LAND KÄRNTEN

SCHUTZ- UND NUTZUNGSKONZEPT

Wörthersee

Bericht 2.6.1

Phytoplankton

Abteilung 8 – Umwelt, Naturschutz und Klimaschutzkoordination

Endversion 1.0

November 2023

LAND KÄRNTEN

Impressum:

Herausgeber:
Amt der Kärntner Landesregierung
Abteilung 8 – Umwelt, Energie und Naturschutz
Unterabteilung Geologie und Gewässermonitoring – Kärntner Institut für Seenforschung
Kirschengasse 43, 9020 Klagenfurt am Wörthersee

Projektgesamtleitung:
Dipl.-Ing. Dr. Barbara Kogelnig, Abteilung 12 – Wasserwirtschaft
Unterabteilung Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft
Flatschacher Straße 70, 9021 Klagenfurt am Wörthersee

Projektkoordination:
eb&p Umweltbüro GmbH
DI Dr. Karoline Angermann
Bahnhofstraße 39/2, 9020 Klagenfurt a. W.
Tel +43 (0) 463 51 66 14
e-mail: klagenfurt@umweltbuero.at

Leitung Arbeitspakete Ökologie
Dr. Roswitha Fresner
Mag. Georg Santner
Abteilung 8 - Umwelt, Energie und Naturschutz
Institut für Seenforschung (KIS)

Projektbearbeitung:

Mit Beiträgen von
Dr. Roswitha Fresner

1 Inhalt

2 Einleitung 4
3 Methode 4
4 Bewertungssysteme 5
4.1 Ökologischer Zustand 5
4.2 Trophie: 6
5 Ergebnisse 7
5.1 Phytoplankton 7
5.1.1 Phytoplankton Arteninventar 7
5.1.2 Phytoplankton-Biovolumen 12
5.1.2.1 Phytoplankton-Biovolumen - Beckenvergleich 14
5.1.3 Planktothrix rubescens 15
5.1.3.1 Planktothrix rubescens – Beckenvergleich 18
5.2 Ökologischer Zustand - Wörthersee 18
5.2.1 Ökologischer Zustand Beckenvergleich 21
5.3 Trophie 21
5.3.1 Trophie – Beckenvergleich 22
6 Anhang 23
6.1 Literatur 23
6.2 Liste Bestimmungsliteratur 23

2 Einleitung

Phytoplankton oder auch „Algen“ sind einzellige oder Kolonien bildende Pflanzen, die vorwiegend in stehenden Gewässern vorkommen. Die meisten von ihnen schweben im Wasser und lassen sich treiben. Mit Hilfe der Photosynthese und Sonnenlicht (Kohlenstoffdioxid, Wasser und Nähstoffen) produzieren sie organisches Material. Sie produzieren den lebensnotwendigen Sauerstoff und dienen vielen Wasserorganismen als Nahrung. Als Primärproduzenten nehmen sie auch den frei verfügbaren Phosphor (gelöster, organisch und anorganisch gebundener Phosphor) auf und legen so Nährstoffe in Biomasse fest. Die Tiefenverteilung der Algen im See ist abhängig von der Eindringtiefe des Lichtes (Photosynthese), die im Wörthersee je nach Jahreszeit bis in rund 30 Metern Tiefe reicht.

Die Schwebealgen (Phytoplankton) übernehmen bei der Bewertung der Seen eine Schlüsselrolle und spiegeln im Wesentlichen das Nährstoff- bzw. Produktionsniveau eines Gewässers wider.

Seit mehr als fünfzig Jahren wird in regelmäßigen Abständen der Schwebealgenbestand des Wörthersees vom Land Kärnten untersucht. Mit Hilfe diesen Langzeitdaten lassen sich Veränderungen der Artenzusammensetzung sowie deren Abundanzen feststellen.

Die vorliegenden Analysen wurden unter dem Aspekt durchgeführt, herauszufinden, ob Veränderung im Phytoplanktonbestand vorliegen, die zur Verschlechterung des ökologischen Zustandes der „Makrophyten“ beigetragen haben könnten.

Anhand der Langzeitdaten wird das Arteninventar des Phytoplanktons hinsichtlich Abundanz und Dominanz betrachtet. Auch werden die Ergebnisse der Bewertungsmethoden hinsichtlich ökologischer Zustand - Phytoplankton und der Trophie des langjährigen Beobachtungszeitraumes dargestellt. Seit Herbst 2019 werden neben dem Veldener Becken (Westbecken) auch das mittlere Maria Wörther Becken und das östliche Klagenfurter Becken untersucht. Diese drei Becken des Wörthersees werden im Hinblick auf den Algenbestand miteinander verglichen.

3 Methode

Zur Auswertung gelangen jene Phytoplanktondaten des Wörthersees, die im Rahmen der Routineüberwachung oder im Zuge von Sonderprogrammen (EU-Projekten und Langzeitstudien) vom Kärntner Institut für Seenforschung (Abt. 8 Umwelt, Energie und Naturschutz des Amtes der Kärntner Landesregierung) erhoben wurden. Die Routineüberwachung, die am Wörthersee mindestens vier Termine pro Jahr vorsieht, wurde Anfang der 1970er Jahre installiert und bis heute fortgeführt. Bis zu zwölf Probenahmen können im Rahmen von Sonderprogrammen anfallen. Darüber hinaus stehen wertvolle Daten von 1934 bis 1938, 1949 und von 1954 bis 1961 aus Aufzeichnungen von Prof. Dr. Ingo Findenegg und Prof. Dr. Hans Sampl über das Phytoplankton des Wörthersees zu Verfügung.

Die Planktonproben werden aktuell entlang der euphotischen Zone (jener Bereich in der Photosynthese aufgrund der Lichteinstrahlung möglich ist) aus vier Tiefenbereichen mittels eines Summenschöpfers (HYDROBIOS) entnommen: Epilimnion (0 – 6 m), Metalimnion (7 – 12 m), Hypolimnion I (13 – 20 m), Hypolimnion II (21 – 30 m). Vor 2009 wurde für das Epilimnion eine Mischprobe der Proben aus ein, drei und fünf Meter Tiefe erstellt. Für das Metalimnion und das Hypolimnion wurden entweder Mischproben angefertigt (Metalimnion: 8, 10 und 12 m Tiefe; Hypolimnion I: 15 und 20 m Tiefe) oder die Ergebnisse der gezählten Proben wurden zwischen den Tiefenstufen, aus denen die Proben entnommen wurden, interpoliert. Die vorhandenen Daten wurden für die Auswertung homogenisiert und analysiert.

Die Planktonproben werden mit Lugol´scher Lösung fixiert. Die Phytoplanktonarten (Algen) werden unter Verwendung eines Umkehrmikroskops gezählt und anhand der im Anhang angeführten Bestimmungsliteratur determiniert. Das Biovolumen (Biomasse) errechnet sich aus dem spezifischem Gewicht der gezählten Arten.

4 Bewertungssysteme

4.1 Ökologischer Zustand

Der ökologische Zustand Phytoplankton stellt im Wesentlichen eine Klassifizierung des Nährstoff- bzw. Produktionsniveaus eines Gewässers dar.

Die Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG; WRRL) gibt für alle stehenden Gewässer mit einer Fläche > 0,5 km² einen zumindest "guten ökologischen Zustand" vor. Also ein Zustand, der vom "sehr guten“ nur geringfügig abweicht. Die ökologische Zustandsbewertung erfolgt demnach anhand der Abweichung einer Lebensgemeinschaft vom festgelegten Referenzzustand. Ein Referenzzustand ist laut Wasserrechtsgesetz (WRG) „normalerweise bei Abwesenheit störender Einflüsse im betreffenden Oberflächengewässertyp“ gegeben.

Eine Verhältniszahl, der „EQR - Ecological Quality Ratio“ drückt die Abweichung vom Referenzzustand aus. Verwendet werden „Metrices“ bzw. Kennwerte einer Lebensgemeinschaft, die deutlich und gesetzmäßig auf Belastungen reagieren.

In der Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG, 2010, BGBl. II Nr. 99/2010 i.d.g.F.) sind die Qualitätsziele für die biologischen Qualitätselemente: Algen (Phytoplankton), Wasserpflanzen (Makrophyten) und Fische sowie für die hydromorphologischen und allgemein physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten definiert. Die Methoden zur Erhebung der biologischen Qualitätskomponenten sind den vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft veröffentlichten Leitfäden zu entnehmen.

Entsprechend erfolgt die quantitative Analyse des Phytoplanktons den Angaben des Leitfadens zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente Teil B2 Phytoplankton (WOLFRAM, DONABAUM & DOKULIL Version B2-01i_PHP) des Bundesministeriums für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Tab. 1: Referenzwerte, EQR und normierte EQR-Werte der Kenngrößen Chlorophyll-a Konzentration, Biovolumen und Brettum-Index.

Biovolumen	**µg/l**	**EQR**	**nEQR**
Referenzwert	0,30	1,00	1,00
Grenze sehr gut / gut	0,50	0,60	0,80
Grenze gut / mäßig	1,20	0,25	0,60
Chlorophyll-a Konzentration	**mm³/l**	**EQR**	**nEQR**
Referenzwert	1,90	1,00	1,00
Grenze sehr gut / gut	2,71	0,70	0,80
Grenze gut / mäßig	4,75	0,40	0,60
Brettum-Index	**Wert**	**EQR**	**nEQR**
Referenzwert	5,09	1,00	1,00
Grenze sehr gut / gut	4,21	0,83	0,80
Grenze gut / mäßig	3,33	0,65	0,60

*) Der Brettum-Index errechnet sich aus dem Jahresmittel des Algenbiovolumens und der Abundanz jener Taxa, die in in der Liste „Taxon-spezifische Trophie-Scores“ aufscheinen.

Am Wörthersee wird seit 2007 jährlich der ökologische Zustand Phytoplankton ermittelt. Die verwendeten Kenngrößen sind die Jahresmittel von Algenbiovolumen, der Brettum-Index* und ab 2013 auch die Chlorophyll-a-Konzentration des Epilimnions (Tab. 1). Die Gesamtbewertung der ökologischen Zustandsklassen erfolgt auf Basis des 3-Jahresmittels der normierten Gesamt-EQR-Werte. Die normierten EQR-Werte werden anhand der Jahresmittelwerte berechnet:

(norm.EQR Chlorophyll-a + norm.EQR Biovolumen) / 2 + (norm.EQR Brettum) / 2 = norm.EQR Gesamt.

Der ökologische Zustand wird in fünf, farbig zu unterscheidenden Klassen von „sehr gut“ bis „schlecht“ ausgedrückt (Tab. 2).

Tab. 2: Normierte EQR-Werte des Ökologischen Zustands – Phytoplankton.

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

4.2 Trophie:

Die Trophie-Einstufung des Wörthersees geschieht seit mehr als fünfzig Jahren in Anlehnung an die ÖNORM 6231. Sie basiert auf dem Algen-Biovolumen bzw. der Chlorophyll-a-Konzentration und dem Nährstoffparameter Gesamt-Phosphor im Epilimnion während der Stagnationsphase und der gewichteten Gesamt-Phosphor-Konzentration des Mixolimnions während der Zirkulationsphasen.

Die Messwerte des Epilimnions dokumentieren die Qualität des zum Baden genutzten Wasserkörpers. Das Epilimnion umspannt die obere Wasserschicht von null bis sechs Meter Tiefe. Das Mixolimnion umspannt den Wasserkörper, der in der kalten Jahreszeit üblicherweise bis zum Grund zirkuliert. Beim Wörthersee jedoch reicht die Zirkulation meist bis in rund 50 Meter Tiefe, der tiefer gelegene Wasserkörper wird nur selten erfasst oder gänzlich durchmischt (fakultative Meromixis).

Tab. 3: Verwendete Kenngrößen zur Trophie-Einstufung der Kärntner Seen (JMW – Jahresmittelwert, Konz. – Konzentration, gew. – volumsgewichtet P_{tot} – Gesamt-Phosphor, PPH-BV – Phytoplankton-Biovolumen, Chl-a – Chorophyll-a).

Trophie	Parameter	Epilimnion JMW Konz.	**Mixolimnion (gew. JMW)**	**Sommerstagnation in der Tiefe thermisch geschichteter Seen**
Oligotroph	P_{tot} PHP-BV Chl-a	< 10 µg/l < 1 mm³/l < 4 µg/l	< 10 µg/l	Hypolimnion: keine Sauerstoffzehrung > 70 % O2; über Grund: > 30 % O2 ausgenommen meromiktische Seen, keine Ammonifikation
Schwach mesotroph	P_{tot} PHP-BV Chl-a	10 - 15 µg/l 1 - 1,5 mm³/l 4 - 8 µg/l	10 – 20 µg/l	Hypolimnion: leichte Sauerstoffzehrung 30 - 70 % O2; über Grund: > 10 % O2 ausgen. meromiktische Seen, beginnende Nitratreduktion & Ammoniumanreicherung
Mesotroph	P_{tot} PHP-BV Chl-a	15 - 30 µg/l 1,5 – 3,0 mm³/l 8 - 15 µg/l /l	20 – 40 µg/l	Hypolimnion: Sauerstoffzehrung 30 - 10 % O2; über Grund: > 0 % O2, weitgehende Nitratreduktion und Ammoniumanreicherung
Schwach eutroph	P_{tot} PHP-BV Chl-a	30 - 40 µg/l > 3 mm³/l 15 - 35 µg/l /l	40 – 60 µg/l	Hypolimnion: Sauerstoffzehrung 10 - 0 % O2; über Grund: > 0 % O2, beginnende Schwefelwasserstoffbildung, Nitrat reduziert, Ammoniumanreicherung
Eutroph	P_{tot} PHP-BV Chl-a	>40 µg/l > 3 mm³/l > 35 µg/l	>60 µg/l	Hypolimnion: 0 % O2; über Grund: > 0 % O2, Schwefelwasserstofanreicherung, Nitrat reduziert, Ammoniumanreicherung

Darüber hinaus liefern Sauerstoffsättigung über Grund, Schwefelwasserstoffbildung und Ammoniumanreicherung im Tiefenwasser wichtige Anhaltspunkte zur Nährstoffbelastung. Die Konzentrationen von Nitrat- und Ammonium-Stickstoff geben weitere Hinweise zur Primärproduktion und zu den mikrobiologischen Abbauprozessen.

Die Trophie bzw. Nährstoffbelastung wird in fünf Kategorien (Tab. 3) anhand der erwähnten Parameter ausgedrückt. Die Tab. 4: Verbale Erläuterung der fünf Trophieklassen.Tab. 4 liefert eine verbale Beschreibung der Begriffe: oligotroph, schwach mesotroph, mesotroph, schwach eutroph und eutroph.

