

BNÖ

Büro für Nutzung und Ökologie
der Binnengewässer
Erlenweg 13
79822 Titisee-Neustadt



Anpassung der EG-WRRL-Seenbewertung mit Phytoplankton (PhytoSee) im Algenklassen-Metric sowie Überprüfung der Hintergrund- und Orientierungswerte für die deutschen Seetypen

Projekt O 4.24

Länderfinanzierungsprogramm "Wasser, Boden und Abfall" 2024

Titisee, Wien, Freiburg im September 2025

BNÖ - Büro für Nutzung und Ökologie der Binnengewässer

Dipl. Biol. Ursula Riedmüller

Erlenweg 13, D-79822 Titisee-Neustadt

Tel. +49-7651-936664, Fax: +49-7651-936665, bnoe@gewaesserfragen.de

<https://www.gewaesserfragen.de>

IRV Softwareentwicklung - EDV Dienstleistung

Ing. Robert Vogl

Breitenfurterstrasse 107/3/17, A-1120 Wien

Tel. +43-1-804 59 34, Mobil: +43-676-334 59 34, irv@irv-software.at

<https://www.irv-software.at>

LBH - Limnologiebüro Hoehn

Dipl. Biol. Eberhard Hoehn

Glümerstr. 2a, D-79102 Freiburg

Tel.: +49-761-706485, Fax: +49-761-706496, e.hoehn@limnologie-freiburg.de

Bearbeitung und Redaktion:

Dipl. Biol. Ursula Riedmüller

Programmierung PhytoSee Online:

Ing. Robert Vogl (IRV Software)

Projektleitung:

Dipl. Biol. Eberhard Hoehn

Unter Mitwirkung des

LAWA-Expertenkreises "Biologische Bewertung Seen und Interkalibrierung nach WRRL" unter der Leitung von Gudrun Plambeck (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume, Schleswig-Holstein) und Antje Köhler (Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz, Berlin)

Zitiervorschlag:

