

Taxonomische Anpassung des Diatomeenmoduls "Referenzartenquotient" (RAQ) für das Seen- Bewertungsverfahren Phylib-Seen

LAWA-Projekt LFP O 1.25

August 2025

Impressum

Auftraggeber:

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)

Bearbeitung durch:

Dr. Andreas Müller (chromgruen Planungs- und Beratungs- GmbH & Co. KG, Velbert)

Dr. Cornelia Goos (Gewässerbewertung, Penzberg)

Dr. Ilka Schönfelder (Büro für Diatomeenanalyse, Neuenhagen)

Dr. Doris Stelzer (Riemerling)

Fachliche Begleitung durch

Expertenkreis Biologische Bewertung Seen und Interkalibrierung nach WRRL

Obfrauen

Gudrun Plambeck (Landesamt für Umwelt des Landes Schleswig-Holstein)

Antje Köhler (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt Berlin)

Fachliche Beratung

Jörg Schönfelder (Landesamt für Umwelt Brandenburg)

Christine Schranz (Bayerisches Landesamt für Umwelt)

Stand:

August 2025

Zitiervorschlag:

LAWA (2025): Taxonomische Anpassung des Diatomeenmoduls "Referenzartenquotient" (RAQ) für das Seen-Bewertungsverfahren Phylib-Seen Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Projekt O 1.25 des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis.....	4
Vorwort.....	5
Abstract/Managementfassung	7
1 Einleitung	8
2 Teilkomponente „Diatomeen“	10
2.1 Anpassungen im Modul Referenzartenquotient der Seetypen 1 - 4 (Alpen und Voralpen) und der Seetypen 8 - 9 (Silikatisches Mittelgebirge)	10
2.1.1 Datengrundlage	10
2.1.2 Ermittlung von Referenzarten (A) und Belastungszeigern (C).....	10
2.1.3 Vorgehensweise zur Ermittlung von Referenzarten (A) und Belastungszeiger (C).....	11
2.1.4 Verteilung der Daten.....	12
2.1.5 Plausibilisierung der Ergebnisse.....	14
2.1.6 Darstellung der Ergebnisse	14
2.2 Anpassungen im Modul Referenzartenquotient der Seetypen 5 - 7 (Karbonatisches Mittelgebirge).....	17
2.2.1 Vorgehensweise	18
2.2.2 Plausibilisierung.....	18
2.2.3 Ergebnisse aus dem Datensatz Süd	18
2.2.4 Ergebnisse aus dem Datensatz Nord	19
2.3 Anpassungen im Referenzartenquotient der Seetypen 10 - 14 (Tiefland).....	21
2.3.1 Datengrundlage und Prüfkriterien.....	21
2.3.2 Berechnungsgrundlagen zur Ableitung der Indikatorwerte A und C	22
2.3.3 Repräsentativität der Daten.....	23
2.3.4 Trennung der Indikatorengruppen A und C	24
2.3.5 Feinjustierungen der beiden Module	27
2.3.6 Interkalibrationsvorprüfung für die Seetypen im Tiefland.....	31
2.3.7 Prüfungen der Bewertungsstrenge für die nationalen Subtypen DS 10.1 - DS 14 im Tiefland.....	34
3 Teilkomponente "Makrophyten"	41
3.1 Grundlagen.....	41
3.2 Auswirkung der Überarbeitungen auf die Bewertungsergebnisse der Teilkomponente „Makrophyten“	41

3.2.1	Datengrundlage	41
3.2.2	Vergleich der Bewertungen von Phylib 5.3 mit Phylib-Seen 7.0.0	41
3.3	Interkalibrierung des aktualisierten Verfahrens	44
3.3.1	Typ AKs (Interkalibrierungstyp L-AL3).....	44
3.3.2	Typ AKp (Interkalibrierungstyp L-AL4).....	45
3.3.3	TKg-10 (Interkalibrierungstyp L-CB1)	46
3.3.4	TKg-13 (Interkalibrierungstyp L-CB1)	47
3.3.5	TKp (Interkalibrierungstyp L-CB2)	48
4	Veränderung der Gesamtbewertung durch die Überarbeitungen zur Phylib-Seen Version 7.0.0	50
4.1	Datengrundlage	50
4.2	Bewertungssicherheit in Phylib-Seen 7.0.0	50
4.3	Gesamtschau beider Teilkomponenten	51
5	Technische Umsetzung	54
5.1	Aufgabenstellung.....	54
5.2	Vorgehen.....	54
5.3	Ergebnisse	54
6	Übersicht aller Änderungen in der neuen Verfahrensversion.....	55
6.1	Teilkomponenten übergreifende Änderungen	55
6.2	Teilkomponente „Diatomeen“	55
6.3	Teilkomponente „Makrophyten“	56
6.4	Web-Anwendung	57
7	Ausblick	58
8	Zusammenfassung.....	61
	Literaturverzeichnis.....	62
	Abkürzungsverzeichnis	64
	Anlagen	I

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Korrelationen des "RAQ umg." und der "Bewertung Diatomeen"	15
Abbildung 2: Korrelation der mittleren OWK.....	16
Abbildung 3: Korrelationen des "RAQ umg." und der "Bewertung Diatomeen"	17
Abbildung 4: Korrelation der mittleren OWK.....	17
Abbildung 5: Korrelationen des "RAQ umg." und der "Bewertung Diatomeen"	18
Abbildung 6: Korrelation der mittleren OWK.....	19
Abbildung 7: Korrelationen des "RAQ umg." und der "Bewertung Diatomeen"	21
Abbildung 8: Werteverteilung für den RAQ im LAWA-Seetyp 10 entlang des Gradienten des TI in Phylib-Seen 7.0.0.....	28
Abbildung 9: Werteverteilung für den RAQ im Seetyp DS 13 entlang des Gradienten des TI in Phylib-Seen 7.0.0.....	29
Abbildung 10: Werteverteilung für den RAQ in den Seetypen 14 und 11 entlang des Gradienten des TI in Phylib-Seen 7.0.0.....	30
Abbildung 11: Werteverteilung für den RAQ in den Seetypen 14 und 11 entlang des Gradienten des TI in Phylib-Seen 7.0.0.....	31
Abbildung 12: Internationale Seetypen der Ökoregion 4 - Zentrales Tiefland, die im Interkalibrationsprozess zwischen den Mitgliedstaaten abgestimmt wurden. Aus Poikane 2009, p. 37.....	31
Abbildung 13: Veränderungen der dezimalen Bewertungsergebnisse der Diatomeenbewertungen von Phylib 5.3 (X-Achse) auf Phylib-Seen 7.0.0 (Y-Achse) für die Seetypen des europäischen Interkalibrationsprozesses L-CB1 und L-CB2.....	33
Abbildung 14: Veränderungen der dezimalen Bewertungsergebnisse der Diatomeenbewertungen von Phylib 5.3 (X-Achse) auf Phylib-Seen 7.0.0 (Y-Achse) für die diatomeenökologischen Subtypen DS 10.1 und DS 10.2	36
Abbildung 15: Veränderungen der dezimalen Bewertungsergebnisse der Diatomeenbewertungen von Phylib 5.3 (X-Achse) auf Phylib-Seen 7.0.0 (Y-Achse) für die polymiktischen diatomeenökologischen Seetypen im Tiefland	37
Abbildung 16: Veränderungen der dezimalen Bewertungsergebnisse der Diatomeenbewertungen von Phylib 5.3 (X-Achse) auf Phylib-Seen 7.0.0 (Y-Achse) für die polymiktischen diatomeenökologischen Seetypen im Tiefland	38
Abbildung 17: Veränderungen der dezimalen Bewertungsergebnisse der Diatomeenbewertungen von Phylib 5.3 (X-Achse) auf Phylib-Seen 7.0.0 (Y-Achse) für die Seetypen 13 und 14 im Tiefland	39
Abbildung 18: Veränderungen der gemittelten Bewertungsergebnisse der Makrophytenbewertungen von Phylib 5.3 auf Phylib-Seen 7.0.0.....	42
Abbildung 19: Verteilung der ökologischen Zustandsklassen in Prozent der Makrophytenbewertung nach Phylib 5.3.....	43
Abbildung 20: Verteilung der ökologischen Zustandsklassen in Prozent der Makrophytenbewertung nach Phylib-Seen 7.0.0	43
Abbildung 21: Regressionsanalyse alter und neuer Bewertungsergebnisse für Typ AKs	45
Abbildung 22: Regressionsanalyse alter und neuer Bewertungsergebnisse für Typ TKg - 10	46
Abbildung 23: Regressionsanalyse alter und neuer Bewertungsergebnisse für Typ TKg - 13	47

Abbildung 24: Regressionsanalyse alter und neuer Bewertungsergebnisse für Typ TKp	48
Abbildung 25: Verteilung der Probenanzahl für beide Teilkomponenten auf die LAWA-Seentypen nach Mathes et al. (2002).	50
Abbildung 26: Anteil gesicherter Bewertungsergebnisse in Prozent in Phylib-Seen 7.0.0 (LAWA-Typen nach Mathes et al., 2002).....	51
Abbildung 27: Gemittelte Bewertungsergebnisse der beiden Teilkomponenten (ÖZK dezimal) für alle LAWA-Typen	52
Abbildung 28: Veränderungen der gemittelten Bewertungsindizes der Teilkomponenten von Phylib 5.3 auf Phylib-Seen 7.0.0	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleiche der Verhältnisse von A- Arten zu C-Arten für die Ökoregionen Alpen und Alpenvorland sowie silikatische Mittelgebirge.....	12
Tabelle 2: Anzahlen an Proben aus den diatomeenökologischen Seentypen in den karbonatischen Mittelgebirgen nördlich von BY und BW und im Tiefland.....	24
Tabelle 3: Angepasste Klassengrenzen des TI-Nord zwischen den Klassen "sehr gut" und "gut"	34
Tabelle 4: Klassengrenzen/Normierungsfaktoren der Makrophytenbewertungen nach Überarbeitung	41
Tabelle 5: Gegenüberstellung der Klassengrenzen von Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0 für Typ AKs.....	45
Tabelle 6: Gegenüberstellung der Klassengrenzen von Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0 (für Typ TKg - 10.....	46
Tabelle 7: Gegenüberstellung der Klassengrenzen von Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0 für Typ TKg - 13.....	48
Tabelle 8: Gegenüberstellung der Klassengrenzen von Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0 für Typ TKp.....	49
Tabelle 9: Zusatzkriterien der Makrophytenbewertung in Phylib-Seen 7.0.0	57

Vorwort

Wasserpflanzen bilden wichtige Lebensraumstrukturen in Seeökosystemen und sie tragen durch die Vielgestaltigkeit ihrer Vegetationsformen erheblich zur touristischen Attraktivität von Seen bei. Gehen die durch die Vegetation gebildeten Lebensraumstrukturen zurück, sind viele Kompartimente und Prozesse der Seeökosysteme betroffen. Die Bewertung der Vegetation von Seen bildet deshalb seit mehr als 20 Jahren in allen deutschen Bundesländern einen festen Bestandteil der Gewässerüberwachung im Sinne der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL, 2000/60/EG).

Das in der Bundesrepublik Deutschland entwickelte und angewandte Verfahren Phylib gestattet eine fünfstufige Bewertung des ökologischen Zustandes von Seen anhand der biologischen Qualitätskomponente Makrophyten und Phytobenthos. Die wissenschaftlichen Kenntnisse über die Taxonomie und Ökologie der höheren Wasserpflanzen und der Mikroalgen haben sich seit dem Inkrafttreten der EG-WRRL erheblich erweitert. Nicht zuletzt trug das Monitoring der Länder erheblich dazu bei. Zahlreiche Arten höherer Wasserpflanzen und Mikroalgen sind seit dem Jahr 2000 neu in die Seen in Deutschland eingewandert und beeinflussen deren Ökosysteme. Andere Arten wurden durch die taxonomische Forschung als Artenkomplexe erkannt und es wurden zahlreiche Arten neu beschrieben. Alle diese Arten werden beim Monitoring der Seen gefunden und sie müssen in die bestehenden Indikationsverfahren (Phylib, Phyto-See) integriert werden. Nur durch regelmäßig an den Stand der Wissenschaft angepasste Verfahren und Softwarelösungen können auch weiterhin gesicherte und über die Ländergrenzen hinweg vergleichbare Bewertungsergebnisse ermittelt werden.

Durch die komplette Überwachung aller Seen einer Fläche von über fünfzig Hektar wurden durch die Bundesländer seit dem Jahr 2015 umfangreiche biologische und wasserchemische Daten zusammengetragen. Mithilfe dieser Daten lassen sich die Indikatoreigenschaften sehr vieler seltener Arten der Makrophyten und des Mikrophytobenthos heute sehr viel genauer bestimmen, als das in der Entwicklungsphase für Phylib 1.0 vor 20 Jahren möglich war. Folgerichtig musste im 3. Bewirtschaftungszyklus eine Anpassung des Bewertungsverfahrens erfolgen, um den aktuellen Ständen der biologischen Besiedlung, der biologischen Systematik und der ökologischen Kenntnisse über die Pflanzenarten zu entsprechen.

In den Jahren 2018 – 2023 wurden im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms (LFP) Wasser, Boden, Abfall einige fachliche Grundlagen zur Bewertung der Teilkomponente Makrophyten und zur Indikation des Trophiezustandes anhand der Teilkomponente Phytobenthos-Diatomeen überarbeitet. Offen blieb die Überprüfung und Ergänzung der Indikatoreigenschaften der benthischen Mikroalgen. Diese soll mit dem vorliegenden Bericht zum Projekt O 1.25 des Länderfinanzierungsprogramms Wasser, Boden, Abfall vorgelegt werden. Damit stehen nun auch aktuelle Grundlagen zur Bewertung der Naturnähe der Artenzusammensetzung benthischer Diatomeengemeinschaften zur Verfügung. Das bewährte System der Einteilung der Arten in sensible Referenzarten (A), tolerante Taxa (ohne Einstufung) oder Belastungen anzeigende Arten (C) wurde beibehalten. Der Berechnungsansatz und die Bedeutung des Referenzartenquotienten (RAQ) blieben unverändert, auch um die Kontinuität des Bewertungsverfahrens zu wahren. Mit den korrigierten und ergänzten Einstufungen der Taxa

soll eine noch zuverlässigere Bewertung des ökologischen Zustandes von Seen ermöglicht werden und ein deutlich höherer Anteil an Ufertransekten soll statistisch gesichert bewertbar werden.

Durch die enge Zusammenarbeit von Spezialistinnen der aquatischen Flora aus den europäischen Ökoregionen Alpen- und Voralpen, Zentrale Mittelgebirge und Zentrales Tiefland im Vorhaben wurde eine bestmögliche Vergleichbarkeit der Arbeiten über die Grenzen der Ökoregionen und Bundesländer hinweg gewährleistet. Mit den Überarbeitungen der RAQ-Einstufungen und einem verbesserten Abgleich der Bewertungsstrenge beider Diatomeenmodule für Seen wird mit dem Projektabschluss des LFP O 1.25 das Bewertungsverfahren Phylib-Seen in der Version 7 allen Praktikern zur Anwendung bei der Vorbereitung und Durchführung des 4. Bewirtschaftungszyklus an die Hand gegeben.

Nicht alle im Vorfeld der Projektbearbeitung durch die Länderexperten zusammengetragenen Ideen zu verbesserten Berechnungsansätzen und zur technischen Ausgabe wünschenswerter Fachinformationen waren im Rahmen des LFP O 1.25 finanzierbar. Deshalb wird der LAWA EK Seen, der das Projekt konzipiert und begleitet hat, auch nach dem erfolgreichen Projektabschluss des LFP O 1.25 weiter an Aufgabenbeschreibungen für neue Interpretationshilfen arbeiten. Sie können ergänzt werden, um zur Bioindikation spezifischer Belastungen, wie z. B. Versauerung, Huminstoffstatus oder Salzeintrag beizutragen und damit die ökologische Individualität jedes Sees noch besser abbilden zu können. Der inzwischen erreichte hohe technische Standard der Online-Plattform www.gewaesser-bewertung.de, der durch die kontinuierliche und zielgerichtete Förderung durch das Umweltbundesamt (UBA) erreicht ist, wird diese verbesserten Indikationsmöglichkeiten auch in Zukunft unterstützen.

Die hohe Geschwindigkeit, mit der molekularbiologische, rasterelektronenmikroskopische und autökologische Methoden zu einer Fortschreibung der Bundestaxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands beitragen, wird in regelmäßigen Abständen weitere Ergänzung und Fortschreibungen der in der Software Phylib-Seen 7 hinterlegten Indikatorenlisten erfordern. Insofern bildet auch der zu Projektabschluss vorgelegte und durch die Länder getestete Verfahrenstand Phylib-Seen 7 keine fachliche Endlösung für alle Zeiten. Die fortgeschriebene Version Phylib-Seen 7 soll sich vielmehr erfolgreich in die Reihe der sechs Vorläuferversionen einreihen, damit einen Baustein für die aktuelle Seenbewertung in Deutschland bilden und sie wird zugleich das Fundament für die kommende Entwicklungsstufe Phylib-Seen 8 bilden. Der LAWA Ausschuss Oberflächengewässer (AO) wünscht dem mit diesem Bericht zur Anwendung vorgelegten neuen Verfahren Phylib-Seen 7 einen breiten Zuspruch bei der Zustandsbewertung und Planung und den Anwendern viele gute Ideen zu dessen Weiterentwicklung in den kommenden Jahren.

Abstract/Managementfassung

Das Verfahren zur Bewertung der Biologischen Qualitätskomponente „Makrophyten & Phytobenthos“ in Seen, Phylib, wurde in mehreren Vorhaben der LAWA weiterentwickelt und als web-basierte Anwendung implementiert.

In dem aktuellen Vorhaben wurden insbesondere folgende Arbeiten durchgeführt:

- Vereinheitlichung der taxonomischen Grundlagen beider Teilkomponenten auf das Niveau der BTL 2020 (Plus Addendum)
- Neueinstufungen von Diatomeen-Taxa bzgl. der Trophie und des Referenzzartenquotienten vorgenommen.
- Umfassende Tests der Plausibilität und Optimierung der Anwendung
- Abgleich der Klassifikationen des TI und des RAQ für referenznahe Proben
- Interkalibrationsvorprüfung des angepassten Verfahrens für die Teilkomponenten
- Implementierung der Überarbeitungen aus den Vorgängerprojekten zur Teilkomponente Makrophyten
- Plausibilitätsprüfung der Bewertungsergebnisse in der Gesamtschau beider Teilkomponenten und für einzelne Gewässertypen leicht korrigiert
- Straffung der Phylib-Verfahrensanleitung und Ergänzung um Hilfestellungen zu Qualitätssicherung, Plausibilisierung und Maßnahmenplanung

Die Web-Anwendung wurde für beide Teilkomponenten so weiterentwickelt, dass sie weitgehend gesicherte Ergebnisse liefert, und von den Anwendern direkt genutzt werden kann.

Auf der Website www.gewaesser-bewertung-berechnung.de liegt damit eine Programmversion vor, die nach Abnahme durch die LAWA als Version „Phylib-Seen 7.0.0“ publiziert werden kann.

1 Einleitung

Das Ziel des deutschen Bewertungsverfahrens zur Umsetzung der EG-WRRL für die Biologische Qualitätskomponente „Makrophyten & Phytobenthos“ Phylib (Schaumburg et al. 2004, 2014) ist eine sichere und zuverlässige Einstufung der biologischen Qualitätskomponente „Makrophyten & Phytobenthos“. Die Bewertung der Gesamtkomponente „Makrophyten & Phytobenthos“ sollte dabei an den als repräsentativ für den Seewasserkörper ausgewählten Transekten (Uferstellen) möglichst auf Bewertungen der beiden Teilkomponenten „Phytobenthos-Diatomeen“ und „Makrophyten“ aufbauen, die dafür jeweils auch möglichst sicher und zuverlässig eingestuft werden sollten. Durch den Verschnitt der beiden Teilergebnisse sollen für die Transekte / Messstellen am Seeufer plausible Einstufungen ermittelt werden. Für die Berichterstattung und die Maßnahmenableitung wird die Bewertung des Gesamt-Oberflächenwasserkörpers aus den Transektergebnissen errechnet.

Im Zusammenhang mit den bereits erfolgten Arbeiten zur Aktualisierung und Anpassung des Bewertungsverfahrens Phylib-Seen im Rahmen des LFP-Projektes O 1.23 sollte mit diesem Projekt nun das zweite Teilmodul, das sich noch auf einem veralteten taxonomischen Stand befindet, überarbeitet werden.

Die Bewertung des Phytobenthos erfolgt in Deutschland auf der Grundlage der Bewertung der benthischen Kieselalgen (Diatomeen). Die Diatomeenbewertung beruht auf Bewertungen zweier gleichwertig in die Berechnung eingehender Metrics. Der Metric Trophieindex (TI) wurde in den Jahren 2023/2024 überarbeitet (LFP O 1.23) und an die taxonomischen Voraussetzungen der Bundestaxaliste mit dem Stand Mai 2020 inklusive Addendum 03 angepasst. Für den Metric Referenzartenquotient (RAQ) stand diese Überarbeitung inklusive einer Überprüfung der Indikationswerte noch aus. Ebenso wie beim TI war diese Anpassung dringend erforderlich, da durch umfangreiche Veränderungen bei Artkenntnissen und Bestimmungsstandards die vorhandenen Berechnungsroutinen nicht mehr anwendbar sind. Mit der Überarbeitung dieses Teils des Bewertungsverfahrens wurden beide Metrics auf den aktuellen Stand der Kenntnisse gehoben und bzgl. der Qualitätsanforderungen aneinander angeglichen.

Die folgenden Arbeiten wurden im Rahmen des Vorhabens erbracht, um eine vollständig aktualisierte Software Phylib Seen als Web-Anwendung bereitstellen zu können:

- Aktualisierung der RAQ-Einstufungen
 - Übertragung der RAQ Einstufungen auf die taxonomischen Nachfolger und Lückenschluss
 - Überprüfung der Ergebnisse der Teilkomponente Diatomeen
 - Durchführung und Auswertung von Testrechnungen
 - Statistische Auswertung der Stetigkeit und Dominanz der Taxa in Abhängigkeit von Störungen der Teilkomponente Diatomeen
 - Anpassungen der RAQ Einstufungen aufgrund der Ergebnisse
 - Integration der RAQ Einstufungen in die Taxaliste und Bereitstellung einer Testversion
- Auswertung der Testergebnisse der Länder
 - Finalisierung der Einstufungen und der Software

- Interkalibrierungsvorprüfung
- Abschließende Arbeiten
 - Finalisierung der Software-Dokumentation
 - Finalisierung der Verfahrensanleitung
 - Auswertung der Abnahmetests und Inbetriebnahme der finalen Version.

2 Teilkomponente „Diatomeen“

Ergänzend zur Neuberechnung des TI (LAWA-Projekt O 1.23) sollte das Modul Referenzartenquotient (RAQ) überarbeitet werden. Dazu sollten die typspezifischen Listen der sensiblen Referenzarten (A-Arten) und der typspezifischen Belastungszeiger (C-Arten) im taxonomischen Rahmen der Bundestaxaliste BTL 2020 überprüft, ggf. korrigiert und ergänzt werden. Die daraus hervorgehenden Einstufungslücken sollten durch Zuweisungen der Attribute A (ökologisch sensible Taxa) oder C (ökologisch robuste Taxa) zu den entsprechenden Taxa geschlossen werden. Dies erfolgte anhand der Daten aus der Projektdatenbank des Projekts O 1.23.

Grundlagen bildeten die BTL 2020 (inkl. des Addendums 03 von 10/2024) mit der Kennzeichnung von aktiven Taxa und Synonymen und die Referenzartenliste aus Phylib 5.3. Zunächst mussten die vorhandenen Einstufungen auf alle entsprechenden Synonyme übertragen werden. Aufgrund teilweise gravierender Veränderungen der Taxonomie wurden zahlreiche Einstufungslücken aufgedeckt, die zu bearbeiten waren, und geschlossen.

2.1 Anpassungen im Modul Referenzartenquotient der Seetypen 1 - 4 (Alpen und Voralpen) und der Seetypen 8 - 9 (Silikatisches Mittelgebirge)

2.1.1 Datengrundlage

Aus dem LAWA-Projekt O 1.23 stand ein Datensatz von 1.026 Probestellen von Seen der Gewässertypen 1-4 aus Bayern und Baden-Württemberg aus den Jahren 2016 bis 2021 zur Verfügung, in denen insgesamt mehr als 700 verschiedene Taxa erfasst worden waren. Zum Testen der Ergebnisse wurden weitere 355 Probestellen aus den Jahren 2022 bis 2024 herangezogen.

Für die Gewässertypen 8 und 9 standen 67 Probestellen (11 Wasserkörper) aus den Jahren 2016 bis 2020 zur Verfügung. Für die Testung auf Plausibilität wurden weitere 24 Proben aus drei Wasserkörpern herangezogen.

Die ermittelten RAQ-Einstufungen der Taxa aus dem silikatischen Mittelgebirge werden auch auf den Diatomeentyp DS s (saure und versauerte Gewässer) angewendet.

Da die BTL 2020 2.444 aktive Taxa enthält, konnten für einen großen Teil der Taxa die Einstufungen A oder C nicht direkt anhand der Bestimmungsdaten der letzten acht Jahre ermittelt werden. Für Taxa, die nicht gemeldet worden waren, die aber potenziell in den Gewässern der behandelten Ökoregionen auftreten können, wurde für die Ermittlung der RAQ-Einstufungen die Literatur zu Rate gezogen.

2.1.2 Ermittlung von Referenzarten (A) und Belastungszeigern (C)

Der Referenzartenquotient basiert auf der Grundlage, dass Taxa als sensible Referenztaxa (A) eingestuft werden, wenn sie in Referenzgewässern mit einer höheren Dominanz oder, bei Taxa mit einer allgemeinen geringen Abundanz, mit einer höheren Stetigkeit vorkommen.

Ein belastungszeigendes Taxon (C), auch Belastungszeiger genannt, erreicht eine höhere Abundanz und / oder Stetigkeit in Gewässern, die durch Eutrophierung oder andere Einflüsse nicht ihren Referenzzustand aufweisen, sondern mehr als geringfügig davon abweichen.

Sowohl in den Alpen- und Voralpen, als auch im silikatischen Mittelgebirge liegt die Referenztrophy der größeren Seen im oligotrophen Bereich.

2.1.3 Vorgehensweise zur Ermittlung von Referenzarten (A) und Belastungszeiger (C)

Zunächst wurden die RAQ-Einstufungen aus der Attributliste von Phylib 5.3 auf die aktiven Taxa der BTL 2020 und ihre Synonyme übertragen, soweit das möglich war. Anschließend wurden die Häufigkeit und die Stetigkeit eines jeden Taxons mit dem Trophieindex in der entsprechenden Probe in Beziehung gesetzt. Aus hohen Häufigkeiten bzw. Stetigkeiten (bei geringer allgemeiner Häufigkeit) im Bereich der Referenztrophy sollten A-Arten resultieren. Im Gegenzug wurde eine C-Art bei hohen trophischen Verhältnissen erwartet. Auf diese Art und Weise wurden die Einstufungen von Phylib 5.3 überprüft. Für Taxa, bei denen Übereinstimmungen gefunden wurden, wurde die Einstufung aus Phylib 5.3 übernommen. Bisher nicht eingestufte Taxa, die analoges Verhalten aufwiesen, wie bereits klassifizierte und verifizierte A- und C-Arten, wurden entsprechend eingestuft.