Tab. 4: Verbale Erläuterung der fünf Trophieklassen.

Trophie	Beschreibung
Oligotroph	sehr gute Wasserqualität, klares Wasser, sehr nährstoffarm, sehr wenig Algen
Schwach mesotroph	gute Wasserqualität, klares Wasser, nährstoffarm, wenig Algen
Mesotroph	mäßige Wasserqualität, mehr Nährstoffe, mehr Algen, leicht getrübtes Wasser
Schwach eutroph	genügende Wasserqualität, nährstoffreich, viel Algen, trübes Wasser
Eutroph	unbefriedigende Wasserqualität, sehr nährstoffreich, sehr viel Algen, sehr trübes Wasser

5 Ergebnisse

5.1 Phytoplankton

Dank der Aufzeichnungen von Ingo Findenegg und Hans Sampl liegen vom Wörthersee historische Phytoplanktondaten vor. Ab 1970 sind regelmäßig vom Kärntner Institut für Seenforschung (AKL) Algenproben entnommen worden.

5.1.1 Phytoplankton Arteninventar

Von Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1934 bis heute wurden für den Wörthersee 415 Algenarten bestimmt. Die zahlenmäßig umfangreichste Gruppe wird im Wörthersee von den Grünalgen mit den dazu zählenden Ulvophyceae gebildet (Tab. 5), sie erzielen zusammen 132 Arten (Ulvophyceae 2 Arten).

Tab. 5: Anzahl von Arten die im Zeitraum von 1934 bis 2022 im Wörthersee determiniert wurden.

Phytoplanktongruppe	Taxazahl
Chlorophyceae – Grünalgen	130
Bacillariophyceae - Kieselalgen	80
Cyanophyceae - Blaualgen	66
Chrysophyceae - Goldalgen	43
Conjugatophyceae - Schmuckalgen	26
Dinophyceae - Panzeralgen	18
Cryptophyceae – Schlundalgen	14
Euglenophyceae – Augentierchen	10
Rhaphidiophyceae	3
Ulvophyceae - Grünalgen	2
Xanthophyceae - Gelbgrünalge	1
Choanoflagellata -Kragengeißeltierchen	1
Unbestimmbare Formen	20
Summe:	415

Mit insgesamt 80 Arten stehen die Kieselalgen an zweiter Stelle; 31 Arten zählen zu den zentrischen und 49 zu den pennaten, stäbchenförmigen Kieselalgen. Die Blaualgen stehen mit 66 Arten an dritter Stelle, wobei die kugelförmigen, coccalen Formen auf 40 Arten kommen und 26 zu den fädigen, filamentösen Arten zählen. Goldalgen sind mit 43, die Schmuckalgen mit 26, Panzeralgen mit 18 Arten und Schlundalgen mit 14 Arten im Wörthersee vertreten.

Die Anzahl der in den Wasserproben erfassten Algen variiert in den frühen Beobachtungsjahren von (1934 – 1961) von 11 bis 49 Arten. Mit dem Einsetzen der routinemäßigen Bestandserhebungen wurden von 1970 bis 2006 zwischen minimal 25 und maximal 102 doppelt so viele Arten determiniert. Von 2007 bis 2022 waren es zwischen 75 und 232 Arten. Im Jahr 2011 und 2012 wurden mit 232 bzw. 150 die meisten Arten bestimmt (Abb. 1). Diese hohen Zahlen sind darauf zurückzuführen, dass im Rahmen eines EU-Projektes (SILMAS) vom Wörthersee monatlich Proben gezogen wurden, wodurch auch Arten bestimmt werden konnten, die aufgrund ihrer saisonalen Entwicklung während der routinemäßigen Untersuchungen nicht oder nur selten in den Wasserproben vorkamen.

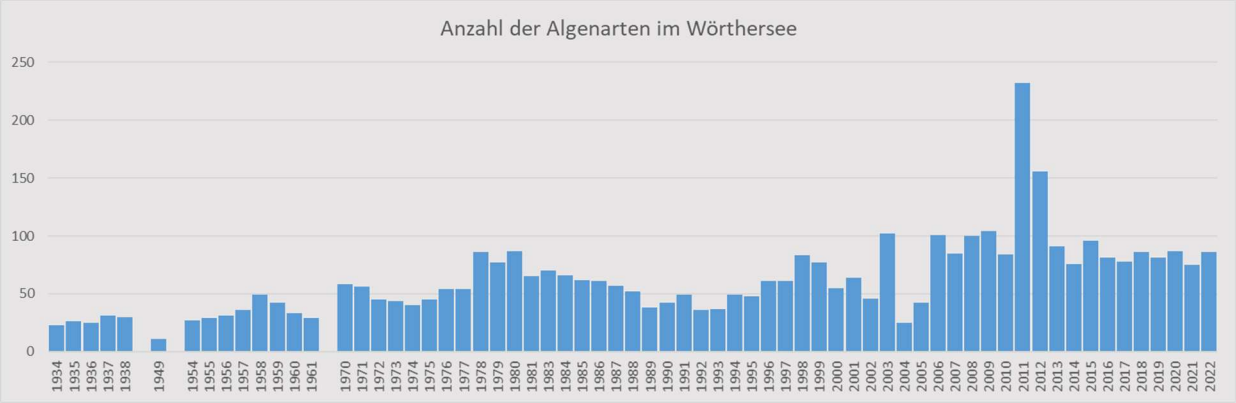

Abb. 1: Entwicklung der Anzahl der Algenarten im Wörthersee ab 1934.

Insgesamt wurden von 2007 bis 2022 im Epilimnion des Wörthersees 258 Algenarten determiniert. Die Grünalgen (Chlorophyceae) sind mit 69 Arten die artenreichste Gruppe, machen aber nur rund drei Prozent des Biovolumens aus.

Tab. 6: Artenzahl und Gesamt-Biovolumsanteil der Algengruppen im Epilimnion - 0-6m und im Wasserkörper 0-30m im Zeitraum von 2007 bis 2021.

Phytoplanktongruppe	Artenzahl 0-6m	Biovolumen 0-6m %	Artenzahl 0-30m	Biovolumen 0-30m %
Chlorophyceae - Grünalgen	69	3,075	98	1,148
Bacillariophyceae - Kieselalgen	49	12,552	69	5,656
Cyanophyceae - Blaualgen	45	71,623	58	85,079
Chrysophyceae - Goldalgen	38	1,719	41	0,971
Conjugatophyceae - Schmuckalgen	17	0,421	20	0,234
Cryptophyceae - Schlundalgen	11	4,579	12	2,895
Dinophyceae - Panzeralgen	11	4,004	16	3,005
Euglenophyceae - Augentierchen	7	0,041	8	0,018
Unbestimmbare Formen	6	1,391	8	0,719
Ulvophyceae - Grüngalge	2	0,420	2	0,182
Xanthophyceae - Gelbgrünalgen	1	0,172	1	0,091
Choanoflagellata - Kragengeißeltierchen	1	0,003	1	0,001
Bicosoecaceae	1	0,001	1	0,0001
Summe	*258*	*100,00*	*321*	*100*

Die Kieselalgen (Bacillariophyceae) kommen mit 49 Arten vor und bilden eine Biomasse von rund 13 Prozent. Die Blaualgen (Cyanophyceae) zählen im Epilimnion 45 Arten, ihr Anteil an der Biomasse, der vor allem von *Planktothrix rubescens* gebildet wird, beträgt 72 Prozent. Mit ca. vier Prozent Biovolumsanteil und elf Arten sind die Schlund- (Crpytophyceae) und Panzeralgen (Dinophyceae) vertreten (Tab. 6).

Betrachtet man das Arteninventar über das Epilimnion hinaus bis in dreißig Meter Tiefe, erhöht sich ab 2007 die Anzahl der Arten von 258 (Epilimnion: 0 – 6 m) um 63 auf 321 (Tab. 6). Wieder nehmen die Blaualgen mit 58 Arten rund 85 Prozent der Algenbiomasse ein.

Auffallend ist, dass die Grünalgen (Chlorophyceae) als artenreichste Gruppe (100 Arten) die Biomasse nicht dominieren und nur etwas mehr als ein Prozent erzielen. In puncto Biomasse hat im Wörthersee die Blaualge (Cyanophyceae) *Planktothrix rubescens* die Vorherrschaft.

Um die Artenzusammensetzung im Hinblick auf die Eu- und Reoligotrophierungsphase des Sees darzustellen, wurden die prozentuellen Anteile der Algengruppen an der Gesamtbiomasse für die Zeiträume von 1934 bis 1938, von 1954 bis 1961, von 1970 bis 1989, von 1990 bis 2004, von 2005 bis 2013 und von 2014 bis 2022 verglichen. Dazu wurden für die Wasserkörper Epilimnion (0 – 6 m), Metalimnion (7 – 12 m), Hypolimnion I (13 – 20 m) und Hypolimnion II (21 – 30 m) Mittelwerte der Algenbiomasse erstellt.

Aus der geringen Algenbiomasse der 1930er Jahre geht hervor, dass die Nährstoffbelastung des Wörthersees relativ gering war. Mit dem Tourismusboom der 1950er Jahre ging eine gewaltige Nährstoffzufuhr einher, die trotz Fernhalten der Abwässer, 1968 ging die Kläranlage Klagenfurt in Betrieb, weit in die 1980er Jahre reichte. Besonders aufgrund der langen theoretischen Wassererneuerungszeit, die im Zuge des EU-Projektes SILMAS (Sustainable Instruments for Lakes Management in the Alpine Space) von 10,5 auf 16 Jahre zu korrigieren ist, schreitet die Reoligotrophierung nur langsam voran.

In den 1930er Jahren haben besonders die zentrischen Kieselalgen (Bacillariophyceae) zusammen mit den fädigen Blaualgen (Cyanophyceae) das Epilimnion nahezu zu gleichen Teilen besiedelt (Abb. 2).

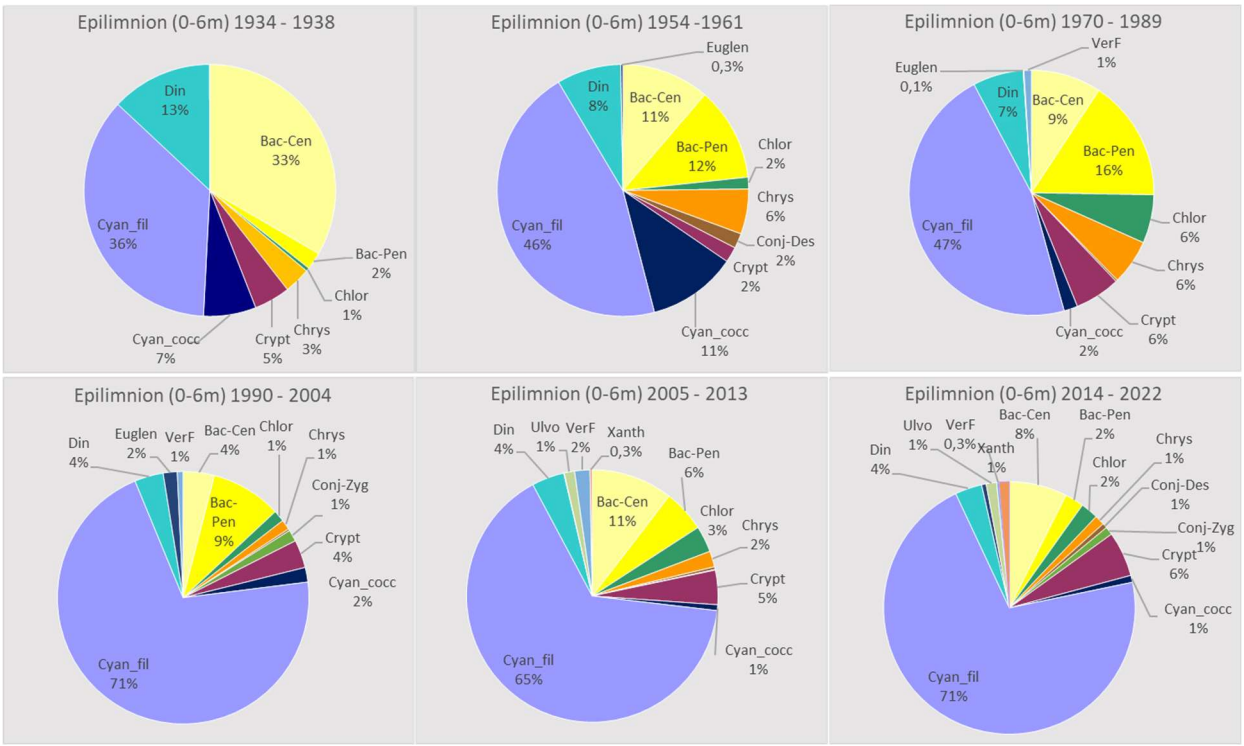

Abb. 2: Prozentueller Biomasseanteil der Algengruppen im Epilimnion (0-6m) des Wörthersees für die Zeiträume: 1934-1938, 1954-1961, 1970-1989, 1990-2004, 2005-2013, 2014-2021 (Bac-Cen & Bac-Pen – Bacillariophyceae, Chlor – Chlorophyceae, Chrys – Chrysophyceae, Conj-Des & Conj-Zyg – Conjugatophyceae, Crypt – Cryptophyceae, Cyan_cocc & Cyan_fil – Cyanophyceae, Din – Dinophyceae, Euglen – Euglenophyceae, Ulvo – Ulvophyceae, VerF – unbestimmbare Formen).

Bereits in den 1950er Jahren war eine leichte Zunahme bei den fädigen als auch bei den kugelförmigen Blaualgen und ein gleichzeitiger Rückgang bei den Kieselalgen zu bemerken. Unter den Kieselalgen traten verstärkt die stäbchenförmigen Arten auf. Die Blaualgen erlangten im Zeitraum von 1990 – 2004 den Höhepunkt in der epilimnischen Präsenz. Nur langsam breiten sich wieder andere Algengruppen im Epilimnion aus.