Riedmüller, U., Vogl, R., Hoehn, E. (2025): Anpassung der EG-WRRL-Seenbewertung mit Phytoplankton (PhytoSee) im Algenklassen-Metric sowie Überprüfung der Hintergrund- und Orientierungswerte für die deutschen Seetypen. Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall" 2024. LAWa-Projekt Nr. O 4.24. Stand September 2025. 43 S.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
1 Einleitung	4
2 Arbeitsschritte	6
3 Datensammlung für die LAWA-Phytoplankton-Seendatenbank	7
4 Überprüfung der Gesamphosphor-Hintergrund- und Orientierungswerte	9
4.1 Einführung und Datengrundlage	9
4.2 Binary logistic model (BLM) im Datensatz 2017	12
4.3 Ergebnisse aus Toolkit 2017 und BLM-Tool sowie bisherige H&O-Werte	15
4.4 Ermittlung der Phosphorgrenzen je Seetyp im Datensatz 2025	16
4.4.1 Regression - Abbildungen und Kennwerte	17
4.4.2 Binary logistic Model (BLM) – Abbildungen und Kennwerte	23
4.4.3 Zusammenschau der gm-Grenzen im Datensatz 2025	29
4.4.4 Zusammenschau der hg-Grenzen im Datensatz 2025	31
4.5 Entscheidung des LAWA-Expertenkreises Seen zum Überarbeitungsbedarf der H&O-Werte	32
5 Überprüfung des Algenklassen-Metrics im PhytoSee-Verfahren	33
5.1 Einführung und Problemstellung	33
5.2 Jahrgänge mit besonders hohen Abweichungen sowie Ursachen	34
5.3 Tests von Verbesserungsmaßnahmen und Fazit	35
5.4 Ergebnis der "Maßnahmensuche" für eine stimmigere Algenklassen-Bewertung ...	37
6 Zusammenfassung	40
7 Literatur	42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der Jahrgänge auf die PP-Seetypen sowie Bewertungsklassen gemäß PhytoSee-Version 8.0.x (N=5.100).	7
Abbildung 2: Verteilung der Phytoplankton- (PP) und Zooplankton- (ZP) -Jahrgänge seit 1970. (PP: N = 5.100, ZP: N = 537).	8
Abbildung 3: Beispiel für eine BLM-Anpassung zwischen dem Stressor Gesamtposphor (x-Achse) und der PhytoSee-Bewertung "gut und besser" und "mäßig und schlechter" (y-Achse) mit ermittelter gm-Grenze ("optimal decision") und Vertrauensbereichen (gestrichelte Linien) sowie die daraus abgeleitete confusion matrix (Wahrheitsmatrix). FNR = false positive rate, FPR = false negative rate, Omis = Omission, Comm = Commission, OPR = over prediction rate, UPR = under prediction rate.	11
Abbildung 4: Streudiagramm mit BLM-Anpassung, Grenzwert und Vertrauensbereich sowie entsprechende confusion matrix für die Seetypgruppen 1 bis 3.	12
Abbildung 5: Streudiagramm mit BLM-Anpassung, Grenzwert und Vertrauensbereich sowie entsprechende confusion matrix für die Seetypgruppen 4 bis 6.	13
Abbildung 6: Streudiagramm mit BLM-Anpassung, Grenzwert und Vertrauensbereich sowie entsprechende confusion matrix für die Seetypgruppen 7 und 8.	14
Abbildung 7: gm-Grenzen für Gesamtposphor (GesP) mit den drei Toolkit-Methoden (Regression, Quartile, Mismatch) und der aktuellen BLM-Auswertung je Seetypgruppe sowie bisherige gm-Übergangsbereiche (Riedmüller et al. 2022a) vereinigt für die Seetypgruppe (Zahlen über den Säulen).	15
Abbildung 8: gm-Grenzen für Gesamtposphor (GesP) mit den Toolkit-Methoden Regression und BLM je Seetyp sowie gm-Übergangsbereiche nach OGewV (2016) bzw. Riedmüller et al. (2022a) in den grünen Kästen. Sortierung im Tiefland zusätzlich nach Schichtungstyp.	30
Abbildung 9: hg-Grenzen für Gesamtposphor (GesP) mit den Toolkit-Methoden Regression und BLM je Seetyp sowie gm-Übergangsbereiche (OGewV 2016) bzw. Riedmüller et al. (2022a) in den grünen Kästen. Sortierung im Tiefland zusätzlich nach Schichtungstyp.	32
Abbildung 10: Veränderung im AK-Metric der polymiktischen Tieflandseen mit Streichung des minimalen Submetrics (3 → 2 Submetrics) in den Jahrgängen mit Differenz PTSI_BM-AK $\geq 0,75$ Indexeinheiten und Cyano-Dominanz-Saisonmittel $\geq 20\%$. ÖQ BM-GesP = Stressorkenngröße "Ökologische Qualität" aus Biomasse- und Gesamtposphor. N=241.	38
