

Auszug aus:

Mischke, U., Riedmüller, U., Hoehn, E. & B. Nixdorf (2008): Praxistest zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons gemäß EU-WRRL. Endbericht zum LAWA-Projekt (O 5.05). In: Mischke, U. & B. Nixdorf(Hrsg.), Gewässerreport (Nr. 10), BTUC-AR 2/2008, ISBN 978-3-940471-06-2, Eigenverlag BTUCottbus, 7-115.

Auszug. Verfahrensanleitung Seiten 15 – 41.

Praxistest zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons gemäß EU-WRRL. Endbericht zum LAWA-Projekt (O 5.05)

Ute Mischke¹, Ursula Riedmüller², Eberhard Hoehn² & Brigitte Nixdorf³

¹) Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im Forschungsverbund Berlin e.V.,
Müggelseedamm 310, D-12561 Berlin, e-mail: mischke@igb-berlin.de

²) LBH, Glümerstr. 2a, D-79102 Freiburg, e-mail: lbh@gmx.de

³) Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Gewässerschutz, Forschungsstation
Bad Saarow, Seestraße 45, D-15526 Bad Saarow, e-mail: b.nixdorf@t-online.de

Keywords: WFD, phytoplankton, indicators, assessment, instructions, biomass, taxa composition

Kurzfassung

In den Jahren 2005 und 2006 wurde in den Bundesländern Deutschlands ein bundesweiter Praxistest des durch Nixdorf et al. (2005b) vorgestellten Entwurfs für ein Bewertungsverfahren von Seen mittels Phytoplankton durchgeführt. Dieser Entwurf stellte eine Neuentwicklung und erstmalige nationale Vereinheitlichung auf den Gebieten der Probenahme in Seen, der mikroskopischen Auswertungsstrategie, der taxonomischen Bestimmungstiefe und Bezeichnung dar. Dem System liegen eine umfangreiche Indikatorliste sowie die Bewertungsdaten aus den weiteren Metrics „Phytoplanktonbiovolumen“ und „Algenklassenzusammensetzung“ zu Grunde. Deshalb war eine Vielzahl von neuartigen Vorgaben zu testen. Die Praktikabilität des Verfahrensentwurfs hinsichtlich der Probenahme und Auswertungsstrategie wurde durch die Anwender in den Bundesländern beurteilt und durch projektbegleitende Workshops und Schulungen demonstriert. Die Plausibilität der Bewertungsergebnisse wurde in den Umweltbehörden der Bundesländer geprüft und zum Teil umfangreichen statistischen Analysen unterzogen. In den europäischen Interkalibrationsgruppen, deren wichtigste Aufgabe die Harmonisierung und Verbesserung der Vergleichbarkeit der biologischen Bewertungsverfahren darstellt, wurden das Verfahren und die Bewertungsergebnisse ebenfalls geprüft. Die Verfahrensentwickler nutzten die während des Praxistests erhobenen und weitgehend standardisiert bearbeiteten Phytoplanktondaten deutscher Seen sowie die neu hinzugekommenen Bewertungsergebnisse zur Optimierung des Bewertungsverfahrens.

Im Ergebnis liegt nun eine stark überarbeitete Verfahrensvorschrift vor, die andere Grenzwerte und auch neue Kenngrößen zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons umfasst. Das neue Verfahren ist durch Vereinfachungen praxisorientiert entwickelt, was durch die überarbeitete Indikatorliste und eine Auswertungssoftware (Prototyp **PhytoSee**) unterstützt wird. Das Verfahren hat sich in seiner neuen Fassung im europäischen Rahmen als konformes Bewertungssystem der EG-Wasserrahmenrichtlinie im Interkalibrierungsprozess bewährt. Das neue Verfahren bewertet die Seen im Vergleich zum bisherigen Entwurf (Nixdorf et al. 2005a) strenger. Dies führt zu einem höheren Anteil an Seen in Deutschland, für die ein Handlungsbedarf hinsichtlich der Verbesserung des trophischen Zustandes – indiziert durch den Belastungsanzeiger Phytoplankton – besteht. Die Bewertungsverstärkung ist einerseits das Ergebnis von Vorgaben aus dem europäischen Interkalibrierungsprozess und entspricht andererseits der Expertenmeinung projektunabhängiger Spezialisten und Bundeslandvertreter. Allerdings sollten die erfolgten Verfahrensänderungen, die weitreichende Konsequenzen für die Bewertung und den Sanierungsbedarf deutscher Seen besitzen, in einem anschließenden LAWA-Projekt nochmals durch eine Feinabstimmungsprozedur für die nationale Umsetzung konsensfähig gemacht werden.

3. Überarbeitete Verfahrensbeschreibung für die Bewertung von Seen mittels Phytoplankton

In diesem Kapitel wird die überarbeitete Methode zur Bewertung von Seen mittels Phytoplankton basierend auf dem Verfahrensentwurf von Nixdorf et al. (2005a, 2005b, 2006) beschrieben. Diese enthält erhebliche Änderungen in Folge des Praxistests der deutschen Bundesländer sowie der Ergebnisse des europäischen Interkalibrierungsprozesses (WGA milestone 6 report; 2007). Das Kapitel soll zugleich als Vorlage für ein zukünftiges Handbuch zum Bewertungsverfahren für Seen mittels Phytoplankton dienen.

3.1 Bewertungssystem und Kenngrößen – eine Übersicht

3.1.1 Kenngrößen zur Ermittlung des Phyto-See-Index (PSI)

Das deutsche Bewertungssystem von Seen mittels Phytoplankton unterscheidet ökologisch relevante See-Gewässertypen und führt zu einem multi-metrischen Indexwert, dem Phyto-See-Index (PSI). Dieser stuft das zu bewertende Gewässer in eine der fünf nach EG-Wasser-Rahmenrichtlinie (WRRL) zu beschreibenden Zustandsklassen ein. Der PSI besteht obligat aus den 3 Einzelmetrics „Biomasse“, „Algenklassen“ und „Phytoplankton-Taxa-Seen-Index“ (PTSI).

Alle drei Kenngrößen, auch Metrics genannt, wurden entlang der Belastungsgröße „Eutrophierung“ und im Abgleich mit Referenzgewässern und Referenzzuständen geeicht. Als „Belastungsskala“ wurde neben der Gesamtphosphorkonzentration der Ist-Wert des deutschen LAWA-Trophie-Index genutzt (LAWA 1999). Dieser beruht auf einer Klassifizierung der Trophie-Parameter Chlorophyll a, Gesamtphosphorkonzentration und der Secchi-Sichttiefe.

Der LAWA-Trophie-Index unterscheidet die „Seetypen“ ‚geschichtete Seen‘ und ‚polymik-tische Seen‘ sowie darüber hinaus die „Kleinseen“, welche nicht für die WRRL relevant sind. Für die Bewertung nach EG-WRRL wurden die Seen nach weiter gehenden Vorschlägen der LAWA (Mathes et al. 2002) und dem biozönotischen Verhalten der Biokomponente Phytoplankton (Nixdorf et al. 2005b) nochmals in weitere Seetypen auf gespalten. Für jeden dieser Seetypen wurde eine Referenztrophy (s. Tabelle 3-16; Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) festgelegt. Die im ersten Entwurf des Bewertungsverfahrens vorgeschlagenen Referenztrophy-Bereiche (Nixdorf et al. 2005 a oder b) wurden anhand von inzwischen vorliegenden Land-Nutzungsdaten der oberirdischen Seeinzugsgebiete, durch neuere Ergebnisse aus paläolimnologischen Studien sowie Ergebnissen des europäischen Interkalibrierungsprozesses durch Vergleich mit nichtdeutschen Referenzgewässern modifiziert. Für die meisten Seetypen wurde die Referenztrophy nach unten, d.h. in Richtung geringerer Trophy im Referenzzustand, korrigiert (s. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). In Folge dessen sowie der Einbeziehung weiterer Kenngrößen und Überarbeitungen bewertet der PSI meist strenger als im Entwurf nach Nixdorf et al. (2005b).

Die drei Metrics des PSI können um den Metric „DI-PROF“ (Schönfelder 2006) ergänzt werden. Die einzelnen Metrics sind teilweise wiederum aus mehreren Bewertungsparametern zusammengesetzt:

1) Metric „Biomasse“:

Der Metric „Biomasse“ ist das arithmetische Mittelwertergebnis aus den Einzelbewertungen folgender drei Parameter (Details s. Kapitel 3.3.1):

- a) Gesamtbiovolumen des Phytoplanktons aus dem Epilimnion oder der euphotischen Zone (Klarwasserseen) des Sees (arithmetisches Saisonmittel aus der Periode April–Oktober mit mindestens 6 Proben pro Jahr; davon mindestens 4 Proben im Zeitraum Mai bis September)
- b) Chlorophyll a-Konzentration (arithmetisches Saisonmittel aus der Periode April–Oktober)
- c) Maximum-Wert Chlorophyll a, wird zur Bewertung herangezogen, falls dieser um 25% größer als der Saisonmittelwert ist und mindestens 3 Chlorophyll a-Messwerte für ein Untersuchungsjahr vorliegen.

Die Ist-Werte der Bewertungsparameter werden für jeden Seetyp entlang von Klassengrenzen für die 5 Zustandsklassen mittels einer Bewertungsfunktion in einen Bewertungswert zwischen 0,5 und 5,5 umgerechnet.

2) Metric „Algenklassen“:

Aufsummierte Biovolumina aller Cyanobacteria, Chlorophyceae und /oder Dinophyceae und Cryptophyceae oder ihr Prozentanteil am Gesamtbiovolumen (Chrysophyceae, Dinophyceae) werden je nach Seetyp als arithmetisches Saisonmittel für die Periode Juli bis Oktober oder für April bis Oktober gebildet. Jeweils 1 bis 3 Ist-Werte der Bewertungsparameter werden für jeden Seetyp unterschiedlich mit speziellen Klassengrenzen verglichen, indem mittels einer Bewertungsfunktion ein Bewertungswert errechnet wird (Details s. Kapitel 3.3.2).

3) Metric PTSI (Phytoplankton-Taxa-Seen-Index):

Der PTSI dient zunächst der trophischen Einstufung von Seen (oligotroph bis hypertroph) anhand der Artenzusammensetzung. Die Werteskala des PTSI entspricht der des LAWA-Index (1999) und ist hinsichtlich der Aussage über den trophischen Status direkt mit diesem vergleichbar.

Die Bewertung gemäß WRRL mithilfe des PTSI erfolgt erst in einem zweiten Schritt. Hierzu muss der PTSI mit dem trophischen Referenzwert des entsprechenden Seetyps verglichen werden (Details s. Kapitel 3.3.3). Die Abweichung von der Referenzsituation wird als Differenz errechnet, welche in eine linear operierende Bewertungszahl (EQ = ökologische Qualität nach WRRL) zwischen 0,5 und 5,5 transformiert wird.

Die Trophieklassifikation erfolgt für die deutschen Seen mit drei verschiedenen Indikatorlisten: 1. für Seen der Alpen- und Voralpen, 2. für geschichtete Seen des norddeutschen Tieflandes und 3. für polymiktische Seen des norddeutschen Tieflandes.

Für jedes Indikatortaxon sind ein Trophieankerwert (TAW) und ein Gewichtungsfaktor angegeben, welcher die Stenökie als Maß für die „Treue“ des Taxons im Trophieschwerpunkt beschreibt.

Die Indexberechnung erfolgt per gewichteter Mittelwertbildung, wobei die Trophieankerwerte mit dem Stenökiegewichtungsfaktor und einer transformierten Abundanzgröße (Abundanzklasse) gewichtet werden.

