... 39
3.7 Verbauung Seefläche und Seeufer ... 41
3.8 Thermische Nutzung des Seewassers ... 43

3.9 Wasserentnahmen ... 43
4 Belastungsanalyse Makrophyten ... 44
4.1 Trübung ... 45
4.1.1 Trübung biotisch durch Phytoplankton ... 45
4.1.2 Biogene Entkalkung ... 45
4.1.3 Trübung abiotisch – physikalisch-chemische Entkalkung ... 45
4.2 Nährstoffeintrag ... 46
4.2.1 Nährstoffgehalt Freiwasser ... 46
4.2.2 Nährstoffgehalt Zubringer ... 47
4.2.3 Metrik Trophie-Indikation (TI) – Nährstoffzeiger ... 48
4.3 Wellenschlag ... 50
4.3.1 Einfluss von Wind- und Bootswellen ... 50
4.3.2 Wellenschutzzaun ... 53
4.4 Klimawandel ... 53
4.4.1 Einfluss des Klimas auf Makrophytenarten ... 53
4.5 Fische ... 55
4.6 Morphologie- Uferverbau ... 57
4.7 Resümee Belastungsanalyse Makrophyten ... 59
4.8 Handlungsbedarf für weitere ökologische Komponenten ... 62
5 Empfohlene Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Zustandes ... 63
5.1 Handlungsfelder ... 63
5.2 Empfohlene Maßnahmen ... 64
5.2.1 Empfohlene Maßnahmen zur Verbesserung der Uferstruktur ... 64
5.2.2 Empfohlene Maßnahmen zur Verbesserung der Fischpopulationen ... 69
5.2.3 Empfohlene Maßnahmen zur Reduktion des Wellenschlags ... 72
5.2.4 Empfohlene Maßnahmen zur Stärkung des See-Ökosystems ... 75
6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen ... 77
Glossar ... 78
Literaturverzeichnis ... 80
Abbildungsverzeichnis ... 83
Tabellenverzeichnis ... 84

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund

Der Wörthersee, einer der bekanntesten und beliebtesten Seen in Kärnten, ist nicht nur ein wichtiges Naherholungsgebiet für die lokale Bevölkerung und Touristen, sondern auch ein ökologisch sensibles Gewässer. Aufgrund seiner hohen Attraktivität ist der Wörthersee eine der bedeutendsten touristischen Destinationen in Kärnten und spielt eine zentrale Rolle in der regionalen Wirtschaft. Die hohe Attraktivität des Wörthersees führt jedoch auch zu erheblichen Nutzungseinflüssen. Insbesondere in den Ufer- und Flachwasserzonen prallen Schutz- und Nutzungsinteressen besonders stark aufeinander. Darüber hinaus stellen Klimaveränderungen (heiße Sommer, Starkregenereignisse, Niederschlagsmangel, starke Winde, atypische Winter usw.) zusätzliche Herausforderungen für den See dar.

Seit dem Jahr 2000 gilt in der EU die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die 2003 durch eine Novelle des Wasserrechtsgesetzes (WRG) in nationales Recht überführt wurde. Seit der Novelle 2003 erfolgt die Bewertung der Gewässer nach dem ökologischen Zustand. Der ökologische Zustand soll ausdrücken, wie natürlich und intakt das Ökosystem eines Gewässers ist. Er bewertet, ob Pflanzen (Makrophyten), Tiere und Wasserqualität im Gleichgewicht sind und ob schädliche Einflüsse das Ökosystem stören. Im Jahr 2021 wurden die Makrophyten im Wörthersee erneut untersucht, wobei sich signifikante Verschlechterungen zeigten.

> ***INFO***: Die Bewertung des ökologischen Zustands von Seen richtet sich nach den Vorgaben des WRG. Das WRG fordert, dass Gewässer einen mindestens „guten ökologischen Zustand“ aufweisen müssen (Verschlechterungsverbot) bzw. durch entsprechende Maßnahmen dorthin entwickelt werden sollen (Verbesserungsgebot). Dieser gute Zustand stellt einen Kompromiss zwischen naturbelassenem und anthropogen beeinflusstem Zustand dar. Gemessen wird dies über sogenannte Qualitätskomponenten, die stellvertretend für das Ökosystem den ökologischen Zustand anzeigen. Welche Werte diese Qualitätskomponente erreichen müssen, ist in der Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG) festgelegt. Für Seen werden dabei die biologischen Qualitätskomponenten Phytoplankton (Algen), Fische und Makrophyten (Wasserpflanzen) herangezogen. Nach dem „worst case“-Prinzip entscheidet das am schlechtesten bewertete Element über den ökologischen Gesamtzustand. Neben biologischen Qualitätskomponenten umfasst das WRG auch hydromorphologische und chemisch-physikalische Bewertungen und Zielvorgaben. Bei Nichterfüllung der Ziele (Zustand schlechter als gut) sind Verbesserungsmaßnahmen einzuleiten, um den See wieder in einen guten ökologischen Zustand zu überführen und diesen langfristig zu bewahren.

Nach dem Bewertungsprinzip der QZV Ökologie OG wird **der ökologische Gesamtzustand des Wörthersees nun mit „mäßig“ beurteilt**, obwohl die Qualitätskomponente Phytoplankton und Fische nach wie vor einen „guten“ Zustand aufweisen. Aus hydromorphologischer Sicht befindet sich der Wörthersee ebenfalls im mäßig veränderten Zustand. Diese Bewertung ist im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) 2021 festgeschrieben und wurde an die EU gemeldet. Es besteht nun die **gesetzliche Verpflichtung zur Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen**, die das Ziel haben, den Wörthersee wieder in einen guten ökologischen Zustand zu bringen.

**Ursachenforschung**: Eine Verschlechterung der Makrophyten kann unterschiedlichste Ursachen haben – wobei die Wechselwirkungen komplex sind. Um wirksame Verbesserungsmaßnahmen zu entwickeln, waren zunächst weitergehende Untersuchungen zu den ursächlichen Zusammenhängen erforderlich.

## 1.2 Projektziel

Im Rahmen des Schutz- und Nutzungskonzepts für den Wörthersee soll eine Grundlage für die langfristige Entwicklung des Wörthersees erarbeitet werden: dies beinhaltet die Definition von notwendigen Maßnahmen zur Erreichung bzw. Erhaltung des guten ökologischen Zustands, unter Berücksichtigung des rechtlich festgeschriebenen Gemeingebrauchs.

## 1.3 Projektablauf und Beteiligte

### 1.3.1 Projektablauf

Das Projekt gliederte sich in 2 Phasen. In der **Phase 1** (April 2022 bis Oktober 2023) fanden vertiefende Untersuchungen zur Ursachenklärung statt. Abgeschlossen wurde die Phase 1 durch einen Ergebnisworkshop, bei dem die Ergebnisse der Untersuchungen präsentiert wurden und auch sektorale Maßnahmenvorschläge aus fachlicher Sicht erarbeitet wurden. Anschließend an diese Veranstaltung startete die **Phase 2**, in der die Maßnahmen zusammengeführt, optimiert und konkretisiert wurden. Die Ergebnisse des Projekts wurden unter Berücksichtigung der fachlichen und rechtlichen Einschätzung der zuständigen Abteilungen im Gesamtbericht zusammengefasst.

### 1.3.2 Projektbeteiligte

Das Projekt leitete die Abteilung 12, Wasserwirtschaft des AKL, die auch Initiatorin war. Eine Steuerungsgruppe mit leitenden Mitarbeiter:innen des AKL (Abteilung 8 und 12) lenkte die Projektaktivitäten. Die fachliche Bearbeitung oblag zu großen Teilen dem Kärntner Institut für Seenforschung (Abteilung 8, AKL), welches auch die Bearbeitungen in Phase 1 fachlich koordinierte. Darüber hinaus waren in Phase 1 externe Expert:innen (Deutschland, Österreich) sowie Expert:innen des AKL im Bereich Naturschutz, Gewässerökologie, Fischereiwirtschaft und Wasserrecht involviert. Mit der Projekt-Gesamtkoordination wurde die eb&p Umweltbüro GmbH beauftragt.

Tabelle 1: Projektteam

| **Projektteam** |
|---|
| Abt. 12 – Wasserwirtschaftliche Planung:<br>DI Dr. Barbara Kogelnig<br>Projektleitung, Fachliche Bearbeitung Arbeitspaket Seenutzung |
| Abt. 8 – Kärntner Institut für Seeforschung:<br>Dr. Roswitha Fresner, Mag. Georg Santner<br>Fachliche Koordination, Bearbeitung Arbeitspaket Ökologie |
| eb&p Umweltbüro GmbH:<br>DI Dr. Karoline Angermann, Mag. Dr. Jacqueline Jerney<br>Projektkoordination, Fachliche Mitarbeit Arbeitspaket Seenutzung |

Tabelle 2: Externe Experten

| **Externe Expert:innen** | |
|---|---|
| **Organisation/Firma** | **Expertise/Arbeitspakete** |
| BAW Scharfling | Fischbestandserhebung (Ökolog. Zustand und Makrophytenfraß) |
| FH Kärnten, Geoinformation und Umwelttechnologie | Bootsfrequenz-Messungen |
| TU Graz, Inst. für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Institut für Geodäsie | Messung Wellenschlag |
| Ingenieurgesellschaft Kobus u. Partner | Simulation Wellenschlag (Wellenmodell) |
| systema Bio- und Management Consulting GmbH | Erhebung Hydromorphologie<br>Expertise Makrophyten und Maßnahmen (Dr. Karin PALL) |
| **Weitere Experten für Makrophyten und Maßnahmen** | |

| |
|---|
| Dr. Klaus van de WEYER, lana plan GbR, Dtl. |
| Dr. Thomas WOLF, LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Institut für Seenforschung, Dtl. |
| PD Dr. Wolfgang OSTENDORP, Limnologisches Institut, Uni Konstanz, Dtl. |

In der Phase 2 wurde der Kreis der Beteiligten auf die Betroffenen möglicher Maßnahmen erweitert: neben den Bundesforsten, denen die Verwaltung der Seegrundstücke obliegt, wurden die fachlichen Empfehlungen mit der Abteilung 7 - Wirtschaft, Tourismus und Mobilität, der Abteilung 15 – Standort, Raumordnung, Energie und der Abteilung 10 - Land- und Forstwirtschaft diskutiert.

## 1.4 Projektinhalte und Ergebnisse

In der folgenden Tabelle werden die Arbeitspakete der Phase 1 und die untersuchten Themen aufgelistet.

Die Arbeitspakete Ökologie und Seenutzung wurden in Teilarbeitspakete gegliedert, die von unterschiedlichen Expert:innen bearbeitet wurden. Die Ergebnisse liegen als **Fachberichte** vor (siehe Tabelle 3). In einem weiteren Fachbericht werden die erarbeiteten Maßnahmen beschrieben. Im gegenständlichen **Gesamtbericht** werden die Aussagen der Fachberichte zusammengefasst, die resultierenden Belastungen für die Makrophyten analysiert, Handlungsfelder definiert und die wichtigsten Maßnahmen dargestellt.

Tabelle 3: Liste der Fachberichte

| Nr. | Titel Fachbericht |
|---|---|
| | **Makrophyten** |
| 1.1 | Qualitätselement Makrophyten Wörthersee. Wiederholungsbeobachtung 2021 Teil A - Bewertung |
| 1.2 | Qualitätselement Makrophyten Wörthersee. Wiederholungsbeobachtung 2021 Teil B - Transektvergleich |
| 1.3 | Ökologischer Zustand Makrophyten, Biotische und abiotische Belastungen |
| | **Ursachen-Erhebung** |
| | **Ursachen-Erhebung: Fische** |
| 2.1.1 | Ökologischer Zustand Fische - Fischbestandserhebung |
| 2.1.2 | Fischereilicher Besatz |
| 2.1.3 | Auswertung Fragebögen Fischerei |
| 2.1.4 | Direkte und indirekte Beeinträchtigung des Makrophytenbestandes durch Fischfraß und Beweidung |
| 2.1.5 | Direkte und indirekte Beeinträchtigung des Makrophytenbestandes durch Fischfraß und Beweidung – Der Karpfen |
| 2.1.6 | Krebsbestand - Reusenmonitoring |
| | **Ursachen-Erhebung: Wellen** |
| 2.2.1 | Wellenmessung |
| 2.2.2 | Modellierung von Motorbootwellen an ausgewählten Uferabschnitten des Wörthersees |
| | **Morphologie** |
| 2.3.1 | Hydromorphologische Bewertung |
| | **Klimawandel** |
| 2.4.1 | Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wörthersee anhand ausgesuchter Klimaszenarien |
| 2.4.2 | Wassertemperatur-, Wasserstands- und Witterungsänderungen – Auswertung von Bestandsdaten |
| 2.4.3 | Zirkulationsverhalten des Wörthersees - Meromixis |
| | **Mögliche stoffliche Ursachen** |
| 2.5.1 | Allgemein physikalisch-chemische und ausgewählte Parameter |
| 2.5.2 | Nähr- und Schadstoffkonzentrationen der Zubringer |
| 2.5.3 | Antifouling |

| Nr. | Titel Fachbericht |
|---|---|
| 2.5.4 | Sedimentuntersuchungen - Wiederbesiedelungspotenzial mit Characeae |
| | **Mögliche biologische Ursachen** |
| 2.6.1 | Phytoplankton |
| 2.6.2 | Makrozoobenthos |
| 2.6.3 | Neozoa und seefremde Fischarten |
| 2.6.4 | Röhricht - Schilf |
| 2.6.5 | Wasservogelbestand |
| | **Seenutzung** |
| **3.1** | Nutzung Seefläche |
| **3.2** | Sicherheit am See |
| **3.3** | Verbauung Seefläche und Seeufer |
| **3.4** | Öffentliche Seezugänge und Bäder |
| **4** | **Empfohlene Maßnahmen zur Reduktion der Belastung** |

# 2 Ökologische Funktionsfähigkeit Wörthersee

## 2.1 Bewertung des ökologischen Zustands nach WRG

Die Qualitätszielverordnung Ökologie sieht zur Bewertung des ökologischen Zustands von Stillgewässern die Qualitätskomponente Makrophyten, Phytoplankton, Fische, Hydromorphologie und chemische bzw. physikalische Parameter vor. Gem. § 4 Abs. 7 QZV Ökologie OG befindet sich ein Oberflächenwasserkörper in einem guten ökologischen Zustand, wenn die im 2. bzw. 3. Hauptstück für den guten Zustand festgelegten Werte für die a) biologischen und b) allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten und die in den Anlagen B und C der QZV Chemie OG für den guten Zustand festgelegten Werte eingehalten werden, wobei der jeweils schlechteste Wert ausschlaggebend ist.

Die Methoden zur Erhebung der biologischen Qualitätskomponente sind den vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft veröffentlichten Leitfäden zu entnehmen. Grundsätzlich wird für die Bewertung der aktuelle Zustand unterschiedlicher Aspekte des Gewässers (Metriken der biologischen Qualitätskomponente) mit einem definierten Referenzzustand verglichen. Je größer die Abweichung vom Referenzzustand, desto schlechter der ökologische Zustand des jeweiligen Qualitätselements. Ausgedrückt wird dieser Zustand als sog. normiertes, ökologisches Qualitätsverhältnis (Ecological Quality Ratio, EQR) in einem Zahlenwert zwischen 0 (schlecht) und 1 (sehr gut) (siehe Abbildung 1). Das am schlechtesten bewertete Qualitätselement bedingt schließlich die Einstufung des ökologischen Zustands des gesamten Gewässers.

| Ökologischer Zustand | Norm. $EQR_{gesamt}$ |
|---|---|
| Sehr gut | ≥ 0,80 |
| Gut | 0,80 - 0,60 |
| Mäßig | 0,60 – 0,40 |
| Unbefriedigend | 0,40 – 0,20 |
| Schlecht | < 0,2 |

Abbildung 1: EQR-Wert und entsprechende Bewertung des ökologischen Zustands

Da es bei manchen Qualitätskomponenten nicht möglich ist, das Gewässer als Ganzes zu betrachten, bezieht man sich auf definierte, jeweils repräsentative Bereiche des Gewässers. Bei der Erhebung des Zustandes anhand der Makrophyten werden z.B. sog. Transekte, das sind normal zum Ufer verlaufende Streifen, betaucht. Andere Qualitätskomponente wie z.B Phytoplankton, beruhen auf der Entnahme von Proben.

### 2.1.1 Makrophyten

Fachberichte:

| | | |
|---|---|---|
| 1.1 | Qualitätselement Makrophyten Wörthersee. Wiederholungsbeobachtung 2021 Teil A – Bewertung | *M. Friedl et al.* |
| 1.2 | Qualitätselement Makrophyten Wörthersee. Wiederholungsbeobachtung 2021 Teil B – Transektvergleich | *M. Friedl et al.* |

Die Erhebung und Bewertung des Qualitätselements Makrophyten erfolgte nach den Vorgaben des „Leitfadens zur Erhebung der biologischen Qualitätskomponente - Teil B3 Makrophyten B3-01g_MPH“, ergänzt durch die aktualisierten Referenzbedingungen nach „SIBE - Makrophytenbasierte Bewertung von Seen in

Österreich“ (Pall 2019). Die Geländeerhebung erfolgte durch Betauchung unterschiedlicher Bereiche (sog. Transekte).

Eine erste Untersuchung des Qualitätselements Makrophyten nach den Vorgaben der QZV Ökologie OG im Wörthersee wurde 2007 durchgeführt. Es wurden 83 Transekte untersucht und der „gute ökologische Zustand“ festgestellt (Pall 2009). Für die Wiederholungsuntersuchung im Jahr 2021 wurde in Abstimmung mit dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft der Untersuchungsumfang auf 37 Transekte eingeschränkt. Die Kartierung fand zwischen 17. August und 1. September 2021 statt.

Die Ergebnisse von 2021 zeigten eine deutliche Verschlechterung des Makrophytenbestandes gegenüber dem Jahr 2007. Die Bewertung 2021 ergab einen Gesamt-EQR von 0,59 und entspricht hiermit nur mehr dem „mäßigem ökologischen Zustand“.

Für die Bewertung der Makrophyten wurden die fünf Einzelmetriken Vegetationsgrenze (VL), Trophieindikation (TI), Artenzusammensetzung (SC), Vegetationsdichte (VD), Vegetationszonierung (VZ) herangezogen. In Abbildung 2 ist für jede Einzelmetrik die Bewertung 2021 im Vergleich zu 2007 dargestellt.

2007 wurde das Qualitätselement Makrophyten mit einem EQR-Wert von 0,73 mit „gut“ bewertet. Methodisch bedingt (Pall, 2019) wurde der Gesamt-EQR-Wert von 2007 zwischenzeitlich von 0,73 auf 0,71 korrigiert. Die Metrik Vegetationsdichte (VD) lag insgesamt im „sehr guten“ Bereich, die übrigen vier Einzelmetriken entsprachen dem „guten“ Zustand.

2021 wies die Metrik Vegetationsdichte (VD) 2021 den „guten“ Zustand auf. Die Vegetationszonierung (VZ) verschlechterte sich in die „unbefriedigende“ Zustandsklasse. Die Metrik Vegetationsgrenze (VL) blieb mit der Gesamtbewertung „gut“ unverändert. Trophieindikation (TI) und Artenzusammensetzung (SC) zeigten „mäßige“ Verhältnisse an.

Generell ist bei den Makrophyten-Arten eine Verschiebung von *Najas intermedia* zu *Myriophyllum spicatum* sowie der Ausfall von Characeen-Arten zu beobachten.

Die Metrik **Vegetationszonierung (VZ)** beschreibt, ob die für den Seentyp vorgegebenen zonenspezifischen Arten in den definierten Tiefenbereichen in ausreichender Menge vorhanden sind. Bei der Vegetationszonierung (VZ), die sich am deutlichsten verschlechtert hat, ist dies neben der oben erwähnten Artenverschiebung auch auf den Rückgang bzw. das Fehlen der zonenspezifischen Characeen-Arten zurückzuführen.

Die **Trophieindikation (TI)** verschlechterte sich durch das Auftreten von Belastungszeigern wie *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton nodosus* und die Verschiebung zu *Myriophyllum spicatum*, deren Einstufung (Trophieindex) höheren Nährstoffverhältnissen entspricht.

Die **Vegetationsdichte (VD)** ist allgemein zurückgegangen – der größte Rückgang wurde dabei in der Veldener Bucht dokumentiert. Hier wurde auch eine deutliche Veränderung der maximalen Bewuchstiefe beobachtet.

Auch in Bezug auf die Kenngröße **Artenzusammensetzung (SC)** war die Abweichung vom Referenzzustand vor allem auf die Artenverschiebung von *Najas intermedia* zu *Myriophyllum spicatum* und das Fehlen der Characeenarten zurückzuführen.

Das Artenspektrum umfasste 29 Arten. Davon waren 22 der submersen Vegetation (gänzlich unter Wasser und ohne Ausbildung von Oberflächenblättern wachsend) zuzuordnen. Vier Arten repräsentierten die Röhricht-Vegetation *(Phragmites australis, Schoenoplectus lacustris, Typha angustifolia* und *Carex* sp.), und drei Arten (*Nuphar lutea*, *Nymphaea alba* und *Persicaria amphibia*) wurden den Schwimmblattformen zugeordnet. Characeen-Arten zählen zur submersen Vegetation. 2021 wurden nur vier Characeen-Arten (C*hara contraria, Ch. denudata, Nitella opaca* und *Nitellopsis obtusa*) festgestellt. Eine Pflanze konnte nur mit *Chara* sp. bestimmt werden. 2007 waren noch neun Characeen-Arten (*Chara contraria, Ch. globularis,*

*Ch. gymnophylla, Ch. intermedia, Ch. tomentosa, Ch. virgata, Lychnothamnus barbatus, Nitella opaca* und *Nitellopsis obtusa*) vorhanden.

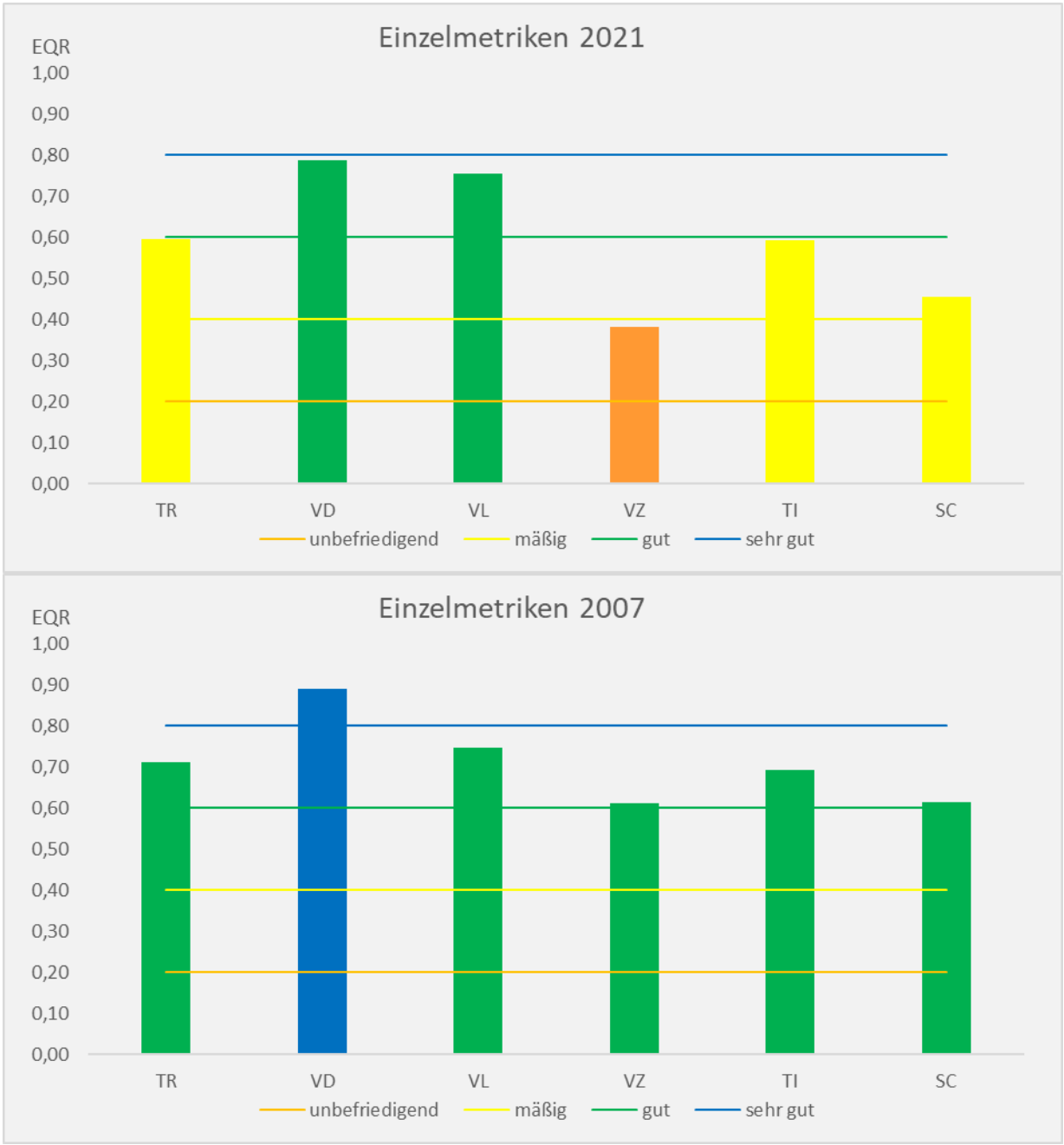


Abbildung 2: Vergleich des Gesamtwerts (TR) und der Einzelmetriken (VD, VL, VZ, TI, SC) 2021 und 2007 gewichtet auf die Uferlinie

**Resümee**: Die Bewertung des Qualitätselements Makrophyten für den Wörthersee verschlechterte sich von 2007 bis 2021 vom guten zum mäßigen ökologischen Zustand. Gem. WRG besteht nun Handlungsbedarf – es müssen Maßnahmen umgesetzt werden. Im Rahmen des Schutz- und Nutzungskonzepts Wörthersee sollen die Ursachen für die Verschlechterung bei den Makrophyten erhoben und ein Maßnahmenkatalog zur Verbesserung des ökologischen Zustandes erstellt werden.

### 2.1.2 Phytoplankton

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.6.1 | Phytoplankton | *R. Fresner* |

Die quantitative Analyse des Phytoplanktons folgt den Angaben des Leitfadens zur Erhebung der biologischen Qualitätskomponente Teil B2 Phytoplankton (Wolfram, Donabaum, & Dokulil, 2010) des BMLFUW.

Die jährlich bestimmten normierten EQR-Werte bescheinigen dem Wörthersee mit Ausnahme des Jahres 2011 einen „guten" Zustand. Die Werte erstrecken sich zwischen minimal 0,60 („mäßig") und maximal 0,77 („gut"). Mit einem EQR-Wert von 0,61 lagen die Jahre 2009, 2014 und 2019 sehr nah an der Grenze zu mäßig. Die bewertungsrelevanten 3-Jahresmittel jedoch befinden sich durchgehend im „guten" Zustand. Lediglich das 3-Jahresmittel von 2009 bis 2011 liegt mit einem EQR von 0,62 nahe an der Grenze zu „mäßig".

Tabelle 4: EQR- Werte der Qualitätskomponente Phytoplankton seit 2007

| Jahr | Gesamt EQR | Ökol. Zustand | 3-Jahresmittel | Gesamt EQR | Ökol. Zustand |
|---|---|---|---|---|---|
| 2007 | 0,76 | gut | | | gut |
| 2008 | 0,63 | gut | | | gut |
| 2009 | 0,61 | gut | 2007 - 2009 | 0,67 | gut |
| 2010 | 0,65 | gut | 2008 - 2010 | 0,63 | gut |
| 2011 | 0,60 | mäßig | 2009 - 2011 | 0,62 | gut |
| 2012 | 0,64 | gut | 2010 - 2012 | 0,63 | gut |
| 2013 | 0,69 | gut | 2011 - 2013 | 0,64 | gut |
| 2014 | 0,61 | gut | 2012 - 1014 | 0,65 | gut |
| 2015 | 0,64 | gut | 2013 - 2015 | 0,65 | gut |
| 2016 | 0,64 | gut | 2014 - 2016 | 0,63 | gut |
| 2017 | 0,69 | gut | 2015 - 2017 | 0,66 | gut |
| 2018 | 0,62 | gut | 2016 - 2018 | 0,65 | gut |
| 2019 | 0,61 | gut | 2017 - 2019 | 0,64 | gut |
| 2020 | 0,77 | gut | 2018 - 2020 | 0,67 | gut |
| 2021 | 0,67 | gut | 2019 - 2021 | 0,68 | gut |
| 2022 | 0,70 | gut | 2020 - 2022 | 0,71 | gut |

**Resümee:** Die Bewertung des Qualitätselements Phytoplankton im Wörthersee erfolgt jährlich. Die Bewertung ergab von 2007-2022 durchwegs den guten Zustand - mit Ausnahme des Jahres 2011 (mäßiger Zustand). Ein negativer Einfluss der Entwicklung des Phytoplanktons auf die Makrophyten wäre bei Zunahme des Phytoplankton-Biovolumens und einer damit verbundenen Verringerung der Lichttransmission gegeben. Da das Phytoplankton-Biovolumen im See aber abgenommen hat, kann das Phytoplankton als Ursache für den Makrophyten Rückgang ausgeschlossen werden.

### 2.1.3 Fische

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.1.1 | Ökologischer Zustand Fische - Fischbestandserhebung | *M. Luger et al.* |

Die Erhebung und Bewertung des Qualitätselements Fische erfolgte 2022. Die Befischungsmethoden (Kiemennetzbefischung, Uferelektrobefischung und Hydroakustik) und die Bewertung beruhten auf den Leitfaden des BMLFUW (B1 Leitfaden See - Qualitätselement Fische). Die Ergebnisse wurden mit einer Befischung aus dem Jahr 2008 verglichen.

Im Rahmen der **Kiemennetzbefischung** wurden im Wörthersee 15 Fischarten nachgewiesen. Von diesen Arten waren Kaulbarsch und Zander als standortfremd und der Sonnenbarsch als exotisch einzustufen. Sechs ursprünglich im Wörthersee vorkommende Arten konnten mit dem Standardbefischungsprogramm nicht belegt werden (Aalrutte, Karausche, Gründling, Hecht, Schleie, Wels).

Insgesamt wurden im Jahr 2022 2.069 Fische mit einem Gesamtgewicht von 126,65 kg gefangen. Die gewichtsmäßig häufigsten Fischarten waren Rotauge (26,3 kg) und Flussbarsch (24,3 kg), beide zusammen stellten 40 % des Fanges. Weitere Arten mit einem hohen Gewichtsanteil waren Seelaube (19,7 kg; 16 %), Renke (18,4 kg; 14 %), Güster (17,0 kg; 13 %) und Zander (10,2 kg; 8 %). Bei der Befischung von 2004 wurden vergleichsweise 2.692 Fische mit einem Gesamtgewicht von 98,9 kg gefangen.

Betrachtet man die Individuenanzahl der verschiedenen Arten, so fielen aktuell 37 % (n = 757) des Gesamtfanges auf das Rotauge. Seelaube mit 21 % (n = 426), Flussbarsch mit 17% (n = 355) und Güster mit 11 % (n= 224) trugen ebenfalls erheblich zum Fangergebnis bei.

Im Zuge der **Uferelektrobefischung** konnten 1.330 Fische auf Artniveau bestimmt und ihre Länge gemessen werden. Durch die Elektrobefischung konnten Hecht (n = 15; 1%) und Forellenbarsch (n = 1; <1%) im Wörthersee nachgewiesen werden. Den Hauptanteil der Fischartengemeinschaft im Uferbereich stellten das Rotauge (n = 358; 27%) und der Sonnenbarsch (n = 317; 24%). Auch Aitel und Rotfeder trugen nennenswert zum Fang bei (beide n = 228; 17%).

**Hydroakustik**: Die Auswertung der Aufnahmen aller drei Termine ergab eine mittlere Fischbiomasse von 68 kg/ha (± 7 kg/ha Standardabweichung; n = 3). Im Vergleich zur Untersuchung 2008 (Mittelwert 18 kg/ha) bedeutete das einen fast um das Vierfache höheren Wert.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse errechnet sich für den Wörthersee aktuell der stabil gute Fischökologische Zustand (EQR=0,76). Anzumerken ist, dass bei der Leitfischart Laube einige Größenklassen nur durch Einzelexemplare belegt sind. Ein Ausfall dieser Größenklassen würde eine schlechtere Bewertung dieser Metrik bedingen.

| Wörthersee 2022 | | |
|---|---|---|
| Anzahl Arten Überblick | Anzahl urspr. Arten | 18 |
| | Anzahl aktuelle Arten | 22 |
| | Artenfehlbetrag | 2 |
| | Anzahl Fremdfischarten | 6 |
| | **Metric** | **EQR** |
| Arteninventar | AI typspezifische Fischarten | 0,89 |
| | Anteil AI Fremdfischarten | 0,76 |
| | Abundanzindex Kleinfischarten | 0,63 |
| | Abundanzindex stenöke Arten | 0,60 |
| Gilden | Abundanzindex Laichwanderer | 0,88 |
| | Abundanzindex Laichgilden | 0,73 |
| LF | Längenfrequenz Leitfischart | 0,79 |
| BM | Fischbiomasse | 0,80 |
| | **MEAN EQR** | **0,76** |

AI…Abundanzindex

Abbildung 3: Detail- und Gesamtergebnisse der Fischbestandserhebung 2022

**Resümee:** Insgesamt wurden im Jahr 2022 22 Fischarten nachgewiesen. Somit ist die Artengemeinschaft mit Ausnahme des Aals, der nicht mehr nachgewiesen wurde, gleich zu jener von 2004. Deutliche Veränderungen, sowohl Zuwächse als auch Abnahmen, wurden in den Kiemennetzergebnissen bei Gewicht und Anzahl von manchen Arten festgestellt. Die Längenfrequenzverteilung der Leitfischart

Laube stellte sich deutlich verändert dar und wies nennenswerte Defizite auf. Die Gesamtfischbiomasse betrug aktuell 68 kg/ha (2008: 18 kg/ha), lag somit nahe an der Referenz und zeigte eine erfreuliche Verbesserung zur vorherigen Erhebung. Eine maßgebliche Erklärung ist sehr wahrscheinlich in der gestärkten Renkenpopulation zu finden. Insgesamt wird der fischökologische Zustand des Wörthersees mit „gut" bewertet. Die Defizite bei der Leitfischart Laube sollten näher untersucht und ein Risiko durch erhöhten Bootsverkehr/Wellenschlag geprüft werden.