Abbildung 11: Veränderung im AK-Metric der geschichteten Tieflandseen mit Einführung der Obergrenze im Chryso-Metric (oben, nur betroffene Jahrgänge) sowie zusätzlich der Streichung des minimalen Submetrics (3/4 → 2/3 Submetrics) in den Jahrgängen mit Differenz PTSI_BM-AK $\geq 0,75$ Indexeinheiten und Cyano-Dominanz-Saisonmittel $\geq 20\%$. ÖQ BM-GesP = Stressorkenngröße "Ökologische Qualität" aus Biomasse- und Gesamtposphor. N=197.	39
Abbildung 12: Auswirkung der Anpassungen im AK-Metric in den aktuellen Gesamtdatensätzen der polymiktischen und geschichteten Tieflandseen. ÖQ BM-GesP = Stressorkenngröße "Ökologische Qualität" aus Biomasse- und Gesamtposphor.	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gewichtungsfaktoren zur Berechnung des deutschen PhytoSee-Index für die pH-neutralen Phytoplankton-Seetypen (Riedmüller et al. 2022a/c).....	4
Tabelle 2: Stand der Phytoplankton-Seen-Datenbank im Februar 2025 sowie Bestand der Zooplanktondaten für die Anwendung von PhytoLoss zur Absicherung der PhytoSee-Bewertung.	7
Tabelle 3: Verwendete Phytoplankton-Datensätze mit Seetyp, Typgruppe und Beschreibung.	9
Tabelle 4: Kalibrationsdatensatz-Auszug aus der Phytoplankton-Seendatenbank Stand 2025 je Seetyp (inkl. künstliche Seen bzw. k-Typ). Typbeschreibung aus Riedmüller et al. 2022a/c). N=3.527. VQ = Volumenquotient = Einzugsgebiet (m²)/ Seevol. (m³), VTQ (Volumen-Tiefen-Quotient) = VQ/mittlere Tiefe (m)	11
Tabelle 5: Ergebnisse für Gesamtphosphor [µg/L] aus der Toolkit-Anwendung 2017 (Regression, Quartile, Mismatch) und der aktuellen BLM-Anwendung sowie gm-Übergangsbereiche aus OGewV (2016)/ Riedmüller et al. (2022a) (für die Seetypgruppen vereinigt) und Fazit zur Lage der Werte. threshold probability = Wahrscheinlich des Erreichens des Zustands "gut und besser".	15
Tabelle 6: Vergleich der deutschen "Orientierungsübergangsbereiche", die BLM-Grenzen im Kalibrationsdatensatz 2017 ("Kal 2017") mit den für europäische Seen abgeleiteten gut-mäßig-Grenzen (Phillips et al. 2024b), welche von Phillips in "broad types" einsortiert wurden.	16
Tabelle 7: Ergebnisse für Gesamtphosphor [µg/L] aus der Shiny-Toolkit-Anwendung 2025 (Regression, Mismatch, BLM) sowie gm-Grenzbereiche aus (2016) bzw. Riedmüller et al. (2022a) und Fazit. Threshold probability = Wahrscheinlichkeit für "gut und besser". LCL/UCL = Lower/Upper Confidence Level = Lower/Upper Confidence Level = unterer/oberer Vertrauensbereich.	29
Tabelle 8: Ergebnisse für die hg-Grenzen und Vertrauensbereiche für Gesamtphosphor [µg/L] aus der Shiny-Toolkit-Anwendung 2025 (Regression, BLM) sowie hg-Grenzbereiche aus der OGewV (2016) bzw. Riedmüller et al. (2022a) und Fazit. Threshold probability = Wahrscheinlichkeit für "gut und besser". LCL/UCL = Lower/Upper Confidence Level = unterer/oberer Vertrauensbereich.	31
Tabelle 9: Algenklassen-Submetrics in den Seegruppen im Norddeutschen Tiefland sowie verwendete Kenngrößen. BV = Algenklassen-Biovolumen, % = BV-Dominanz in der Artengemeinschaft, gelb unterlegt = Submetrics mit Cyanobakterien-Beteiligung. Stand Riedmüller et al. (2022a).	33
Tabelle 10: Verbreitung der auffälligen Jahrgangsbewertungen in den beiden Datensätzen der polymiktischen (TLpoly) und geschichteten (TLgesch) Tieflandseen. BM_PTISI-AK = Differenz aus dem Mittelwert aus Biomasse- und PTISI-Metric und dem Algenklassen-Metrics (AK).	34
Tabelle 11: Anzahl der Jahrgänge in den beiden Datensätzen der polymiktischen (TLpoly) und geschichteten (TLgesch) Tieflandseen, in den sich durch die Bewertungsanpassungen Änderungen ergeben. BM_PTISI = Mittelwert aus Biomasse- und PTISI-Metric. AK = Algenklassen-Metric. Cyano-Dominanz = Cyanobakterien-Dominanz im Saisonmittel.	37

