

## Pelagialmonitoring Bodensee

### Datenblatt Plankton

#### 1. Einleitung

In großen und tiefen Voralpenseen wie dem Bodensee dominiert das Plankton die Energie- und Stoffflüsse des Sees. Insbesondere das Phytoplankton ist maßgebend für die Charakterisierung des Sees, die Qualität des Bodenseewassers, und die Produktion der planktische Fische. Neben ihrer Bedeutung für das pelagische Nahrungsnetz, spielt die planktische Primärproduktion über Sedimentations- und Austauschprozesse auch eine wichtige Rolle für die profundalen und littoralen Nahrungsnetze und Stoffflüsse.

Das regelmäßige Planktonmonitoring des Sees begann in den 1950 Jahren mit Arbeiten des Konstanzer Instituts für Bodenseeforschung zuerst im Rahmen der Beurteilung einer geeigneten Trinkwasserentnahmestelle, ab Mitte der 1960er Jahre im Auftrag der IGKB. Klassischerweise wurden vor allem zwei Komponenten des Planktons untersucht: das Phytoplankton und das Crustaceenzooplankton (Einsle 1987; Kümmerlin and Bürgi 1989; Jochimsen et al. 2014). Ebenfalls eine lange Tradition hat die Untersuchung des Rotatorienplanktons, wogegen andere Komponenten wie das Bakterienplankton weniger häufig und das Ciliatenplankton von der IGKB bislang nicht untersucht werden.

Anhand des Monitoring des Phytoplanktons und des Zooplanktons konnten eingehende Veränderungen im Laufe der Eutrophierung und auch der Oligotrophierung des Bodensees dokumentiert werden. So konnte z.B. die Abnahme des Anteils toxischer Blaualgen an der Phytoplanktonbiomasse im Laufe der Oligotrophierung verfolgt werden. Auch im Crustaceenzooplankton und Rotatorienzooplankton konnten entsprechende Veränderungen beobachtet werden (Straile 2015; Stich et al. 2018).

In gleichem Maße reagiert das planktische Nahrungsnetz auch sensitiv auf veränderte klimatische Bedingungen, wobei eine Reaktion sowohl auf erhöhte Wassertemperaturen als auch auf veränderte Schichtungsbedingungen erfolgt. Viele Studien in anderen Seen haben gezeigt, dass vor allem Cyanobakterien, von denen viele Vertreter toxisch sind, von einer Klimaerwärmung profitieren können. Vor allem stabilere Schichtungen könnten zu stärkeren Cyanobakterienblüten von etablierten Arten, aber auch zur Invasion neuer Arten führen.

Auch das Crustaceenzooplankton reagiert sehr sensitiv auch auf Veränderungen der Wassertemperatur. Anhand des Crustaceenplanktons konnte im Bodensee nachgewiesen werden, dass in Seen ähnliche phänologische Veränderungen auftreten, wie in den umgebenden terrestrischen Ökosystemen, z.B. ein jahreszeitlich früheres Auftreten des Crustaceenplanktons. Wie sich das auf die Fische des Sees auswirkt muss noch weiter untersucht werden.

Das Crustaceenplankton ist zudem ein hervorragender Indikator für Veränderungen in der Fischlebensgemeinschaft, z.B. hervorgerufen in den letzten Jahren durch die Einwanderung der Stichlinge ins Pelagial. Der durch die Stichlingsinvasion erhöhte Fraßdruck auf das Crustaceenplankton drückt sich in einer veränderten Größenstruktur desselben aus.

Version 14.01.2022

Die Einwanderung neuer Planktonarten (sei es durch Verschleppung oder Klimawandel) könnte sich negativ auf die gesamte Freiwasser-Biozönose auswirken. Wenn z.B. neue Phytoplanktonarten, die für das Zooplankton nicht fressbar wären, einwanderten und zu Zeiten eine Massenvermehrung durchmachen, zu der auch die angestammten Arten wachsen würden, könnte sich die gesamte Planktonbiozönose verschieben. Ebenso könnten beim Zooplankton Arten auftreten, die zu Zeiten fressen, in denen sich das angestammte Zooplankton erst am Anfang der Entwicklung befindet, und so den angestammten Arten die Nahrungsgrundlage entziehen. Denkbar wäre auch die Einwanderung/Verschleppung räuberischer Arten, die sich von den frühen Entwicklungsstadien der angestammten Arten ernähren und so letztlich zum Aussterben bestimmter Arten führen könnten.