### 2.1.4 Hydromorphologie

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.3.1 | Hydromorphologische Bewertung | *K. Pall, B. Kogelnig* |

Gemäß den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist bei der Bewertung von Oberflächengewässern, unterstützend zu den biologischen Qualitätskomponenten, auch die Hydromorphologie zu berücksichtigen. Zur Beurteilung der diesbezüglichen Verhältnisse an Seen sind neben Angaben zum Wasserhaushalt auch Daten zur Morphologie zu berücksichtigen. Bewertungen nach WRRL haben prinzipiell gewässertypspezifisch und zwar in der Weise zu erfolgen, dass der aktuelle, meist vom Menschen deutlich beeinflusste Zustand eines Gewässers mit dem anthropogen weitestgehend unbeeinflussten Referenzzustand verglichen werden muss. Hierzu ist die Kenntnis der gewässertypspezifischen Referenzbedingungen erforderlich. Ein Ziel der Bearbeitung war es daher weiters, die Referenzbedingungen hinsichtlich Hydromorphologie zu erfassen und in die jeweiligen Referenzdatenbanken aufzunehmen. Die Bewertungsmethode von hydromorphologischen Gegebenheiten mittels Überblicks-Aufnahmemethode (Pall K. & Plachy, B. 2017) erfolgt anhand von fünf Metriken, welche verschiedene Komponenten der Ufersituation widerspiegeln.

Für den Wörthersee ergab sich nach vorläufiger Methode des Hydromorphologie-Überblicksverfahrens „HYMO-Screen" ein EQR-Wert von 0,5440 und damit ein „**mäßig veränderter hydromorphologischer Zustand**" (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5. Ergebnisse der hydromorphologischen Bewertung – Metriken

| EQR-LN | EQR-VT | EQR-UV | EQR-US | EQR-Morphologie | EQR-Hydrologie (HY) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,5066 | 0,5467 | 0,4242 | 0,5481 | 0,5064 | 0,6938 |
| **EQR gesamt = 0,5440<br>Hydromorphologischer Zustand = „mäßig verändert"** | | | | | |

Die Detailergebnisse (siehe Tabelle 5) zeigen, dass einzig die Metrik „Hydrologie" (HY), errechnet aus dem Vergleich aktueller (2016 bis 2020) mit historischen (1903 bis 1907) Pegeldaten, einen „leicht veränderten" Zustand aufweist. Alle übrigen Metriken, betreffend die Landnutzung (LN), die Vegetation (VT), den Uferverbau (UV) und die Uferstruktur (US) wurden mit „mäßig verändert" bewertet. Am schlechtesten schneidet hierbei die Metrik „Uferverbau" (UV) ab.

Uferabschnitte, welche morphologisch als „umfangreich verändert" eingestuft wurden, finden sich in Velden, Pörtschach, Klagenfurt und ein kurzer Abschnitt in Bad Saag. Einige naturnahe Abschnitte finden sich im Bereich Forstseekraftwerk, Blumeninsel, Buberlemoos, Walterskirchen, Lendspitz, bei Maria Wörth und vor Cap Wörth (siehe Abbildung 4).

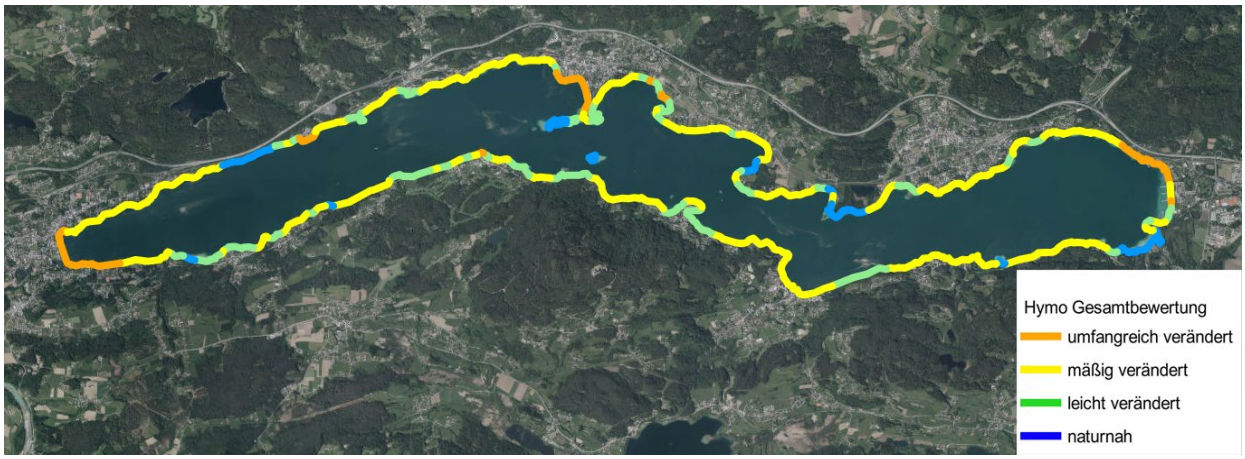


Abbildung 4: Übersicht über die hydromorphologische Bewertung der Uferabschnitte am Wörthersee

**Resümee:** Die hydromorphologische Bewertung des Wörthersees ergab deutliche Defizite bei den Metriken Landnutzung und Uferstruktur, sowie noch stärker bei der Metrik Uferverbau. Die schlechte Bewertung ist hauptsächlich auf den hohen Verbauungsgrad zurückzuführen.

Die Hydrologie hingegen wurde als naturnah eingestufte und verbessert dadurch auch die Gesamtbewertung der Hydromorphologie des Wörthersees.

Als umfangreich verändert wurden Abschnitte vor Velden, Bad Saag, Pörtschach und Klagenfurt bewertet. Die Bewertung zeigt, dass die Morphologie am Wörthersee eine deutliche Abweichung vom Referenzzustand aufweist und Maßnahmenpakete u.a. darauf ausgerichtet sein müssen, diese Defizite zu verringern.

### 2.1.5 Allgemein chemisch-physikalische Qualitätskomponente

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.5.1 | Allgemein physikalisch-chemische und ausgewählte Parameter | *R. Fresner* |

Die Erhebung und Bewertung der allgemein physikalisch-chemischen Parameter folgt dem „Leitfaden zur typspezifischen Bewertung gemäß WRRL allgemein physikalisch-chemische Parameter in Seen“ (Wolfram & Donaubaum, 2015). Die ökologische Zustandsklasse wird dabei über den Gesamt-Phosphor und die Sichttiefe bestimmt.

Die **Gesamt-Phosphor**-Werte werden im Mixolimnion gemessen, welches im Wörthersee von 0-50 Meter Tiefe reicht. Der gemessene Wert wird volumsgewichtet und als Jahresmittelwert berechnet. Davon wird der EQR-Wert abgeleitet und der Ökologische Zustand bestimmt. Im Zeitraum von 2007 bis 2022 wurde der Gesamtphosphor, dargestellt als 3-Jahresmittel, dreimal (2017 bis 2021) mit mäßig bewertet. In allen anderen Zeiträumen gab die Bewertung den guten ökologischen Zustand wieder (Tabelle 6).

Die **Sichttiefe** ist ein Maß für die Trübe eines Gewässers. Sie wird vorwiegend vom Plankton - im Wasser schwebende tierische und pflanzliche Organismen - beeinflusst, und ist daher als Trophie-Indikator geeignet. Die EQR-Werte für die Sichttiefe im 3-Jahresmittel sind der Tabelle 6 zu entnehmen. Ersichtlich ist, dass nur zweimal (2012-2014 und 2019-2021) der mäßige, an allen anderen 3-Jahresmitteln der gute ökologische Zustand festgestellt werden konnte.

Tabelle 6: Qualitätskomponente Gesamt-Phosphor (P gesamt) – volumsgewichete Konzentration im Mixolimnion (0-50m), Sichttiefe und davon abgeleitet EQR-Werte und Ökologischer Zustand, dargestellt im 3-Jahresmittel.

| 3-Jahresmittel | P gesamt [µg/l] | EQR P gesamt | Ökol. Zustand | Sichttiefe [m] | EQR Sichttiefe | Ökol. Zustand |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2007 - 2009 | 13,24 | 0,46 | gut | 4,6 | 0,61 | gut |
| 2008 - 2010 | 13,36 | 0,46 | gut | 4,2 | 0,56 | gut |
| 2009 - 2011 | 13,33 | 0,44 | gut | 4,0 | 0,54 | gut |
| 2010 - 2012 | 12,81 | 0,47 | gut | 4,3 | 0,58 | gut |
| 2011 - 2013 | 12,63 | 0,48 | gut | 4,2 | 0,56 | gut |
| 2012 - 1014 | 12,96 | 0,46 | gut | 3,9 | 0,52 | mäßig |
| 2013 - 2015 | 13,66 | 0,44 | gut | 4,3 | 0,58 | gut |
| 2014 - 2016 | 13,41 | 0,45 | gut | 4,8 | 0,64 | gut |
| 2015 - 2017 | 14,49 | 0,42 | gut | 5,1 | 0,69 | gut |
| 2016 - 2018 | 14,20 | 0,43 | gut | 4,6 | 0,61 | gut |
| 2017 - 2019 | 15,06 | 0,40 | mäßig | 4,3 | 0,57 | gut |
| 2018 - 2020 | 15,16 | 0,41 | mäßig | 4,1 | 0,55 | gut |
| 2019 - 2021 | 14,53 | 0,41 | mäßig | 3,9 | 0,52 | mäßig |
| 2020 - 2022 | 12,99 | 0,47 | Gut | 4,2 | 0,55 | gut |

**Resümee:** Anhand der allgemeinen physikalisch-chemischen Parameter, die seit 2007 dem Leitfaden entsprechend ausgewertet werden, wird dem Wörthersee im 3-Jahresmittel vorwiegend ein „guter“ und nur gelegentlich ein „mäßiger“ ökologischer Zustand bescheinigt.

## 2.2 Weitere ökologische Untersuchungen

### 2.2.1 Makrozoobenthos

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| *2.6.2* | Makrozoobenthos | *M. Konar* |

Das Makrozoobenthos wird erst seit kurzem als zusätzliches Qualitätselement zur Beurteilung des ökologischen Zustands von Stillgewässern herangezogen, die Methode ist im „Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente, Teil B.4. Makrozoobenthos in Seen – Qualitätselement Makrozoobenthos“ (BML, 2021) beschrieben. Im Rahmen zur Ausarbeitung dieses Leitfadens wurde von der Firma DWS Hydrobiologie im Sommer 2019 auch der Wörthersee untersucht.

Von den zehn bewerteten Messstellen wurden zwei mit „schlecht“ und vier mit „mäßig“ beurteilt. Die übrigen vier Messstellen wurden mit „gut“ eingestuft. Ein erster visueller Vergleich des Uferverbauungsgrades mit den Makrozoobenthos-Bewertungsergebnissen zeigte keinen eindeutigen Zusammenhang. Die Ergebnisse der Makrozoobenthoserhebung korrelieren auch kaum mit dem, den Messstellen zugewiesenen SFI (Lakeshore Funktion Index) der ein Maß für den Verbauungsgrad darstellt.

Tabelle 7: MZB-ökologischer Zustand der einzelnen Messstellen am Wörthersee 2019 (MILA -Multimetrische Index for Lakes).

| Messstelle | MILA | EQR | Zustandsklasse | |
|---|---|---|---|---|
| WOE 1 | -0,10 | -0,16 | V | schlecht (bad) |
| WOE 2 | 0,44 | 0,68 | II | gut (good) |
| WOE 3 | 0,45 | 0,7 | II | gut (good) |
| WOE 4 | 0,38 | 0,59 | III | mäßig (moderate) |
| WOE 5 | 0,39 | 0,61 | II | gut (good) |
| WOE 6 | 0,38 | 0,59 | III | mäßig (moderate) |
| zWOE 7 | 0,02 | 0,04 | V | schlecht (bad) |
| WOE 8 | 0,31 | 0,49 | III | mäßig (moderate) |
| WOE 9 | 0,41 | 0,64 | II | gut (good) |
| WOE 10 | 0,34 | 0,53 | III | mäßig (moderate) |

**Resümee:** Anhand der noch relativ jungen Bewertungsmethoden reicht die Bewertung der beprobten Messstellen im Wörthersee von „gut“ bis „schlecht“. Eine Korrelation zwischen dem berechneten EQR und dem Verbauungsgrad lässt sich nicht herstellen. Zur Analyse der Ursachen für die ökologische Verschlechterung des Sees wird dieses Qualitätselement daher nicht weiter herangezogen.

### 2.2.2 Röhricht - Schilf

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.6.4 | Röhricht - Schilf | *G. Santner* |

Intakte Röhrichtflächen (wie z.B. Schilf- oder Rohrkolbenbestände) tragen maßgeblich zur Reinigung von Gewässern bei. Schilfflächen haben eine wesentliche Funktion für den Erosionschutz des Ufers. Röhrichtbestände stellen für viele Tierarten sowohl Lebensraum als auch Nahrungsquelle dar. Nicht zuletzt ist der Schilfbestand ein typisches Florenelement im Flachwasserbereich und wird als naturnah und ästhetisch im Landschaftsbild wahrgenommen. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den vielfach wahrgenommenen Rückgang des Röhrichtbestandes zu dokumentieren und Zusammenhänge mit den gegenständlichen Fragestellungen aufzuzeigen. Die Analyse der Luftbilder aus den 1950er Jahren in Zusammenschau mit den perspektivischen Aufnahmen von Ansichtskarten und Fotos hat für den Wörthersee für die 1950er Jahre einen Gesamtbestand an Röhrichtflächen von 559.000 m² 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 2019 konnte für den See eine Röhrichtfläche von 241.000 m² festgestellt werden. Somit ist **seit den 1950er Jahren der Röhrichtbestand um 57 % zurückgegangen**. In 22 von 83 Abschnitten beträgt der aktuelle Bestand an Röhricht weniger als 30 % des Niveaus, das in den 1950er Jahren verzeichnet wurde. So ist beispielsweise an der Schlangeninsel (Blumeninsel) bei Pörtschach ein Rückgang von 71 % feststellbar (Abbildung 5).

Abbildung 5: Aktuelles Luftbild (Quelle: KAGIS) der Schlangeninsel (Blumeninsel) mit Schilfbestand der 1950er Jahre (weiß schraffierte Fläche) und aktuellen Schilfbestand; die Farbkodierung gibt den Anteil am ursprünglichen Bestand an

Bei Cap Wörth, an der Südseite des Veldener Beckens des Wörthersees war ursprünglich der gesamte Flachwasserbereich mit Röhricht bewachsen. Hier sind rezent nur noch 7.200 m² vorhanden, was einem Rückgang von 81 % entspricht.

Im Zuge dieser Arbeit wurde auch die Uferbestanderhebung der Abt. 12 zum Vergleich mit dem Röhricht herangezogen. Die Uferlinie des Wörthersees beläuft sich ca. auf 47.302 m. Laut den Erhebungen der Abt. 12 sind davon noch ca. 18.470 m unverbaut. Somit sind über 28.000 m oder 60 % der Uferlinie beeinträchtigt. Beachten werden muss hier, dass die Erhebungen nur die unmittelbare Uferlinie betreffen.

Unverbaut ist auch nicht gleichbedeutend mit naturnah. Erhebungen des Kärntner Instituts für Seenforschung (Schulz, 2008) haben ergeben, dass nur 23 % des Ufers als natürlich oder naturnah zu bezeichnen sind. In weiterer Folge wurde der Anteil der Uferverbauung in einem bestimmten Abschnitt mit dem Rückgang des Röhrichts in Beziehung gebracht. Dies einerseits auf Grundlage der Schilfpotenzialfläche und andererseits des Schilfbestandes der 1950er Jahre.

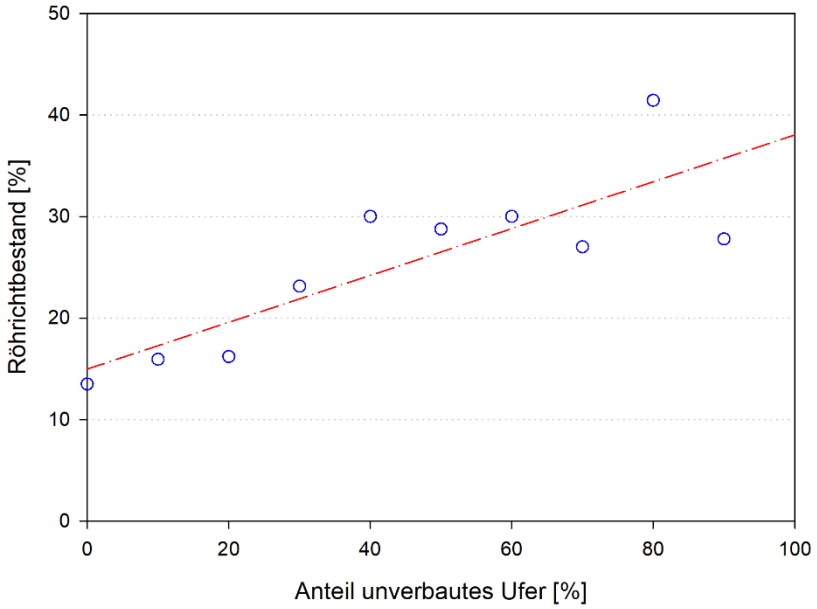


Abbildung 6: Verhältnis von Röhrichtbestand und unverbautem Ufer: y-Achse: Anteil des aktuellen Röhrichtbestandes an der Schilfpotenzialfläche; x-Achse: Anteil des unverbauten Ufers am Gesamtufer des Abschnittes

Der negative Zusammenhang zwischen dem Verbauungsgrad des Ufers (Betonmauer, Steinschlichtung, Holzverbau, Blockwurf) und dem Anteil des rezenten Röhrichtbestandes an der Potentialfläche ist deutlich erkennbar. Abbildung 6 zeigt, dass der Schilfbestand mit zunehmendem Anteil an unverbauten Ufer am jeweiligen Abschnitt zunimmt.

Es ist davon auszugehen, dass eine Auswirkung von Wellenenergie auf den Röhrichtbestand, im konkreten von Motorboot- und Schiffswellen gegeben ist (Binz-Reist, 1989). Die Scherwirkung von Treibgut wird durch Wellen verstärkt. Energiereiche Wellen verstärken die Ufererosion.

Ein Zusammenhang der Wellenenergie mit dem Grad der Uferverbauung ist evident. An natürlichen, flach auslaufenden Uferabschnitten wird eine auftretende Welle absorbiert werden. An einem hart verbauten Ufer (senkrechte Verbauung) wird die Welle beim Auftreffen auf die Verbauung reflektiert. In der Wellenmodellierung konnte eine Verstärkung der Auswirkungen von Motorbootwellen durch eine harte Uferverbauung nachgewiesen werden (siehe Kap. 4.3). Schilfschutzzäune, wie bei der Kapuziner Insel, die einen Gutteil der Wellenenergie absorbieren, zeigen eine (wenn auch sehr langsame) Erholung des geschützten Röhrichtbestandes.

**Resümee**: Mit den Untersuchungen in diesem Arbeitspaket wurde erstmalig der Rückgang des Röhrichts für den Wörthersee quantifiziert. Dieser ist mit über 50 % im Vergleich zum Bestand der 1950er Jahre beträchtlich. Aufgrund der zu dieser Zeit beginnenden Eutrophierung kann der Wert allerdings nicht direkt als Referenz herangezogen werden. Ob das zusätzliche Nährstoffangebot ein zusätzliches Schilfwachstum hervorgebracht hat, kann nicht abschließend beurteilt werden. Vergleichsfotos mancher Stellen am See aus den 1930er Jahren und früher lassen dies nicht vermuten. Ostendorp (1993) gibt Gewässereutrophierung als Grund für Schilfrückgang an.

Die Ursachen für den Schilfrückgang sind vielgestaltig und lassen sich nicht auf einzelne Faktoren beschränken. Es ist davon auszugehen, dass in den Nachkriegsjahren, bis in die frühen 1980er Schilf direkt entfernt wurde.

In der Literatur wird der Wellengang durch Motorboote (mit Verbrennungsmotoren oder starken Elektromotoren) als mögliche Ursache für den Rückgang des Röhrichts genannt. Mit 960 Motorbootlizenzen hat der Wörthersee ein hohes Verkehrspotenzial. Es ist daher davon auszugehen, dass der Wellenschlag der Motorboote am Wörthersee eine wesentliche Rolle für den Rückgang des Schilfröhrichts spielt. Dies ist auch durch das (wohl langsame) Wiedererstarken des Schilfs innerhalb des Schutzzaunes an der Kapuziner Insel und auch beim Kraftwerk Forstsee dokumentiert.

Ein hoher Prozentsatz der Uferlinie des Wörthersees ist verbaut, was die Wechselwirkung zwischen See und Umland stark reduziert. Dies erschwert den genetischen Austausch des Schilfrohrs und verstärkt die Auswirkungen der durch Motorboote erzeugten Wellen.

Der Schilfbestand hat nicht nur eine hohe ökologische Wertigkeit aufgrund seiner Filterleistung und als Lebensraum für viele Tierarten, sondern spielt auch in der ästhetischen Wahrnehmung einer Wasserfläche eine erhebliche Rolle. Aufnahmen des Wörthersees mit Röhrichtflächen entsprechen einem klassischen Sujet und bilden einen Standard in der touristischen Vermarktung. Der Schutz des Röhrichts und Maßnahmen zur Verbesserung der Lebensraumbedingungen sollten daher nicht nur aus ökologischer Sicht Vorrang haben.

### 2.2.3 Zirkulationsverhalten des Wörthersees - Meromixis

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.4.4 | Zirkulationsverhalten des Wörthersees – Meromixis | *G. Santner* |

Der Sauerstoffgehalt und die Wassertemperatur des Wörthersees werden seit ca. 1930 in verschiedenen Tiefenzonen gemessen. Bereits in den 1930er Jahren wurde festgestellt, dass sich das Seewasser zyklisch durchmischt. Die Durchmischung des Wassers umfasst in der Regel aber nicht den ganzen Wasserkörper sondern reicht bis zu einer Tiefe zwischen 50 und 80 m. Der Prozess der unvollständigen Zirkulation wird auch „Meromixis“ genannt. Meromiktische Seen weisen zwei Schichten auf: das Mixolimnion (durchmischt) und das Monimolimnion (nicht durchmischt), die sich voneinander in erster Linie durch den Sauerstoffgehalt unterscheiden. Als Monimolimnion bezeichnet man das stagnierendem Tiefenwasser, welches von den Stoffkreisläufen ausgeschlossen ist, daher ist es in der Regel sauerstofffrei. In einer Analyse der vorliegenden Messdaten wurde untersucht, inwieweit sich das Zirkulationsverhalten und die Sauerstoffverhältnisse des Wörthersees seit den 1930er Jahren verändert haben.

Aufgrund der fehlenden Eisbedeckung in Verbindung mit der sehr spät stattfindenden „Herbst“-zirkulation (jeweils erst Ende Dezember, Anfang Jänner) zeigt der Wörthersee derzeit keine Schichtungsphase zwischen Herbst/Winter- und Frühjahrszirkulation. Der See durchmischt nur einmal im Jahr von Ende Jänner bis Anfang/Mitte März. Das Zirkulationsverhalten des Wörthersees ist daher als monomiktisch zu bezeichnen.

Aufgrund der verkürzten Zirkulationsphase des nunmehr monomiktischen Seentyps kann Sauerstoff nicht mehr in ausreichender Menge in das Tiefenwasser transportiert werden. Vollzirkulationen konnten seit 2014 nicht mehr beobachtet werden.

Aufgrund des ansteigenden sauerstofffreien Tiefenwassers wird dadurch der Lebensraum für Fische (und Invertebraten) prinzipiell kleiner. Für Kaltwasserformen wie die Seeforelle, aber auch die Reinanke erfolgt eine weitere Einschränkung des nutzbaren Raumes, da die stark erwärmten oberflächlichen Wasserschichten als Lebensraum nicht dauerhaft nutzbar sind.

**Resümee**: Im Vergleich zu den 1930er Jahren wurde eine Veränderung des Zirkulationsverhaltens des Wörthersees beobachtet: Der See durchmischt nicht mehr zweimal, sondern nur mehr einmal im Jahr

von Ende Jänner bis Anfang/Mitte März. Der Grund dafür wird in erster Linie in der stärkeren Erwärmung der oberen Wasserschichten im Sommer bzw. der geringeren Abkühlung im Winter gesehen. Aufgrund der verkürzten Zirkulationszeit kann Sauerstoff nicht mehr in ausreichender Menge in das Tiefenwasser transportiert werden. Die Mächtigkeit des sauerstofffreien Tiefenwassers hat in Folge zugenommen – dadurch reduziert sich prinzipiell der Lebensraum für Fische (und Invertebraten).

# 3 Mögliche Einflussfaktoren auf das Ökosystem und insbesondere Makrophyten

Das Ziel des WRG ist die Erreichung des guten ökologischen Zustandes bis längstens 2027. Der Wörthersee verfehlt den Zielzustand aufgrund des Qualitätselements Makrophyten. Daher sind gem. WRG Verbesserungsmaßnahmen zu treffen, welche die anthropogenen Belastungen auf das Qualitätselement Makrophyten reduzieren.

Aus diesem Grund wurden auf Basis der Zustandsdaten in Kapitel 2 mögliche Einflussfaktoren auf das Ökosystem Wörthersee und insbesondere auf die Belastungen der Makrophyten untersucht. Die Untersuchungen und Analysen wurden von den Makrophytenexpert:innen Dr. Karin Pall und Dr. Klaus van de Weyer beratend unterstützt.

## 3.1 Biologische Einflussfaktoren

### 3.1.1 Wasservögel

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.6.5 | Wasservogelbestand | *W. Petutschnig* |

Die Erhebung des Wasservogelbestandes am Wörthersee für dieses Projekt erfolgte im Jänner und zur Brutzeit im Juni 2022 und 2023.

Darüber hinaus wurden Daten aus jährlichen Wasservogelzählungen verwendet: Über einen Zeitraum von 55 Jahren wurden für die Winterzählung die Wasservogelbestände in Kärnten im Mittwinter erhoben (Petutschnig & Wagner, 1999; Wagner & Petutschnig, 2023). Neben der Winterzählung erfolgten von 2004 bis 2014 sowie in den Jahren 2022 und 2023 jährliche Erhebungen des Wasservogel-Brutbestandes jeweils im Monat Juni. Seit 2012 wird für den Wörthersee monatlich zwischen Oktober und April zusätzlich eine Kormoranzählung am Schlafplatz durchgeführt. Die Entwicklung des Kormoranbestandes und anderer fischfressender Vogelarten ist in Malle & Petutschnig (2020) dargestellt.

Der Winterbestand der Wasservögel ist stark abnehmend. Zuletzt konnten im Jänner 2024 nur noch 1.221 Individuen erfasst werden. Der höchste Wert betrug 6.933 Individuen im Jahr 2002. In der Zeit zwischen 2004 und 2023 erfolgten jeweils im Juni Erhebungen zum Wasservogel-Brutbestand. Auch die Werte für den Wasservogel-Brutbestand (Anzahl der Brutpaare bzw. revierhaltende Vögel) zeigen einen deutlich negativen Trend. Insbesondere der Blässhuhn-Brutbestand sank von ca. 70-80 Brutpaaren auf 3-4 Brutpaare. Der Haubentaucherbestand sank von ursprünglich 180 Brutpaaren auf 20 Brutpaare. Die einzige Ausnahme mit positiven Bestandstrend bei den Brutvögeln ist die Graugans, die erstmals 2004 am Wörthersee gebrütet hat und aktuell ca. 4-6 Brutpaare aufweist. Der Kormoran etablierte sich seit 1996 als Wintergast und weist einen durchschnittlichen Winterbestand von ca. 40 Individuen auf.

**Resümee:** Der Wörthersee wies in der Vergangenheit deutlich größere Vogelbestände auf. Die Ursachen des Rückganges sind vielfältig und letztlich noch zu wenig untersucht. Die Bestände einzelner Wasservogelarten sind bedingt durch die massiven Lebensraumveränderungen stark rückläufig und teilweise nur noch mit wenigen Brutpaaren auf dem ca. 19 km² großen See vertreten. Der aktuelle Vogelbestand sank teilweise auf 10 % des ursprünglichen Bestandes. Der noch verbliebene Restbestand an Wasservögeln beeinflusst die Wasserpflanzen- und Fischbestände des Wörthersees nicht oder nur in einem sehr geringen Ausmaß.

### 3.1.2 Krebse

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.1.6 | Krebsbestand - Reusenmonitoring | *E. Lorenz & M. Reichmann* |

Im Zuge des gegenständlichen Projektes „Schutz- und Nutzungskonzept Wörthersee“ bzw. der Ursachenerhebung des Makrophytenrückganges im Wörthersee wurde zur Abschätzung des Fraßdrucks auf die Makrophyten und zur Datenverdichtung der Krebsbestand im Wörthersee erhoben. Besondere Dringlichkeit erlange das Monitoring durch den Nachweis des invasiven Roten Amerikanischen Sumpfkrebses (*Procambarus clarkii*) in einem Kleingewässer in unmittelbarer Nähe des Wörthersees und im Ausfluss des Sees.

Die Krebsbestandserhebung wurde mittels Reusenbesammlung durchgeführt. Zum Einsatz kamen 36 beköderte Reusen des Typs „PIRAT“. Der Schwerpunkt des Monitorings lag im Bereich der Ostbucht und der Kapuzinerinsel. Die genaue Lage der ausgebrachten Krebsreusen ist nachfolgender Karte zu entnehmen. In Art und Umfang entspricht die Krebsbestandserhebung einer semiquantitativen Erhebung. Definitive Rückschlüsse auf die Bestandsdichte im Wörthersee können nicht gezogen werden.

Abbildung 7: Lage und Nummerierung der Krebsreusen (rote Punkte)

Bei insgesamt 109 Reusennächten konnten lediglich ein Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*) und ein Sumpfkrebs (*Astacus leptodactylus*) nachgewiesen werden. Der Signalkrebs wurde am ersten Kontrolltag in der Reuse bei der Einmündung des Pirkerbaches (Reuse Nr. 33) angetroffen. Es darf angenommen werden, dass das Exemplar aus dem Pirkerbach gekommen ist. Der Sumpfkrebs ist im Wörthersee bereits seit längerem etabliert. Seine Verbreitung ist für die Klagenfurter Bucht und den Bereich Krumpendorf beschrieben (Petutschnig, 2016). Im Zuge dieser Bestandserhebung wurde das Exemplar allerdings in der Reuse am Westufer der Kapuzinerinsel gefangen (Reuse Nr. 33).

Abbildung 8: Die beiden gefangenen Krebse – links: Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus)*, rechts: Sumpfkrebs (*Astacus leptodactylus*)

Neben diesem bescheidenen Fang an Krebsen konnte eine beachtliche Menge an Beifängen getätigt werden. Insgesamt wurden 28 Rotfedern, 14 Rotaugen, 3 Aitel, 2 Flussbarsche und ein Hecht in den Reusen angetroffen. Erwähnenswert ist die Länge des Hechtes, die in etwa jener der Reuse entsprach.

**Resümee**: Eine Krebspopulation, die in der Lage wäre, negativ auf den Makrophytenbestand im gesamten See einzuwirken, kann aufgrund des sehr geringen Krebsvorkommen im Wörthersee derzeit ausgeschlossen werden. Schon im Zuge früherer Betauchungen ergaben sich keine Hinweise auf größere Vorkommen.

### 3.1.3 Neozoa

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.6.3 | Neozoa und seefremde Fischarten | *M. Konar* |

In diesem Arbeitspaket wurden im Wörthersee beheimatete Neozoa und seefremde Fischarten steckbriefartig aufgelistet und hinsichtlich ihres ersten Auftretens und ihres Einflusses auf die Makrophyten beurteilt. Als Neobiota werden Pflanzen und Tiere bezeichnet, die nach 1492 eingewandert sind oder eingebürgert wurden. Im engeren Sinn wird dabei für die pflanzlichen Organismen der Begriff Neophyta und für die Tiere der Begriff Neozoa verwendet.

Es sind **17 Invertebraten**, hauptsächlich Schnecken und Krebstiere, nachgewiesen. Die Artenliste der Fische zeigt 11 Arten, wobei Aal, Graskarpfen und Silberkarpfen bei der aktuellen Fischbestandsaufnahme nicht mehr nachgewiesen wurden. Weiters sind zwei der Fischarten nur jeweils einmal aufgetreten („Bester“ und Mosambikbuntbarsch), sodass gegenwärtig im Wörthersee **6 Fischarten als Neozoen bzw. seefremd** bewertet werden müssen. Es sind dies Kaulbarsch, Sonnenbarsch, Forellenbarsch, Seeforelle, Seesaibling und Zander. Der jüngste Zuwanderer bei den Fischen ist der Kaulbarsch, der erstmals 1989 in Kärnten nachgewiesen wurde.

**Resümee:** Mit momentanem Kenntnisstand zur Lebensweise und unter Berücksichtigung des ersten Auftretens im Wörthersee wird fachlich davon ausgegangen, dass kein ursächlicher Zusammenhang zwischen den vorhandenen Neozoen bzw. seefremden Fischarten mit der momentanen Makrophytenproblematik besteht.

### 3.1.4 Fische

**Beeinträchtigung des Makrophytenbestandes durch Fischfraß und Beweidung**

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.1.4 | Direkte und indirekte Beeinträchtigung des Makrophytenbestandes durch Fischfraß und Beweidung | *M. Reichmann et al.* |

Um den Einfluss der Fischpopulation auf die Wasserpflanzenbestände beurteilen zu können, wurde im Juni 2022 am Wörthersee im östlichen Flachwasserbereich der Kapuzinerinsel Versuchsflächen eingerichtet, die einerseits den Einfluss der Fische und andererseits den Einfluss des Wellenschlags auf die Wasserpflanzen sichtbar machen sollen.

Im östlichen Flachwasserbereich bei der Kapuzinerinsel wurden inner- und außerhalb des Schilfschutzzaunes je ein Versuchssetup mit unterschiedlichen Versuchsflächen etabliert. Mittels Gittern und Käfigen wurden einige Versuchsflächen vor Tierfraß und Wühltätigkeit geschützt, andere Bereiche blieben unge-

schützt. Der Schilfschutzzaun wurde 2019 errichtet um den der Insel vorgelagerten Schilfgürtel vor Welleneinfluss zu schützen. Der Standort zeichnet sich durch ein sehr flach auslaufendes Ufer mit homogenen Seekreidesediment aus. Die Wassertiefe im Bereich der Versuchsflächen beträgt bei Normalwasserstand 150 bis 160 cm. Für die Versuchsanordnung wurden unterschiedliche Versuchsflächen definiert (vgl. Abbildung 9).