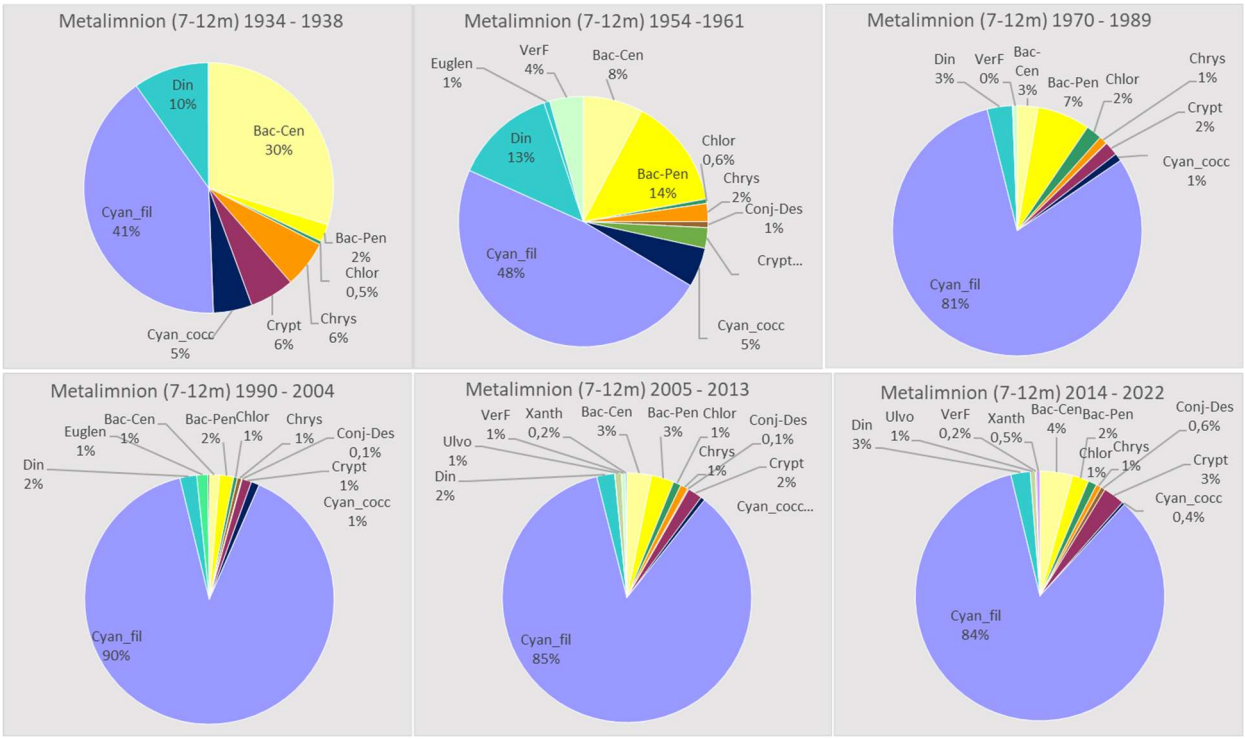

Abb. 3: Prozentueller Biomasseanteil der Algengruppen im Metalimnion (7-12m) des Wörthersees für die Zeiträume: 1934-1938, 1954-1961, 1970-1989, 1990-2004, 2005-2013, 2014-2021 (Bac-Cen & Bac-Pen – Bacillariophyceae, Chlor – Chlorophyceae, Chrys – Chrysophyceae, Conj-Des – Conjugatophyceae, Crypt – Cryptophyceae, Cyan_cocc & Cyan_fil – Cyanophyceae, Din – Dinophyceae, Euglen – Euglenophyceae, Ulvo – Ulvophyceae, VerF – unbestimmbare Formen, Xanth – Xanthophyceae).

Im Metalimnion des Wörthersees war die prozentuelle Verteilung der Algengruppen in den 1930er Jahren dem des Epilimnions sehr ähnlich (Abb. 3). Auch hier nahmen die Vertreter der Blaualgen und der zentrischen Kieselalgen den Großteil der Biomasse ein. Die Blaualgen erzielten mit den fädigen Formen einen Anteil von 41 Prozent und mit den kugelförmigen Arten fünf Prozent. Bereits in den 1950er Jahren wuchs der Anteil (63 %) der fädigen Blaualgen im Metalimnion deutlich an. Ab 1970 nahmen sie im Metalimnion 80 Prozent und mehr der Biomasse ein. Bis jetzt ist noch kein deutlicher Rückgang in der Dominanz der Blaualgen zu erkennen.

Hypolimnion 1 und Hypolimnion 2 (Abb. 4) war auch schon in den 1930er Jahren von den Blaualgen dominiert. Die zentrischen Kieselalgen spielten in beiden Tiefenbereichen im Vergleich zu Epi- und Metalimnion eine deutlich geringere Rolle. In den 1950er Jahren erzielten die fädigen Blaualgen 90 Prozent und mehr der Biomasse. Von 1970 bis 1989, am Höhepunkt der Eutrophierungswirkung nahm der Anteil der stäbchenförmigen Kieselalgen zu Ungunsten der fädigen Blaualgen in der Tiefe von 13 bis 30 Meter deutlich zu. Nach 1990 dominierten wieder die fädigen Blaualgen im Hypolimnion, wobei im Hypolimnion 2 der Biomasseanteil etwas geringer war als im Hypolimnion 1.

Der Nährstoffeintrag, ausgelöst durch den Tourismusboom der 1950er, wirkte bis weit in die 1980er Jahre hinein und löste die Eutrophierung des Sees aus. Als Zeichen der Eutrophierung kamen die fädige Blaualge *Planktothrix rubescens* und die stäbchenförmigen Kieselalgen in allen Tiefenbereichen massenhaft vor, wobei die Kieselalge *Asterionella formosa* im Epi- und Metalimnion und im Hypolimnion vermehrt *Tabellaria fenestrata* auftraten.

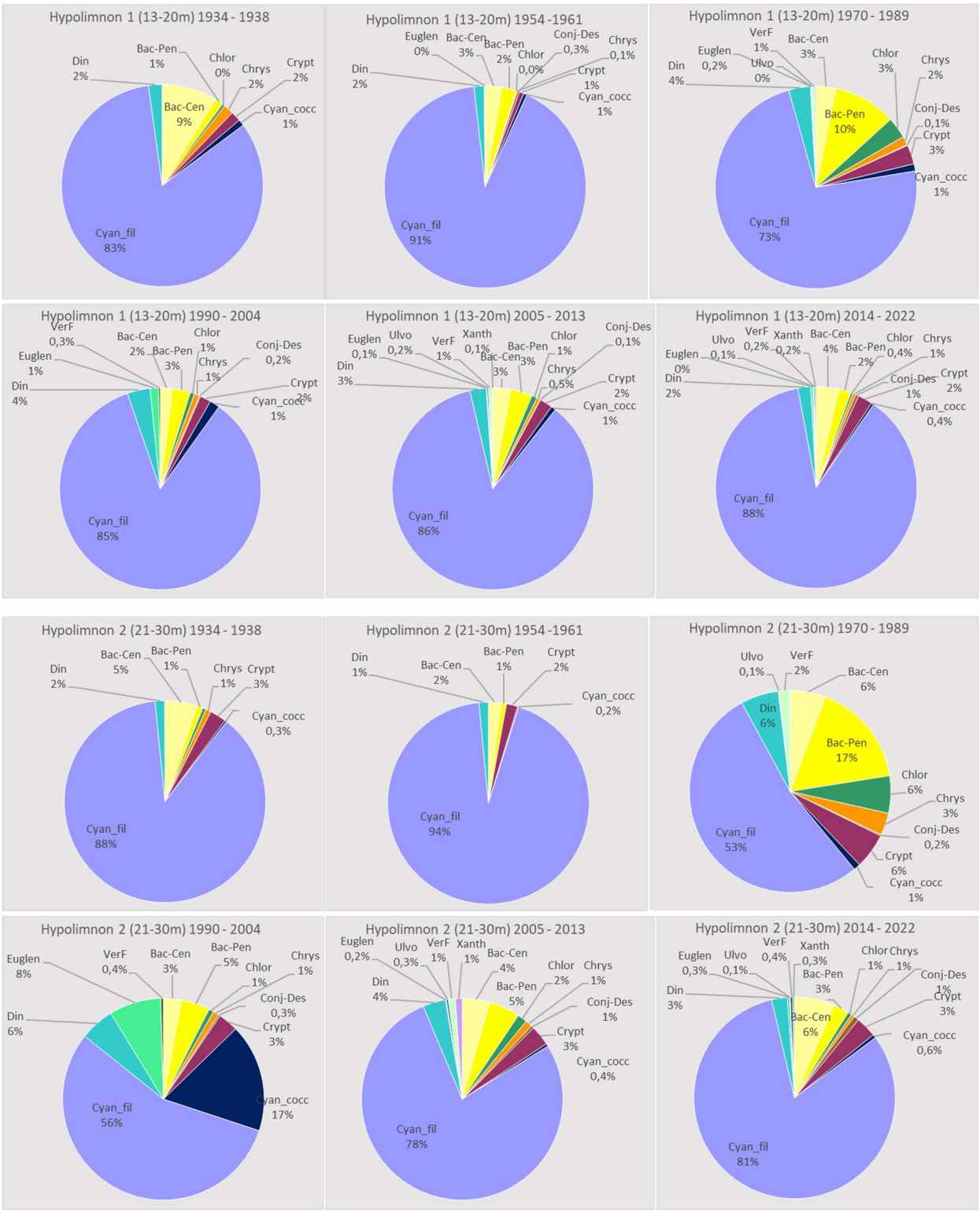

Abb. 4: Prozentueller Biomasseanteil der Algengruppen im Hypolimnion I (13-20m, oben) und Hypolimnion II (21-30m, unten) des Wörthersees für die Zeiträume: 1934-1938, 1954-1961, 1970-1989, 1990-2004, 2005-2013, 2014-2021 (Bac-Cen & Bac-Pen – Bacillariophyceae, Chlor – Chlorophyceae, Chrys – Chrysophyceae, Conj-Des – Conjugatophyceae, Crypt – Cryptophyceae, Cyan_cocc & Cyan_fil – Cyanophyceae, Din – Dinophyceae, Euglen – Euglenophyceae, Ulvo – Ulvophyceae, VerF – unbestimmbare Formen, Xanth – Xanthophyceae).

5.1.2 Phytoplankton-Biovolumen

Im Zeitraum von 1934 bis 1938 belief sich das mittlere epilimnische Algenbiovolumen zwischen geringen 0,225 mm³/l und 0,431 mm³/l und entsprach oligotrophen Verhältnissen. Ebenso im oligotrophen Bereich lagen die Werte von 1954 bis 1961 (0,228 mm³/l - 0,918 mm³/l). In den Jahren 1959 und 1960 streuten die Werte bei oligotrophen Bedingungen erstmal in einem größeren Bereich von minimal 0,0847 mm³/l bis maximal 2,659 mm³/l.

Die Zunahme des Tourismus insbesondere der Nächtigungen rund um den See verbunden mit dem Eintrag der ungeklärten Abwässer inklusive der phosphathaltigen Waschmittel trugen zum Anstieg der Algenbiomasse im Oberflächenwasser (Epilimnion 0 - 6 m) des Wörthersees bei. Obwohl bereits 1968 die Kläranlage Klagenfurt in Betrieb ging, nahmen die Algenmenge im Epilimnion noch bis Anfang 2000 weiter zu. Der Anschluss der häuslichen Abwässer an das Kanalnetz im engeren Einzugsgebiet des Sees erfolgte schrittweise bis in die 1990er Jahre (Wörthersee / Carinthia, 2011), die Fertigstellung der Kanalisation, die das gesamte Wassereinzugsgebiet des Sees erfasst war für 2009 vorgesehen.

Im Epilimnion geht das Wirksamwerden der Sanierungsmaßnahmen (Abwasserfernhaltung) aufgrund der meromiktischen Verhältnisse des Sees, der langen theoretischen Wassererneuerungszeit sowie der beständigen Nachlieferung von Nährstoffen aus dem Tiefenwasser nur sehr langsam von statten.

1971 war der Wörthersee mit einem Biovolumen von 0,983 mm³/l gerade noch oligotroph. Eine Verschlechterung der Trophie war trotz der rasch gesetzten Maßnahmen aufgrund der angereicherten Nährstoffe im Tiefenwasser noch lange zu beobachten. Im Zeitraum von 1971 bis 2005 streuten die mittleren epilimnischen Phytoplanktonwerte zwischen 1,058 mm³/l und 3,053 mm³/l im schwach mesotrophen bis mesotrophen Nährstoffbereich. Die Minimal und Maximalwerte lagen zwischen 0,176 mm³/l und 6,941 mm³/l.

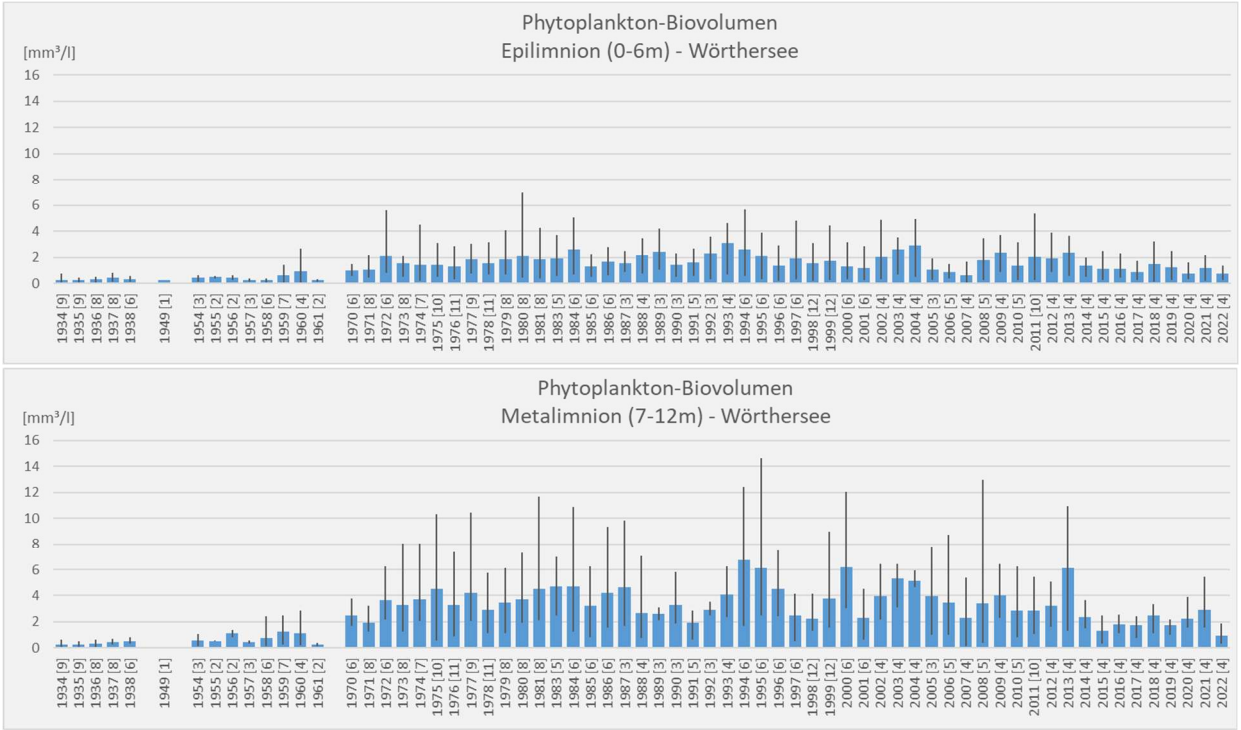

Abb. 5:Phytoplankton-Biovolumen des Wörthersees von 1934 bis 2021; Jahresmittel von 0-6m und 7-12m.