Von den übrigen Taxa wurden diejenigen als tolerant aussortiert, die über das Trophiespektrum aller Fundstellen hinweg keine Präferenzen zeigten, also bei denen weder bei niedriger noch bei hoher Trophy eine erhöhte Häufigkeit oder Stetigkeit gefunden wurde. Oft war auch hier eine Übereinstimmung mit Phylib 5.3 gegeben, was bedeutet, dass auch im bisherigen Verfahrensstand Phylib 5.3 bzw. Phylib 6 diese Taxa weder als A- noch als C-Art eingestuft waren.

Bei den verbleibenden Taxa war oft die Anzahl der Fundorte zu gering, um verlässliche Aussagen über die Häufigkeit und die Stetigkeit zu machen. In diesen Fällen wurden die ökologischen Verhältnisse jeweils eines ganzen Sees und im Detail die Probestellen der Seen genauer betrachtet, um eventuelle Umwelteinflüsse zu erkennen, die eine Entscheidung für die Einstufung untermauern könnten. Zusätzlich wurden auch weitergehende Daten der Biozönose an den jeweiligen Stellen angeschaut, insbesondere auch Makrophytenbefunde, um Tendenzen auszumachen.

Als weiteres Entscheidungskriterium wurde die Literatur zu Rate gezogen. Dazu mussten teilweise mehrere Quellen herangezogen werden, um verlässliche Beurteilungen über die Verbreitung und Präferenzen eines Taxons zu bekommen. Auch Taxa, die im Datensatz nicht enthalten waren, aber potenziell vorkommen könnten, wurden mithilfe der Literatur beurteilt. Es wurden vor allem die Taxa betrachtet, die in Phylib 5.3 eingestuft waren, aber von denen mithilfe des Datensatzes keine Aussage gemacht werden konnte.

Da die von Phylib 5.3 ermittelten RAQ-Klassen als plausibel angesehen werden, sollten die Ergebnisse von Phylib-Seen 7.0.0 keine großen Abweichungen aufweisen. Deshalb wurde auch darauf geachtet, dass das Verhältnis der A-Arten zu den C-Arten innerhalb eines Typs in etwa gleich blieb. Das sollte für die gesamte Taxaliste als auch für den Anteil der gefundenen Taxa im Datensatz der Fall sein.

Die Ermittlung der Referenzarten erfolgte für die beiden Ökoregionen (Typen 1-4 und Typen 8-9) getrennt, aber auf analoge Weise. Da der Datensatz im silikatischen Mittelgebirge sehr klein war, musste dort öfter auf Literaturdaten zurückgegriffen werden. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf die Präferenz silikatisch/karbonatisch gelegt.

Ein wichtiges Zusatzkriterium bei der Beurteilung eines Taxons bildeten auch die Informationen aus der Literatur (z. B. Ziemann 1999), ob es sich um ein halophiles oder haloxenes Taxon handelt. Haloxene Taxa im Sinne von Ziemann (1999) wurden in den überwiegend karbonatischen Typen 1-4 meist trotz bestimmter Präferenz im oligotrophen Bereich nicht als Referenzart (A) eingestuft. Halophile Taxa wurden in der Regel als Belastungszeiger (C) klassifiziert.

Taxa, die erst in jüngster Zeit gefunden wurden, wurden nicht als Referenzart (A) aufgenommen, auch wenn sie aufgrund ihrer ökologischen Einstufung unauffällig sind. Es müsste zuvor untersucht werden, ob es sich um eine eingewanderte Art handelt (Neophyt), oder ob sie aufgrund der Taxonomieumstrukturierungen erst jetzt in Erscheinung getreten ist. Dazu müssten alte Proben ausgewertet werden.

Ein Neophyt, der sehr stark an Abundanz zunimmt, kann als Störzeiger (C) eingestuft werden, da er die ganze Biozönose beeinflussen kann (invasives Taxon).

Im vorhandenen Datensatz war es schwierig, Neophyten eindeutig zu identifizieren, da diese meist in der BTL 2020 noch nicht aufgenommen wurden und dadurch in der Taxaliste als „übergeordnetes Taxon“ geführt wurden. Verlässliche Daten für Taxa, die neu in der BTL mit DV-Nummer aufgenommen werden, bekommt man erst nach ein paar Jahren, nachdem ihre Daten im Monitoring erfasst wurden.

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über jeweilige Größe des Datensatzes, die Anzahl der gefundenen Taxa und die Verhältnisse von A-Arten zu C-Arten. Es wurden Vergleiche zwischen den Phylib-Versionen 5.3 und 7.0.0 dargestellt.

2.1.4 Verteilung der Daten

Tabelle 1: Vergleiche der Verhältnisse von A- Arten zu C-Arten für die Ökoregionen Alpen und Alpenvorland sowie silikatische Mittelgebirge

	DS 1-4 5.3	DS 1-4 7.0.0	DS 8-9 5.3	DS 8-9 7.0.0
Anzahl Proben im Datensatz	1026	1026	67	67
Anzahl Taxa im Datensatz	723	723	430	430
Anzahl eingestufte Taxa im Datensatz	260	354	201	232
A im Datensatz	148	192	128	151
C im Datensatz	112	162	73	81
C/A im Datensatz in % Quotient	43,1/56,9 0,76	45,8/54,2 0,84	36,3/63,7 0,57	34,9/65,1 0,54

	DS 1-4 5.3	DS 1-4 7.0.0	DS 8-9 5.3	DS 8-9 7.0.0
Anzahl aktive Taxa in BTL	2444	2444	2444	2444
Anzahl aktive eingestufte Taxa in BTL	315	414	657	594
A in BTL	184	217	485	476
C in BTL	131	197	172	118
C/A in BTL in % Quotient	41,6/58,4 0,71	47,6/52,4 0,91	26,2/73,8 0,35	19,9/80,1 0,25

Von den 2.444 aktiven Taxa der BTL 2020 waren bei den Seetypen 1-4 in Phylib 5.3 315 Taxa eingestuft. Der Wert erhöhte sich in Phylib-Seen 7.0.0 auf 414. Das Verhältnis der C-Arten zu A-Arten verschob sich etwas in Richtung der C-Arten. Der Quotient stieg von 0,71 auf 0,91.

Betrachtet man aber nur die im Datensatz vorhandenen Taxa, ist die Verschiebung geringer. In Phylib 5.3 waren von den 723 gefundenen Taxa 260 eingestuft, in Phylib 5.3 waren insgesamt 354 Taxa eingestuft. Für 96 dieser Taxa liegen jedoch keine aktuellen Meldungen vor. Das Verhältnis der C-Arten zu A-Arten verschob sich nur von 0,76 auf 0,84.

Das Aufrechterhalten ähnlicher Verhältnisse ist wichtig, um keine systematische Schieflage der Bewertung des RAQ in Phylib-Seen 7.0.0 zu bekommen.

Wie schon erwähnt, lagen für die silikatischen Mittelgebirge nur wenig Daten vor (67 Proben). Es wurden 430 Taxa gefunden, von denen bei Phylib 5.3 201 Taxa eingestuft waren. In Phylib-Seen 7.0.0 erhöhte sich der Wert auf 232. Das Verhältnis der C-Arten zu den A-Arten lag in diesen Seetypen (8-9) deutlich auf der Seite der A-Arten. Knapp 60 % der eingestuften Taxa waren A-Arten. Der Quotient verschob sich nur minimal von 0,57 auf 0,54. Der Anteil an A-Arten vergrößerte sich noch etwas.

Betrachtet man die gesamte BTL 2020 verhält es sich etwas anders. Hier waren in Phylib 5.3 657 Taxa eingestuft, was deutlich mehr ist, als in den Seetypen 1-4. Das liegt daran, dass in silikatischen Gewässern potenziell alle Vertreter der Gattung *Eunotia* und sehr viele der Gattung *Pinnularia* vorkommen. Aufgrund von Literaturangaben wurden für diese silikatischen Seetypen mehr Taxa gestrichen als neu hinzugefügt. Meist erfolgte dies, wenn die Literaturlauswertung für ein Taxon keine eindeutige Präferenz oligotropher oder eutropher Verhältnisse innerhalb silikatischer Gewässer ergab. Insgesamt hat sich der Quotient deutlich von 0,35 auf 0,25 erniedrigt. Das Übergewicht an A-Arten wurde noch verstärkt.

Da unter den A-Arten der silikatischen Seen aber viele Taxa sind, die im Gebiet nicht oder nur sehr selten gefunden werden, wirkt sich diese Verschiebung nicht auf die Berechnungen von Phylib-Seen 7.0.0 aus.

2.1.5 Plausibilisierung der Ergebnisse

Nachdem die Einstufung der Referenzarten und Belastungszeiger abgeschlossen war, wurde der RAQ für alle Proben des Projektdatensatzes in einer Testversion berechnet. Daraufhin wurden die Zusammensetzungen der Diatomeengesellschaften der einzelnen Uferstellen genauer betrachtet, um Ausreißer zu finden. Diese könnten eine hohe Abundanz einer C-Art in einer Biozönose sein, die auf eine niedrige Trophie hinweist oder umgekehrt eine hohe Abundanz einer A-Art in einem eutrophierten Gewässer. Wenn eine solche Art auffiel, wurde ihre Abundanz in anderen Gewässern untersucht, um sich ein Bild ihrer Präferenzen zu machen. Gegebenenfalls wurde die Einstufung angepasst. In zwei Fällen waren die Abweichungen so auffällig, dass das jeweilige Taxon in der Probe nachbestimmt wurde, um eine fehlerhafte Einstufung aufgrund einer Fehlbestimmung auszuschließen. Die Proben wurden mir freundlicherweise von den Ländern zur Verfügung gestellt.

Anschließend wurden die Berechnungen mit Phylib-Seen 7.0.0 mit denen mit Phylib 5.3 verglichen und mit den Ländervertretern von Bayern (BY) und Baden-Württemberg (BW) abgestimmt. Für diese Berechnungen wurden auch zusätzliche Daten aus 355 Proben aus den Jahren 2022 bis 2024 herangezogen. Dabei wurden abweichende Ergebnisse der beiden Phylib-Versionen auf Plausibilität untersucht. Es mussten weitere kleinere Veränderungen vorgenommen werden. Diese Feinjustierung musste behutsam erfolgen, da mehrere Veränderungen gleichzeitig schnell zu einem zu starken Abweichen (Überkompensierung) führen können. Diese Feinjustierung war sehr zeitaufwändig, da bei jeder Änderung eine neue Testversion erstellt werden musste, was intern erfolgen konnte. Dann mussten die Ergebnisse wieder mit den Ländervertretern besprochen werden.

Nach erfolgter Feinjustierung der Ergebnisse wurde die Gesamtbewertung der Gewässer untersucht. Zuerst musste die Bewertung der Diatomeen, also die Verschneidung von RAQ und TI, auf Plausibilität untersucht werden. Dabei wurden auch ein paar Taxa aufgedeckt, für die die Trophieeinstufung noch verändert werden musste, was anschließend erfolgte.

Zuletzt wurde dann die Gesamtbewertung (OWK) der Gewässer auf Plausibilität geprüft.

2.1.6 Darstellung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse, die mit Phylib-Seen 7.0.0 berechnet wurden, mit denen aus Phylib 5.3 gegeneinander aufgetragen. Es wurden nur Datensätze verwendet, die in beiden Versionen bzgl. der Diatomeen als gesichert ausgegeben wurden.

Da die Ergebnisse von Phylib 5.3 grundsätzlich als plausibel angesehen werden, wurde erwartet, dass Phylib-Seen 7.0.0 sehr ähnliche Werte berechnen würde. Im Idealfall liegen somit die Werte in den folgenden Abbildungen auf der Geraden $y = x$, die als schwarze Linie eingetragen wurde.

Zusätzlich abgebildet ist die Trendlinie (blau gestrichelt), die aufgrund der Verteilung der Datenpunkte berechnet wird. Die Geradengleichung und das Bestimmtheitsmaß R^2 werden jeweils in den Abbildungen angezeigt. Das Bestimmtheitsmaß gibt die Güte

der Regression an. Je geringer die Streuung ist, desto höher ist der Wert. Der maximal erreichbare Wert liegt bei $R^2 = 1$.

Alpen- und Voralpenseen (Seetypen 1-4)

Im Folgenden sind die Korrelationen des "RAQ umg." und der "Bewertung Diatomeen" von Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0 dargestellt. Es wurden bei allen Abbildungen im folgenden nur Proben berücksichtigt, die in beiden Phylib-Versionen bei den Diatomeen als gesichert ausgegeben wurden.

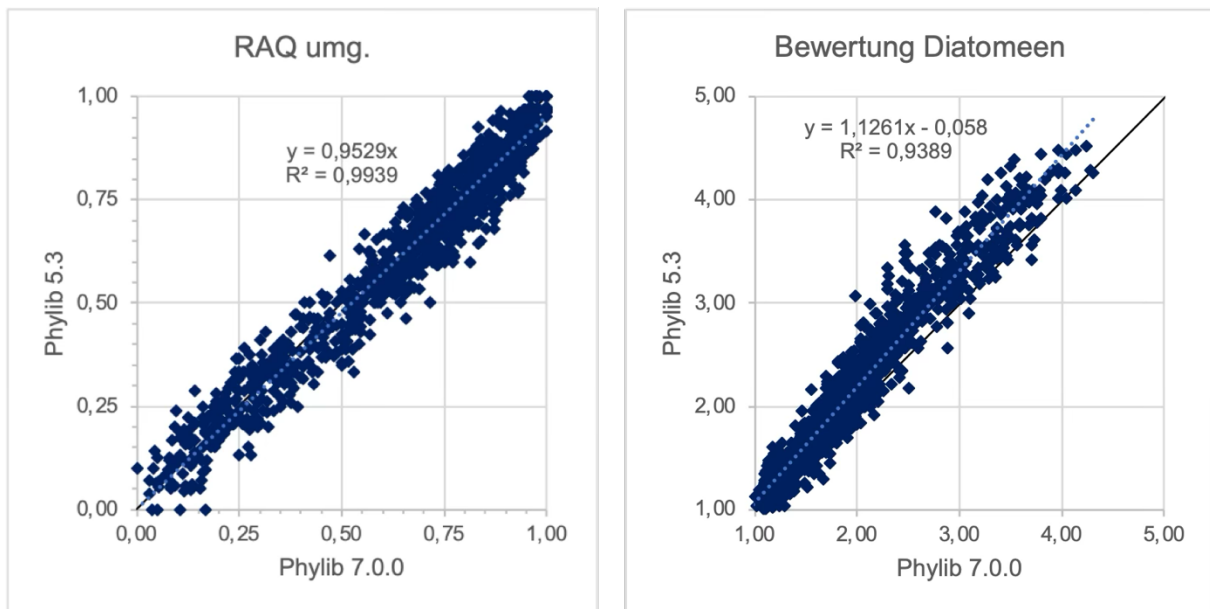


Abbildung 1: Korrelationen des "RAQ umg." und der "Bewertung Diatomeen"

Der RAQ korreliert beim Vergleich der beiden Phylib-Versionen sehr gut mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,99$ und einer Steigung von knapp unter 1. Bei der Bewertung Diatomeen gibt es bei den höheren Werten eine leichte Verschiebung, was bedeutet, dass Phylib-Seen 7.0.0 hier etwas milder berechnet. Das Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,94$ deutet aber dennoch auf eine hohe Übereinstimmung. Die schlechtere Korrelation beruht auf der Verrechnung mit dem TI. Da der TI in Phylib 5.3 oft mithilfe einer sehr geringen Abundanzsumme der im TI eingestuft Taxa (manchmal unter 10 %) ermittelt wurde, muss davon ausgegangen werden, dass der deutlich robustere TI aus Phylib-Seen 7.0.0 genauere Werte liefert. Die bessere Robustheit ergibt sich daraus, dass in Phylib-Seen 7.0.0 deutlich mehr Taxa eine TI-Einstufung erhalten haben.

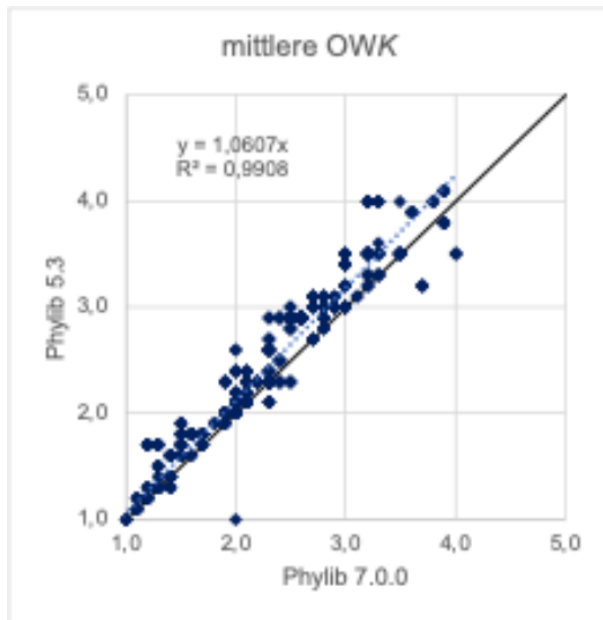


Abbildung 2: Korrelation der mittleren OWK

Bei der Betrachtung der Gesamtbewertung der Seen (mittlere OWK) wurde ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß mit $R^2 = 0,99$ erreicht. Die leichte Verschiebung im höheren Klassenbereich ist ebenfalls erkennbar, aber nicht mehr so deutlich. Dies ist auf die Verrechnung mit den Makrophyten (MP) zurückzuführen.

Silikatisches Mittelgebirge mit sauren und versauerten Seen (Seetypen 8-9)

Auch der deutlich kleinere Datensatz des silikatischen Mittelgebirges weist ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß mit $R^2 = 0,99$ bzgl. des RAQ auf. Auch die Steigung der Trendlinie liegt nahe bei 1.

Betrachtet man die Bewertung der Diatomeen, bei der der RAQ mit dem TI verrechnet wurde, ist eine leichte Rotation nach links zu erkennen. Die Bewertungen im Bereich zwischen 1 und 2 werden mit Phylib-Seen 7.0.0 strenger bewertet, ab einem Wert von 2 dann aber deutlich milder. Das Bestimmtheitsmaß liegt nur bei $R^2 = 0,62$. Die Rotation ist mithilfe der Korrelationsgeraden gut erkennbar.

Die Gesamtbewertung der Seen korreliert trotz der sehr wenigen Daten erstaunlich gut. Das Bestimmtheitsmaß beträgt $R^2 = 0,96$, die Steigung liegt nahezu bei 1.

Auch in dieser Ökoregion scheint der TI die maßgebliche Ursache für die Abweichungen zu sein. Die größten Abweichungen im mittleren Bereich resultieren aus einer Verschiebung der TI-Klasse von 4 bei Phylib 5.3 nach 2 bei Phylib-Seen 7.0.0 in den Proben vom Förmitzstausee von 2021.

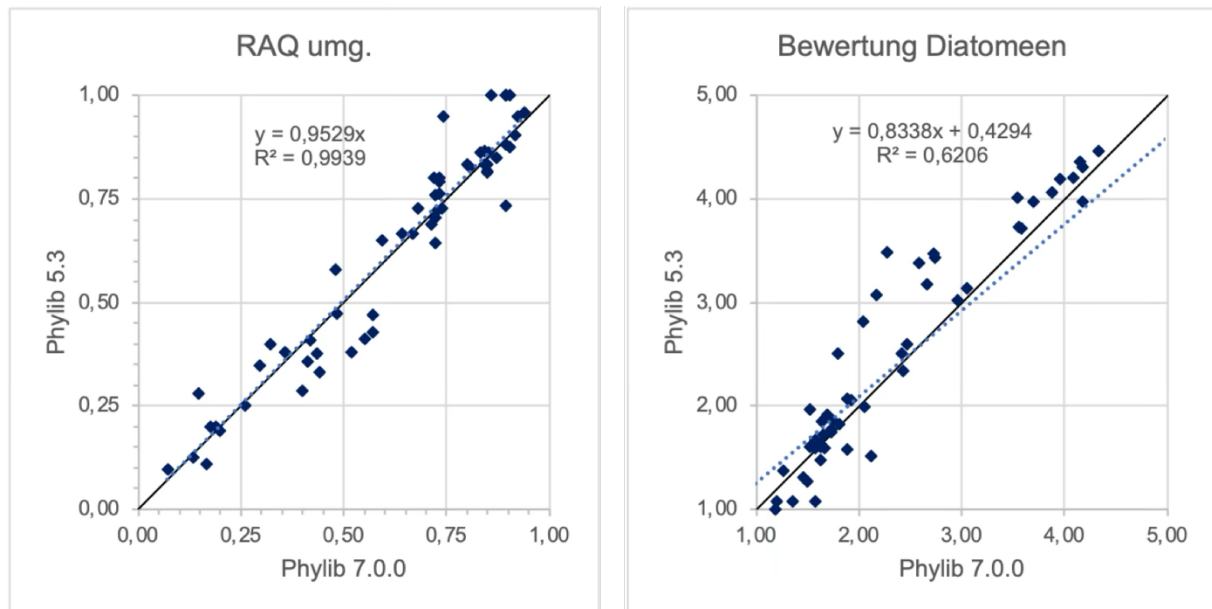


Abbildung 3: Korrelationen des "RAQ umg." und der "Bewertung Diatomeen"

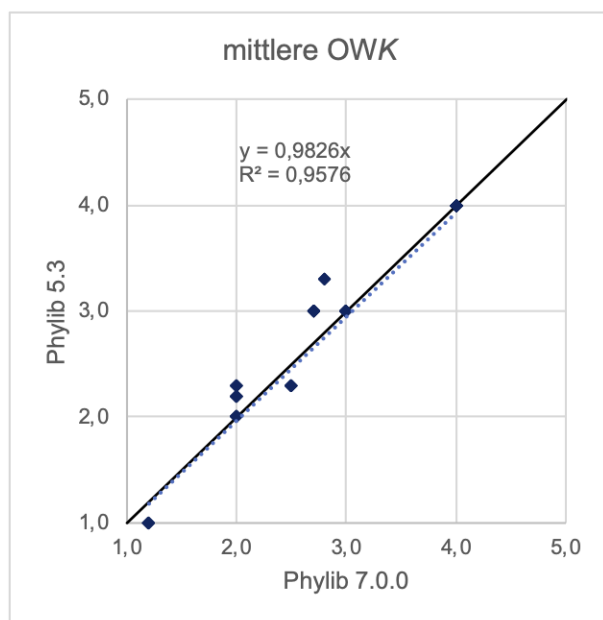


Abbildung 4: Korrelation der mittleren OWK

2.2 Anpassungen im Modul Referenzartenquotient der Seetypen 5 - 7 (Karbonatisches Mittelgebirge)

Das karbonatische Mittelgebirge stellte eine besondere Herausforderung dar, da für diese Seetypen (5-7 inkl. Subtypen) sowohl im Datensatz Süd als auch im Datensatz Nord Proben enthalten waren. Im Süden standen 104 Proben, im Norden 141 Proben

zur Verfügung. Für eine Ableitung der Einstufungen innerhalb der einzelnen Typen war die Datenmenge sehr gering.

2.2.1 Vorgehensweise

Die Einstufungen der Referenzarten (A) und der Belastungszeiger (C) wurden zunächst im Süden und im Norden getrennt durchgeführt, wobei jeweils die Methode für die Region angewendet wurde, im Süden analog zu der Ermittlung der RAQ-Arten der silikatischen Gewässer (siehe Kapitel 2.1), im Norden analog zu den Tieflandseen (siehe Kapitel 2.3).

Die ermittelten Ergebnisse wurden gegenübergestellt. Übereinstimmungen wurden übernommen. Abweichungen, die meist dadurch zustande kamen, dass die Datengrundlage in einem der Datensätze zu gering war, wurden dann über die Literaturangaben bearbeitet. Trotz derselben Ökoregion wurden in den beiden Datensätzen oft sehr unterschiedliche Taxa gefunden. So ergänzten sich die Ergebnisse der beiden Datensätze.

2.2.2 Plausibilisierung

Nachdem die Einstufung der RAQ-Arten abgeschlossen war, wurden wieder getrennt nach den Gebieten Testrechnungen vorgenommen und anschließend zur Feinjustierung Änderungen von beiden Seiten vorgeschlagen.

2.2.3 Ergebnisse aus dem Datensatz Süd

Das Bestimmtheitsmaß des RAQ im karbonatischen Mittelgebirge betrug $R^2 = 0,97$. Im Bereich der niedrigeren RAQ-Klassen 1-2 bewertet Phylib-Seen 7.0.0 strenger als Phylib 5.3, im mittleren Bereich eher milder. Die Bewertung der Diatomeen zeigt eine gute Korrelation mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,95$.

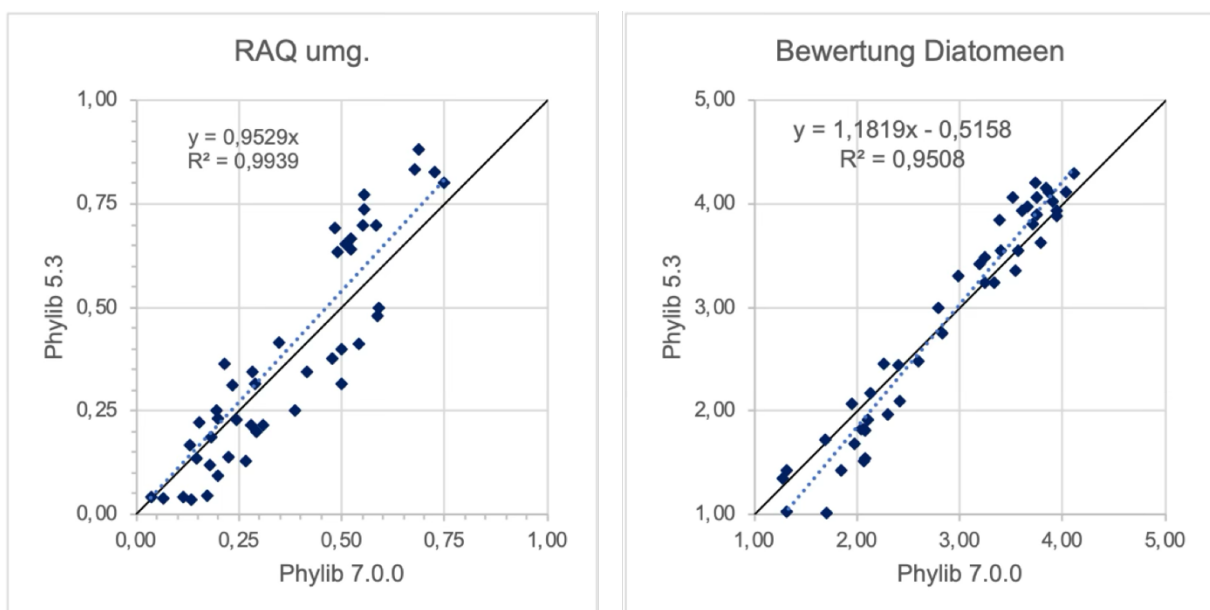


Abbildung 5: Korrelationen des "RAQ umg." und der "Bewertung Diatomeen"

Die Gesamtbewertung der Wasserkörper (mittlere OWK) zeigt eine gute Korrelation zwischen Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0. Die Steigung liegt nahezu bei 1. Lediglich bei der höchsten Klasse 5 bewertet Phylib-Seen 7.0.0 milder. Dies beruht auf einer Änderung der Berechnung der Teilkomponente Makrophyten (MP) in Transekten mit Makrophytenverödung.