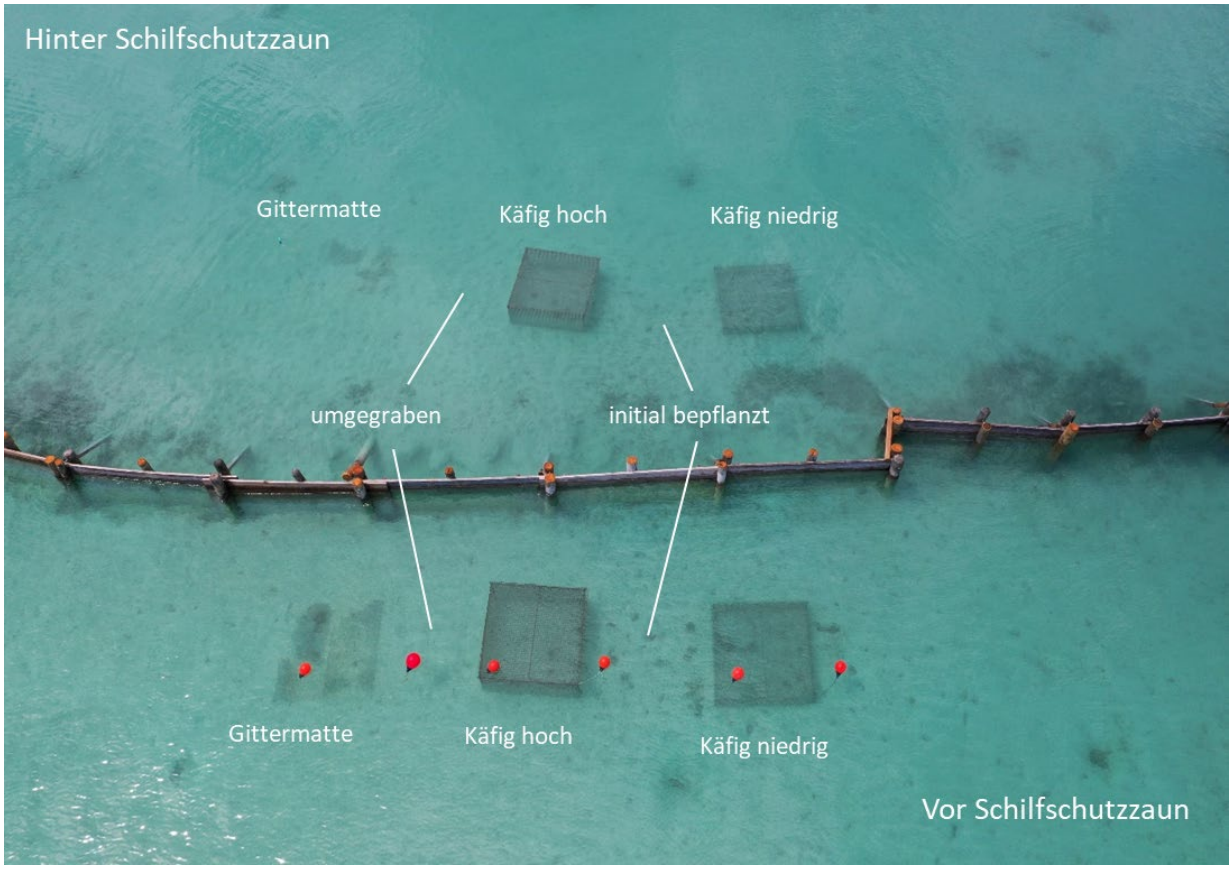


Abbildung 9: Drohnenorthofoto der Versuchsanordnung (31.08.2023)

**Vorbereitung der Flächen**: Jeweils die Hälfte der Untersuchungsflächen wurde mit Wasserpflanzen initial bepflanzt, ein Viertel umgegraben und ein Viertel blieb unbearbeitet. Die Anordnung der Versuchsflächen ist nachstehender Abbildung 10 zu entnehmen. Zweck des Umgrabens war es, tiefere Sedimentschichten, in denen sich evtl. keimfähige Dauerstadien befinden, nach oben bringen. Die Initialbepflanzung fand nur mit Pflanzen aus dem Wörthersee statt. Auch ungeschützte Referenzflächen wurden bepflanzt. Ab dem Zeitpunkt der Initialbepflanzung fand im Abstand von zwei bis vier Wochen eine Bestandskontrolle und Entwicklungspflege statt.

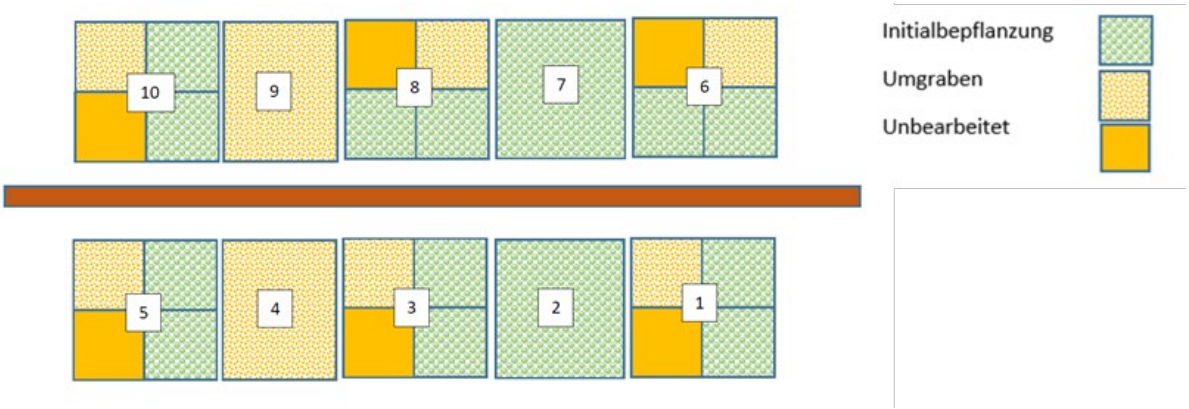


Abbildung 10: Anordnung der Versuchsflächen (brauner Balken: Schilfschutzzaun)

**Flächenschutz**: Zum Schutz der Flächen wurden Käfige und Gittermatten verwendet. Die Gittermatte diente als reiner Wühlschutz und bot keinen Schutz gegen Beweidung (durch Fische). Der niedrige Käfig (Seitenhöhe 0,5 m) war der Standardversuchsaufbau – durch diesen wurde die Fläche vor direkter (Beweidung) und indirekter (Wühlen) Schädigung geschützt. Der hohe Käfig (Seitenhöhe 1 m) diente zur Kontrolle des Höhenwachstums und zur Abschätzung eines eventuellen Vogelfraßes.

**Postmonitoring**: Unmittelbar nach dem Abbau der Käfige am Ende des Versuchs wurde innerhalb des Schilfschutzzaunes ein Videomonitoringsystem eingerichtet, um die weitere Entwicklung der nunmehr ungeschützten Makrophytenbestände zu dokumentieren (Fa. Systema).

**Ergebnis**: Ausgehend von annähernd gleicher Initialbepflanzung (mit Ausnahme der nicht bepflanzten, umgegrabenen Flächen) haben sich die Versuchsflächen im Verlauf von etwas mehr als einem Jahr sehr unterschiedlich entwickelt (Abbildung 11). Es zeigt sich deutlich, dass die Flächen in den Käfigen innerhalb des Schilfschutzzaunes fast vollständig mit Makrophyten bewachsen sind, wenngleich nur wenige Arten angetroffen wurden. Außerhalb des Zaunes ist zwar die Artenvielfalt höher, der Bedeckungsgrad und die Wuchshöhe sind jedoch signifikant geringer. Etwas abweichend verhält es sich bei den mit Gittern geschützten Flächen. Hier ist der Bedeckungsgrad außerhalb des Schutzzaunes etwas größer und dies bei höherer Artenzahl.

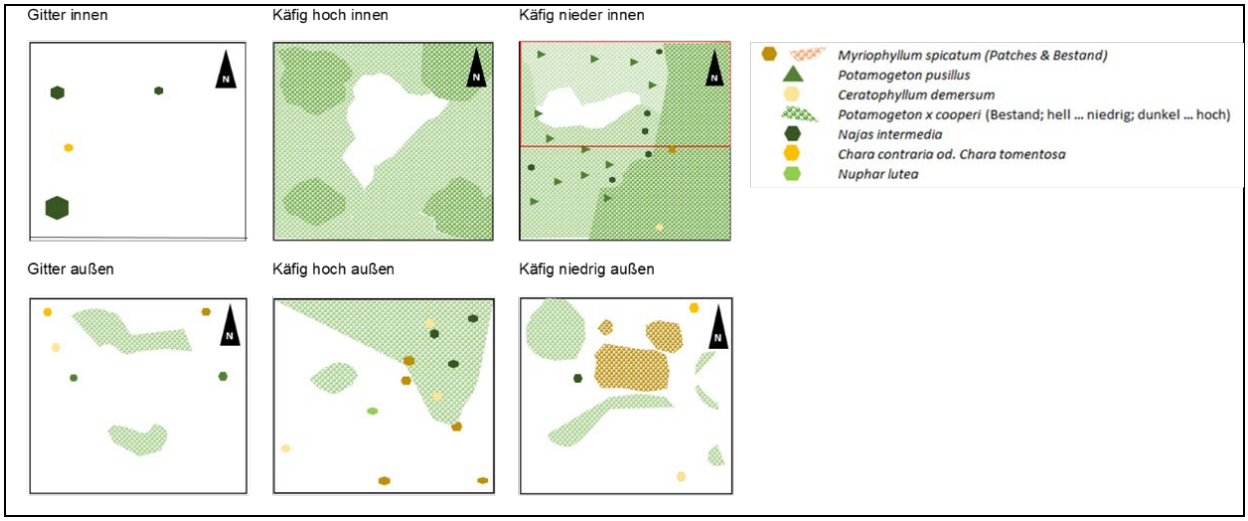


Abbildung 11: Graphische Darstellung der aktuellen Bedeckung der geschützten Flächen (24.07.2023)

Ursprünglich wurden mit *Potamogeton* x *cooperi*, *Myriophyllum spicatum* und *Najas intermedia* drei Arten initial bepflanzt. Aktuell finden sich zusätzlich zu den genannten Arten mit *Ceratophyllum demersum*, *Chara contraria* und *Potamogeton pusillus* sechs Arten im Artinventar. Über den gesamten bisherigen Untersuchungszeitraum wurden auch noch *Chara globularis*, *Nuphar lutea*, *Stuckenia* sp. und *Chara tomentosa* nachgewiesen. Auf den Versuchsflächen wurden also in Summe 10 Arten angetroffen.

Neben der unterschiedlichen Entwicklung des Makrophytenwachstums auf den Versuchsflächen zeigen Drohnenaufnahmen auch eine interessante Entwicklung auf den ungeschützten Flächen in der unmittelbaren Nähe des Schilfschutzzaunes im Wellenschatten des Zaunes. Hier lässt sich eine sukzessive Zunahme der Bestandsfläche im Laufe der Vegetationsperiode erkennen. Im November 2023 hat sich hier ein relativ dichter (wenn auch niederwüchsiger) Bestand ausgebildet.

Sehr aussagekräftig waren auch die Aufnahmen des Videosystems. Nur wenige Stunden nach Abbau der Käfige tummelten sich Schwärme von vor allem Rotfedern in diesem Bereich und fraßen deutlich sichtbar am bislang geschützten Bestand. Nach etwas über 30 Stunden waren die hier dicht wachsenden Wasserpflanzen bis auf wenige Sprossreste komplett verschwunden (Abbildung 12).

Abbildung 12: Drohnenaufnahme des Makrophytenbestandes. Links kurz nach Abbau des Käfigs, rechts ca. 30 Stunden später. Jeweils links unten ist das Videomonitoringsystem zu sehen.

**Resümee**: Die Versuche bei der Kapuzinerinsel haben gezeigt, dass das Makrophytenwachstum von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst wird und die Hemmung des Makrophytenaufwuchses durch eine Kombination dieser beeinflusst wird.

Gegen die These, dass der Wellenschlag alleine das Makrophytenwachstum maßgeblich hemmt, spricht die Tatsache, dass innerhalb des Schilfschutzzaunes im wellenberuhigten Bereich auch an den initial bepflanzt, vor Fraß geschützten Flächen kein nennenswertes Makrophytenaufkommen beobachtet werden konnte. Der Fischfraß bzw. die Beweidung durch Wasservögel als alleinige Ursachen können ebenfalls ausgeschlossen werden, da außerhalb des Schilfschutzzaunes auch in den Käfigen das Wachstum deutlich geringer ist als in den Käfigen hinter dem Schutzzaun.

Die Käfige selbst führen auch zu einer gewissen Wellenberuhigung in ihrem Inneren. Auch ein gewisser Düngeeffekt durch das regelmäßige Abbürsten des Aufwuchses an den Käfiggittern auf die Wasserpflanzen im Inneren kann nicht ausgeschlossen werden.

Ein Einfluss der Wassertemperatur, der das bessere Wachstum innerhalb des Schilfschutzzaunes bedingen würde, kann aufgrund der sehr geringen Temperaturunterschiede zum Freiwasser ausgeschlossen werden.

Nach derzeitigem Stand ist davon auszugehen, dass ein zu hohes Wellenaufkommen den Makrophytenbeständen schadet und diese reduziert. Sei es direkt über mechanische Verletzung oder indirekt über Sedimentation auf die anwachsenden Jungpflanzen durch Remobilisierung des Sedimentes. Die dadurch spärlich aufkommenden Pflanzen werden – infolge der geringen Verfügbarkeit – direkt und indirekt durch Fischfraß, Wühltätigkeit und durch Beweidung durch Wasservögel weiter geschädigt und reduziert. Auf kleine (Rest-) Bestände von Makrophyten scheint vor allem die Rotfeder einen erheblichen direkten Fraßdruck auszuüben.

**Einfluss des Karpfens auf den Makrophytenbestände**

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.1.5 | Direkte und indirekte Beeinträchtigung des Makrophytenbestandes durch Fischfraß und Beweidung – Der Karpfen | *M. Reichmann* |

Die Klimaerwärmung führt generell dazu, dass die Gewässer zusehends geeigneter für Karpfen und exotische wärmeliebende Fischarten werden (Schädler, B., 2010 in Schaumburg, Wahl, Frey, Werner, & Hesselschwerdt, 2015). Da karpfenartige Fischarten vom Klimawandel profitieren (Britton et al. 2010 Schaumburg, Wahl, Frey, Werner, & Hesselschwerdt, 2015) und sich möglicherweise stark vermehren, würde dies auch einen erhöhten Druck auf Makrophyten bedeuten (Schaumburg, Wahl, Frey, Werner, & Hesselschwerdt, 2015).

Mehrere Indizien deuten auf eine Zunahme von Karpfen im Wörthersee hin. Die Auswertung der aktuell vorliegenden Besatzzahlen spricht von rd. 1.250 bis 1.500 kg Besatz mit Zuchtkarpfen pro Jahr. Auch Wildkarpfen werden in geringerem Ausmaß besetzt. Gleichzeitig hat sich bei der fischereilichen Nutzung durch die Angelfischerei zunehmend die Praxis des „Catch and Release“ durchgesetzt, sodass eine Entnahme von großen Cypriniden nur noch eingeschränkt erfolgt. Karpfen werden also besetzt aber kaum entnommen.

Im Laufe der Feldarbeiten am Wörthersee konnten am 22.05.2023 bei einer Drohnenbefliegung innerhalb des Schilfschutzzaunes bei der Kapuzinerinsel geschätzte 20 Karpfenrogner (bis ca. 80 cm) und in etwa die dreifache Anzahl an Milchnern bei reger Laichtätigkeit beobachtet werden. Bereits einen Monat zuvor (23.04.2023) konnte im Bereich vor dem Anwesen „Villa Ida“ ein Schwarm mit mindestens 20 Karpfen (Individuallänge ca. 80 cm) festgestellt werden. Auch zahlreiche dichte Wühltrichterfelder, die vor allem auf den ausgedehnten Seekreidebänken immer wieder angetroffen werden können, deuten auf eine hohe Abundanz von wühlenden Fischarten hin. Folgt man der Klassifizierung von Meis, van de Weyer, & Stuhr (2018) so fallen die Flächen am Wörthersee in den Bereich mit „starken Wühlschäden“. Auch die beobachtbare starke Sedimentablagerung an den submersen Makrophyten (sofern sie in diesen Bereichen überhaupt noch vorhanden sind) ist ein Indiz dafür, das hier vermehrt Sediment aufgewirbelt wird.

Der Karpfen laicht in Kärnten zwischen Mai und Juli (Honsig-Erlenburg, 2016). Zum Ablaichen braucht der Zuchtkarpfen Temperaturen über 18 °C, der Wildkarpfen über 15 °C. Der Reproduktionserfolg beschränkt sich auf Jahre, in denen der Wasserstand im Mai ansteigt, diese hohen Temperaturen über einen längeren Zeitraum in Mai und Juni andauern und gleichzeitig terrestrische Vegetation überflutet wird (Kottelat; 2007).

Im Zuge der Elektro- und Kiemennetzbefischung durch das BAW Scharfling (vgl. Teilbericht Nr. 2.1.1 bzw. Kap. 2.1.3) wurden aktuell 13 Karpfen gefangen. 2004 gelang mit vergleichbarem Aufwand kein direkter Nachweis. Bei den kleineren Exemplaren kann von einem Alter zwischen drei und vier Jahren ausgegangen werden. Die größeren Exemplare sind wohl über sieben Jahre alt. Teilt man den Individuen anhand der Körperlänge ein Gewicht zu, so hätte der Karpfen einen Anteil von 4 % bezogen auf den Gesamtfang aus den Kiemennetzbefischungen, bzw. von 52 % (!) bezogen auf den Gesamtfang der Elektrobefischungen. Bezogen auf die Biomasse des Gesamtausfanges (234 kg) würde der Anteil des Karpfens rd. 25 % (58 kg) betragen.

Aus den Flächen der Elektrobefischung errechnet sich aus den Fängen für den Uferbereich eine Biomasse von knapp 50 kg/ha. Der Karpfen stellt davon 26 kg/ha. Im Unterschied zu den rückläufigen Abundanzen von Elektro- und Kiemennetzbefischung ergab die Hydroakustik einen deutlichen Anstieg der Biomasse von rd. 18 auf 68 kg/ha. Legt man die Längenfrequenzen (in 2 cm Klassen) der gesamten Realfänge für die einzelnen Arten auf die Ergebnisse der Hydroakustik um, so würde der Karpfen, der mit großen Individuallängen gefangen wurde, die Zönose mit rd. 18 kg/ha dominieren.

**Resümee:** Vieles spricht für eine Zunahme des Karpfenbestandes im Wörthersee, wenngleich sich ein eindeutiger Nachweis nicht erbringen lässt. Ebenso fehlt ein Nachweis für Jungfische, der eine natürliche Reproduktion belegen würde.

Generell sind die äußeren Rahmenbedingungen für ein Aufstreben des Karpfens gegeben: Die Wassertemperaturen steigen, Besatz findet nach wie vor statt, der Besatz wird nicht mehr entnommen (Catch & Release), geschaffene Ausgleichsflächen und Laich- und Schilfschutzgebiete stellen beruhigte, meist flache, potentielle Laichhabitate dar. Wie erfolgreich der Karpfen bei der Reproduktion ist, hängt wohl in erster Linie von der Fertilität des Besatzmaterials ab. Enclosure-Versuche (Bericht 2.1.4) machen eine störende Wirkung von Fraß- und/oder Wühltätigkeit sichtbar. Anhand der vorliegenden Daten bzw. den Hochrechnungen daraus ist es aber kaum vorstellbar, dass alleine durch den Karpfen, bzw. die vorhandene Fischzönose im Wörthersee die Makrophytengemeinschaft derart gestört wird, dass der mäßige ökologische Zustand erreicht wurde, da eine definitive Überpopulation einzelner Arten sich nicht aus den Ergebnissen ableiten lässt.

Das eine Veränderung in der Fischartengemeinschaft aber eine, ohnehin durch andere Randbedingungen gestörte Wasserpflanzengemeinschaft weiter in Stress bringen kann, ist wahrscheinlich. Auch negative Summationswirkungen wie Sedimentresuspension (Zambrano & Roozen F. and Scheffer, 2005; Zambrano, Scheffer, & Martinez-Ramos, 2001) infolge zunehmenden Wellenschlags sind denkbar.

In jedem Fall ist die Besatzstrategie an die geänderte Nutzung anzupassen. Ein Karpfenbesatz ist daher nicht zu befürworten, da dieser bei fehlender Entnahme auch ohne natürliche Reproduktion zu einer Zunahme führen kann.

**Fischereilicher Besatz**

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.1.2 | Fischereilicher Besatz | *M. Reichmann* |

Mit der Zusammenschau und Auswertung der zur Verfügung stehenden Besatzdaten sollen in diesem Arbeitspaket etwaige Veränderungen in der Besatzstrategie aufgezeigt und deren mögliche Auswirkung auf den Makrophytenbestand beurteilt werden.

Die vorliegenden Besatzzahlen zeigen in den letzten Jahren eine deutliche Veränderung der Besatzstrategie. Wurden in der Vergangenheit vor allem Carnivore wie der Wels besetzt, so überwiegt in jüngerer Zeit der Besatz mit Omnivoren und hier vor allem mit Karpfen. Die Besatzmengen selbst sind starken Schwankungen unterworfen.

Ein ausgewogenes Friedfisch-/Raubfischverhältnis lässt sich mit etwa 3:1 bis 4:1 definieren. Traut man den Besatzzahlen, so spiegelt sich dieses Verhältnis in den aktuellen Zahlen wider. Leider hat sich in den letzten Jahren aber die Befischungsroutine stark verändert. Wurden Karpfen und andere Weißfische vor Jahrzehnten noch als Speisefisch entnommen, so ist heute „Catch & Release“ gängige Praxis. Umgekehrt landen Hecht und Zander nach wie vor in der Pfanne. Da aber konkrete Ausfangzahlen zum Wörthersee de facto nicht vorliegen, kann lediglich festgehalten werden, dass sich die Besatzpraktiken in den letzten Jahren von denen der Vorjahre stark unterscheiden.

Die aktuelle Fischbestandserhebung am Wörthersee (Luger et al., 2023; Fachbericht 2.1.1) gibt aufgrund der Ergebnisse der Elektro- und Netzfänge allerdings keine konkreten Hinweise auf eine überproportionale Zunahme der Weißfische gegenüber der Bestandserhebung des Jahres 2004. Der fischökologische Zustand des Wörthersees bleibt „gut“. Bei der Hydroakustik zeigt sich allerdings eine Verdreifachung der Biomasse um ca. 50 kg/ha von 18 auf 68 kg/ha. Fast die Hälfte dieser Zunahme (23 kg/ha) ist auf die Zunahme von Individuen mit einer Größe zwischen 50 und 80 cm zurückzuführen. Im Zuge des Krebsreusenmonitorings (Fachbericht 2.1.6) waren Rotfedern und Rotaugen häufige Beifänge.

Gemeinhin wird für den Wörthersee angenommen, dass die rezente Karpfenpopulation nicht reproduziert (Honsig-Erlenburg, 2016). Beobachtungen im Felde lassen jedoch zumindest auf eine rege Laichtätigkeit schließen, sodass diese Annahme dringend einer Überprüfung bedarf.

**Resümee:** In Hinblick auf die fischereiliche Bewirtschaftung könnte durch einen Besatzstopp bzw. durch eine Entnahmepflicht für Karpfen der Druck auf die Wasserpflanzen reduziert werden.

Prinzipiell ist bezüglich des Besatzes auf §22 lit.5 des Kärntner Fischereigesetzes zu verweisen. Eine Überprüfung der per Bescheid vorgeschriebenen Führung von Fangverzeichnissen (K-FG §20 Lit.4) und eine Sammlung dieser wäre zukünftig wünschenswert.

**Auswertung Fragebögen Fischerei**

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.1.3 | Auswertung Fragebögen Fischerei | *M. Reichmann & G. Honsig-Erlenburg* |

Ziel dieses Arbeitspakets war es, Änderungen in der fischereilichen Bewirtschaftung und Wahrnehmungen der Fischer in Hinblick auf veränderte Nutzung, veränderte Umweltbedingungen, Veränderungen in der Fischartengemeinschaft und allgemeine Veränderungen am See zu eruieren.

Es wurde vom Kärntner Institut für Seenforschung (Abt. 8, AKL) ein Fragebogen erstellt, der an alle Fischereiberechtigten am Wörthersee versendet wurde. Der Fragebogen umfasste 14 Fragen, die hauptsächlich nach dem Multiple-Choice Prinzip zu beantworten waren. Die Fragen zielen einerseits auf die fischereiliche Bewirtschaftung durch die Berechtigten, andererseits auf deren Wahrnehmungen am Gewässer ab. Von den 44 versendeten Bögen wurden 13 (knapp 30 Prozent) ausgefüllt retourniert und ausgewertet.

Ein Rückschluss, ob es in der fischereilichen Bewirtschaftung in den vergangenen Jahren Veränderungen gegeben hat, ist nur schwer möglich. Ein gravierender Anstieg oder Abfall der vergebenen Lizenzen ist nicht ableitbar. Aufzeichnungen über die vergebenen Lizenzen werden offiziell so gut wie gar nicht geführt bzw. nicht gerne preisgegeben. Eine Veränderung in der Stell- oder Grundnetzfischerei ist aus den Beantwortungen nicht abzuleiten. Die Kärntner Fischereiweidgerechtheitsverordnung (K-FWV Zl. 10-FIAG-1/14-2020) regelt diese auch strikt.

Relative Einigkeit herrscht darüber, was die Zunahme von „Catch & Release“ betrifft. Dem widerspricht etwa, dass nach Angabe der Befragten der Ausfang von Weißfischen zugenommen und der Ausfang von Raubfischen tendenziell abgenommen hätte. Vor allem in Bezug auf die Karpfenfischerei dürfte „Catch & Release“ gängige Praxis sein. Hinsichtlich der Fischpredatoren werden dem Kormoran und dem Fischotter negative Auswirkungen auf die Fischerei zugeschrieben. Die Hälfte der Einsender erkennt auch den Rückgang der Makrophyten als negativen Einfluss auf die Fischerei.

Die Zunahme des Bootsverkehrs, des Stand-Up Paddelns und des mit Ersterem korrespondieren stärkeren Wellenaufkommens werden auch als die auffälligsten Veränderungen am Wörthersee negativ wahrgenommen.

In Summe bestätigen die Einsender die Fischartenzusammensetzung, wie sie im Zuge der Fischbestandserhebung 2004 nachgewiesen wurde. Zusätzlich wurde der Gründling, der ursprünglich im Wörthersee vorkommt, von fünf Einsendern als rezent vorhanden eingestuft. Bei den fischereilichen Bestandserhebungen 2004 und 2022 konnte die Art nicht nachgewiesen werden. Aus einzelnen Einsendungen geht weiter hervor, dass Rußnase, Karausche, Hasel, Seeforelle und Zander rückläufig sind, der Wels hingegen zunimmt. Der Stör wurde als Einzelsichtung angetroffen.

**Resümee:** Die im Zuge der Ursachenerhebung festgestellten Veränderung am See werden teilweise auch von den Fischereiberechtigten wahrgenommen (Zunahme Bootsverkehr, stärkeres Wellenaufkommen, …) Auch Veränderungen in der angelfischereilichen Nutzung werden bestätigt (Catch & Release).

Aufzeichnungen bezüglich Ausfang werden nur in Ausnahmen geführt. Eine Überprüfung der per Bescheid vorgeschriebenen Führung von Fangverzeichnissen (K-FG §20 Lit.4) und eine Sammlung dieser wäre zukünftig wünschenswert.

## 3.2 Wellenschlag

### 3.2.1 Wellenmessungen

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.2.1 | Wellenmessungen | *G. Zenz et al.* |

Am 31. Juli 2022 wurden am Wörthersee Wellenmessungen zur Untersuchung von bootsinduzierten Wellen durchgeführt. Das Ziel war die Amplituden und Frequenzen verschiedener Bootstypen in unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Rahmenbedingungen zu messen. Diese Informationen stellten in Folge die Eingangsdaten zur Wellenmodellierung dar.

Die Erfassung der Wellenbewegung (Amplitude und Wellenlänge) erfolgt mittels mehrerer IMUs vom Typ Xsens DOT der Firma XSens, die von der Arbeitsgruppe Navigation zur Verfügung gestellt wurden. Die Messeinheiten zeichnen synchron Beschleunigungen und Drehraten in 3 Achsen auf. Die Bestimmung der Wellenhöhen und Wellenlängen erfolgt im Anschluss im Postprocessing basierend auf den aufgezeichneten Rohdaten. Im Rahmen von Voruntersuchungen wurde die Messgenauigkeit von Beschleunigung und Drehraten im Labor getestet. Weiters wurden dabei auch die Applikation, Fixierung und Stabilisierung der Bojen untersucht. Die Testmessungen unter Laborbedingungen ergab eine Genauigkeit der Wellenhöhe von ca. 1 cm.

Nach erfolgreicher Vorprüfung wurden die Messungen direkt am See durchgeführt und die in situ Messkampagne verifiziert. Die Messgeräte wurden an Bojen in Ufernähe befestigt, deren Lage koordinativ erfasst wurde. So konnten die Wellen über einen längeren Zeitraum gemessen werden. Ein besonderes Augenmerk wurde auf Einzelbootfahrten in Gleit- und Verdrängerfahrt und der dadurch verursachten Wellenwirkung auf das Ufer gelegt. Die Messwerte wurden in Folge für die Kalibrierung des Wellenmodells (siehe Kap. 3.2.2) verwendet.

**Resümee**: Es hat sich gezeigt, dass die angewandte Methode zur Wellenbestimmung sehr leistungsfähig ist. In einem Folgeprojekt wird nun die Übertragungstechnik optimiert und die Zeitdauer der Messung durch eine effizientere Energieversorgung verlängert.

### 3.2.2 Modellierung von Bootswellen - Auswirkung auf Sediment und Makrophyten

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.2.2 | Modellierung von Motorbootwellen an ausgewählten Uferabschnitten des Wörthersees | *U. Lang & S. Mirbach* |

In diesem Arbeitspaket wurde der Einfluss von Bootswellen auf die Unterwasservegetation untersucht. Ziel der Modellstudie war es, die Wirkung verschiedener Bootsfahrten auf die Wellen-, Strömungs- und Schwebstoffverhältnisse aufzuzeigen und dabei herauszuarbeiten, unter welchen Bedingungen eine Beeinflussung des Sedimenthaushalts und damit potenziell auch der Unterwasservegetation zu erwarten ist.

Für die Modellierungen wurden vier Uferabschnitte mit unterschiedlicher Charakteristik im Modell aufgebaut. Für jeden dieser vier Uferabschnitte wurde eine Bootsfahrt mit einem Sportboot modelliert, das sich mit einem geringen **Uferabstand von 20 m** uferparallel mit einer Geschwindigkeit von 10 km/h und einer maximalen Eintauchtiefe von 50 cm bewegt. Diese Bootsfahrt wurde in zwei Modellszenarien ohne und mit Uferverbauung berechnet. Für ein Modellgebiet wurden weitere Bootsfahrten mit einem größeren Uferabstand von 200 m betrachtet:

- Sportboot in Gleitfahrt mit einer maximalen Eintauchtiefe von 25 cm und einer Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h
- Sportboot in Verdrängerfahrt mit einer maximalen Eintauchtiefe von 50 cm und einer Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h
- Sportboot in Verdrängerfahrt mit einer maximalen Eintauchtiefe von 80 cm und einer Fahrgeschwindigkeit von 25 km/h
- Linienschiff mit einer maximalen Eintauchtiefe von 135 cm und einer Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h

Die Modellergebnisse für die ufernahen Bootsfahrten an den vier Uferabschnitten ohne Uferverbauung zeigen Bootswellen mit Wellenhöhen in der Größenordnung von 5-7 cm. Mit Uferverbauung können die Werte auf 10 cm ansteigen. Damit verbunden ist auch eine höhere Sohlschubspannung. Generell ist diese bei solchen Wellenhöhen relativ gering, allerdings zeigen die Ergebnisse mit Uferverbauung, dass - wenn auch nur in sehr geringem Umfang - auch Sedimentresuspension möglich ist. Entscheidend hierbei ist auch die Geometrie der Uferlinie. Buchtförmige, verbaute Verläufe können die einlaufenden Wellen so reflektieren, dass die rücklaufenden Wellen in bestimmten Bereichen gebündelt ankommen.

Die für Bootsfahrten im **Uferabstand von 200 m** berechneten Wellen unterscheiden sich je nach Boot, Fahrweise und Fahrgeschwindigkeit deutlich voneinander. Die geringsten am Ufer ankommenden Wellenhöhen mit Amplituden von ca. 5 cm werden bei Szenario mit Gleitfahrt berechnet. Beim Sportboot in Verdrängerfahrt mit einer Eintauchtiefe bis 50 cm und einer Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h betragen die Amplituden knapp 10 cm, bei der Verdrängerfahrt mit einer Eintauchtiefe bis 80 cm, einer Fahrgeschwindigkeit von 25 km/h und fehlender Uferverbauung dagegen bis zu 20 cm. Mit Uferverbauung steigen die Amplituden auf über 20 cm an. Abbildung 13 zeigt eine Momentaufnahme der berechneten Wasserspiegelauslenkungen durch die verschiedenen Bootsfahrten. Damit werden von den beiden Szenarien mit schneller Verdrängerfahrt die größten Amplituden erreicht, gefolgt vom Szenario mit Linienschiff mit Werten bis 18 cm.

Die daraus im Uferbereich resultierenden **Sohlschubspannungen** sind tiefenabhängig. Die Werte steigen etwa ab einer Unterschreitung einer Wassertiefe von 2 m an. In größeren Tiefen ist durch die Bootswellen nicht mit Sedimentresuspension zu rechnen. Die Maximalwerte werden etwa im Tiefenbereich unterhalb 1 m Wassertiefe erreicht.

Die Modellergebnisse mit dem schnelleren und tiefer eintauchenden Sportboot in Verdrängerfahrt ohne Uferverbauung und mit dem Linienschiff zeigen im Uferbereich eine **signifikante Sedimentmobilisierung**

mit tiefengemittelten Schwebstoffgehalten von bis zu 15 mg/l. Aufgrund der relativ feinen Korngröße im Modell von 50 µm verbleiben die remobilisierten Schwebstoffe etwa für eine Minute in der Schwebe und können somit bei entsprechender Seeströmung um mehrere Meter verdriftet werden. Im Sportboot-Szenario mit Uferverbauung steigen die maximal erreichten Schwebstoffkonzentrationen auf über 200 mg/l an. Damit wirkt sich eine Uferverbauung in Kombination mit starkem Wellenschlag wie durch das Boot in schneller Verdrängerfahrt massiv auf die Erosions- und Sedimentationsprozesse und damit den Schwebstoffhaushalt im betreffenden Uferbereich aus.