Erstmals war ein deutlicher Rückgang der epilimnischen mittleren Algenmenge auf oligotrophe Verhältnisse von 2005 bis 2007 zu beobachten (Abb. 5, oben), die Werte streuten in einem engen Bereich zwischen 0,080 mm³/l und 1,893 mm³/l. Anschließend bis 2013 traten wieder größere Algenmengen auf, die wiederum auf schwach mesotrophe bis mesotrophe Verhältnisse hinweisen. Minimal- und Maximalwerte schwankten zwischen 0,254 mm³/l und 5,339 mm³/l. In diesem Zeitraum waren in der kalten Jahreszeit

auch tiefer gehende Zirkulationen aufgetreten. Zirkulationen werden im Herbst und Frühjahr am Wörthersee üblicherweise bis in rund 50 Meter Tiefe beobachtet. Von 50 Meter bis zum Grund stagniert das Wasser. Der stagnierende Wasserkörper ist sauerstofffrei und sehr nährstoffreich. Mit den in unregelmäßigen Abständen aufgetretenen Zirkulationen (auch Vollzirkulationen), die in das Monimolimnion eindrangen, kam nährstoffreiches Tiefenwasser nach oben. Bereits Zirkulationen, die nur wenig tiefer als 50 Meter reichen, vermögen das Oberflächenwasser zu düngen und das Phytoplanktonwachstum zu fördern.

Seit 2014 gehen die Jahresmittelwerte in Richtung Oligotrophie mit geringer werdender Schwankungsbreite.

Viel deutlicher als im Epilimnion ist im Metalimnion, der Wasserschicht zwischen sieben und zwölf Meter, die Zunahme des Phytoplanktons zu erkennen (Abb. 5 unten). In den Zeiträumen von 1937 bis 1938 und von 1954 bis 1961 lagen auch hier relativ geringe Algenbiomassen (zwischen 0,247 mm³/l und 0,495 mm³/l bzw. 0,260 mm³/l und 1,248 mm³/l) vor. Von 1970 bis 2013 waren im Metalimnion die Jahresmittelwerte (1,931 mm³/l – 6,719 mm³/l) doppelt so hoch wie im Epilimnion. Die jährlichen Maximalwerte bewegten sich zwischen 2,851 mm³/l und 14,625 mm³/l.

Die beiden hypolimnischen Wasserschichten 13 bis 20 Meter (Hypolimnion I) und 21 bis 30 Meter (Hypolimnion II) waren im gesamten Betrachtungszeitraum unterschiedlich dicht besiedelt. Das Hypolimnion I (Abb. 6, oben) spiegelte die Verhältnisse des Metalimnions aber mit etwas geringeren Jahresmittelwerten wider, während im Hypolimnion II deutlich geringe Konzentrationen vorlagen.

Im Zeitraum von 1937 bis 1938 waren im Hypolimnion I und II aufgrund der geringen Besiedelung der oberen Wasserschichten und damit der besseren Lichtverhältnisse höhere Algenkonzentrationen als im Epi-und Metalimnion zu verzeichnen. Die Jahresmittelwerte bewegten sich zwischen 0,193 mm³/l und 0,886 mm³/l bzw. 0,142 mm³/l und 0,946 mm³/l. Auch war die beginnende Eutrophierung Anfang der 1950er Jahre in den beiden hypolimnischen Wasserschichten deutlicher zu erkennen als in den oberen Schichten. Im Hypolimnion I betrug 1958 das Jahresmittel 3,222 mm³/l, wobei die Werte zwischen minimal 0,036 mm³/l und maximal 14,348 mm³/l streuten. Im Hypolimnion II (Abb. 6 unten) wurde bereits 1957 mit 4,340 mm³/l ein hohes Jahresmittel beobachtet, die Werte lagen zwischen minimal 0,036 mm³/l und maximal 12,002 mm³/l.

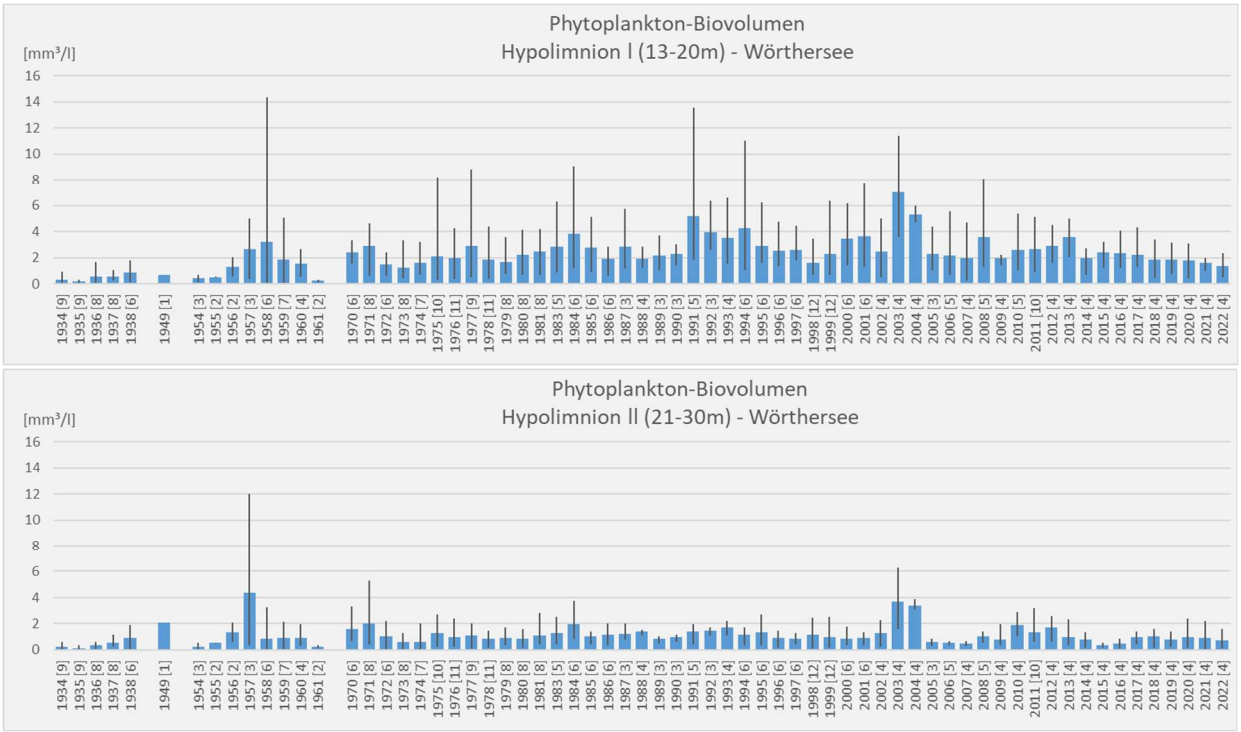

Abb. 6: Phytoplankton-Biovolumen des Wörthersees von 1934 bis 2021; Jahresmittel von 13-20 und 21-30m.

Von 1970 bis 2013 waren im Hypolimnion I die Jahresmittelwerte (1,270 mm³/l – 7,020 mm³/l) ähnlich denen des Metalimnions, während im Hypolimnion II geringere Werte (0,0459 mm³/l und 3,675 mm³/l) beobachtet wurden. Seit 2013 ist auch in den tieferen Wasserschichten ein Rückgang der Algenbiomasse zu beobachten.

5.1.2.1 Phytoplankton-Biovolumen - Beckenvergleich

Ab September 2019 wurden neben dem Veldener Becken, das die tiefste Stelle des Sees aufweist, auch über den tiefsten Stellen im Maria Wörther- und Klagenfurter Becken Algenproben entnommen und ausgewertet. Zusätzlich stehen Phytoplanktondaten vom Klagenfurter Becken aus dem Jahr 1995 zur Verfügung. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse zeigt, dass es in den drei Becken in allen Tiefenbereichen eine sehr ähnlich verlaufende Algenentwicklung gab.

In Abb. 7 sind die Ergebnisse aller Termine im Epi- und Metalimnion ab 2019 und 1995 dargestellt. Diese beiden Tiefenbereiche sind durch jahreszeitlich stark schwankende Algenbiomassen gekennzeichnet. Das Epilimnion ist in den Sommermonaten sehr algenarm. Die Algen ziehen sich ins Metalimnion zurück und bilden hier sehr hohe Konzentrationen, wie beispielsweise 10,069 mm³/l am 21 Juni im Klagenfurter Becken oder 14,625 mm³/l am 6. September 1995. In der kalten Jahreszeit sind die Algen entsprechend der Temperaturgleiche und der Zirkulation nahezu gleich von null bis dreißig Meter Tiefe verteilt.

Hypolimnion I (13 m – 20 m) weist ähnliche Verhältnisse wie das Metalimnion aber mit geringeren Biomassewerten auf, Hypolimnion II (Abb. 8 unten) gleicht im saisonalen Verlauf nahezu dem des Epilimnions. Geringe Konzentrationen im Sommer auf Grund der Lichthemmung, die durch die Einschichtung der Algenbiomasse im Metalimnion gegeben ist, und höhere Werte im Winter aufgrund der Verfrachtung mit der Zirkulation infolge der Homothermie.

Dass sich die relativ hohen Algenbiomassen der tieferen Wasserschichten während der warmen Jahreszeit nicht im Epilimnion widerspiegeln, liegt an der Blaualge (Cyanophyceae) *Planktothrix rubescens*. Als kälteliebende und Licht meidende Art bevorzugt sie im Sommer das Meta- und Hypolimnion I.

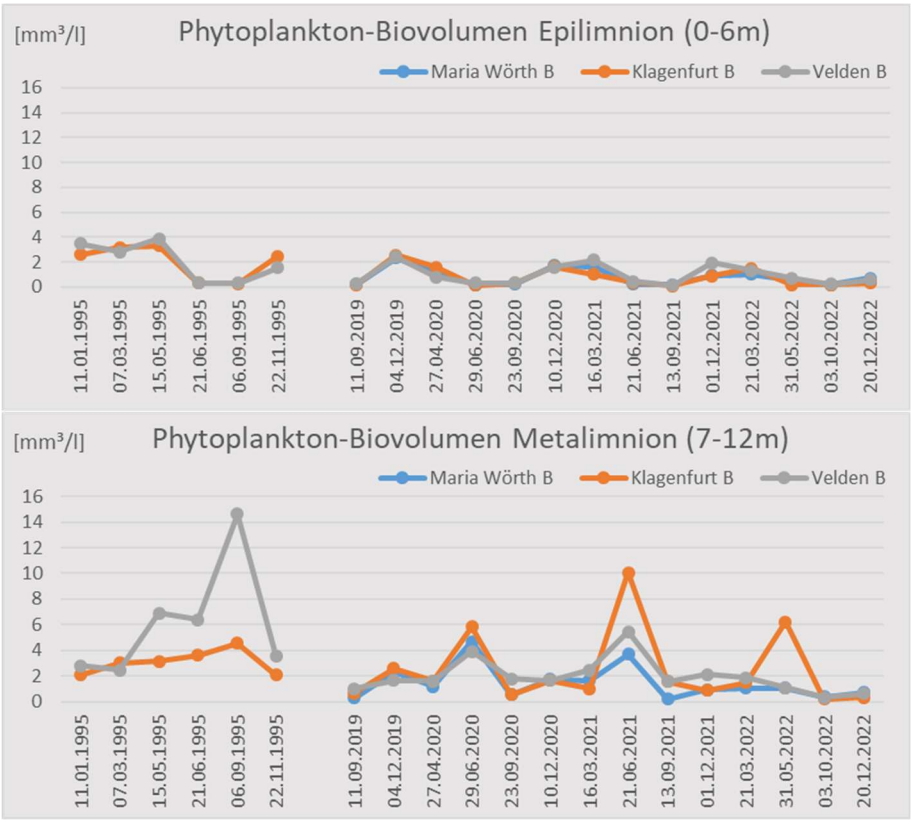

Abb. 7: Phytoplankton-Biovolumen im Maria Wörther- (von Sept. 2019 bis Dez. 2022), Klagenfurter- und Vel-dener Becken (1995 und von Sept. 2019 bis Dez. 2022) im Epilimnion (0-6m) und Metalimnion (7-12m).

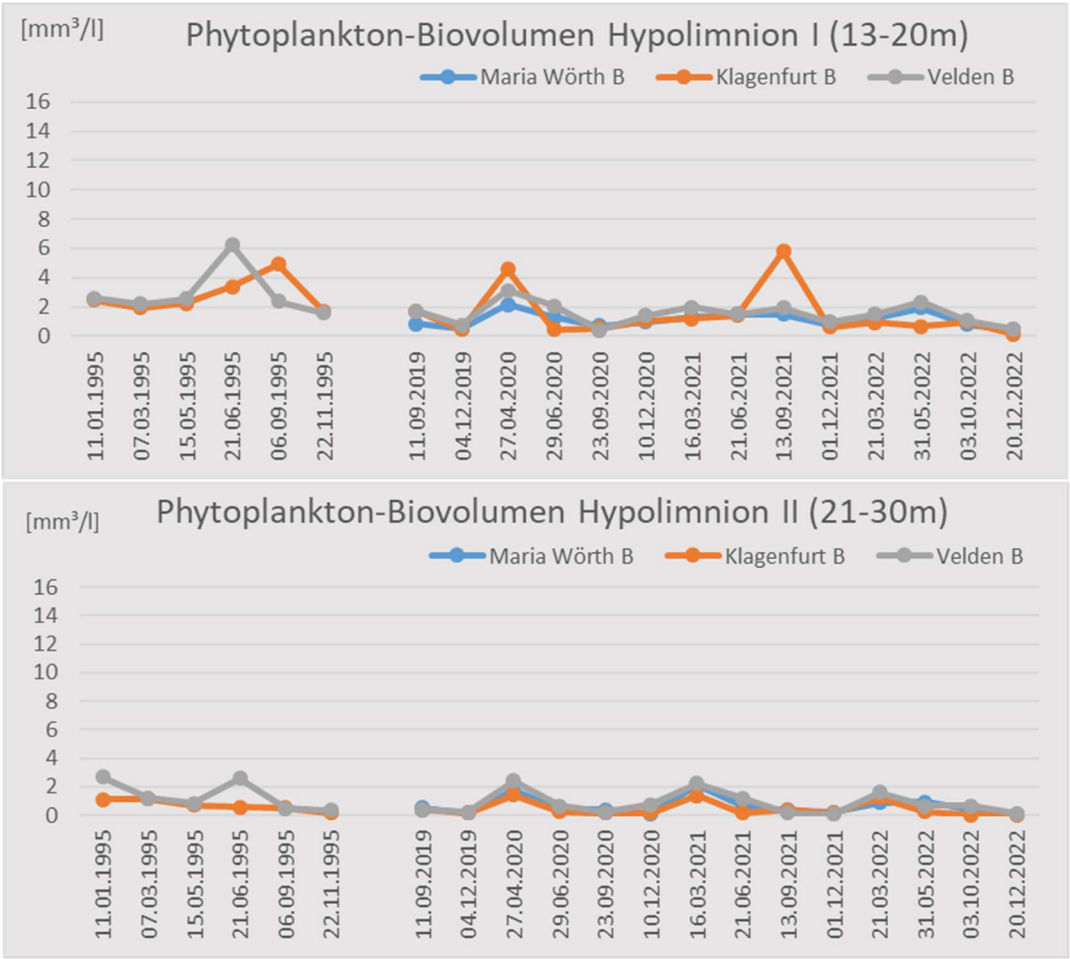

Abb. 8: Phytoplankton-Biovolumen im Maria Wörther- (von Sept. 2019 bis Dez. 2022), Klagenfurter- und Veldener Becken (1995 und von Sept. 2019 bis Dez. 2022) im Hypolimnion I (13-20m) und Hypolimnion II (21-30m).