1 Einleitung

Anlass Anpassung des Algenklassen-Metrics

In der Anwendung des für die EG-WRRL entwickelten Bewertungsverfahrens für Seen mit der biologischen Qualitätskomponente Phytoplankton (PhytoSee) wurde insbesondere in den jüngeren Untersuchungsjahren eine zunehmende Unplausibilität im Teil-Metric Algenklassen (AK-Metric) festgestellt. In einer Voranalyse (Teilaufgabe im LAWA-Projekt O3.21, s. Riedmüller et al. 2022d) konnte ermittelt werden, dass sich in den letzten Jahren in den meisten Seetypen der Ökoregion Norddeutsches Tiefland die Blaualgen-Dominanzen in einem Ausmaß erhöhen können, dass es zu unplausiblen Bewertungsergebnissen kommt. Als Ursache werden klimabedingt günstigere Entwicklungsbedingungen für diese Algengruppe angenommen.

Der AK-Metric ist einer von drei Teil-Metrics bzw. mit dem Profundal diatomeenindex DI-PROF einer von vier Metrics in der PhytoSee-Gesamtbewertung (s. Tabelle 1) und die Unplausibilität wirkt sich in der Regel auch auf den PhytoSee-Index aus. Im Tiefland liegt die Gewichtung des AK-Metrics im PhytoSee-Index bei rund 30%.

Hohe Blaualgen-Dominanzen bewirken eine im Gesamtkontext zu milde Zustandsbewertung, welche in diesen Fällen oft mit Expertenmeinung angepasst oder korrigiert werden muss. Die "Fehlbewertung" entsteht nicht durch eine unplausible Bewertung des Cyano-Submetrics selbst, dieser fällt bei Cyanobakteriendominanz hinreichend schlecht aus, sondern durch die oft stark unterrepräsentiert vorkommenden anderen Algenklassen, deren Submetrics dann viel zu günstige Teilbewertungen erhalten und den Mittelwert absenken (Riedmüller et al. 2022d).

Tabelle 1: Gewichtungsfaktoren zur Berechnung des deutschen PhytoSee-Index für die pH-neutralen Phytoplankton-Seetypen (Riedmüller et al. 2022a/c).

Ökoregion	Phytoplankton-Seetyp-Nr.	Gewichtung Biomasse-Metric	Gewichtung Algenklassen-Metric	Gewichtung PTSI-Metric	Gewichtung DI-PROF-Metric
Seetypen des Alpenvorlands und der Alpen	1	1	1	1	
	2	4	2	3	
	3	4	3	3	
	4	5	3	3	
Seetypen der Mittelgebirge	5, 7, 8, 9	3	2	3	
	6.1	3	1	2	
	6.2	3	1	2	
	6.3	3	1	2	
	7	3	2	3	
	8	3	2	3	
	9	3	2	3	
	HMWB 5 und 8	3	2	3	
Seetypen des Norddeutschen Tieflands	10.1, 10.2	4	3	3	1
	10.1k, 10.2k	4	3	3	
	11.1, 11.2, 12	4	3	2	2
	11.1k, 11.2k, 12k	4	3	2	
	13	4	3	3	3
	13k	4	3	3	
	14	4	3	2	1
	14k	4	3	2	

Während der oben genannten Vorprüfungen wurde deutlich, dass der Problemlösung eine deutlich erweiterte Datengrundlage hinsichtlich jüngerer Untersuchungsjahre und eine vertiefte Analyse zu adäquaten Korrekturmöglichkeiten zugrunde liegen sollte.