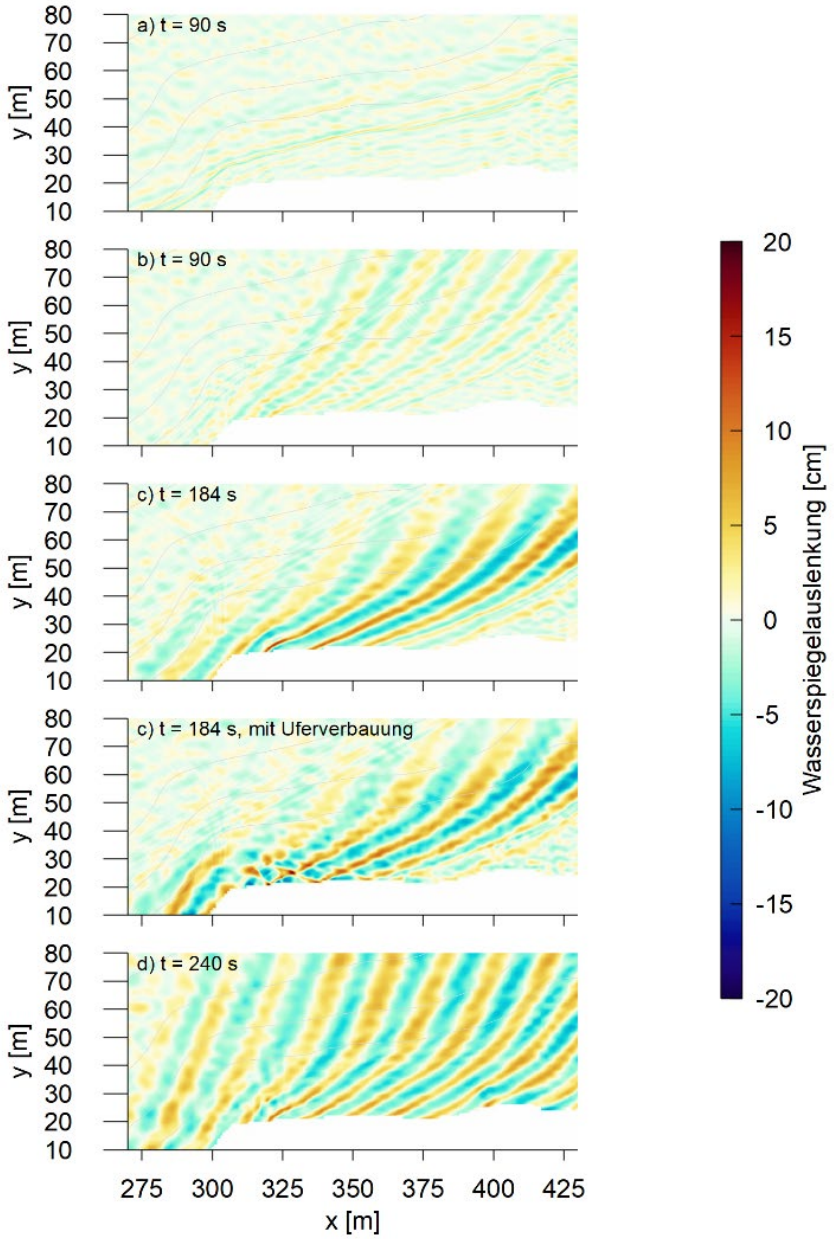


Abbildung 13: Berechnete Wasserspiegelauslenkung durch verschiedene Bootsfahrten in einem Ausschnitt des Modellgebiets; a) Sportboot in Gleitfahrt, b) Sportboot in Verdrängerfahrt mit Eintauchtiefe 50 cm und Fahrgeschwindigkeit 20 km/h, c) Sportboot in Verdrängerfahrt mit Eintauchtiefe 80 cm und Fahrgeschwindigkeit 25 km/h (mit und ohne Ufermauer), d) Linienschiff

**Resümee**: Hinsichtlich eines Einflusses der Bootswellen auf die Unterwasservegetation sind neben einer mechanischen Belastung durch welleninduzierte Strömungskräfte insbesondere die Szenarien mit signifikanter Sedimentmobilisierung relevant. In den für Makrophyten relevanten Wassertiefen unterhalb von 2 m, in denen die Sohlschubspannungen durch die Bootswellen relativ gering sind, können remobilisierte und wieder absinkende Schwebstoffe die Pflanzen bedecken und somit deren Lichtaufnahme beschränken. Die Modellergebnisse zeigen, dass dieser Fall insbesondere durch die Bootswellen von Sportbooten in Verdrängerfahrt mit hohem Tiefgang und hohen Geschwindigkeiten sowie von Linienschiffen auftreten kann. Betrachtet wurden im Modell nur einzelne Bootsfahrten. Tatsächlich gibt es aber bei starkem Bootsverkehr ein Multiplikationseffekt. Remobilisierte Sedimente werden bei häufigem Wellenschlag aufgrund der Turbulenzen in der Wassersäule permanent in der Schwebe gehalten und können somit über weite Strecken transportiert werden. Da die Turbulenzen in der Flachwasserzone stärker ausgeprägt sind als in tieferen Bereichen, wird Sediment aus flacheren in tiefere Bereiche verlagert („sediment focusing“). Massiven Einfluss auf die Wirkung der Wellen und den Sedimenthaushalt der Uferzone haben Uferverbauungen, die zu einer starken Reflektion von Wellen führen. Dies ist z. B. bei vertikalen Betonmauern der Fall. Die Modellergebnisse zeigen, dass bei Uferverbauung und starkem Wellenschlag, wie er durch ein Sportboot in schneller Verdrängerfahrt und mit hohem Tiefgang verursacht wird, im Uferbereich bis über zehnmal höhere Schwebstoffkonzentrationen durch Sedimentresuspension erreicht werden als ohne Uferverbauung. Zudem sind die Erosionsbereiche deutlich großflächiger. Es lässt sich festhalten, dass die Auswirkungen auf den Uferbereich und die Flachwasserzone durch Bootswellen von Sportbooten in Verdrängerfahrt mit hoher Geschwindigkeit und großem Tiefgang im Vergleich zu langsameren Verdrängerfahrten mit geringerem Tiefgang sowie Gleitfahrten überproportional ansteigen.

## 3.3 Stoffliche Belastungen

### 3.3.1 Nähr- und Schadstoffkonzentrationen der Zubringer

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.5.2 | Nähr- und Schadstoffkonzentrationen der Zubringer | *M. Reichmann* |

Der mäßige ökologische Zustand der Makrophyten im Wörthersee wird unter anderem durch eine Artverschiebung hin zu nährstofftoleranteren Arten wie *Ceratophyllum demersum* ausgelöst. In der euphotischen Zone des Sees lässt sich über die Jahre allerdings eine Nährstoffabnahme beobachten. Um beurteilen zu können, ob es über die Zubringer zu kleinräumigen Düngeeffekten kommt, wurden vorhandene Daten dahingehend ausgewertet.

Es wurden die Veränderung des Chemismus der Zubringer Pirkerbach, Mühlbach, Reifnitzbach, Damtschacherbach und Rajacherbach sowie des Seeabflusses ausgewertet und dargestellt.

Anhand der vorliegenden Daten lassen sich kaum gültige Trends für einzelne Parameter erkennen, die für alle Messstellen gelten. Erkennbar ist eine sukzessive Temperaturzunahme und ein Anstieg der Natrium- und Chloridkonzentration, vermutlich infolge der Salzstreuung. Aktuell erreichen die Chlorid-Konzentrationen der Zubringer Messwerte bis zu rd. 50 mg/l. Im Wörthersee beträgt die Chlorid-Konzentration im Epilimnion aktuell rd. 14 mg/l. Wolfram et al. (2014) sehen in gut gepufferten Systemen wie dem Wörthersee eine Chlorid-Konzentration von über 150 mg/l über einen längeren Zeitraum als kritische Konzentration für Gewässerorganismen an. Der Vergleich mit den Mittelwerten von 52 Zubringern anderer Seen zeigt, dass die Leitfähigkeit der Wörtherseezubringer, infolge der hohen Konzentrationen an Natrium und vor allem Chlorid, leicht überdurchschnittlich ist. Gleiches gilt für die Wassertemperatur, was jedoch mit der tiefen Lage der Zubringer zu begründen ist.

Auffällig sind die hohen Ammoniak- und Ammonium-Konzentrationen im Reifnitzbach. Diese lassen sich wohl mit dem moorigen Einzugsgebiet des Keutschacher Sees erklären, dessen Abfluss der Bach ist. Auch befinden sich weitere Feuchtflächen im direkten Einzugsgebiet (LSG Pyramidenkogel).

Bei den Parametern Phosphat und Gesamtphosphor weisen die Wörtherseezubringer eher unterdurchschnittlich hohe Konzentrationen auf. Wobei zu betonen ist, dass im Zuge von Hochwasserereignissen, wie es im Mühlbach im Oktober 2020 stattfand, kurzfristig auch sehr hohe Konzentrationen (165 µg/l) in den See eingetragen werden. Ein lokal düngender Effekt ist also möglich, die Wirkung hängt aber von der Jahreszeit und der Einschichtung des Zubringers ab. Die Wörtherseezubringer weisen eine unterdurchschnittliche Konzentration an freier Kohlensäure und im Gegenzug eine überdurchschnittliche Gesamthärte auf. Damit gehen eine hohe Hydrogencarbonatkonzentration und ein hohes Säurebindungsvermögen einher. Ein Umstand, der den relativ hohen Frachten an Calcium und Magnesium geschuldet ist, welche in erster Linie geogenen Ursprungs sind.

Die höchsten Schwermetall- und Schadstoffkonzentrationen wurden im Pörtschacher Mühlbach und im Damtschacherbach gemessen. Im Fall des Mühlbachs könnte dies auf das Hochwasserereignis von 2020 zurückzuführen sein, bei dem hohe Konzentrationen insbesondere ungelöster Stoffe festgestellt wurden. Beim Pörtschacher Mühlbach könnte eine Ableitung aus einem Autobahnabsetzbecken (Reinigungsbecken K19) ein Verursacher sein, wobei dieses bereits seit 1989 in Betrieb ist. Ein großer Teil der Schadstoffabschwemmungen von Straßen ist an feinen Partikeln adsorbiert oder gelöst. Die Einleitung von Straßenabwässern kann zumindest kurzfristig zu erhöhten Schadstoffgehalten wie Schwermetalle (Blei, Cadmium, Kupfer, Zink und Quecksilber) oder einem erhöhten DOC-Gehalt in Sedimenten führen (AQUAPLUS 2011). Die Einwirkdauer von Straßenabwässern von wenigen Stunden bis zu einem Tag ist sehr kurz, weshalb sie auf Wasserorganismen akut nur gering toxisch wirken. Von größerer Wichtigkeit sind Langzeiteffekte wie Schadstoffakkumulationen. Insbesondere bei sessilen Organismen wie Wasserpflanzen sind in diesem Fall toxische Effekte zu erwarten. Da zusätzlich zu Straßenabwässern gleichzeitig weitere Faktoren aus der Siedlungsentwässerung oder der Landwirtschaft als Stressoren wirken können bzw. eine Vorbelastung vorhanden sein kann, ist der durch die Straßenabwässer verursachte biologische Schaden oft schwer eruierbar (AQUAPLUS 2011).

Straßenabwässer und Oberflächenentwässerungen von Dachwässern oder versiegelten Flächen haben das Potential, die Wassertemperatur kurzfristig zu erhöhen und so Wasserorganismen zusätzlich in Temperaturstress zu versetzen.

**Resümee**: Aus den zur Verfügung stehenden Daten zu den Wörtherseezubringern lassen sich keine Rückschlüsse auf eine mögliche Ursache für den Makrophytenrückgang im Wörthersee ableiten, da über die Vergleichszeiträume die Nähr- und Schadstoffkonzentrationen eher rückläufig sind. Kleinräumige Dünge- bzw. Schadwirkungen können aber etwa im Zuge von Niederschlägen auch aktuell nicht ausgeschlossen werden.

Für die Feststellung des allfälligen Schädigungspotentials von Einleitungen wäre ein gezieltes (chemisches) Monitoring von Zubringern und Direkteinleitungen während Perioden mit mittlerem oder hohem Niederschlag notwendig. Auch die Ausbringung von dauerregistrierenden Temperaturschreibern über die Sommermonate erscheint sinnvoll. In Hinblick auf den hohen partikulär gebundenen Anteil der Schadstoffe ist es angeraten, im Mündungsbereich ausgesuchter Zubringer (z.B. Pörtschacher Mühlbach) und im Bereich von Direkteinleitern auch Sedimentanalysen (v.a. auf Schwermetalle und PAK) durchzuführen.

In Hinblick auf einen möglichen diffusen Eintrag von Herbiziden aus den immer park- oder golfplatzähnlicher werdenden Privatgrundstücken wäre auch ein Monitoring auf ausgesuchte Herbizide wie etwa Meztazachlor sinnvoll. Letzteres steht etwa im Suhrer See in Verdacht mit dem dortigen Characeenrückgang in Verbindung zu stehen (Krambeck, 2020).

### 3.3.2 Antifouling

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.5.3 | Antifouling | *R. Fresner* |

Ziel des Arbeitspaketes war eine erste Erhebung von Antifoulingwirkstoffen im Wörthersee, welche im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt wurde. Da im Zuge der Ersterhebung hohe Cybutryn- bzw. Irgarol-Konzentrationen im Seesediment nachgewiesen wurden, erfolgten im Anschluss detailliertere Untersuchungen von Seesedimenten und Gewebeproben von Muscheln (*Dreissena ploymorpha*).

Cybutryn – auch bekannt unter dem Handelsnamen Irgarol® – hemmt nachweislich die Photosynthese und ist hoch toxisch für höhere Pflanzen, Algen und Aufwuchsorganismen. Antifoulingprodukte mit dem Wirkstoff Cybutryn, dürfen seit dem 27.01.2017 in der gesamten Europäischen Union nicht mehr vermarktet und verwendet werden.

Für die Fallstudie wurden im Wörthersee der Yachthafen des Klagenfurter Segelvereins Loretto (KSVL) und die Bootswerft Schmalzl in Velden als Messstellen ausgewählt. Im Bereich der Bootsliegeplätze wurden an der Messstelle Werft Schmalzl 14 Sedimentproben und beim KSVL fünf Proben entnommen. An der als Referenzstelle festgelegen Kapuzinerinsel wurden ebenfalls fünf Proben genommen.

Im Zuge der Ersterhebung wurde festgestellt, dass die Konzentration von Cybutryn in Sedimenten nahe der Werft Schmalzl im Jahr 2014 mit 1,6 µg/kg TM (Herbst) bzw. ca. 3.8 µg/kg TM (Frühjahr) weit über dem Qualitätsstandard für benthische Organismen (0,18 µg/kg TM) lag. An der Stelle Loretto – KSVL wurde im Herbst ebenfalls eine Cybutryn-Konzentration bestimmt, die über dem Qualitätsstandard lag (0,5 µg/kg TM). In den Wasserproben des Wörthersees konnten Antifoulingwirkstoffe oder deren Metaboliten nicht, oder nur unter der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

Die Analyseergebnisse der Folgeuntersuchung bestätigten eine hohe Belastung bei der Messstelle Werft Schmalzl. An Messpunkten im Nahbereich der Bootsliegeplätze wurden die höchsten Konzentrationen von 7,1 und 5,9 µg/kg TM festgestellt. An der Messstelle im Bereich des Yachthafens KSLV Loretto, sowie an der Kapuzinerinsel war Cybutryn in den Sedimenten nicht oder nur unter der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/kg TM nachzuweisen.

Im Muschelfleisch wurde Cybutryn an allen drei Messstellen unter der Bestimmungsgrenze nachgewiesen.

**Resümee**: Im Nahbereich der Bootsliegeplätze bei der Werft Schmalzl wurden im Sediment Cybutryn-Werte festgestellt, die den Grenzwert für benthische Organismen um ein Vielfaches überschreiten. Die festgestellte Kontamination im Sediment dürfte hier eine Folge des Brandes am 17. April 2009 sein. Weiters kamen Antifoulingwirkstoffe vermutlich im Zuge von Wartungsarbeiten an den Booten, die bis zum Brand auf dem Areal erfolgten, ins Gewässer. Nach dem Brand wurde die Werkstatt ab 2010 nach Lind ob Velden verlegt, sodass Boote nicht mehr direkt am See gewartet werden. Das bedeutet, dass der Eintrag schon ein paar Jahre zurückliegt und die kontaminierten Sedimente vermutlich bereits von einer Sedimentschicht überlagert sind.

### 3.3.3 Sedimentuntersuchungen - Wiederbesiedelungspotenzial mit Characeae

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.5.4 | Sedimentuntersuchungen - Wiederbesiedelungspotenzial mit Characeae | *M. Reichmann* |

In diesem Arbeitspaket wurden Sedimentproben aus dem See hinsichtlich Nährstoffsituation und Wiederbesiedelungspotenzial von Characeen untersucht.

Die meisten Wasserpflanzen können zur Vermehrung Oosporen (samenartige Verbreitungseinheiten) bilden, die ins Wasser abgegeben werden und im Dauerstadium verharren, bis sie bei passenden Umweltbedingungen wieder austreiben. Um das Wiederbesiedlungspotential aufgrund von Oosporen grob abschätzen zu können, wurden aus Sedimenten, die an mehreren Stellen im Wörthersee entnommen wurden, kleine Teilmengen einer Untersuchung unter dem Binokular zugeführt. Ziel war es, Oosporen zu detektieren und grob zu quantifizieren.

Chemisch analysiert wurden die Parameter Trockengewicht, Glühverlust, Calcium in Trockensubstanz und Phosphor in Trockensubstanz.

Nährstoffsituation: Die gemessenen Gesamtphosphor-Werte in den Sedimentproben streuen zwischen nur 19 mg/kg TS beim Transekt 83 (Seekreide bei der Kapuzinerinsel) aus 2,2 m Tiefe und 450 mg/kg TS beim Transekt 63 aus 0,8 m Tiefe, wobei der niedrige Wert deutlich nach unten ausreißt. Im Mittel beträgt die Konzentration 230 mg/kg TS. Zum Vergleich: im Neusiedlersee beträgt die Phosphorkonzentration im Sediment im Mittel rd. 650 mg/kg TS (Dinka, 1989) mit einer Streuung zwischen 414 und 1052 mg/kg TS. Entsprechend dem hohen Kalkgehalt des Wörthersees sind auch die Calciumkonzentrationen im Sediment hoch. Im Mittel errechnet sich eine Konzentration von 275 g/kg TS. Wie beim Phosphor streuen auch beim Calcium die Einzelwerte stark. Der niedrigste Wert beträgt rd. 50 g/kg TS (Transekt 63 aus 0,8 m Tiefe) der höchste über 380 g/kg TS (Transekt 83 aus 2,2 m Tiefe). Tendenziell verhalten sich Calcium- und Phosphorkonzentrationen umgekehrt proportional zueinander ($R^2$=0,54).

Oosporen im Sediment: In den 30 analysierten Teilproben konnten insgesamt 19 Oosporen von Characeen nachgewiesen werden. Eine Hochrechnung auf den Quadratmeter ist bei der kleinen Gesamtfläche (~ 15 cm²) zwar mit großer Unsicherheit behaftet, zur Abschätzung der Größenordnung wurde die Berechnung aber trotzdem durchgeführt und ergibt eine Oosporenzahl von rd. 12.600 Oosporen/m². Bei dem geringen Gesamtvolumen, in dem diese Anzahl gefunden wurde, ist davon auszugehen, dass im Wörthersee durchschnittlich von einem sehr guten Besiedlungspotential auszugehen ist (Steinhard (2011) in V.d. Weyer (2021)).

Allerdings unterscheiden sich die Ergebnisse je nach Sedimententnahmestelle sehr. An der Hälfte der Probestellen, bzw. in rd. 2/3 der Teilproben wurden gar keine Oosporen angetroffen, wobei eine Erhöhung der Teilprobenanzahl dies möglicherweise ändern könnte. Unter Bedachtnahme der eingeschränkten Aussagekraft der Ergebnisse, lässt sich dennoch festhalten, dass, mit einer einzigen Ausnahme, Oosporen nur aus den Sedimentproben nachgewiesen wurden, die aus einer Wassertiefe ab 2 Metern entnommen wurden. Die höchsten Abundanzen wurden im Bereich vor den Naturufern der beiden Wörtherseeinseln angetroffen, aber auch nördlich des Strandbades Klagenfurt wurden in allen 3 Teilproben Oosporen nachgewiesen. Hier liegt ebenfalls ein ausgedehntes Seekreidefeld, das Ufer ist jedoch mittels betonierter Ufermauer hart verbaut. In diesem Transekt wurde auch die einzige Oospore in einer Probe aus dem flacheren Bereich gefunden. Eine Artbestimmung der Oosporen erfolgte bislang nicht.

**Resümee:** Die untersuchten Sedimente variieren sowohl hinsichtlich des Phosphor- und Calciumgehaltes als auch der Oosporendichte sehr. Mit einem Gesamtphosphorgehalt von 90 bis 450 mg/Kg TS ist der Phosphorgehalt im Sediment als „gering“ einzustufen. Ein Wert von maximal 500 mg/kg TS wird als Voraussetzung für die Ansiedlung mit Makrophyten definiert (van de Weyer & Stuhr, 2021).

Zumindest in weiten Bereichen des Sees ist in einer Tiefe ab 2 Metern ein ausreichendes Wiederbesiedlungspotential mit Characeen zu erwarten.

## 3.4 Wassertemperatur-, Wasserstands- und Witterungsänderungen

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.4.2 | Wassertemperatur-, Wasserstands- und Witterungsänderungen – Auswertung von Bestandsdaten | *M. Reichmann* |

Klimatische Veränderungen erscheinen als eine mögliche Ursache für den Rückgang der Makrophyten im Wörthersee. Aus diesem Grund wurden zur Verfügung stehende, langjährige Daten von einer hydrologischen und einer meteorologischen Messstation am Wörthersee einer genaueren Analyse zugeführt. Ziel war es, langjährige Trends zu erkennen und die meteorologischen und hydrologischen Parameter der beiden Makrophyten-Erhebungsjahre 2007 und 2021 zu vergleichen.

Für das ggs. Projekt liegen für den Zeitraum 1983 bis 2022 Daten zur Wassertemperatur und zum Wasserstand des Pegels Pörtschach vor. Ergänzend wurden Daten der meteorologischen Station der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in Pörtschach (Klima-ID: 20220) zu Lufttemperatur, Niederschlag und Windstärke bzw. -richtung verwendet.

Die Auswertungen haben gezeigt, dass die Wassertemperatur des Wörthersees über die letzten 40 Jahre deutlich angestiegen ist. Über die Jahresmittel zeigt sich ein Anstieg von über 2°C. Im Frühjahr ist der Anstieg noch stärker und erreicht bis zu 4°C. Abgesehen von diesem ansteigenden Trend unterscheiden sich die Temperaturjahresmittelwerte der beiden Makrophyten-Erhebungsjahre 2007 und 2021 sowohl im Jahresmittel (vgl. rote Punkte in Abbildung 14) als auch zu Beginn der Vegetationsperiode markant: 2007 wies der Wörthersee recht hohe Wassertemperaturen auf, 2021 waren sie im Vergleich zu den Jahren davor und danach gering.

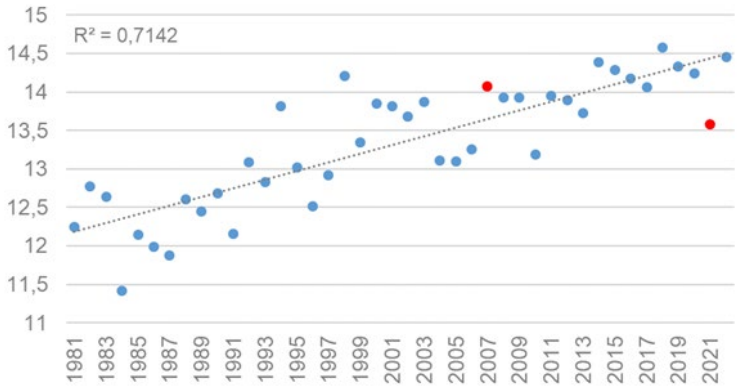


Abbildung 14: Temperaturjahresmittelwerte (°C) aus den Tagesmittelwerten 1981 bis 2022. Rote Punkte: Jahre der Makrophytenerhebungen (2007 und 2021)

Der **Wasserstand** lässt keinen klaren Trend erkennen, was mit der künstlichen Regulierung in Zusammenhang steht. Allerdings gab es ab Anfang der 1990er Jahre eine kontinuierliche Abnahme des Wasserstands bis 2007. Danach erfolgte ein steiler Anstieg. Die letzten Jahre war der Wasserstand stabil nahe dem Mittelwert. Vergleicht man die beiden Erhebungsjahre, so lag der Wasserstand 2007 im Jahresmittel rd. 20 cm unter jenem des Jahres 2021. Auch die Entwicklung im Jahresgang zeigt deutlich unterschiedliche Verläufe.

Die **Windgeschwindigkeit** hat ab Anfang der 1990er Jahre kontinuierlich abgenommen. Ab 2018 gab es jedoch einen erneuten Anstieg. Seit diesem Jahr blieb die Windgeschwindigkeit sehr konstant. 2007 war deutlich windärmer als 2021.

Die **Windrichtung** lässt über den langen Zeitraum keinen Trend erkennen. Die Hauptwindrichtung, sofern man von einer solchen sprechen kann, ändert sich von Jahr zu Jahr. Lediglich Winde aus südlicher Richtung sind am Wörthersee eher eine Seltenheit. Allerdings unterscheiden sich die Erhebungsjahre 2007 und 2021 hinsichtlich der Windrichtungen recht deutlich. Vor allem wehte der Wind 2021 überdurchschnittlich häufig aus Nordosten.

Die **Niederschläge** nehmen mit großer Streuung tendenziell zu. Die beiden Erhebungsjahre zeigen im Jahresverlauf große Unterschiede in der Niederschlagsmenge und ihrer jahreszeitlichen Verteilung.

**Resümee**: Wie die Daten zeigen, unterscheiden sich die Makrophyten-Erhebungsjahre 2007 und 2021 hinsichtlich ihrer meteorologischen Rahmenbedingungen in manchen Parametern deutlich.

Vor allem der unterschiedliche Temperaturverlauf zu Jahresbeginn könnte Einfluss auf den Start der Vegetationsperiode gehabt haben. Im Jahr 2007 war die Wassertemperatur im April und im Mai durchschnittlich um rd. 4 °C höher als 2021. Zudem gingen dem Jahr 2007 drei überdurchschnittlich kalte Jahre voraus. 2021 war hingegen im Vergleich zu den drei vorangegangenen Jahren vergleichsweise kalt.

## 3.5 Klimawandel

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 2.4.1 | Modelluntersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wörthersee anhand ausgesuchter Klimaszenarien | *U. Lang & S. Mirbach* |

Die Auswirkungen des Klimawandels sind im Wörthersee bereits heute anhand einer Zunahme der oberflächennahen Wassertemperaturen (vgl. Kap.3.4), sowie einer Abnahme der Tiefenwasserdurchmischung (vgl. Kap. 2.2.3) messbar. Um den weiteren Einfluss des Klimawandels auf die Temperatur- und Durchmischungsverhältnisse sowie den Sauerstoffhaushalt, die Primärproduktion und die wichtigsten Nährstoffkreisläufe zu prognostizieren, wurden mit dem bereits bestehenden Modellsystem für den Wörthersee Klimaszenarien aufgebaut und berechnet.

Das verwendete Modellsystem besteht aus Modellen zur dreidimensionalen Berechnung der Hydrodynamik und Wasserqualität im Wörthersee, die bereits anhand von Messdaten überprüft wurden (Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH 2023).

Die wichtigste Grundlage zur Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wörthersee sind langfristige Klimaprognosen sowie daraus resultierende Vorhersagen des zukünftigen Wetterverlaufs. Diese Prognosen dienen als meteorologische Antriebskräfte für die Berechnungen der Seemodelle. Für die Seemodell-Berechnungen wurden vier verschiedene Szenarien für einen Prognosezeitraum von 2006 bis 2100 ausgewählt, über die eine große Bandbreite möglicher Klimaänderungen abgedeckt wird:

- RCP2.6-Szenario des Met Office Hadley Centre (im Folgenden **MOHC-RCP2.6** genannt)

  Szenario mit Umsetzung stringenter Maßnahmen und deutlicher Abnahme des jährlichen Ausstoßes an Treibhausgasen, bei dem die globale Erwärmung wahrscheinlich unter 2 °C bleibt.
- RCP4.5-Szenario des Royal Netherlands Meteorological Institute (**KNMI-RCP4.5**)

  Szenario mit weiterem Anstieg des jährlichen Ausstoßes an Treibhausgasen bis etwa zum Jahr 2050 und anschließender Abnahme, bei dem die globale Erwärmung wahrscheinlich unter 2,6 °C bleibt.
- RCP8.5-Szenario der Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (**ETH-RCP8.5**)

Szenario mit weiterem, moderaten Anstieg des jährlichen Ausstoßes an Treibhausgasen bis etwa zum Jahr 2080 und anschließender Abnahme, bei dem die globale Erwärmung wahrscheinlich unter 3,1 °C bleibt.

- RCP8.5-Szenario des Met Office Hadley Centre (**MOHC-RCP8.5**)
  Szenario ohne zusätzliche Anstrengungen zur Begrenzung der Emissionen und mit langfristig wirtschaftlich attraktiver Förderung knapper werdender fossiler Energieträger. Ein Anstieg der globalen Lufttemperatur um über 4 °C ist wahrscheinlich.

Auswertungen und Messwerte deuten darauf hin, dass das RCP8.5-Szenario bzw. ein Pfad zwischen dem RCP4.5- und dem RCP8.5-Szenario den aktuellen Zustand am besten beschreibt (Schwalm, Glendon & Duffy 2020, Wang et al 2021).

Der Klimawandel wirkt sich unmittelbar auf die oberflächennahen Wassertemperaturen im See aus, da diese Wasserschichten im direkten Wärmeaustausch mit der Atmosphäre stehen. Höhere Lufttemperaturen und Einstrahlung bedeuten höhere Wassertemperaturen. Aufgrund der saisonalen Schichtungsverhältnisse und unvollständigen Durchmischung des Tiefenwassers im Wörthersee treten in tieferen Wasserschichten die Auswirkungen des Klimawandels meist verzögert und abgepuffert auf. Die beiden RCP8.5-Szenarien prognostizieren im Zeitraum von 2006-2100 einen mittleren Anstieg der oberflächennahen Wassertemperaturen von 2,6 °C bzw. 3,7 °C. Die sohlnahen Wassertemperaturen an der tiefsten Stelle in 82 m steigen in beiden Szenarien um 1,1 °C bzw. 1,2 °C an. Beim RCP2.6- bzw. RCP4.5-Szenario beträgt der Anstieg oberflächennah 0,8 °C bzw. 1,0 °C und im Tiefenwasser 0,1 °C bzw. 0,2 °C. Im saisonalen Verlauf der Temperaturanstiege weichen die Szenarien voneinander ab. So sind die Änderungen im MOHC-RCP8.5-Szenario im Sommer am stärksten, während sie beim ETH-RCP8.5-Szenario im Frühjahr stärker sind. Gesicherte Aussagen über die saisonalen Unterschiede der zu erwartenden Klimaerwärmung sind anhand der Klimaszenarien nicht möglich.

Mit dem prognostizierten, stärkeren Anstieg der oberflächennahen Wassertemperaturen im Vergleich zu denen in den tieferen Wasserschichten nimmt die Schichtungsstabilität zu und die Schichtungsperiode verlängert sich. Für die beiden RCP8.5-Szenarien wird bis zum Jahr 2100 im Mittel ein um knapp drei Wochen früherer Schichtungsbeginn prognostiziert. Gleichzeitig ist auch die Varianz von Jahr zu Jahr etwas größer. Alle vier Szenarien zeigen einen abnehmenden Trend hinsichtlich der Stärke der winterlichen Durchmischung und Tiefenwassererneuerung sowie eine starke Akkumulation von Phosphat und Ammonium im Tiefenwasser. Die Mächtigkeit dieses nicht durchmischten Tiefenbereichs nimmt im Laufe des Simulationszeitraums zu. Aufgrund der anoxischen Verhältnisse in diesem Tiefenbereich gehen die Nitratkonzentrationen auf null zurück. Die seeweite mittlere Phosphorkonzentration nimmt stark zu, da die Phosphor-Nettosedimentation geringer wird. In Wintern mit stärkerer Durchmischung ist somit ein Nährstofftransfer vom Tiefenwasser in die oberen Wasserschichten möglich. Bei beiden RCP8.5-Szenarien steigt die Produktivität im Wörthersee im Mittel um ca. 20-30 % an. Grund hierfür ist die anwachsende Akkumulation von Nährstoffen im Tiefenwasser und der damit verbundene, verstärkte Nährstofftransfer in die oberen Wasserschichten während der winterlichen Durchmischung. Generell ist in Zukunft auch mit einer größeren Variabilität der Primärproduktion von Jahr zu Jahr zu rechnen.

Die Ergebnisse der Klimaszenarien zeigen, dass je nach Ausmaß der Klimaänderung mit einer weiteren Sauerstoffzehrung sowie einer Ausweitung des sauerstofffreien Bereichs im Tiefenwasser gerechnet werden muss.

**Resümee**: Insgesamt sind die Unterschiede zwischen den vier betrachteten Klimaszenarien relativ groß. Je nach Szenario wurden unterschiedlich starke Erwärmungen des Oberflächenwassers und des Tiefenwassers ermittelt. Alle vier Szenarien zeigen einen abnehmenden Trend hinsichtlich der Stärke der winterlichen Durchmischung und Tiefenwassererneuerung sowie eine starke Akkumulation von Phosphat und Ammonium im Tiefenwasser. Eine Steigerung der Algenbiomasse im See ist wahrscheinlich.

## 3.6 Nutzung der Seefläche

Fachberichte:

| | | |
|---|---|---|
| 3.1. | Nutzung Seefläche | *B. Kogelnig* |
| 3.2 | Sicherheit am See | *K. Angermann & B. Karner* |

Zur Erfassung der Nutzung der Seefläche wurden verschiedene Methoden angewendet:

- Auswertung von Webcam-Bildern: Um eine erste Abschätzung der Anzahl der Seenutzer:innen zu generieren, wurde die Anzahl der sichtbaren Objekte anhand von Webcam-Fotos gezählt.

- Kontinuierliche Erfassung des Bootsverkehrs: Eine bildbasierte Dokumentation des Bootsverkehrs am Wörthersee erfolgte am 31.07.2022 stellvertretend für einen typischen Tag in der Hauptsaison.

- Mobilitätserhebung anhand Mobilfunkdaten: Da viele Menschen ihr Mobiltelefon auch bei sich tragen, wenn sie sich auf der Seefläche aufhalten, können über Mobilfunkdaten Personenströme erfasst werden. Die Analysen erfolgten mit anonymisierten Daten des Mobilfunkbetreibers „A1“. Aufgrund von datenschutzrechtlichen Bestimmungen und der begrenzten Verfügbarkeit von Sendemasten war die Analyse nur eingeschränkt möglich.

- Nationaler Vergleich der Bootslizenzen: Die private Motorbootnutzung an den meisten österreichischen Seen ist ganzjährig, bzw. über die Sommermonate verboten (z.B. Attersee, Mondsee, Wolfgangsee). Kärnten ist das einzige Bundesland in Österreich, welches lediglich eine mengenmäßige Beschränkung des privaten Motor- und Elektrobootsverkehrs hat. Daher ist ein Vergleich der privaten Motorbootlizenzen auf nationaler Ebene nicht möglich und es konnten nur die per Verordnung genehmigten Motorbootslizenzen zur gewerblichen Nutzung verglichen werden.