5.1.3 Planktothrix rubescens

Seit Jahrzehnten bzw. seit der Eutrophierungsphase in den 1950er und 1960er Jahren und insbesondere seit der Reoligotrophierungsphase wird der Wörthersee von der Blaualge *Planktothrix rubescens* dominiert. Wie es ihre Art ist, vermag sich diese fädige Blaualge (Cyanophyceae) bei ausreichendem Nährstoffangebot und wenig Licht erfolgreich gegenüber anderen Arten durchzusetzen.

Im Winter nimmt sie in allen Tiefenschichten mehr als 80 Prozent des Algen-Biovolumens ein. In der warmen Jahreszeit zieht sie sich aus den erwärmten Oberflächenwasser zurück in tiefere Wasserschichten, wo sie einen Biovolumsanteil von 60 bis 90 Prozent ausmacht.

Aus den Aufzeichnungen von Ingo Findenegg geht hervor, dass *Planktothrix rubescens* bereits 1934 bis 1939 im See vorkam. Im Epilimnion wurde sie ausschließlich in der kalten Jahreszeit in geringen Dichten bis maximal 0,780 mm³/l beobachtet, wobei die Jahresmittelwerte zwischen 0,128 mm³/l und 0,281 mm³/l betrugen (Abb. 9). In den tieferen Wasserschichten war sie auch damals während der warmen Jahreszeit verstärkt aber in deutlich geringeren Mengen anzutreffen. Ihr durchschnittliches Biovolumen im Meta- und Hypolimnion (Tiefe zwischen sieben und 30 Meter) lag zwischen 0,158 mm³/l und 1,041 mm³/l. Mit 4,080 mm³/l bildete sie am 2. September 1939 in 20 Meter Tiefe einen Höchstwert.

Planktothrix rubescens war der Nutznießer der Eutrophierungsphase (1956 – 1961) und erzielte im Dezember 1959 im Epilimnion mit einem Biovolumen von 2,060 mm³/l einen Höhepunkt. Im selben Jahr kam sie im Juni in 15 Meter Tiefe mit 5,003 mm³/l vor.

Regelmäßig kommt sie in den Wintermonaten bis April mit hohen Dichten im Epilimnion vor, wohingegen sie in den Sommermonaten das Epilimnion nur dünn besiedelt. Meta- und Hypolimnion I weisen das ganze Jahr hohe Bestandsdichten auf (Abb. 9).

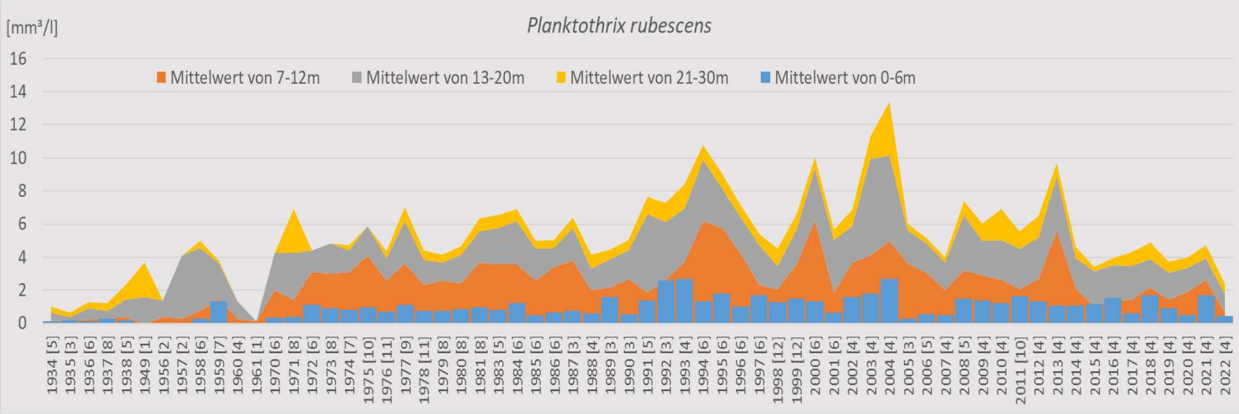

Abb. 9: Biovolumen [mm³/l] von Planktothrix rubescens im Epilimnion (0-6m), Metalimnion (7-12m), Hypolimnion I (13-20m) und Hypolimnion II (21-30m) im Wörthersee von 1934 bis 2022.

Die Bestandsdichte von *Planktothrix rubescens* nahm im Epilimnion von 1970 bis 2004 kontinuierlich zu (Abb. 10). Die Jahresmittelwerte lagen bis 1988 zumeist unter 1 mm³/l, Ausnahmen gab es 1972 (1,126 mm³/l), 1977 (1,153 mm³/l) und 1984 (1,234 mm³/l). Von 1989 bis 2004 waren Werte über 2 mm³/l keine Seltenheit. Mit 2,694 mm³/l wurde 2004 der bisher höchste epilimnische Mittelwert erzielt (minimal: 0,242 mm³/l, maximal: 4,839 mm³/l). Von 2005 bis 2022 ist ein Rückgang der epilimnischen Jahresmittelwerte zu beobachten (0,288 mm³/l – 1,685 mm³/l).

Im Metalimnion (7-12m) und Hypolimnion I (13-20m) erzielte *Planktothrix rubescens* im betrachteten Zeitraum deutlich höhere Konzentrationen (Abb. 10; mittlere Grafiken) als im Epilimnion. In beiden Tiefenschichten war ein Ansteigen des Biovolumens bis 2004 und eine Abnahme bis 2022 zu verzeichnen. Bis 2004 erzielte *P. rubescens* im Metalimnion Maximalwerte zwischen 2,553 mm³/l und 14,347 mm³/l. Anschließend gingen die Jahresmittel bis 2022 mit Ausnahme des Jahres 2008 (12,817 mm³/l) auf Werte zwischen 1,584 mm³/l und 9,874 mm³/l zurück.

Im Hypolimnion II (21-30m) wurden in allen Jahren deutlich geringere Jahresmittelwerte bestimmt (0,262 mm³/l – 3,237 mm³/l). Aber auch hier war eine Zunahme bis 2004 und danach ein Rückgang der Population von *P. rubescens* zu erkennen.

Ab 2014 kann für alle Tiefenschichten ein Rückgang beim Biovolumen von *P. rubescens* beobachtet werden. Die Jahresmittelwerte lagen im Zeitraum von 2014 bis 2022 im Epilimnion zwischen geringen 0,521 mm³/l und 1,658 mm³/l, im Metalimnion zwischen 1,039 mm³/l und 2,616 mm³/l, im Hypolimnion I zwischen 1,346 mm³/l und 2,122 mm³/l und im Hypolimnion II zwischen geringen 0,262 mm³/l und 0,966 mm³/l.

Die gewichteten Gesamt-Phosphor-Konzentrationen der jeweiligen Wasserschichten sind zudem in den Grafiken der Abb. 10 angeführt.

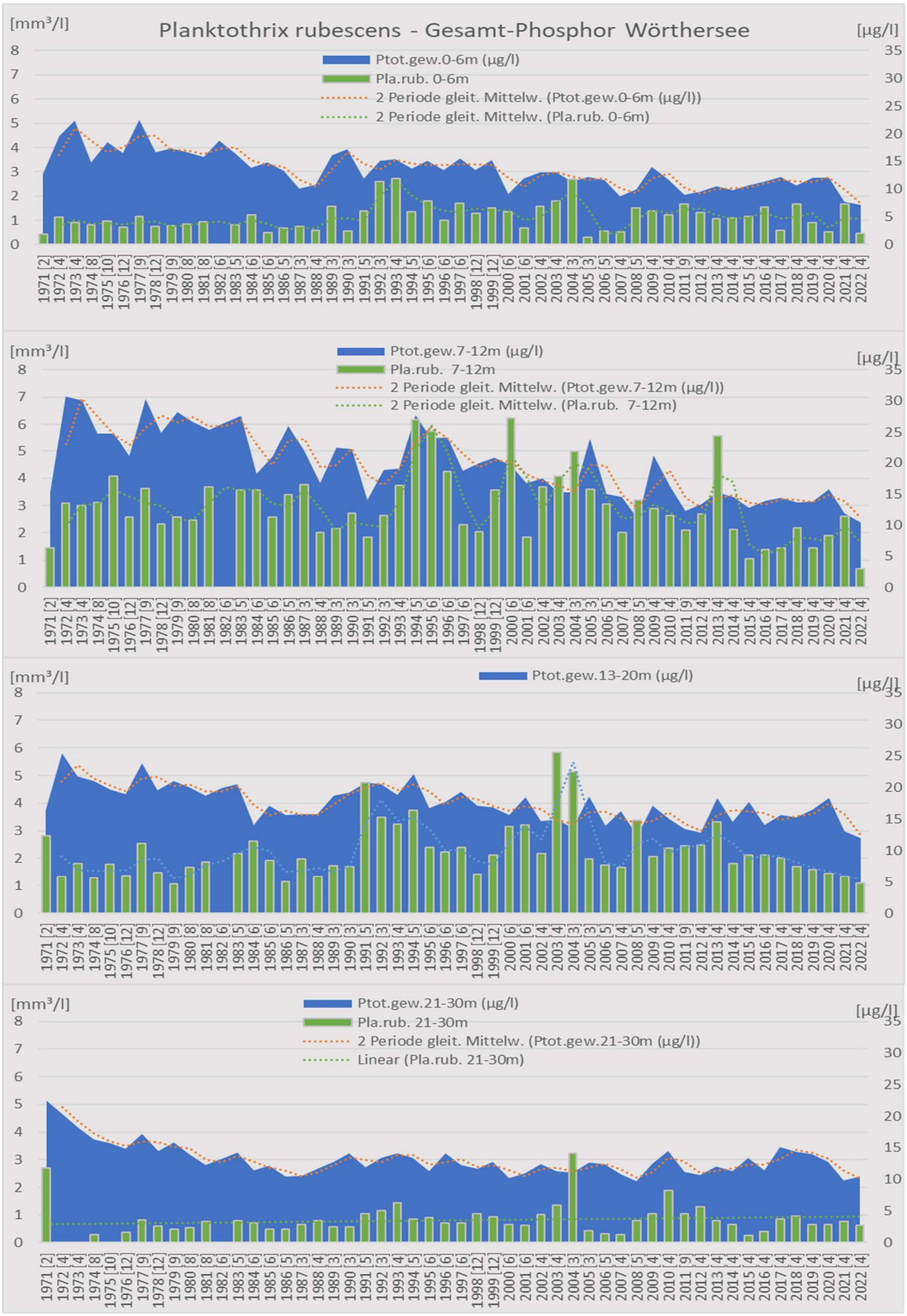

Abb. 10: *Planktothrix rubescens* (mm³/l) und gewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentration im Wörthersee von 1970 bis 2022 im Epilimnion (0-6m), Metalimnion (7-12m), Hypolimnion I (13-20m) und Hypolimnion II (21-30m).

5.1.3.1 *Planktothrix rubescens – Beckenvergleich*

Die Blaualge *Planktothrix rubescens* ist wie im tiefen Veldener Becken auch im Klagenfurter- und im Maria Wörtherbecken die Biomasse bestimmende Art. Im Vergleich der Becken zueinander zeigt sie in allen Tiefenbereichen einen ähnlichen saisonalen Entwicklungsverlauf (Abb. 11).

Sie ist in den Sommermonaten nur in äußerst geringen Konzentrationen oder gar nicht im Epilimnion vertreten, während sie in der kalten Jahreszeit über alle drei Becken relativ gleich verteilt vorkommt (Abb. 11 oben links). Im Metalimnion (unten links) produziert sie besonders im Klagenfurter Becken im Sommer 2021 und 2022 mit 9,693 mm³/l und 6,064 mm³/l mehr als die doppelte Biomasse der anderen beiden Becken. 1995 war sie im Veldener Becken im September mit 14,347 mm³/l maximal vorhanden. In Hypolimnion I (Abb. 11 oben rechts) ist der Peak vom Juni 2021 in der Klagenfurter Bucht im September noch mit einer hohen Biomasse von 5,633 mm³/l zu erkennen. Das Hypolimnion II wiederum lässt kaum Unterschiede im Jahresverlauf und Populationsdichte der drei Becken erkennen (unten rechts).