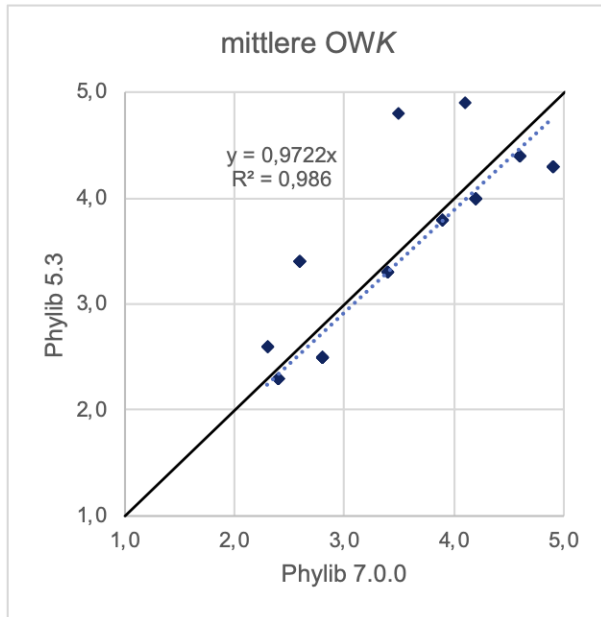


Abbildung 6: Korrelation der mittleren OWK

2.2.4 Ergebnisse aus dem Datensatz Nord

Aus den karbonatischen Mittelgebirgen nördlich von Baden-Württemberg und Bayern lagen Daten zu 116 Proben vor, die sich auf die diatomeenökologischen Subtypen 5, 5.1, 5.2, 6, 6.1, 7 und 7.1 verteilen. Dabei waren die Subtypen 5.1, 6.1 und 7.1 jeweils nur mit sehr wenigen Proben vertreten.

Das Bestimmtheitsmaß des RAQ für die Regression RAQ 5.3 vs. RAQ 7.0.0 betrug $R^2 = 0,79$. In den nördlichen Mittelgebirgen werden die Änderungen infolge der ökologischen Überprüfungen der RAQ-Einstufungen und einiger Ergänzungen relativ deutlich wirksam, vor allem im Bereich mäßig bis stark belasteter Seen (Abb. 7). Dabei ist die statistische Änderungstendenz in den nördlichen Mittelgebirgen im Vergleich zu den südlichen karbonatischen Mittelgebirgen eher umgekehrt. Diese angedeuteten Trendunterschiede legen offen, dass die geringe Stichprobengröße von 116 Proben aus den nördlichen karbonatischen Mittelgebirgen, die sich dazu auch noch über 7 Typen und Subtypen mit extrem unterschiedlicher Referenztrophy verteilt, keine gesicherten Aussagen über die Veränderungen der Plausibilität der Ergebnisse zulassen.

In den Proben aus dem nördlichen Teil der karbonatischen Mittelgebirge waren, bedingt durch deren relativ hohe Trophy, die durch statistische Ableitungen und Übertragungen ergänzten A-Arten nur sporadisch enthalten, die neu hinzugekommen C-Arten jedoch mit relativ hoher Stetigkeit. Die Bewertungen im überarbeiteten Modul RAQ fallen für die etwas nördlicher gelegenen karbonatischen Seen aufgrund von Nährstoffbelastungen mit Phylib-Seen 7.0.0 begründet und beabsichtigt etwas

strenger aus, als in Phylib 5.3. Für oligotrophe und mesotrophe Seen der nördlichen karbonatischen Mittelgebirge ergeben sich beim RAQ keine gerichteten Veränderungen.

Die Trophiebewertungen bleiben in Phylib-Seen 7.0.0 in etwa gleich streng oder sie sind in einer Anzahl von Proben nach den Feinjustierungen der TI-Klassengrenzen jetzt sogar etwas entspannter und damit insbesondere bei den natürlich mesotrophen und eutrophen Subtypen im Durchschnitt überwiegend plausibler. Die dezimale Bewertung der Teilkomponente Diatomeen verändert sich deshalb in der Gesamtbilanz in den nördlichen karbonatischen Mittelgebirgen nur geringfügig (Abbildung 8 rechte Grafik) mit tendenziell eher etwas strengeren Bewertungen solcher Uferstellen, die mit Phylib 5.3 ebenfalls nicht mit „sehr gut“ oder „gut“ bewertet wurden. Der maßgebliche Grund der leichten Verschiebung sind die in Phylib-Seen 7.0.0 besser gesicherten RAQ-Bewertungen, die auf den für die Regionen Süd und Nord gemeinsam eng abgestimmten Listen an C-Arten der karbonatischen Mittelgebirge basieren. Zum einen führen die ergänzten C-Arten in Phylib-Seen 7.0.0 zu öfter gesicherten RAQ-Bewertungen. Zum anderen erscheinen aber auch bereits in Phylib 5.3 gesicherte RAQ in Phylib-Seen 7.0.0 überwiegend plausibler und zuverlässiger, weil die C-Arten auf einer größeren Datengrundlage abgeleitet und deswegen statistisch besser abgesichert sind.

Im Bereich sehr guter und guter RAQ-Bewertungen treten hingegen nur leichte Streuungen auf, die sich nur geringfügig auf die Bewertungen im Modul RAQ und damit auch nur geringfügig auf die dezimalen Bewertungen der Teilkomponente Diatomeen auswirken.

Die (dezimale) Bewertung der Diatomeen mit Phylib-Seen 7.0.0 zeigt auch für die nördlichen karbonatischen Mittelgebirge eine gute Korrelation mit der Vorgängerversion mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,85$ (Abb. 7 rechte Grafik). Insgesamt ergeben sich aus fachlicher Sicht aus dem kleinen Datensatz der Mittelgebirge keine weiteren Ansatzpunkte für eventuelle weitere Verbesserungen der Bewertungsgrundlagen der Seetypen 5 – 7 einschließlich ihrer diatomeenökologischen Subtypen.

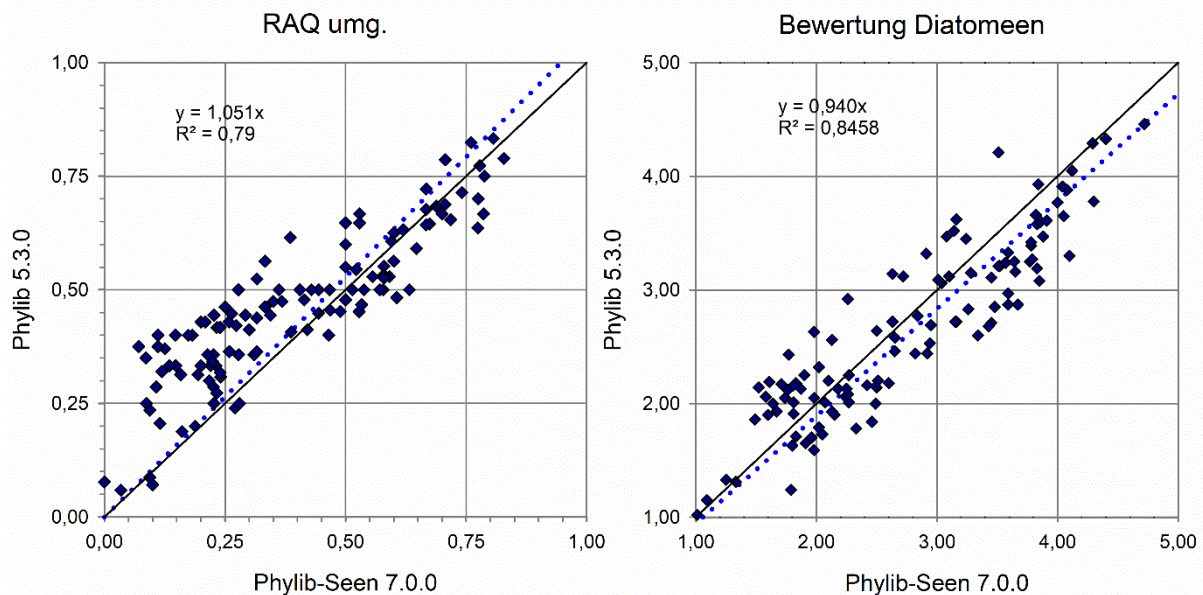


Abbildung 7: Korrelationen des "RAQ umg." und der "Bewertung Diatomeen"

2.3 Anpassungen im Referenzartenquotient der Seetypen 10 - 14 (Tiefland)

2.3.1 Datengrundlage und Prüfkriterien

Als Datengrundlage zur Überprüfung der Einstufungen der im Tiefland vorkommenden benthischen Diatomeenarten diente der Datensatz LAWA O 1.23, mit dem im Vorprojekt (Müller et al. 2024) die Anpassungen im Modul Trophiebewertung vorgenommen worden waren. Die 4.021 Proben dieses Datensatzes wurden mit der projektinternen Testversion Phylib-Seen 7 rc1 bewertet. Die dabei ermittelten Ergebnisse im Modul Trophiebewertung basierten bereits auf den neuen Trophiewerten und Gewichtungswerten im TI-Nord aus dem Vorprojekt O 1.23. Auch die Ergebnisse im Modul Referenzartenbewertung berücksichtigten alle bereits im Vorprojekt vorgenommenen Übertragungen von bislang (Phylib 5.3) bereits eingestuftem Taxa auf die Taxa der BTL 2020.

Im Projekt O 1.25 stand die Überprüfung der Einstufungen A (ökologisch sensible Referenztaxa) und C (störungsanzeigende Taxa) aller benthischen Diatomeen im Mittelpunkt, soweit sie im Datensatz des Vorprojektes durch Meldungen der Länder belegt waren. Es wurde bei diesen Überprüfungen nicht danach unterschieden, ob die Einstufung eines Taxons in der Testversion 7 rc1 in die Indikatorgruppen A oder C unverändert aus früheren Phylib-Versionen übernommen worden war oder ob sie im Vorprojekt O 1.23 durch Übertragungen auf einen moderneren Taxonnamen der BTL 2020 oder im Ergebnis echter taxonomischer Auftrennungen vorgenommen worden war.

Im Projekt wurde davon ausgegangen, dass sich A-Arten hinsichtlich ihrer ökologischen Ansprüche dadurch von C-Arten unterscheiden, dass sie in Gewässern mit

referenznahen Assoziationen (RAQ-Klassen 1 und 2, berechnet mit den qualifizierten Voreinstufungen A und C der projektinternen Softwareversion Phylib-Seen 7 rc1) in deutlich höheren Anteilen an Proben (Stetigkeit) und eventuell auch in höheren Dominanzwerten auftreten, als in Gewässern mit gestörten Assoziationen (RAQ-Klassen 3, 4 und 5 in der Softwareversion Phylib-Seen rc1). Aus dieser Grundannahme wurden folgende Vorgehensweisen und prüffähigen Hypothesen abgeleitet:

1.) Die Proben wurden nach Typen getrennt in zwei Gruppen je Typ eingeteilt. Die Proben der Gruppe I jedes Typs enthalten sehr gering bis gering gestörte Assoziationen mit $RAQ > 0$. Die Proben der Gruppe II enthalten signifikant gestörte Assoziationen mit $RAQ \leq 0$.

2.) Taxa der Indikatorengruppe A sollten in sehr gering oder gering gestörten Assoziationen mit Referenzartenquotienten ($RAQ > 0$ (Klassen 2 und 1) stetiger gemeldet worden sein, als in gestörten Assoziationen mit Referenzartenquotienten ($RAQ \leq 0$ (Klassen 5, 4 und 3).

3.) Taxa der Indikatorengruppe A sollten in sehr gering oder gering gestörten Assoziationen mit Referenzartenquotienten ($RAQ > 0$ (Klassen 2 und 1) im Mittel mit höheren Dominanzwerten gemeldet worden sein, als in gestörten Assoziationen mit Referenzartenquotienten ($RAQ \leq 0$ (Klassen 5, 4 und 3).

4.) Taxa der Indikatorengruppe C sollten in sehr gering oder gering gestörten Assoziationen mit Referenzartenquotienten ($RAQ \leq 0$ (Klassen 5, 4 und 3) mit geringerer Stetigkeit gemeldet worden sein, als in gestörten Assoziationen mit Referenzartenquotienten ($RAQ > 0$ (Klassen 2 und 1).

5.) Taxa der Indikatorengruppe C sollten in sehr gering oder gering gestörten Assoziationen mit Referenzartenquotienten ($RAQ > 0$ (Klassen 2 und 1) im Mittel mit niedrigeren Dominanzwerten gemeldet worden sein, als in gestörten Assoziationen mit Referenzartenquotienten ($RAQ \leq 0$ (Klassen 5, 4 und 3).

6.) Taxa mit in etwa gleich großen Werten für die Stetigkeit und die mittlere Dominanz in den beiden soziologischen Gruppen I und II sind ökologisch tolerant oder sie nehmen eine Zwischenstellung zwischen "ökologisch sensibel" und "störungsanzeigend" ein, sie sind dann "ökologisch intermediär".

Die Abtrennung der ökologisch toleranten oder intermediären Taxa von den beiden im Verfahren genutzten Gruppen der sensiblen oder störungsanzeigenden Taxa erwies sich im Allgemeinen und auch für jeden Typ in spezifischer Weise als aufwändig.

2.3.2 Berechnungsgrundlagen zur Ableitung der Indikatorwerte A und C

Datengrundlagen zur Ermittlung des Stetigkeitskoeffizienten

Für jedes Taxon i wurde die Anzahl der Meldungen in den Gruppen I und II und die Gesamtanzahl der Proben in den Gruppen I und II ermittelt (Tab. 1).

Datengrundlagen zur Ermittlung des Vitalitätskoeffizienten

Als Kriterium der Vitalität eines Taxons wurde deren Dominanz herangezogen. Zunächst wurden die Dominanzwerte aller 209.562 Bestimmungen im Blatt „Messwerte“ der Phylib-7-Importdatei quadratwurzeltransformiert:

$$D_{sqr\ i} = \sqrt{D_i + 0,01}$$

Hierbei sind:

- $D_{sqr\ i}$ der quadratwurzeltransformierte Dominanzwert des Taxons i
- D_i der originale Dominanzwert des Taxons i in %.

Diese Transformation bewirkt eine Dämpfung des statistischen Einflusses hoher Dominanzwerte (> 36%), die in Pionierassoziationen und unter oligotrophen Bedingungen oft vorkommen. Gleichzeitig werden alle Dominanzwerte < 1% erhöht auf Werte, die näher an 1 liegen. Alle Präsenzdaten mit Dominanzwert = 0, die im Bestimmungsgang am Mikroskop beim weiteren Durchmustern der ausgezählten Präparate notiert werden, wurden aktiv in die Berechnungen einbezogen, indem sie auf "0,01 %" gesetzt wurden. Auch alle anderen Dominanzwerte der Taxa wurden um 0,01 % erhöht, um künstliche Verzerrungen im Dominanzgefüge zu vermeiden.

Für jeden Seetyp / Subtyp DS XY.Z und jedes Taxon i (anhand der DV-Nr.) wurden anschließend die arithmetischen Mittelwerte $D_{avg\ sqr\ i}$ entsprechend

$$D_{avg\ sqr\ i} = \sum_{i=1}^N D_{sqr\ i} : N$$

für zwei RAQ-Qualitätsgruppen berechnet:

- Gruppe I (RAQ-Klassen 1 und 2): Alle Proben mit $RAQ > 0$.
- Gruppe II (RAQ-Klassen 3, 4 und 5): Alle Proben mit $RAQ \leq 0$.

Hierbei sind:

- $D_{avg\ sqr\ i}$ der Mittelwert der quadratwurzeltransformierten Dominanzwerte des Taxons i
- $D_{sqr\ i}$ der quadratwurzeltransformierte Dominanzwert des Taxons i
- N die Anzahl der Proben eines diatomeenökologischen Seetyps, in denen das Taxon nachgewiesen wurde (egal ob als Meldung in % oder als „0“).

Die Ergebnisse für die beiden Gruppen I und II wurden für die nachfolgenden Berechnungen von Koeffizienten für alle Subtypen der Seen des Tieflandes ausgewertet.

2.3.3 Repräsentativität der Daten

Die für das Projekt gemeldeten Länderdaten aus dem Tiefland und den karbonatischen Mittelgebirgen nördlich von BY und BW enthielten Angaben zu 982 benthischen Diatomeentaxa.

Die diatomeenökologischen Seetypen bzw. Subtypen waren sehr unterschiedlich häufig vertreten (Tabelle 2). Auch die Anteile an Proben der Gruppe I, die die gesuchten Referenzarten der jeweiligen Typen bzw. Subtypen enthalten sollte, variierten zwischen 17% im Typ DS 13.1 und 67% im Typ DS 10.2. Die Seetypen DS 8 und DS s stellen geologische Ausnahmen in der Region Nord dar, deren Referenzarten im Projekt durch die Bearbeiterin der Region Süd (C. Goos) bearbeitet wurden. Die Seetypen DS 6.1, DS 7.1 und DS 13.11 waren nicht gemeldet worden. Speziell der Typ DS 13.11

wurde daher im Vorhaben als conspezifisch mit dem Typ DS 13.2 betrachtet, zumal er geschichtete Seen umfasst, die in etwa die gleichen Verweilzeiten in der gleichen geologischen Formation (Jungglazial Norddeutschlands) aufweisen. Nach den Arbeitserfahrungen der Bearbeiterin sind die Subtypen DS 13.11 und DS 13.2 diatomeensoziologisch gleich und wurden auch deshalb im Vorhaben nicht getrennt. Anzunehmen den kleineren Unterschieden in der P-Verfügbarkeit wird mit angepassten Klassengrenzen des TI-Nord entsprochen.

Tabelle 2: Anzahlen an Proben aus den diatomeenökologischen Seetypen in den karbonatischen Mittelgebirgen nördlich von BY und BW und im Tiefland

Diatomeenökologischer Seetyp bzw. Subtyp	Anzahl Proben in RAQ-Klassen 1 und 2	Anzahl Proben in RAQ-Klassen 3, 4 und 5	Anzahl Proben gesamt
DS 5	16	8	24
DS 5.1	3	5	8
DS 5.2	7	10	17
DS 6	1	33	34
DS 6.1	0	0	0
DS 7	33	25	58
DS 7.1	0	0	0
DS 8	0	5	5
DS s	5	0	5
DS 10.1	439	376	815
DS 10.2	194	96	290
DS 11	378	719	1.097
DS 12	98	167	265
DS 13.1	80	378	458
DS 13.2	245	485	730
DS 14	55	143	198

2.3.4 Trennung der Indikatorengruppen A und C

Stetigkeitskoeffizient S_i

Für jedes Taxon i wurde ein Stetigkeitskoeffizient S_i für jeden Typ bzw. Subtyp der Tabelle 2 berechnet (also auch für die Mittelgebirgstypen, soweit Meldungen nördlich von BY und BW vorlagen). Die Berechnungen erfolgten nach:

$$S_i = \frac{0,1 + \frac{N_i(I)}{P_i(I)}}{0,1 + \frac{N_i(II)}{P_i(II)}}$$

Hierbei sind:

- S_i der Stetigkeitskoeffizient des Taxons i
- N_i die Anzahl der Meldungen in Gruppe I oder Gruppe II,
- P_i die Anzahl Proben in Gruppe I oder Gruppe II.

Der Stetigkeitskoeffizient drückt aus, wie deutlich ein Taxon in Bezug auf seine Stetigkeit zur Gruppe I (Werte $S > 1$) oder zur Gruppe II (Werte $S < 1$) gehört. Ideal indifferente Taxa hätten in beiden Gruppen die gleiche Stetigkeit und würden einen Stetigkeitskoeffizienten = 1 annehmen. Die Addition von +0,1 im Zähler und im Nenner verhindert, dass der Stetigkeitskoeffizient die Werte "unendlich" oder "nicht lösbar" ergeben könnte, die den weiteren numerischen Auswertungsprozess erschweren würden.

Der Stetigkeitskoeffizient bevorteilt Taxa mit hoher Dispersionsfähigkeit, insbesondere tychoplanktische Taxa, die, sofern sie in einem See vorkommen, in jeder Litoralprobe gefunden werden können.

Vitalitätskoeffizient V_i

Für jedes Taxon i wurde ein Vitalitätskoeffizient V_i für jeden Subtyp berechnet. Die Berechnungen erfolgten nach:

$$V_i = \frac{0,1 + D_{avg_{sqri}}(I)}{0,1 + D_{avg_{sqri}}(II)}$$

Hierbei sind:

- V_i der Vitalitätskoeffizient des Taxons i
- $D_{avg_{sqri}}$ der Mittelwert der quadratwurzeltransformierten Dominanzwerte des Taxons i , jeweils in der Gruppe I oder Gruppe II.

Der Vitalitätskoeffizient drückt aus, wie deutlich ein Taxon i in Bezug auf seine (wurzeltransformierte) Dominanz zur Gruppe I (Werte $V > 1$) oder zur Gruppe II (Werte $V < 1$) gehört. Taxa, die in beiden RAQ-Gruppen die gleichen mittleren Dominanzwerte erreichen, würden einen Vitalitätskoeffizienten = 1 annehmen. Die Addition von +0,1 im Zähler und im Nenner verhindert wiederum, dass der Vitalitätskoeffizient die Werte "unendlich" oder "nicht lösbar" ergeben könnte, die den weiteren numerischen Auswertungsprozess erschweren würden.

Der Vitalitätskoeffizient bevorteilt Pioniertaxa (r-Strategen), die besonders schnell wachsen und in unausgereiften Assoziationen oft dominant auftreten. Ob diese Pioniertaxa aber als A-Arten gelten können, die als Indikatoren unbelasteter Uferstellen eingesetzt werden können, entscheidet sich erst, wenn sie sich im Mittel über alle Proben belasteter Uferstellen des Typs durch niedrigere Dominanzwerte und damit unter Belastungen als weniger konkurrenzfähig als bei Abwesenheit störender Einflüsse erweisen.

RAQ-Koeffizient $RAQK_i$

Aus den Stetigkeitskoeffizienten und den Vitalitätskoeffizienten der Taxa wurden in jedem Typ bzw. Subtyp RAQ-Koeffizienten errechnet. Die Basiswerte zur Ableitung der RAQ-Koeffizienten, nämlich die Stetigkeitskoeffizienten und die Vitalitätskoeffizienten, sind nicht direkt vergleichbar skaliert. Der Medianwert der höchsten Stetigkeitskoeffizienten über alle Seetypen liegt bei 5,22, der Medianwert der höchsten

Vitalitätskoeffizienten liegt bei 18,95. Von einer Normierung beider Koeffizienten vor deren Verschnitt wurde abgesehen. Stattdessen wurden die Produkte beider Koeffizienten berechnet:

$$RAQK_i = S_i \times V_i$$

Die RAQ-Koeffizienten der Taxa liegen im Bereich 0 ... 124, im Median der Typen erreichen die Maxima Werte um 42. Wie bei den beiden Basiswerten erreichen auch beim RAQ-Koeffizienten die ökologisch indifferenten Taxa Werte um 1.

Ausschluss der ökologisch toleranten und indifferenten Taxa ("B-Taxa")

Im ersten Ansatz zur Überarbeitung der Taxaeinstufungen für den RAQ wurden in allen Seetypen bzw. Subtypen alle Taxa i als nicht im RAQ eingestuft gekennzeichnet, deren Werte für den RAQK i im Bereich 1,5 ... 0,75 liegen. Im weiteren Verlauf des Abgleichs der RAQ-Bewertungen mit den TI-Bewertungen für referenznahe Proben wurden dann für jeden Typ bzw. Subtyp so lange Störungszeiger mit moderaten Trophiewerten in der Reihenfolge aufsteigender Trophiewerte gelöscht, bis in der Gesamtliste des jeweiligen Typs bzw. Subtyps ungefähr gleich große Taxazahlen an A- und C-Taxa erreicht wurden und sich damit plausible Werteverteilungen des RAQ entlang des Trophiegradienten ergaben. Maßgeblich war für die Einschätzung der Plausibilität der Werteverteilungen des RAQ, dass sich für Proben mit referenznahen Assoziationen eine möglichst große Zahl an Übereinstimmungen der RAQ-Bewertungsklasse (mit Klasse 1) und der Trophiebewertungen (ebenfalls mit Klasse 1 und einem harmonischen Streuungsbild entlang des Trophiegradienten) ergab. Weiterhin wurde bei den Plausibilitätskontrollen der Arbeitsstände nach Anpassungen der Taxalisten der C-Arten darauf geachtet, dass die RAQ-Bewertungen in den Bewertungsklassen 2 – 4 im Mittel etwas strenger aber nicht sehr viel strenger ausfielen als die Trophiebewertungen. Das Grundprinzip der Diatomeenbewertung, nachdem der RAQ einige weitere Belastungen als nur die Trophie anzeigen soll und kann, wurde damit bewahrt.

Harmonisierung und Glättung der RAQ-Einstufungen der Taxa

Die Spalten eines Entwurfs der Attributetabelle mit den neuen Einstufungen A und C wurden für die karbonatischen Seetypen (ohne Alpen und Voralpen) nach aufsteigender Referenztrophy von links nach rechts sortiert. Den Einstufungen A und C wurde die jeweilige Zahl an Gesamtmeldungen des Taxons zugeordnet. Anhand dieser Präsenzzahlen wurde sofort erkennbar, in welchen diatomeenökologischen Seetypen ein Taxon seinen Verbreitungsschwerpunkt hat und für welche Seetypen botanische Durchforschungslücken bestehen. Eindeutig auf die Seltenheit bestimmter Seetypen und ihren geringen botanischen Durchforschungsgrad in der Ökoregionengruppe Nord zurückzuführende Einstufungslücken wurden durch Übertragungen der Einstufungen aus ökologisch ähnlichen Typen bzw. Subtypen gefüllt. Lückenschlüsse von A-Taxa und C-Taxa wurden dabei in etwa gleich häufig vorgenommen. Bei ökologischen Zweifelsfällen, z. B. bei klar erkennbaren Präferenzen einzelner Taxa für die im Sommer stickstofflimitierten Subtypen DS 13.2 und DS 10.2, wurden weder Übertragungen von diesen auf andere Seetypen mit gleicher P-Referenztrophy noch von in der P-Referenz ähnlichen auf diese soziologisch eigenständigen Subtypen DS 13.2 und DS 10.2 vorgenommen.

Übertragungen der Attribute auf Synonyme

Die neuen typspezifischen Einstufungen A und C der im Datensatz enthaltenen Taxa wurden für den Import in die Software abschließend durch beide Diatomeenbearbeiterinnen in einer gemeinsamen Attributetabelle erfasst. Insbesondere für die Taxa der Seetypen 5 – 7 (karbonatisches Mittelgebirge) wurde durch beide Bearbeiterinnen eine taxonspezifische Abstimmung aller Einstufungen A und C unter Berücksichtigung von Fachliteratur vorgenommen, um die Unsicherheiten infolge der statistisch unzureichenden Datenlage im Mittelgebirge auszugleichen.

Die Eintragung der Einstufungen A und C erfolgte für den aktuellen Taxonnamen und alle in der BTL 2020 enthaltenen Synonyme gleich. In seltenen Ausnahmen wurden veraltete Synonyme, die schon seit Beginn der Diatomeenbestimmungen im Monitoring der EG-WRRL nicht mehr verwendet werden, nicht eingestuft. Diese wenigen nicht eingestuften Synonyme (darunter auch taxonomisch unscharfe oder falsche Namen aus den 1980er Jahren) sind nur in antiquarischer, heute inhaltlich stark veralteter Literatur zu finden, die den Anforderungen an die Bestimmungstiefe zur Anwendung des Phylib-Verfahrens nicht genügt. Proben, die mit dieser Bestimmungsliteratur bestimmt wurden, sind in ökologischer Hinsicht nicht mit hinreichender Sicherheit und Genauigkeit bewertbar, was dann z. B. auch an der Nichteinstufung dieser veralteten Taxanamen im Ausgabeblatt "Taxa" bei der Plausibilitätskontrolle erkennbar wird.