Eine im Projekt durchgeführte Mobilitätsanalyse hatte das Ziel, die verschiedenen Nutzungsformen räumlich und zeitlich zu quantifizieren, die Nutzungsintensität darzustellen und mögliche Nutzungskonflikte aufzuzeigen. Es zeigte sich deutlich, dass die Seefläche in den Monaten Juli und August nahezu gleich stark genutzt wird, während das verlängerte Wochenende im Juni deutlich geringer frequentiert wird.

Der Vergleich von Dichtekarten zeigt deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Geschwindigkeitsklassen. Während sich der Schwerpunkt der Geschwindigkeitsklasse 0-10 km/h grundsätzlich in der Veldener Bucht befindet, zeigt die Dichtekarte für die Geschwindigkeitsklasse 10-30 km/h eine erhöhte Dichte zwischen Krumpendorf und Klagenfurt. Interessanterweise wurde am 8.8.2021 vor der Halbinsel Maria Wörth auch eine erhöhte Nutzungsintensität festgestellt. Das Quell-Ziel-Verhältnis zeigt ein Bewegungsmuster zwischen Maria Wörth und der Villa Rainer in Pörtschach. Möglicherweise wurde die erhöhte Dichte der Geschwindigkeitsklasse 10-30 km/h zwischen Krumpendorf und Klagenfurt durch die gewerbliche Schifffahrt verursacht, da dieser Bereich z.B. intensiv für Wasserski, Wave-surfen, u.ä. genutzt wird und die Linienschifffahrt in der Klagenfurter Ostbucht ihre Landungsstege hat. Obwohl die Bewegungsmuster von am Ufer verlaufenden Bewegungen aus der Mobilitätsanalyse entfernt werden sollten, könnte der direkt am Ufer verlaufende Radweg zu einer Verfälschung der Dichtekarte geführt haben.

Die bildbasierte Dokumentation des Bootsverkehrs für einen typischen Tag in der Hauptsaison (31.07.2022) ergaben insgesamt 686 Boote, wobei der Hauptanteil auf Motorboote (282) und Elektroboote (150) fiel. Die zeitliche Verteilung des Bootsverkehrs zeigte, dass um die Mittagszeit die höchste Bootsfrequenz auftrat, bis ca. 15:00 Uhr relativ hoch blieb und dann kontinuierlich abnahm (siehe Abbildung 15).

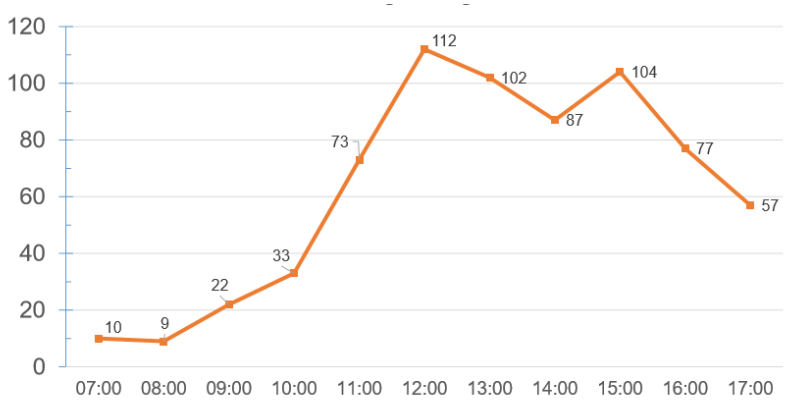


Abbildung 15: Anzahl der Beobachtungen pro Stunde (31.07.2022)

**Vergleich mit anderen Seen**

Ein nationaler Vergleich der Seen-Verkehrsverordnungen zeigt deutliche Unterschiede bei den Regelungen des privaten Motorbootverkehrs. Kärnten ist das einzige Bundesland, welches den privaten Motorbootverkehr per Lizenz regelt. Ein weiterer großer Unterschied ist, dass es in anderen Bundesländern zeitliche Einschränkungen des privaten Motorbootverkehres (Sommersperre, Wochenendsperre, Nachfahrverbot) gibt. Insgesamt ist die Anzahl genehmigter Motorboote am Wörthersee deutlich höher als an anderen Seen (Zulassungen am Wörthersee: Private: 335 Boote mit Verbrennungskraftmaschinen, 500 E-Boote ab 4,4 kW, Gewerbe: 53 Verbrenner, 27 E-Boote => in Summe 915 Boote)

Die Regelungen hinsichtlich der gewerblichen Schifffahrt sind in allen Bundesländern ähnlich. Hier zeigt sich, dass die Anzahl der Motorfahrzeuge zur gewerblichen Schifffahrt an keinem See (ausgenommen Neusiedlersee und Bodensee) so groß ist wie am Wörthersee.

**Sicherheit am See**

Eine im Rahmen des Projekts durchgeführte Umfrage zur Sicherheit am See hat gezeigt, dass sich Seenutzer durch Boote unterschiedlich stark verunsichert fühlen, wobei die Verunsicherung durch Motor- und starke Elektroboote am stärksten ausgeprägt war. Schwimmer nutzen entgegen der Annahme nicht nur den Randbereich, bzw. ausgewiesenen Schutzzonen, sondern auch die Seemitte, wodurch die Wahrscheinlichkeit steigt, dass sie auf schnell fahrende Boote treffen. Dadurch besteht ein höheres Unfallrisiko bei hoher Bootsfrequenz und -geschwindigkeit. Hervorzuheben sind auch die SUP-Nutzer, die nach den Schwimmern die zweitgrößte Nutzergruppe bilden. In dieser Gruppe ist die Verunsicherung durch schnelle bzw. starke Boote am größten. Mögliche Ursachen dafür könnten eine längere Aufenthaltsdauer auf dem See und ein großer Aktionsradius sein, wodurch SUP-Nutzer und Boote häufiger aufeinandertreffen.

**Resümee**: Kein anderer See in Österreich wird so intensiv genutzt wie der Wörthersee. Die Seeflächennutzung ist in den Monaten Juli/August am größten. Dass die Motorbootnutzung am Wörthersee im nationalen Vergleich hoch ist, zeigt der Vergleich der Bootslizenzen: Die Nutzung privater Lizenzen ist im Sommer (und teilweise im Frühjahr) nur an Seen in Kärnten möglich. Gewerbliche Lizenzen dürfen in Seen anderer Bundesländer auch im Sommer genutzt werden. Allerdings liegt die Anzahl der genehmigten gewerblichen Boote in Summe weit unter der Anzahl am Wörthersee.

## 3.7 Verbauung Seefläche und Seeufer

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 3.3 | Verbauung Seefläche und Seeufer | *K. Angermann, B. Kogelnig* |

Im diesem Arbeitspaket wurden die Verbauungen des Ufers und die Überbauungen erhoben, analysiert und die Anzahl der Bootsanlegestellen (inkl. Bojen) ermittelt. Weiters wurden die Flächenwidmungen der Ufergrundstücke eruiert und anhand der rechtlichen Situation im Zusammenhang mit (weiterer) Seeuferverbauung erörtert.

Je nach Fragestellung kamen unterschiedliche Methoden zur Anwendung:

| | |
|---|---|
| Verbauung Seeufer | Erhebung der Uferverbauung auf Basis von Drohnenbildern in Kombination mit Videoaufzeichnung (September 2020) |
| Uferlänge der Ufergrundstücke | GIS-Analysen |
| Seeüberbauungen | Auswertung und Ergänzung eines GIS-Datensatzes zu den Seeüberbauungen vom Kärntner Institut für Seenforschung (Basis: Orthofotos 2019). Unterscheidung zwischen Stegen (Liegestege oder Bootsanlegestellen), Marinas und Bootshäusern. |
| Bojen | Auf Basis einer Liste (Anzahl d. Bojen je Grundstück – ÖBf) wurden die Bojen am Orthofoto (2019) ausgemacht und geographisch als Punkte verortet. Die Punkte wurden in Folge mit Tiefenzonenklassen des Wörthersees verschnitten |
| Bootsanlegestellen | Die Anzahl der Bootsanlegestellen wurde je Objekt (Steg, Marina Bootshaus, etc.) anhand von Orthofotos und Videoaufzeichnung ermittelt. |

Verbauung Seeufer: Die Länge des Wörthersee-Ufers beträgt in Summe ca. 46,100 km.Die Erhebung der Uferverbauung ergab, dass 62% (ca. 28,58 km) des Wörtherseeufers in unterschiedlicher Weise verbaut sind. Wie die Abbildung 16 unten zeigt, sind 29,9 %(ca. 13,78 km) des Wörtherseeufers mit Ufermauern (Betonmauer) gesichert. 15,3 % der Uferlinie sind mit Stegen, Bootshäusern oder Plattformen verbaut, was ca. 7,05 km entspricht. Weitere 12,8 % (ca. 5,90 km) des Ufers sind mit Blockwurf gesichert. Holzverbau und unverfugte Steinschlichtung sind nur in geringem Ausmaß vorhanden. Bei der räumlichen Verteilung der Uferverbauung fällt auf, dass es kaum längere unverbaute Abschnitte gibt, wie sie z.B. am Längsee oder am Weißensee zu finden sind. Tendenziell sind in den Ortszentren mehr harte Verbauungen (Ufermauern, Blockwurf) bzw. auch Überbauungen („Ufer überbaut“) zu finden (z.B. Velden).

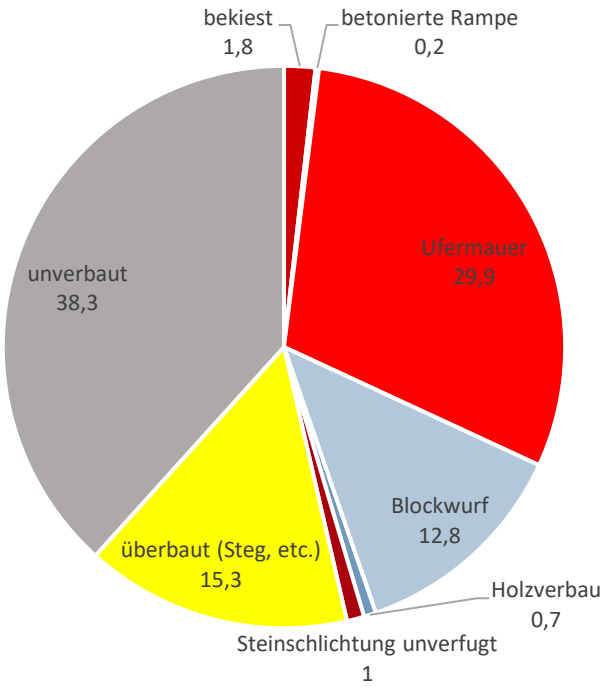


Abbildung 16: %-Anteil der Uferverbauungen

Uferlänge der Ufergrundstücke: Rund um den See gibt es 1.337 Seegrundstücke. Es zeigt sich, dass eine hohe Anzahl der Grundstücke unter 10 m breit sind (195 Grundstücke), und rund weitere 400 Grundstücke Uferlängen zwischen 10-15 m bzw. 15-20 m aufweisen.

Seeüberbauungen: In Summe wurden 1.699 Objekte erfasst, die gemeinsam eine Fläche von 91.033 $m^2$ bedecken. Der größte Anteil der Überwasserbauten entfällt auf Stege, sowohl in Bezug auf die Anzahl (1.278), als auch in Bezug auf die Fläche (55.794 $m^2$). Bootshäuser nehmen ca. ein Viertel der Anzahl (362) und Fläche (18.549 $m^2$) ein, gefolgt von Marinas, auf die zwar die geringste Anzahl (59) entfällt, die jedoch eine ähnlich große Fläche (16.690 $m^2$) wie die Bootshäuser einnehmen.

Bojen: Im gesamten See wurde eine Anzahl von 669 Bojen ermittelt, wovon sich die größte Zahl (337) in einer Tiefe von 10-25 m befindet, was einem Anteil von ca. 50% entspricht. Die meisten Bojen kommen in Velden (115), Pritschitz (90), Dellach (75) und Pörtschach (74) vor.

Bootsanlegestellen (BAS):

In der Annahme, dass es sich bei den Bojen um BAS handelt, ergeben sich in Kombination mit den BAS am Ufer und den geschätzten BAS am Lendkanal und in der Sattnitz in Summe 2.986 Bootsanlegestellen am Wörthersee.

Die Auswertung der BAS am Ufer hat ergeben, dass sich die meisten BAS (398) in Velden befinden. Hinsichtlich der Dichte (Anzahl BAS pro km Uferlinie) ist mit 105 Booten der Wert für die Ostbucht Klagenfurt deutlich höher als jener in Velden (67 pro km). Eine ähnlich hohe Dichte wie in Velden gibt es in Krumpendorf (76 Boote pro km Uferlinie). Auffällig ist auch, dass in der Ostbucht Klagenfurt, Velden und Krumpendorf die meisten BAS in Marinas erfasst wurden. Verhältnismäßig wenige BAS gibt es in Maiernigg (21), Krumpendorf Ost (50) und Schiefling (65).

**Resümee**: Die Zahlen zur Verbauung der Seefläche und des Seeufers zeigen deutlich, dass in Summe die Beeinflussung durch den Menschen sehr hoch ist. Aus der Literatur (Ostendorp 2014, Iseli, Ch., La Poutré, M., De Cesare, G. 2020) ist bekannt, dass Betonmauern Auswirkung auf Wellenreflexion, Sediment, Wasserwechselzone und Ästhetik haben. Dass 30 % des Wörtherseeufers mit Mauern gesichert ist, zeigt ein großes Renaturierungspotential. Ebenso hoch ist der Anteil des überbauten Seeufers (15

% der Uferlänge). Die Fläche der Seeüberbauungen entspricht mit rund 9 ha ca. 13 Fußballfeldern – mit entsprechend negativen ökologischen Auswirkungen.

Die fast 3.000 ermittelten Bootsanlegestellen am Wörthersee stellen eine wichtige Datengrundlage bei der Genehmigung von neuen Bootsanlegestellen dar und zeigen, wie hoch die Bootsnutzung am Wörthersee ist.

## 3.8 Thermische Nutzung des Seewassers

Die thermische Nutzung des Seewassers wurde im Rahmen dieses Projekts nicht erhoben, weil diesbezügliche Nutzungen derzeit nur punktuell vorkommen. Für den ganzen See betrachtet spielen sie nur eine untergeordnete Rolle. Angesichts der augenscheinlichen Erwärmung des Oberflächenwassers aufgrund des Klimawandels (vgl. Kap. 0 und 3.5) und der damit verbundenen Effekte ist die Nutzung des Seewassers zur Kühlung jedenfalls kritisch zu sehen.

## 3.9 Wasserentnahmen

Erfahrungen zeigen, dass es rund um den Wörthersee viele kleinere Wasserentnahmen, wie z.B. zur Gartenbewässerung oder für Duschen gibt. Im Wasserbuch sind hingegen nur wenige Wasserentnahmen aus dem Wörthersee zu finden. Da das Ausmaß aufgrund der fehlenden Bewilligungen nicht abgeschätzt werden kann, wurde das Thema Wasserentnahmen im Rahmen des Projekts nicht untersucht. Ein ursächlicher Zusammenhang von Wasserentnahmen und der Verschlechterung der Bewertung des Qualitätselements Makrophyten ist weder aus der Literatur bekannt, noch wurde von den hinzugezogenen Experten darauf hingewiesen.

# 4 Belastungsanalyse Makrophyten

Fachbericht:

| | | |
|---|---|---|
| 1.3 | Ökologischer Zustand Makrophyten, Biotische und abiotische Belastungen | *M. Friedl* |

Folgend werden die vorangestellten Untersuchungsergebnisse dahingehend analysiert, inwieweit die einzelnen Einflussfaktoren für die Verschlechterung des Makrophytenvorkommen eine Rolle spielen. Das Ergebnis der Belastungsanalyse dient als Grundlage für die Entwicklung von Maßnahmen.

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 dies 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 Kap. 2.1.1 und Fachbericht 1.2). Anmerkung: Methodisch bedingt (Pall, 2019) wurde der Gesamt-EQR-Wert von 2007 zwischenzeitlich von 0,73 auf 0,71 adaptiert.

Tabelle 8: 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 |

Tabelle 9 Belastungsanalyse und beobachtete Entwicklungen je Metrik und betroffene Transekte.

| Metrik | Mögliche Belastung und beobachtete Entwicklungen | Transekte (Nr.) |
|---|---|---|
| **Vegetationsdichte** | Uferverbau, Wellenbelastung, Wasserstandsschwankungen, Trophieänderung<br>Wühltrichter | 4 ,5 9,17 19, 28,32, 33,36,55,67,68,70,75,79,83<br>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<br>Konkurrenzstarke Arten, Allelopathie | 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<br>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 |

## 4.1 Trübung

Eine Verschlechterung der Metriken Vegetationsdichte und Vegetationsgrenze kann auf eine trophisch bedingte Trübung (Trübung biotisch durch Phytoplankton), Trübung durch biogene Entkalkung und/oder abiotische Trübung (physikalisch-chemische Entkalkung) hinweisen.

### 4.1.1 Trübung biotisch durch Phytoplankton

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

Für den Wörthersee, der dem Seentyp der inneralpinen Becken zugeordnet wird, sind als Referenzwert für die Vegetationsgrenze 13 m angegeben (Pall 2019). Mit zunehmender Erwärmung des Oberflächenwassers schichtet sich die an Schwachlicht angepasste Algenart *Planktothrix rubescens* 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 die Metrik Vegetationsgrenze gegenüber 2007 keine Verbesserung oder Verschlechterung an. Sowohl 2007 als auch 2021 wurde ein EQR von 0,75 errechnet.

### 4.1.2 Biogene Entkalkung

Durch Photosyntheseaktivität von Phytoplankton wird dem Seewasser $CO_2$ 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-Effekt). Im Juni 2023 wurde eine auffallend hohe Kalktrübe mit geringem Sichttiefenwert (1,2 m) beobachtet. Zu diesem Zeitpunkt wurde ein Phytoplanktonbiovolumen von 1,07 mm³/l bestimmt. Den Hauptanteil bildeten Kieselalgen (Centrales) mit 48 %.

Als sogenannte Seekreide sedimentiert der Kalk schließlich auf den Gewässergrund (Uhlmann & Horn, 2001). 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 durch die rückläufigen Phytoplanktonbiovolumina tendenziell verringern und somit keinen negativen Einfluss auf die Makrophyten haben.

### 4.1.3 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 in Flüssigkeiten 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 Sichttiefe ist ein Maß für die Trübe eines Gewässers. 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 bis 2014 die umgekehrt proportionale Korrelation. Ab 2017 wurden geringere Phytoplanktonbiovolumina bestimmt, dennoch wird die Transparenz des Seewassers geringer.

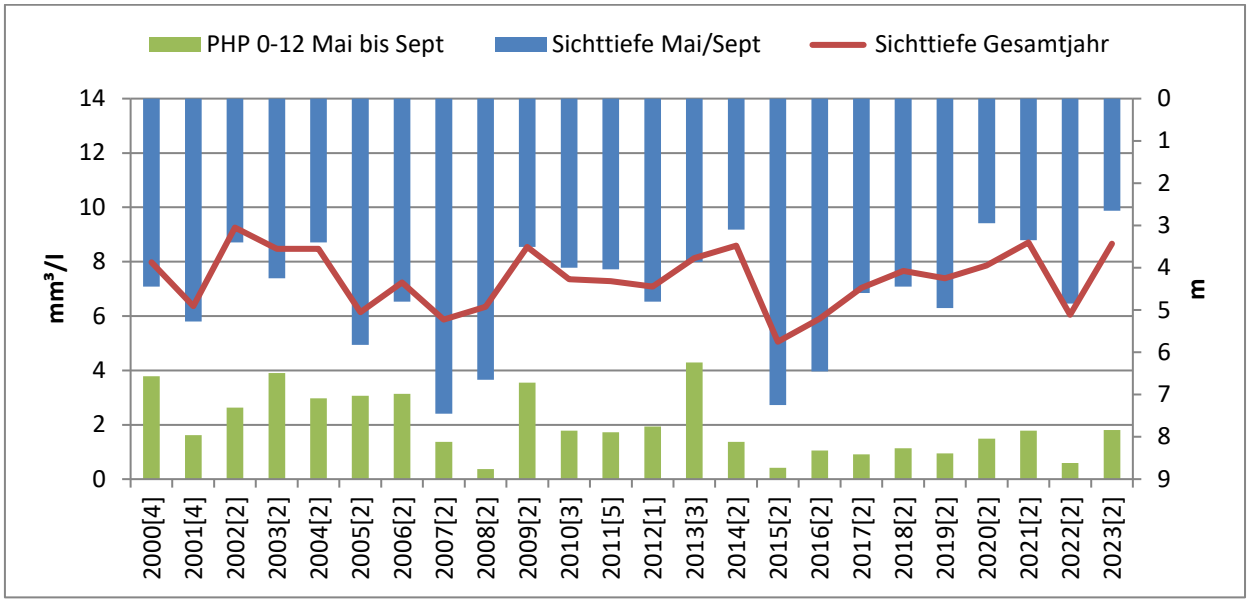


Abbildung 17: Mittelwerte der Phytoplanktonkonzentration (0-12 m) und Sichttiefe von Mai bis September von 2000 bis 2023 [Anzahl der Messtermine]

Die zunehmende Trübung bzw. die verminderten Sichttiefenwerte des Seewassers im Sommerhalbjahr stehen demnach nicht mit der Phytoplanktonmenge, in Zusammenhang.

## 4.2 Nährstoffeintrag

### 4.2.1 Nährstoffgehalt Freiwasser

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 die Metrik Trophieindikation übertragen lässt. Während Phytoplankton schnell auf Trophieänderung reagiert, zeigen Makrophyten ein vergleichsweise konstantes Vorkommen (Melzer & Schneider, 2001).

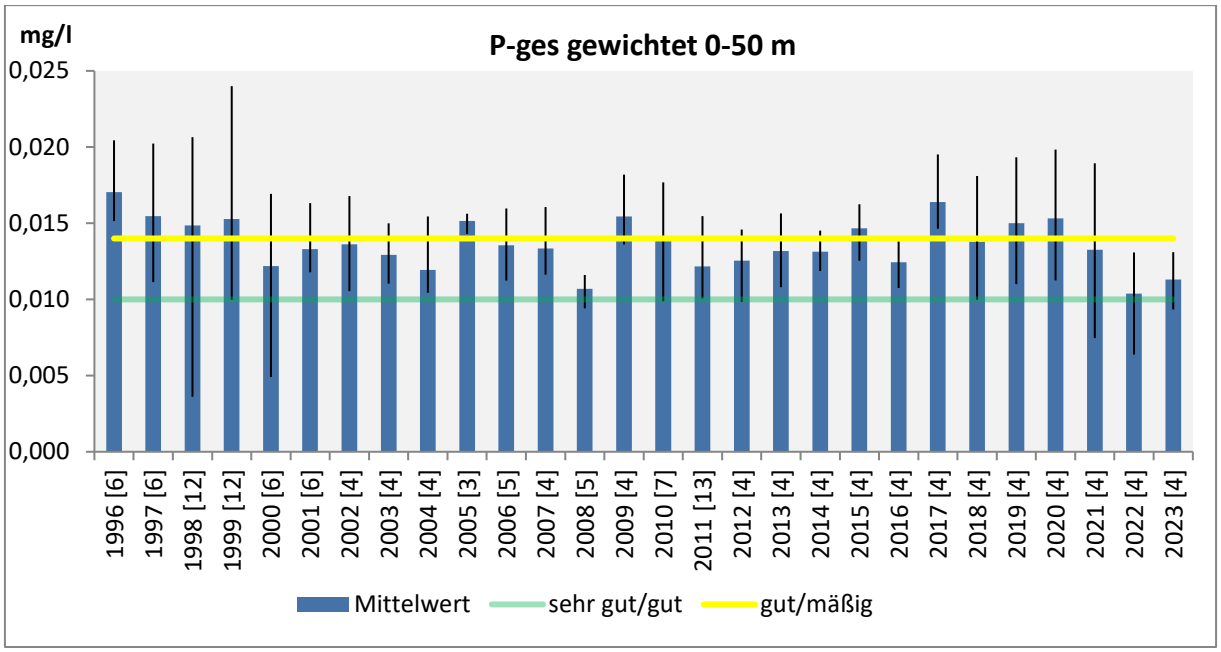


Abbildung 18: Volumsgewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentration von 0-50 m [Anzahl der Messtermine]

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, welche die höheren Phosphorgehalte in 50 m Tiefe abbilden, die in die Berechnung einfließen (vgl. Kap. 2.1.5 und Bericht 2.5.1).

Bis in 40 m Tiefe wurden geringe Konzentrationen gemessen. Ab 50 m Tiefe wurde seit den 2000er 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.

Eine Erhöhung der Phosphorkonzentrationen bzw. der Trophie kann das Makrophytenwachstum in beide Richtungen beeinflussen. Eine zu hohe Pflanzenmenge kann auch zu einer Verschlechterung der Metrik Vegetationsdichte führen. 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.

### 4.2.2 Nährstoffgehalt Zubringer

Im Jahr 2020 wurden fünf Wörtherseezubringer und der Wörtherseeabfluss (Glanfurt) annähernd monatlich chemisch beprobt. Insgesamt sind 29 Zubringer, manche nur temporär Wasser führend, bekannt.

Grundsätzlich sind die Gesamtphosphorkonzentrationen der Wörtherseezubringer eher unterdurchschnittlich, jedoch können im Zuge von Hochwasserereignissen wie z.B. Mühlbach (Oktober 2020) durchaus sehr hohe Gesamt-Phosphor- Konzentrationen (165 µg/l) in den See eingetragen werden (siehe Kap. 3.3.1 und Bericht 2.5.2).

Abbildung 19: Beispiel eines Zubringers während eines Starkregenereignis mit Eintrübung

### 4.2.3 Metrik Trophie-Indikation (TI) – Nährstoffzeiger

Die eingestuften Makrophyten-Taxa geben Aufschluss über die trophischen Verhältnisse im Uferbereich.

Während 2007 acht Transekte schlechter als „gut“ bewertet wurden, waren 2021 18 Transekte schlechter als „gut“ einzustufen. Bei Änderungen der Nährstoffverhältnisse reagieren Makrophyten langsamer als Phytoplankton, so dass eine länger andauernde Nährstoffzufuhr an diesen Stellen angenommen werden muss.

Abbildung 20: Darstellung der Transekte mit einer trophischen Indikation schlechter als „gut“ bewertet, Zustand 2007

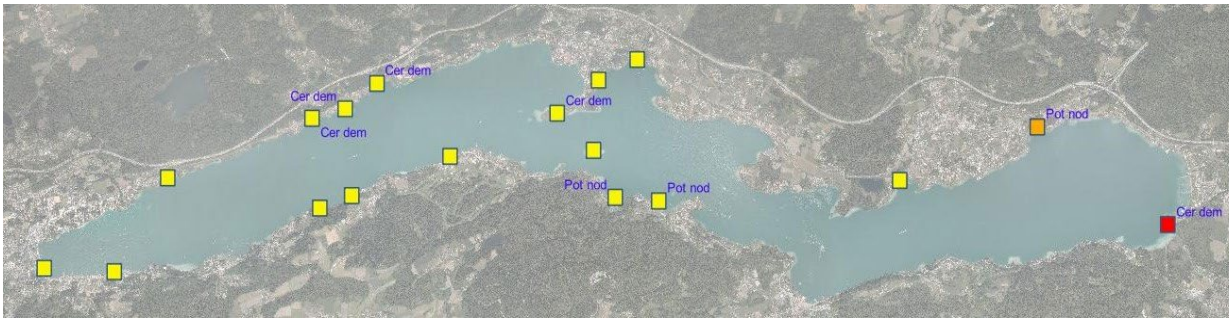


Abbildung 21: Darstellung der Transekte mit einer trophischen Indikation schlechter als „gut“ bewertet, Zustand 2021; Violetter Text = Abkürzung für Makrophyten-Arten, welche einen höheren Trophieindex anzeigen

Die Art *Ceratophyllum demersum* (Cer dem) 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* (Pot nod), hinzu. Auch die Artenverschiebung von *Najas intermedia* (Trophieindex 2,5) zu *Myriophyllum spicatum* (Trophieindex 3) führte zur mäßigen Bewertung dieser Metrik.

Trotz rückläufigem Trend der Gesamt-Phosphor-Konzentrationen in der Oberflächenschicht des Freiwassers und trotz unauffälliger Messdaten in den Zubringern nimmt das Vorkommen der Belastungszeiger *Ceratophyllum demersum* und *Potamogeton nodosus* zu, was auf punktuelle Nährstoffquellen schließen lässt.

Abbildung 22: Dichter Bestand von *Ceratophyllum demersum*

Je nach Art können Makrophyten Nährstoffe 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 ausreichend gering zu bezeichnen. Für die Ansiedelung von Makrophyten wird ein Wert von unter 500 mg/kg angegeben. Es ist daher anzunehmen, dass der Nährstoffgehalt des Sediments im Wörthersee für das Makrophytenwachstum geeignet ist.

Um die Korngröße des Sedimentes abzuschätzen, wurden Teilproben gezogen und unter dem Mikroskop bestimmt. 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.

Die im Zuge der hydromorphologischen Untersuchungen erhobenen dominanten Substrat-Fraktionen des Sublitorals, 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 die Fraktionen Makrolithal, Mesolithal, Mikrolithal, Akal, Psammal, Pelal und Kalkschlamm (Pall & Pall 2023, Bericht 2.3.1).

Makrophyten können in Bezug auf die Korngröße eine sehr weite Spanne besiedeln. Feinsedimente bieten gute Bedingungen für Arten mit starken Rhizomen (*Nuphar* sp., *Nymphaea* sp.). Für Pleustophyten wie *Ceratophyllum* sp. 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 (Überdauerungsorgane, Dauerstadien von Characeen) 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).

Die Analyse von Sedimentteilproben in Bezug auf das Vorkommen von Oosporen ergab ein gutes Wiederbesiedelungspotential vor allem ab 2 m Wassertiefe.

## 4.3 Wellenschlag

### 4.3.1 Einfluss von Wind- und Bootswellen

Wind- und Schiffswellen (Bootswellen) 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 sporadisch auf. Schiffswellen (Bootswellen) 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 Projektes wurden im Juli 2022 über einen Tag die Wellenbewegungen der Wasseroberfläche erfasst und Testfahrten mit verschiedenen Bootstypen und Geschwindigkeiten (Fahrweisen) durchgeführt (vgl. Kap. 3.2 und Fachbericht 2.2.2) und aufbauend auf die Messergebnisse über ein spezifisches Wellenmodell für den Wörthersee verschiedenen Bootsfahrts-Szenarien modelliert und analysiert.

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 Bootswellen das Wellenfeld auf dem Wörthersee.

Durch Verdrängerfahrt erzeugte Wellen sind größer als jene, die bei Gleitfahrten entstehen. Neben der direkten mechanischen Belastung durch die Bootswellen infolge von Sohlschubspannungen, die bis in 2 m Tiefe reichen kann, können in für Makrophyten relevanten Wassertiefen remobilisierte und wieder absinkende Schwebstoffe die Pflanzen bedecken und die Lichtaufnahme behindern.

Bei starkem Bootsverkehr ergibt sich ein Multiplikationseffekt (Bildung von hohen Resonanzwellen). Remobilisierte Sedimentteilchen werden bei häufigem Wellenschlag in der Wassersäule permanent in Schwebe gehalten, beeinträchtigen die Lichtdurchlässigkeit des Seewassers und können 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“).

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.

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 neben der Linienschifffahrt ca. 900 Boote zugelassen.

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 und damit auf die Wachstumsbedingungen der Makrophyten hat (Bericht 2.2.3).

Schwimmblattpflanzen sind an starke Wellenbewegungen schlechter angepasst als untergetauchte Arten mit geteilten (*Myriophyllum* sp.) oder feinen Blättern. Die Teichrose (*Nuphar* sp.), die neben Schwimmblättern auch Unterwasserblätter ausbildet, ist besser vor starken Wellenbewegungen geschützt als die Seerose (*Nymphaea* sp.), 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“ (vgl. Fachbericht 1.1, Abbildung 23 und Abbildung 24).

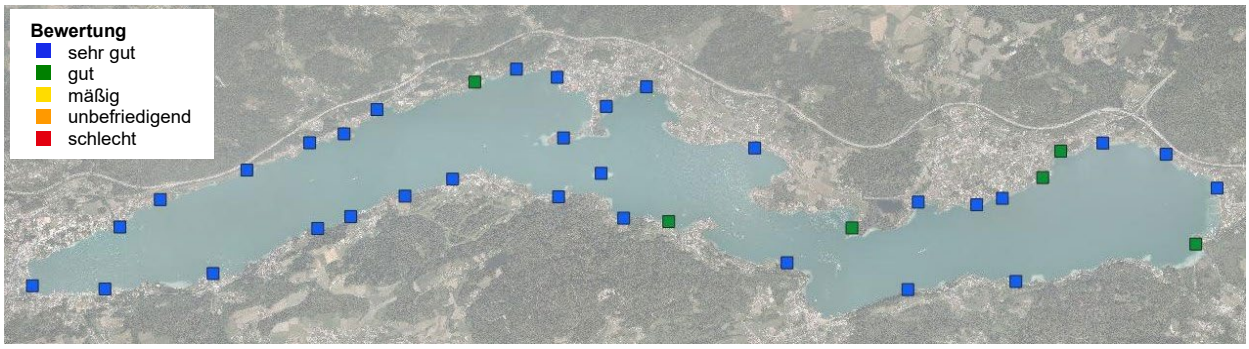


Abbildung 23: Bewertung Vegetationsdichte 2007

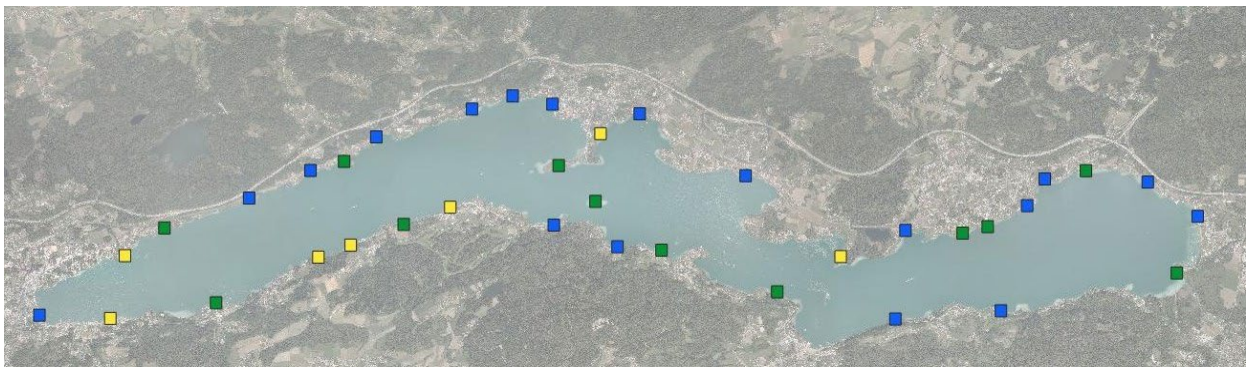

Abbildung 24: Bewertung Vegetationsdichte 2021

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.