Der PTSI wird zunächst für jede Probe einzeln berechnet. Den Jahreswert erhält man durch arithmetische Mittelwertbildung. Dieser Index kann dann mit den trophischen Referenzwerten der Seetypen verglichen und zur Bewertung herangezogen werden.

4) Optionale Zusatzgröße: DI-PROF (Diatomeen-Profundal-Index nach Schönfelder 2006):

Es werden die Dominanzwerte aus den Schalenpräparaten von planktischen Diatomeen-Indikatortaxa ermittelt, die aus dem Profundal entnommen wurden. Diese Werte werden danach mit taxonspezifischen Trophie-, Index- und Gewichtungswerten verrechnet. Bewertet wird in 2 Schritten: 1. Trophische Klassifizierung auf Basis aller nachgewiesenen DI-PROF-Indikatortaxa, die in einer Profundalprobe eines Seesediments gefunden wurden 2. Vergleich der trophischen Klassifizierung mit dem Seetyp-spezifischen Referenzwert der Trophie (Details s. Schönfelder 2006 und Kapitel 3.3.4). Die Abweichung von der Referenzsituation wird numerisch in einer Bewertungszahl zwischen 0,5 und 5,5 wider gegeben.

3.1.2 Einheiten des PSI und Umrechnung in den EQR

Die Ergebnisse aller Metrics und die des Gesamtindex PSI liegen im Wertebereich von 0,5 bis 5,5, wobei der Wert 0,5 den bestmöglichen und der Wert 5,5 den schlechtesten Zustand anzeigt. Die Werte liegen im Bereich der ökologischen Zustandsklassen 1 bis 5 und können gemäß WRRL als „ökologische Qualität“ (EQ = ecological quality) verstanden werden.

Da die Klassenweite in allen 5 Zustandsklassen gleich breit (äquidistant) ist, können die PSI-Werte durch folgende Formel in einen normierten EQR (ecological quality ratio) umgewandelt werden:

$$\text{EQR} = -0,2 \times \text{PSI} + 1,1$$

In Tabelle 3-1 sind die Bereiche der Index-Werte des deutschen Phyto-See-Index aufgelistet, die den fünf Zustandsklassen nach der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000) und den normierten ökologischen Qualitätsverhältnissen (EQR) gleichzusetzen sind.

Tabelle 3-1: Indexwerte und Zustandsklassen zur Herleitung der ökologischen Qualitätsverhältnisse (EQR).

Indexwert des deutschen PSI (EQ)	Zustandsklasse	normierter EQR
0,5–1,5	1 = sehr gut (H = high)	0,81–1,0
1,51–2,5	2 = gut (G = good)	0,61–0,8
2,51–3,5	3 = mäßig (M = moderate)	0,41–0,6
3,51–4,5	4 = unbefriedigend (P = poor)	0,21–0,4
4,51–5,5	5 = schlecht (B = bad)	0,0–0,2

3.2 Methodenvorgaben für Probenahme und Analyse bei der Datenerhebung

Die deutsche Bewertungsmethode fordert und beschreibt detailliert Methodenvorgaben (Nixdorf et al. 2008) für die Datenerhebung bei der

- 1) Probenahme
- 2) Probenkonservierung und -lagerung

- 3) mikroskopischen Analyse (nach Utermöhl 1958) und Zählstrategie. Es wird eine Bestimmungstiefe und eine Kodierung der biologischen Befunde nach der harmonisierten Taxaliste des Phytoplanktons vorgegeben. (Download der aktuellen Version: <http://www.igb-berlin.de/abt2/mitarbeiter/mischke>).

Diese Methodenvorgaben sind bei der Datenerhebung genau zu beachten.

3.2.1 Datenanforderung und Aufbereitung

In diesem Kapitel sind die einzuhaltenden Anforderungen an die Daten und ihre Aufbereitung (Mittelwertbildung etc.) zusammengefasst. Für Details zur Probenahme und mikroskopischen Analyse muss die Vorschrift in Nixdorf et al. (2008) beachtet werden.

3.2.1.1 Erforderliche photometrische Analyseergebnisse zur Chlorophyll a-Bestimmung

Als Ausgangsbasis werden mindestens 6 Messungen der Chlorophyll a-Konzentration (nach DIN) benötigt, die zeitgleich zu 6 Lugol-fixierten Proben je Untersuchungsjahr aus dem Epilimnion oder der euphotischen Zone eines Sees (letztere für Klarwasserseen) entnommen wurden. Es müssen mindestens 4 Proben aus der Periode Mai bis September stammen.

3.2.1.2 Anforderungen an die mikroskopischen Analyseergebnisse

Die mikroskopische Analyse der Lugol-fixierten Proben folgt der Utermöhl-Methode mit der Auszählung von mindestens zwei Transektstreifen des Bodens einer Sedimentationskammer mit einem Durchmesser von 25–25,5 mm, um eine ausreichende Stichprobe zu erfassen. Sie sollte von mindestens 10 dominanten Taxa je Probe quantitative Zählwerte mit vorgegebener Objektzahl ergeben, die gemeinsam mit den Zählwerten der nicht-dominanten Taxa in Biovolumenwerte umgerechnet werden müssen. Für die Bestimmung von weiteren, wichtigen Indikatortaxa wird die zusätzliche Präparation von Diatomeenschalen empfohlen. Werden diese nicht durchgeführt, steigt das Risiko, zu wenige Indikatortaxa zu ermitteln.

Alle biologischen Befunde müssen nach der harmonisierten Taxaliste kodiert sein. Das Programm PhytoSee (s. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) ermöglicht auch die automatisierte Übersetzung von Taxa, die mit den DV-Nummern der Taxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands (nach Mauch et al. 2003; Version März 07 Internet) kodiert sind.

Die quantitativen Befundelisten sollten das Biovolumen des Taxons und ggf. Zellzahlen und Zellvolumen enthalten. Die für das Bewertungsverfahren erforderliche Bestimmungstiefe wird in der harmonisierten Taxaliste gesondert ausgewiesen. Sofern die Parameterwerte entsprechend einer Formatvorlage gelistet und digital vorliegen, können alle weiteren Berechnungen durch das Access-basierte Auswertungsprogramm **PhytoSee** automatisiert durchgeführt werden.

Für den Datenimport in das Programm **PhytoSee.mdb** müssen die Parameterwerte in einem bestimmten Format in drei Tabellen angeordnet werden (s. Formatvorlage_PhytoSee_Auswertungsprogramm.xls).

Pflichtparameter sind für

- 1) **Taxa-Befunde:** Probennummer / Taxa-Identifikationscode / Taxa Biovolumen [mm^3/l] / Abweichung vom vorgegebenen Taxonnamen

- 2) **Proben-Merkmale:** Probennummer / Seename / Beprobungsdatum / Entnahmetiefe / Chlorophyll a [$\mu\text{g/l}$] / Sichttiefe [m] / Gesamt-Phosphor [$\mu\text{g/l}$] / See-Identifikationscode
- 3) **See-Merkmale:** See-Identifikationscode / Seename/ Zuordnung zu einem Seetyp für die Phytoplankton-Bewertung.

Das Ergebnis des fakultativen Indexwertes DI-PROF (Schönfelder 2006) kann in einer weiteren Tabelle eingetragen und testweise einberechnet werden. Die Einbindung des DI-PROF-Index-Wertes empfiehlt sich, wenn zu wenige Indikatortaxa für den PTSI (s. Kapitel 7) ermittelt wurden und synchron eine DI-PROF-Untersuchung vorliegt. Zur Berechnung eines DI-PROF-Ergebnisses steht neben einer Excel-Vorlage (Ilka Schönfelder unveröffentlicht) ein einfaches Auswertungsprogramm in Access zur Verfügung (DI-PROF_Berech). Die Dominanzwerte der Taxa müssen dazu mit den DV-Nummern der Taxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands kodiert sein (DV-Codierung nach Mauch et al. 2003; Version März 07 Internet).

3.2.2 Bestimmung des Gewässertyps

Eine Grundvoraussetzung für die Anwendung des Bewertungsverfahrens von Seen mittels Phytoplankton ist die korrekte Zuordnung zu einem der definierten Seetypen (Tabelle 3-2).

Die Typisierung für das vorliegende Verfahren lehnt sich grundsätzlich an die Typisierung der deutschen Seen nach LAWA (Mathes et al. 2002) an. Davon abweichend werden jedoch einige Seetypen zusammengefasst oder zusätzliche Subtypen unterschieden.

Tabelle 3-2: Liste der nach LAWA (Mathes et al. 2002) vorgeschlagenen Seetypen, der im Phytoplanktonprojekt relevanten Seetypen und der in der europäischen Interkalibrierung berücksichtigten Seetypen (IC type).

Ökoregion	LAWA Seetyp	Seetyp Phytoplankton	IC type	Merkmale
Voralpen	1	1 (in Test)	--	polymiktisch; derzeit noch 4 Seen im Datensatz
Voralpen	2 und 3	2+3	AL4	Voralpenseen, geschichtet
Alpen	4	4	AL3	Alpenseen, geschichtet
Mittelgebirge	5 bis 9	bisher keine Auswertung	--	Höhe über 200 m ü. NN; meist Talsperren
Tiefland	10	10.1	L CB 1	VQ > 1,5 und \leq 15; geschichtet
Tiefland	10	10.2	--	VQ > 15; geschichtet
Tiefland	11	11.1	--	VQ > 1,5; polymiktisch; mittlere Tiefe \geq 3m
Tiefland	11	11.2	L CB 2	VQ > 1,5; polymiktisch; mittlere Tiefe < 3m
Tiefland	12	12	--	VQ > 1,5; Wasseraufenthaltszeit 3–30 Tage
Tiefland	13	13	L CB 1	VQ < 1,5; geschichtet
Tiefland	14	14	--	VQ < 1,5; polymiktisch

Für die richtige Zuordnung zu einem Seetyp sind folgende morphometrische und hydrologische Parameter eines Sees erforderlich:

- 1) Zuordnung zu einer Ökoregion nach EG-WRRL (z.B. Tiefland, Voralpen oder Alpen)
- 2) Seevolumen
- 3) Größe des oberirdischen Einzugsgebietes des Sees (EZG)
- 4) Der aus Seevolumen und EZG errechnete Volumenquotient (VQ)
- 5) Schichtungstyp des Sees (polymiktisch oder geschichtet im Sommer)
- 6) Mittlere Seetiefe zur Abgrenzung von sehr flachen Seen (Typ 11.2)
- 7) Mittlere Wasseraufenthaltszeit zur Abgrenzung von Flusseen (Typ 12) errechnet als theoretischer Wert aus den mittleren Niederschlägen in der Region, EZG und Seevolumen

Die Zuordnung eines Untersuchungssees zu einem Seetyp obliegt den verantwortlichen Bundesländern.

3.3 Schritt-für-Schritt-Berechnung des deutschen Phyto-See-Index (PSI)

Ausgehend von den mikroskopischen (quantitativen Befundlisten) und photometrischen Analyseergebnissen (Chlorophyll a-Konzentration nach DIN) aus mindestens 6 Einzelproben kann der PSI des Untersuchungsgewässers anhand der 3 Metrics ‚Biomasse‘, ‚Algenklassen‘ und ‚PTSI‘ errechnet werden.

Fakultativ kann der Metric DI-PROF anhand der Dominanzwerte von Kieselalgenschalen planktischer Diatomeen-Taxa in einer Profundalprobe berechnet werden. Die Bewertung muss immer unter Beachtung des vorliegenden Seetyps erfolgen (s. Kapitel 3.2.2).