Bislang noch nicht erfasst werden die Populationsschwankungen des Ciliatenplanktons, obwohl dieses einen wesentlichen Anteil des Fraßdruckes auf das Phytoplankton ausübt. Ohne Berücksichtigung der Ciliaten ist deshalb ein funktionelles Verständnis der Dynamik der zumindest kleineren Phytoplanktonarten nur eingeschränkt möglich.

### 1.1 Definition

Unter Plankton versteht man Organismen bis zu einer Größe von wenigen Millimetern, deren Eigenbewegung als gering relativ zu Wasserströmungen angesehen wird. Zudem wird unterschieden zwischen dem Holoplankton, Arten die während ihres gesamten aktiver Lebenszyklus eine planktische Lebensweise aufweisen, und dem Meroplankton, welches nur in einem bestimmten Lebensabschnitt planktisch lebt. Zu letzteren Planktern gehören, z.B. die Larven der Dreissena-Muscheln, oder auch Fischlarven.

### 1.2 Ökologische Bedeutung

Plankton und Fische stellen die wichtigsten Komponenten des pelagischen Nahrungsnetzes dar. Darüber hinaus kommt Plankton auch in der Flachwasserzone vor und kann dort z.B. über Beschattung Einfluss auf die Makrophytenbestände haben. Auf Grund ihrer geringen Größe reagieren planktische Organismen schnell auf Umweltveränderungen und stellen somit geeignete Indikatoren für Umweltveränderungen dar, wie z.B. Eutrophierung und Oligotrophierung oder Klimaveränderungen. Wichtige abiotische Parameter für die Zusammensetzung des Phytoplanktons sind Lichtverfügbarkeit und der Gehalt an Nährstoffen wie Phosphor, Stickstoff und Silizium, umgekehrt beeinflusst das Phytoplankton diese Größen.

Vor allem unter den Cyanobakterien, die auch „Blualgen“ genannt werden, gibt es Arten, die Toxine bilden. Problematisch können diese Arten werden, wenn sie eine Massenvermehrung durchmachen und nach dem Absterben Toxine freigesetzt werden. Algtoxine sind sehr häufig Leber-, Zell-, Nerven- oder hautschädigend. Die Zusammensetzung des Phytoplanktons ist deshalb von direkter Relevanz für die menschliche Gesundheit.

Das Phytoplankton bildet in einem großen See wie dem Bodensee die wichtigste Produktionsquelle. Das heterotrophe Plankton ist darauf angewiesen organisches Material aus der Umgebung aufzunehmen – das können Phytoplankter, Detritus oder z.B. Bakterien sein. Über vielfältige Fraßbeziehungen ist das Phytoplankton mit den verschiedenen Vertretern des Zooplanktons (v.a. Ciliaten, Rotatorien und Crustaceen) verknüpft. Die Entwicklung von Phytoplankton beginnt in der Regel im zeitigen Frühjahr. Da zu diesem Zeitpunkt erst wenig Zooplankton vorhanden ist, kann sich eine „Frühjahrsblüte“ bilden. Diese Frühjahrsblüte besteht häufig aus kleinen, gut fressbaren Formen, so dass das Zooplankton gute Nahrungsbedingungen vorfindet, sich stark vermehren kann

Version 14.01.2022

und das Wasser klar filtriert (Klarwasserstadium). Im Sommer bei höheren Temperaturen und hoher Lichteinstrahlung kann die Photosyntheseaktivität des Phytoplanktons zu einer Calcitfällung führen (biogene Entkalkung), was die Lichtverfügbarkeit im Wasserkörper stark beeinflussen kann. Das Zooplankton wird neben der Verfügbarkeit von fressbarem Material vorwiegend durch Fischfraß und räuberisches Zooplankton kontrolliert. Da pelagische Fische bevorzugt größere Zooplankter fressen, können sich Veränderungen im Fraßdruck der Fische in der Größenstruktur des Zooplanktons abbilden.