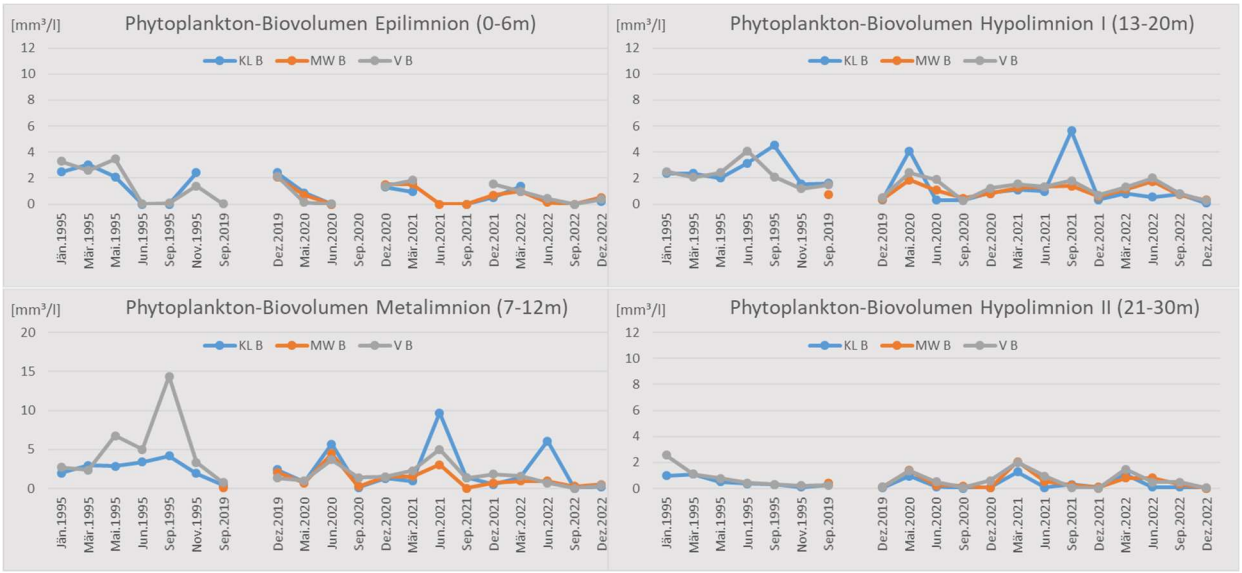

Abb. 11: *Planktothrix rubescens*-Biovolumen im Klagenfurter- (KL B: 1995, 2019-2022) Maria Wörther- (MW B: 2019-2022), und Veldener Becken (V B: 1995, 2019-2022) im Epilimnion (0-6m), Metalimnion (7-12m), Hypolimnion I (13-20m) und Hypolimnion II (21-30m).

5.2 Ökologischer Zustand - Wörthersee

Der ökologische Zustand Phytoplankton des Wörthersees wird anhand der vorliegenden Zeitreihe ab dem Inkrafttreten der EU-WRRL im Jahr 2007 bis 2022 dargestellt. Die Berechnung erfolgt anhand der Analyseergebnisse aus der tiefsten Stelle des Sees im Veldener Becken.

Die entsprechend des Leitfadens zur Erhebung des biologischen Qualitätselementes Teil B2 Phytoplankton ((WOLFRAM, DONABAUM & DOKULIL Version B2-01i_PHP) bestimmten normierten EQR-Werte bescheinigen dem Wörthersee mit Ausnahme des Jahres 2011 einen „guten“ Zustand. Die Werte erstrecken sich zwischen minimal 0,6 („mäßig“) und maximal 0,77. Mit einem EQR-Wert von 0,61 lagen die Jahre 2009, 2014 und 2019 sehr nah an der Grenze zu mäßig (Abb. 12).

Die 3-Jahresmittel jedoch befinden sich durchgehend im „guten“ Zustand (Abb. 13). Lediglich das 3-Jahresmittel von 2009 bis 2011 liegt mit einem EQR von 0,62 nahe an der Grenze zu „mäßig“.

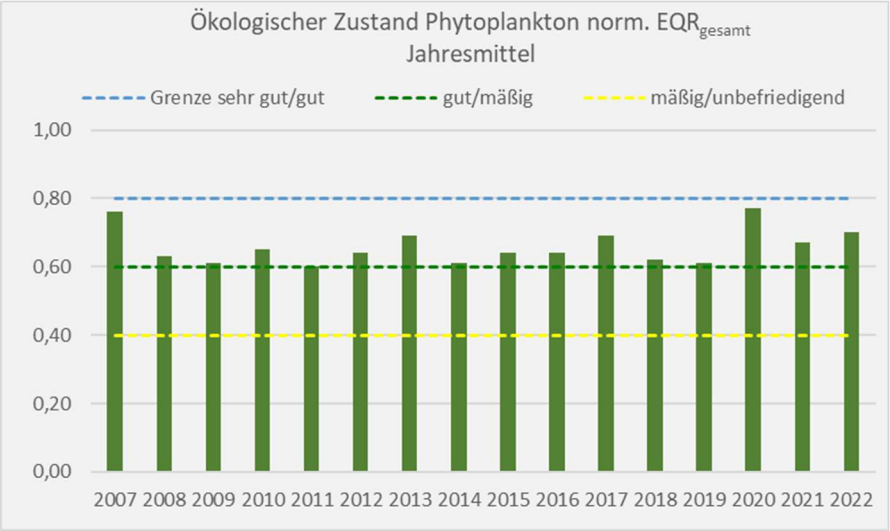

Abb. 12: Ökologischer Zustand Phytoplankton vom Wörthersee; Jahresmittel der normierten EQR Gesamtwerte von 2007 bis 2022.

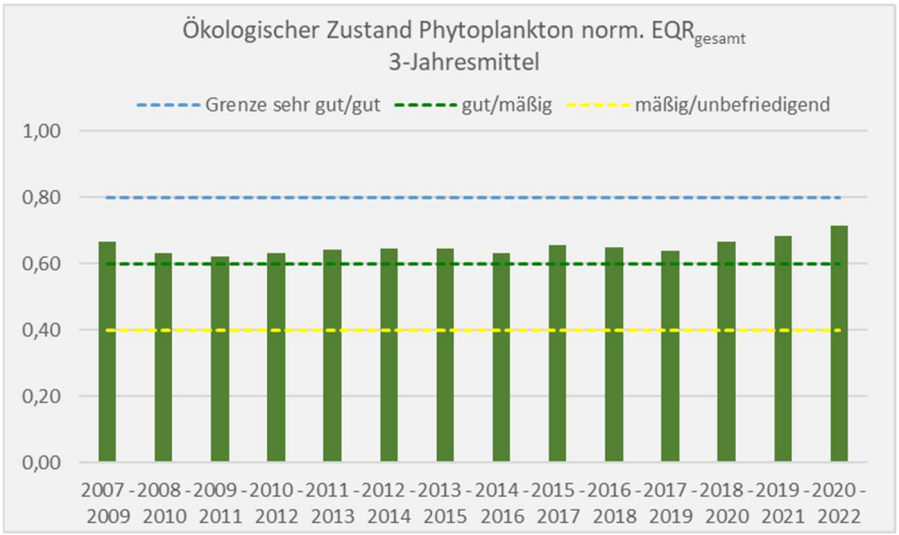

Abb. 13: Ökologischer Zustand Phytoplankton vom Wörthersee; 3-Jahresmittel der normierten EQR Gesamtwerte von 2007 bis 2022.

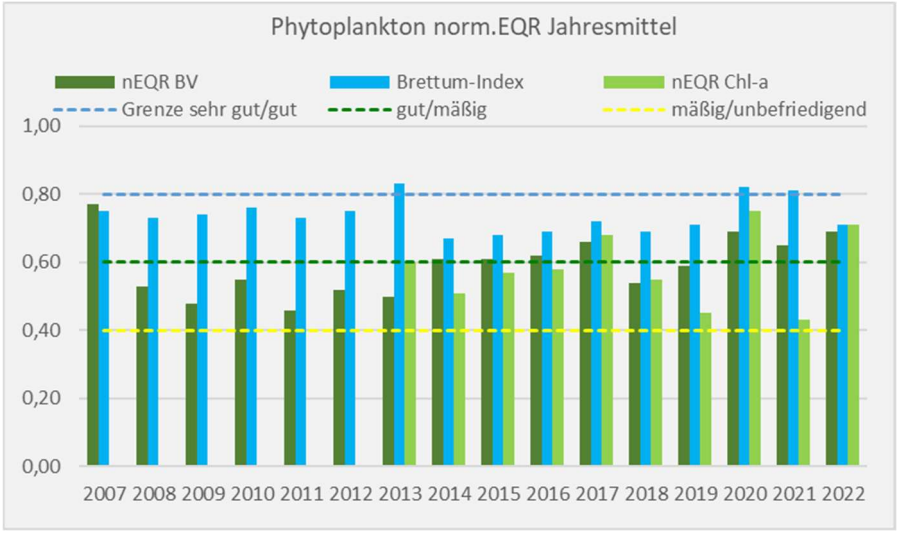

Abb. 14: Normierte EQR-Werte der Kenngrößen Chlorophyll-a (Chl-a), Phytoplankton-Biovolumen (BV) und Brettum Index (BI) des Wörthersees von 2007 bis 2022.

Die zur Berechnung des Gesamt-EQRs herangezogenen Kenngrößen: Biovolumen, Brettum-Index und ab 2013 Chlorophyll-a liegen nur selten in derselben Zustandsklasse. Häufig erstrecken sie sich von „mäßig“ bis „gut“ oder „sehr gut“ (Abb. 14). Während der Brettum-Index stabil ein „Gut“ oder wie in den Jahren 2013, 2020 und 2021 ein „Sehr gut“ ergibt, liegen die normierten EQRs von Chlorophyll-a und Biovolumen zwischen „gut“ und „mäßig“ (Tab. 7).

Tab. 7: Übersicht zur Bewertung des ökologischen Zustands Phytoplankton: Jahresmittel und nEQR von Chlorophyll-a, Biovolumen, Brettum-Index und Gesamtbewertung sowie 3-Jahresmittel.

Jahr	**Chl-a** (JMW)		**BV** (JMW)		**BI** (MW)		**Gesamt** (gew. MW)		3-Jahresmittel		
	[µgL^{-1}]	nEQR	[mm^{3}L^{-1}]	nEQR	Index	nEQR	nEQR			nEQR	
2007			0,56	0,77	4,02	0,75	0,76	gut			
2008			1,67	0,53	3,97	0,73	0,63	gut			
2009			2,14	0,48	3,99	0,74	0,61	gut	2007 - 2009	0,67	gut
2010			1,56	0,55	4,04	0,76	0,65	gut	2008 - 2010	0,63	gut
2011			2,29	0,46	3,97	0,73	0,60	mäßig	2009 - 2011	0,62	gut
2012			1,72	0,52	4,01	0,75	0,64	gut	2010 - 2012	0,63	gut
2013	4,75	0,60	1,71	0,50	4,34	0,83	0,69	gut	2011 - 2013	0,64	gut
2014	6,00	0,51	1,15	0,61	3,64	0,67	0,61	gut	2012 - 2014	0,65	gut
2015	5,13	0,57	1,09	0,61	3,70	0,68	0,64	gut	2013 - 2015	0,65	gut
2016	5,00	0,58	1,08	0,62	3,72	0,69	0,64	gut	2014 - 2016	0,63	gut
2017	3,67	0,68	0,86	0,66	3,86	0,72	0,69	gut	2015 - 2017	0,66	gut
2018	5,38	0,55	1,46	0,54	3,72	0,69	0,62	gut	2016 - 2018	0,65	gut
2019	7,23	0,45	1,25	0,59	3,80	0,71	0,61	gut	2017 - 2019	0,64	gut
2020	3,08	0,75	0,75	0,69	4,31	0,82	0,77	gut	2018 - 2020	0,67	gut
2021	7,63	0,43	0,91	0,65	4,23	0,81	0,67	gut	2019 - 2021	0,68	gut
2022	3,38	0,71	0,72	0,69	3,80	0,71	0,70	gut	2020 - 2022	0,71	gut

Grundsätzlich übernimmt der Brettum-Index (BI) bei der Bewertung eine entscheidende Rolle. Er errechnet sich aus dem Jahresmittel des Algenbiovolumens und der Abundanz jener Taxa, die in der Liste „Taxon-spezifische Trophie-Scores“ angeführt sind. Daraus ergibt sich für den Brettum Index durchschnittlich ein Anteil von 85 Prozent (Minimum 74 % und Maximum 92 %) am Phytoplankton-Biovolumen (Abb. 15). Der entsprechende Anteil an der Gesamt-Taxazahl beläuft sich durchschnittlich auf 38 Prozent (Minimum 29 % und Maximum 48 %). Somit machen im Wörthersee weniger als die Hälfte der determinierten Arten mehr als 80 Prozent des Gesamt-Biovolumens aus.

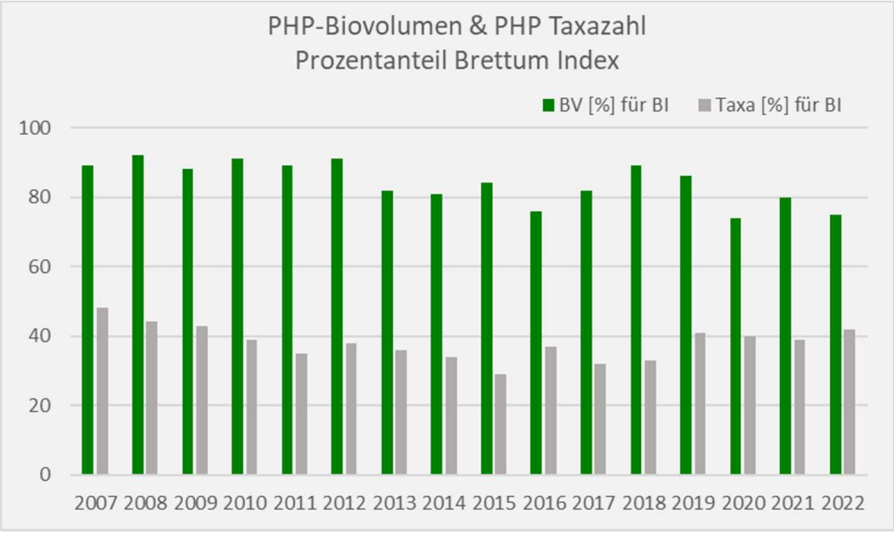

Abb. 15: Brettum-Index: Prozentanteil Phytoplankton Biovolumen und – Taxazahl von 2007 bis 2022.

Ausschlaggebend für den hohen Biovolumsanteil ist die Cyanophyceae *Planktothrix rubescens*, besser bekannt als Burgunderblutalge. Sie entwickelt im Epilimnion vor allem in der kalten Jahreszeit einen Biomasseanteil von oft mehr als 90 Prozent. In der Liste „taxonspezifischer Trophie Score“ weist sie eine Vorliebe für Gesamt-Phosphor-Konzentrationen zwischen 8 und 30 µg/l auf. Im Sommer kommt sie im Epilimnion so gut wie gar nicht vor. Im Zeitraum von 2007 bis 2021 erreicht sie einen durchschnittlichen Anteil von 72 Prozent am jährlichen Phytoplankton-Biovolumen (Minium: 47 %, Maximum: 87 %).