2.3.5 Feinjustierungen der beiden Module

Im Verfahrensstand Phylib 5.3 waren in den Seetypen des Tieflandes größere Abweichungen der Bewertungen der beiden Module die Regel. Der Referenzartenquotient RAQ bewertete die Seen im Tiefland im Verfahrensstand Phylib 5.3 im Tiefland im Mittel um eine bis zwei Klassen strenger als der TI. Eine etwas strengere Bewertung mit dem Referenzartenmodul war dabei insofern plausibel, als der RAQ neben erhöhter P-Verfügbarkeit auch andere Belastungen, wie z. B. erhöhte Ammoniumkonzentrationen, erhöhte Natriumchlorid-Konzentrationen, erhöhte Saprobie, mechanische Belastungen und vermutlich auch hydraulische Belastungen (extremer Wellenschlag an Seen mit Nutzung als Bundeswasserstraße) anzeigt. Bei früheren Plausibilitätsüberprüfungen der Monitoringergebnisse durch die Fachbehörden der Länder war jedoch aufgefallen, dass das mittlere Ausmaß der Abweichungen der Modulbewertungen im Mittel um eine bis zwei Klassen nicht durch diese zusätzlichen Belastungen erklärbar war. Zumindest sind weder Versalzung noch Saprobie nach derzeitigem Kenntnisstand in den Seen des Tieflands in einem Ausmaß ausgeprägt, das eine gegenüber dem Trophiemodul systematisch um eine bis zwei Klassen strengere RAQ-Bewertung rechtfertigen könnte. Deshalb war im Aufgabenkatalog für das Projekt O 1.25 die Herstellung unabhängig voneinander plausibler Bewertungen in beiden Modulen als wichtiger Leistungsbestandteil fixiert worden.

Durch die Überarbeitung des Trophieindex-Nord im Vorprojekt O 1.23 war es bereits gelungen, einen Teil an unplausibel niedrigen Trophieindizes aus dem für das Tiefland oft unplausiblen oligotrophen Bereich in den im Regelfall plausibleren mesotrophen Bereich zu verschieben. Damit ergab sich im LFP O 1.25 ein bereits recht guter Ansatz für direkte Vergleiche der Teilbewertungen beider Module.

Ein schwerpunktmäßig verfolgter Ansatz für eine weitergehende Harmonisierung der Bewertungsstrenge beider Module war ein Abgleich für Proben aus referenznahen

Seen der zahlenmäßig und referenzseitig gut repräsentierten Seetypen im Tiefland, z. B. DS 13.1, DS 13.2, DS 10.1 und DS 11.

Die Abbildungen 8 bis 10 zeigen den zum Abschluss des Projektes O 1.25 erreichten Stand bei der Harmonisierung der beiden Diatomeenmodule.

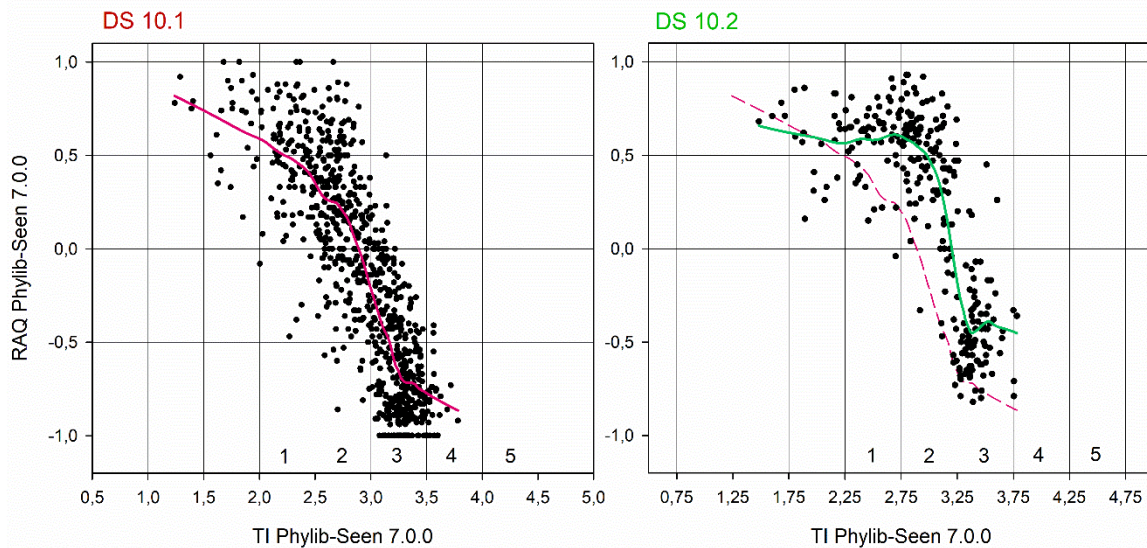


Abbildung 8: Werteverteilung für den RAQ im LAWA-Seetyp 10 entlang des Gradienten des TI in Phylib-Seen 7.0.0

In der Abbildung 8 sind die Werteverteilungen des RAQ entlang des Trophiegradienten für die di- und z. T. monomiktischen Seetypen DS 10.1 und 10.2 dargestellt. In der rechten Grafik wird deutlich, dass die Bewertung des Subtyps 10.2 eine RAQ-Bewertung mit Klasse 1 bis zu Trophieindizes von 3,25 zulässt.

Der Abstand der grünen (DS 10.2) von der gestrichelten roten (DS 10.1) Linie (LOWESS - LOcally WEighted Scatter Plot Smooth) im Bereich ihres stärksten Abfalls verdeutlicht in der rechten Grafik die entspanntere Bewertung des Subtyps DS 10.2, die wegen der starken Speisung des Subtyps DS 10.2 durch relativ P-reiches Grundwasser im Jungglazial Norddeutschlands bei geringeren Verweilzeiten und geringer Retentionszeit geboten ist.

In der Abbildung 9 sind die Werteverteilungen des RAQ entlang des Trophiegradienten für die di- und z. T. monomiktischen Seetypen DS 13.1 und 13.2 dargestellt. In der rechten Grafik wird deutlich, dass die Bewertung des Subtyps 13.2 für mehrere Proben eine RAQ-Bewertung mit Klasse 1 bis zu Trophieindizes von 3,00 zulässt, die Trophieindizes in der RAQ-Klasse 1 jedoch auch vereinzelt Werte $TI < 1,0$ (Trophiestufe oligotroph 1) erreichen können.

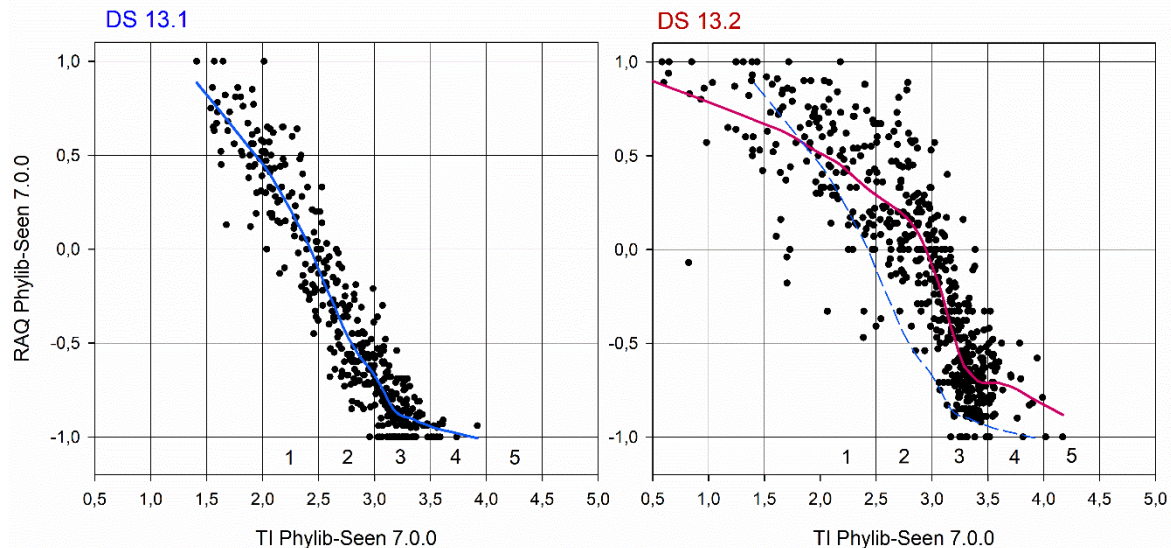


Abbildung 9: Wertevertellung für den RAQ im Seetyp DS 13 entlang des Gradienten des TI in Phylib-Seen 7.0.0.

Beim Subtyp DS 13.1 ist die Variabilität der Trophieindizes im Bereich der RAQ-Klasse 1 ($RAQ > 0,5$) kleiner, nämlich auf den Bereich 1,4 - 2,3 beschränkt. Der Abstand der roten (DS 13.2) von der blauen (DS 13.1) Linie (LOWESS) im Bereich ihres stärksten Abfalls verdeutlicht in der rechten Grafik die entspanntere Bewertung des Subtyps DS 13.2 im Modul Referenzartenbewertung bei gleicher Trophie, die wegen der stärkeren Grundwasserspeisung bei geringeren Verweilzeiten geboten ist. Im Bereich geringer Belastungen (Seen in Waldgebieten) unterscheiden sich die Subtypen DS 13.1 und DS 13.2 in soziologischer Hinsicht deutlich. Mit dem angepassten RAQ für den Subtyp DS 13.2 wird diesem biologischen Phänomen in Phylib-Seen 7.0.0 entsprochen.

Die Trophiebewertung beider Subtypen des LAWA-Seetyps 13 erfolgt hingegen in Phylib-Seen 7.0.0 gleich streng, weil sich beim TI für Proben mit $RAQ > 0,5$ (soziologische Referenzbedingungen) im Subtyp DS 13.2 zwar eine sehr viel größere Variabilität aber im Mittel keine systematisch höheren Trophieindizes belegen ließen.

Das im Subtyp DS 13.2 über den abgedeckten Trophiebereich hinweg deutlich ausgeprägtere Streuungsverhalten des RAQ verdeutlicht die im Vergleich zum Subtyp DS 13.1 größere geologische Variabilität der Einzugsgebiete, die in Sachsen möglicherweise auch etwas eisenreichere Ausprägungen als im Jungglazial Norddeutschlands einschließt. Weiterhin legen sie die Vermutung nahe, dass im Subtyp DS 13.2 auch damit zu rechnen ist, dass unterschwellige Wirkungen durch Natriumchlorid oder andere limnochemische Einflussfaktoren (DOC?) vorkommen könnten. Auffällig schlechte Bewertungen im RAQ bei guter Trophie betreffen im Datensatz jedoch nur sehr vereinzelte Proben, für die die fachgutachterlichen Plausibilitätskontrollen voraussichtlich in einem überschaubaren engen Rahmen bleiben werden.

In der Abb. 10 sind die Wertevertellungen des RAQ entlang des Trophiegradienten für die polymiktischen Seetypen DS 14 und 11 dargestellt. In der rechten Grafik wird deutlich, dass die Bewertung des Seetyps 11 bei gegebener Trophiesituation eine ganze Klasse entspannter als im Typ 14 erfolgt. Dazu trägt vor allem die im eutrophen Bereich bei $TI = 2,75 - 3,25$ um anderthalb bis zwei Klassen entspanntere Referenzartenbewertung bei. Diese trägt der sommerlichen P-Rücklösung im Typ 11 mit

entsprechenden Wirkungen auf die Diatomeenassoziationen Rechnung, die auch in gering belasteten Seen ausgeprägt ist. Für unbelastete Seen mit $TI < 1,75$, die als seltene Ausprägung auch im Seetyp 11 vorkommen, sind die Bewertungen in beiden Modulen gleich streng. D. h. bei $TI = 2$ schneiden sich die Kennlinien der Bewertungsstrenge beider Typen. Schwach mesotrophe Seen des Typs 11 (characeendominierte Flachseen) sind diatomeensoziologisch nicht von referenzkonformen Seen des Typs 14 unterscheidbar. Die durch die unterschiedliche Hydrologie bedingten Unterschiede beider Typen treten aber bei geringer bis mittlerer P-Belastung deutlich zu Tage. Bei starker P-Belastung erreicht der TI im Typ DS 11 Werte bis 4,25, im Typ 14 liegen die höchsten ermittelten TI etwas tiefer, bei 4,00.

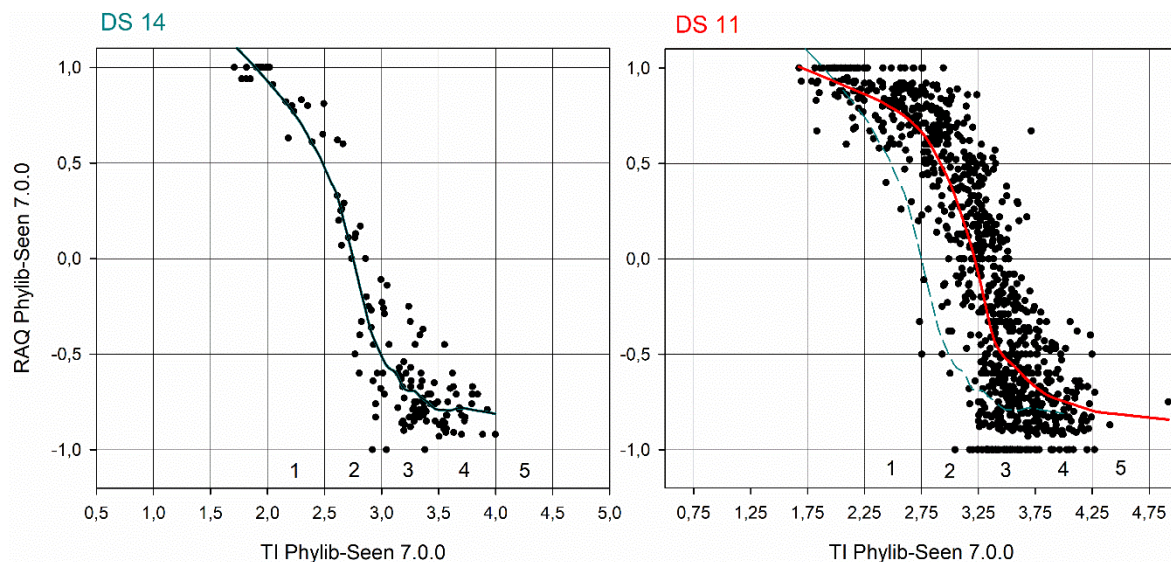


Abbildung 10: Werteverteilung für den RAQ in den Seetypen 14 und 11 entlang des Gradienten des TI in Phylib-Seen 7.0.0

Der Abstand der roten (DS 11) von der blauen (DS 14) Linie (LOWESS) im Bereich ihres stärksten Abfalls bei $RAQ = 0$ verdeutlicht die entspanntere Bewertung des Typs DS 11, die wegen des stärkeren Durchflusses und der geringeren Verweilzeiten geboten ist.

In der Abb. 11 sind die Werteverteilungen des RAQ entlang des Trophiegradienten für die polymiktischen Seetypen DS 11 und 12 gegenüber gestellt. In der rechten Grafik wird deutlich, dass die Bewertung der Flusseen (Typ 12) bei gegebener Trophiesituation ca. eine Klasse entspannter als im Typ 11 erfolgt. Dazu trägt vor allem die im Grenzbereich Eutrophie / Polytrophyie (TI 3,5) um ca. 2 Klassen entspanntere Referenzartenbewertung im Typ 12 bei. Diese trägt der starken sommerlichen P-Rücklösung im Flussee Typ Rechnung, die bereits bei geringer P-Belastung starke Wirkungen auf die Diatomeenassoziationen entfaltet.

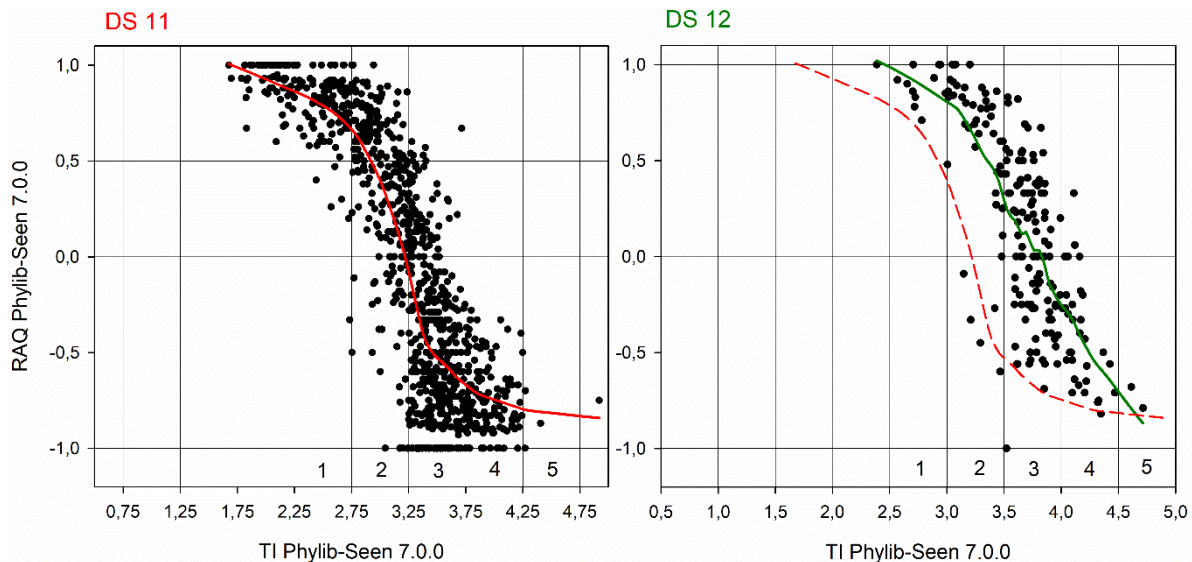


Abbildung 11: Werteverteilung für den RAQ in den Seetypen 14 und 11 entlang des Gradienten des TI in Phylib-Seen 7.0.0

Im soziologischen Referenzzustand erreichen Proben aus Flusseen nur ausnahmsweise Minimalwerte des TI von 2,4. Der trophische Grundzustand ist schwach eutroph mit $TI > 2,5$.

2.3.6 Interkalibrationsvorprüfung für die Seetypen im Tiefland

Nach der grundlegenden Herstellung der Plausibilität der Bewertungen von Uferstellen mit beiden Diatomeenmodulen soll der Nachweis von Änderungen der Bewertungsstrenge nach dem Verschnitt beider Module erfolgen. Ein Ziel der Anpassungen des Verfahrens war, die Bewertungsstrenge für die Seen innerhalb der jeweils betrachteten Ökoregion auf etwa dem gleichen Niveau wie in Phylib 5.3 zu halten. Die Interkalibration gebietet eine mindestens gleiche oder größere Strenge auf dem Niveau von Typengruppen (L-CB1 bis L-CB3). Für den Vergleich der Bewertungsstrenge der nationalen Verfahren wurden im Interkalibrationsprozess zwischen den in Mitteleuropa liegenden Mitgliedstaaten mit Anteilen an der geografisch umrissenen Seengruppe "Central & Baltic Lakes" die in Abbildung 12 aufgeführten Seengruppen L-CB1 bis L-CB3 gebildet.

Table 2.3.1b: Central/Baltic lakes: intercalibration types (as agreed in the IC process).

Type	Lake characterisation	Altitude (m a.s.l.)	Mean depth (m)	Geology alkalinity (meq l ⁻¹)	Hydrological residence time (years)
L-CB1	Lowland, shallow, calcareous	< 200	3 - 15	> 1	1-10
L-CB2	Lowland, very shallow, calcareous	< 200	< 3	> 1	0.1-1
L-CB3	Lowland, shallow, small, siliceous (moderate alkalinity)	< 200	3 - 15	0.2 - 1	1-10

Abbildung 12: Internationale Seetypen der Ökoregion 4 - Zentrales Tiefland, die im Interkalibrationsprozess zwischen den Mitgliedstaaten abgestimmt wurden. Aus Poikane 2009, p. 37.

Für die in Deutschland unterschiedenen nationalen Seetypen (LAWA-Seetypen) ergibt sich folgende Zuordnung:

Zur Interkalibrationsgruppe L-CB1 gehören in Deutschland der Seetyp 13 mit den Subtypen DS 13.1 und DS 13.2 und der Subtyp DS 10.1. Nur sehr wenige Seen in Deutschland des LAWA-Subtyps DS 13.1 haben mittlere Tiefen > 15 m, gehören aber anhand der Verweilzeit in die Gruppe L-CB1. Der weitaus größte Teil der in Deutschland liegenden Seen des nationalen Subtyps DS 13.1 hat mittlere Tiefen < 15 m. Die Einbeziehung des Subtyps DS 13.1 in den Interkalibrationstyp L-CB1 ergibt sich in praktischer Hinsicht auch dadurch, dass die Verweilzeit nur sehr grob abgeschätzt werden kann, weil der Abstrom aus den Seen des Subtyps DS 13.1 zum größten Teil oder ausschließlich unterirdisch durch den durchlässigen Sanduntergrund zum nächsten Fluss oder See hin erfolgt. Hinsichtlich der Trophiebewertung wurde im Zuge der Überarbeitungen des Phylib-Verfahrens der Unterschied zwischen den Subtypen DS 13.1 und DS 13.2 aufgehoben, weil er sich für Proben mit soziologischen Referenzzuständen nicht bestätigen ließ. Die Grenze zwischen den Trophie-Bewertungsklassen 1 und 2 liegt in Phylib-Seen 7.0.0 für die drei Subtypen DS 13.1, DS 13.2 und DS 10.1 einheitlich bei 2,499, so dass diese drei Subtypen für die Interkalibrationsvorprüfung gruppiert werden konnten.

Aus dem L-CB1 fallen die Seen des LAWA-Subtyps DS 10.2 wegen ihrer zu kurzen Verweilzeiten < 1 Jahr oder (bei starker Quellspeisung) wegen ihrer einseitigen Stickstofflimitation heraus. Der internationale Abgleich der Verfahren war anhand des Parameters Gesamtposphor als gemeinsamem Kriterium (common metric) erfolgt (Poi-kane 2009). Einseitig stickstofflimitierte Seen mit dominanter Speisung aus unterseeischen Quellen und kurzen Verweilzeiten sind aus dem Blickwinkel der Interkalibration regionale Sonderfälle, die innerhalb von Deutschland mit dem nationalen Seetyp DS 10.2 abgedeckt werden, der im Jahr 2009 wegen zu geringer Präsenz ähnlicher hydrologischer Ausprägungsformen in den Nachbarstaaten nicht interkalibriert werden konnte.

Zur Interkalibrationsgruppe L-CB2 gehört in Deutschland der Typ DS 11. Die Seen des LAWA-Subtyps DS 14 fallen aus L-CB2 wegen ihrer zu langen Verweilzeiten $>> 1$ Jahr und einige auch wegen ihrer zu großen mittleren Tiefe > 3 m heraus. Die Seen des LAWA-Typs DS 12 fallen aus L-CB2 wegen ihrer zu kurzen Verweilzeiten < 0.1 Jahr heraus. Seen mit extrem kurzen Verweilzeiten < 0.1 Jahr (in Deutschland Flusseen genannt) sind aus dem Blickwinkel der Interkalibration regionale Sonderfälle, die innerhalb von Deutschland mit dem nationalen Seetyp DS 12 abgedeckt werden. Auch dieser LAWA-Seetyp konnte im Jahr 2009 wegen zu geringer Präsenz ähnlicher hydrologischer Ausprägungsformen in den Nachbarstaaten nicht interkalibriert werden.

Weichwasserseen des Lobelia-Typs sind in Deutschland sehr selten, überwiegend kleiner 50 ha, und sie bilden deshalb keinen eigenständigen nationalen Seetyp, der zur interkalibrierten Seetypengruppe L-CB3 zählen könnte.

Zum Nachweis der Veränderungen der Bewertungsstrenge wurde für die abgestimmten Seetypen des Interkalibrationsprozesses ein Vergleich der dezimalen Bewertungen von Phylib-Seen 7.0.0 mit denen von Phylib 5.3 vorgenommen. Überprüft wurde insbesondere, ob der Rahmen für einen Verzicht auf eine erneute Interkalibration eingehalten wurde. Als Kriterien hierfür wurde angesetzt, dass nur unwesentliche Abweichungen beider Verfahren eingetreten sind (Kennzeichen: $r^2 > 0,80$) und keine

wesentlichen Verschiebungen ($\pm 0,2$ Klassenbreiten) der dezimalen Bewertungen an den bisherigen Klassengrenzen 1 / 2, 2 / 3 und 3 / 4 verursacht werden.

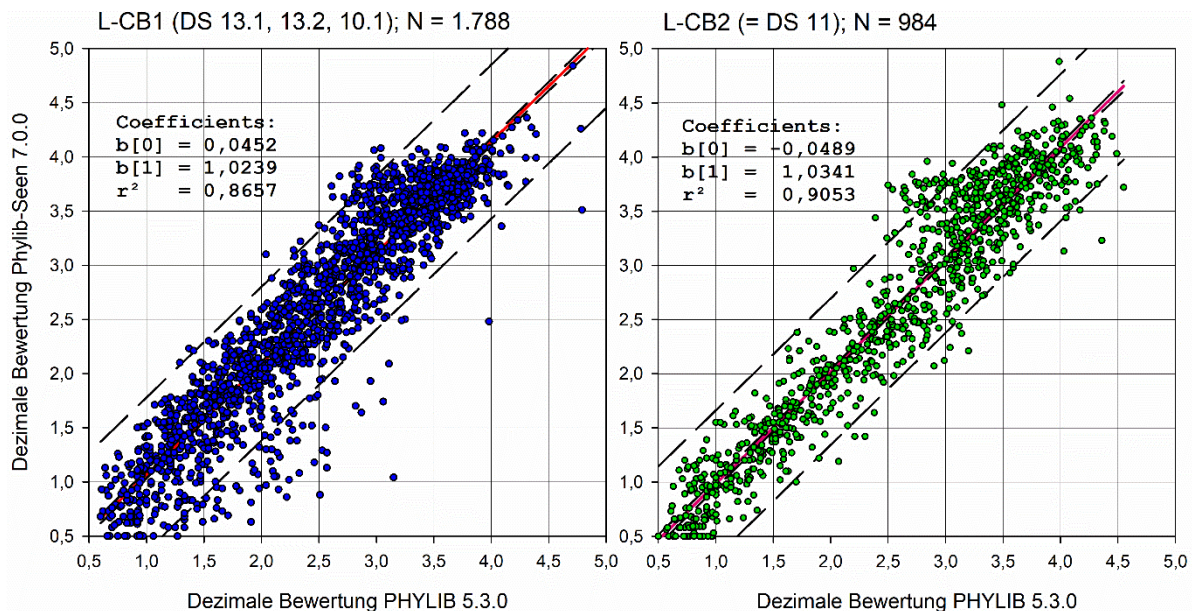


Abbildung 13: Veränderungen der dezimalen Bewertungsergebnisse der Diatomeenbewertungen von Phylib 5.3 (X-Achse) auf Phylib-Seen 7.0.0 (Y-Achse) für die Seetypen des europäischen Interkalibrationsprozesses L-CB1 und L-CB2

Für keinen der beiden Seetypen des Interkalibrationsprozesses ergeben sich Hinweise auf ein Erfordernis bezüglich einer erneuten Interkalibration nach den durchgeführten Verfahrensanpassungen (Abb. 13). Das Verfahren Phylib-Seen 7.0.0 erfüllt bei der Teilkomponente Diatomeen die gestellten Anforderungen an eine in etwa gleichbleibende (bzw. geringfügig höhere) Bewertungsstrenge. Die Regressionslinie verfehlt die Klassengrenzen mit nur geringen Abständen.