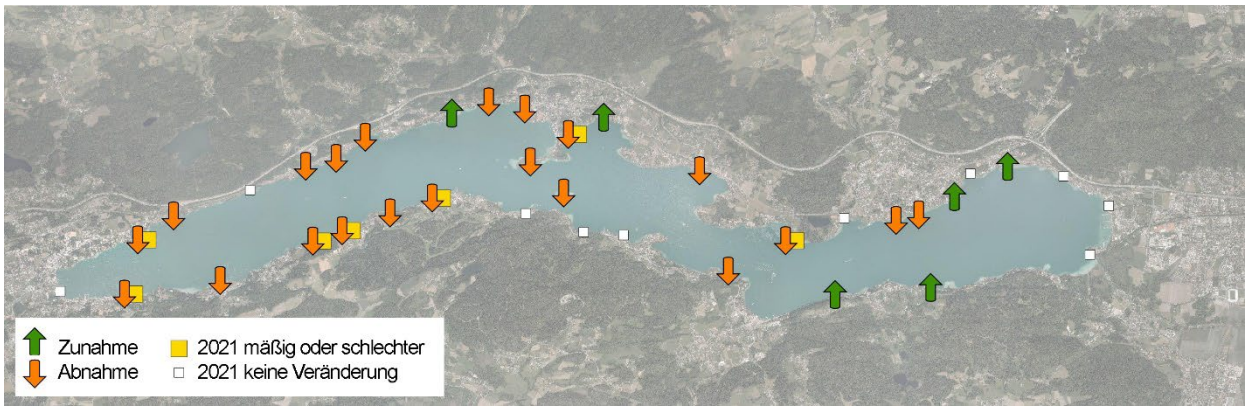


Abbildung 25: Veränderungen der Vegetationsdichte. Ein grüner Pfeil weist auf eine Zunahme, ein oranger Pfeil auf eine Abnahme der Vegetationsdichte hin.

Hinsichtlich der Metrik Vegetationszonierung wurden auf Nordseite des Sees bereits 2007 die meisten Transekte mit „mäßig“ bewertet. Die Transekte der Südseite wurden bis auf eine Ausnahme durchwegs mit mindestens „gut“ eingestuft. 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“ (vgl. Abbildung 26).

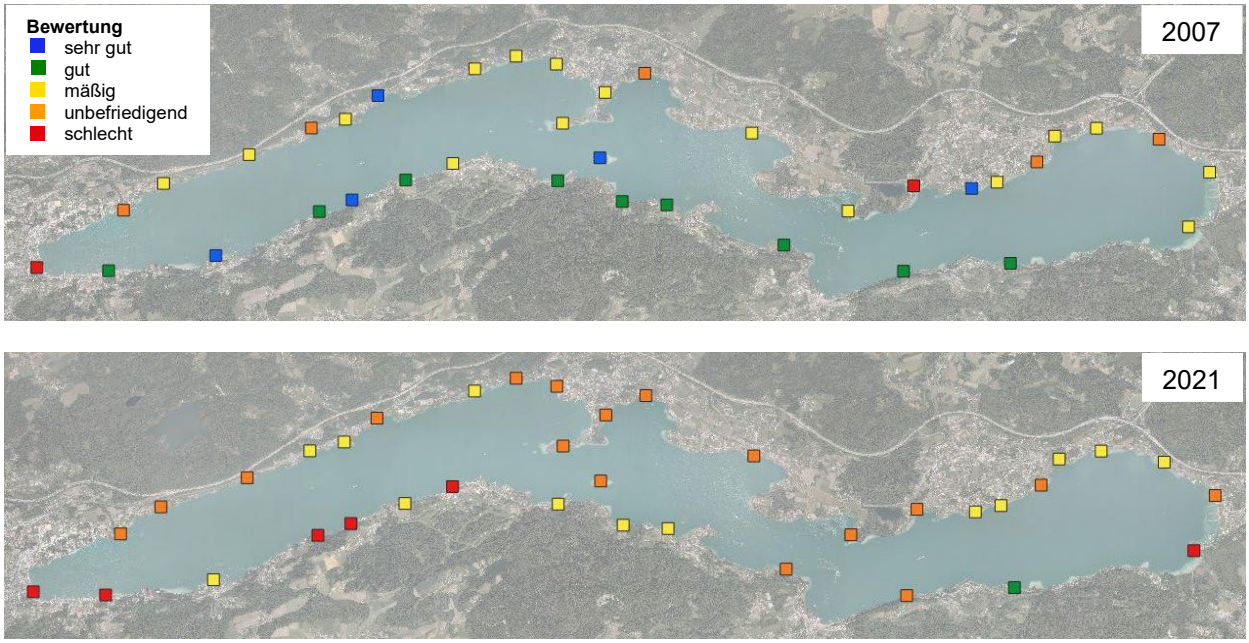


Abbildung 26: Bewertung Vegetationszonierung 2021 im Vergleich zu 2007

Das 2007 als Referenz ausgewiesene Transekt 71 zeigte eine drastische Verschlechterung nahezu aller Metriken insbesondere bei der Vegetationszonierung und auch der Artenzahl (vgl. Abbildung 27). Während 2007 neben *Najas intermedia* 5 Characeen-Arten bestimmt wurden, war 2021 als einzige Art *Myriophyllum spicatum* vereinzelt bis selten vorhanden.

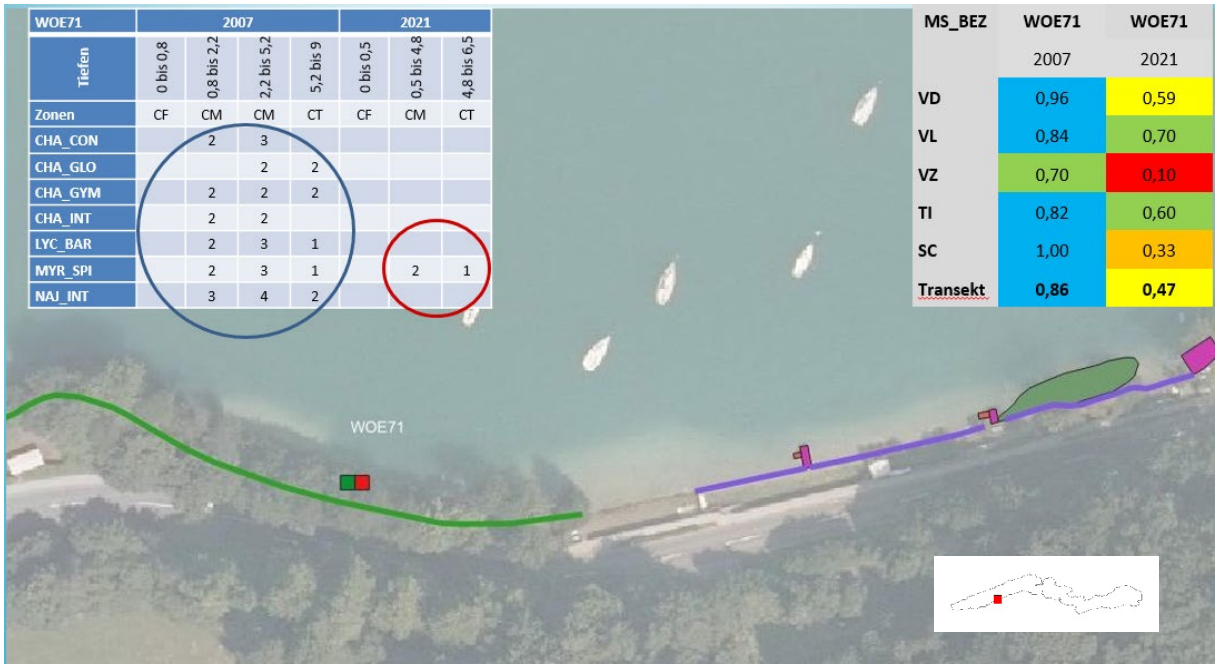


Abbildung 27: Vegetationszonierung „schlecht“ Transekt 71

### 4.3.2 Wellenschutzzaun

Im Jahr 2019 wurde bei der Kapuziner Insel ein Wellenschutzzaun zum Schutz des Röhrichts errichtet. Für den Versuch zur Beeinträchtigung des Makrophytenbestandes durch Fischfraß (vgl. Kap. 3.1.4) wurde diese Schutzeinrichtung genutzt und 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. Wellenexponiert erreichten die Pflanzen in den Versuchsflächen nur einen Bedeckungsgrad von ca. 15 % und Wuchshöhen von Ø 10 cm, obwohl sie nicht für Fische oder Wasservögel erreichbar waren.

Bereits bei der Makrophytenerhebung 2021 wurden Patches von *Myriophyllum spicatum*, im Schutz des Zaunes festgestellt (Bericht 2.1.4).

## 4.4 Klimawandel

### 4.4.1 Einfluss des Klimas auf Makrophytenarten

In den kommenden Jahren ist auch für den Wörthersee mit einem weiteren Anstieg der Wassertemperaturen und Veränderungen beim Schichtungs- und Durchmischungsverhalten zu rechnen (vgl. Kap. 3.5). Durch die klimatisch bedingte Temperaturerhöhung des Seewassers beginnt die Vegetationsperiode früher und wird weiter in den Spätherbst hinein verlängert. Durch mildere Winter können Arten, die normalerweise absterben, länger vital bleiben und haben im Frühjahr einen Startvorteil.

*Myriophyllum spicatum* wurde im November 2022 noch gut entwickelt mit vitalen grünen Spitzen vorgefunden (vgl. Abbildung 28). Diese ausdauernde Art bildet keine Turionen (vegetative Winterknospen), der Pflanzenbestand fällt im Winter in sich zusammen. Bleiben die Wassertemperaturen im Winter jedoch über 10 °C, sterben die Triebe nicht ab, es bleibt mehr Biomasse übrig und die Entwicklung der Bestände im Frühjahr schreitet schneller voran.

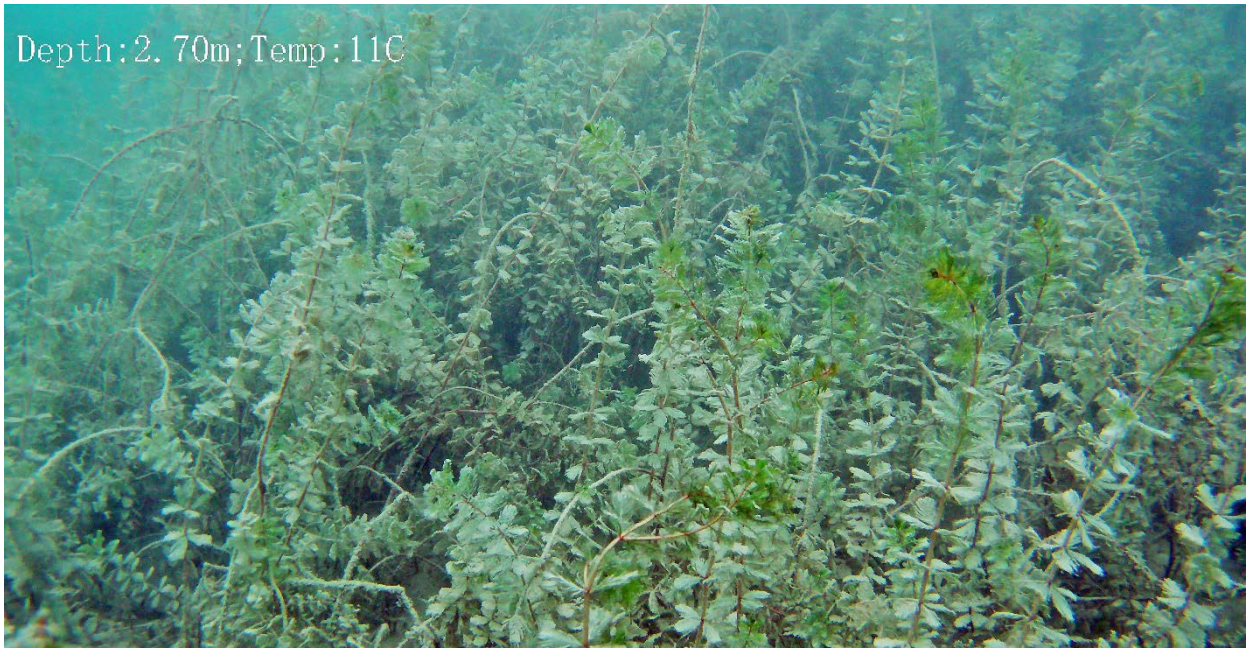


Abbildung 28: *Myriophyllum spicatum* im November 2022 (Foto mit Tauchdrohne Firma Copter log Services)

Die schnellwüchsige Art wird als „etwas wärmeliebend“ beschrieben und hat durch ihre 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.

Auch Patches von *Najas* sp. wurden 2022 noch spät 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 Temperaturen über 20 °C herrschen (Raeder, 2022). 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).

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 des konkurrenzstärkeren *Myriophyllum spicatum* von 19 % (2007) auf 63 % (2021). Für *Najas intermedia* wurde eine Abnahme der relativen Pflanzenmenge von 39 % (2007) auf 15 % (2021) berechnet.

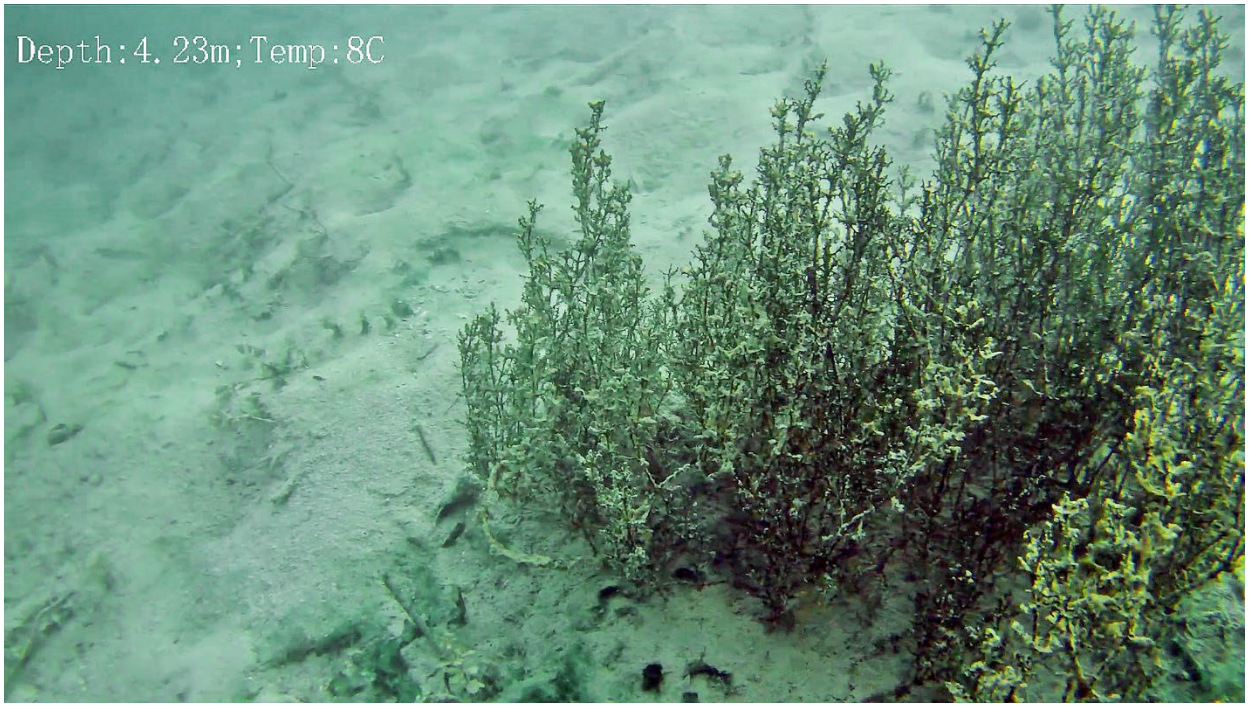


Abbildung 29: *Najas* sp. im November 2022 (Foto mit Tauchdrohne Firma Copter log Services)

Characeen werden durch die Klimaerwärmung je nach Art unterschiedlich beeinflusst. Einige Arten zählen zu den potentiellen Gewinnern (*Chara globularis*). *Chara contraria* und *Nitellopsis obtusa*, zwei aktuell im Wörthersee vorkommende Arten, werden den potentiellen Verlierern (Joye, & Rey-Boissezon, 2014) zugeordnet und wiesen 2021 im Vergleich zu 2007 einen starken Rückgang auf.

In Nordamerika wird *Nitellopsis obtusa* als invasive Art gesehen, die dort heimische Unterwasserpflanzen negativ beeinflussen kann (Larkin et al. 2018). Im Wörthersee hingegen ging diese bei uns heimische Art seit 2007 fast völlig zurück. Als typspezifische Art der Seen der inneralpinen Becken, denen der Wörthersee zugeordnet wird, wächst diese Armleuchteralge vor allem in der Tiefe und bildet dort ausgedehnte

Einartbestände. Die zweihäusige Art bildet männliche und weibliche Bestände, die weit voneinander entfernt wachsen können.

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 trübem 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 geringere Biovolumina mehr Licht in die von Unterwasserpflanzen besiedelbaren Zonen kommt (Schaumburg, Wahl, Frey, Werner, & Hesselschwerdt, 2015). Bezogen auf den Wörthersee konnte keine Förderung der Makrophytenbestände durch lange Schichtungsperioden festgestellt werden.

Die Klimaerwärmung und die damit verbundene Erhöhung der Wassertemperatur führt zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung innerhalb der Makrophyten. Obwohl *Najas intermedia* und auch *Myriophyllum spicatum*, beide werden als wärmeliebend beschrieben, von wärmeren Temperaturen profitieren würden, gingen die Pflanzenmengen (PMI) im Wörthersee zurück. Der Makrophytenrückgang kann derzeit (noch) nicht auf die Temperaturerhöhung des Seewassers, sondern auf andere Faktoren (Wellenschlag und Fraßdruck) zurückgeführt werden. In geschützten Buchten z.B. bei Maria Wörth waren sehr wohl ausgeprägte Bestände vorhanden.

Langfristig gesehen deuten Klimamodellierungen auf Szenarien mit Nährstoff- und Phytoplanktonanstieg und mit ausgeprägten Sauerstoffdefiziten im Tiefenwasser hin.

## 4.5 Fische

Einige Fischarten schädigen Makrophyten durch Fraß oder Wühltätigkeit und schaffen bewuchsfreie Flächen. Benthivore Cypriniden können Unterwasserpflanzen direkt durch Fraß (Rotauge, Rotfeder) schädigen. Indirekt (Karpfen, Brachsen) führt das Unterwühlen zum Losreißen der Pflanzen. Zusätzlich verursacht die Wühltätigkeit eine höhere Sedimentmobilisierung. Durch aufgewirbeltes Sediment kommt es zu Ablagerungen auf den Makrophyten, die die Lichtaufnahme verhindern (Van de Weyer & Stuhr, 2021).

Unter den aktuell im Wörthersee vorkommenden Fischarten, 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 Gegenüberstellung der standardisierten Fischbestandserhebungen 2004 und 2022 (vgl. Kap. 2.1.3 und Fachbericht 2.1.1) ergab 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, wobei die Methodik (Hydroakustik) keine Aussage zur Artenzusammensetzung zulässt bzw. ob es sich um herbi- oder benthivore Arten handelt.

Die häufigste Art (Anzahl und Gewicht) sowohl bei der Kiemennetz- als auch bei der Uferelektrobefischung war 2022 das Rotauge. Im Vergleich der beiden Jahre wurden 2022 weniger Rotaugen (Anzahl) gefangen, die aber einen höheren Gewichtsanteil als 2004 aufwiesen, folglich waren weniger, aber größere Individuen dieser Art vorhanden. Für die Größenklasse 20 bis 23 cm wurden 2022 auch höhere Individuenzahlen als 2004 bestimmt.

Für die Arten Güster und Aitel, die Makrophyten beeinflussen können, wurden 2022 im Vergleich zu 2004 mehr Individuen gefangen, die auch ein höheres Gewicht aufwiesen („größere Häufigkeit des Gewichtes“).

In Bezug auf die Rotfeder wurden 2022 mehr Individuen bestimmt, der Gewichtsanteil nahm ab, daher waren 2022 mehr, aber kleinere Rotfedern vorhanden.

Während 2004 kein Karpfen gefangen wurde, waren 2022 sowohl bei der Kiemennetz- als auch bei der Uferelektrobefischung Exemplare vorhanden (vgl. Kap. 3.1.4). Auch im Zuge der Makrophytenkartierung 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 30: Karpfengruppe vor Villa Ida

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. Am Wörthersee lässt sich häufig eine hohe Wühltrichterdichte erkennen. Infolge des Wellenschlags verschwinden die Wühltrichterfelder zumindest auf weichem Untergrund (Seekreide) aber auch schnell wieder, sodass sie sich in ihrer Gesamtheit nur schwer abbilden lassen.

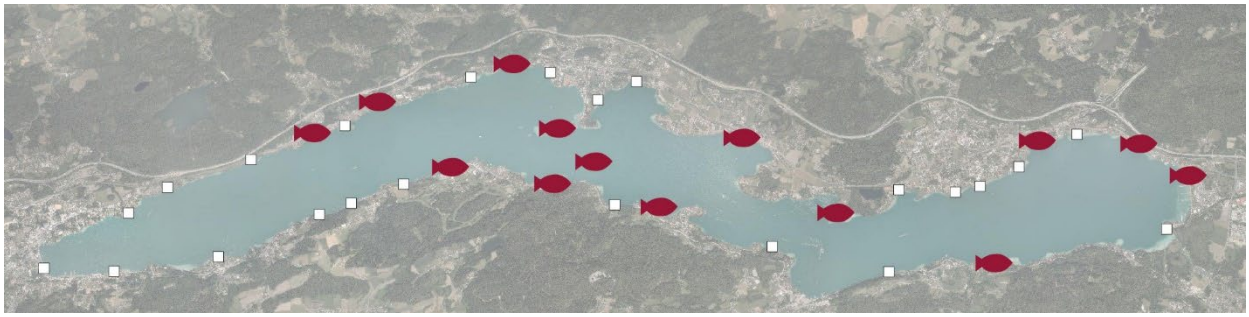

Abbildung 31: Transekte mit Wühltrichtern

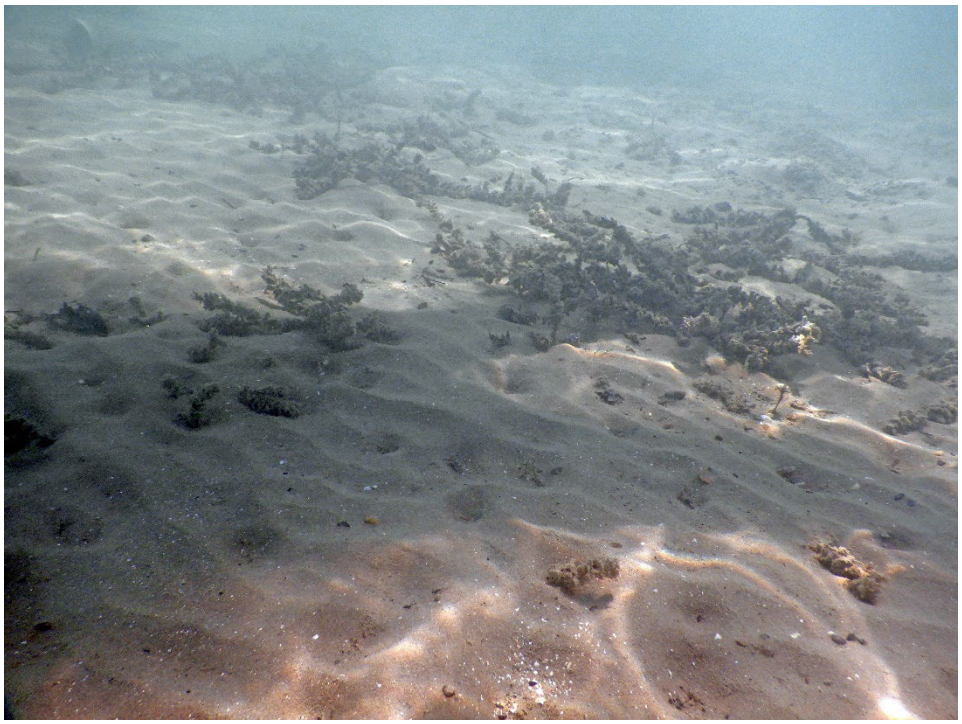

Abbildung 32: Wühltrichter

Die Gewichtsauswertung der zur Verfügung stehenden Besatzdaten ergab bezüglich der für Makrophyten relevanten Arten eine Veränderung der Besatzmengen in Richtung benthivorer Arten. (vgl. Kap. 3.1.4). Bereits von 1985 bis 1993 wurden Karpfen besetzt, 2004 vor allem Wildkarpfen. Für 2011 wurden ein Besatz von 500 kg Karpfen und 300 kg Wildkarpfen gemeldet und in den Jahren 2019/20 wurden je über 1000 kg Karpfen besetzt, so dass ein Trend zu herbivoren Arten deutlich wird. Wurden Karpfen und andere Weißfische vor Jahrzehnten noch als Speisefisch entnommen, so ist heute „Catch & Release“ gängige Praxis.

Der Einfluss von benthivoren Fischen wurde auch im Feldversuch mit Fraßschutzkäfigen bei der Kapuzinerinsel belegt (vgl. Kap. 3.1.4): Es erfolgten Initialbepflanzungen mit *Najas intermedia*, *Myriophyllum spicatum* und *Potamogeton x cooperi*. 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*.

Die Ergebnisse der Fraßschutzkäfige zeigen deutlich, dass die Bereiche innerhalb des Schutzzaunes, vor Wellen und vor Fraß geschützt, die besten Wachstumsbedingungen für Makrophyten aufweisen. Videoaufnahmen (Firma Systema) dokumentierten eindrucksvoll, dass die Unterwasservegetation nach dem Entfernen der Schutzkäfige, innerhalb kürzester Zeit von Rotfedern eliminiert wurde. – Es ist anzunehmen, dass Pflanzen fressende Fische das Aufkommen von Wasserpflanzen erschweren.

Um der Vermehrung von Fischen, die das Wachstum von Makrophyten beeinträchtigen (Karpfen, Rotauge, Rotfeder, Güster und eventuell Aitel), entgegenzuwirken, soll ein fischereilicher Managementplan erarbeitet werden, der als Grundlage für die weitere fischereiliche Bewirtschaftung des Wörthersees dient.

## 4.6 Morphologie- 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. 2022 ergab sich nach dem Hydromorphologie-Überblicksverfahren „HYMO-Screen“ mit einem EQR-Wert von 0,57 insgesamt ein „mäßig veränderter hydromorphologischer Zustand“, wobei die Metrik Uferverbau (UV) am schlechtesten abschnitt

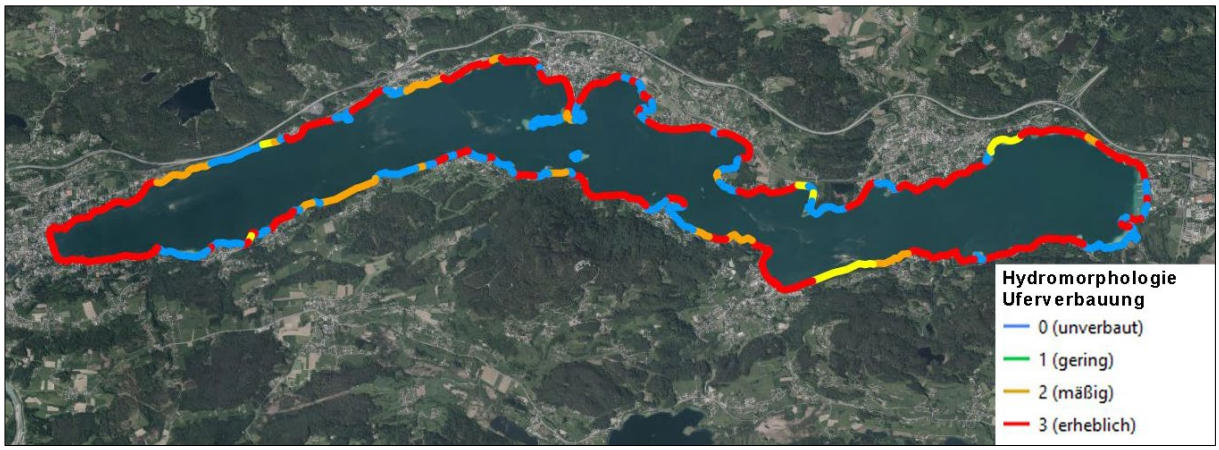


Abbildung 33: Bewertung der Metrik Uferverbau, Zustand 2022 (vgl. Fachbericht 3.3)

Im Fachbericht 3.3 (vgl. Kap.3.7) 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. 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 Metrik 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 obere Grenze des Makrophytenwachstums verschiebt sich nach unten. Angenommen wird ein mechanischer Stress durch die turbulente Wasserbewegung vor der Ufermauer in Verbindung mit der Abrasionswirkung der transportierten Teilchen (vgl. Hoffmann 2019 und Fachbericht 2.2.2). 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 rund 91.000 m², 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 überbaute Flächen beachtliche 4,53 % in Anspruch. Der Flächenvergleich von Überwasserbauten anhand von Orthofotos zwischen 2007 und 2019 ergab eine Zunahme von 3.850 m² innerhalb von 12 Jahren. Dies entspricht einem Anstieg von 4,4 % der Überwasserplattformen.

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 100.000 lux, unter der Plattform wurden in 1,4 m Tiefe nur 1.800 lux gemessen. In 1,5 m Tiefe neben der Plattform wurden 58.000 lux dokumentiert.

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

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 im Vergleich zu aktuellen Aufnahmen ergab einen Rückgang des Röhrichtbestandes um 58 % (vgl. Kap. 2.2.2 und Fachbericht 2.6.4).

Die Metrik Vegetationszonierung, die neben Wellenschlag vom Uferverbau beeinflusst wird, wies mit einer „unbefriedigenden“ Bewertung die größte Verschlechterung auf.

Transekte, die einen EQR-Wert von mindestens 0,6 (Transekte 12,35,36,47,62 “) aufwiesen, waren meist mit naturnahem Uferbereich, mit vorgelagerten Schilfbeständen oder Schwimmblattgürtel und eher wellengeschützter Lage gekennzeichnet. Das Transekt 47, dass im Jahr 2021 als einziges mit „gut“ bewertet wurde, liegt – frei von Verbauung und wellengeschützt – vor einem Schwimmblatt- und Schilfgürtel.

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

## 4.7 Resümee Belastungsanalyse Makrophyten

Bereits bei einzelnen Betauchungen in vorangegangenen Jahren wurde ein deutlicher Rückgang von Unterwasserpflanzen festgestellt. Vor allem in 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 in der geschützten Bucht von Maria Wörth waren noch gut entwickelte Bestände anzutreffen, die vor allem von *Myriophyllum spicatum* dominiert wurden.

Hinsichtlich der Nährstoffbelastung, die über den Parameter Gesamt-Phosphor bewertet wird, zeigen die Daten des Freiwassers in der Oberflächenschicht (Epilimnion 0-6 m) langfristig eine rückläufige Tendenz. In den Tiefenbereichen (ab 50 m Wassertiefe) steigen die Phosphorgehalte an, da der Wasserkörper weniger tief zirkuliert und der sauerstofffreie Bereich ansteigt. Unter anaeroben Bedingungen wird Phosphor aus dem Sediment rückgelöst.

Als grundlegender Nährstoff für das Phytoplankton kann Phosphor indirekt zu Trübungen durch vermehrtes Algenwachstum und zur Verminderung der Sichttiefe führen. Im Wörthersee zeigte die Auswertung der Phosphor- und Algenkonzentrationen im Epilimnion (jedoch) eine abnehmende Tendenz, die Sichttiefenwerte nahmen dennoch nicht zu. 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 fünf regelmäßig wasserführenden Zubringer ergab keine auffälligen Nährstoffgehalte. Dennoch zeigt die Metrik 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.

Transekte für die die Vegetationszonierung als „schlecht“ (EQR 0,1) eingestuft 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 von wenigstens 0,6 aufwiesen, waren meist mit naturnahen Uferbereich, mit vorgelagerten Schilfbeständen oder Schwimmblattgürtel und eher durch eine wellengeschützte Lage gekennzeichnet.

Die Entwicklung des Röhrichts (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, sodass 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 und knicken leichter um.

Auf eine bestehende Belastung durch Wellenschlag wurde bereits bei der Bewertung der Makrophyten 2007 hingewiesen. Seitdem kamen zusätzlich ca. 500 Bootszulassungen hinzu. Vor allem Sportboote in Verdrängerfahrt und Linienschiffe können durch die verursachten Wellen eine mechanische Belastung für Makrophyten im Flachwasserbereich darstellen. Zusätzlich wirken sich Wellen indirekt durch Sedimentmobilisation auch in den tieferen Vegetationszonen negativ auf Makrophyten aus, da die Photosynthese (Lichtaufnahme) durch Sedimentablagerung auf den Wasserpflanzen behindert wird. Remobilisierte Sedimentteilchen werden bei andauerndem Wellenschlag 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, da 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. 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.

In der Gegenüberstellung der beiden Fischbestandserhebungen ergab sich eine deutliche Zunahme der mittleren Fischbiomasse von 18 kg/ha (2004) auf 68 kg/ha (2022). Die mittlere Längen-Gewichtsverteilung zeigte 2022 höhere Biomassen als 2008 an, vor allem bei Fischlängen zwischen 30 cm und 60 cm, wobei die Methodik keine Aussage zur Artenzusammensetzung (bzw. ob es sich um herbivore oder benthivore bzw. carnivore Arten handelt) zulässt.

Über die Kiemennetz- und Elektrobefischung können Häufigkeiten (Anzahl und Gewicht) abgeleitet werden. Folgende für Makrophyten relevante Fischarten waren 2022 hinsichtlich des Gewichtes häufiger: Rotauge, Güster und Aitel. Im Vergleich der beiden Jahre wurden 2022 weniger Rotaugen (Anzahl) bestimmt, die aber einen höheren Gewichtsanteil als 2004 aufwiesen, folglich waren weniger aber größere Rotaugen vorhanden. Güster und Aitel legten sowohl bei Gewicht und Anzahl zu.

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 bzw. größere Einzelexemplare beobachtet werden.

Die zu Verfügung gestellten Besatzdaten, die allerdings große Lücken aufweisen, gaben an, dass z.B. 2019/20 über 1000 kg/Jahr besetzt wurden. In die Erarbeitung eines zukünftigen Fischmanagementplanes sollten auch die für Makrophyten relevanten Fischarten einbezogen werden. Neben einem Besatzstopp für Karpfen sollten auch Rotaugen, Rotfedern, Güster und eventuell Aitel mitberücksichtigt werden und die Bewirtschaftung nicht nur unter ökonomischen, sondern auch unter ökologischen Aspekten, insbesondere der Makrophyten, erfolgen.