5.2.1 Ökologischer Zustand Beckenvergleich

Berechnet man anhand der erhobenen Daten für alle drei Becken den ökologischen Zustand Phytoplankton ergibt sich im 3-Jahresmittel (2020 bis 2022) für alle Becken ein „Gut“. Für das Maria Wörther- und das Klagenfurter Becken beträgt der normierte EQR jeweils 0,67 und 0,71 für das Veldener Becken (Tab. 8).

Während die normierten EQR-Werte für das Biovolumen in allen Becken ein „Gut“ ergibt, wechseln die Werte für das Chlorophyll-a zwischen „gut“ und „mäßig“. Beim Brettum Index weist das tiefe Veldener Becken für die Jahre 2020 und 2021 sogar ein „Sehr gut“ auf.

Tab. 8: Bewertung ökologischer Zustand - Phytoplankton: Jahresmittel und nEQR von Chlorophyll-a, Biovolumen, Brettum-Index, Gesamtbewertung sowie 3-Jahresmittel.

Wörtherseebecken		MW Chl-a		MW BV		MW BI		Gesamt gew. MW	
	Jahr	[µg/l]	nEQR	[mm³/l]	nEQR	Index	nEQR	nEQR	
Veldener B	2020	3,08	0,75	0,75	0,69	4,31	0,82	0,77	Gut
Veldener B	2021	7,63	0,43	0,91	0,65	4,23	0,81	0,67	Gut
Veldener B	2022	3,38	0,71	0,72	0,69	3,8	0,71	0,7	Gut
							3-Jahresmittel 2020 - 2022	**0,71**	**Gut**
Maria Wörther B	2020	5,48	0,54	0,82	0,67	3,7	0,68	0,64	Gut
Maria Wörther B	2021	6,15	0,5	0,75	0,69	3,68	0,68	0,64	Gut
Maria Wörther B	2022	3,2	0,73	0,62	0,73	3,7	0,68	0,71	Gut
							3-Jahresmittel 2020 - 2022	**0,67**	**Gut**
Klagenfurter B	2020	5,28	0,56	0,92	0,64	3,67	0,68	0,64	Gut
Klagenfurter B	2021	5,5	0,54	0,59	0,75	3,67	0,68	0,66	Gut
Klagenfurter B	2022	3,1	0,74	0,55	0,77	3,71	0,69	0,72	Gut
							3-Jahresmittel 2020 - 2022	**0,68**	**Gut**

5.3 Trophie

Die Trophie-Einstufung wird nachstehend ausschließlich anhand des epilimnischen Phytoplanktons im Wörthersee für den Zeitraum von 1970 bis 2022 beschrieben. Daher können die angegebenen Einstufungen aufgrund der nicht berücksichtigten Phosphor-Konzentrationen im Vergleich mit den in den „Kärntner Seenberichten“ veröffentlichten Bewertungen abweichen. In die graphische Darstellung mit einbezogen sind die Fertigstellung der Kanalanschlüsse im engeren Seeeinzugsgebiet (1990) und im gesamten Wassereinzugsgebiet des Sees (2009).

Aufgrund der Datenlage aus 66 Jahren wies das epilimnische Phytoplankton 29-mal auf die mesotrophe, 17-mal auf die schwach-mesotrophe und 20-mal auf die nährstoffarme, oligotrophe Nährstoffklasse hin. Das Datenmaterial der frühen Jahre liefert sehr wertvolle Hinweise, muss aber aufgrund der Methoden bezüglich Probenahme und Auswertung im Vergleich zu den späteren Aufzeichnungen vorsichtig betrachtet werden. Möglicherweise sind die Biomassen bis 1970 unterrepräsentiert. Jedenfalls ist seit 2014 wieder eine deutlich geringere Algenbiomasse im Epilimnion des Wörthersees zu verzeichnen (Abb. 16).

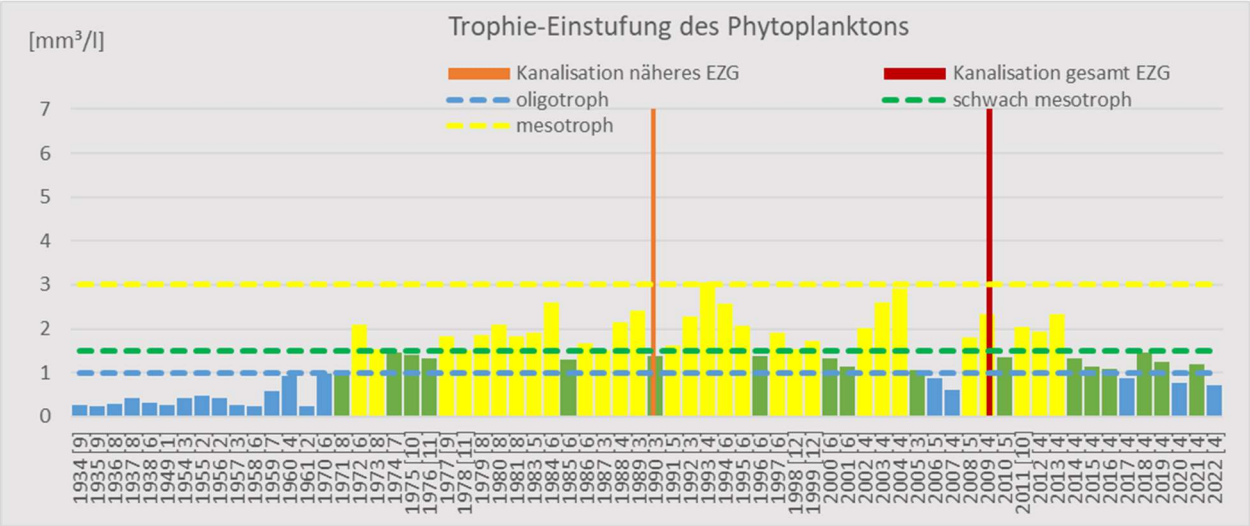

Abb. 16: Trophie-Einstufung des epilimnischen Wasserkörpers anhand der Phytoplanktonbiomasse von 1934 bis 2022.

5.3.1 Trophie – Beckenvergleich

Die Trophie bewertet für alle drei Becken ergäbe nur an auf Basis des Phytoplanktons im Epilimnion für alle drei Becken in den Jahren 2020 bis 2022 den oligotrophen Zustand. Mit Ausnahme des Veldener Beckens, das 2021 schwach-mesotroph war.

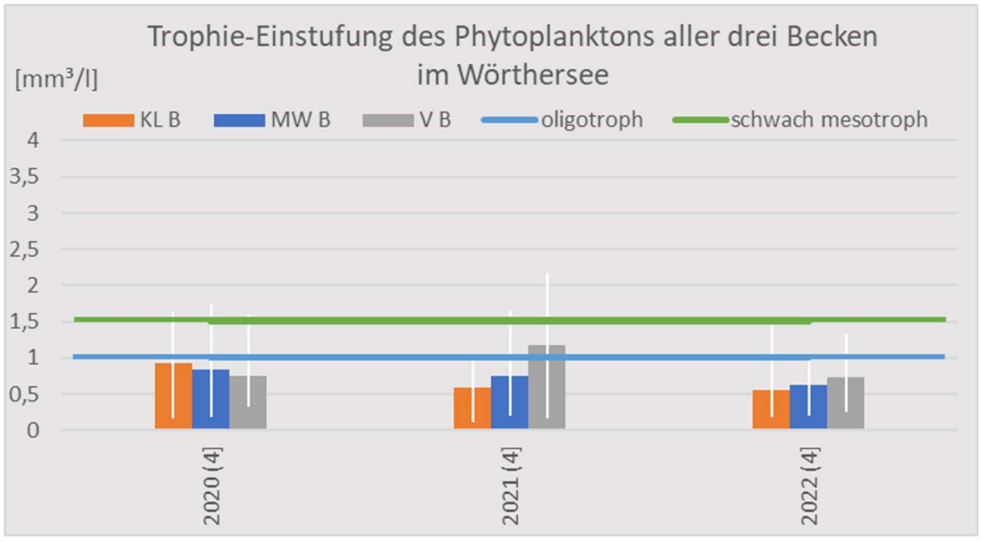

Abb. 17: Trophie-Einstufung des epilimnischen Wasserkörpers anhand der Phytoplanktonbiomasse von 2020 bis 2022 für das Klagenfurter Becken (KL B), Maria Wörther Becken (MW B) und Veldener Becken (V B).

6 Anhang

6.1 Literatur

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. European Commission PE-CONS 3639/1/100 Rev 1, Luxemburg.

Gzüv: Verordnung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes vn Gewässerng; Gewässerzustandsüberwachungsverordnung samt Anhängen; BGBl. II Nr. 479/2006 i.d.g.F.

QZV: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des ökologischen Zustandes für Oberflächengewässer (Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG) StF: BGBl. II Nr. 99/2010.

HARUM T., LEIS A. & CH. RESZLER (2012): Hydrological water balance modelling, isotope investigations of lake circulation and residence time, meromixis and climate change. In Alpine Space Project: SILMAS – Sustainalbe Instrument for Lakes Management in the Alpine Space): 141-192.

ON M 6231 (2001): Richtlinie für die ökologische Untersuchung und Bewertung von stehenden Gewässern. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 58pp.

WOLFRAM G., DONABAUM K. & M. T. DOKULIL (2015): Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente – Teil B2 – Phytoplankton. Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft. Wien 73pp.

6.2 Liste Bestimmungsliteratur

BOURRELLY P. (1966): Les Algues d'eau douce. Initiation à la Systématique. Tome I: Les Algues Vertes. 511 pp., 117 pls. Éditions N. Boubée & Cie, Paris.

BOURRELLY P. (1968): Les Algues d'eau douce. Initiation à la Systematique. Tome II: Les Algues jaunes et brunes. Chrysophycées, Pheophycées, Xanthophycées et Diatomées. 438 pp., 114 pls. Éditions N. Boubée & Cie, Paris.

BOURRELLY P. (1970): Les Algues d'eau douce. Initiation à la Systematique. Tome III: Les Algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines. 512 pp., 134 pls. Éditions N. Boubée & Cie, Paris.

COX E. J. (1996): Identification of Freshwater Diatoms from Live Material. 158 pp., 36 pls., Chapman & Hall, London.

DEISINGER G. (1984): Leitfaden zur Bestimmung der planktischen Algen der Kärntner Seen und ihrer Biomasse, Kärntner Institut für Seenforschung, Unveröffentlichte Informationsschrift, 64 pp.

DEISINGER G. (1990): Systematik der planktischen Algen der Kärntner Seen – Ein Arbeitsbehelf zu deren Bestimmung, Kärntner Institut für Seenforschung, Unveröffentlichte Informationsschrift, 38 PP.

DOKULIL M. T., TEUBNER, K. & G. GREISBERGER (2005): Typenspezifische Referenzbedingungen für die integrierende Bewertung des ökologischen Zustandes stehender Gewässer Österreichs gemäß der EU- Wasserrahmenrichtlinie. Modul 1: Die Bewertung der Phytoplanktonstruktur nach dem Brettum-Index. Projektstudie Phase 3, Abschlussbericht. Unpublizierter Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.

ETTL H. & G. GÄRTNER (1988): Chlorophyta II. Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales. In: ETTL H., GERLOFF J., HEYNIG H. & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 10, 436 pp., 311 fig., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart – New York.

ETTL H. (1978): Xanthophyceae. 1. Teil. In: ETTL H., GERLOFF J. & H. HEYNIG [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd.3 / Teil 1, 530 pp., 636 fig., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart – New York.

ETTL H. (1983): Chlorophyta I. Phytomonadina. In: ETTL H., GERLOFF J., H. HEYNIG & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 9, 807 pp., 1120 fig., VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.

FÖRSTER K. (1982): Conjugatophyceae. Zygnematales und Desmidiales (excl. Zygnemataceae). In: HUBER-PESTALOZZI G. †. Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 8. Teil / 1. Hälfte. In: ELSTER H.-J. & W. OHLE [EDS.] (Begründet v. A. THIENEMANN): Die Binnengewässer – Band XVI, Teil 8 / 1, 542 pp., 785 fig., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (Nägele & Obermiller), Stuttgart.

FOTT B. (1972): Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Tetrasporales. In: HUBER-PESTALOZZI G. †. Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 6. Teil. In: ELSTER H.-J. & W. OHLE [EDS.] (Begründet v. A. THIENEMANN): Die Binnengewässer – Band XVI, Teil 6, 342 pp., 395 fig., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (Nägele & Obermiller), Stuttgart.

HÅKANSSON H. (2002): A Compilation and Evaluation of Species in the General *Stephanodiscus*, *Cyclostephanus* and *Cyclotella* with a New Genus in the Family Stephanodiscaceae. Diatom Research 17: 1-139.

HINDÁK F., KOMÁREK, J., MARVAN P. & J. RŮŽIČKA (1973): Kl'úč na určovanie. Výtrusných rastlín. I. diel. Riasy. 396 pp., Slovenské pedagogické nakladatel'stvo, Bratislava.

HINDÁK F. (2005): Zelené kokálne riasy. Chlorococcales, Chlorophyceae. (CD-ROM) Slov. vodohospodárska spoločnost ZSVTS pri VÚVH, SAS Bratislava.

HOUK V., KLEE R. & H. TANAKA. (2010): Fottea 10 (Supplement): 1 - 498. Atlas of freschwater centric diatoms with a brief key and descriptions Part III. Stephanodiscaceae A 495 pp.

HUBER-PESTALOZZI G. (1938): Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 1. Teil. Allgemeiner Teil. Blaualgen. Bakterien. Pilze. In: THIENEMANN A. (Ed.): Die Binnengewässer – Band XVI, Teil 1, 342 pp., 395 fig., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (E. Nägele), Stuttgart.

HUBER-PESTALOZZI G. (1941): Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 2. Teil / 1. Hälfte. Chrysophyceen. Farblose Flagellaten. Heterokonten. In: THIENEMANN A. (Ed.): Die Binnengewässer – Band XVI, Teil 2 / 1,1-365, 443 fig., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (E. Nägele), Stuttgart.

HUBER-PESTALOZZI G. (1942): Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 2. Teil / 2. Hälfte. Diatomeen. Unter Mitwirkng. v. F. HUSTEDT. 2. unveränd. Nachdruck. In: THIENEMANN A. (Ed.): Die Binnengewässer – Band XVI, Teil 2 / 2, 367-548, 202 fig., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (E. Nägele), Stuttgart.

HUBER-PESTALOZZI G. (1950): Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 3. Teil. Cryptophyceen, Chloromonadinen, Peridineen. In: THIENEMANN A. (Ed.): Die Binnengewässer – Band XVI, Teil 3, 342 pp., 395 fig., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (E. Nägele), Stuttgart.