Anlass Hintergrund- und Orientierungswerte (ACP-Bewertung): Überprüfung der Gesamtphosphor-Hintergrund- und Orientierungswerte für die deutschen Seetypen

Für das unterstützende Qualitätselement Gesamtphosphor im Freiwasser von Seen wurde bereits im Jahr 2010 basierend auf einem kombinierten Ansatz (mathematische Verfahren und Expertenmeinung) ein Entwurf für die deutschen Seetypen erarbeitet. Dieser war in den Jahren 2012 und 2013 überprüft und modifiziert worden (LAWA-Projekt O 4.10, Riedmüller et al. 2013) und fand Eingang in die Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016). In einem weiteren LFP-Projekt (O 7.16, Riedmüller et al. 2018) kam einerseits der Parameter Secchi-Sichttiefe hinzu und andererseits wurden die bisherigen Werte mit den im europäischen Rahmen entwickelten "Toolkits" (Phillips et al. 2017) validiert. Alle Analysen fanden auf Basis von jeweils zuvor aktualisierten Ständen der Phytoplankton-Seen-Datenbank und harmonisiert mit der für deutsche Seen entwickelten Trophieklassifizierung nach LAWA (2014) statt.

Die Arbeitsgruppe um Geoff Phillips, welche im Rahmen der ECOSTAT-Gruppe "physical-chemical elements" im Jahr 2017 einen "best practice guide" zur Ableitung von Grenzwerten des guten Zustands erarbeitete, ergänzte aktuell die Methoden um einen weiteren Ansatz, den "binary logistic approach". Zudem wurde dieser gemeinsam mit den bisherigen Ansätzen in ein Online-Tool umgesetzt und steht auf der Internetseite https://shiny.freshwater-ecology.com/Tkit_NEW/ zur Verfügung.

Der neue Ansatz geht in höherem Maße auf divergierende Bewertungen zwischen ACP- und biologischer Bewertung und deren Minimierung ein. Die Ergebnisse können mit im europäischen Kontext abgeleiteten "Grenzwertbereichen" verglichen werden (Phillips et al. 2024b). Hiermit kann der Anwender die "Mitgliedsland-eigenen Werte" mit denjenigen im europäischen Raum jeweils Seetypgruppen-spezifisch vergleichen und deren Stimmigkeit einschätzen. Der beschriebene Vergleich wurde zuletzt in Ausarbeitungen von Riedmüller et al. (2013/2018) mit in Phillips & Pitt (2015) veröffentlichten Grenzwerten durchgeführt.

Ziele des Projekts

1. Aktualisierung der deutschen Phytoplankton-Seendatenbank mit jüngeren Untersuchungsjahren und trophischen Begleitdaten sowie der Sondenparameter Temperatur, Sauerstoff etc. (Seeoberfläche/Epilimnion) für alle Ökoregionen und Seetypen.
2. Verbesserungen des Algenklassen-Metrics in Struktur und Kalibration mit dem Ziel auch bei starken Dominanzen einzelner Gruppen (oft Blaualgen) plausiblere Ergebnisse zu erzielen. Anpassung der Programmierung im PhytoSee-Referenztool (MS-Access) und in der Online-Programmierung (IRV Software). Aktualisierung der Dokumente "Verfahrensanleitung" und "Historie" des PhytoSee-Verfahrens sowie der Inhalte auf www.gewaesserbewertung.de.
3. Überprüfung der für die Seenbewirtschaftung essenziellen Gesamtphosphor-Hintergrund- und Orientierungswerte sowie Standortbestimmung zur "Bewertungsstrenge" im europäischen Kontext auch anhand von aktuellen Datensätzen. Ggf. Empfehlung von Verbesserungsoptionen.