3.3.1 Metric „Biomasse“

Für den Metric „Biomasse“ werden aus den folgenden Parametern Einzelindices berechnet:

- „Gesamtbiobiovolume“ Saisonmittel (Y1),
- „Chlorophyll a Saisonmittel“ (Y2) und
- „Chlorophyll a Maximum-Wert“ der Saison (Y3)

Die Einzelindices werden arithmetisch gemittelt (Mittelwert aus Y1, Y2, Y3, s. unten).

3.3.1.1 Gesamtbiovolume des Phytoplanktons in Seen

Um den Saisonmittelwert für den Parameter zu erhalten, müssen die Ausgangsdaten schrittweise in folgender Reihenfolge aufsummiert und gemittelt werden:

- a) Summe Taxonbiobiovolume pro Probe: Alle Taxonbiobiovolume werden für jeden Beprobungstermin und Messort unter Ausschluss von heterotrophen Organismen aufsummiert. Alle heterotrophen Taxa sind in der harmonisierten Taxaliste (kurz HTL) gekennzeichnet und können datenbanktechnisch ausgefiltert werden.
- b) Mittelwert Messort pro Wasserkörper und Termin: Im Falle mehrerer Messort je Beprobungstermin und Wasserkörper wird ein Mittelwert gebildet. Sollen die Messort getrennt bewertet werden, müssen den Seeteilen/-becken verschiedene See-Identifikationscodes vergeben werden.

- c) Mittelwert aus mehreren Beprobungsterminen, wenn sie zum gleichen Monat gehören (Monatsmittelwert).
- d) Saison-Mittelwert aus den Monatsmittelwerten der Periode April–Oktober
- e) Dieser Saison-Mittelwert des **Gesamtbiovolumens (x)** wird durch eine Seetyp-spezifische Formel (s. Berechnungsfunktion in Tabelle 3-3) in den Bewertungswert des Parameters (**Y1**) umgerechnet. Die Zuordnung nach einem Seetyp erfolgt nach Tabelle 3-2. Zusätzlich werden in Tabelle 3-3 informativ die Klassengrenzen der Zustandsklassen angegeben.

Tabelle 3-3: Grenzen der Zustandsklassen des Parameters Gesamtbiovolumen und seine typspezifische Bewertung.

Seetyp	1 und 2+3	4
Parameter	Gesamtbiovolumen (mm³/l)	
Bewertungs-funktion	Y1 = 1,5499 × Ln(x) + 1,508	Y1 = 1,5499 × Ln(x) + 2,508
H / G	0,99	0,52
G / M	1,9	1
M / P	3,62	1,9
P / B	6,89	3,6

Seetyp	11.1 und 12	14
Parameter	Gesamtbiovolumen (mm³/l)	
Bewertungs-funktion	Y1 = 1,403 × Ln(x) – 0,0152	Y1 = 1,3591 × Ln(x) + 0,4987
H / G	2,95	2,09
G / M	6,0	4,4
M / P	12,2	9,1
P / B	25,1	19,0

Seetyp	10	13	11.2
Parameter	Gesamtbiovolumen (mm³/l)		
Bewertungs-funktion	Y1 = 1,1704 × Ln(x) + 1,0996	Y1 = 1,2362 × Ln(x) + 1,8321	Y1 = 1,3538 × Ln(x) – 0,4664
H / G	1,4	0,7	4,3
G / M	3,3	1,7	9,0
M / P	7,7	3,8	18,5
P / B	18,1	8,0	39,0

Bewertungswerte kleiner als 0,5 werden gleich Wert 0,5 und Bewertungswerte größer als 5,5 werden gleich dem Wert 5,5 gesetzt.

3.3.1.2 Metric „Chlorophyll a Saisonmittel“

Um den Saisonmittelwert für diesen Parameter zu erhalten, müssen die Ausgangsdaten schrittweise in folgender Reihenfolge gemittelt werden:

- Mittelwert aus mehreren Messorten je Beprobungstermin, wenn diese zum gleichen Wasserkörper gehören.
- Mittelwert aus mehreren Beprobungsterminen, wenn sie zum gleichen Monat gehören (Monatsmittelwert).

Tabelle 3-4: Klassenobergrenzen des Parameters Saisonmittel Chlorophyll a und seine Bewertung.

Seetyp	1 und 2+3	4
Parameter	Saisonmittel Chlorophyll a in µg/l	
Bewertungs-funktion	$Y2 = 1,6063 \times \ln(x) - 0,5962$	$Y2 = 1,6063 \times \ln(x) + 0,4038$
H / G	3,7	2,0
G / M	6,9	3,7
M / P	12,8	6,9
P / B	23,9	12,8

Seetyp	11.1 und 12	14
Parameter	Saisonmittel Chlorophyll a in µg/l	
Bewertungs-funktion	$Y2 = 1,6271 \times \ln(x) - 2,1865$	$Y2 = 1,6408 \times \ln(x) - 1,7365$
H / G	9,7	7,2
G / M	17,8	13,2
M / P	32,9	24,3
P / B	61,0	44,8

Seetyp	10	13	11.2
Parameter	Saisonmittel Chlorophyll a in µg/l		
Bewertungs-funktion	$Y2 = 1,7906 \times \ln(x) - 1,9474$	$Y2 = 1,7364 \times \ln(x) - 1,2334$	$Y2 = 1,3715 \times \ln(x) - 1,9019$
H / G	6,9	4,8	11,9
G / M	12,0	8,6	24,8
M / P	21,0	15,3	51,2
P / B	36,5	27,3	106,5

Bewertungswerte kleiner als 0,5 werden gleich Wert 0,5 und Bewertungswerte größer als 5,5 werden gleich dem Wert 5,5 gesetzt.

- c) Saison-Mittelwert aus dem Monatsmittelwerten von der Periode April–Oktober
- d) Dieses **Saisonmittel des Chlorophyll a (x)** wird durch eine Seetyp-spezifische Formel (s. Berechnungsfunktion in Tabelle 3-4) in den Bewertungswert des Parameters (**Y2**) umgerechnet. Die Zuordnung zu einem Seetyp erfolgt nach Tabelle 3-2. Zusätzlich werden in Tabelle 3-4 informativ die Klassengrenzen der Zustandsklassen angegeben.

3.3.1.3 Metric „Chlorophyll a Maximum-Wert“

Tabelle 3-5: Klassenobergrenzen der Kenngröße Chlorophyll a-Maximum-Wert und seine Bewertung.

Seetyp	1 und 2+3	4
Parameter	Chlorophyll a-Max-Wert in µg/l	
Bewertungs-funktion	$Y3 = 1,5378 \times \text{Ln}(x) - 1,3645$	$Y3 = 1,5378 \times \text{Ln}(x) - 0,3645$
H / G	6,44	3,36
G / M	12,34	6,4
M / P	23,65	12,3
P / B	45,32	23,6

Seetyp	11.1 und 12	14
Parameter	Chlorophyll a-Max-Wert in µg/l	
Bewertungs-funktion	$Y3 = 1,5378 \times \text{Ln}(x) - 2,8645$	$Y1 = 1,5378 \times \text{Ln}(x) - 2,3645$
H / G	17	12
G / M	33	24
M / P	63	45
P / B	120	87

Seetyp	10	13	11.2
Parameter	Chlorophyll a-Max-Wert in µg/l		
Bewertungs-funktion	$Y3 = 1,9455 \times \text{Ln}(x) - 3,7668$	$Y3 = 1,7531 \times \text{Ln}(x) - 2,353$	$Y3 = 1,5872 \times \text{Ln}(x) - 3,4035$
H / G	15	9	22
G / M	25	16	41
M / P	42	28	78
P / B	70	50	145

Bewertungswerte kleiner als 0,5 werden gleich Wert 0,5 und Bewertungswerte größer als 5,5 werden gleich dem Wert 5,5 gesetzt.

Um den Saisonwert für diesen Parameter zu erhalten, müssen die Ausgangsdaten schrittweise in folgender Reihenfolge analysiert werden:

- a) Im Fall, dass für mehr als 2 Monate Einzel-Chlorophyll-Werte vorliegen und
- b) der Chlorophyll a-Maximalwert 125% des Saisonmittel-Chlorophyll a-Wertes überschreitet
- c) wird der **Chlorophyll-Max-Wert (x)** durch eine Seetyp-spezifische Formel (s. Berechnungsfunktion in Tabelle 3-5) in den Bewertungswert des Parameters (**Y3**) umgerechnet. Die Zuordnung zu einem Seetyp erfolgt nach Tabelle 3-2. Treffen die Kriterien unter Punkt a und b nicht zu, wird der Chlorophyll-Max-Wert gar nicht gewertet. Zusätzlich werden in Tabelle 3-5 informativ die Klassengrenzen der Zustandsklassen angegeben.

3.3.2 Metric „Algenklassen“

Der Metric „Algenklassen“ setzt sich je nach Seetyp aus 2–3 unterschiedlichen Einzelkenngrößen zusammen. Folgende Einzelkenngrößen werden verwendet:

- Biovolumen der „Cyanobacteria“
- Biovolumen der „Chlorophyceae“
- Biovolumen der „Chlorophyceae + Cryptophyceae“
- Biovolumen der „Dinophyceae + Cyanobacteria“
- Prozentanteil der „Dinophyceae“ am Gesamtbiovolumen
- Prozentanteil der „Chrysophyceae“ am Gesamtbiovolumen

Für den Metric „Algenklassen“ werden je nach Seetyp diese einzeln bewertet und anschließend ein arithmetisches Mittel aus den Einzelindexwerten gebildet.

Um den Bewertungswert für den Parameter zu erhalten, müssen die Ausgangsdaten zuvor in folgender Reihenfolge schrittweise analysiert werden:

- a) Die Biovolumina aller Taxa, die zu einer Algenklasse gehören, werden für jede Probe unter Ausschluss der heterotrophen Organismen aufsummiert. Für einige Einzelkenngrößen werden die Biovolumina von zwei Algenklassen aufsummiert.
- b) Falls mehrere Proben je Termin von mehreren Orten eines Wasserkörpers vorliegen, werden diese pro Probetermin gemittelt.
- c) Falls mehrere Probestermine in einen Monat fallen, wird ein Monatsmittel gebildet.
- d) Je nach Seetyp und je nach Algenklassen wird aus den Monatsmitteln das Saisonmittel für die Periode April bis einschließlich Oktober gebildet oder für den Zeitraum Juli bis Oktober.
- e) Für einige Einzelkenngrößen ist es nötig, anschließend den prozentualen Anteil am Gesamtbiovolumen für diesen Zeitraum zu errechnen.
- f) Für jeden Seetyp und jede Algenklasse gibt es zumeist unterschiedliche Grenzwerte für die ökologischen Zustandsklassen (s. Tabelle 3-6 bis Tabelle 3-12). Im Fall der Cyanobacteria in Seen der Alpenregion (Typ 1,2,3 und 4) und im Fall der Chlorophyceae in Tieflandseen des Typs 12 und 14 liegt nur ein Grenzwert ausschließlich zur Beschreibung des schlechten Zustands vor. Liegt der Parameterwert darunter, findet keine Wertung statt.

Zur Bewertung der anderen Parameter wird der Algenklassenwert (x) durch eine Seetyp-spezifische Formel in den Bewertungswert des Parameters (Y) umgerechnet, und damit alle fünf ökologischen Zustandsklassen kontinuierlich mit einem Indexwert zwischen 0,5 und 5,5 bewertet. Die Zuordnung nach einem Seetyp erfolgt nach Tabelle 3-2.