Der Teil der planktischen Biomasse, der nicht gefressen oder aus dem See ausgetragen wird, sedimentiert und wird unter Sauerstoffverbrauch bakteriell abgebaut. Daher spielt dieser autochthone Anteil an organischer Substanz eine wichtige Rolle für den Sauerstoffverbrauch am Seeboden.

## 2. Fragestellungen

Grundsätzlich sollten auch mit einem Monitoring des Planktons Veränderungen im See erkannt werden und auch Fragestellungen, die heute noch nicht absehbar sind, später bearbeitet werden können. Hierzu ist es notwendig, neben dem möglichst vollständigen Arteninventar auch die abiotischen Faktoren (Temperatur und davon abgeleitet Schichtung sowie Nährstoffe) mit zu erfassen.

- Überblick über das Arteninventar und die relativen Häufigkeiten von Arten bzw. Artengruppen
- Auftreten wärmeliebender Arten (Klimawandel), Aussterben von Arten
- Auftreten von planktischen Neobiota und die Auswirkung auf die ursprüngliche Biozönose
- Naturschutzfachliche Bewertung (Diversität)
- Reaktion auf Veränderung der Nährstoffbedingungen (langskalig und kurzskalig)
- Reaktion auf Veränderungen im Fischfraßdruck

## 3. Methoden

Je nach Größe der Organismengruppen werden entweder die Organismen einer Wasserprobe direkt unter dem Mikroskop analysiert oder müssen durch Netzzüge angereichert werden. Für bestimmte Fragestellungen kann es sinnvoll sein verschieden tiefe Wasserschichten separat zu beproben, da einzelne Arten sowohl des Phytoplanktons als auch des Zooplanktons eine ausgeprägte vertikale Zonierung aufweisen können. Räumliche Unterschiede des Planktons innerhalb des Bodensee-Obersees sind vor allem zwischen der Bregenzer Bucht und dem restlichem See nachgewiesen (Seebens et al. 2013).

Großgruppen des Phytoplanktons können anhand ihrer Pigmente erfasst werden, die entweder durch HPLC Messungen oder in geringerem Umfang aber mit höherer räumlicher Auflösung durch Sonden erfasst werden können. Die räumliche Verbreitung des Crustaceen-Zooplanktons kann mittels ADCP erfasst werden, wobei mit dieser Methode keine Unterscheidung zwischen einzelnen Arten möglich ist.

### 3.1 Datenerhebung

Planktonorganismen werden entweder mit Wasserschöpfer (Bakterioplankton, Phytoplankton, Ciliatenplankton) oder durch Netzzüge (Maschenweite: 55 µm) für Rotatorien- und Crustaceenzooplankton erfasst. Die Auswertung erfolgt am Umkehrmikroskop (Phytoplankton, Ciliatenplankton, Rotatorienplankton, teilweise Crustaceenplankton), nach Filtration am Fluoreszenzmikroskop (Bakterienplankton, Picoplankton) oder am Binokular (Crustaceenplankton). Eine eindeutige taxonomische Zuordnung ist bei kleineren Organismen nicht (Bakterioplankton) oder vereinzelt nur sehr aufwendig zu erreichen (kleinere Vertreter des Phytoplanktons und Ciliatenplanktons). Für Gruppen mit hohem Indikatorenpotential (zentrale Diatomeen) werden deshalb zusätzlich zur Auswertung der Planktonprobe am Umkehrmikroskop noch Schalenpräparate hergestellt und anschließend mit höherer taxonomischer Auflösung bestimmt. Weitere Fortschritte in der taxonomischen Identifizierbarkeit und Artenermittlung sind in der näheren Zukunft durch Metabarcoding zu erwarten. Beim Crustaceenplankton kommt erschwerend hinzu, dass zahlreiche Daphnienarten in der Lage sind zu hybridisieren, so dass eine rein morphologische Unterscheidung sehr schwierig ist. Hier können genetische Methoden in Zukunft bei der Artidentifikation helfen. Letztere Methoden können allerdings mikroskopische Analysen nicht vollständig ersetzen, da für viele Fragestellungen die Kenntnis der Größenstruktur und Stadienstruktur des Planktons von Bedeutung ist. Daher wird das Crustaceenplankton in Größenklassen (200 µm-Abstand der Größenklassen) gezählt und auch die Gelegetrößen der Hauptarten werden im Zuge der Zählungen ermittelt.