2 Arbeitsschritte

1. Verfahrensanpassung im Algenklassen-Metric des PhytoSee-Verfahrens:

- Aktualisierung der LAWA-Seendatenbank Phytoplankton um aktuelle Datenreihen für alle deutschen Ökoregionen und Seetypen (Phytoplanktonbefunde und relevante Begleitparameter an den Probenahmeterminen), Kommunikation mit den Daten-führenden Stellen, Datenbeschaffung über Datenportale der Bundesländer, Plausibilisierung und Rückmeldungen.
- vertiefte Analyse zur Verbreitung von unplausiblen Bewertungsergebnissen und deren Ursachen und Mechanismen
- Erarbeiten von Anpassungs- und Lösungsversuchen zur Erhöhung der Stressorsensitivität, Kalibration und Validierung, Access-Programmierung im Referenztool PhytoSee (derzeit Version 8.0.3)
- Abstimmung der Ergebnisse im LAWA-Expertenkreis und unter Anwenderinnen, Testdurchläufe mit den Online-Tools (s.u.)
- Implementierung der abgestimmten Modifikationen in ein Online-Test-Tool und nach Testung in die Online-Tool-Architektur von www.gewaesser-bewertung-berechnung.de (hierzu Unterauftrag an IRV Wien, Robert Vogl)
- Aufnahme der Modifikationen in die Begleitdokumente des Verfahrens: Verfahrensanleitung, Versionsdokumentation, Aktualisierung der Dokumente auf der Bewertungsseite www.gewaesser-bewertung.de sowie Erstellung eines Newsletterbeitrags

2. Überprüfung der Hintergrund- und Orientierungswerte für Gesamtphosphor für die deutschen Seetypen:

- Zusammenstellen der für die Seetypen repräsentativen Datensätze (Kalibrationsdatensätze) zur Ableitung der Grenzwerte: Einerseits die damaligen Datensätze zum korrekten Vergleich der Werte und Methoden und andererseits aktuelle Datensätze für die Ermittlung von Änderungen und bestehender Aktualität
- Anwendung des Online-Tools auf die Seetyp-Datensätze und Plausibilisierung
- Erstellung des Test- und Tätigkeitsberichts, Darstellung der Werte- und Methodenvergleiche in Tabellen und Abbildungen sowie Zusammenfassung, Fazit und Empfehlungen

3 Datensammlung für die LAWA-Phytoplankton-Seendatenbank

Datenanfrage und -bedarf:

Bereits im vergangenen Jahr (Anfang November 2023) erfolgte die erste Datenanfrage bei den Bundesländern. Angefragt wurden Phyto- und Zooplanktonbefunde sowie physikalisch-chemische Begleitdaten an den Probenahmeterminen. Für Betrachtungen hinsichtlich Klimawandelbezogener Fragestellungen wurden auch Sondenmesswerte (Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoff) in die Sammlung miteinbezogen, welche in Seen in der Regel in Tiefenprofilen erfasst werden. In die Datenbank werden diesbezüglich zunächst die Oberflächenmesswerte oder Mittelwerte des Epilimnions mitaufgenommen.

Aufbereitung und Plausibilisierung:

Die erhaltenen Datenpakete sowie die von den Datenportalen geladenen Excel- und Access-tabellen oder -dateien (insgesamt über 300 Einzeltabellen oder -dateien) wurden in Datenbankformat aufbereitet → eine Tabelle mit Mess- und Analysewerten am Probenahmetag sowie die Befundetabelle mit Verknüpfungsausdruck zur ersteren.

Für die Datenbank neue Seen wurden in der Stammdatentabelle ergänzt und die Typisierungs-kenngrößen recherchiert oder rückgefragt. Bei lückigen oder fehlenden Datensätzen wurde an die Daten-liefernden Stellen teils mehrfach rückgefragt.

Tabelle 2: Stand der Phytoplankton-Seen-Datenbank im Februar 2025 sowie Bestand der Zooplanktondaten für die Anwendung von PhytoLoss zur Absicherung der PhytoSee-Bewertung.