- g) Um das Index-Ergebnis des Metric „Algenklassen“ zu berechnen, wird das arithmetische Mittel aus allen verwendbaren Einzelkenngrößen je Seetyp gebildet.

Tabelle 3-6: Seetyp-spezifische Grenzwerte der Einzelkenngrößen des Metrics „Algenklassen“ und ihre Berechnungsfunktionen für die Seetypen 1, 2 und 3 (Voralpenseen).

Algenklasse	Cyanobacteria	Chlorophyceae + Cryptophyceae
Datentyp für x	Biovolumen mm ³ /l	Biovolumen mm ³ /l
Bewertungsperiode	Apr–Okt	Apr–Okt
H / G	----	0,14
G / M	----	0,34
M / P	----	0,80
P / B	3	1,86
Bewertungs-funktion	wenn > 3 dann = 5 sonst kein Wert	$y = 1,1752\text{Ln}(x) + 3,7679$

Tabelle 3-7: Seetyp-spezifische Grenzwerte der Einzelkenngrößen des Metrics „Algenklassen“ und ihre Berechnungsfunktionen für Seetyp 4 (Alpenseen).

Algenklasse	Cyanobacteria	Chlorophyceae + Cryptophyceae	Dinophyceae
Datentyp für x	Biovolumen mm ³ /l	Biovolumen mm ³ /l	%
Bewertungsperiode	Apr–Okt	Apr–Okt	Jul–Okt
H / G	----	0,12	17,1
G / M	----	0,27	9,5
M / P	----	0,60	5,2
P / B	1	1,35	2,9
Bewertungs-funktion	wenn > 1 dann = 5 sonst kein Wert	$y = 1,2407\text{Ln}(x) + 4,1292$	$y = -1,6962\text{Ln}(x) + 6,3161$

Bewertungswerte kleiner als 0,5 werden gleich Wert 0,5 und Bewertungswerte größer als 5,5 werden gleich dem Wert 5,5 gesetzt. Erst danach werden die Einzelkenngrößen gemittelt!

Tabelle 3-8: Seetyp-spezifische Grenzwerte der Einzelkenngrößen des Metrics „Algenklassen“ und Berechnungsfunktionen für Seetyp 10 und 13.

Algenklasse	Chrysophyceae	Chlorophyceae	Dinophyceae + Cyanobacteria
Datentyp für x	%	Biovolumen mm ³ /l	Biovolumen mm ³ /l
Bewertungsperiode	Apr–Okt	Jul–Okt	Jul–Okt
H / G	2,5	0,11	0,9
G / M	1,2	0,20	2,0
M / P	0,6	0,38	4,4
P / B	0,3	0,72	10
Bewertungs-funktion	$y = -1,4174\text{Ln}(x) + 2,7817$	$y = 1,5582\text{Ln}(x) + 5,0098$	$y = 1,248\text{Ln}(x) + 1,6359$

Tabelle 3-9: Seetyp-spezifische Grenzwerte der Einzelkenngrößen des Metrics „Algenklassen“ und ihre Berechnungsfunktionen für Seetyp 11.1.

Algenklasse	Cyanobacteria
Datentyp für x	Biovolumen mm ³ /l
Bewertungsperiode	Jul–Okt
H / G	1,5
G / M	3,0
M / P	6,0
P / B	12,0
Bewertungs-funktion	$y = 1,4531\text{Ln}(x) + 0,8916$

Tabelle 3-10: Seetyp-spezifische Grenzwerte der Einzelkenngrößen für den Algenklassen-Index und ihre Berechnungsfunktionen für Seetyp 11.2.

Algenklasse	Dinophyceae	Chlorophyceae	Cyanobacteria
Datentyp für x	%	Biovolumen mm ³ /l	Biovolumen mm ³ /l
Bewertungsperiode	Jul–Okt	Jul–Okt	Jul–Okt
H / G	10	0,15	1,5
G / M	5	0,4	3,5
M / P	2,5	1,12	8
P / B	1,25	3	19
Bewertungs-funktion	$y = -1,4427\text{Ln}(x) + 4,8219$	$y = 0,9982\text{Ln}(x) + 3,3997$	$y = 1,1842\text{Ln}(x) + 1,0217$

Bewertungswerte kleiner als 0,5 werden gleich Wert 0,5 und Bewertungswerte größer als 5,5 werden gleich dem Wert 5,5 gesetzt. Erst danach werden die Einzelkenngrößen gemittelt!

Tabelle 3-11: Seetyp-spezifische Grenzwerte der Einzelkenngrößen für den Algenklassen-Index und ihre Berechnungsfunktionen für Seetyp 12 (Flusseen).

Algenklasse	Chlorophyceae	Cyanobacteria
Datentyp für x	Biovolumen mm ³ /l	Biovolumen mm ³ /l
Bewertungsperiode	Jul–Okt	Jul–Okt
H / G	----	1,94
G / M	----	3,91
M / P	----	7,9
P / B	> 1	16
Bewertungs-funktion	wenn > 1 dann = 5 sonst kein Wert	$y = 1,4219\ln(x) + 0,5595$

Tabelle 3-12: Seetyp-spezifische Grenzwerte der Einzelkenngrößen für den Algenklassen-Index und ihre Berechnungsfunktionen für Seetyp 14.

Algenklasse	Dinophyceae + Cyanobacteria	Chlorophyceae
Datentyp für x	Biovolumen mm ³ /l	Biovolumen mm ³ /l
Bewertungsperiode	Jul–Okt	Jul–Okt
H / G	1,1	----
G / M	2,29	----
M / P	4,75	----
P / B	9,9	> 1
Bewertungs-funktion	$y = 1,3659\ln(x) + 1,3696$	wenn > 1 dann = 5 sonst „nichts“

Bewertungswerte kleiner als 0,5 werden gleich Wert 0,5 und Bewertungswerte größer als 5,5 werden gleich dem Wert 5,5 gesetzt. Erst danach werden die Einzelkenngrößen gemittelt!

3.3.3 Bewertung nach Indikatortaxa (Phytoplankton-Taxa-Seen-Index = PTSI)

Die Bewertung von Seen anhand des PTSI erfolgt in **2 Schritten**:

1. Schritt: Trophische Klassifizierung (oligotroph bis hypertroph) von Seen auf Basis von Indikatortaxa. Der Index ist in seiner mathematischen Dimension und der Bedeutung hinsichtlich des trophischen Status direkt mit dem LAWA-Index für Seen (Ist-Zustands-Bewertung nach LAWA 1999) vergleichbar.

2. Schritt: Bewertung auf Basis des PTSI. Hierzu wird der Index mit dem Seetyp-spezifischen Trophie-Referenzwert (Details s. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und Tabelle 3-16) verglichen. Die numerische Abweichung von der Referenzsituation wird transformiert in einer Bewertungszahl (EQ = ecological quality) zwischen 0,5 und 5,5 wiedergegeben.

Vorbereitung:

Zunächst muss für den zu bewertenden See die richtige Indikatorliste ausgewählt werden. Es stehen bisher drei Listen gemäß Tabelle 3-13 zur Verfügung. Die Listen sind der Tabelle 3-17 jeweils mit den taxonspezifischen Trophieankerwerten und Gewichtungsfaktoren (= „Stenökiefaktor“) zu entnehmen.

Tabelle 3-13: Seetypen nach Mathes et al. (2002) und die für den PTSI gültige Indikatorliste.

Seetyp nach LAWA	gültige Indikatorliste	verwendete Abkürzung
1, 2, 3 und 4	Liste für Alpen- und Voralpenseen	AVA
10 und 13	Liste für geschichtete Seen des norddeutschen Tieflands	TLgesch
11, 12 und 14	Liste für polymiktische Seen der norddeutschen Tieflands	TLpoly

(Die Trophieankerwerte sowie die Stenökiefaktoren der Indikatorlista sind der Tabelle 3-17 zu entnehmen.)

Für Mittelgebirgsseen liegt derzeit keine eigene Indikatorliste vor. Für ein provisorisches Ergebnis kann z.B. mit der AVA-Liste gearbeitet werden.

zu Schritt 1: Trophische Klassifizierung

Der PTSI wird für jeden Probenbefund einzeln errechnet. Hierzu werden den Indikatorlista in der Befundliste jeweils die taxonspezifischen Trophieanker- und Stenökiewerte aus der Tabelle 3-17 zugeordnet. Die Berücksichtigung der Abundanz des Indikatorlistaxons in der Probe erfolgt in Form von Abundanzklassen. Die Taxonbiovolumina werden nach Tabelle 3-14 in die 8 Abundanzklassen umgewandelt.

Die Berechnung des PTSI pro Probe erfolgt in der für die bekannten limnologischen Indices z.B. Saprobienindex nach DIN 38410 oder Diatomeenindex nach Hofmann (Schaumburg et al. 2004) üblichen Weise auf Basis eines Probenbefundes:

$$PTSI = \frac{\sum (Abundanzklasse_i \times TAW_i \times Stenökiefaktor_i)}{\sum (Abundanzklasse_i \times Stenökiefaktor_i)}$$

PTSI = Phytoplankton-Taxa-Seen-Index pro Probe

Abundanzklasse_i = Abundanzklasse des i-tes Taxons in der Probe, Biovolumenklassen nach Tabelle 3-14.

TAW_i = Trophieankerwert des i-ten Indikatorlistaxons

Stenökiefaktor_i = Stenökiefaktor des i-ten Indikatorlistaxons

Für die trophische Klassifizierung eines Seenjahrens, in dem die Einzeltermine möglichst gleichmäßig verteilt liegen sollten, ist eine arithmetische Mittelung durchzuführen. Zur trophischen Beschreibung eines Seejahres mit dem PTSI müssen mindestens 4 und sollten im Regelfall 6 Probenahmetermine vorliegen. Anhand des PTSI pro Probe oder des Jahres kann gemäß Tabelle 3-15 der trophische Status des Sees ermittelt werden.

Tabelle 3-14: Bildung von Abundanzklassen des Biovolumens eines Indikatorntaxons zur Verrechnung im PTSI.

Klassen Biovolumen (mm ³ /l)	Abundanzklasse
≤ 0,0001	1
> 0,0001–0,001	2
> 0,001–0,01	3
> 0,01–0,1	4
> 0,1–1	5
> 1–5	6
> 5–25	7
> 25	8

Tabelle 3-15: Ermittlung des trophischen Status des Sees anhand des PTSI (Wertebereiche und trophischer Status entsprechen der LAWA-Trophieklassifizierung 1999).

PTSI	Trophieklasse	Abkürzung
0,5–1,5	oligotroph	o
> 1,5–2,0	mesotroph 1	m1
> 2,0–2,5	mesotroph 2	m2
> 2,5–3,0	eutroph 1	e1
> 3,0–3,5	eutroph 2	e2
> 3,5–4,0	polytroph 1	p1
> 4,0–4,5	polytroph 2	p2
> 4,5	hypertroph	h

zu Schritt 2: Bewertung nach EG-WRRL unter Berücksichtigung der Seetyp-spezifischen Referenztrophi

Anhand der Abweichung des Jahres-PTSI von der Referenztrophi – mathematisch als Differenz errechnet – kann die ökologische Zustandsklasse gemäß WRRL bzw. ein kontinuierlicher PTSI-Bewertungswert (= EQ = ecological quality) zwischen 0,5 und 5,5 ermittelt werden. Dieser kann direkt mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\text{EQ PTSI} = 0,5 + (\text{PTSI} - \text{trophischer Referenzwert}) \times 2$$

In sehr seltenen Fällen treten EQ-PTSI-Werte kleiner als 0,5 und größer als 5,5 auf. Diese werden auf den PTSI-Wert 0,5 herauf- bzw. auf 5,5 herabgesetzt. Anhand der Tabelle 3-16

kann ein Zuordnung in die ökologischen Zustandsklassen der WRRL (= ecological quality class) erfolgen.