HUBER-PESTALOZZI G. (1955): Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 4. Teil. Euglenophyceen. In: THIENEMANN A. (Ed.): Die Binnengewässer – Band XVI, Teil 4, 606 pp., 1265 fig., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (Nägele & Obermiller), Stuttgart.

HUBER-PESTALOZZI G. (1961): Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 5. Teil. Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Volvocales. Unveränd. Nachdruck 1974. In: THIENEMANN A. † (Ed.): Die Binnengewässer – Band XVI, Teil 5, 744 pp., 4478 fig., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (Nägele & Obermiller), Stuttgart.

JOHN D. M., WHITTON B. A. & A. J. BROOK [Eds.] (2005): The Freshwater Algal Flora of the British Isles. An Identification Giude to Freshwater and Terrestrial Algae. 702 pp., 154 pls., Cambridge University Press, U. K.

KADLUBOWSKA J. Z. (1984): Conjugatophyceae I. Chlorophyta VIII – Zygnemales. In: ETTL H., GERLOFF J., HEYNIG H. & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 16, 532 pp., 798 fig., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart – New York.

KOMARÁK J. & K. ANAGNOSTIDIS (1998): Cyanoprokaryota. 1. Teil: Chroococcales. In: ETTL H., GÄRTNER G., HEYNIG H. & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd.19 / Teil 1, 548 pp., 643 fig., Gustav Fischer, Jena - Stuttgart - Lübeck - Ulm.

KOMÁREK J & B. FOTT (1983): Chlorophyceae (Grünalgen). Ordnung: Chlorococcales. In: HUBER-PESTALOZZI G. Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. 7. Teil / 1. Hälfte. In: ELSTER H.-J. & W. OHLE [EDS.] (Begründet v. A. THIENEMANN): Die Binnengewässer – Band XVI, Teil 7 / 1, 1044 pp., 253 pls., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (Nägele & Obermiller), Stuttgart.

KOMÁREK J. & K. ANAGNOSTIDIS (2005): Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales. In: BÜDEL B, KRIENITZ L., GÄRTNER G. & M. SCHAGERL [Eds.] (founded by A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd.19 / Teil 1, 548 pp., 643 fig., Gustav Fischer, Jena - Stuttgart - Lübeck - Ulm.

KOMÁREK J. (1996): Klíč k určování vodních květů sinic v České Republice. 22-85. In: MARSALEK B., KERSNER V. & P. MARVAN (Eds.): VODNÍ KVĚTY SINIC. Nadatio flos-aquae, Brno.

KRAMMER K. & H. LANGE-BERTALOT (1991): Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Unter Mitarb. v. H. HÅKANSSON & M. NÖRPEL. In: ETTL H., GERLOFF J., HEYNIG H. & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd.2 / Teil 3, 576 pp., 2180 fig., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, Jena.

KRAMMER K. & H. LANGE-BERTALOT (1991): Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Erg. zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema, Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1 – 4. In: ETTL H., GÄRTNER G., GERLOFF J., HEYNIG H. & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd.2 / Teil 4, 436 pp., 2048 fig., Gustav Fischer Verlag, Jena, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

KRAMMER K. & H. LANGE-BERTALOT (1997): Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. Durchges. Nachdr. d. 1. Auflage. In: ETTL H., GERLOFF J., HEYNIG H. & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd.2 / Teil 1, 876 pp., 2976 fig., Gustav Fischer, Jena - Stuttgart - Lübeck - Ulm.

KRAMMER K. & H. LANGE-BERTALOT (1997): Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillarioceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Erg. Nachtr. der 1. Auflage. In: ETTL H., GERLOFF J., HEYNIG H. & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd.2 / Teil 2, 610 pp., 1914 fig., Gustav Fischer, Jena - Stuttgart - Lübeck - Ulm.

KUMANO S. (2002): Freshwater Red Algae of the World. 373 pp. Biopress Limited, Bristol, England.

LAZAR J. (1960): Alge Slovenije, Academia scientiarum et artium slovenica, Ljubljana, 279 pp.

LENZWEGER R. (1996): Desmidiaceenflora von Österreich. Teil 1. In: KIES L. & R. SCHNETTER (Eds.): BIBLIOTHECA PHYCOLOGICA Bd. 101, 162 pp., 17 pls. J. CRAMER in der Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin - Stuttgart.

LENZWEGER R. (1997): Desmidiaceenflora von Österreich. Teil 2. In: KIES L. & R. SCHNETTER (Eds.): BIBLIOTHECA PHYCOLOGICA Bd. 102, 216 pp., 27 pls. J. CRAMER in der Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin - Stuttgart.

LENZWEGER R. (1999): Desmidiaceenflora von Österreich. Teil 3. In: KIES L. & R. SCHNETTER (Eds.): BIBLIOTHECA PHYCOLOGICA Bd. 104, 218 pp., 22 pls. J. CRAMER in der Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin - Stuttgart.

MORALES E. A. (2003): Eighth NAWQA Taxonomy Workshop on Harmonization of Algal Taxonomy. Oct. 25-27, 2002, Rep.Nr. 03-12: 1-90. Phycology Section/Diatom Analysis Laboratory. Acad. Nat. Sci, Philadelphia.

MROZIŃSKA T. (1985): Chlorophyta VI. Oedogoniophyceae: Oedogoniales. In: ETTL H., GERLOFF J., HEYNIG H. & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 14, 624 pp., 1000 fig., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart – New York.

POPOVSKÝ J. & L. A. PFIESTER (1990): Dinophyceae (Dinoflagellida). In: ETTL H., GERLOFF J., HEYNIG H. & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 6, 272 pp., 256 fig., Gustav Fischer Verlag, Jena, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

RIETH A. (1980): Xanthophyceae. 1. Teil. In: ETTL H., GERLOFF J. & H. HEYNIG [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd.4 / Teil 2, 147 pp., 61 fig., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart – New York.

RŮŽIČKA J. (1977): Die Desmidiaceen Mitteleuropas. Bd. 1, 1. Liefng., 1-291, 44 pls., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (Nägele & Obermiller), Stuttgart.

RŮŽIČKA J. (1981): Die Desmidiaceen Mitteleuropas. Bd. 1, 2. Liefng., 293-736, 73 pls., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhdlg. (Nägele & Obermiller), Stuttgart.

STARMACH K. (1985). Chrysophyceae und Haptophyceae. In: ETTL H., GERLOFF J., HEYNIG H. & D. MOLLENHAUER [Hrsg.] (Begründet v. A. PASCHER): Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd.1, 515 pp., 1051 fig., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart – New York.

WEST W. & G. S. WEST (1904): A Monograph to the British Desmidiaceae. Vol. I, 224 pp.32 pls., Johnson Reprint Corporation (Repr. with perm. of the The Ray Soc., London, 1971), New York – London.

WEST W. & G. S. WEST (1905): A Monograph to the British Desmidiaceae. Vol. II, 204 pp., 54 pls., Johnson Reprint Corporation (Repr. with perm. of the The Ray Soc., London, 1971), New York – London.

WEST W. & G. S. WEST (1908): A Monograph to the British Desmidiaceae. Vol. III, 274 pp.95 pls., Johnson Reprint Corporation (Repr. with perm. of the The Ray Soc., London, 1971), New York – London.

WEST W. & G. S. WEST (1912): A Monograph to the British Desmidiaceae. Vol. IV, 191 pp., 128 pls., Johnson Reprint Corporation (Repr. with perm. of the The Ray Soc., London, 1971), New York – London.

WEST W., WEST G. S. & N. CARTER (1923): A Monograph to the British Desmidiaceae. Vol. V, 300 pp., 167 pls., Johnson Reprint Corporation (Repr. with perm. of the The Ray Soc., London, 1971), New York – London.

WOLFRAM G., DONABAUM K. & M. T. DOKULIL (2015): Leitfaden zur Erhebung der Biologischen Qualitätselemente, Teil B2–Phytoplankton. Handbuch des BMLFUW & des BAW, Wien, 73 pp.

WOTOWSI K. & F. HINDÁK (2005): Atlas of Euglenophytes. 136 pp., 417 fig. VEDA, Brat

7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Entwicklung der Anzahl der Algenarten im Wörthersee ab 1934. 8

Abb. 2: Prozentueller Biomasseanteil der Algengruppen im Epilimnion (0-6m) des Wörthersees für die Zeiträume: 1934-1938, 1954-1961, 1970-1989, 1990-2004, 2005-2013, 2014-2021 (Bac-Cen & Bac-Pen – Bacillariophyceae, Chlor – Chlorophyceae, Chrys – Chrysophyceae, Conj-Des & Conj-Zyg – Conjugatophyceae, Crypt – Cryptophyceae, Cyan_cocc & Cyan_fil – Cyanophyceae, Din – Dinophyceae, Euglen – Euglenophyceae, Ulvo – Ulvophyceae, VerF – unbestimmbare Formen). 9

Abb. 3: Prozentueller Biomasseanteil der Algengruppen im Metalimnion (7-12m) des Wörthersees für die Zeiträume: 1934-1938, 1954-1961, 1970-1989, 1990-2004, 2005-2013, 2014-2021 (Bac-Cen & Bac-Pen – Bacillariophyceae, Chlor – Chlorophyceae, Chrys – Chrysophyceae, Conj-Des – Conjugatophyceae, Crypt – Cryptophyceae, Cyan_cocc & Cyan_fil – Cyanophyceae, Din – Dinophyceae, Euglen – Euglenophyceae, Ulvo – Ulvophyceae, VerF – unbestimmbare Formen, Xanth – Xanthophyceae). 10

Abb. 4: Prozentueller Biomasseanteil der Algengruppen im Hypolimnion I (13-20m, oben) und Hypolimnion II (21-30m, unten) des Wörthersees für die Zeiträume: 1934-1938, 1954-1961, 1970-1989, 1990-2004, 2005-2013, 2014-2021 (Bac-Cen & Bac-Pen – Bacillariophyceae, Chlor – Chlorophyceae, Chrys – Chrysophyceae, Conj-Des – Conjugatophyceae, Crypt – Cryptophyceae, Cyan_cocc & Cyan_fil – Cyanophyceae, Din – Dinophyceae, Euglen – Euglenophyceae, Ulvo – Ulvophyceae, VerF – unbestimmbare Formen, Xanth – Xanthophyceae). 11

Abb. 5:Phytoplankton-Biovolumen des Wörthersees von 1934 bis 2021; Jahresmittel von 0-6m und 7-12m. 12

Abb. 6: Phytoplankton-Biovolumen des Wörthersees von 1934 bis 2021; Jahresmittel von 13-20 und 21-30m. 13

Abb. 7: Phytoplankton-Biovolumen von September 2019 bis Oktober 2022 im Maria Wörther-, Klagenfurter- und Vel-dener Becken im Epilimnion (0-6m) und Metalimnion (7-12m). 14

Abb. 8: Phytoplankton-Biovolumen von September 2019 bis Oktober 2022 im Maria Wörther-, Klagenfurter- und Vel-dener Becken im Hypolimnion I (13-20m) und Hypolimnion II (21-30m).... 15

Abb. 9: Biovolumen [mm³/l] von Planktothrix rubescens im Epilimnion (0-6m), Metalimnion (7-12m), Hypolimnion I (13-20m) und Hypolimnion II (21-30m) im Wörthersee von 1934 bis 2022. 16

Abb. 10: *Planktothrix rubescens* (mm³/l) und gewichtete Gesamt-Phosphor-Konzentration im Wörthersee von 1970 bis 2022 im Epilimnion (0-6m), Metalimnion (7-12m), Hypolimnion I (13-20m) und Hypolimnion II (21-30m). 17

Abb. 11: *Planktothrix rubescens*-Biovolumen von September 2019 bis Dezember 2022 im Klagenfurter- (KL B) Maria Wörther- (MW B), und Veldener Becken (V B) im Epilimnion (0-6m), Metalimnion (7-12m), Hypolimnion I (13-20m) und Hypolimnion II (21-30m). 18

Abb. 12: Ökologischer Zustand Phytoplankton vom Wörthersee; Jahresmittel der normierten EQR Gesamtwerte von 2007 bis 2022. 19

Abb. 13: Ökologischer Zustand Phytoplankton vom Wörthersee; 3-Jahresmittel der normierten EQR Gesamtwerte von 2007 bis 2022. 19

Abb. 14: Normierte EQR-Werte der Kenngrößen Chlorophyll-a (Chl-a), Phytoplankton-Biovolumen (BV) und Brettum Index (BI) des Wörthersees von 2007 bis 2022. 19

Abb. 15: Brettum-Index: Prozentanteil Phytoplankton Biovolumen und – Taxazahl von 2007 bis 2022. . 20

Abb. 16: Trophie-Einstufung des epilimnischen Wasserkörpers anhand der Phytoplanktonbiomasse von 1934 bis 2022. 22

Abb. 17: Trophie-Einstufung des epilimnischen Wasserkörpers anhand der Phytoplanktonbiomasse von 2020 bis 2022 für das Klagenfurter Becken (KL B), Maria Wörther Becken (MW B) und Veldener Becken (V B). 22

8 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Referenzwerte, EQR und normierte EQR-Werte der Kenngrößen Chlorophyll-a Konzentration, Biovolumen und Brettum-Index. 5

Tab. 2: Normierte EQR-Werte des Ökologischen Zustands – Phytoplankton. 6

Tab. 3: Verwendete Kenngrößen zur Trophie-Einstufung der Kärntner Seen (JMW – Jahresmittelwert, Konz. – Konzentration, gew. – volumsgewichtet P_{tot} – Gesamt-Phosphor, PPH-BV – Phytoplankton-Biovolumen, Chl-a – Chorophyll-a). 6

Tab. 4: Verbale Erläuterung der fünf Trophieklassen. 7

Tab. 5: Anzahl von Arten die im Zeitraum von 1934 bis 2022 im Wörthersee determiniert wurden. 7

Tab. 6: Artenzahl und Gesamt-Biovolumsanteil der Algengruppen im Epilimnion - 0-6m und im Wasserkörper 0-30m im Zeitraum von 2007 bis 2021. 8

Tab. 7: Übersicht zur Bewertung des ökologischen Zustands Phytoplankton: Jahresmittel und nEQR von Chlorophyll-a, Biovolumen, Brettum-Index und Gesamtbewertung sowie 3-Jahresmittel. 20

Tab. 8: Bewertung ökologischer Zustand - Phytoplankton: Jahresmittel und nEQR von Chlorophyll-a, Biovolumen, Brettum-Index, Gesamtbewertung sowie 3-Jahresmittel. 21