Ergebnisse aus Versuchen mit Fraßschutzkäfigen zeigen deutlich, dass die besten Wachstumsbedingungen für Makrophyten gegeben sind, wenn sie vor Fraß durch Fische und vor Wellen geschützt sind.

Klimabedingt wurde am Wörthersee ein Anstieg der Oberflächentemperaturen dokumentiert. Makrophyten werden durch Erhöhung der Wassertemperatur und längerer stabilerer Schichtungsphasen mit dem Absinken der Nährstoffe generell gefördert. Arten wie das Ährige Tausendblatt (*Myriophyllum spicatum*) und das Nixkraut (*Najas intermedia*) sind an die Temperaturerhöhung angepasst und würden derzeit profitieren, dennoch sind diese wärmeliebenden Arten im Wörthersee rückläufig.

Klimamodellierungen deuten darauf hin, dass Seen langfristig mit Nährstofferhöhung, höheren Algenbiovolumina, Veränderung der Artenzusammensetzung, stabileren Schichtungsphasen, verminderter Durchmischung und einer Ausdehnung des Monimolimnions reagieren werden. Da auch für den Wörthersee ein deutlicher Temperaturanstieg prognostiziert wird, wird die Fernhaltung von Nährstoffen umso mehr an Bedeutung für das Seeökosystem gewinnen.

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 für zukünftige klimatische Herausforderungen.

Tabelle 10: Veränderung möglicher Belastungen in den Jahren 2007 und 2021 und mögliche Maßnahmen

| Belastung | Jahr | | Maßnahmen |
|---|---|---|---|
| | 2007 | 2021 | |
| **Trophie Nährstoffe Freiwasser** | | geringer | Vermeidung von Nährstoffeinträgen |
| **Uferverbau** | Ja | Ja | Uferrückbau |
| **Uferstruktur, Einbauten, Stege** | Ja | Ja | Verringerung der überbauten Flächen |
| **Substrat, Schilf** | | | Schutzzonen |
| **Wasserstandschwankungen** | | Ja | Pegelregulierung |
| **Trübung Phytoplankton** | | geringer | Vermeidung von Nährstoffeinträgen |
| **Wellenbelastung** | Ja | Ja, mehr | Wellenschlag (Boote) reduzieren |
| **Fische - Fraßdruck** | | Ja, mehr | Fischereiliche Bewirtschaftung optimieren |
| **Konkurrenzstarke Arten** | | Ja, mehr | |
| **Klimawandel** | Ja | Ja, mehr | Keine anthropogene Wärmezufuhr |

## 4.8 Handlungsbedarf für weitere ökologische Komponenten

Die Untersuchungen und Auswertungen von Daten zum Vorkommen von **Wasservögeln** liefern alarmierende Zahlen (vgl. Kap. 3.1.1 und Fachbericht 2.6.5): Die Bestände einzelner Wasservogelarten sind stark rückläufig und teilweise nur noch mit wenigen Brutpaaren vertreten. Der aktuelle Vogelbestand sank teilweise auf 10 % des ursprünglichen Bestandes. Betroffen sind vor allem der Haubentaucher und das Blässhuhn. Als Ursache werden massive Lebensraumveränderungen angeführt. Mit Maßnahmen wie der Wiederherstellung und Ausweitung von Röhrichtbeständen, dem Rückbau der Ufer, der Ausweisung von weitgehend störungsfreien Naturzonen und der Reduktion des Wellenschlags kann die Lebensraumsituation für Wasservögel wieder verbessert werden.

Bei der aktuellen Fischbestandserhebung (vgl. Kap. 2.1.3 und Fachbericht 2.1.1) wurden für die **Leitfischart Laube** gewisse Defizite in der Altersstruktur festgestellt. Da die Art im Flachwasser laicht, ist ein Zusammenhang mit dem verstärkten Bootsaufkommen im Wörthersee wahrscheinlich. Hier gilt es geeignete Laichhabitate zu erheben und evtl. geschützte Bereiche zu schaffen. Ein Ausfall einzelner Größenklassen würde auch beim Qualitätselement „Fische“ zu einer schlechteren Bewertung führen.

Die vorliegende vergleichende Untersuchung über den **Röhrichtbestand** konnte zeigen, dass das Röhricht nicht nur an Uferabschnitten mit starker anthropogener Nutzung, sondern auch an weitestgehenden naturnahen Uferlinien stark zurückgeht (Kapuziner Insel, Cap Wörth, Schlangeninsel). Das Röhricht hat eine nicht zu unterschätzende Bedeutung in der Gewässerreinhaltung, da es Einschwemmungen (Starkregenereignisse) filtern und Nährstoffe binden kann. Durch das dichte Rhizomgeflecht stabilisiert es die Uferlinie und spielt als Lebensraum im Übergang zwischen Land und Wasser eine herausragende Bedeutung. Nicht zuletzt ist der ästhetische Aspekt für die Naherholung, aber auch für den Seentourismus zu erwähnen. Dem Röhricht wird im Kontext der Klimaerwärmung und der ökologischen Funktionsfähigkeit in Zukunft eine wesentliche Rolle zukommen.

# 5 Empfohlene Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Zustandes

Die Entwicklung von Maßnahmenempfehlungen zur Reduktion der Belastungen erfolgte in vier Schritten (siehe Abbildung 35): Um die Ergebnisse der bisherigen Erhebungen gemeinsam mit Expert:innen diskutieren zu können, wurde als erster Schritt ein zweitägiger Workshop abgehalten, in dem mögliche Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Zustands aus sektoraler Sicht formuliert wurden. In einem zweiten Schritt erfolgte eine Bewertung der möglichen Maßnahmen hinsichtlich ihrer Priorität und im Anschluss wurden die erarbeiteten Maßnahmen Handlungsfeldern zugeordnet. Die möglichen Maßnahmen wurden in Form von Steckbriefen beschrieben, den Expert:innen der sachlich betroffenen landesinternen Fachabteilungen vorgestellt und diskutiert.

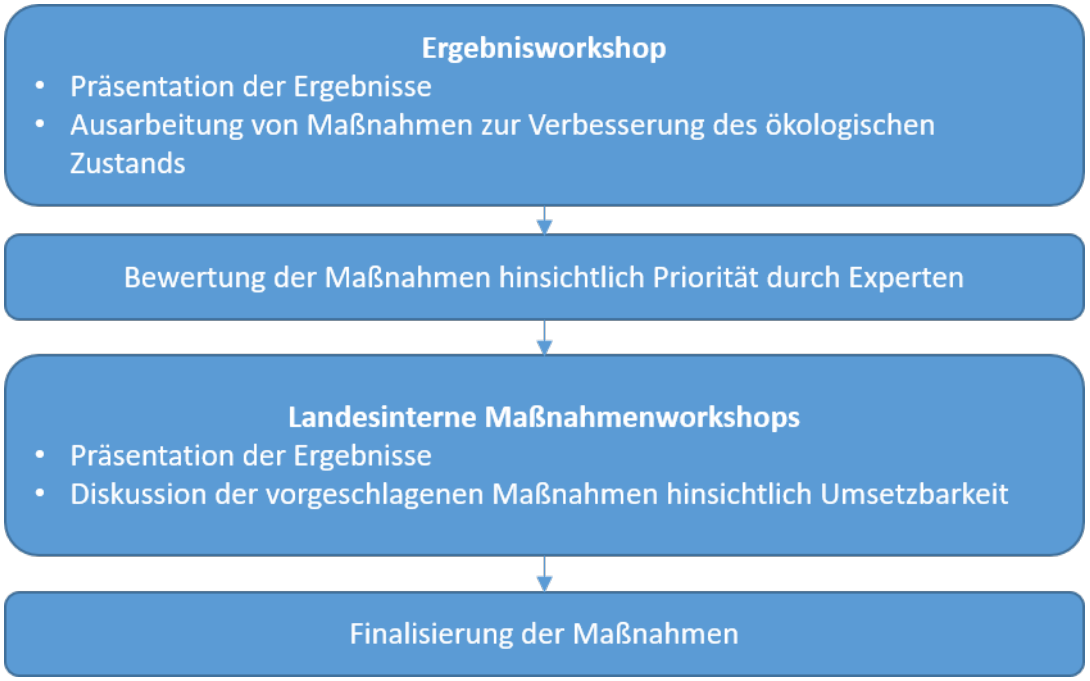


Abbildung 35: Ablauf der Entwicklung der Maßnahmen

**Die in weiterer Folge empfohlenen Maßnahmen sind jene, die aus fachlicher Sicht zur Verbesserung des ökologischen Zustands geboten wären.**

## 5.1 Handlungsfelder

In der Zusammenschau der Ergebnisse zum Ist-Zustand haben sich vier Handlungsfelder zur Verbesserung des ökologischen Zustands herauskristallisiert. Sämtliche von den Experten vorgeschlagene Maßnahmen wurden einem der folgenden vier Handlungsfelder zugeordnet:

1. **Verbesserung der Uferstruktur**

   Durch stark anthropogen veränderte Ufer und fehlende oder stark reduzierte Ufervegetation wurden in der Vergangenheit wertvolle Lebensräume (z.B. für Wasservögel und Jungfische) zerstört. Dadurch ist die Filterwirkung der Ufervegetation und damit die Selbstreinigungskraft des Sees kompromittiert. Zusätzlich verstärken hart verbaute Ufer den negativen Effekt von Wellen, wodurch mehr Sediment aufgewirbelt wird und so das Wachstum von Makrophyten durch eine verringerte Photosyntheseleistung behindert wird. Auch die direkte mechanische Schädigung wird erhöht. Eine Verbesserung der Uferstruktur stellt einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung des ökologischen Zustands, der Artenvielfalt und der Selbstreinigungskraft des Sees dar.

2. **Anpassung der fischereilichen Bewirtschaftung**

   Die Ergebnisse der Erhebungen legen nahe, dass Besatzmaßnahmen und geänderte Nutzung zu Veränderungen in der Fischzönose geführt haben und am Rückgang der Makrophyten beteiligt sind. Um einen weiteren Rückgang der Wasserpflanzenbestände zu verhindern, bzw. deren Erholung zu ermöglichen, sollte die fischereilichen Bewirtschaftung in Hinblick auf Befischung und Besatz entsprechend angepasst werden. In die Erarbeitung eines zukünftigen Fischmanagementplanes sollten auch die für Makrophyten relevanten Fische einbezogen werden und die Bewirtschaftung unter ökologischen Aspekten, insbesondere der Makrophyten, erfolgen, um die Wachstumsbedingungen für Wasserpflanzen zu verbessern.

3. **Reduktion des Wellenschlags**

   Die Ergebnisse von Wellenmodellierungen belegen, dass es je nach Fahrweise und Geschwindigkeit zu einer starken Wellenbelastung der Flachwasserzonen und Uferbereiche kommt. Damit geht eine Aufwirbelung von Sedimenten und eine direkte mechanische Schädigung von Makrophyten einher. Zusätzlich können remobilisierte Sedimentteilchen bei häufigem Wellenschlag in der Wassersäule permanent in Schwebe gehalten werden und so die Lichtdurchlässigkeit des Seewassers beeinträchtigen. Bei starkem, anhaltendem Bootsverkehr ergibt sich ein Multiplikationseffekt. In der Modellierung konnte auch dargestellt werden, dass Uferverbauungen den motorbootinduzierten Wellenschlag wesentlich verstärken. Die hohe Zahl von zugelassenen Motorbooten und der insgesamt starke Boots-Verkehr am See führen somit zu einer hohen Belastung der Makrophyten und anderer wichtiger ökologischen Komponenten, wie Schilf und Leitfischart (Laube). Damit kommt Maßnahmen zur Reduktion des Wellenschlags eine grundlegende Bedeutung zu.

4. **Stärkung des See-Ökosystems (Klimawandel)**

   Um den zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels möglichst gut entgegenzuwirken, muss die Resilienz im Sinne der ökologischen Funktionsfähigkeit des Sees bestmöglich verbessert und gestärkt werden und alle Belastungen, die das Ökosystem schwächen, minimiert werden. In diesem Sinne sind alle Maßnahmen innerhalb der definierten Handlungsfelder als Maßnahmen im Sinne der Verbesserung lt. Wasserrahmenrichtlinie zu werten.

## 5.2 Empfohlene Maßnahmen

In den nachfolgenden Abschnitten erfolgt eine detaillierte Darstellung von Maßnahmenempfehlungen für die oben angeführten Handlungsfelder, die zur Verbesserung des ökologischen Zustandes des Wörthersees führen.

### 5.2.1 Empfohlene Maßnahmen zur Verbesserung der Uferstruktur

| **1.1 Forcierung des Rückbaus hart verbauter Ufer - Renaturierung** | |
|---|---|
| **Kategorie** | Förderungen / Anreize schaffen, Bewusstseinsbildung |
| **Beschreibung** | Eine Förderung zum Rückbau von hart verbauten Ufer(mauern) wird vom Land Kärnten eingerichtet<br>Planung und Umsetzung von best practice Beispielen von Seeuferrenaturierung<br>Erstellung eines Leitfadens zur Seeuferrenaturierung. |
| **Wirkung** | Durch den Rückbau von Ufermauern wird eine Reduktion der reflektierten Wellenenergie und damit verbunden eine direkte und indirekte Entlastung der Makrophyten und des Röhrichts aber auch der im Flachwasser ablaichenden Fischarten erreicht. Ebenso wird dadurch die Sedimentmobilisierung verringert. Weniger Sedimente, die vom |

| | | |
|---|---|---|
| | Ufer weg in tiefere Bereiche gespült werden, sedimentieren auf Wasserpflanzen und hemmen dadurch die Photosynthese. Dadurch kann sich der Makrophytenbestand in den Flachwasserbereichen und den tieferen Zonen erholen. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 3, 4 | 1.3, 1.4, 1.5, 3.1 |
| **Betroffene** | Grundeigentümer:innen, Land Kärnten | |
| **Umsetzbarkeit** | Durch die Planung und Umsetzung von best practice Beispielen wird gezeigt, dass durch die Entfernung der Ufermauer die Nutzung nicht eingeschränkt und der Erholungswert erhöht werden kann.<br>Ein Leitfaden Seeuferrenaturierung auf Basis der Erkenntnisse der best practice Beispiele und Erfahrungen von anderen Seen erleichtert die Umsetzung von Seeuferrenaturierungen. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 8<br>Abt. 12<br>Seeuferkommission (mögliche Finanzierung) | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

| **1.2 Anreize zum Rückbau von Uferverbauung / Seeflächenüberbauung schaffen** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung | |
| **Beschreibung** | Um Eingriffe in sensible Uferbereiche gering zu halten, werden Anreize (z.B. finanzieller Art) geschaffen, die dazu führen, dass Eingriffe in sensible Uferbereiche gering gehalten werden. Diese Maßnahme bewirkt einerseits, dass bestehende Verbauungen auf das notwendige Maß reduziert werden und andererseits, dass mit zweckgebundenen Mitteln Renaturierungsprojekte umgesetzt werden können. | |
| **Wirkung** | Durch die Reduktion der Seeflächenüberbauung und den Rückbau von Ufermauern wird die direkte (Beschattung, Wellenreflektion, Verbauung von Laichplätzen) und indirekte Belastung (Erhöhte Sedimentmobilisierung und erhöhter Nährstoffeintrag durch fehlenden Bewuchs) reduziert. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 3, 4 | 1.1, 1.3, 1.4 |
| **Betroffene** | Besitzer von Seeeinbauten und Uferverbauung | |
| **Umsetzbarkeit** | Mit ausreichend ökologische Begründung ist die rechtliche Verankerung eines Anreizsystems grundsätzlich möglich. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 8 – U.-Abt. Naturschutz | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

| **1.3 Uferschutzzonen etablieren** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Ausweisung von Schutzzonen | |
| **Beschreibung** | Räumliche Ausweisung von Schutzzonen in denen der Rückbau bestehenden Seeeinbauten angestrebt werden muss. Der Rückbau erfolgt in Abstimmung mit den Ufergrundstücksbesitzern. Die Schutzzonen umfassen nicht nur vorhandene Pflanzenbestände, sondern auch Potentialflächen. | |
| **Wirkung** | Durch Ausweisung von Schutzzonen kann sich der Röhrichtbestand ausdehnen und regenerieren. Dadurch erhöht sich die ökologische Funktionsfähigkeit (Selbstreinigung) des Sees. Zusätzlich wird die Wirkung von Wellen abgeschwächt und wertvoller Lebensraum für Brutvögel geschaffen. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |

| | | |
|---|---|---|
| | 3, 4 | 1.1, 1.4, 3.1 |
| **Betroffene** | Österreichische Bundesforste (ÖBf), Private, Gemeinde | |
| **Umsetzbarkeit** | Zur Ausweisung von Schutzzonen müssen nachvollziehbare ökologischer Kriterien geschaffen werden. Die rechtliche Umsetzung wäre beispielsweise in einem Regionalprogramm nach WRG möglich.<br>Aufgrund des hohen Verbauungsgrades sind aber Regelungen zur Verbesserung der Uferstruktur außerhalb der Schutzzonen unumgänglich. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 8 – U-Abt. Naturschutz<br>Abt. 8 – U-Abt. Umweltrecht<br>ÖBf<br>Abt. 15 – U-Abt. fachliche Raumplanung | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

| **1.4 Sanierungsverordnung / Regionalprogramm** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung | |
| **Beschreibung** | Erlass einer Sanierungsverordnung/Regionalprogramm zur gesetzlichen Umsetzung der Schutzzonen (Punkt 1.3) und Regelung der Vorgehensweise mit bestehenden Seeeinbauten (unbefristet, Neubewilligung)<br>Definition eines Stands der Technik für Uferverbauungen und Seeeinbauten (maximale Breite von Stegen, Plattformen und Bootshäusern und Abstand zwischen den Seeeinbauten), welcher auch die Etablierung einer standortgerechten Vegetation beinhaltet. | |
| **Wirkung** | Durch eine Verordnung können bestehende Pflanzenbestände und potentielle Wuchsflächen vor Beeinträchtigung durch Verbauung geschützt werden.<br>Die Reduktion von Uferverbauungen und Seeeinbauten bewirkt eine Verbesserung der Umlandanbindung an den See, die Röhrichtbestände werden gestärkt, der Sedimenttransport vermindert und die Pufferwirkung erhöht. Damit trägt diese Maßnahme maßgeblich zur Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit des Seeufers bei. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 3, 4<br>Schutz von Brutvögeln | 1.1, 1.2, 1.3, 3.1 |
| **Betroffene** | Eigentümer:innen von Seeeinbauten, Gesetzgeber | |
| **Umsetzbarkeit** | Bevor eine Sanierungsverordnung erlassen werden kann, muss der Leitfaden zur ökologischen Bewertung von Seeeinbauten vorliegen | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 8 – U-Abt. Umweltrecht<br>Abt. 12 – U-Abt. wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

| **1.5 Ankauf von Seeuferflächen** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Förderungen/ Anreize schaffen | |
| **Beschreibung** | Ankauf von Seeuferflächen durch die öffentliche Hand den Richtlinien der Motorbootabgabe entsprechend (Seezugänge + Ökologische Verbesserung) | |
| **Wirkung** | Durch den Ankauf von Uferflächen, gefolgt von einer Förderung von wasser- und landseitigen ökologischen "Vegetationszonen", kann die Pufferwirkung natürlicher Ufer verbessert und die natürliche Regeneration von Schilf sowie der Erhalt von Refugialräumen für emerse- und submerse Wasserpflanzen gefördert werden. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |

| | | |
|---|---|---|
| | 3, 4 | 1.1, 1.2, 1.3 |
| **Betroffene** | Land Kärnten | |
| **Umsetzbarkeit** | Es sind nur wenige Grundstücke am Markt und der Preis ist sehr hoch. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Seeuferkommission (Finanzierung) | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Langfristig (> 10 Jahre) | |

| **1.6 Berücksichtigung von Pufferzonen bei Widmungs- und Bauverfahren** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung / Bewusstseinsbildung | |
| **Beschreibung** | Bei Widmungs- und Bauverfahren wird am Seeufer eine landseitige Pufferzone vor Versiegelung freigehalten. Die Erhaltung bzw. Etablierung einer standortgerechten Ufervegetation soll Berücksichtigung finden.<br>Durch bewusstseinsbildende Maßnahmen wird die Bedeutung der Pufferzone und einer standortgerechten Ufervegetation den Verantwortlichen für Widmung- und Bauangelegenheit der Gemeinde erläutert. | |
| **Wirkung** | Durch die Freihaltung eines Pufferstreifens und der Etablierung einer standortgerechten Ufervegetation, wird die Pufferwirkung natürlicher Ufer hergestellt und die natürliche Regeneration von Schilf sowie e- und submerser Wasserpflanzen gefördert. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 3, 4 | 1.1, 1.3, 1.4, 3.1 |
| **Betroffene** | Land Kärnten, Raumordnung | |
| **Umsetzbarkeit** | Der Pufferstreifen kann bei der Überarbeitung der örtlichen Entwicklungskonzepte und im Widmungsverfahren berücksichtigt werden.<br>Anpassen der Bebauungsvorschriften zur Berücksichtigung einer Pufferzone | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 15 – U.-Abt. rechtliche Raumordnung<br>Abt. 8 – U-Abt. Naturschutz und U-Abt. Gewässerökologie und ökologische Gewässeraufsicht<br>Abt. 12 – U-Abt. wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft<br>Gemeinden | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

| **1.7 Bojenvergabe beschränken** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung | |
| **Beschreibung** | Die Vergabe von neuen Bojenplätzen wird seitens des Eigentümers begrenzt. | |
| **Wirkung** | Bojenfelder beeinträchtigen die Nutzung der Seefläche im Sinne des Gemeingebrauchs und belasten den Makrophytenbestand. Durch die Einführung und der Umrüstung auf die 3-Punkt Verankerung hat, bzw. wird sich die Belastung zwar verringert, aber zusätzliche Bojen stellen dennoch eine zusätzliche Belastung dar (Betonverankerung, erhöhter Nutzungsdruck, vermehrter Bootsverkehr). | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 3, 4 | 1.1, 1.3 |
| **Betroffene** | ÖBf, Bootseigentümer:innen, Yachtclubs | |
| **Umsetzbarkeit** | Für Bojen besteht keine naturschutzrechtliche oder wasserrechtliche Bewilligungspflicht. Die Nutzung und Errichtung einer Boje bedarf die Zustimmung des Grundstückseigtümers (ÖBF). | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | ÖBf<br>Abt. 8 – U.Abt. Naturschutz | |

| | |
|---|---|
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) |

| **1.8 Überarbeitung wasserrechtlicher/naturschutzrechtlicher Bewilligungspflichten für floßartige Anlagen** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung | |
| **Beschreibung** | Überarbeitung der Bewilligungstatbestände von Schwimm-, Steg- und Floßanlagen im Naturschutz- und Wasserrechtsgesetz | |
| **Wirkung** | Im Zuge einer Überarbeitung werden klarere Definitionen für mobile bzw. flexible Seeeinbauten, wie Schwimmstege und Floßanlagen, verankert und damit die Grundlage für Bewilligungen verbessert. Dadurch unterliegen flexible Seeeinbauten denselben Bewilligungspflichten wie andere Seeeinbauten – die ökologische und naturschutzfachliche Verträglichkeit muss bei jeder Anlage geprüft werden. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 3, 4 | 1.3, 1.5 |
| **Betroffene** | Grundeigentümer:innen, ÖBF, Bootseigentümer:innen, Yachtclubs | |
| **Umsetzbarkeit** | Der § 4 des K-NschG wird überarbeitet.<br>Die Anpassung des WRG wird bei den Zuständigen im BML angeregt. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | BML - SEKTION I – Wasserwirtschaft - I/5 Wasserlegistik und Wasserökonomie<br>Abt. 8 - Naturschutz | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

| **1.9 Intensivere Überprüfung auf Einhaltung der Bewilligungspflicht** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Vollzug von Reglementierungen | |
| **Beschreibung** | Die Einhaltung der naturschutz- und wasserrechtlichen Bewilligungspflichten wird intensiver überprüft und vollzogen. | |
| **Wirkung** | Die unkontrollierte Seeflächenüberbauung und die damit verbundenen negativen Auswirkungen werden verhindert. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 3, 4 | 1.3, 1.5 |
| **Betroffene** | Grundeigentümer:innen, ÖBf, Bootseigentümer:innen, Yachtclubs | |
| **Umsetzbarkeit** | In Umsetzung, Auslegung ist sehr schwierig | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | BML - SEKTION I – Wasserwirtschaft - I/5 Wasserlegistik und Wasserökonomie<br>Abt. 8 - Naturschutz | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

### 5.2.2 Empfohlene Maßnahmen zur Verbesserung der Fischpopulationen

| 2.1 Besatzstopp für Karpfen | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung | |
| **Beschreibung** | Der Besatz von Karpfen im Wörthersee wird durch gesetzliche Vorgaben reguliert bzw. ausgesetzt. | |
| **Wirkung** | Der negative Einfluss von Karpfen auf Makrophyten nimmt ab, da weniger Schäden durch Wühltätigkeit und Sedimentremobilisierung entstehen. Der Predatorendruck auf herbivore Fischarten (z.B. Rotfeder) nimmt zu, was ebenfalls zu einer Entlastung der Makrophytenbestände führt. Der möglichen Entstehung einer Karpfenüberpopulation infolge der Klimaerwärmung wird entgegengewirkt. | |
| **Synergien** | **Zu anderen Zielen** | **Zu anderen Maßnahmen** |
| | 4 | 2.2, 2.3 |
| **Betroffene** | Fischereiberechtigte, Fischereiausübungsberechtigte und Fischereivereine, Gesetzgeber | |
| **Umsetzbarkeit** | Durch eine Anpassung der Kärntner Wassertierartenverordnung (K-WV) oder per Bescheid kann der Besatz von Karpfen (auch Wildkarpfen) im Wörthersee und dessen Zu- und Abflüssen untersagt werden | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 10 – Uabt. Agrarrecht | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Kurzfristig (1 – 2 Jahre) | |

| 2.2 Informationskampagne zum Besatzstopp für Karpfen | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Bewusstseinsbildung | |
| **Beschreibung** | Im Rahmen von Fischereirevierausschusssitzungen wird über die fachlichen Gründe für den Besatzstopp vom Karpfen informiert. | |
| **Wirkung** | Erhöhung der Akzeptanz von Maßnahme 2.1 | |
| **Synergien** | **Zu anderen Zielen** | **Zu anderen Maßnahmen** |
| | 4 | 2.1, 2.3 |
| **Betroffene** | Fischereiberechtigte und Fischereiausübungsberechtigte | |
| **Umsetzbarkeit** | Gut umsetzbar | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 10 – U-Abt. Agrarrecht<br>Abt. 8 - U-Abt. Gewässerökologie und ökologische Gewässeraufsicht<br>Abt. 8 - U-Abt. Geologie und Gewässermonitoring | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Kurzfristig (1 – 2 Jahre) | |

| 2.3 Verbot von „Catch and Release“ für fangfähige Fische | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung | |
| **Beschreibung** | Gefangene Fische, die einen negativen Einfluss (herbivore und benthivore) auf Makrophyten haben, müssen entnommen werden. | |
| **Wirkung** | Die Entnahme von Fischen, die einen negativen Einfluss (herbivore und benthivore) auf Makrophyten haben, wird gefördert. | |
| **Synergien** | **Zu anderen Zielen** | **Zu anderen Maßnahmen** |
| | 4 | 2.1, 2.2 |

| | |
|---|---|
| **Betroffene** | Fischereiberechtigte und Fischereiausübungsberechtigte |
| **Umsetzbarkeit** | Durch eine Anpassung der Fischereiweidgerechtheitsverordnung K-FWV kann die Entnahmepflicht geregelt werden. |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 10 – U-Abt. Agrarrecht<br>Abt. 8 - U-Abt. Gewässerökologie und ökologische Gewässeraufsicht<br>Abt. 8 - U-Abt. Geologie und Gewässermonitoring |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Kurzfristig (1 – 2 Jahre) |

| **2.4 Information über negative Auswirkung von „Catch and Release“** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Bewusstseinsbildung | |
| **Beschreibung** | Im Rahmen von Informationsveranstaltungen werden die Nachteile von „Catch & Release“ erörtert. Auf den Fischereierlaubnisscheinen wird durch einen Hinweis und ein Handout auf die negative Auswirkung von catch and release hingewiesen. | |
| **Wirkung** | Erhöhung der Akzeptanz von Maßnahme 2.3. | |
| **Synergien** | **Zu anderen Zielen** | **Zu anderen Maßnahmen** |
| | 4 | 2.1, 2.2, 2.3 |
| **Betroffene** | Fischereiberechtigte und Fischereiausübungsberechtigte | |
| **Umsetzbarkeit** | Gut umsetzbar | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 10 - Uabt. Agrarrecht<br>Abt. 8 - U-Abt. Gewässerökologie und ökologische Gewässeraufsicht<br>Abt. 8 - U-Abt. Geologie und Gewässermonitoring | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Kurzfristig (1 – 2 Jahre) | |

| **2.5 Aufzeichnungen zu Besatz- und Ausfang** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung | |
| **Beschreibung** | Die Verpflichtung zur Besatzmeldung gem. § 22 Abs. 5 K-FG wird schärfer exekutiert und regelmäßig per Nachfrage eingefordert. | |
| **Wirkung** | Diese Maßnahmen ermöglicht einen groben Überblick über anthropogene Einflüsse auf die Fischpopulation zu bekommen. Daten zum Besatz und Fang sind ein wichtiger Baustein zur Beurteilung der Fischbiozönose und stellen die Basis für weitere, zielgerichtete Maßnahmen dar. | |
| **Synergien** | **Zu anderen Zielen** | **Zu anderen Maßnahmen** |
| | 1 | 2.1, 2.2, 2.4 |
| **Betroffene** | Fischereiberechtigte, Fischereiausübungsberechtigte, Fischereiverbände | |
| **Umsetzbarkeit** | § 22 Abs. 5 K-FG sieht die Meldung des Besatzes vor. Seitens der Abt. 10 wird jährlich ein Schreiben an die Fischereiausübungsberechtigten verfasst und an die Meldepflicht erinnert.<br>Information über Ausfang derzeit kaum umsetzbar. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 10 - Uabt. Agrarrecht | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Besatz: Umgehend<br>Ausfang: langfristig (> 10 Jahre) | |

| 2.6 Fütterungsverbot von Fischen | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung, Bewusstseinsbildung | |
| **Beschreibung** | Ein ganzjähriges Fütterungsverbot für Fische wird eingeführt und Seenutzer:innen werden über den negativen Effekt von Futtermitteln für die Ökologie des Sees aufgeklärt (Nährstoffeintrag). | |
| **Wirkung** | Lokale Nährstoffeinträge durch Futtermittel werden reduziert. | |
| **Synergien** | **Zu anderen Zielen** | **Zu anderen Maßnahmen** |
| | 1,4 | 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 |
| **Betroffene** | Fischereiberechtigte und Fischereiausübungsberechtigte, Fischereiverbände | |
| **Umsetzbarkeit** | Ist bereits in Planung für kleinere Seen (< 150 ha)<br>Für größere Seen könnte dies erst in einem weiteren Schritt umgesetzt werden. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 10 - Uabt. Agrarrecht | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

| 2.7 Strukturelle Verbesserung im See | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Weiterführende Untersuchungen / Recherche, Bau-/Umsetzungsmaßnahme | |
| **Beschreibung** | Anhand struktureller Maßnahmen (zB Steinhäufen, Reisig, Raubäume, etc.) werden Laich- und Jungfischhabitate geschaffen. | |
| **Wirkung** | Dem Überhang von benthivoren gegenüber karnivoren Fischen wird durch gezielte Verbesserung der spezifischen Laich- und Jungfischhabitate für karnivore Arten entgegengesteuert.<br>Die im Zuge der Fischbestandserhebung wahrgenommenen Defizite in der Alterstruktur der Leitfischart Laube können durch Schaffung bzw. Schutz geeigneter Laichhabitate ebenfalls ausgeglichen werden. | |
| **Synergien** | **Zu anderen Zielen** | **Zu anderen Maßnahmen** |
| | 1,4 | 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 |
| **Betroffene** | Fischereiberechtigte und Fischereiausübungsberechtigte, Fischereiverbände | |
| **Umsetzbarkeit** | Diese Maßnahme umfasst drei Schritte:<br>1. Laichhabitatkartierung<br>2. Defzitanalyse<br>3. Schaffung von geeigneten Strukturen | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Fischer:innen, Fischereiverbände<br>Abt. 8 - U-Abt. Geologie und Gewässermonitoring<br>ÖBf | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

| 2.8 Managementplan für fischereiliche Bewirtschaftung | |
|---|---|
| **Kategorie** | Weiterführende Untersuchungen / Recherche |
| **Beschreibung** | In einem Fischerei-Managementplan werden mit fachlicher/wissenschaftlicher Unterstützung fischereiliche Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Besatz und Befischung festgehalten und Vorschläge für strukturelle Verbesserungen etc. formuliert. |
| **Wirkung** | Durch eine Anpassung der Bewirtschaftung an den natürlichen Bestand des Wörthersees und an die veränderte Nutzung wird eine referenznahe Fischzönose etabliert bzw. erhalten. Durch ein ausgewogenes Verhältnis von |

| | | |
|---|---|---|
| | Fried- zu Raubfischen wird der von den herbivoren und benthivoren Fischarten ausgehende Druck auf die Makrophyten reduziert bzw. einer Erhöhung des Drucks entgegengewirkt. | |
| **Synergien** | **Zu anderen Zielen** | **Zu anderen Maßnahmen** |
| | 1,4 | 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 |
| **Betroffene** | Fischer:innen, Fischereiverbände | |
| **Umsetzbarkeit** | Hoch, in Kooperation mit Fischereiberechtigten | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 10 - Uabt. Agrarrecht<br>Abt. 8 - U-Abt. Gewässerökologie und ökologische Gewässeraufsicht<br>Bundesamt für Wasserwirtschaft | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Langfristig (> 10 Jahre) | |

| **2.9 Reduktion von Karpfen durch gezielten Ausfang** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Bau-/Umsetzungsmaßnahme | |
| **Beschreibung** | Bei der Kapuzinerinsel werden gezielt Karpfen der Größenklasse > 50 cm entnommen. | |
| **Wirkung** | Die Entnahme von laichfähigen Karpfen führt unmittelbar zu einer Reduktion der Bestandserhöhung. | |
| **Synergien** | **Zu anderen Zielen** | **Zu anderen Maßnahmen** |
| | 1,4 | 2.1, 2.2, 2.3 |
| **Betroffene** | Fischer:innen, Fischereiverbände | |
| **Umsetzbarkeit** | In Kooperation mit Fischereiberechtigten | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Fischer:innen, Fischereiverbände<br>Abt. 8 - U-Abt. Geologie und Gewässermonitoring<br>Seeuferkommission (Finanzierung) | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