Für den Interkalibrationstyp L-CB1 ergeben sich aus den Anpassungen im statistischen Sinne um ca. 0,081 Klassenbreiten (an der Klassengrenze 1 / 2) bis 0,129 Klassenbreiten (an der Klassengrenze 3 / 4) strengere Bewertungen. Diese sind vor allem auf die überprüften und ergänzten Störungszeiger im Referenzartenmodul in den Seetypen DS 13.1 und DS 10.1 zurückzuführen.

Für den Interkalibrationstyp L-CB2 ergeben sich aus den Anpassungen im statistischen Sinne um ca. 0,002 Klassenbreiten (an der Klassengrenze 1 / 2) bis 0,070 Klassenbreiten (an der Klassengrenze 3 / 4) strengere Bewertungen. Diese sind ebenfalls vor allem auf die überprüften und ergänzten Störungszeiger im Referenzartenmodul des Seetyps DS 11 zurückzuführen.

In beiden Interkalibrationstypen fallen tendenziell vor allem die Bewertungen der bisherigen Klasse "mäßig" strenger aus. Dieses Phänomen ist auf die ergänzten Störungszeiger (C-Taxa) im Referenzartenmodul aller Seetypen im Tiefland zurückzuführen. Die Ergänzungen von A-Taxa fielen vergleichsweise geringer aus, die A-Taxa waren schon in den früheren Versionen relativ gut bekannt und wurden im Wesentlichen bestätigt.

Die Bestimmtheitsmaße r^2 liegen in beiden Interkalibrationstypen über 0,80 (0,87 im L-CB1 und 0,91 im L-CB2) und belegen ein hohes Maß an Konstanz der Bewertungsergebnisse im Tiefland.

2.3.7 Prüfungen der Bewertungsstrenge für die nationalen Subtypen DS 10.1 - DS 14 im Tiefland

Für die Kontinuität von Maßnahmenplanung und Erfolgskontrolle ist es bedeutsam, die Bewertungsstrenge für Bewertungsverfahren von Seen innerhalb einer Ökoregion nicht grundsätzlich anzuheben (Leitplanke des LAWA-AO). Deshalb erfolgte – soweit die Datengrundlage das gestattete – im LFP O 1.25 abschließend eine Überprüfung des Ausmaßes an Veränderungen der Bewertungsstrenge auf der Ebene der nationalen Subtypen. Im LFP O 1.25 erfolgten mehrere Korrekturen in der Bewertungsstrenge der beiden Module Trophiebewertung und Referenzartenbewertung, die nach dem Verschnitt überwiegend kleinere Änderungen der Bewertungsstrenge der Teilkomponente erzeugen.

Auf der Betrachtungsebene einzelner nationaler Subtypen waren Änderungen in dem einen oder anderen Modul dort unumgänglich, wo sich seit 2009 durch die beständige Fortentwicklung der Taxonomie zunehmend Lücken in den typspezifischen Katalogen der Indikatorwerte aufgetan haben, die zu ungesicherten oder falschen Bewertungen führten und erheblichen Korrekturbedarf durch die Fachbehörden und Gutachter erforderten. Der eingetretenen Erosion der Bewertungssicherheit sollte durch die Anpassungen im LFP O 1.25 entgegengewirkt werden. Dazu dienten auch die Anpassungen und der finale Abgleich beider Bewertungsmodule.

Als fachliche Grundlage für die Anpassungen wurden durch die Länder deutlich umfangreichere Daten von soziologisch referenznahen Proben aus relativ ungestörten Seen geliefert, als sie in der Entwicklungsphase und ersten Fortschreibungsphase für Phylib in den Jahren 2002 - 2005 vorlagen. Damit gelang im LFP O 1.25 eine bessere Feinjustierung beider Module für referenznahe Proben. Als wesentliches Ergebnis dieser Feinjustierungen im Trophiemodul nach dem Abschluss der Anpassungen im Referenzartenmodul liegen jetzt für den TI-Nord korrigierte Klassengrenzen zwischen den Trophieklassen "sehr gut" und "gut" für alle Seetypen und Subtypen im geografischen Anwendungsbereich des TI-Nord vor (Tabelle 3).

Tabelle 3: Angepasste Klassengrenzen des TI-Nord zwischen den Klassen "sehr gut" und "gut"

Typcode	Diatomeen-ökologischer Seetyp bzw. Subtyp	TI-Klassengrenzen zwischen den Klassen "sehr gut " und "gut" (Phylib-Seen 7.0.0)
1030	DS 5	2,249
1040	DS 5.1	2,499
1041	DS 5.2	2,749
1031	DS 6	2,749
1042	DS 6.1	2,749
1043	DS 6.2	2,999

Typcode	Diatomeen- ökologischer Seetyp bzw. Subtyp	TI-Klassengrenzen zwischen den Klassen "sehr gut " und "gut" (Phylib-Seen 7.0.0)
1008	DS 7	1,749
1044	DS 7.1	2,249
1010	DS 10.1	2,499
1011	DS 10.2	2,749
1014	DS 11	2,749
1015	DS 12	2,999
1012	DS 13.1	2,499
1046	DS 13.11	2,749
1013	DS 13.2	2,499
1016	DS 14	2,499

Die angepassten Klassengrenzen für den TI-Nord (Tabelle 3) ergaben sich im Zuge der Herstellung einer grundlegenden Plausibilität der Bewertungen von Uferstellen mit beiden Diatomeenmodulen nach dem Abschluss der Überprüfungen der Referenzarten und durch Korrekturen von Rundungsfehlern. Sie sind als Ergebnis des finalen Abgleichs des Trophiemoduls auf das Referenzartenmodul zu verstehen. Die angepassten Klassengrenzen des TI und die neuen Referenzartenkataloge der Typen und Subtypen liegen den nachfolgenden Darstellungen von Änderungen der Bewertungsstrenge für die Seen im Tiefland nach dem Verschnitt beider Module zugrunde.

Der Nachweis der Veränderungen der Bewertungsstrenge erfolgte anhand des leicht verständlichen Parameters "Dezimale Bewertung", der Werte im Bereich 0,5 ... 5,5 annehmen kann. Hierbei drücken Werte zwischen 0,5 und 1,5 Referenzbedingungen (Klasse 1) aus. Werte > 4,5 sind Ausdruck extremer, oft multipler Belastungsintensitäten. Der Vergleich der dezimalen Bewertungen von Phylib-Seen 7.0.0 mit denen von Phylib 5.3 erfolgte für die Subtypen getrennt (Abb. XY7 - XY11), um die Veränderungen auf dieser feinsten typologischen Ebene zu dokumentieren.

Ähnlich wie bei der Interkalibrationsvorprüfung wurden auch bei den Überprüfungen auf der Ebene der Subtypen Bestimmtheitsmaße $r^2 > 0,80$ in den linearen Regressionen zwischen beiden Verfahrensständen als Kennzeichen einer guten Vergleichbarkeit der Einzelergebnisse beurteilt. Verschiebungen der Bewertungsstrenge wurden dann als signifikant beurteilt, wenn Verschiebungen bei einer oder mehreren der vier Klassengrenzen um $\pm 0,2$ Klassenbreiten festgestellt wurden.

Für den LAWA-Seetyp 10 fallen die Bewertungen des überarbeiteten Verfahrens Phylib-Seen 7.0.0 bei der Teilkomponente Diatomeen vor allem im häufigen Subtyp DS 10.1 gut vergleichbar und nur unbedeutend strenger als in Phylib 5.3 aus (Abbildung 14). Das Bestimmtheitsmaß r^2 liegt im überarbeiteten Verfahren Phylib-Seen 7.0.0 im Subtyp DS 10.1 mit $r^2 = 0,90$ deutlich über dem für den Erhalt des interkalibrierten Status des L-CB1 einzuhaltenden Schwellenwert 0,80.

Die Bewertungen im Subtyp DS 10.1 fallen mit Phylib-Seen 7.0.0 um 15 - 18 % einer Klassenbreite strenger aus als mit Phylib 5.3, und zwar in Richtung der schlechteren Bewertungen zunehmend um 1,5 % Klassenbreiten pro Bewertungsklasse. Der Schwellenwert für Abweichungen von 0,2 Klassenbreiten wird über den gesamten Wertebereich eingehalten. Der Anteil an Uferstellen mit Sanierungsbedarf steigt im Subtyp DS 10.1 von 49,4 % auf 53,8%. Diese Abweichung verstößt geringfügig gegen die LAWA-Leitplanken für Verfahrensanpassungen. Jedoch steigt die Plausibilität der Bewertungen als Folge der engeren Korrelation des neuen TI-Nord mit der Gesamtphosphorkonzentration. Eine weitere Feinjustierung ist daher entbehrlich.

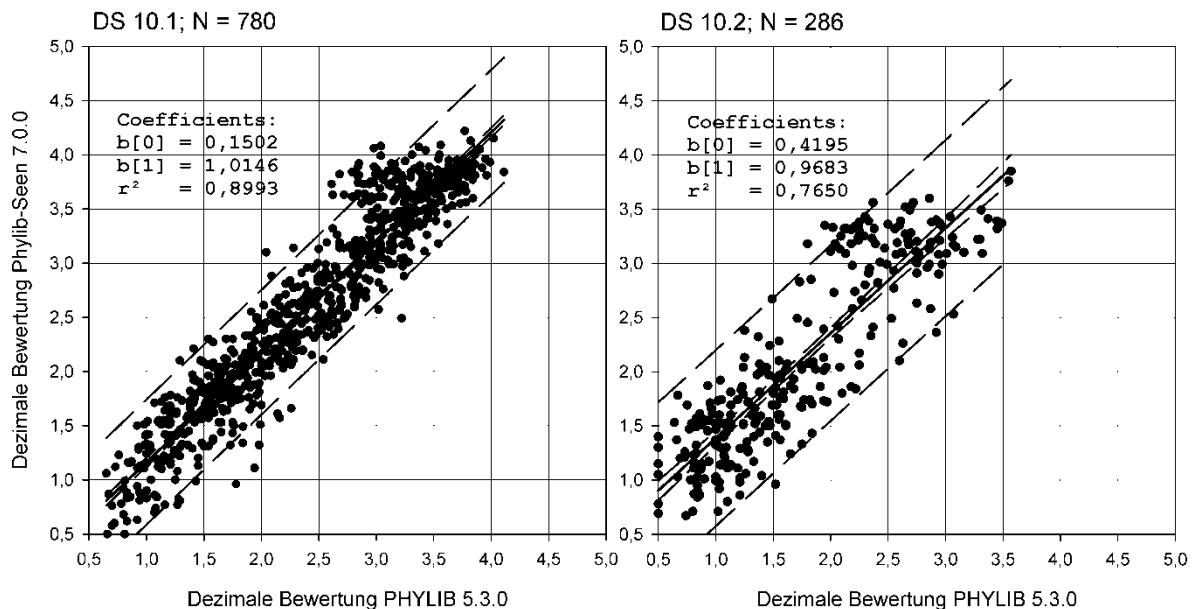


Abbildung 14: Veränderungen der dezimalen Bewertungsergebnisse der Diatomeenbewertungen von Phylib 5.3 (X-Achse) auf Phylib-Seen 7.0.0 (Y-Achse) für die diatomeenökologischen Subtypen DS 10.1 und DS 10.2

Der Subtyp DS 10.2 bildet durch die Neigung zu Stickstofflimitation im Sommer und kurzen Verweilzeiten meist unter einem Jahr einen relativ seltenen regionalen typologischen Sonderfall im Tiefland. Im Subtyp DS 10.2 liegt das Bestimmtheitsmaß der Regressionsanalyse bei nur $r^2 = 0,765$. Die relativ starke Streuung zwischen den dezimalen Bewertungen beider Versionen wird zum Teil durch die engere Ausrichtung des überarbeiteten Trophieindex-Nord auf die P-Verfügbarkeit verursacht. Einen weiteren Anteil an der starken Streuung im Bewertungsvergleich der Einzelproben hat die gegenüber dem Jahr 2005 deutlich verbesserte Kenntnis der Referenzarten des Subtyps, deren Validierung einen Schwerpunkt im LFP O 1.25 bildete.

Die entspannten Bewertungen des DS 10.2 mit Phylib 5.3 (ca. 80% ohne Sanierungsbedarf) müssen im Rückblick als fehlerhaft zu entspannt beurteilt werden. Weil der Subtyp DS 10.2 nicht interkalibriert ist, blieb sein zu entspannter Bewertungsansatz in der Vergangenheit unerkannt. Die Bewertungsergebnisse für den Subtyp DS 10.2 fallen bei Anwendung von Phylib-Seen 7.0.0 im Vergleich zu Phylib 5.3 nicht mehr unplausibel zu mild aus. Die Verfahrensanpassungen haben innerhalb des LAWA-See-Subtyps 10 auch zu einer besseren Vergleichbarkeit der Bewertungsansätze beider Subtypen beigetragen. Der Anteil an Uferstellen mit Sanierungsbedarf steigt im Subtyp DS 10.2 von unplausiblen 20,6 % auf plausible 33,6 %. Durch die Verfahrensanpassungen in beiden Modulen ergibt sich eine Korrektur der mit sehr gut und gut bewerteten

Uferstellen von 79,4 % auf 66,4 %, einen Wert der angesichts der bedeutenden Quellzutritte zu den Seen dieses Subtyps plausibel ist.

Für die Typen DS 11 und DS 12 (Abbildung 15) ergaben sich im Mittel der jeweiligen Proben keine signifikanten Änderungen in der Vergleichbarkeit der Ergebnisse oder der Bewertungsstrenge. Das überarbeitete Verfahren Phylib-Seen 7.0.0 erfüllt für die polymiktischen Seetypen 11 und 12 bei der Teilkomponente Diatomeen die gestellten Anforderungen.

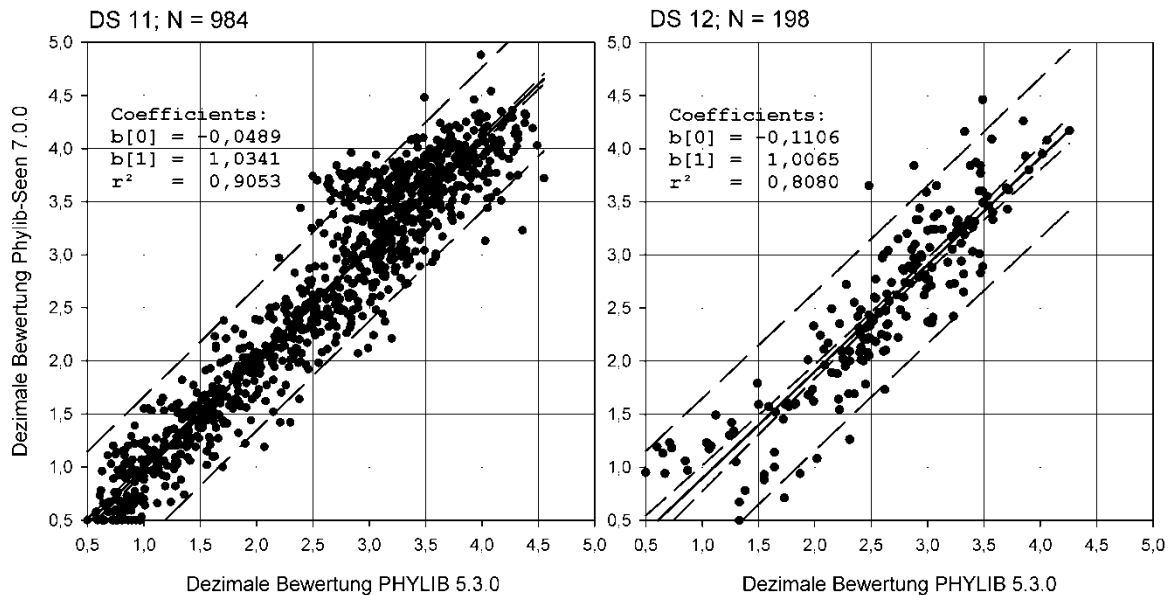


Abbildung 15: Veränderungen der dezimalen Bewertungsergebnisse der Diatomeenbewertungen von Phylib 5.3 (X-Achse) auf Phylib-Seen 7.0.0 (Y-Achse) für die polymiktischen diatomeenökologischen Seetypen im Tiefland

Die Bestimmtheitsmaße r^2 liegen in beiden Seetypen über 0,80. Alle vier Klassengrenzen werden mit Differenzen $< 0,1$ Klassenbreiten getroffen.

Im Typ DS 12 ist ein geringfügiger Entspannungseffekt an Uferstellen mit sehr geringer und geringer Belastung mit im Mittel ca. 11 % einer Klassenbreite erkennbar. Der Anteil an Uferstellen mit Sanierungsbedarf sinkt im Typ 12 von 58,7 % auf 50,7%. In beiden Verfahrensständen wird für mehr als die Hälfte der Uferstellen Sanierungsbedarf ausgewiesen. Die im Mittel im Typ DS 12 geringfügig entspanntere Bewertung mit dem Verfahrensstand Phylib-Seen 7.0.0 wird als plausibel beurteilt.

Für den LAWA-Seetyp 13 entsprechen die Bestimmtheitsmaße r^2 der Regressionen zwischen den dezimalen Bewertungen der Versionen 7.0.0 und 5.3 für beide Subtypen den Anforderungen zur Vermeidung einer erneuten Interkalibration. Sie liegen mit 0,94 und 0,85 deutlich über 0,80 (Abbildung 16).

Im Modul Trophiebewertung des Verfahrensstandes Phylib-Seen 7.0.0 werden beide Subtypen (DS 13.1 und DS 13.2) jetzt gleich bewertet. Die trophische Referenz beider Subtypen ist mesotroph mit $TI < 2,499$. Oligotrophe Ausprägungen für natürliche Seen im Tiefland sind sehr selten, für die Seen der Bergbaufolgelandschaften mit etwas höheren Gesamt-Eisenkonzentrationen ($> 0,050$ mg/l bei Zirkulationen) aber möglich (z. B. Helenesee bei Frankfurt / Oder).

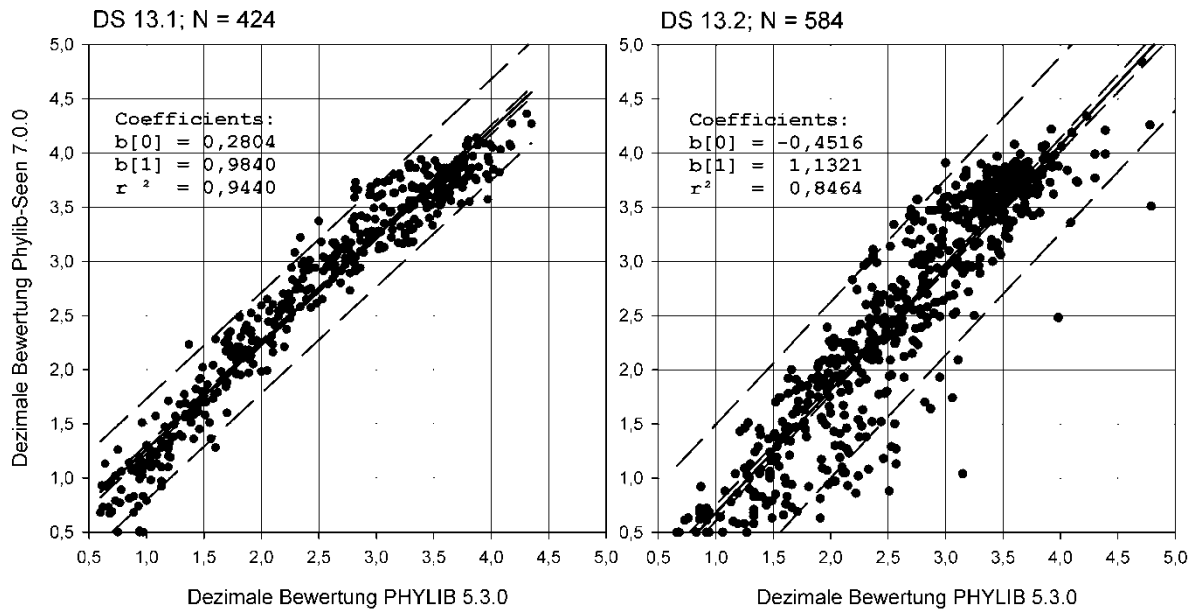


Abbildung 16: Veränderungen der dezimalen Bewertungsergebnisse der Diatomeenbewertungen von Phylib 5.3 (X-Achse) auf Phylib-Seen 7.0.0 (Y-Achse) für die polymiktischen diatomeenökologischen Seetypen im Tiefland

Die deutlichere Differenzierung der Bewertungsstrenge zwischen den beiden Subtypen im Verfahrensstand Phylib-Seen 7.0.0 (Abb. 16) ergibt sich also allein über das Referenzartenmodul. Für den Subtyp DS 13.1 ergeben sich im Verfahrensstand Phylib-Seen 7.0.0 strengere Bewertungen. Die Klassengrenze 1 / 2 liegt um 0,256 Klassenbreiten strenger als in Phylib 5.3, die Klassengrenze 2 / 3 liegt um 0,240 Klassenbreiten strenger. Dem entsprechend wechselt ca. ein Viertel der in Phylib 5.3 mit 1 bewerteten Uferstellen von Klasse 1 in Klasse 2 und auch ca. ein Viertel der in Phylib 5.3 mit 2 bewerteten Uferstellen von Klasse 2 in Klasse 3. Da diese Veränderungen allein auf den Überprüfungen der A- und C-Taxa basieren (die Trophiebewertung des Subtyps DS 13.1 wurde nämlich in der Nettobilanz im Subtyp DS 13.1 um ca. eine Viertel Klasse entspannter) ist diese Verschiebung zunächst auf der Ebene der Öko-region als plausibel zu betrachten. In der Bewertungspraxis der Länder sollte dennoch darauf geachtet werden, ob einzelne im Subtyp DS 13.1 als C-Taxa eingestufte Taxa wiederholt in nährstoffseitig völlig unbelasteten Assoziationen ($TI < 1,999$) auftreten. Sollten sich solche regionalspezifischen soziologischen Auffälligkeiten ergeben, dann wäre für den betroffenen See oder im betroffenen Teil der Ökoregion eine Zuordnung aller Seen des LAWA-Typs 13 zum diatomeensoziologischen Subtyp DS 13.2 in Betracht zu ziehen oder alternativ auch eine Löschung bestimmter C-Taxa des Subtyps DS 13.1 im nächsten LFP-Projekt zu Phylib-Seen einzuplanen.

Für den Subtyp DS 13.2 ergab sich durch die subtypspezifischen Überprüfungen, Korrekturen und Neueinstufungen der Referenzarten und Störungszeiger eine Entspannung der Klassengrenze 1 / 2 um ca. 0,254 Klassenbreiten. Die Entspannung nimmt in Richtung höherer Belastungen um 1,6 Prozentpunkte pro Klasse ab und beträgt an der Klassengrenze 2 / 3 noch ca. 0,238 Klassenbreiten. Damit entfällt für ca. 24 % der Proben der bisherigen Zustandsklasse 3 die Ableitung eines dringenden Sanierungsbedarfs. Mit der Entspannung des Referenzartenmoduls für den Subtyp DS 13.2 wurde im LFP-Projekt O1.25 die bislang offenbar deutlich zu strenge Bewertung des Subtyps

DS 13.2 und des soziologisch nicht abtrennbaren Subtyp DS 13.11 beim Übergang zum Verfahren Phylib-Seen 7.0.0 korrigiert.

Bei gemeinsamer Betrachtung beider Subtypen des LAWA-Seetyps 13 (Abbildung 17 linke Grafik) gleichen sich die Strengerbewertungen für den Subtyp DS 13.1 und die entspannteren Bewertungen für den Subtyp DS 13.2 in etwa aus. Die für beide Subtypen überprüften und angepassten Taxa-Kataloge für das Modul Referenzartenbewertung werden den hydrologischen und diatomeensoziologischen Unterschieden beider Seetypen besser gerecht als in der Version Phylib 5.3.

Im Bereich des unbefriedigenden Zustands (Dezimale Bewertungen > 3,5) ist im Subtyp DS 13.2 kein Entspannungseffekt erkennbar. An den Uferstellen mit Sanierungsbedarf tritt im statistischen Mittel keine signifikante Verbesserung ihrer Bewertungen ein. Der neue Verfahrensstand Phylib-Seen 7.0.0 trennt also Uferstellen mit Sanierungsbedarf viel strikter von soziologisch referenznahen Uferstellen.

Fasst man die dezimalen Bewertungen beider Subtypen des LAWA-Typs 13 zu einer Grundgesamtheit DS 13 aus den Subtypen DS 13.1 und DS 13.2 zusammen (Abbildung 17, linke Grafik) ergibt sich eine statistisch weitestgehende Konstanz der Bewertungsstrenge beider zu vergleichender Verfahrensstände Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0. Die Klassengrenzen 1 / 2 und 2 / 3 werden durch die Regressionslinie nahezu perfekt getroffen. Das Bestimmtheitsmaß der Regression ist auch für den zusammengefasst betrachteten LAWA-Seetyp 13 hoch ($r^2 = 0,85$).

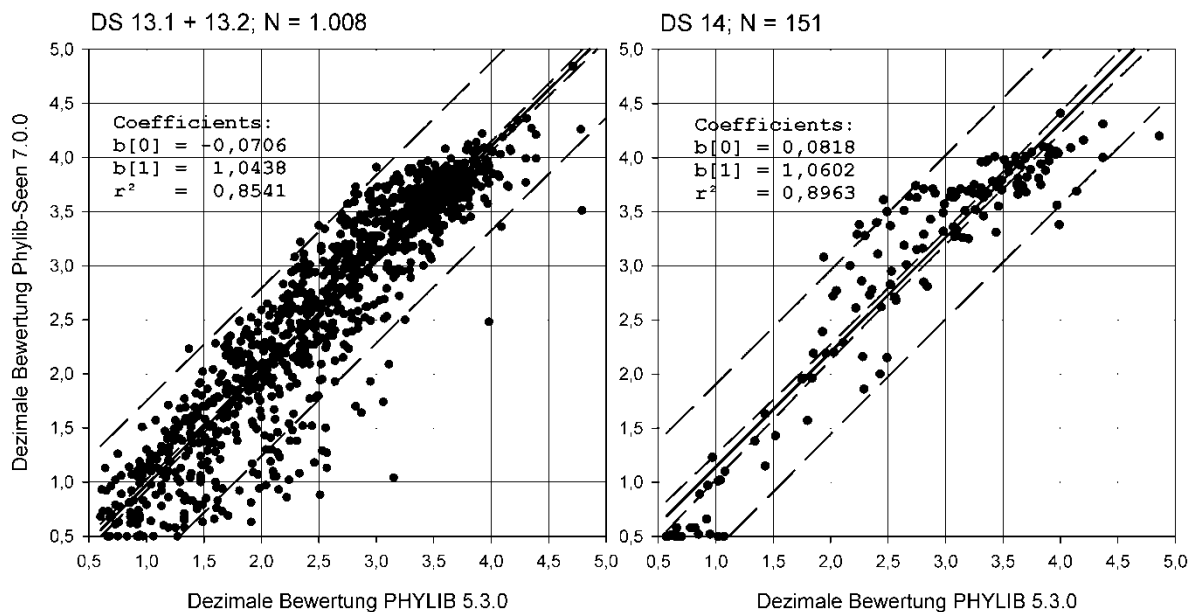


Abbildung 17: Veränderungen der dezimalen Bewertungsergebnisse der Diatomeenbewertungen von Phylib 5.3 (X-Achse) auf Phylib-Seen 7.0.0 (Y-Achse) für die Seetypen 13 und 14 im Tiefland

Für den LAWA-Seetyp 14 waren bis zum Verfahrensstand Phylib 5.3 die Kataloge der Referenzarten und Störungszeiger vergleichsweise unvollständig geblieben, weil der Seetyp selten ist und bislang zu wenige Referenzproben ausgewertet werden konnten. Mit den 18 für das Projekt gemeldeten soziologisch referenznahen Proben aus ökologisch gering gestörten Seen des LAWA-Seetyps 14 konnte die Referenzartenliste des DS 14 im LFP O 1.25 ergänzt werden. Die Mehrzahl der gemeldeten Uferstellen des DS 14 war jedoch diatomeensoziologisch mäßig oder stark gestört. Anhand dieser

Proben wurden auch die Störungszeiger ergänzt. Im Endeffekt ergeben sich für den Typ 14 überwiegend plausible Bewertungsergebnisse, die auch mehrere Uferstellen einschließen, an denen Bewertungen im Bereich der oberen Ankerpunkte beider Module (Dezimale Bewertungen um 0,5) auftreten. Die Referenzbedingungen sind jetzt verlässlicher und gesichert. Wegen der hohen Empfindlichkeit der mesotraphenten Referenzassoziationen ergaben sich für bislang als mäßig belastet eingestufte Uferstellen zahlreiche Übergänge von der Klasse 3 in die Klasse 4. Diese stützen sich nicht nur auf die ergänzten Störungszeiger, sondern auch auf die verbesserte Trophieindikation. Es ergeben sich zum Ende des LFP O 1.25 keine Ansätze für weitergehende Steigerungen der Plausibilität im Bewertungsansatz des DS 14.