Die Grenzen einer sinnvollen Trophie-Indikation mit dem beschriebenen Verfahren liegen bei mindestens vier Indikatortaxa/Probe im Jahresmittel und bei mindestens vier bewerteten Probetermen pro Untersuchungsjahr. Bei Nichterfüllung eines der beiden Kriterien ist das Index-Ergebnis lediglich als Orientierung anzusehen.

Tabelle 3-16: Referenztrophie in den Seetypen sowie die Klassenobergrenzen des LAWA-Index und PTSI hinsichtlich ökologischer Zustandsklasse.

	See(sub-)typ der Phytoplanktonbewertung (nach Lage der Referenztrophie sortiert)									
	4	1	2+3	13	10.1	10.2	14	11.1	12	11.2
trophischer Referenzwert (LAWA/PTSI)	0,75	1,25	1,25	1,25	1,50	1,75	1,75	2,00	2,00	2,25
Klassengrenzen zwischen den 5 ökologischen Zustandsklassen										
sehr gut/gut	1,25	1,75	1,75	1,75	2,00	2,25	2,25	2,50	2,50	2,75
gut/mäßig	1,75	2,25	2,25	2,25	2,50	2,75	2,75	3,00	3,00	3,25
mäßig/unbefriedigend	2,25	2,75	2,75	2,75	3,00	3,25	3,25	3,50	3,50	3,75
unbefriedigend/schlecht	2,75	3,25	3,25	3,25	3,50	3,75	3,75	4,00	4,00	4,25

Tabelle 3-17: Indikatorliste des PTSI mit Trophieankerwerten (TAW) und Stenökiefaktoren für die drei Seetypengruppen.

Taxon Code Nr.	Klasse	Taxonname	geschichtete TL Seetyp 10 & 13		polymiktische TL Seetyp 11, 12 & 14		Alpen- und Voralpenseen Seetyp 1, 2, 3 & 4	
			TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor
10	Bacillariophyceae	Acanthoceras	2,10	1	3,94	2		
1	Bacillariophyceae	Acanthoceras zachariasii	2,10	1	3,94	2		
8	Bacillariophyceae	Actinocyclus			4,95	3		
7	Bacillariophyceae	Actinocyclus normanii			4,95	3		
12	Bacillariophyceae	Amphora ovalis					0,82	2
73	Bacillariophyceae	Asterionella			2,18	1		
72	Bacillariophyceae	Asterionella formosa			2,18	1		
75	Bacillariophyceae	Aulacoseira ambigua	2,81	1	5,68	2	3,35	3
78	Bacillariophyceae	Aulacoseira granulata	3,97	1	4,35	1	2,95	1
79	Bacillariophyceae	Aulacoseira granulata var. angustissima	3,97	1	4,35	1	2,95	1
77	Bacillariophyceae	Aulacoseira granulata var. curvata	3,97	1	4,35	1	2,95	1
81	Bacillariophyceae	Aulacoseira islandica	2,55	2			1,11	1
84	Bacillariophyceae	Aulacoseira subarctica					1,74	2
247	Bacillariophyceae	Cyclostephanos dubius	3,59	2	4,77	2		
248	Bacillariophyceae	Cyclostephanos invisitatus	3,55	1	5,46	1		
251	Bacillariophyceae	Cyclotella bodanica					0,95	2
252	Bacillariophyceae	Cyclotella comensis	0,65	2	1,01	2	0,88	2
254	Bacillariophyceae	Cyclotella cyclopuncta					1,32	1
255	Bacillariophyceae	Cyclotella delicatula					0,91	1
256	Bacillariophyceae	Cyclotella distinguenda					1,72	1
257	Bacillariophyceae	Cyclotella distinguenda var. unipunctata					1,72	1
258	Bacillariophyceae	Cyclotella glomerata					0,67	2
870	Bacillariophyceae	Cyclotella krammeri	0,68	2				
260	Bacillariophyceae	Cyclotella meneghiniana	2,44	2	4,45	1		
261	Bacillariophyceae	Cyclotella ocellata	1,60	2	0,93	2	2,50	1
262	Bacillariophyceae	Cyclotella pseudostelligera	2,91	1			1,02	4
264	Bacillariophyceae	Cyclotella radiosa	2,76	2	1,45	1		
872	Bacillariophyceae	Cyclotella tripartita	0,66	2				
269	Bacillariophyceae	Cymatopleura solea					0,72	2
283	Bacillariophyceae	Diatoma tenuis	3,11	1	2,91	1	1,16	2
284	Bacillariophyceae	Diatoma vulgare					0,79	2
336	Bacillariophyceae	Fragilaria capucina	1,91	1	1,25	2	1,39	2
337	Bacillariophyceae	Fragilaria capucina radians - Sippen	1,91	1	1,25	2	1,39	2
338	Bacillariophyceae	Fragilaria capucina var. gracilis	1,91	1	1,25	2	1,39	2
1169	Bacillariophyceae	Fragilaria capucina var. vaucheriae	1,91	1	1,25	2	1,39	2
341	Bacillariophyceae	Fragilaria construens	1,79	1	2,74	1		
1170	Bacillariophyceae	Fragilaria construens f. venter	1,79	1	2,74	1		
342	Bacillariophyceae	Fragilaria crotonensis	1,84	1	1,98	1		
343	Bacillariophyceae	Fragilaria cyclopum					1,19	3
348	Bacillariophyceae	Fragilaria ulna			2,70	1		
349	Bacillariophyceae	Fragilaria ulna angustissima - Sippen	3,63	1	4,05	1		
350	Bacillariophyceae	Fragilaria ulna danica - Sippen					1,19	4
352	Bacillariophyceae	Fragilaria ulna var. ulna					1,19	1
393	Bacillariophyceae	Gyrosigma attenuatum					1,59	2
446	Bacillariophyceae	Melosira varians			3,60	2		
494	Bacillariophyceae	Nitzschia acicularis -Formenkreis			4,30	1		
504	Bacillariophyceae	Nitzschia palea					0,99	1
505	Bacillariophyceae	Nitzschia sigmaidea	1,16	2	2,11	1		
626	Bacillariophyceae	Rhizosolenia longiseta	1,25	2				
994	Bacillariophyceae	Skeletonema potamos			5,07	3		
896	Bacillariophyceae	Stephanocostis chantaica	0,71	2				
717	Bacillariophyceae	Stephanodiscus alpinus	2,71	1	2,02	1		
719	Bacillariophyceae	Stephanodiscus binderanus	3,01	2			1,04	1
721	Bacillariophyceae	Stephanodiscus hantzschii	2,16	1			2,97	3
723	Bacillariophyceae	Stephanodiscus minutulus	2,07	2	2,32	1		
725	Bacillariophyceae	Stephanodiscus neoastreae	1,94	1	2,62	1	1,70	3
742	Bacillariophyceae	Tabellaria fenestrata	0,74	3	0,93	2	1,65	2
743	Bacillariophyceae	Tabellaria flocculosa	0,97	2			1,26	3
5	Chlorophyceae	Actinastrum hantzschii	4,60	1	5,05	1		

Fortsetzung a von Tabelle 3-17: Indikatorliste des PTSI mit Trophieankerwerten (TAW) und Stenökiefaktoren für die drei Seetypengruppen.

Taxon Code Nr.	Klasse	Taxonname	geschichtete TL Seetyp 10 & 13		polymiktische TL Seetyp 11, 12 & 14		Alpen- und Voralpenseen Seetyp 1, 2, 3 & 4	
			TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor
45	Chlorophyceae	Ankistrodesmus					3,00	2
39	Chlorophyceae	Ankistrodesmus bibraianus					3,00	2
41	Chlorophyceae	Ankistrodesmus fusiformis					3,00	2
1061	Chlorophyceae	Ankistrodesmus gelifactum					3,00	2
42	Chlorophyceae	Ankistrodesmus gracilis					3,00	2
44	Chlorophyceae	Ankistrodesmus nannoselene					3,00	2
46	Chlorophyceae	Ankistrodesmus spiralis					3,00	2
52	Chlorophyceae	Ankyra	3,71	2				
48	Chlorophyceae	Ankyra ancora	3,71	2			2,70	1
49	Chlorophyceae	Ankyra judayi	3,71	2	1,89	1	2,72	2
50	Chlorophyceae	Ankyra lanceolata	3,71	2	1,83	3	2,65	2
94	Chlorophyceae	Botryococcus braunii	0,71	1			0,75	2
100	Chlorophyceae	Carteria	2,05	1	4,40	2	2,75	2
1010	Chlorophyceae	Carteria globulosa	2,05	1	4,40	2	2,75	2
1011	Chlorophyceae	Carteria multifilis	2,05	1	4,40	2	2,75	2
99	Chlorophyceae	Carteria pseudomultifilis	2,05	1	4,40	2	2,75	2
1006	Chlorophyceae	Characium					2,87	2
109	Chlorophyceae	Chlamydocapsa planctonica					2,42	1
122	Chlorophyceae	Chlorella	2,39	1	4,81	1	3,55	2
120	Chlorophyceae	Chlorella ellipsoidea	2,39	1	4,81	1	3,55	2
121	Chlorophyceae	Chlorella pyrenoidosa	2,39	1	4,81	1	3,55	2
123	Chlorophyceae	Chlorella vulgaris	2,39	1	4,81	1	3,55	2
749	Chlorophyceae	Chlorotetraedron incus	4,93	3				
179	Chlorophyceae	Coelastrum astroideum	2,86	2	3,55	1	3,07	1
181	Chlorophyceae	Coelastrum microporum					2,20	2
183	Chlorophyceae	Coelastrum pseudomicroporum					2,87	2
184	Chlorophyceae	Coelastrum reticulatum	1,89	3			2,37	1
213	Chlorophyceae	Crucigenia			2,05	1		
210	Chlorophyceae	Crucigenia fenestrata			2,05	1		
212	Chlorophyceae	Crucigenia quadrata			2,05	1	2,85	4
214	Chlorophyceae	Crucigenia tetrapedia	4,87	1	2,05	1	2,80	1
215	Chlorophyceae	Crucigeniella apiculata			4,73	4		
217	Chlorophyceae	Crucigeniella rectangularis	1,99	1			1,41	2
288	Chlorophyceae	Dictyosphaerium ehrenbergianum	4,01	2				
289	Chlorophyceae	Dictyosphaerium pulchellum	2,27	1	2,25	1		
291	Chlorophyceae	Dictyosphaerium tetrachotomum	0,95	1				
320	Chlorophyceae	Eudorina elegans			4,59	2	2,77	2
366	Chlorophyceae	Golenkinia radiata	4,23	1			3,30	1
420	Chlorophyceae	Lagerheimia ciliata	3,83	1			3,12	1
422	Chlorophyceae	Lagerheimia genevensis	3,15	1				
425	Chlorophyceae	Lagerheimia subsalsa					3,02	1
450	Chlorophyceae	Micractinium pusillum	3,29	1			3,45	2
469	Chlorophyceae	Monoraphidium griffithii			5,34	1	3,05	1
471	Chlorophyceae	Monoraphidium komarkovae	2,33	1	5,09	3	1,77	1
472	Chlorophyceae	Monoraphidium minutum	3,90	2	2,82	2	3,60	2
490	Chlorophyceae	Nephrocytium agardhianum					1,76	2
513	Chlorophyceae	Oocystis borgei			5,01	1		
514	Chlorophyceae	Oocystis lacustris			2,70	1		
515	Chlorophyceae	Oocystis marssonii	2,22	2			3,15	1
527	Chlorophyceae	Pandorina morum			4,55	2		
535	Chlorophyceae	Pediastrum duplex					3,02	2
536	Chlorophyceae	Pediastrum duplex var. gracillimum					3,02	2
539	Chlorophyceae	Pediastrum simplex			4,91	1	2,60	2
541	Chlorophyceae	Pediastrum tetras					3,05	3
565	Chlorophyceae	Phacotus			4,89	1		
563	Chlorophyceae	Phacotus lendneri			4,89	1	2,30	1
564	Chlorophyceae	Phacotus lenticularis			4,89	1		
614	Chlorophyceae	Quadrigula pfitzeri	0,78	2	0,93	4		

Fortsetzung b von Tabelle 3-17: Indikatorliste des PTSI mit Trophieankerwerten (TAW) und Stenökiefaktoren für die drei Seetypengruppen.