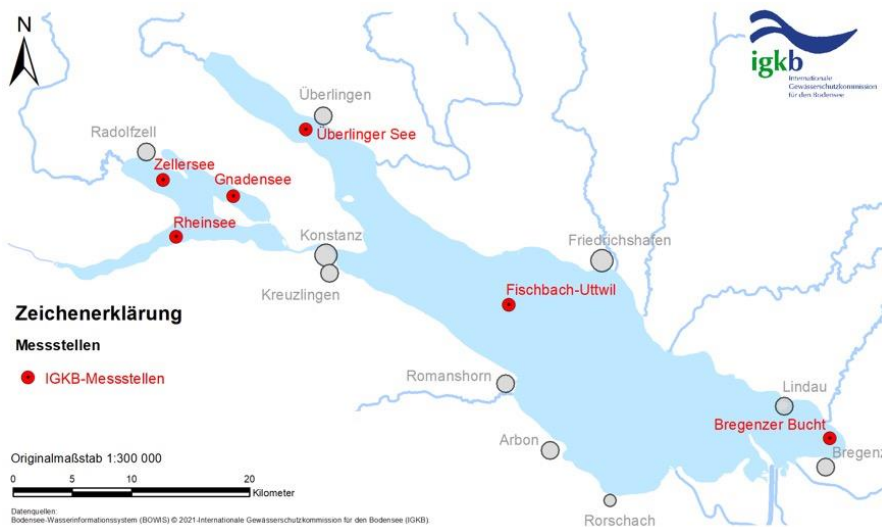


Abb. 1: Probenahmestellen für Phyto- und Zooplankton. Die Station Überlingersee wird von der Bodenseewasserversorgung nur anhand des Phytoplanktons beprobt.

### 3.2 Indikations- und Bewertungssysteme

#### Phytoplankton

Phytoplankton stellt eine der biologischen Qualitätskomponenten der EG-WRRL dar. Anhand der Zusammensetzung und Biomasse des Phytoplanktons kann abgeleitet werden, ob ein Gewässer im guten Zustand ist. Das in Deutschland entwickelte PhytoSee-Verfahren bewertet die Phytoplanktongemeinschaft anhand der Biomasse, der Algenklassenzusammensetzung und Zusammensetzung der Arten ([www.gewaesserbewertung.de](http://www.gewaesserbewertung.de)).

In Österreich wurde ein ähnliches Verfahren entwickelt, das anhand der Chlorophyll-a-Konzentration, des Gesamtbiovolumens und des Brettum-Index, eine Klassifizierung des Nährstoff- oder Produktionsniveaus des Sees erlaubt (Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente Teils B2 – Phytoplankton).

Insbesondere Diatomeen sind Indikatoren für diverse Umweltveränderungen. In der Paläolimnologie werden sie als Indikatoren für die Rekonstruktion von Phosphorkonzentrationen, Wassertemperaturen und Gewässerversauerung herangezogen.