	Jahrgänge	Probentermine	Befunde	gültige PSI-bewertete Jahrgänge (d.h. mit PTSI)	Probentermine mit Temperatur
Phytoplankton	6.175	51.671	1.221.707	5.100	30.604
Zooplankton	537	3.990	162.644	503	2.924

Für insgesamt 1.314 deutsche Seen sind in der Datenbank physikalisch-chemische und Phytoplanktondaten enthalten (s. Tabelle 2). Insbesondere die jüngeren Jahrgänge sind zu rund 10% auch mit Zooplanktonuntersuchungen unterlegt (s. Abbildung 2). Die Verteilung der Jahrgänge auf die Phytoplankton-Seetypen und Bewertungsklassen zeigt die Abbildung 1.

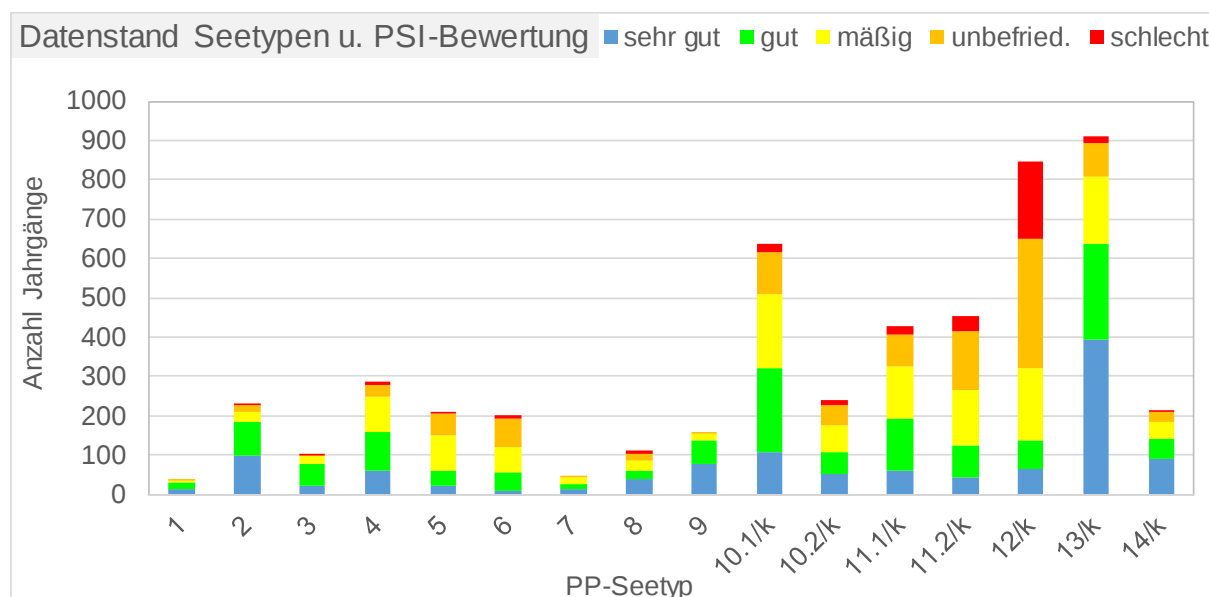


Abbildung 1: Verteilung der Jahrgänge auf die PP-Seetypen sowie Bewertungsklassen gemäß PhytoSee-Version 8.0.x (N=5.100).

Die Datensammlung umfasst Jahrgänge bis 1970 zurück (s. Abbildung 2). Eine Deutschland-weite Vereinheitlichung von Mindestanforderungen an Taxonomie und u.a. Untersuchungsfrequenz wurde erst ab den Jahren 2004/2005 begonnen, in denen auch die ersten Schritte zur Erstellung des PhytoSee-Verfahrens gemacht wurden. Aus diesem Grund werden für neuere Kalibrationen und Validierungen oftmals die Jahrgänge ab 2005 selektiert.