Taxon Code Nr.	Klasse	Taxonname	geschichtete TL Seetyp 10 & 13		polymiktische TL Seetyp 11, 12 & 14		Alpen- und Voralpenseen Seetyp 1, 2, 3 & 4	
			TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor
676	Chlorophyceae	Scenedesmus					3,25	1
638	Chlorophyceae	Scenedesmus aculeolatus					3,25	1
639	Chlorophyceae	Scenedesmus acuminatus	4,97	1	5,11	2	3,25	1
641	Chlorophyceae	Scenedesmus acutus			6,06	1	3,25	1
1065	Chlorophyceae	Scenedesmus arcuatus					3,25	1
644	Chlorophyceae	Scenedesmus arthrodesmiformis					3,25	1
1211	Chlorophyceae	Scenedesmus bernardii					3,25	1
645	Chlorophyceae	Scenedesmus bicaudatus			0,99	1	3,25	1
647	Chlorophyceae	Scenedesmus brasiliensis					3,25	1
650	Chlorophyceae	Scenedesmus costato-granulatus	0,76	2			3,25	1
1212	Chlorophyceae	Scenedesmus dispar					3,25	1
655	Chlorophyceae	Scenedesmus ecornis					3,25	1
661	Chlorophyceae	Scenedesmus lefevrii					3,25	1
662	Chlorophyceae	Scenedesmus linearis	3,42	2			1,63	1
663	Chlorophyceae	Scenedesmus longispina					3,25	1
666	Chlorophyceae	Scenedesmus obtusus					3,25	1
667	Chlorophyceae	Scenedesmus opoliensis	4,99	2	5,15	1		
1101	Chlorophyceae	Scenedesmus ovalternus					3,25	1
669	Chlorophyceae	Scenedesmus quadricauda					3,25	1
672	Chlorophyceae	Scenedesmus semipulcher					3,25	1
673	Chlorophyceae	Scenedesmus sempervirens					3,25	1
675	Chlorophyceae	Scenedesmus serratus					3,25	1
1102	Chlorophyceae	Scenedesmus smithii					3,25	1
1033	Chlorophyceae	Scenedesmus spinosus					3,25	1
677	Chlorophyceae	Scenedesmus subspicatus					3,25	1
678	Chlorophyceae	Scenedesmus tenuispina					3,25	1
679	Chlorophyceae	Scenedesmus verrucosus			1,64	1		
683	Chlorophyceae	Schroederia	3,79	1	2,15	1	2,47	1
990	Chlorophyceae	Schroederia nitzschoides	3,79	1	2,15	1	2,47	1
682	Chlorophyceae	Schroederia setigera	3,79	1	2,15	1	2,47	1
991	Chlorophyceae	Schroederia spiralis	3,79	1	2,15	1	2,47	1
746	Chlorophyceae	Tetrachlorella alternans	0,72	1			1,80	3
748	Chlorophyceae	Tetraedron caudatum			4,85	1		
751	Chlorophyceae	Tetraedron minimum			3,83	1		
764	Chlorophyceae	Tetrastrum staurogeniaeforme			3,17	1		
765	Chlorophyceae	Tetrastrum triangulare	4,07	1	4,20	1	1,59	1
814	Chlorophyceae	Volvox					2,52	3
812	Chlorophyceae	Volvox aureus					2,52	3
813	Chlorophyceae	Volvox globator					2,52	3
815	Chlorophyceae	Willea irregularis					1,37	2
817	Chlorophyceae	Willea wilhelmii	1,03	3				
848	Choanoflagellata	Stelaxomonas dichotoma					2,05	3
90	Chrysophyceae	Bitrichia chodatii	0,70	3			0,86	3
142	Chrysophyceae	Chrysamoeba	0,92	2				
151	Chrysophyceae	Chrysolykos planctonicus					1,33	1
152	Chrysophyceae	Chrysolykos skujae					0,77	2
306	Chrysophyceae	Dinobryon			1,45	1		
296	Chrysophyceae	Dinobryon bavaricum	1,65	1	1,04	1	1,95	1
297	Chrysophyceae	Dinobryon crenulatum	0,80	1				
298	Chrysophyceae	Dinobryon cylindricum	0,90	1	0,98	1		
299	Chrysophyceae	Dinobryon divergens	1,08	1	1,69	1	1,18	1
300	Chrysophyceae	Dinobryon divergens var. schauinslandii	1,08	1	1,69	1	1,18	1
302	Chrysophyceae	Dinobryon sertularia	1,15	2			2,22	1
303	Chrysophyceae	Dinobryon sociale	1,70	1	1,75	1	1,61	1
304	Chrysophyceae	Dinobryon sociale var. americana	1,70	1	1,75	1	1,61	1
305	Chrysophyceae	Dinobryon sociale var. stipitatum	1,70	1	1,75	1	1,61	1
438	Chrysophyceae	Mallomonas akrokomos					2,90	2
439	Chrysophyceae	Mallomonas caudata	2,60	1			2,25	2

Fortsetzung c von Tabelle 3-17: Indikatorliste des PTSI mit Trophieankerwerten (TAW) und Stenökiefaktoren für die drei Seetypengruppen.

Taxon Code Nr.	Klasse	Taxonname	geschichtete TL Seetyp 10 & 13		polymiktische TL Seetyp 11, 12 & 14		Alpen- und Voralpenseen Seetyp 1, 2, 3 & 4	
			TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor
512	Chrysophyceae	Ochromonas	1,74	1				
508	Chrysophyceae	Ochromonas globosa	1,74	1				
509	Chrysophyceae	Ochromonas nana	1,74	1				
510	Chrysophyceae	Ochromonas ornata	1,74	1				
511	Chrysophyceae	Ochromonas sphaerella	1,74	1				
599	Chrysophyceae	Pseudokephyron entzii			1,50	1		
601	Chrysophyceae	Pseudopedinella erkensis					1,25	1
850	Chrysophyceae	Stichogloea doederleinii	0,66	2				
740	Chrysophyceae	Synura	3,20	3	2,08	1		
1311	Chrysophyceae	Synura sphagnicola	3,20	3	2,08	1		
741	Chrysophyceae	Synura uvella	3,20	3			3,00	3
811	Chrysophyceae	Uroglena	1,30	1			1,82	1
810	Chrysophyceae	Uroglena americana	1,30	1			1,82	1
158	Conjugatophyceae	Closterium aciculare	2,02	1	3,72	1	1,90	2
159	Conjugatophyceae	Closterium acutum	4,40	1	1,41	1	2,40	2
160	Conjugatophyceae	Closterium acutum var. linea			6,04	2		
161	Conjugatophyceae	Closterium acutum var. variabile			1,95	1	2,95	2
168	Conjugatophyceae	Closterium limneticum			3,99	2	3,10	1
172	Conjugatophyceae	Closterium pronum			5,23	1		
198	Conjugatophyceae	Cosmarium bioculatum	0,65	1			2,35	1
199	Conjugatophyceae	Cosmarium depressum					1,68	2
200	Conjugatophyceae	Cosmarium depressum var. planctonicum					1,68	2
477	Conjugatophyceae	Mougeotia	2,96	2	2,78	1	2,45	1
478	Conjugatophyceae	Mougeotia thylespora	2,96	2	2,78	1	2,45	1
479	Conjugatophyceae	Mougeotia viridis	2,96	2	2,78	1	2,45	1
708	Conjugatophyceae	Staurastrum gracile	3,34	1	5,68	4		
709	Conjugatophyceae	Staurastrum gracile var. nanum	3,34	1	5,68	4		
710	Conjugatophyceae	Staurastrum paradoxum			4,99	2	2,92	2
711	Conjugatophyceae	Staurastrum pingue	1,34	2				
713	Conjugatophyceae	Staurastrum tetracerum	1,03	2	1,86	1	3,50	2
236	Cryptophyceae	Cryptomonas 30-35µm			3,36	1	2,00	2
237	Cryptophyceae	Cryptomonas 35-40µm			3,36	1	2,00	2
238	Cryptophyceae	Cryptomonas 40-45µm			3,36	1	2,00	2
239	Cryptophyceae	Cryptomonas 45-50µm			3,36	1	2,00	2
240	Cryptophyceae	Cryptomonas 50-55µm			3,36	1	2,00	2
241	Cryptophyceae	Cryptomonas 55-60µm			3,36	1	2,00	2
220	Cryptophyceae	Cryptomonas curvata			3,36	1	2,00	2
221	Cryptophyceae	Cryptomonas erosa	1,81	1				
222	Cryptophyceae	Cryptomonas erosa/ovata/phaseolus	1,81	1				
225	Cryptophyceae	Cryptomonas ovata	1,81	1				
226	Cryptophyceae	Cryptomonas phaseolus	1,81	1				
228	Cryptophyceae	Cryptomonas rostratiformis			3,36	1	2,00	2
17	Cyanobacteria	Anabaena circinalis	3,25	2	5,20	2		
18	Cyanobacteria	Anabaena compacta			6,11	2		
19	Cyanobacteria	Anabaena crassa			3,00	4		
21	Cyanobacteria	Anabaena flos-aquae					1,35	1
941	Cyanobacteria	Anabaena flos-aquae/ A. perturbata					1,35	1
24	Cyanobacteria	Anabaena lemmermannii	1,50	1				
26	Cyanobacteria	Anabaena planctonica					2,97	2
29	Cyanobacteria	Anabaena solitaria					1,35	1
32	Cyanobacteria	Anabaena spiroides			4,50	1	1,10	1
1268	Cyanobacteria	Anabaena viguieri			6,12	3		
38	Cyanobacteria	Anabaenopsis	4,72	1	6,12	2		
35	Cyanobacteria	Anabaenopsis arnoldii	4,72	1	6,12	2		
37	Cyanobacteria	Anabaenopsis elenkinii	4,72	1	6,12	2		
58	Cyanobacteria	Aphanizomenon			3,88	1	2,75	1
54	Cyanobacteria	Aphanizomenon flos-aquae			3,88	1	2,67	2
55	Cyanobacteria	Aphanizomenon gracile	3,38	1	3,88	1	2,85	2
56	Cyanobacteria	Aphanizomenon issatschenkoi	4,17	2	3,88	1		

Fortsetzung d von Tabelle 3-17: Indikatorliste des PTSI mit Trophieankerwerten (TAW) und Stenökiefaktoren für die drei Seetypengruppen.