#### Zooplankton

Das PhytoLoss-Verfahren wurde im Rahmen der Phytoplanktonbewertung nach PhytoSee (EG-WRRL) als Interpretationshilfe entwickelt. Es kombiniert Phytoplankton- und Zooplanktondaten zu diversen Indices, die eine Aussage zur Nahrungsnetz-Interaktion (Grazing, Fisch-Prädation) erlauben. Im Verfahren werden aus den Phytoplankton- und Zooplankton-Datensätzen folgende Indices berechnet:

<b>Z/P</b>	Verhältnis von Zooplankton-zu Phytoplanktonbiomasse. Ein hoher Z/P-Wert indiziert einen starken Fraßdruck auf das gesamte Phytoplankton
<b>FQI/FQIC</b>	Futterqualität/Futterqualität für Cladoceren. Ein hoher FQI- bzw. FQIC-Wert indizieren eine sehr gute Futterqualität für das Metazooplankton bzw. die Cladoceren
<b>MGI</b>	Metazooplankton-Grazing-Index. Ein hoher MGI-Wert indiziert einen starken Fraßdruck auf das fressbare Phytoplankton
<b>CGI</b>	Cladoceren-Grazing-Index. Ein hoher CGI-Wert indiziert einen starken Fraßdruck auf das für Cladoceren fressbare Phytoplankton
<b>FPI</b>	Fischprädatationsindex: Ein hoher FPI-Wert indiziert einen starken Fraßdruck der Fische auf die Cladoceren, d.h. die mittlere Cladocerenmasse (MCM) ist klein

Anhand der mittleren Jahres-Biomasse des Zooplanktons lässt sich die Trophielage des Gewässers abschätzen (TGL, 1982) . Der Cladoceren-Größenindex (GIC) lässt Rückschlüsse auf die Stärke des Prädationsdruckes durch Fische zu.

### 3.3 Kosten (Stand 2021, inkl. Mwst.)

- Zählung Phytoplanktonprobe 152 € / Probe
- Anfertigung und Zählung Schalenpräparat zur Phytoplanktonprobe 102 € / Probe
- Zählung Crustaceen/Rotatorienplankton: 143 €/Probe
- Zählung Ciliatenprobe: 120 €/Probe
- Zählung Bakterienplankton: Eigenleistung
- Zählung Picoplankton: Eigenleistung

Gelöscht: 167

Gelöscht: 120

### 3.4 Periodizität und Dauer

Aufgrund der hohen Wachstumsraten ist eine regelmäßige hochfrequente Probenahme erforderlich. Derzeit erfolgt die Beprobung am Bodensee-Obersee für Phyto- und Zooplankton 14-täglich, am Untersee lediglich vierwöchentlich. Die Probenahmen der Bodensee-Wasserversorgung im Überlinger See erfolgen 4-wöchentlich im Winter und alle zwei Wochen während der Vegetationsperiode. Das Limnologische Institut führt Probenahmen alle zwei Wochen durch. Auch das zweiwöchige Raster ist allerdings für Fragestellungen, die Veränderungen in der Phänologie im Verlauf des Klimawandels untersuchen, grenzwertig und eine wöchentliche Probenahme wäre hierfür angebracht.

## 4. Fachliche Querverbindungen

- Phytoplankton wichtigste Primärproduzenten des Sees, damit Auswirkungen auf alle Kompartimente (Pelagial, Flachwasser, und Profundal) im See und Ökosystemdienstleistungen des Sees
- Nahrungbeziehungen zwischen Bakterio-, Phyto- und Zooplankton
- Fische
  - Fraßfeind des Zooplanktons
- Physik/Energieeintrag
  - Temperatur
  - Mischungsverhältnisse
- Chemie
  - Sauerstoffproduktion und Verbrauch
  - CO<sub>2</sub> - Produktion und Verbrauch
  - Nährstoff Aufnahme und Freisetzung
  - Stellen einen Großteil des POM (partikuläres, organisches Material)
- Absedimentierendes Plankton ist wichtige Nahrungsquelle für Organismen im Profundal
- Makrophyten
  - Plankton beeinflusst Lichtverfügbarkeit für Makrophyten
- Makrozoobenthos
  - Filtrierende Vertreter (Dreissena) dezimieren Phytoplankton
- Benthische Diatomeen
  - Verdriftung von benthischen Arten ins Plankton