Das Bestimmtheitsmaß $r^2 = 0,90$ der Regression zwischen den dezimalen Bewertungen der Versionen 7.0.0 und 5.3 würde den Anforderungen an eine Vermeidung einer erneuten Interkalibration genügen. Der LAWA Seetyp 14 liegt jedoch wegen seiner langen Verweilzeiten und seiner primär mesotrophen Nährstoffbedingungen deutlich außerhalb des Rahmens des Interkalibrierungstyps L-CB2, ist also nicht interkalibrierungsrelevant.

3 Teilkomponente "Makrophyten"

3.1 Grundlagen

Für die Teilkomponente „Makrophyten“ erfolgte eine grundlegende Überarbeitung des Bewertungsverfahrens in den LFP-Projekten O 2.19 und O 2.20. Dabei wurde auch ein Vorschlag erstellt, um die Bewertungsergebnisse bereits durch das Phylib-Seen-Tool in EQRs mit normierten Klassengrenzen umzurechnen.

Eine erste Implementierung dieser Änderungen in Phylib-Seen erfolgte in LFP O 1.21/22 auf taxonomischer Grundlage der BTL 2020. Dieses Tool wurde im vorliegenden Projekt umfangreichen externen und internen Test unterzogen und um die aktualisierte Bewertung der Teilkomponente "Diatomeen" ergänzt. Die Bewertungsstrenge dieser gemeinsamen Bewertungsergebnisse wurde anschließend überprüft und eine weitgehende Harmonisierung der Einzelbewertungen der beiden Teilkomponenten erreicht. Hierfür wurden die Klassengrenzen der Teilkomponente "Makrophyten" gegenüber den in LFP O 1.21/22 veröffentlichten nochmals leicht angepasst. Die endgültigen Klassengrenzen bzw. Normierungsfaktoren sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Klassengrenzen/Normierungsfaktoren der Makrophytenbewertungen nach Überarbeitung

Makrophytentyp	Grenze H/G	Grenze G/M	Grenze M/P	Grenze P/B
AKs	0,76	0,51	0,26	0,01
AKp	0,68	0,51	0,26	0,01
MTS	0,85	0,57	0,25	0,01
MKg	0,87	0,51	0,26	0,01
MKp	0,80	0,51	0,35	0,01
TKg - 10	0,65	0,49	0,25	0,01
TKg - 13	0,75	0,50	0,24	0,01
TKp	0,86	0,51	0,31	0,01

3.2 Auswirkung der Überarbeitungen auf die Bewertungsergebnisse der Teilkomponente „Makrophyten“

3.2.1 Datengrundlage

Für die projektinternen Plausibilisierungen der Makrophytenbewertungen wurde der Datensatz der Gesamtschau (Kapitel 4) verwendet, der deutschlandweit 5.056 untersuchte Makrophytentransekte der Jahre 2009-2022 umfasst. Die Probestellen decken grundsätzlich alle biozönotische Makrophytentypen ab, mit Schwerpunkt auf den Typen des norddeutschen Tieflandes. Seen der Mittelgebirge und polymiktische Voralpenseen sind eher schwach vertreten.

3.2.2 Vergleich der Bewertungen von Phylib 5.3 mit Phylib-Seen 7.0.0

Im Mittel aller untersuchten Probestellen bleiben die Bewertungsergebnisse von Phylib 5.3 auf Phylib-Seen 7.0.0 konstant (Abbildung 18). Dennoch kommt es für einige biozönotische Typen zu Veränderungen. Die Bewertungsergebnisse der "ÖZK (dezimal)"

verbessern sich in Typ Akp und TKp im Durchschnitt um 0,07 bzw. 0,17 ökologische Zustandsklassen. Die größte Verschlechterung zeigt Typ MTS, um durchschnittlich 0,18 ökologische Zustandsklassen.

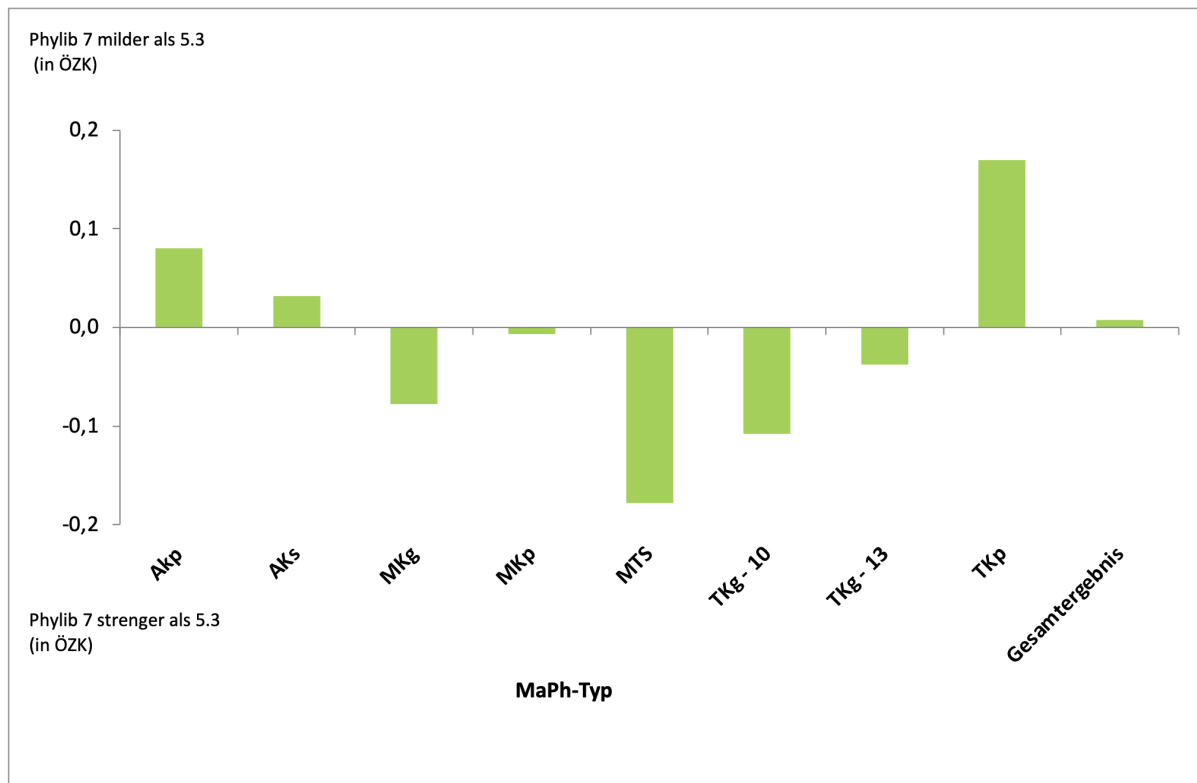


Abbildung 18: Veränderungen der gemittelten Bewertungsergebnisse der Makrophytenbewertungen von Phylib 5.3 auf Phylib-Seen 7.0.0

Die Verteilung der Bewertungen der Teilkomponente „Makrophyten“ nach Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0 auf die Makrophyten-Typen ist in Abbildung 19 bzw. Abbildung 20 dargestellt. Die Anteile der Zustandsklassen in Phylib-Seen 7.0.0 erscheinen insgesamt etwas realistischer als bei Phylib 5.3, da die ÖZK 3 weniger dominant ist. Dadurch, dass in Phylib-Seen 7.0.0 nur noch Probestellen mit Makrophytenverödung mit ÖZK 5 bewertet werden, nimmt der Anteil an schlechten Bewertungen ab. Auch das verbessert die Plausibilität der Bewertungen, zumal ÖZK 5 gemäß Wasserrahmenrichtlinie dadurch gekennzeichnet ist, dass „große Teile der Gemeinschaft der Organismen fehlen“.

Die Auswirkungen der Änderungen bezogen auf die LAWA-Typen nach Mathes et al. (2002) sind in der Gesamtschau aller drei Teilkomponenten (Kapitel 4.3) dargestellt.

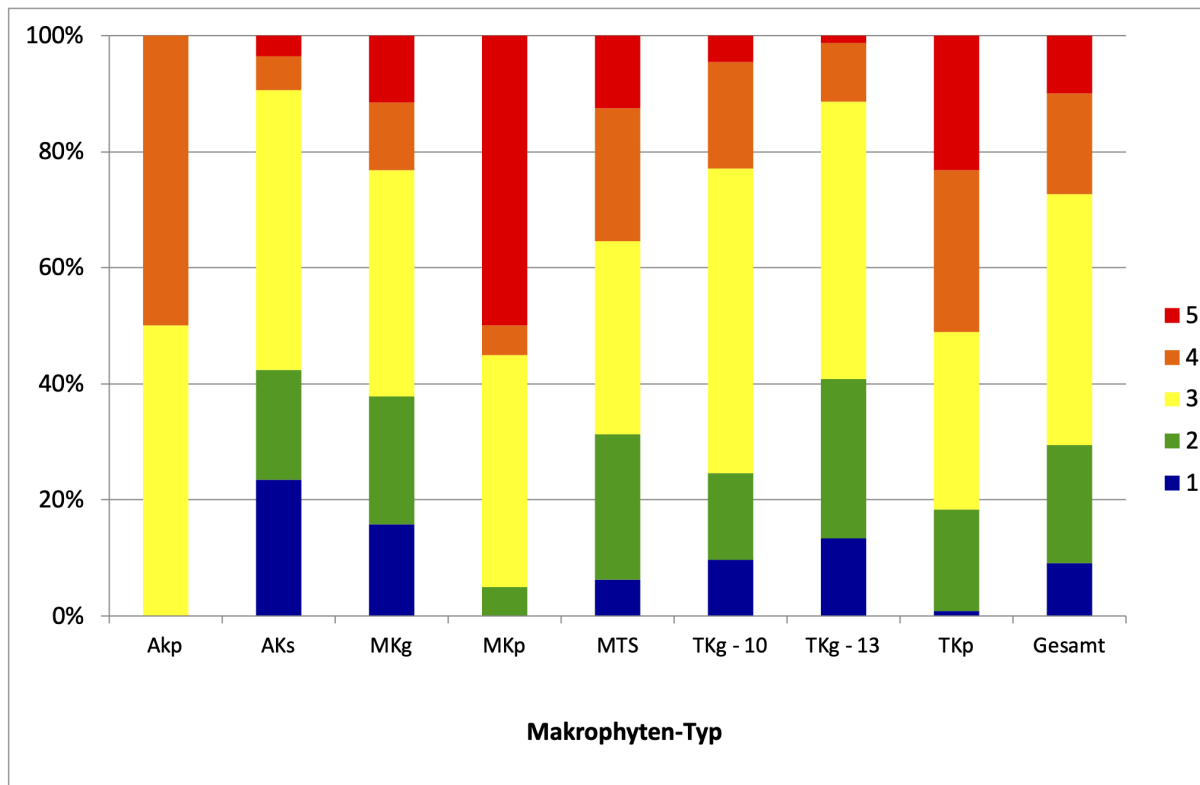


Abbildung 19: Verteilung der ökologischen Zustandsklassen in Prozent der Makrophytenbewertung nach Phylib 5.3

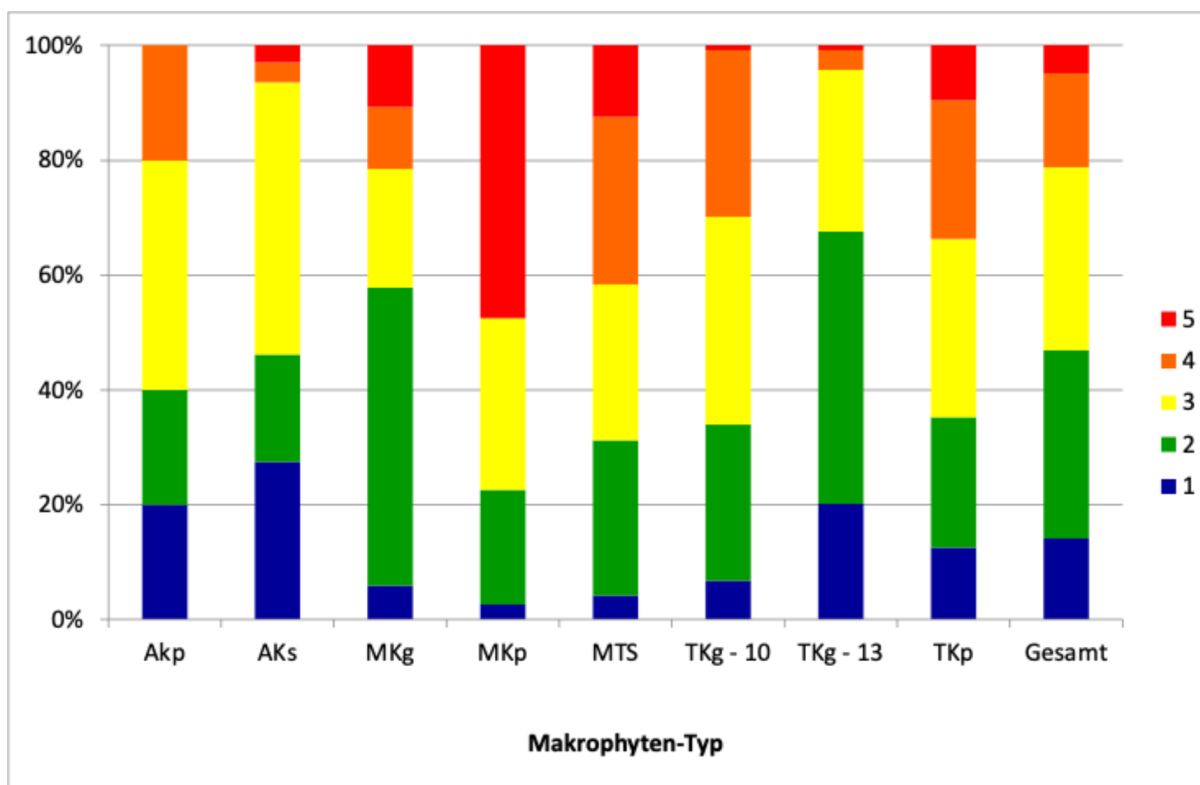


Abbildung 20: Verteilung der ökologischen Zustandsklassen in Prozent der Makrophytenbewertung nach Phylib-Seen 7.0.0

3.3 Interkalibrierung des aktualisierten Verfahrens

Die Europäische Kommission stellt präzise Anforderungen an Bewertungsverfahren nach Wasserrahmenrichtlinie, die bereits interkalibriert wurden. Werden solche Verfahren überarbeitet, muss geprüft werden, ob die Vorgaben der Interkalibrierung weiterhin erfüllt sind.

Nach den Vorgaben des CIS Guidance Document No 30 (European Commission, 2015) können sich Änderungen folgender Bereiche maßgeblich auf das Verfahren auswirken:

- Datenerhebung (z. B. Probenahmedesign, Probenaufbereitung);
- numerische Auswertung (z. B. Auswahl der Metriken, Indikatorwerte);
- oder Klassifizierung (z. B. Klassengrenzen).

Jede Änderung an einem dieser Faktoren kann die Vergleichbarkeit mit dem interkalibrierten Standard beeinträchtigen und erfordert eine eingehende Prüfung.

Die vorliegende Überarbeitung des Verfahrens stellt eine solche Änderung dar. Für die bereits interkalibrierten biozönotischen Typen Akp, AKs, TKp, TKg - 10 und TKg - 13 (Poikane 2009) muss deshalb sichergestellt werden, dass die Bewertung noch immer die internationalen Standards erfüllt.

Im günstigsten Fall weist eine Regressionsanalyse der alten gegen die neuen Bewertungsergebnisse einen Korrelationskoeffizienten von mindestens 0,8 auf. Ist diese Vorbedingung erfüllt, muss lediglich nachgewiesen werden, dass die neuen Bewertungen mindestens so streng wie die alten sind. Maßgeblich sind hier die Grenzen zwischen ÖZK 1 und 2 bzw. zwischen ÖZK 2 und 3.

Eine erste Vorprüfung erfolgte bereits im Zuge der Weiterentwicklung des Verfahrens in LFP-Projekt O2.19 (Stelzer et al. 2020). Diese Prüfung wird nun auf der Basis der aktualisierten Klassengrenzen/Normierungsfaktoren wiederholt und auf den aktuellen Datenbestand erweitert. Die Berechnungen erfolgten mit dem aktualisierten Tool Phylib-Seen 7.0.0.

3.3.1 Typ AKs (Interkalibrierungstyp L-AL3)

Gewässer vom Typ AKs wurden im Alpine GIG dem Interkalibrierungstyp L-AL3 (Lowland or mid-altitude, deep, moderate to high alkalinity, large) zugeordnet. Von den Gewässern dieses Typs waren 159 Datensätze nach altem und neuem Verfahren gesichert bewertbar. Das Verfahren für diesen Typ wurde nur leicht überarbeitet und zeigt eine dementsprechend starke Korrelation der normierten Indexwerte ($R^2=0,9921$; Abbildung 21).

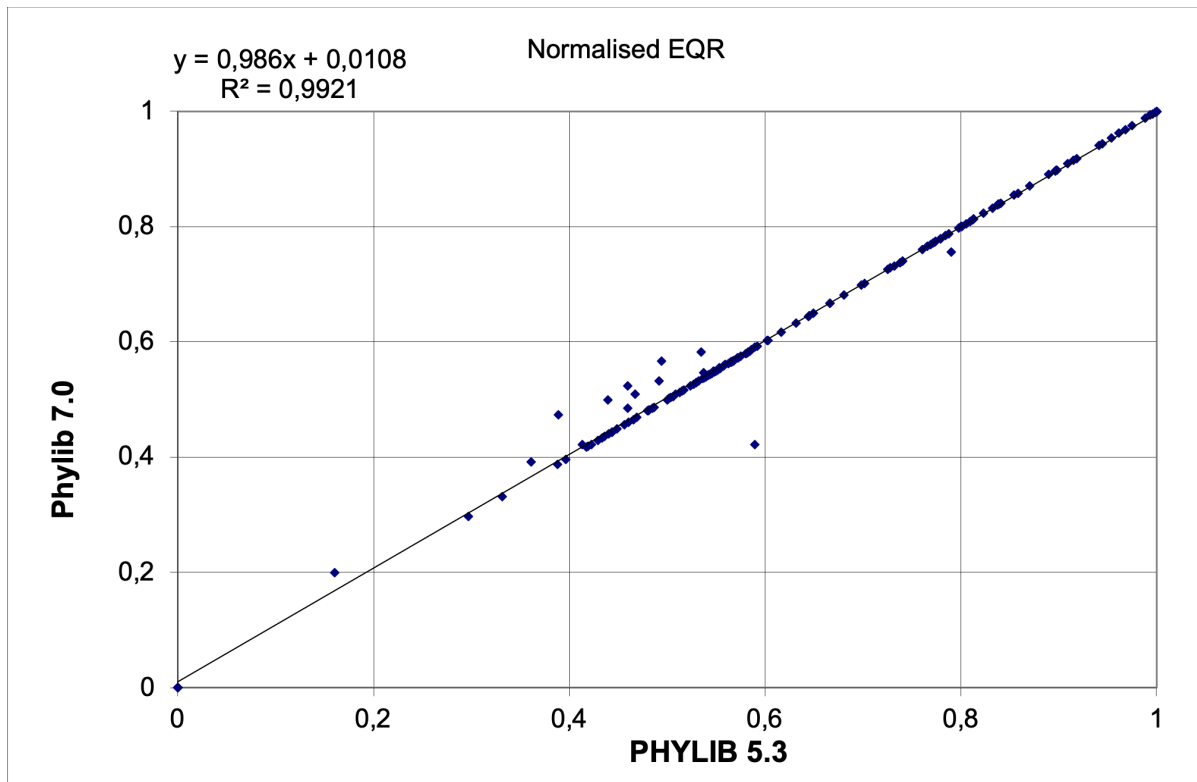


Abbildung 21: Regressionsanalyse alter und neuer Bewertungsergebnisse für Typ AKs

Für diesen Typ wurden die alten Klassengrenzen beibehalten. Die Regressionsformel zeigt keine gerichtete Verbesserung der Ergebniswerte. Für die relevanten Grenzen zwischen ÖZK 1/2 und 2/3 entsprechen die Klassengrenzen des geänderten Verfahrens den alten Grenzen übersetzt durch die Regressionsformel (Tabelle 5). Die Überarbeitungen erfüllen also die Vorgaben der Interkalibrierung.

Tabelle 5: Gegenüberstellung der Klassengrenzen von Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0 für Typ AKs

Klassengrenze	Grenzwert Phylib 5.3 (alt)	Grenzwert Phylib-Seen 7.0.0 (neu)	Klassengrenzen alt übersetzt durch Regressionsformel
ÖZK 1/2	0,76	0,76	0,76
ÖZK 2/3	0,51	0,51	0,51
ÖZK 3/4	0,26	0,26	0,27
ÖZK 4/5	0,01	0,01	0,02

3.3.2 Typ AKp (Interkalibrierungstyp L-AL4)

Für die Interkalibrierung im Alpine GIG wurden Gewässer von Typ AKp dem Interkalibrierungstyp L-AL4 (Lowland or mid-altitude, shallow, moderate to high alkalinity, large) zugeordnet. Die Interkalibrierung dieses Typs erfolgte unter Einbeziehung der Diatomeenkomponente. Für lediglich zwei Transekte lagen gesicherte Ergebnisse zur Bewertung beider Teilkomponenten vor. Auf dieser Grundlage kann keine sinnvolle Interkalibrierungsprüfung erfolgen. Da wie beim vorausgegangenen Typ AKs nur

minimale Aktualisierungen vorgenommen wurden, ist jedoch davon auszugehen, dass sich auch hier die Überarbeitungen nicht wesentlich auf die Interkalibrierung auswirken.

3.3.3 TKg-10 (Interkalibrierungstyp L-CB1)

Für die Interkalibrierung im Central/Baltic GIG wurden Gewässer von Typ TKg-10 dem Interkalibrierungstyp L-CB1 (Lowland, shallow, calcareous) zugeordnet. 730 der vorliegenden Datensätze waren nach altem und neuem Verfahren gesichert bewertbar. Die Korrelation der normierten Indexwerte von alten und neuen Bewertungsergebnissen ($R^2=0,8265$; Abbildung 22) erfüllt die Anforderung der Interkalibrierung und erfordert keine erneute Interkalibrierung.

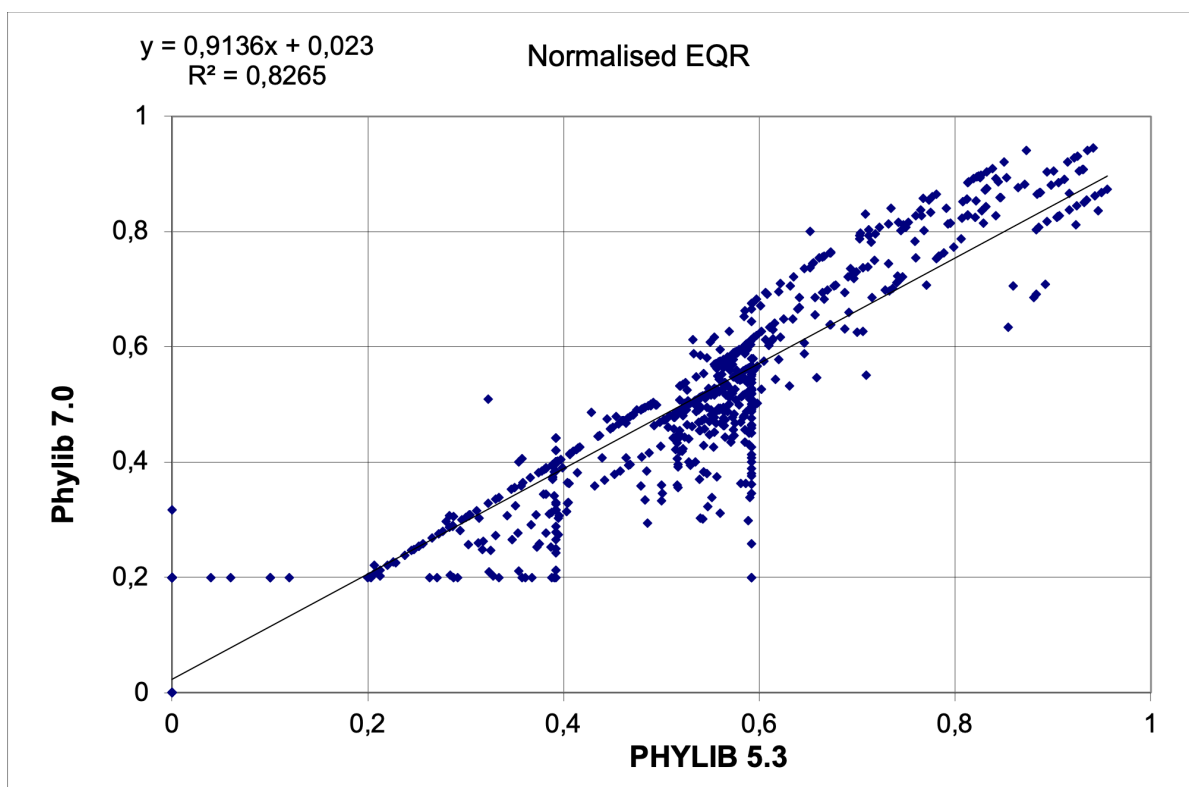


Abbildung 22: Regressionsanalyse alter und neuer Bewertungsergebnisse für Typ TKg - 10

Auch hier zeigt die Regressionsformel keine gerichtete Verbesserung der Ergebniswerte. Die Klassengrenzen des geänderten Verfahrens liegen für ÖZK 1/2 und 2/3 mindestens so hoch wie die alten Klassengrenzen übersetzt durch die Regressionsformel (Tabelle 6). Um die Vorgaben der Interkalibrierung zu erfüllen sind keine weiteren Anpassungen nötig.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Klassengrenzen von Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0 (für Typ TKg - 10)

Klassengrenze	Grenzwert Phylib 5.3 (alt)	Grenzwert Phylib-Seen 7.0.0 (neu)	Klassengrenzen alt übersetzt durch Regressionsformel
ÖZK 1/2	0,68	0,65	0,64
ÖZK 2/3	0,51	0,49	0,49

Klassengrenze	Grenzwert Phylib 5.3 (alt)	Grenzwert Phylib-Seen 7.0.0 (neu)	Klassengrenzen alt übersetzt durch Regressionsformel
ÖZK 3/4	0,26	0,25	0,26
ÖZK 4/5	0,01	0,01	0,03

3.3.4 TKg-13 (Interkalibrierungstyp L-CB1)

Auch die Gewässer des Typs TKg - 13 wurden wie der bereits beschriebene Typ TKg - 10 mit Gewässern von Typ L-CB1 interkalibriert. Von den natürlichen Gewässern dieses Typs waren 780 Transekte nach altem und neuem Verfahren gesichert bewertbar. Die Korrelation der normierten Indexwerte ($R^2=0,8317$; Abbildung 23) zeigt eine ausreichend geringe Veränderung von alten und neuen Bewertungsergebnissen.