Taxon Code Nr.	Klasse	Taxonname	geschichtete TL Seetyp 10 & 13		polymiktische TL Seetyp 11, 12 & 14		Alpen- und Voralpenseen Seetyp 1, 2, 3 & 4	
			TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor
64	Cyanobacteria	Aphanocapsa			1,34	1		
59	Cyanobacteria	Aphanocapsa delicatissima			1,34	1	1,63	1
60	Cyanobacteria	Aphanocapsa elachista			1,34	1	2,17	1
861	Cyanobacteria	Aphanocapsa grevillei			1,34	1		
61	Cyanobacteria	Aphanocapsa holsatica			1,34	1		
62	Cyanobacteria	Aphanocapsa incerta			1,34	1		
63	Cyanobacteria	Aphanocapsa reinboldii			1,34	1		
66	Cyanobacteria	Aphanothece clathrata	1,10	2	0,92	1	1,61	1
134	Cyanobacteria	Chroococcus limneticus	0,82	1	1,59	1	1,13	2
135	Cyanobacteria	Chroococcus minutus	1,00	1			1,14	2
137	Cyanobacteria	Chroococcus turgidus					0,63	2
187	Cyanobacteria	Coelosphaerium kuetzingianum	1,12	1				
246	Cyanobacteria	Cyanodictyon	1,28	2				
244	Cyanobacteria	Cyanodictyon imperfectum	1,28	2				
245	Cyanobacteria	Cyanodictyon planctonicum	1,28	2				
1287	Cyanobacteria	Cyanodictyon reticulatum	1,28	2				
267	Cyanobacteria	Cylindrospermopsis raciborskii	4,80	2	4,97	1		
365	Cyanobacteria	Gloeotrichia echinulata	1,86	1				
375	Cyanobacteria	Gomphosphaeria			3,26	1		
370	Cyanobacteria	Gomphosphaeria aponina			3,26	1		
975	Cyanobacteria	Gomphosphaeria natans			3,26	1		
427	Cyanobacteria	Leptolyngbya tenuis					1,23	2
431	Cyanobacteria	Limnithrix planctonica	4,20	3	5,40	4		
432	Cyanobacteria	Limnithrix redekei	4,04	1	4,68	2	4,25	2
448	Cyanobacteria	Merismopedia	1,56	1	5,13	1	2,55	1
879	Cyanobacteria	Merismopedia elegans	1,56	1	5,13	1	2,55	1
931	Cyanobacteria	Merismopedia glauca	1,56	1	5,13	1	2,55	1
920	Cyanobacteria	Merismopedia minima	1,56	1	5,13	1	2,55	1
1020	Cyanobacteria	Merismopedia punctata	1,56	1	5,13	1	2,55	1
449	Cyanobacteria	Merismopedia tenuissima	1,56	1	5,13	1	2,55	1
452	Cyanobacteria	Microcystis aeruginosa	3,06	1	2,28	1	3,20	2
455	Cyanobacteria	Microcystis flos-aquae	3,75	1			2,82	1
460	Cyanobacteria	Microcystis viridis	2,50	2	2,36	2		
462	Cyanobacteria	Microcystis wesenbergii			4,25	1	4,50	2
524	Cyanobacteria	Oscillatoria			3,45	1		
525	Cyanobacteria	Oscillatoria trichoides			3,45	1		
579	Cyanobacteria	Planktolyngbya contorta			6,05	1	3,70	2
580	Cyanobacteria	Planktolyngbya limnetica	3,51	2	5,18	1	3,65	2
584	Cyanobacteria	Planktothrix agardhii	4,14	1	5,03	1		
586	Cyanobacteria	Planktothrix rubescens					1,55	2
594	Cyanobacteria	Pseudanabaena catenata	3,86	4				
596	Cyanobacteria	Pseudanabaena limnetica	3,94	2	4,64	1	2,32	2
621	Cyanobacteria	Rhabdoderma lineare	1,27	2				
624	Cyanobacteria	Rhabdogloea smithii					2,57	3
694	Cyanobacteria	Snowella	1,06	1	1,10	2	1,57	1
691	Cyanobacteria	Snowella atomus	1,06	1	1,10	2	1,57	1
692	Cyanobacteria	Snowella lacustris	1,06	1	1,10	2	1,57	1
693	Cyanobacteria	Snowella litoralis	1,06	1	1,10	2	1,57	1
1307	Cyanobacteria	Snowella septentrionalis	1,06	1			1,57	1
736	Cyanobacteria	Synechococcus					1,25	3
738	Cyanobacteria	Synechococcus cedrorum					1,25	3
820	Cyanobacteria	Woronichinia compacta			5,22	1		
821	Cyanobacteria	Woronichinia naegeliana	2,66	2	5,16	2	2,10	2
102	Dinophyceae	Ceratium cornutum	0,68	3			0,59	3
103	Dinophyceae	Ceratium furcoides	3,67	2	3,08	3		
104	Dinophyceae	Ceratium hirundinella			1,92	1		
390	Dinophyceae	Gymnodinium			2,22	1	1,21	1
383	Dinophyceae	Gymnodinium acuminatum			2,22	1	1,21	1
386	Dinophyceae	Gymnodinium cneocoides			2,22	1		

Fortsetzung e von Tabelle 3-17: Indikatorliste des PTSI mit Trophieankerwerten (TAW) und Stenökiefaktoren für die drei Seetypengruppen.

Taxon Code Nr.	Klasse	Taxonname	geschichtete TL Seetyp 10 & 13		polymiktische TL Seetyp 11, 12 & 14		Alpen- und Voralpenseen Seetyp 1, 2, 3 & 4	
			TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor	TAW	Stenökiefaktor
387	Dinophyceae	Gymnodinium fuscum			2,22	1	1,21	1
877	Dinophyceae	Gymnodinium lacustre			2,22	1	1,21	1
389	Dinophyceae	Gymnodinium lantzschii			2,22	1		
385	Dinophyceae	Gymnodinium uberrimum	1,97	1	2,22	1	0,92	1
886	Dinophyceae	Peridiniopsis			4,89	4		
957	Dinophyceae	Peridiniopsis berolinense			4,89	4		
545	Dinophyceae	Peridiniopsis cunningtonii			4,89	4		
845	Dinophyceae	Peridiniopsis penardiforme			4,89	4		
546	Dinophyceae	Peridiniopsis polonicum			4,89	4		
547	Dinophyceae	Peridinium aciculiferum			4,10	2	2,62	1
548	Dinophyceae	Peridinium bipes					2,27	2
549	Dinophyceae	Peridinium cinctum	1,21	1	4,15	1		
551	Dinophyceae	Peridinium umbonatum var. goslaviense					1,23	1
558	Dinophyceae	Peridinium umbonatum-Komplex					1,23	1
560	Dinophyceae	Peridinium willei	1,18	2	0,94	2	1,05	2
326	Euglenophyceae	Euglena	4,11	1	4,93	1	3,40	1
323	Euglenophyceae	Euglena ehrenbergii	4,11	1	4,93	1	3,40	1
998	Euglenophyceae	Euglena oxyuris	4,11	1	4,93	1	3,40	1
973	Euglenophyceae	Euglena tripteris	4,11	1	4,93	1	3,40	1
327	Euglenophyceae	Euglena variabilis	4,11	1	4,93	1	3,40	1
328	Euglenophyceae	Euglena viridis	4,11	1	4,93	1	3,40	1
566	Euglenophyceae	Phacus longicauda					3,75	1
568	Euglenophyceae	Phacus pyrum	5,00	1	6,04	2		
771	Euglenophyceae	Trachelomonas volvocina					2,15	2
144	Haptophyceae	Chrysochromulina	1,91	1	2,54	1		
143	Haptophyceae	Chrysochromulina parva	1,91	1	2,54	1		
758	Prasinophyceae	Tetraselmis cordiformis					1,26	4
313	Ulvophyceae	Elakatothrix			1,54	1		
311	Ulvophyceae	Elakatothrix gelatinosa	1,23	1	1,54	1		
312	Ulvophyceae	Elakatothrix genevensis			1,54	1		
908	Ulvophyceae	Elakatothrix lacustris			1,54	1		
413	Ulvophyceae	Koliella longiseta	3,47	2	2,87	2		
440	Ulvophyceae	Planctonema					0,94	2
578	Ulvophyceae	Planctonema lauterbornii					0,94	2
852	Xanthophyceae	Trachydiscus sexangulatus	0,65	2				
778	Xanthophyceae	Tribonema	1,30	1	2,66	2		
999	Xanthophyceae	Tribonema aequale	1,30	1	2,66	2		
1314	Xanthophyceae	Tribonema minus	1,30	1	2,66	2		
779	Xanthophyceae	Tribonema vulgare	1,30	1	2,66	2		

3.3.4 Fakultativer Diatomeen-Index, DI-PROF ermittelt aus Profundalproben

Neben den drei obligaten Metrics „Biomasse“, „Algenklassen“ und „PTSI“ kann fakultativ und ergänzend ein weiterer Metric, der DI-PROF, zur Bewertung von Tieflandseen herangezogen werden.

In Fällen, in denen zu wenige Indikatortaxa für den PTSI ermittelt wurden, kann der DI-PROF ergänzende Informationen geben. Die Gesamtbewertung des PSI unter Einbindung des DI-PROF wird im Auswertungsprogramm **PhytoSee** in einem gesonderten Feld ausgegeben.

Der DI-PROF wurde von Schönfelder (2006) entwickelt. Er nutzt die pelagischen Diatomeenreste, die sich in der obersten Schicht des Profundals eines Sees abgelagert haben. Ihr Dominanzwert wird anhand von Diatomeenpräparaten bestimmt (nicht Utermöhl-Technik).

Die Beprobung und Bestimmung der Profundaldiatomeen erfolgt nach den Vorgaben der Beprobungsvorschrift (Anhang Teil 1, 1.3). Dazu muss im Untersuchungszeitraum eine Sedimentprobe von der Sedimentoberfläche (0–1 cm) an der tiefsten Stelle im See entnommen werden.

Die in der Sedimentprobe enthaltenen Diatomeenschalen werden aufbereitet und präpariert. Anhand von Diatomeen-Dauerpräparaten (Einbettung in hochbrechendem Kunstharz) wird im Durchlichtmikroskop bei 1200 facher Vergrößerung mit Ölimmersionsobjektiven einer numerischen Apertur > 1,30 die relative Zusammensetzung der Planktondiatomeen ermittelt. Die ermittelten Dominanzwerte der planktischen Arten (DOM-W_i) werden mit einem Trophieoptimumwert (TO-PROF_i) und einem Gewichtungswert (G-PROF_i), artspezifisch verrechnet, um für jede Probe den Trophieindex für planktische Diatomeen in Profundalproben DI-PROF zu ermitteln. Die Trophieoptimum- und Gewichtungswerte sind der Tabelle 3-19 zu entnehmen. Die genaue Berechnung des DI-PROF einer Probe k erfolgt nach folgender Gleichung:

$$DI - PROF_k = \frac{\sum(\sqrt{DOM - W_{i,k}} \times TO - PROF_i \times G - PROF_i)}{\sum(\sqrt{DOM - W_i} \times G - PROF_i)}$$

DI-PROF_k = Trophieindex für planktische Diatomeen in einer Profundalprobe k

DOM-W_{i,k} = Prozentanteil des i-ten Taxons in der Probe k

TO-PROF_i = Trophieoptimum des i-ten Taxons

G-PROF_i = Gewichtungswert des i-ten Taxons

Anhand der Abweichung des DI-PROF von der Referenztrophie – mathematisch als Differenz errechnet – kann die ökologische Zustandsklasse gemäß WRRL ermittelt werden.