Version 14.01.2022

## 5. Gesetzliche Grundlagen/Vorgaben

- Deutschland
  - WRRL 2000/60/EG
  - Oberflächengewässerverordnung – OGewV
  - Wasserhaushaltsgesetz - WHG
- Österreich
  - WRRL 2000/60/EG
  - Wasserrechtsgesetz (WRG 1959 idgF)
  - Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV, BGBl. II Nr. 479/2006 idgF)
  - Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG (BGBl. II Nr. 99/2010 idgF)
- Schweiz
  - Gewässerschutzgesetz, (GSchG, SR 814.20)
  - Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201)
  - Modulstufenkonzept zur Untersuchung der Gewässer (Bundesamt für Umwelt)

Mit dem vorgeschlagenen Monitoring werden die gesetzlichen Vorgaben erfüllt.

## 6. Synergien

- Neozoenmonitoring
- Resilienzmonitoring und –forschung
- Klimafolgenmonitoring
- Berichtspflichtigen WRRL

## 7. Bisheriges Monitoring/Erhebungen

Siehe Abschnitt 3.1 und 3.4

## 8. Datenhaltung

Die erhobenen taxonomischen Daten inkl. Verortung und standortbezogene Begleitdaten sollen in FisGeQua hinterlegt werden.

Für die zur Plausibilisierung und Qualitätssicherung gewonnenen Belegsammlungen, Fotos, Videos oder andere Medien muss eine dauerhafte Archivierung ermöglicht werden.

## 9. Literatur:

Einsle U (1987) Die Entwicklung des Crustaceen-Planktons im Bodensee-Obersee (1972-1985) und Untersee - Gnadensee und Rheinsee - (1974-1985). Berichte der Int Gewässerschutzkommission für den Bodensee 37:

Jochimsen MC, Kümmerlin R, Straile D (2014) Phytoplanktonentwicklung im Bodensee von 1965 - 2007: Einfluss von trophischen und klimatischen Veränderungen. Berichte der Int Gewässerschutzkommission für den Bodensee 59:1–116

Version 14.01.2022

Kümmerlin R, Bürgi HR (1989) Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1961-1986). Berichte der Int Gewässerschutzkommission für den Bodensee 39:1–175

Seebens H, Einsle U, Straile D (2013) Deviations from synchrony: spatio-temporal variability of zooplankton community dynamics in a large lake. J Plankton Res 35:22–32.  
<https://doi.org/10.1093/plankt/fbs084>

Stich HB, Schumann M, Brinker A (2018) Dynamics of pelagic rotifers subject to trophic fluctuations in Upper Lake Constance (1963–2012). J Plankton Res 40:118–128.  
<https://doi.org/10.1093/plankt/fbx073>

Straile D (2015) Zooplankton biomass dynamics in oligotrophic versus eutrophic conditions : a test of the PEG model. Freshw Biol. <https://doi.org/10.1111/fwb.12484>

[https://www.gewaesser-bewertung.de/files/deneke\\_phytloss\\_modul\\_verfahrensanleitung\\_05\\_03\\_2015.pdf](https://www.gewaesser-bewertung.de/files/deneke_phytloss_modul_verfahrensanleitung_05_03_2015.pdf)

Feldfunktion geändert

[https://www.gewaesser-bewertung.de/files/handbuch\\_phyto-see-index\\_dez2017.pdf](https://www.gewaesser-bewertung.de/files/handbuch_phyto-see-index_dez2017.pdf)

Feldfunktion geändert

TGL 27885-01 (1982) Nutzung und Schutz der Gewässer, stehende Binnengewässer: Klassifizierung

[https://info.bmlrt.gv.at/dam/jcr:20640a85-3a53-41e9-9451-1a87d986e33c/B2\\_SE\\_PHP.zip](https://info.bmlrt.gv.at/dam/jcr:20640a85-3a53-41e9-9451-1a87d986e33c/B2_SE_PHP.zip)

Feldfunktion geändert