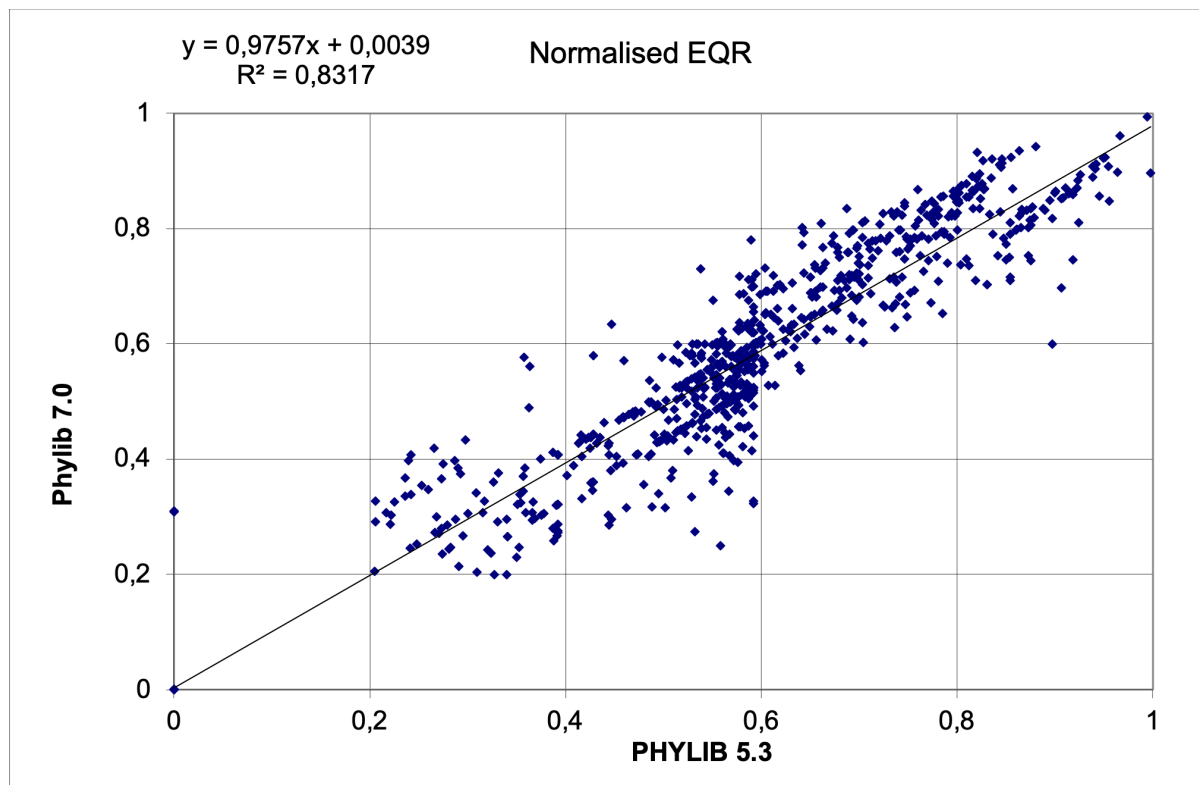


Abbildung 23: Regressionsanalyse alter und neuer Bewertungsergebnisse für Typ TKg - 13

Die Regressionsformel zeigt auch keine gerichtete Verbesserung der Ergebniswerte. Betrachtet man die alten Klassengrenzen auf der neuen Bewertungsskala, so liegen die entscheidenden Grenzen zwischen ÖZK 1 und 2 sowie zwischen ÖZK 2 und 3 unterhalb der Klassengrenzen des geänderten Verfahrens (Tabelle 7). Die vorgeschlagenen Überarbeitungen erfüllen also die Vorgaben der Interkalibrierung und erfordern keine erneute Interkalibrierung.

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Klassengrenzen von Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0 für Typ TKg - 13

Klassengrenze	Grenzwert Phylib 5.3 (alt)	Grenzwert Phylib-Seen 7.0.0 (neu)	Klassengrenzen alt übersetzt durch Regressionsformel
ÖZK 1/2	0,68	0,70	0,62
ÖZK 2/3	0,51	0,49	0,46
ÖZK 3/4	0,26	0,31	0,24
ÖZK 4/5	0,01	0,01	0,02

3.3.5 TKp (Interkalibrierungstyp L-CB2)

Gewässer von Typ TKp wurden dem Interkalibrierungstyp L-CB2 (Lowland, very shallow, calcareous) des Central/Baltic GIGs zugeordnet. Von den Gewässern dieses Typs waren 883 Datensätze nach altem und neuem Verfahren gesichert bewertbar. Die Korrelation der normierten Indexwerte ($R^2=0,8138$; Abbildung 24) zeigt eine ausreichend gute Übereinstimmung von alten und neuen Bewertungsergebnissen und erfordert keine erneute Interkalibrierung.

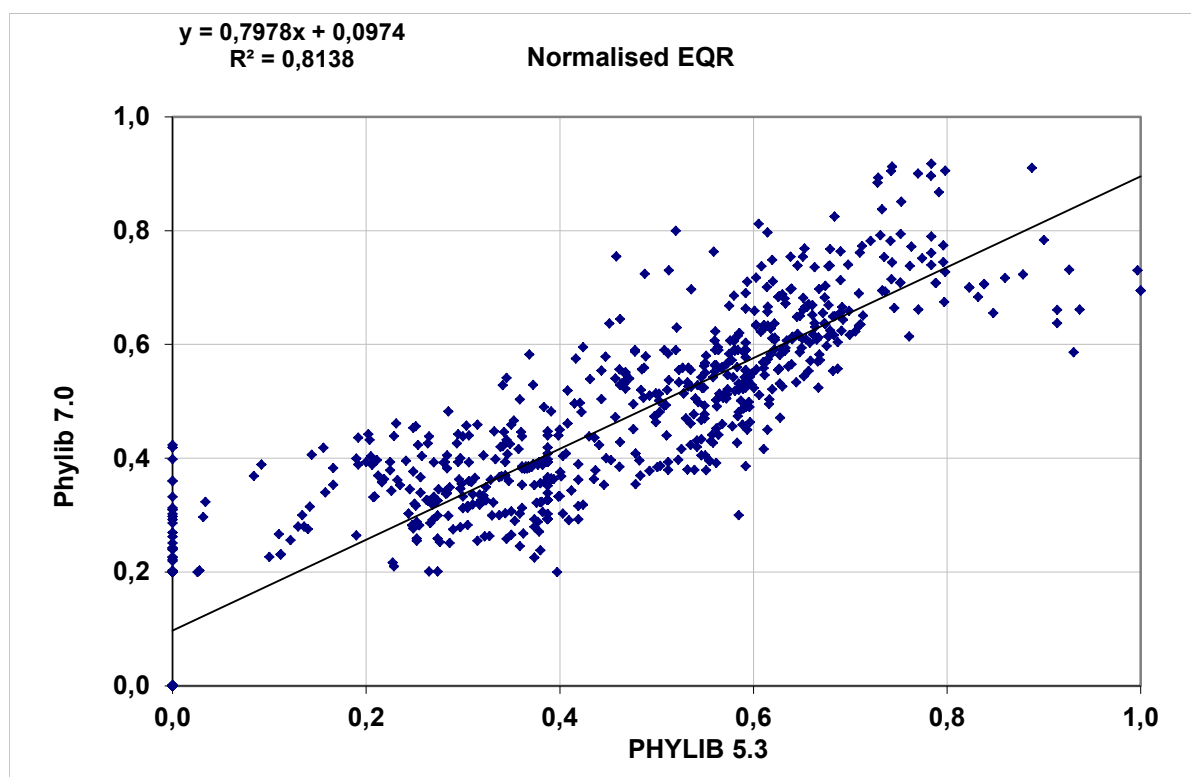


Abbildung 24: Regressionsanalyse alter und neuer Bewertungsergebnisse für Typ TKp

Die Regressionsformel zeigt auch hier keine gerichtete Verbesserung der Ergebniswerte. Betrachtet man die alten Klassengrenzen auf der neuen Bewertungsskala, so liegen die entscheidenden Grenzen zwischen ÖZK 1 und 2 sowie zwischen ÖZK 2 und 3 unterhalb der Klassengrenzen des geänderten Verfahrens (Tabelle 8). Die vorgeschlagenen Überarbeitungen erfüllen also die Vorgaben der Interkalibrierung.

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Klassengrenzen von Phylib 5.3 und Phylib-Seen 7.0.0 für Typ TKp

Klassengrenze	Grenzwert Phylib 5.3 (alt)	Grenzwert Phylib-Seen 7.0.0 rc3 (neu)	Klassengrenzen alt übersetzt durch Regressionsformel
ÖZK 1/2	0,87	0,86	0,79
ÖZK 2/3	0,51	0,51	0,50
ÖZK 3/4	0,26	0,31	0,30
ÖZK 4/5	0,10	0,01	0,17

4 Veränderung der Gesamtbewertung durch die Überarbeitungen zur Phylib-Seen Version 7.0.0

4.1 Datengrundlage

Für die Auswertungen zur Gesamtschau wurde keine eigene Datenabfrage durchgeführt. Verwendet wurden die Daten, die für die Weiterentwicklungen des Verfahrens in diesem oder Vorgängerprojekten zur Verfügung gestellt wurden. Die Daten stammen aus den Bundesländern BB, BE, BW, BY, MV, NI, NW, SH, SN und ST. Insgesamt konnten 5.102 Probenahmen der Jahre 2009-2022 ausgewertet werden. Diatomeendaten wurden wegen Änderungen in der Taxonomie erst ab dem Jahr 2012 verwendet.

Für 2.614 dieser Probestellen konnten die untersuchten Diatomeenproben den Kartierungen entsprechender Makrophytentransekte aus demselben Untersuchungsjahr zugeordnet werden. Die Untersuchungen decken alle Seetypen ab, sind aber ungleichmäßig verteilt. Ein deutlicher Schwerpunkt der Analysen liegt im norddeutschen Tiefland (Abbildung 25), während für die Typen 1, 8, 9, 88 und 99 sehr wenige gemeinsam untersuchte Proben vorliegen.

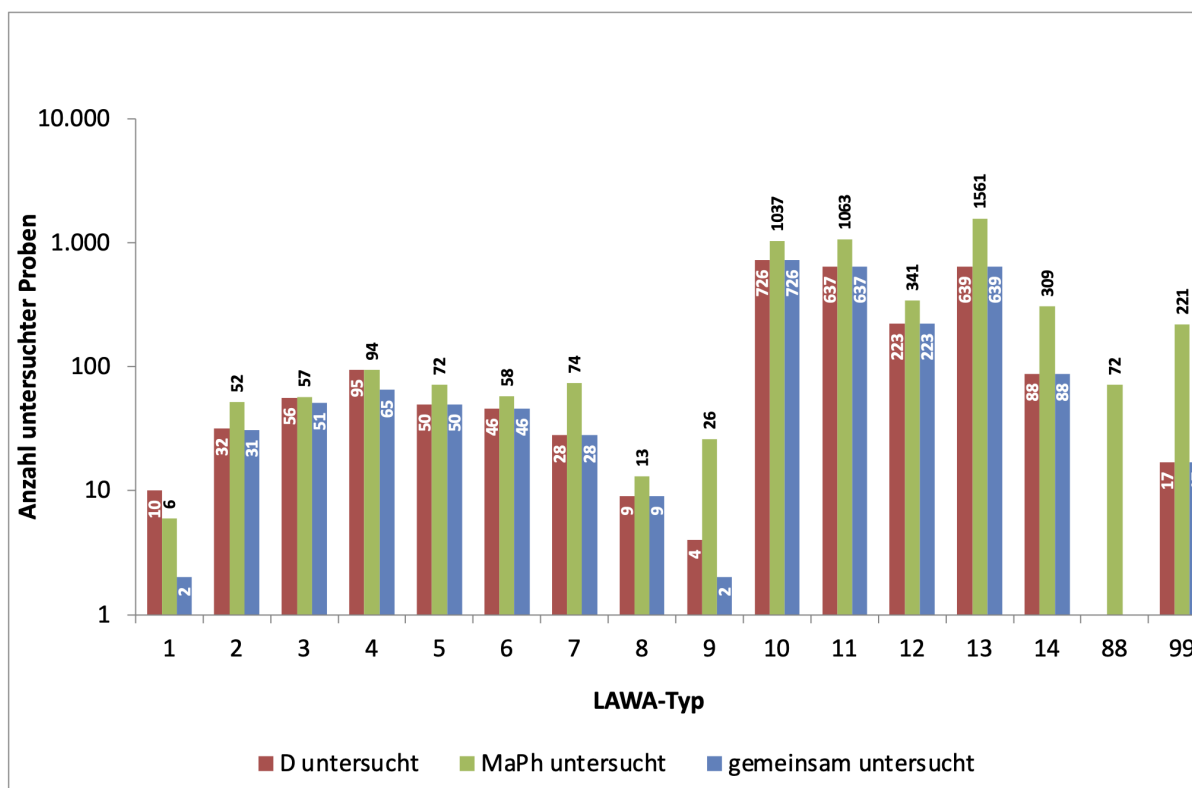


Abbildung 25: Verteilung der Probenanzahl für beide Teilkomponenten auf die LAWA-Seentypen nach Mathes et al. (2002).

4.2 Bewertungssicherheit in Phylib-Seen 7.0.0

Im vorliegenden Datensatz ließen sich bis auf 22 alle untersuchten Proben mit mindestens einer Teilkomponente gesichert bewerten. Der Anteil an gesicherten Bewertungen liegt in Version Phylib-Seen 7 höher als in der Vorgängerversion Phylib 5.3. Während die Bewertungssicherheit der Teilkomponente Makrophyten mit 65% nahezu

unverändert ist, konnte der Anteil gesicherter Bewertungen mit der Teilkomponente Diatomeen von 64% auf 97% deutlich gesteigert werden. 63% aller Proben werden in Phylib-Seen 7.0.0 mit beiden Teilkomponenten gesichert bewertet.

Der Anteil der gesicherten Ergebnisse unterscheidet sich zwischen den einzelnen LAWA-Typen teilweise deutlich (Abbildung 26). Die Bewertung mit der Teilkomponente Makrophyten ist naturgegeben in Gewässern mit gut ausgeprägtem Bewuchs am aussagekräftigsten. Besonders in den polymiktischen Seetypen 11, 12 und 14 in denen weniger Tiefenstufen untersucht werden, kann erhöhte Trophie einen weitgehenden Makrophytenrückgang an der Grenze zur Verödung bewirken und den Anteil gesicherter Bewertungen verringern. Auch der Ausfall einzelner Tiefenzonen in der Makrophytenvegetation z.B. durch Badestellen wirkt sich in flachen Gewässern am stärksten aus. Das neu eingeführte Zusatzkriterium "Teilverödung", das zukünftig auch eine gesicherte Bewertung solcher Transekte erlaubt, konnte bei den verwendeten Altdaten noch nicht berücksichtigt werden.

Die Bewertungssicherheit der Diatomeen konnte durch die Anpassungen in Phylib-Seen 7.0.0 stark gesteigert werden.

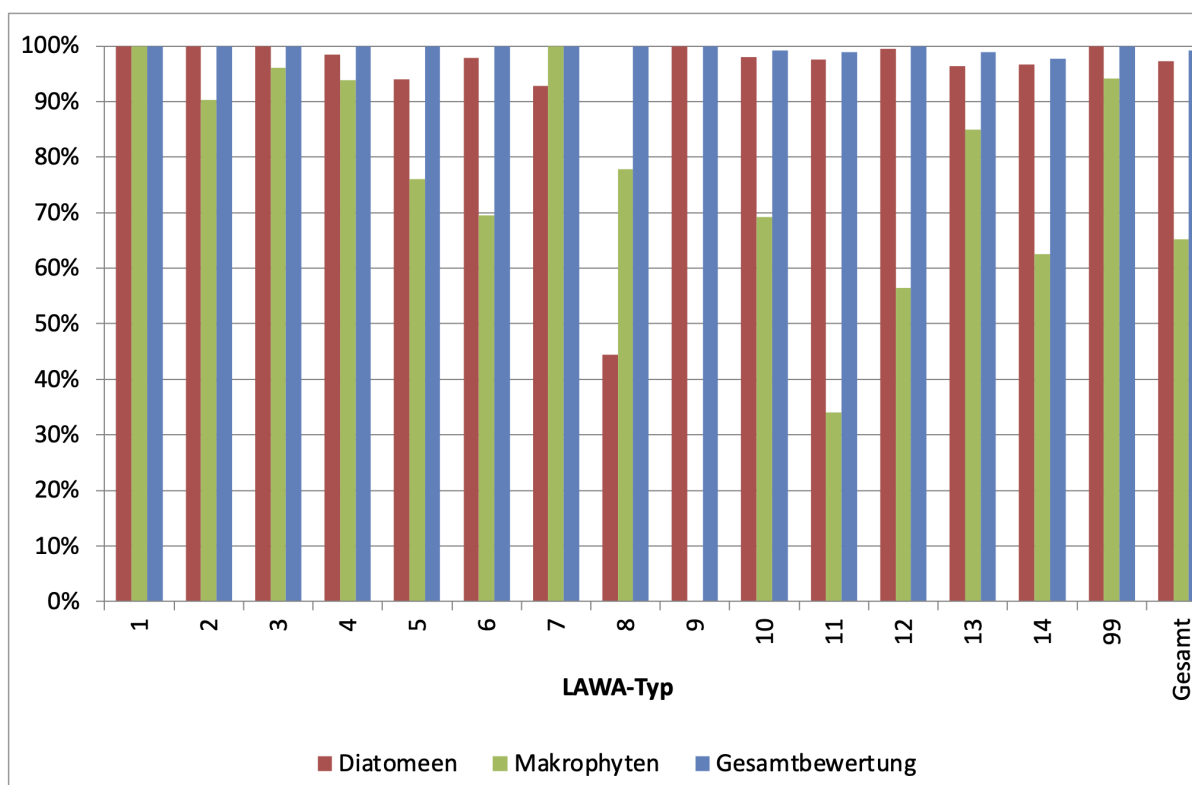


Abbildung 26: Anteil gesicherter Bewertungsergebnisse in Prozent in Phylib-Seen 7.0.0 (LAWA-Typen nach Mathes et al., 2002)

Wie diese Ergebnisse zeigen, wird die optimale Bewertungssicherheit durch die kombinierte Untersuchung beider Teilkomponenten erreicht.

4.3 Gesamtschau beider Teilkomponenten

In der Gesamtschau der Bewertungen mit Phylib-Seen 7.0.0 werden alle Bewertungsergebnisse gegenübergestellt, die nach beiden Teilkomponenten gesichert bewertet

werden können. Wird die mittlere "ÖZK (dezimal)" für die verschiedenen LAWA-Typen betrachtet, zeigt sich eine meist ähnliche Bewertungsstrenge (Abbildung 27). Bestehende Unterschiede lassen sich im Wesentlichen auf folgende Gründe zurückführen:

- In den meisten Gewässertypen bewertet die Teilkomponente Makrophyten durchschnittlich strenger als die der Diatomeen. Da höhere Pflanzen eine längere Generationszeit als Kieselalgen haben, kann eine schlechtere Bewertung der Teilkomponente Makrophyten in einigen Fällen auf noch nicht abgeschlossenen Reoligotrophierung hinweisen. Unabhängig davon reagieren höhere Wasserpflanzen auch auf Belastungen, die für Kieselalgen keine nennenswerte Rolle spielen z.B. Fischbesatz oder mechanische Belastungen, von denen sich Diatomeengesellschaften schneller erholen (Stelzer et al. 2021).
- Die Teilkomponente „Makrophyten“ differenziert nicht zwischen den verschiedenen Typen polymiktischer Tieflandseen (LAWA-Typen 11, 12 und 14). Dies führt dazu, dass im Vergleich mit den stärker differenzierenden Diatomeenbewertungen die Makrophytenbewertungen für Typ 11 und 12 etwas zu streng, die Bewertung von Typ 14 hingegen etwas zu mild ausfallen.

Insgesamt erscheinen die Bewertungsergebnisse für die allermeisten LAWA-Typen plausibel. Es zeigt sich jedoch auch hier, dass für eine aussagekräftige Bewertung beide Teilkomponenten untersucht werden sollten.

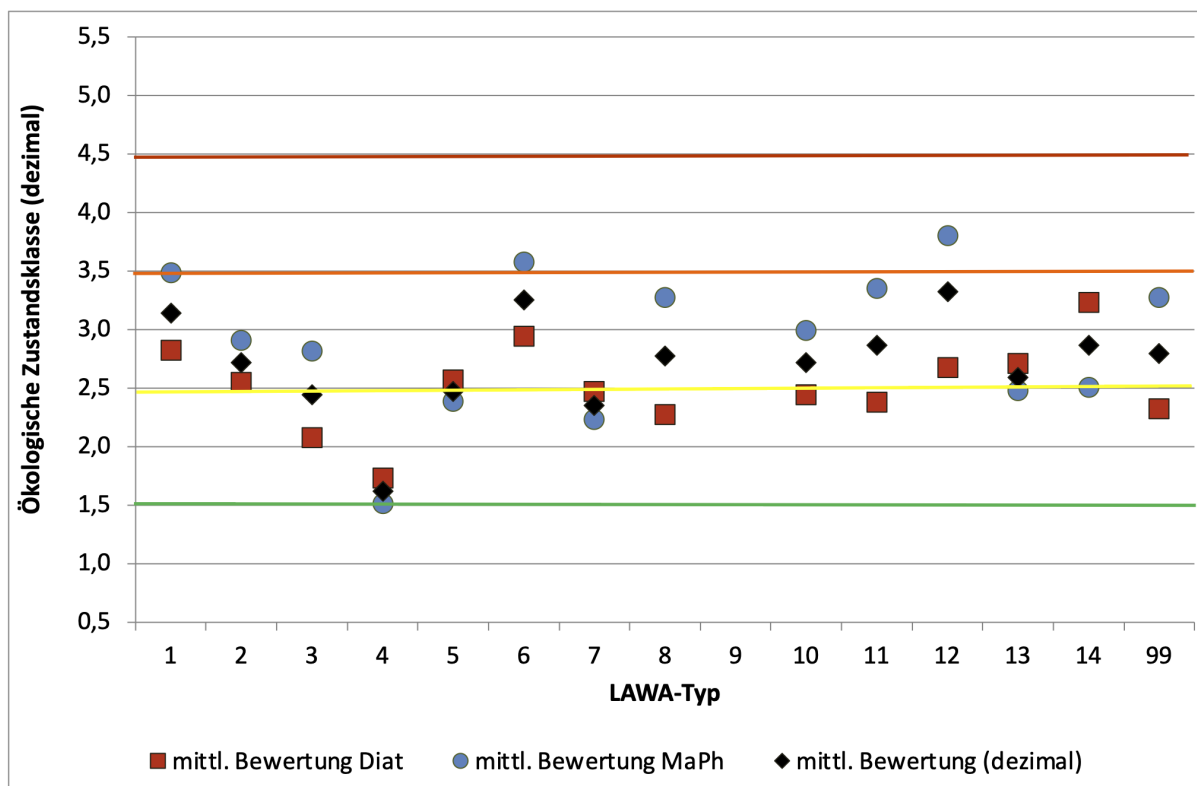


Abbildung 27: Gemittelte Bewertungsergebnisse der beiden Teilkomponenten (ÖZK dezimal) für alle LAWA-Typen

Betrachtet man die Veränderungen der durchschnittlichen Bewertungen der Teilkomponenten nach Phylib-Seen 7.0.0 gegenüber dem alten Bewertungsverfahren Phylib 5.3, so zeigen sich auch hier Unterschiede zwischen den LAWA-Typen (Abbildung 28).

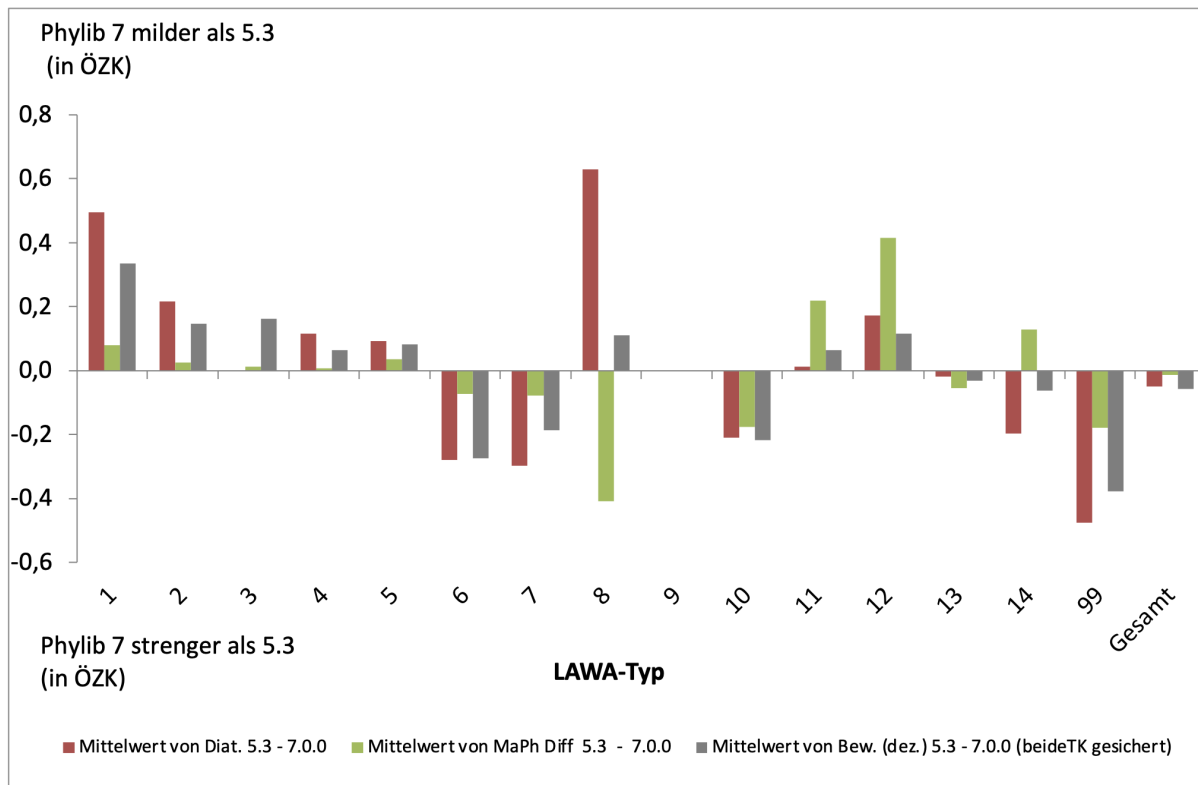


Abbildung 28: Veränderungen der gemittelten Bewertungsindizes der Teilkomponenten von Phylib 5.3 auf Phylib-Seen 7.0.0

Die scheinbar größten gegensätzlichen Veränderungen zeigen sich im Mittelgebirgstyp 8. Da für diesen Gewässertyp nur eine einzige Probestelle mit beiden Teilkomponenten gesichert bewertbar war, ist dieses Ergebnis nicht aussagekräftig. Die für Typ 1 dargestellten Veränderungen beruhen auf lediglich zwei Proben und sind ebenfalls nicht aussagekräftig.