### 5.2.3 Empfohlene Maßnahmen zur Reduktion des Wellenschlags

Alle Maßnahmen zur Reduktion des Wellenschlags unterstützen auch den Schutz von Brutvögeln, welcher aufgrund des starken Rückgangs von Brutpaaren in den letzten Jahren besonders wichtig ist. Starker Wellenschlag führt dazu, dass Gelege aus den Nestern gespült werden.

| **3.1 Motorbootfahrverhalten optimieren** | |
|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung, Vollzug, Bewusstseinsbildung |
| **Beschreibung** | Boote und Fahrweise mit dem Ziel Wellenschlag zu erzeugen (Wave-Surfen, Reifenfahren, u.ä.) verursachen, neben der Linienschifffahrt, den höchsten Wellenschlag. Die gezielte Wellenerzeugung wird durch folgende Maßnahmen verhindert:<br>• Präzisierung der wellenverursachenden Fahrweise<br>• Evaluierung der Strafbestimmungen<br>• Stärkere Kontrolle der Fahrweise (Erzeugung von Wellen) durch die Polizei<br>• Schulung aller Motorboot-Stakeholder im Bezug Wellenschlag und ökologischer Zusammenhänge und optimiertes Fahrverhalten zur Reduktion von Wellenschlag (z.B. bei Schiffführerprüfung) |
| **Wirkung** | Verringerung der Belastung auf Wasserpflanzen, Erhöhung der Sicherheit am See für Schwimmer:innen, u.ä. (großer Gemeingebrauch gem. § 8), Verringerung der schädigenden Wirkung auf Fischlaich. |

| | | |
|---|---|---|
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 1, 4 | 1.1, 1.2, 1.11 |
| **Betroffene** | Polizei, Fahrschulen, Motorbootlenker:innen, Wasserskischulen, Tourismus | |
| **Umsetzbarkeit** | Klärung ob bisherige gesetzliche Regelungen (§ 86 Seen- und Fluss-Verkehrsordnung (SFVO)) ausreichend sind oder ob eine Präzisierung in einer Landesverordnung notwendig ist. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 7 - U-Abt. Verkehrsrecht und Verkehrsunternehmen<br>Wasserpolizei<br>Abt. 8 - U-Abt. Geologie und Gewässermonitoring<br>Abt. 12 - U-Abt. wasserwirtschaftliche Planung | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

| **3.2 Novellierung Schifffahrtsgesetz** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung | |
| **Beschreibung** | Folgende Änderungen im Bundesgesetz über die Binnenschifffahrt (Seen- und Fluss-Verkehrsordnung - SFVO) werden vorgeschlagen:<br>• Schifffahrt hat auch auf den Erhalt der ökologischen Funktionsfähigkeit des Gewässers Rücksicht zu nehmen (§ 16. Verbot des Einbringens in das Gewässer).<br>• Ausweitung der § 86 (Vermeidung von Wellenschlag) enthaltenen Regelung zur „Vermeidung von Wellenschlag“ auch auf den Schutz der Ökosysteme | |
| **Wirkung** | Eine gesetzliche Verankerung zum Schutz der ökologischen Funktionsfähigkeit des Sees stellt die Grundlage für weitere Maßnahmen zur Reduktion der Wellenbelastung dar und ermöglicht deren Umsetzung. | |
| **Synergien** | **Zu anderen Zielen** | **Zu anderen Maßnahmen** |
| | 1,4 | 3.3, 3.4, 3.5, 3.7 |
| **Betroffene** | Polizei, Fahrschulen, Motorbootlenker:innen, Wasserskischulen, Tourismus | |
| **Umsetzbarkeit** | Die Anregung zur Gesetzesänderung wurde an die zuständigen Stellen für die Umsetzung der WRRL weitergeleitet. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |

| **3.3 Veranstaltungsverordnung** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung | |
| **Beschreibung** | Veranstaltungen werden nur genehmigt, wenn kein, die Ökologie zusätzlich belastender Wellenschlag entsteht | |
| **Wirkung** | Durch diverse Veranstaltungen wie beispielsweise beim Wake-Surfen, entstehen lokal hohe Wellenbelastungen, die sich stark negativ auf Makrophyten auswirken. Durch ein Verbot von derartigen Veranstaltungen wird eine zusätzliche Wellenbelastung verhindert. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 1, 4 | 3.6, 3.7 |
| **Betroffene** | Wasserskischulen und -vereine | |
| **Umsetzbarkeit** | Für Bewilligung ist Bezirkshauptmannschaft zuständig. Im Genehmigungsverfahren ist auch ein Amtssachverständiger für Gewässerökologie beizuziehen. | |

| | |
|---|---|
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Bezirkshauptmannschaft<br>Abteilung 7 - U-Abt. Verkehrsrecht und Verkehrsunternehmen<br>Abt. 8 – Geologie und Gewässermonitoring<br>Abt. 12 wasserwirtschaftliche Planung |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Langfristig (> 10 Jahre) |

| **3.4 Neuregelung des Motorbootverkehrs** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung / Vollzug und weiterführende Untersuchungen / Recherche | |
| **Beschreibung** | Einführung von temporären Beschränkung des Motorbootverkehrs und/oder Neuregelung der Vergabepraxis der Motorbootlizenzen (zB Gewichtsbeschränkungen) | |
| **Wirkung** | Eine temporäre Beschränkung der Fahrerlaubnis bewirkt ein Ausbleiben von Bootswellen in bestimmten Zeiträumen. Abhängig von Zeitpunkt und Dauer führt dies zu einer Verringerung der Belastung auf Wasserpflanzen, Erhöhung der Sicherheit am See für Schwimmer:innen, u.ä. (großer Gemeingebrauch gem. § 8 WRG) und einer Verringerung der schädigenden Wirkung auf Fischlaich.<br>Eine Verringerung der Gesamtzahl der Lizenzen führt zu einer Reduktion des Motorbootverkehrs und der Wellenbelastung. Da schwere Boote den höchsten Wellenschlag erzeugen, kann durch Gewichtsbeschränkungen bei Motorbooten eine Reduktion der Wellen erreicht werden. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 1, 4 | 3.6, 3.7 |
| **Betroffene** | Wasserskischulen und –vereine, Motorbootbesitzer, | |
| **Umsetzbarkeit** | Aus Sicht der Tourismusverantwortlichen hat die zeitliche Beschränkung des Motorbootverkehrs negative Auswirkungen auf den Tourismus. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abteilung 7 - U-Abt. Verkehrsrecht und Verkehrsunternehmen | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Langfristig (> 10 Jahre) | |

| **3.5 Errichtung von Wellen-Schutzzonen** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Ausweisung von Schutzzonen | |
| **Beschreibung** | An geeigneten Stellen werden ausreichend große Schutzgebiete in denen Bootsverkehr nur noch eingeschränkt erfolgen darf geschaffen. | |
| **Wirkung** | Durch Schutzzonen, in denen der Bootsverkehr eingeschränkt ist, können durch reduzierten Wellenschlag die Wachstumsbedingungen für emerse und submerse Makrophyten verbessert werden (z.B. südlicher Bereich Kapuziner Insel). | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 1, 4 | 3.6, 3.7 |
| **Betroffene** | Abt. 8, Tourismus / Öffentlichkeit | |
| **Umsetzbarkeit** | Die Ausweisung spezieller **Zonen für Wassersport-Gewerbe** wird derzeit von Abt. 7 überprüft und soll überarbeitet werden (insbesondere Sportzone bei Kapuzinerinseln).<br>Mögliche „**Wellen-Schutzzonen**“ = Zonen mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung<br>1. südlich der Kapuzinerinsel<br>2. Veldner Bucht: Ausweisungsmöglichkeiten wird überprüft<br>Start und Landefloss für Wasserschischule; Effektivität wegen vieler wahrscheinlicher Ausnahmen) | |

| | |
|---|---|
| | Ausarbeitung einer Stellungnahme mit Darstellung i) der negativen Auswirkung des Wellenschlags in der Veldener Bucht und ii) der Wirksamkeit einer Wellenschutzzone (positiver ökologischer Effekt, Sicherheit, Lärm)<br>Die Ausweisung von Wellen-Schutzzonen ist mit Makrophytenmonitoring zu begleiten.<br>Weitere Möglichkeiten:<br>• Erweiterung der Uferzone<br>• Ausweisung von Schutzzonen (Naturschutz, Wasserrecht oder Schifffahrtsrecht)<br>• Besser Kennzeichnung von Zonen (hat bislang nicht funktioniert)<br>• Zonen mit Geschwindigkeitsbegrenzung z.B. Veldener Bucht |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abt. 7 - U-Abt. Wirtschaft, Tourismus und Mobilität, U-Abt. Verkehrsrecht und Verkehrsunternehmen<br>Abt. 8 – U-Abt. Naturschutz<br>Abt. 8 – U-Abt. Geologie und Gewässermonitoring, Abt. 12 – wasserwirtschaftliche Planung |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Langfristig (> 10 Jahre) |

| **3.6 Keine Slalomstrecken in Ufernähe** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Reglementierung | |
| **Beschreibung** | In Ufernähe werden zum Schutz der Ufervegetation (insbesondere Makrophyten) keine gewerblichen Bewilligungen von Wasserschizonen (Slalomstrecken etc.) mehr erteilt. | |
| **Wirkung** | Durch reduzierte Wellenbelastung ergeben sich bessere Wachstumsbedingungen für emerse und aquatische Makrophyten, wodurch sich die Bestände erholen können und sich der ökologische Zustand des Sees verbessert. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 1, 4 | 3.1 – 3.5 |
| **Betroffene** | AKL8, Tourismus / Öffentlichkeit | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) | |
| **Umsetzbarkeit** | Verordnungsentwurf wurde schon in die Begutachtung geschickt. | |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Abteilung 7 - Wirtschaft, Tourismus und Mobilität, U-Abt. Verkehrsrecht und Verkehrsunternehmen | |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Kurzfristig (1 – 2 Jahre) | |

### 5.2.4 Empfohlene Maßnahmen zur Stärkung des See-Ökosystems

| **4.1 Aufklärung über den ökologischen Zustand** | | |
|---|---|---|
| **Kategorie** | Bewusstseinsbildung | |
| **Beschreibung** | Die Bevölkerung und Tourist:innen werden über den ökologischen Zustand des Wörthersees, den Effekt von herbivoren und benthivoren Fischen und Wellen auf die Makrophyten und daraus resultierenden Schutzmaßnahmen aufgeklärt. | |
| **Wirkung** | Durch Aufklärung steigt das Bewusstsein der Bevölkerung für Verhalten, das den ökologischen Zustand des Sees verbessert und die Akzeptanz für notwendige Maßnahmen. | |
| **Synergien** | **mit anderen Zielen** | **mit anderen Maßnahmen** |
| | 1, 2, 3 | alle |
| **Betroffene** | Seeanrainer, Badegäste, Fischer, Motorbootfahrer, politische Vertreter auf Gemeindeebene | |

| | |
|---|---|
| **Umsetzbarkeit** | Gut umsetzbar |
| **Verantwortlich für Umsetzung** | Land Kärnten<br>Seeuferkommission (Finanzierung) |
| **Zeitraum der Umsetzung** | Mittelfristig (2-10 Jahre) |

# 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Der Wörthersee befindet sich aufgrund der Verschlechterung der Qualitätskomponente Makrophyten nicht mehr im ökologisch guten Zustand. Neben den Makrophyten weisen auch andere ökologische Parameter einige Defizite und Veränderungen auf. Die Erhaltung, bzw. Wiederherstellung des guten ökologischen Zustands ist aber nicht nur aufgrund der gesetzlichen Vorgaben des WRG verpflichtend, sondern hat auch für die langfristige Sicherstellung der natürlichen Funktionen eine große Bedeutung. Nur ein ökologisch intaktes Gewässer bietet Tieren und Pflanzen einen Lebensraum und kann seine Freizeit- und Erholungsfunktion langfristig erfüllen.

Die Analysen im Rahmen des Schutz- und Nutzungskonzepts belegen, dass eine Verbesserung nur durch das Zusammenwirken mehrerer Maßnahmen erreicht werden kann. Dabei ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass Seeökosysteme nur langsam auf Veränderung reagieren. Weiters ist zu beachten, dass der Wörthersee – wie alle österreichischen Seen – von der klimabedingten Erwärmung betroffen ist. Der Klimawandel stellt für das Ökosystem eine sehr bedeutende Einflussgröße dar, ist nicht umkehrbar und wirkt verstärkend auf alle anderen Einflussgrößen. Aus diesem Grund sind zusätzliche Anstrengungen zur Stärkung der Widerstandskraft (Resilienz) des Seeökosystems notwendig. Alle Handlungen und Maßnahmen sollen sich am Nachhaltigkeitsprinzip, Vorsorgeprinzip, Minimierungsprinzip und Verursacherprinzip orientieren (vgl. §30, §31 WRG 1959).

Die empfohlenen Maßnahmen umfassen die Reduktion des Wellenschlags, Änderungen in der fischereilichen Bewirtschaftung und die Renaturierung der Seeufer. Zur Erhöhung der Widerstandskraft des Seeökosystems werden weitere Maßnahmen empfohlen.

Es geht dabei um Reglementierungen (Gesetze, Verordnungen) und den Vollzug dieser, um Maßnahmen zur Bewusstseinsbildung, sowie um Uferrückbaumaßnahmen einschließlich adäquater Förderungen und Anreize. Auch die Ausweisung neuer oder die Ausweitung bestehender Schutzzonen wird vorgeschlagen. Verantwortlich für die Umsetzung der Maßnahmen sind Politik (Bund und Land), Verwaltung, Exekutive, die Österreichischen Bundesforste, Fischereivereine und Fischereibewirtschafter sowie Grundstückseigentümer.

Die Zeiträume für die Umsetzung der Maßnahmen wurden im Rahmen der landesinternen Fachworkshops anhand der Einschätzung der Fachabteilungen festgelegt. Alle Experten haben klargestellt, dass in allen Handlungsfeldern Maßnahmen umgesetzt werden müssen und eine Konzentration auf ein Handlungsfeld unter gleichzeitiger Vernachlässigung eines anderen Handlungsfeldes die Wirkung verfehlen würde. Die Umsetzung der Maßnahmen soll stufenweise, unter laufender Evaluierung erfolgen. Bei der Konkretisierung und Priorisierung der im gegenständlichen Bericht empfohlenen Maßnahmen sind die Aspekte Wirtschaft, Gemeingebrauch und Tourismus zu berücksichtigen. Allen Handelnden muss klar sein, dass es sich sowohl bei der Verschlechterung als auch bei der einzuleitenden Verbesserung des ökologischen Zustands um einen Prozess handelt, der sich über viele Jahre ziehen wird. Gerade deshalb muss die Weichenstellung dafür so schnell wie möglich erfolgen.

# Glossar

| *Begriff* | *Bedeutung* |
|---|---|
| *Abrasionswirkung* | schleifende oder reibende Wirkung, z.B. durch aufgewirbeltes Sediment |
| *Antifouling* | Anstrich für den unter Wasser befindlichen Teil eines Schiffes, der das Sichfestsetzen pflanzlicher und tierischer Organismen verhindert |
| *BAS* | Bootsanlegestelle |
| *benthivor* | Ernährung (z.B. von Fischen) erfolgt durch, auf dem Substrat sitzende wirbellose Tiere |
| *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. Dieser Prozess wird als biogene Entkalkung bezeichnet. |
| *Characeae* | Wissenschaftliche Bezeichnung für Armleuchteralgen (auch Charophyceae oder Charales genannt) |
| *Cypriniden* | Die Karpfenartigen (Cypriniformes) sind eine artenreiche Ordnung von Süßwasserfischen. Sie werden umgangssprachlich als Cypriniden bezeichnet. |
| *Epilimnion* | Erwärmte Oberflächenschicht eines Sees während der geschichteten Phase. |
| *EQR* | Ecological Quality Ratio; Das Ecological Quality Ratio (EQR) ist ein Kennzahlensystem, das den ökologischen Zustand von Oberflächengewässern und Grundwasserkörpern gemäß der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) beschreibt. Es wird verwendet, um die Abweichung des tatsächlichen Zustands eines Gewässers vom natürlichen, von Menschenhand weitgehend unberührten Zustand (Referenzzustand) zu messen. |
| *Invertebraten* | Invertebrata (bzw. Evertebrata) sind die vielzelligen Tiere ohne Wirbelsäule. Dazu zählen z.B. Schnecken, Krebstiere, Insekten. |
| *Litoral* | Uferbereich eines stehenden Gewässers, der bis zu jener Tiefe im See reicht, bei der die Lichtverhältnisse für das Wachstum pflanzlicher Organismen ausreichen. Im See die mit höheren Pflanzen und Algen bewachsene Uferzone. |
| *Makrophyten* | Wasserpflanzen mit gegliederten Sprossaufbau, die in der Regel mit freiem Auge sichtbar sind und dauernd oder zumindest für einige Monate im Jahr untergetaucht leben oder auf der Wasseroberfläche treiben. Hinzu zählen Spermatophyta (Samenpflanzen), Pteridophyta (Farne), Bryophyta (Moose) und Charophyta (Armleuchtrealgen). |
| *Makrozoobenthos* | Als Benthos wird die Gesamtheit der im Gewässerboden lebenden Organismen bezeichnet. Unter Makrozoobenthos werden hierbei die tierischen Organismen bis zu einer definierten Größe (mit dem Auge noch erkennbar) zusammengefasst. |
| *Meromixis* | Teildurchmischung von geschichteten Seen. Erfolgt die Durchmischung nicht bis zum Grund sondern nur bis zu einer gewissen Tiefe, handelt es sich um Meromixis. |
| *Mixolimnion* | Von der Zirkulation erfasstes Oberflächenwasser eines meromiktischen Sees. |
| *Monimolimnion* | Von der Zirkulation ausgeschlossenes Tiefenwasser eines meromiktischen Sees. |
| *Monomiktisch* | Bezeichnung für Seen, die nur eine Zirkulation im Jahr aufweisen. |
| *Neobiota* | Pflanzen und Tiere, die nach 1492 eingewandert sind oder eingebürgert wurden. Der Überbegriff wird aufgeteilt in Neophyta (pflanzlichen Organismen) und Neozoa (Tiere). |
| *NGP* | Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan |
| *Oosporen* | samenartige Verbreitungseinheiten von Armleuchteralgen (Characeaen) |
| *Qualitätskomponente* | Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) definiert Qualitätskomponente als wichtige Faktoren, die den ökologischen Zustand von Gewässern bestimmen. Biologische Qualitätskomponente sind für die Zustandsbewertung von Seen und Fließgewässern nach der WRRL von entscheidender Bedeutung. Sie dienen als Indikatoren für die Gesundheit und Vitalität von Gewässern und ermöglichen die Beurteilung des erreichten ökologischen Zustands. |
| *QZV* | Qualitätszielverordnung - Teil der Bewertung des ökologischen Zustands von Gewässern nach der Wasserrahmenrichtlinie |
| *Rhizom* | Unterirdischer oder im Gewässerboden befindlicher Spross von bestimmten Pflanzen, mit dessen Hilfe diese Pflanzen auch überwintern, Wurzelstock |

| | |
|---|---|
| *SC* | Species composition, Artenzusammensetzung Diese Metrik beschreibt die Abweichung in Bezug auf die Artenzusammensetzung eines Transektes von einem Referenztransekt |
| *sediment focusing* | Prozess bei dem Sediment aus flacheren in tiefere Bereiche verlagert wird, da Turbulenzen in der Flachwasserzone stärker ausgeprägt sind als in tieferen Bereichen. |
| *Seekreide* | Carbonatreiche, humusarme, meist sehr helle Ablagerung (Sedimentation) am Grunde von Seen, die zum Großteil durch die Photosyntheseaktivität von Phytoplankton entsteht (biogene Entkalkung) |
| *TI* | Trophieindikation; Die Trophieindikation für Makrophyten beschreibt die Beziehung zwischen den Nährstoffbedingungen (Trophie) eines Gewässers und der Zusammensetzung der Makrophytenvegetation auf Basis des Makrophytenindex. |
| *Trophie* | Nährstoffbelastung; Das Trophiesystem ist ein Klassifizierungs- und Bewertungssystem, das den Zustand von stehenden Gewässern hinsichtlich des Nährstoffgehalts charakterisiert. |
| *Trophieindex* | Der Trophieindex (Makrophytenindex) dient als Grundlage für die Metrik Trophische Indikation. Für eingestufte Arten wurde ein Trophieindex vergeben, der bestimmte Nährstoffverhältnisse anzeigt. |
| *Turionen* | Vegetative Winterknospen von Wasserpflanzen |
| *VD* | Vegetationsdichte; Auf Basis des PMI (Pflanzenmengenindex) erfolgt die Berechnung der mittleren Vegetationsdichte eines Transekts. |
| *VL* | Vegetationslimit; Vegetationsgrenze; unterste, in der Regel lichtlimitierte Ausbreitungsgrenze der Makrophyten. |
| *VZ* | Vegetationszonierung, Abfolge der Makrophyten im Tiefenverlauf, diese Metrik beschreibt, ob die erforderlichen Vegetationszonen vorhanden und mit typspezifischen oder allgemein repräsentativen Arten in ausreichender Menge bewachsen sind. Für Seen der inneralpinen Becken, zu denen der Wörthersee zählt, sind die 3 Zonen vorgegeben |
| *Whitening-Effekt* | 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-Effekt). |
| *WRRL* | Europäische Wasserrahmenrichtlinie; Die Richtlinie trat im Jahr 2000 in Kraft und zielt darauf ab, bis 2015, mit Ausnahmen spätestens 2027, einen guten ökologischen und guten chemischen Zustand für Oberflächengewässer sowie ein gutes ökologisches Potenzial und einen guten chemischen Zustand für erheblich veränderte oder künstliche Gewässer zu erreichen. |
| *ZAMG* | Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, ehemalige Bezeichnung für GeoSphere Austria – Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie |

# Literaturverzeichnis


AQUAPLUS (2011): *Straßenabwasser in der Schweiz*. Literaturarbeit und Situationsanalyse Schweiz hinsichtlich gewässerökologischer Auswirkungen (Immissionen). Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

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

Binz-Reist H.-R. (1989): Mechanische Belastbarkeit natürlicher Schilfbestände durch Wellen, Wind und Treibzeug; Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, 101. Heft; 536 pp.

BMNT (2021): Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente, Teil B.4. Makrozoobenthos in Seen – Qualitätselement Makrozoobenthos: Probenbearbeitung und Bewertung hydromorphologischer Veränderungen im Litoral von Alpenseen (Jänner 2021)

Dinka, M. (1989): *Über den Phosphorgehalt des Sediments im Neusiedler See; Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland*, Illmitz 1989, Institut für Ökologie und Botanik der UAW, 2163 Väcrätöt, Ungarn, BFB-Bericht71,89-93

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

Hauzenberger, I., Trimbacher, C., & Weiß, S. (2015). *Erste österreichische Fallstudie zu Antifoulingwirkstoffen in der Umwelt*. Wien: Umweltbundesamt GmbH.

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.

Honsig-Erlenburg, W. (2016). *Fische – Neunaugen, Flusskrebse, Großmuscheln. – Natur Kärnten, ,* (3. überarbeitete Auflage Ausg., Bd. 1). (W. Honsig-Erlenburg, Hrsg.) Klagenfurt: Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten.

Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner (2023): Seenmanagementsystem Wörthersee. Unveröffentlichter Projektbericht im Auftrag des Amts der Kärntner Landesregierung, Abt. 8 – Umwelt, Energie und Naturschutz

Iseli, Ch., La Poutré, M., De Cesare, G., editors (2020). *Arbeitshilfe Seeuferrevitalisierung*. Verein für Ingenieurbiologie VIB. Fachzeitschrift Ingenieurbiologie, Heft Nr. 1/2020, 30. Jahrgang, Mai 2020

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

Kottelat, M. & Freyhof, J. (2007). *Handbook of European freshwater fishes*. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin. 646 pp.

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

Krambeck C. (2020): *Ausfälle submerser Vegetation und Verdrängung von Characeen durch Angiospermen in einem mesotrophen See und mögliche Rolle von Herbizideinträgen*, Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Ergebnisse der Jahrestagung 2019 (Münster), Erweiterte Zusammenfassung, Preprint.

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. Bericht, 48 Seiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Gewässerökologie und Fischereiwirtschaft, Scharfling 18, 5310 Mondsee.*

Malle, G., & Petutschnig, W. (2020). Die piscivoren Vogelarten Kärntens. Bestandsaufnahme und Ausblick. *Carinthia II, 210./130*, 489–556.

Martin, C. & Unger, M. (2020): *Daten zur Bewertung der Toxizität von betriebsbedingten Einleitstoffen der Autobahnentwässerung auf Makrophyten für den Fachbeitrag Wasserrahmenrichtlinie zur Überprüfung der Vereinbarkeit des Vorhabens mit den Bewirtschaftungszielen nach §§ 27 und 47 WHG im Hinblick auf den geplanten Neubau der A20*. - Planfeststellungsverfahren A 20 Nordwest-Umfahrung Hamburg.

Meis, S., van de Weyer, K., & Stuhr, J. (2018). *Ein Verfahren zur Erfassung und Dokumentation von Schäden durch benthivore Cypriniden an submersen Makrophyten in Stillgewässern.* Korrespondenz Wasserwirtschaft (11) Nr. 3.

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).

Moser J., (2020): *Wörthersee – Schleusenordnung* Stand: 20.02.2020; Amt der Kärntner Landesregierung Abt 12 / Wasserwirtschaft / Hydrographie

Ostendorp, W., 2014. *Auswirkungen der Ufermauern am Bodensee-Untersee auf die litorale Fauna und Flora: Ergebnisse szenario-basierter Expertenurteile*. In: Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz e.V.. 2014, N.F. 21(3), pp. 371-404. ISSN 0067-2858. Available under: doi: 10.6094/UNIFR/11336

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., Mayerhofer. 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.

Pall, K. & Plachy, B., 2017: Erarbeitung einer Methode für die WRRL-konforme Aufnahme der hydromorphologischen Gegebenheiten an österreichischen Seen.- Studie im Auftrag des BMLFUW, 52pp.

Petutschnig J. (2016) Flusskrebse: Seiten 178 bis 198. In Honsig - Erlenburg W. (Hrsg.) (2016): Fische – Neunaugen, Flusskrebse, Großmuscheln. - Natur Kärnten. Band 1, dritte überarbeitete Auflage. Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Klagenfurt, 280 S.

Petutschnig, W., & Wagner, S. (1999). *30 Jahre Wasservogelzählung in Kärnten. Auswertung der Mittwintererfassung der Jahre 1970 bis 1999.* Kärntner Naturschutzberichte, Bd. 4: 75–95.

QZV Chemie OG - *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des Zielzustandes für Oberflächengewässer* (Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer) - StF: BGBl. II Nr. 96/2006 [CELEX-Nr.: 31976L0464, 31982L0176, 31983L0513, 31984L0156, 31984L0491, 31986L0280, 32000L0060].

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). *KLIWA - Einfluss des Klimawandels auf Seen Literaturauswertungsstudie im Rahmen des Kooperationsvorhabens.* Konstanz: KLIWA - Kooperationsvorhaben Klimaveränderung und Wasserwirtschaft.

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

Schwalm, C.R., Glendon, S., Duffy, P.B. (2020). *RCP8.5 tracks cumulative CO2 emissions*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 3. August 2020, doi:10.1073/pnas.2007117117

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

Schulz, L., M. Schönhuber, M. Santner & T. Swaton (2008): Erhebung des Ist-Zustandes der Uferverbauung und Seeeinbauten des Wörthersees und des Millstätter Sees; Amt der Kärntner Landesregierung & Kärntner Institut für Seenforschung.

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.* Bericht, 22.04.2021 i.A. des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein.

Wagner, S., & Petutschnig, W. (2023). Wasservogelzählung in Kärnten 2023. *Carinthia II, 213./133.:*, 229–236.

Wang, J., Church, J.A., Zhang, X. et al. (2021): Reconciling global mean and regional sea level change in projections and observations. Nat Commun 12, 990 (2021).https://doi.org/10.1038/s41467-021-21265-6

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

Wolfram, G., Donabaum, K., & Dokulil, M. T. (2010). *Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente. Teil B2 – Phytoplankton.* Wien: BMLFUW. doi:ISBN 978-3-85174-064-6

Wolfram, G., Römer, J., Hörl, C., Stockinger, W., Ruzicska, K, & Munteanu, A. (2014): *Chlorid-Studie. Auswirkungen von Chlorid auf die aquatische Flora und Fauna, mit besonderer Berücksichtigung der Biologischen Qualitätselemente im Sinne der EU-WRRL*. Hrsg.: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Abteilung IV/3 – Nationale und internationale Wasserwirtschaft Wien.

Zambrano, L. B., & Roozen F. and Scheffer, M. (2005). A method for measuring effects of bioturbation and consolidation on erosion resistance of aquatic sediments. *Arch. Hydrobiol. 162 3*, 327-337.

Zambrano, L., Scheffer, M., & Martinez-Ramos, M. (2001). Catastrophic response of lakes to benthiforous fish introduction. *Oikos 94*, 344-350.

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: EQR-Wert und entsprechende Bewertung des ökologischen Zustands ..... 7
Abbildung 2: Vergleich des Gesamtwerts (TR) und der Einzelmetriken (VD, VL, VZ, TI, SC) 2021 und 2007 gewichtet auf die Uferlinie ..... 9
Abbildung 3: Detail- und Gesamtergebnisse der Fischbestandserhebung 2022 ..... 11
Abbildung 4: Übersicht über die hydromorphologische Bewertung der Uferabschnitte am Wörthersee .. 13
Abbildung 5: Aktuelles Luftbild (Quelle: KAGIS) der Schlangeninsel (Blumeninsel) mit Schilfbestand der 1950er Jahre (weiß schraffierte Fläche) und aktuellen Schilfbestand; die Farbkodierung gibt den Anteil am ursprünglichen Bestand an ..... 16
Abbildung 6: Verhältnis von Röhrichtbestand und unverbautem Ufer: y-Achse: Anteil des aktuellen Röhrichtbestandes an der Schilfpotenzialfläche; x-Achse: Anteil des unverbauten Ufers am Gesamtufer des Abschnittes ..... 17
Abbildung 7: Lage und Nummerierung der Krebsreusen (rote Punkte) ..... 21
Abbildung 8: Die beiden gefangenen Krebse – links: Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus)*, rechts: Sumpfkrebs (*Astacus leptodactylus*) ..... 21
Abbildung 9: Drohnenorthofoto der Versuchsanordnung (31.08.2023) ..... 23
Abbildung 10: Anordnung der Versuchsflächen (brauner Balken: Schilfschutzzaun) ..... 24
Abbildung 11: Graphische Darstellung der aktuellen Bedeckung der geschützten Flächen (24.07.2023)24
Abbildung 12: Drohnenaufnahme des Makrophytenbestandes. Links kurz nach Abbau des Käfigs, rechts ca. 30 Stunden später. Jeweils links unten ist das Videomonitoringsystem zu sehen. ..... 25
Abbildung 13: Berechnete Wasserspiegelauslenkung durch verschiedene Bootsfahrten in einem Ausschnitt des Modellgebiets; a) Sportboot in Gleitfahrt, b) Sportboot in Verdrängerfahrt mit Eintauchtiefe

50 cm und Fahrgeschwindigkeit 20 km/h, c) Sportboot in Verdrängerfahrt mit Eintauchtiefe 80 cm und Fahrgeschwindigkeit 25 km/h (mit und ohne Ufermauer), d) Linienschiff ..... 31
Abbildung 14: Temperaturjahresmittelwerte (°C) aus den Tagesmittelwerten 1981 bis 2022. Rote Punkte: Jahre der Makrophytenerhebungen (2007 und 2021) ..... 36
Abbildung 15: Anzahl der Beobachtungen pro Stunde (31.07.2022) ..... 40
Abbildung 16: %-Anteil der Uferverbauungen ..... 42
Abbildung 17: Mittelwerte der Phytoplanktonkonzentration (0-12 m) und Sichttiefe von Mai bis September von 2000 bis 2023 [Anzahl der Messtermine] ..... 46
Abbildung 18: Volumsgewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentration von 0-50 m [Anzahl der Messtermine] ..... 47
Abbildung 19: Beispiel eines Zubringers während eines Starkregenereignis mit Eintrübung ..... 48
Abbildung 20: Darstellung der Transekte mit einer trophischen Indikation schlechter als „gut“ bewertet, Zustand 2007 ..... 48
Abbildung 21: Darstellung der Transekte mit einer trophischen Indikation schlechter als „gut“ bewertet, Zustand 2021; Violetter Text = Abkürzung für Makrophyten-Arten, welche einen höheren Trophieindex anzeigen ..... 48
Abbildung 22: Dichter Bestand von *Ceratophyllum demersum* ..... 49
Abbildung 23: Bewertung Vegetationsdichte 2007 ..... 51
Abbildung 24: Bewertung Vegetationsdichte 2021 ..... 51
Abbildung 25: Veränderungen der Vegetationsdichte. Ein grüner Pfeil weist auf eine Zunahme, ein oranger Pfeil auf eine Abnahme der Vegetationsdichte hin. ..... 51
Abbildung 26: Bewertung Vegetationszonierung 2021 im Vergleich zu 2007 ..... 52
Abbildung 27: Vegetationszonierung „schlecht“ Transekt 71 ..... 52
Abbildung 28: *Myriophyllum spicatum* im November 2022 (Foto mit Tauchdrohne Firma Copter log Services) ..... 53
Abbildung 29: *Najas* sp. im November 2022 (Foto mit Tauchdrohne Firma Copter log Services) ..... 54
Abbildung 30: Karpfengruppe vor Villa Ida ..... 56
Abbildung 31: Transekte mit Wühltrichtern ..... 56
Abbildung 32: Wühltrichter ..... 57
Abbildung 33: Bewertung der Metrik Uferverbau, Zustand 2022 (vgl. Fachbericht 3.3) ..... 58
Abbildung 34: Makrophyten neben dem Steg und vegetationsfreier Bereich unter dem gleichen Steg ..... 59
Abbildung 35: Ablauf der Entwicklung der Maßnahmen ..... 63

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Projektteam ..... 4
Tabelle 2: Externe Experten ..... 4
Tabelle 3: Liste der Fachberichte ..... 5
Tabelle 4: EQR- Werte der Qualitätskomponente Phytoplankton seit 2007 ..... 10
Tabelle 5. Ergebnisse der hydromorphologischen Bewertung – Metriken ..... 12
Tabelle 6: Qualitätskomponente Gesamt-Phosphor (P gesamt) – volumsgewichete Konzentration im Mixolimnion (0-50m), Sichttiefe und davon abgeleitet EQR-Werte und Ökologischer Zustand, dargestellt im 3-Jahresmittel. ..... 14
Tabelle 7: MZB-ökologischer Zustand der einzelnen Messstellen am Wörthersee 2019 (MILA - Multimetrische Index for Lakes) ..... 15
Tabelle 8: Vergleich der Makrophytenbewertung 2007 und 2021 ..... 44
Tabelle 9 Belastungsanalyse und beobachtete Entwicklungen je Metrik und betroffene Transekte. ..... 44
Tabelle 10: Veränderung möglicher Belastungen in den Jahren 2007 und 2021 und mögliche Maßnahmen ..... 61