Dabei ist die sehr unterschiedliche und eigens für den DI-PROF zugrunde gelegte Referenztrophie der Seetypen bzw. Subtypen zu beachten (s. Tabelle 3-18).

Tabelle 3-18: Klassengrenzen für die Bewertung norddeutscher glazial entstandener Seen mit dem Planktonmetric DI-PROF nach Schönfelder (2006).

See- typ	Trophie im Referenzzustand	Bewertung mit Prädikat				
		sehr gut	gut	mäßig	unbefriedigend	schlecht
		bei aktuell vorhandenem DI-PROF im Bereich				
13	oligo-mesotroph	< 1,75	1,75...2,24	2,25...2,74	2,75...3,24	> 3,24
10	mesotroph	< 2,25	2,25...2,74	2,75...3,24	3,25...3,74	> 3,74
14	stark mesotroph	< 2,50	2,50...2,99	3,00...3,49	3,50...3,99	> 3,99
11	stark mesotroph	< 2,50	2,50...2,99	3,00...3,49	3,50...3,99	> 3,99
12	eutroph	< 3,25	3,25...3,74	3,75...4,24	4,25...4,74	> 4,74

Tabelle 3-19: Trophieoptimum- (TO-PROF_i) und Gewichtungswerte (G-PROF_i) für den Di-PROF nach Schönfelder (2006) erweitert um zugehörige Sippen in DV-Liste.

DV_Nr	Taxonname nach DV-Liste (Mauch et al. 03)	Optimum (TO-PROF _i)	Gewichtung (G-PROF _i)
16151	<i>Actinocyclus normanii</i>	11,42	0,3
6050	<i>Asterionella formosa</i>	1,19	3,5
6798	<i>Aulacoseira ambigua</i>	7,75	0,9
6785	<i>Aulacoseira granulata</i>	8,62	0,7
16783	<i>Aulacoseira granulata var. curvata</i>	8,62	0,7
6800	<i>Aulacoseira granulata var. angustissima</i>	8,62	0,7
6907	<i>Aulacoseira islandica</i>	1,47	3,6
6786	<i>Aulacoseira islandica ssp. helvetica</i>	1,47	3,6
6788	<i>Aulacoseira subarctica</i>	0,55	2,5
16791	<i>Cyclostephanos delicatus</i>	5,64	1,7
6943	<i>Cyclostephanos dubius</i>	6,63	1,4
6177	<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	9,94	0,5
6178	<i>Cyclotella atomus</i>	5,14	2,3
6929	<i>Cyclotella comensis</i>	-6,3	0,3
16185	<i>Cyclotella cyclopuncta</i>	0,08	1,9
6179	<i>Cyclotella distinguenda</i>	4,11	3,9
6731	<i>Cyclotella distinguenda var. unipunctata</i>	0,08	1,9
6733	<i>Cyclotella krammeri</i>	-7,07	0,2
6002	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	11,1	0,4
6936	<i>Cyclotella ocellata</i>	-0,77	1,5
6735	<i>Cyclotella praetermissa</i>	1,5	3,4
6945	<i>Cyclotella pseudostelligera</i>	2,71	5,7
6204	<i>Cyclotella radiosa</i>	1,89	4,4
6928	<i>Cyclotella rossii</i>	-0,25	1,5
16190	<i>Cyclotella schumannii</i>	-10,07	0,1
16804	<i>Cyclotella tripartita</i>	-11,38	0,1
6210	<i>Diatoma tenuis</i>	5,14	2,8
6075	<i>Fragilaria crotonensis</i>	2,61	5
6399	<i>Fragilaria delicatissima</i>	2,95	7,1
16575	<i>Fragilaria ulna acus-Sippen</i>	3,39	5,1
6410	<i>Fragilaria ulna angustissima-Sippen</i>	6,2	1,8
6233	<i>Fragilaria ulna var. acus</i>	3,39	5,1
6594	<i>Nitzschia graciliformis</i>	3,75	5,5
6795	<i>Stephanodiscus alpinus</i>	1,15	3,4
6009	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	6,89	1,3
6817	<i>Stephanodiscus hantzschii var. tenuis</i>	6,89	1,3
6226	<i>Stephanodiscus minutulus</i>	2,88	5,1
6940	<i>Stephanodiscus parvus</i>	2,88	5,1
6796	<i>Stephanodiscus neoastraea</i>	3,79	5,8
6091	<i>Tabellaria flocculosa</i>	-4,36	0,5
16764	<i>Tabellaria flocculosa var. ambigua</i>	-4,36	0,5
16765	<i>Tabellaria flocculosa var. asterionelloides</i>	-4,36	0,5
16766	<i>Tabellaria flocculosa var. geniculata</i>	-4,36	0,5
16767	<i>Tabellaria flocculosa var. intermedia</i>	-4,36	0,5
16768	<i>Tabellaria flocculosa var. linearis</i>	-4,36	0,5
16769	<i>Tabellaria flocculosa var. pelagica</i>	-4,36	0,5
16770	<i>Tabellaria flocculosa var. teilingii</i>	-4,36	0,5

3.3.5 Berechnung der Gesamtbewertung des PSI (Phyto-See-Index)

Der Phyto-See-Index beruht auf den Metrics „Biomasse“, „Algenklassen“ und „PTSI“. Die Ergebnisse dieser Metrics sind in den verschiedenen Seetypen unterschiedlich geeignet, den ökologischen Zustand anhand des Phytoplanktons in Seen zu reflektieren. Basierend auf Seetyp-spezifischen Regressionsanalysen zum trophischen Zustand der Seen (LAWA-Index; 1999 unter Verwendung des IST-Wertes) erhalten die Indexwerte der Kenngrößen ein unterschiedliches Gewicht für die Gesamtbewertung.

Die Zusammenführung der Einzelergebnisse der Metrics zu einem Gesamtergebnis erfolgt durch gewichtete Mittelwertbildung. Die dafür notwendigen Gewichtungsfaktoren je nach Seetyp sind in Tabelle 3-20 aufgeführt.

Die Berechnung des Phyto-See-Index (PSI) erfolgt nach folgendem Schema:

- a) Multiplikation jedes Index mit dem Seetyp- und Kenngröße-spezifischen Gewichtungsfaktor
- b) Aufsummierung aller Ergebnisse (= Zähler) und
- c) Division durch die Summe der verwendeten Gewichtungsfaktoren (= Nenner)
- d) Rundung des Ergebnisses auf eine Dezimalstelle hinter dem Komma
- e) Zuordnung der ökologischen Zustandklasse nach WRRL anhand der Tabelle 3-1, wobei gilt: PSI-Werte zwischen 0,5 und 1,5 = „sehr gut“, von 1,51–2,5 = „gut“ usw.

Der fakultative Index DI-PROF (Schönfelder 2006) kann durch die in Tabelle 3-20 aufgelisteten Gewichtungsfaktoren in den PSI testweise einberechnet werden.

Tabelle 3-20: Gewichtungsfaktoren zur Ermittlung des deutschen Phyto-See-Index (PSI) aus den Einzelkenngrößen. Die genauere Bezeichnung der Seetypen ist Tabelle 3-2 aufgelistet.

Seetyp mit Subtyp	G-Faktor für Metric „Biomasse“	G-Faktor für Metric „Algenklassen“	G-Faktor für Metric „PTSI“	G-Faktor für Metric DI-PROF (fakultativ für Tieflandseen)
1	2	1	2	
2+3	2	1	2	
4	2	1	4	
10.1	1	1	1	0,5
10.2	1	1	1	0,5
11.1	4	1	2	1
11.2	4	2	1	1
12	4	2	1	1
13	4	1	2	2
14	1	1	1	0,5

Beispiel: Für einen See des Seetyps 12 wurden folgende Bewertungswerte ermittelt:

Biomasse = 3,3; Algenklasse = 3; PTSI = 4,5. Die Berechnung des PSI erfolgt dann folgendermaßen:

$$\text{PSI} = \frac{(3,3 \times 4 + 3 \times 2 + 4,5 \times 1)}{7} = 3,9$$

3.3.6 Mindestanforderungen an die Eingangsdaten zur gesicherten Bewertung mittels PSI

Die Bestimmung der Mindestanforderungen an die Eingangsdaten zur gesicherten Bewertung mittels des Verfahrens ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht abgeschlossen. Eine Unterschreitung der bisher bekannten Anforderungen führt dazu, dass die Bewertung nach den Einzelkenngrößen oder die Gesamtbewertung mittels des PSI nicht erfolgen kann. Bei Ausfall der Bewertung von Einzelkenngrößen muss dem Gesamtbewertungsergebnis PSI ein entsprechender Warnhinweis beigefügt werden, der bei der Ableitung des Handlungsbedarfes für das Gewässer berücksichtigt werden muss (im Folgenden kurz „Warnhinweis erforderlich“).

Der gleichzeitige Wegfall von mehreren Einzelkenngrößen oder -parametern durch Unterschreitung mehrerer Anforderungen führt dazu, dass die Gesamtbewertung mittels des PSI ungültig ist (s. Fall e).

Die Anforderungen des PSI-Verfahrens sind nach dem bisherigen Wissensstand folgende:

- a) Bei Unterschreitung einer Beprobungszahl von 4 pro Jahr kann keinerlei Bewertung erfolgen.
- b) Bei Unterschreitung der geforderten Beprobungszahl (6 Proben pro Jahr im Zeitraum zwischen März und November) um 1–2 Proben kann nur eine ungesicherte Bewertung erfolgen. Dies gilt insbesondere für die Zuordnung zum guten oder zum mäßigen Zustand. Warnhinweis „ungesicherte Bewertung“ erforderlich!
- c) Die Anzahl der geforderten Indikator taxa wird im neuen Verfahren von 3,5 auf 4 Taxa im Jahresmittel angehoben (Begründung s. Abbildung 2 und Abbildung 3). Bei Unterschreitung der geforderten Indikatorzahl von 4 Taxa im Jahresmittel kann keine Bewertung mittels der Einzelkenngröße PTSI, und keine gesicherte Gesamtbewertung mit dem PSI, basierend auf den anderen beiden Metrics erfolgen. Warnhinweis „ungesicherte Bewertung“ erforderlich!
- d) Bei völligem Fehlen oder zu geringer Zahl von Chlorophyll a-Bestimmungen kann eine Gesamtbewertung mittels des PSI vorgenommen werden. Der Biomasse-Metric basiert dann lediglich auf dem Gesamtbiovolumen des Phytoplanktons. Da sich die europäische Interkalibrierung der Kenngröße „Phytoplankton Biomasse“ für die Tieflandseen (CB GIG) allein auf den Metric „Chlorophyll a“ stützt, ist das Bewertungsergebnis des PSI ohne Chlorophyll a-Wertung jedoch nicht ausreichend für eine Zustandsmeldung an die EG. Warnhinweis „ungesicherte Bewertung“ erforderlich!
- e) Bei Unterschreitung der geforderten Indikatorzahl von 4 Taxa im Jahresmittel in Kombination mit einer Unterschreitung der geforderten Beprobungszahl oder in Kombination einer fehlenden Bewertung mittels des Einzelparameters Chlorophyll a-Saisonwert im Rahmen des Metrics Biomasse, kann kein gesichertes Gesamtergebnis mittels des PSI er-

folgen. Das PSI-Ergebnis ist dann ungültig. Warnhinweise „ungesicherte Bewertung“ erforderlich!