Die stärksten interpretierbaren Veränderungen der Gesamtbewertung zeigen sich in Typ 6, 7, 10 und 99. Hier wurde die Bewertung für beide Teilkomponenten strenger, wodurch sich die Gesamtbewertung im Mittel um 0,19 bis 0,38 ÖZK reduziert. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Korrekturen einer zuvor in vielen Fällen unplausibel zu milden Bewertung. Innerhalb des Typs 10 trifft das insbesondere auf den diatomeenökologischen Subtyp DS 10.2 zu, für den das Diatomeenmodul von Phylib 5.3 nur ca. 20% Maßnahmenbedarf dargestellt hatte. Für diesen bislang falsch zu mild bewerteten Subtyp fehlten bis zur Version 5.3 die fachlichen Grundlagen, die in den LFP O1.23 und O1.25 geschaffen wurden.

Im Durchschnitt aller Probestellen werden diese strengeren Bewertungen durch mildere Bewertungen anderer Typen ausgeglichen. Die mittlere Zustandsklasse aller ausgewerteten Datensätze ist nur minimal verändert (0,06 Klassen strenger). Die LAWAZ-Leitplanken, die vorgeben, dass überarbeitete Verfahren nicht strenger werden sollen, sind also erfüllt.

5 Technische Umsetzung

5.1 Aufgabenstellung

Ziel der technischen Umsetzung war es, alle fachlichen Überarbeitungen, die sich für die beiden Teilkomponenten im Rahmen ergaben, zu implementieren.

Da im Grunde lediglich ein – wenn auch sehr umfassendes – Software-Update zu implementieren war, war eine umfassende Software-Konzeption (Grob- und Feinkonzept etc.) nicht erforderlich. Die bereits für die Vorgängerversion erstellten Dokumentationen und Artenlisten wurden kontinuierlich fortgeschrieben.

5.2 Vorgehen

Im Rahmen des Projektes O 1.25 wurden aufbauend auf der Version des Projektes O 1.23 weitere Testversionen entsprechend der fachlichen Änderungen erstellt.

Diese mündeten in einen Release-Kandidaten 7.0.0rc.

Bei den daraufhin erfolgenden umfassenden Anwendertests wurden jedoch noch zahlreiche Fehler festgestellt. Um ein kontinuierliches Testen zu ermöglichen, wurden daher mehrere weitere Release-Kandidaten erstellt, die allerdings teilweise nur intern genutzt und getestet wurden.

Mit Projektabschluss wird die Version 7.0.0 im Entwicklerbereich online gestellt. Nach Abschluss der finalen Testphase werden ggf. aufgetretene Fehler behoben und die Version nach Freigabe durch die zuständigen Gremien der LAWA veröffentlicht.

Technische Dokumentation (Entwicklerhandbuch) und Benutzungshandbuch wurden parallel zur Software fortgeschrieben. Auch hier trugen die Vertreter der Länder durch Fehlerhinweise und inhaltliche Vorschläge zur Verbesserung der Dokumentation bei.

5.3 Ergebnisse

Als Ergebnisse der technischen Umsetzung werden mit diesem Bericht vorgelegt

- Web-Anwendung Phylib-Seen 7.0.0
- Technische Dokumentation zur Software (Anlage 4)
- Benutzerhandbuch zur Software (Anlage 5)
- Artenlisten mit Einstufungen (Anlage 6)

Die Software und die genannten Anlagen werden auf der Website www.gewaesserbewertung-berechnung.de vorgehalten.

6 Übersicht aller Änderungen in der neuen Verfahrensversion

6.1 Teilkomponenten übergreifende Änderungen

Alle Indikationslisten sind überarbeitet und aktualisiert auf BTL 2020 plus Addendum 03.

Die Bewertungsergebnisse der Teilkomponenten und die Gesamtbewertung werden auf einheitliche Klassengrenzen gemäß den ökologische Qualitätsquotienten normiert (0,8/0,6/0,4/0,2).

- Damit sind die Bewertungsergebnisse der beiden Teilkomponenten und auch der M&P-Index typunabhängig jetzt direkt vergleichbar.
- Zur Ermittlung der ökologischen Zustandsklasse bzw. des ökologischen Potentials ist nur noch eine statt bisher 48 Tabellen erforderlich.

Die Verfahrensanleitung wurde aktualisiert, gestrafft und klarer strukturiert:

- Teil I: Probenahme, Typermittlung mit Zuordnung zu LAWA-Typen, Vereinfachte Grundsätze der Bewertung, Hilfen zur Interpretation und Plausibilisierung, (Bestimmungs-) Literatur (Stelzer et al., 2025 in Vorbereitung).
- Teil II: Technische Dokumentation (mit allen Berechnungsformeln).
- Teil III: aktuelle Tabellen zur Arteinstufung (Download auf der Website www.gewaesser-bewertung.de, Menüpunkt „Berechnung“).

6.2 Teilkomponente „Diatomeen“

Im Vergleich zum Entwicklungsstand Phylib 5.3 liegen in Phylib-Seen 7.0.0 umfassend überarbeitete fachliche Grundlagen vor.

Im Modul Trophiebewertung wurden alle Trophiewerte auf den Prüfstand gestellt, zu hohe oder zu niedrige Trophiewerte korrigiert (TI-Süd) oder grundsätzlich für alle Taxa neue Trophiewerte eingesetzt (TI-Nord). Für den TI-Nord wurden den Taxa erstmals trophische Gewichtungswerte zugeordnet, um den unterschiedlichen trophischen Toleranzen der Diatomeentaxa zu entsprechen. Dieser Zusatz im Berechnungsansatz hatte sich im TI-Süd bewährt und wurde für den TI-Nord übernommen. Die Korrekturen der Trophiewerte und die Einführung der Gewichtungswerte verbesserten im Tiefland den Zusammenhang der Trophieindizes zur Gesamtphosphorkonzentration (LFP O 1.23). Im Anwendungsgebiet des TI-Nord wurden alle Klassengrenzen des TI-Nord verändert. Das war zum Teil dem Umstand geschuldet, dass der alte TI-Nord numerisch zu niedrige Werte erzeugte, die sich nicht entsprechend der Skala und Klassifikation des LAWA-Trophieindexes für Freiwasserbefunde interpretieren ließen, also missverständlich waren. Zum Teil waren im alten TI-Nord aber auch zahlreiche Taxa als oligotroph eingestuft, für die die Überprüfungen anhand der Monitoringergebnisse der Jahre 2011 – 2017 ein Optimum im mesotrophen Bereich belegen. Die Trophiewerte des TI-Nord wurden ausgehend von einer vormals (LFP O1.23) exakten Übereinstimmung am zentralen Ankerpunkt $TI = 3,00$ im LFP O1.25 um $+0,25$ Einheiten angehoben. Die nachgelagert vorgenommenen Anpassungen der Klassengrenzen des TI-Nord erfolgten im subtypspezifischen Abgleich mit dem Referenzartenquotient,

um 0 – 0,5 Indexeinheiten. Als maßgebliches Ergebnis der zahlreichen Neueinstufungen für den TI-Nord kommen ungesicherte Ergebnisse wegen < 60 % im TI-Nord eingestufter Taxa jetzt nur noch in seltenen Ausnahmefällen vor.

Im Modul Referenzartenquotient wurden in allen Ökoregionen zahlreiche Taxa neu in die Kategorien A (Referenzarten) und C (Störungszeiger) eingestuft. Die Einstufungen A oder C einiger in autökologischer Hinsicht vormals unplausibel eingestufter Taxa wurden zurückgezogen. Für einige mesotrophe und eutrophe Subtypen im Tiefland wurden tolerante oder ökologisch intermediäre Taxa aus der Gruppe der C-Taxa entfernt. In allen Ökoregionen wurde erreicht, dass der Anteil der C-Taxa in jedem Subtyp nicht oder nicht wesentlich über den Anteil der A-Taxa ansteigt, obwohl zahlreiche der in den letzten Jahren neu gefundenen Taxa oder taxonomisch aufgetrennten Taxa eher der Gruppe der störungsanzeigenden Taxa zuzuordnen ist. Die jetzt als störungsanzeigend eingestuften Taxa zeigen oft starke Störungen an, die Attribute toleranter Arten wurden entfernt, wodurch sich im Verfahren eine härtere, klarere und ganz überwiegend auch ökologisch plausiblere Differenzierung zwischen gering belasteten Uferstellen auf der einen Seite und mäßig bis stark belasteten Uferstellen auf der anderen Seite ergibt. Der Bedarf an fachbehördlichen Umstufungen hin zu einer entweder schlechten oder besseren Bewertungsklasse sollte insofern kleiner geworden sein.

6.3 Teilkomponente „Makrophyten“

- Änderung der Angaben in den Messstellendaten:
 - „Vegetationsgrenze plausibel“ wird „UMG eindeutig feststellbar“
 - Eingabepflichtfeld bleibt „Begründung Verödung“; nur in der Ausgabedatei heißt das Ausgabe-Feld in Phylib-Seen 7.0.0 „Ursache für fehlende Makrophyten“
 - neue Felder: „UMG entspricht tiefster Stelle d. Transektes“, „Anzahl Tiefenstufen mit Verödung“, „natürlich makrophytenarme Tiefenstufen“, „Wühlschäden“, „epiphytische Algen“ und „Fraßschäden“
- Wird "Teilverödung" für eine oder mehrere Tiefenstufen angegeben, ist die Bewertung gesichert, sofern auch eine „Ursache für fehlende Makrophyten“ angegeben ist
- Neuer Untertyp MTS-g für geogen saure Gewässer eingeführt: Hier erfolgt keine Abwertung durch Versauerungszeiger
- Eine Unterscheidung zwischen den aquatischen Wuchsformen „submers“ und „flutend“ ist nicht mehr nötig
- Bestehende Zusatzkriterien sind überarbeitet, neue Zusatzkriterien (Teilverödung, Characeenreichtum, stenöke Referenzarten und mittlerer Artenreichtum) eingeführt (Tabelle 9)
- Ein RI von -100 kann nur noch durch Kompletterverödung der Makrophytenvegetation erreicht werden. In allen anderen Fällen liegt der kleinste mögliche RI bei -98.
- Die Klassengrenzen wurden überarbeitet (Tabelle 4). Die ökologische Zustandsklasse 5 wird in Phylib-Seen 7.0.0 nur noch bei vorliegender Kompletterverödung ausgewiesen.

Tabelle 9: Zusatzkriterien der Makrophytenbewertung in Phylib-Seen 7.0.0

Zusatzkriterien	AKp	AKs	MKg	MKp	MTS	TKg - 10	TKg - 13	TKp
mittlere UMG	+	+	++	++	++	++	++	++
Teilverödung	++	++	++	++	++	++	++	++
Characeenreichtum			++	++		++	++	++
stenöke Referenzarten			++	++	++	++	++	++
Massenbestände*	+	+	+	++	+	+	+	++
Mittlerer Artenreichtum				++				++
Modul Versauerung**					++			

+: unverändert; ++: erweitert oder neu eingeführt; * Anpassung in allen Typen: *Najas marina* ssp. *intermedia* ergänz um *N. marina* ssp. *Marina*; **Modul Versauerung wird nur bei Untertyp MTS-s angewendet

6.4 Web-Anwendung

Die Web-Anwendung wurde in mehreren Releasezyklen umfassend getestet. Es wurden alle vereinbarten Änderungen und Erweiterungen implementiert.

Nach Abschluss der finalen Testphase und Freigabe durch die LAWA kann die derzeit im Entwicklerbereich von gewaesser-bewertung.de bereit gestellte Anwendung offiziell veröffentlicht werden.

7 Ausblick

Mit Phylib-Seen 7.0.0 steht eine neue, voll funktionsfähige Bewertungssoftware zur Verfügung, die nach ausgiebigen internen und externen Tests ganz überwiegend plausible Ergebnisse liefert. Um die Qualität einer so umfangreichen Software aufrechtzuerhalten, ist es nötig, sie laufend zu betreuen. Eine Art Wartungsvertrag könnte verhindern, dass nach kurzer Zeit erneut viele nicht bewertbare Proben ausgegeben werden, wie es bei Phylib 5.3 passiert ist, oder dass Fehler nicht behoben werden können.

Folgende Punkte könnten Abhilfe schaffen:

- Ein Zeitverzug taxonomischer Anpassungen in der BTL um mehr als 10 Jahre, wie er seit der letzten größeren Überarbeitung des Phylib-Verfahrens in 2012 und der damals aktuellen Taxaliste eingetreten ist, erschwert die Bewertungspraxis in allen Ländern enorm. Die aktuelle Version der Bundestaxaliste (BTL 2020), die in Phylib-Seen 7.0.0 hinterlegt ist, entspricht seit 2012 nicht mehr dem Stand der Taxonomie und der taxonomische Fortschritt ist seit 2012 extrem schnell vorangegangen. Insgesamt ca. 200 neu beschriebene Diatomeentaxa mit Vorkommen in Deutschland sowie 27 aquatische und 54 helophytische Makrophytentaxa fehlen in der BTL 2020 bislang ganz. Eine ähnlich hohe Zahl an Taxa trägt in der Fachliteratur heute andere Namen als 2012 und kann unter den aktuellen Namen nicht in die Software importiert werden. Eine kontinuierliche Aktualisierung der Namen, DV-Nummern und eine zeitnahe Synonymisierung in der BTL könnte sicherstellen, dass eine geringfügig ergänzte Version von Phylib-Seen 7.0.0 auch Bestimmungsergebnisse nutzen kann, die mit moderner Bestimmungsliteratur erzeugt wurden und dabei mit neuen Namen zurechtkommt. Es wäre zusätzlich hilfreich, wenn ganz neue Taxa schnell hinterlegt werden könnten, um über die Bewertungen der Proben, in denen sie vorkommen, schon Informationen zu deren Präferenzen zu bekommen. Eine Neueinstufung, die erst in einem Nachfolgeprojekt (siehe unten) möglich wäre, könnte viel leichter erfolgen, als es in diesem Projekt war. Für die Anwender wäre es auch deutlich einfacher, wenn die Eingabetools der Länder und Phylib mit derselben Taxaliste arbeiten würden. So wäre gewährleistet, dass nicht ständig Taxanamen ersetzt werden müssen. Auch die BTL müsste kontinuierlich angepasst werden.
- Fehler, die nach der Abnahme auftreten sollten, seien es fehlerhafte Einstufungen von Taxa, oder andere Attribute in der Software oder Programmierfehler, sollten zeitnah beseitigt werden können.
- Kleine Änderungen, die die Bewertung nicht direkt betreffen, könnten ohne großen Aufwand vorgenommen werden. Dies könnten verbesserte Fehlermeldungen sein, oder zusätzliche Features, die sich erst in der Praxis als nützlich herausstellen könnten.

Darüber hinaus gibt es für eventuelle Nachfolgeprojekte weitere Verbesserungswünsche von Seiten der Anwender, die im aktuellen Projekt nicht verwirklicht werden konnten:

- Selbst wenn die Taxaliste in Phylib kontinuierlich (oder zumindest einmal jährlich) aktualisiert werden würde, müssen die im Phylib-Seen-Tool hinterlegten Arteinstufungen entsprechend aktualisiert und ergänzt werden.

- In der aktuellen Version des Bewertungsverfahrens führt die Anwendung der Zusatzkriterien in der Makrophytenbewertung oftmals zu Unstetigkeiten der Bewertungsfunktion durch stufenartige Abwertungen bei bestimmten Schwellenwerten. Dies trifft insbesondere bei der Bewertung der polymiktischen Seetypen zu, bei der vom jeweiligen Referenzindex (RI) konstante Zahlenwerte abgezogen werden, wenn der RI einen festen Schwellenwert über- oder unterschreitet. Diese Schwellenwerte sollen sicherstellen, dass Stellen, für die ohnehin Handlungsbedarf ermittelt wird, nicht zusätzlich abgewertet werden. In der Praxis führt dieses Vorgehen jedoch in Einzelfällen zu starken, sprunghaften Änderungen der Bewertung bei sehr kleinen Unterschieden in der Abundanz und Artenzusammensetzung, wenn diese sich von dicht unterhalb zu oberhalb eines Schwellenwertes bewegen. Diese mathematischen Unstetigkeiten können analog zur überarbeiteten Phylib-Fließgewässer-Bewertung (Müller et al. 2024) durch Linearisierung behoben werden.
- Die biozönotische Typologie der Teilkomponente „Makrophyten“ differenziert weniger stark als die der Teilkomponente „Diatomeen“. Der Abgleich beider Teilkomponenten (Kapitel 4.3) hat gezeigt, dass dies insbesondere bei Typen polymiktischer Tieflandseen zu Ungenauigkeiten führen kann. Eine weitere Differenzierung des biozönotischen Typs TKp scheint daher unverzichtbar, um die Bewertungsergebnisse für die LAWA-Typen 11, 12 und 14 zu optimieren.
- Herausarbeiten von Neophyten und invasiven Arten, die eine Biozönose nachhaltig verändern können. Um den Einfluss einer solchen Art auf das Gewässer beurteilen zu können, muss untersucht werden, wann diese Art zu ersten Mal aufgetreten ist, und wie sie die Umweltbedingungen verändert haben. Für invasive Taxa könnte man ein Verfahren entwickeln, mit dem Proben abgewertet werden, wenn die Abundanz einen gewissen Schwellenwert erreicht und somit die Biozönose negativ verändert.
- Die Vergleichbarkeit der Modulwerte der Diatomeenbewertung ist nicht unmittelbar gegeben. Während der TI-Nord äquidistante Klassengrenzen des EQR bei 0,2/0,4/0,6/0,8 nutzt, werden die RAQ anders umgerechnet und die TI-Süd wiederum auch noch anders. Die RAQ-Klassengrenze 1 / 2 des Subtyps DS 13.1 fällt mit 0,6 aus dem Rahmen der Tieflandtypen und liegt zu streng, sollte auf 0,5 abgesenkt werden. Die Bewertungen gering belasteter Uferstellen des DS 13.1 erscheinen wegen dieser Anomalie gegenwärtig noch etwas zu streng.
- Dem RAQ fehlt eine differenziertere Bewertungsgrundlage innerhalb der Klasse des schlechten Zustandes. Die einheitliche Festsetzung der Klassengrenze 2 / 3 auf einen RAQ-EQR von 0,6 und der unterhalb liegenden Klassengrenzen auf RAQ-EQR von 0,4 und 0,2 würde die direkte Vergleichbarkeit der Modulwerte unterstützen und den Umrechnungsschritt von einem Diatomeenindex zum EQR-Diatomeen überflüssig machen. Die Ausgabedatei würde um eine Spalte entschlackt werden.
- Die Einstufungen in den Halobienindex bedürfen für die Taxa der Seen einer Überprüfung und vor allem der Vornahme von Ergänzungen. Analog zur Gruppierung der Halobie im Fließgewässerbereich sollte die HalobieEinstufung im Seebereich auch auf Natriumchloridkonzentrationen ausgerichtet werden, nicht auf Hydrogenkarbonat als natürlichen Cofaktor der Leitfähigkeit.

- Informativ wären Metrics zur Indikation der Calciumkonzentration und der Alkalinität. Sie sollten und könnten direkt in der Skala der Konzentrationen aufgebaut werden und bei der Typzuweisung und bei der Interpretation der Ergebnisse nützen.
- In den Subtypen DS 10.2 und DS 13.2 wäre ein zusätzlicher Metric für die Indikation von Stickstoffbelastung nützlich. Inwieweit dieser am N:P-Verhältnis oder an N-Konzentrationen ausgerichtet werden sollte, sollte in einem LFP untersucht werden.
- Die naturschutzfachliche Bewertung von Seen würde durch den Einbau der aktuellen Rote-Liste-Einstufungen erleichtert werden.
- Die Grundlagen der Säureindikation mit Kieselalgen sind zu überarbeiten. Die Liste der Versauerungsindikatoren sollte kurzfristig von den Fließgewässern übernommen und aktualisiert werden. In einem LFP sollten die in Seen vorkommenden Säurezeiger-Taxa herausgearbeitet, validiert und ggf. ergänzt werden. Dabei ist zwischen Huminstoffzeigern und Schwefelsäurezeigern zu differenzieren, es braucht für eine sinnvolle Säurebewertung von Seen also mindestens drei zu vergleichende Metrics: einen Alkalinitätsindex in mmol/l, einen Huminsäureindex und einen Schwefelsäureindex.

8 Zusammenfassung

Die bisher vorliegenden Ergebnisse wurden zu einem überarbeiteten, für die benthi-sche Flora weitgehend einheitlichen methodischen Ansatz entwickelt, der die Normie-rung der Bewertungsergebnisse der beiden Teilkomponenten ermöglicht, ohne dass dabei umfangreiche Tabellenwerke zu Rate gezogen und durch Verordnungen verfügt werden müssen.

Über die Ergebnisse früherer Projekte hinaus wurden folgende Arbeiten durchgeführt und jeweils mit einem Projektbeirat fachlich abgestimmt:

Die taxonomischen Grundlagen wurden für beide Teilkomponenten einheitlich auf das Niveau der BTL 2020 (Plus Addendum) gebracht.

Für die Teilkomponente „Diatomeen“ wurden darüber hinaus zahlreiche Neueinstufun-gen von Taxa bzgl. der Trophie (LFP O 1.23) und des Referenzartenquotienten vorge-nommen. Damit wurden die technischen und fachlichen Grundlagen dafür geschaffen, Bewertungen von Seen mit den nach neuen Erkenntnissen erhobenen Daten der bent-hischen Flora vornehmen zu können. Der Anteil an gesicherten Bewertungen wird mit Phylib-Seen 7.0.0 in mehr Fällen möglich. Zahlreiche Tests wurden durchgeführt, um die Plausibilität zu testen und die Anwendung zu optimieren.

Die Klassifikationen des TI und des RAQ wurden für referenznahe Proben besser auf-einander abgeglichen. Die Zahl der um zwei Klassen voneinander abweichenden Mo-dulbewertungen wurde wirksam reduziert und die Plausibilität der Bewertungen auch auf der Ebene der Module erhöht.

Die Entbehrlichkeit einer erneuten Interkalibration des Verfahrens für die Teilkomp-onente Diatomeen wurde anhand der guten Übereinstimmungen der Bewertungsergeb-nisse mit der der Vorgängerversion belegt.

Für die Teilkomponente Makrophyten wurden die Überarbeitungen aus den Vorgän-gerprojekten (LFP O 2.19 und LFP O 2.20) implementiert und umfangreichen internen und externen Tests unterzogen. Die Bewertungsergebnisse wurden in der Gesamt-schau beider Teilkomponenten auf Plausibilität geprüft und für einzelne Gewässertyp-en leicht korrigiert. Eine Interkalibrierungsvorprüfung wurde durchgeführt.

Die Bewertungsansätze wurden so aufeinander abgestimmt, dass die Grundlagen für die Entwicklung einer plausiblen und harmonisierten Gesamtbewertung und die Erstel-lung einer aktualisierten Verfahrensanleitung erhalten bleiben. Die Phylib-Verfahrens-anweisung wurde gestrafft und um Hilfestellungen zu Qualitätssicherung, Plausibilisie-rung und Maßnahmenplanung ergänzt.

Die offizielle Web-Anwendung „Phylib-Seen 7.0.0“ wurde für beide Teilkomponenten so weiterentwickelt, dass sie weitgehend gesicherte Ergebnisse liefert, und von den Anwendern direkt genutzt werden kann.

Auf der Website www.gewaesser-bewertung-berechnung.de liegt damit eine Pro-grammversion vor, die nach Abnahme durch die LAWA als Version „Phylib-Seen 7.0.0“ publiziert werden kann.

Literaturverzeichnis

European Commission (2015): Procedure to fit new or updated classification methods to the results of a completed intercalibration exercise. CIS Guidance Document No. 30. Technical Report - 2015 - 085. 29 Seiten

Mathes, J., Plambeck, G. & J. Schaumburg (2002): Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. – In: Deneke, R. & Nixdorf, B. (Hrsg.): Implementierung der EU-WRRL in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. BTU Cottbus, Aktuelle Reihe 5/02: S. 15-23.

Müller, A., Gutowski, A., Schönfelder, I & D. Stelzer (2024): Anpassung des Fließgewässer-Bewertungsverfahrens für Makrophyten und Phytobenthos an die Anforderungen von Bewertungspraxis und Maßnahmenplanung (Phylib Fließgewässer) Teil 3: Abschließende Arbeiten zu Phylib-FG 7. Projekt-Nr. O 6.23 des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“ 2023

<https://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/lawa/#lawa-ao-O-6-23>

Poikane, S. (Hrsg.) (2009): Water Framework Directive Intercalibration Technical Report. Part 2: Lakes. JRC scientific and technical reports. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 174 Seiten, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC51340> (07.04.2020)

Schaumburg, J., Schmedtje, U., Schranz, C., Köpf, B., Schneider, S., Meilinger, P., Stelzer, D., Hofmann, G., Gutowski, A., Foerster, J. (2004): Erarbeitung eines ökologischen Bewertungsverfahrens für Fließgewässer und Seen im Teilbereich Makrophyten und Phytobenthos zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. – Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Abschlussbericht an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ 0330033) und die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Projekt Nr. O 11.03), 635 Seiten . München.

Schaumburg, J., Schranz, C., Stelzer, D. (2014): Bewertung von Seen mit Makrophyten & Phytobenthos für künstliche und natürliche Gewässer sowie Unterstützung der Interkalibrierung. – Bayerisches Landesamt für Umwelt, Endbericht im Auftrag der LAWA (Projekt Nr. 10.10), Augsburg. 163 Seiten https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaesserqualitaet_seen/phylib_deutsch/publikationen/doc/bewertung_seen_interkalibrierung.pdf (08.04.2020)

Stelzer, D., Weyer, K. van de, King, L. & A. Vogel (2020): Anpassung und Aktualisierung des Bewertungsverfahrens Makrophyten und Phytobenthos (Phylib Seen) – Teilkomponente Makrophyten und Diatomeen (Teil 1: 2019) Projekt-Nr. O 2.19 des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“ 2019 <https://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/lawa/#lawa-ao-O-2-19> (20.05.2025)

Stelzer, D., Weyer, K. van de, King, L. & A. Vogel. (2021): Anpassung und Aktualisierung des Bewertungsverfahrens Makrophyten und Phytobenthos (Phylib Seen) – Teilkomponente Makrophyten und Diatomeen (Teil 2: 2020) Projekt-Nr. O 2.20 des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“ 2020 <https://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/lawa/#lawa-ao-O-2-20> (20.05.2025)

Stelzer, D., Goos, C., Schönfelder, I, Vogel, A., King, L & K. van de Weyer (2025, i.V.):
Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EG-
Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten & Phytobenthos – Phylib, in Vorbereitung

Abkürzungsverzeichnis

ÖZK: ökologische Zustandsklasse gemäß Wasserrahmenrichtlinie

Anlagen