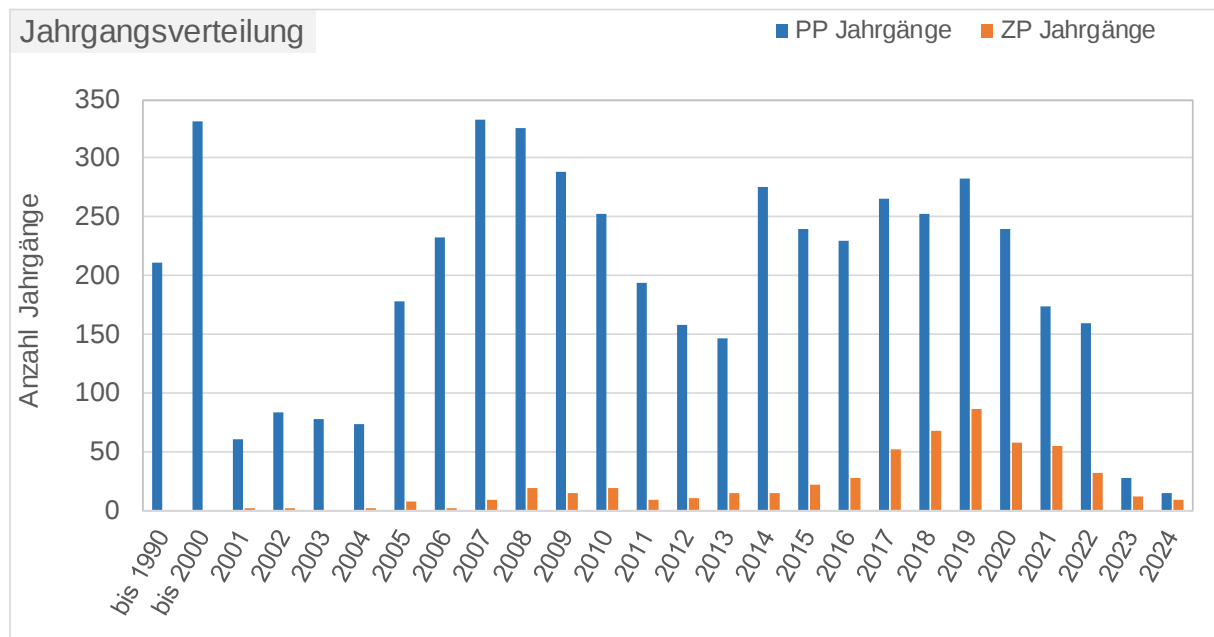


Abbildung 2: Verteilung der Phytoplankton- (PP) und Zooplankton- (ZP) -Jahrgänge seit 1970. (PP: N = 5.100, ZP: N = 537).

Die Zooplanktondaten wurden im vorliegenden Projekt nicht verwendet, stehen jedoch in der aufbereiteten Form für weitere Überprüfungen insbesondere des die PhytoSee-Bewertung begleitenden Zooplankton-Moduls PhytoLoss zur Verfügung.

4 Überprüfung der Gesamtposphor-Hintergrund- und Orientierungswerte

4.1 Einführung und Datengrundlage

Für das unterstützende Qualitätselement Gesamtposphor im Freiwasser von Seen wurde bereits im Jahr 2010 basierend auf einem kombinierten Ansatz (Regression, Quartile und Expertenmeinung) ein Entwurf für die deutschen Seetypen erarbeitet. Dieser war in den Jahren 2012 und 2013 überprüft und um den Parameter Secchi-Sichttiefe erweitert worden (LAWA-Projekt O 4.10, Riedmüller et al. 2013) und fand Eingang in die Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016). In einem weiteren LFP-Projekt (O 7.16, Riedmüller et al. 2018) wurden die bestehenden Werte unter Anwendung des im europäischen Rahmen entwickelten "Toolkits" (Phillips et al. 2016/2017) wiederum überprüft und bestätigt. In diesem Arbeitsschritt wurden die Alpenvorland-Seetypen 1 bis 3 erstmals auch in den H&O-Werten differenziert behandelt. Die für die Seetypen 1 bis 3 ermittelten Grenzbereiche sind bislang noch nicht in der OGewV (2016) enthalten.

Alle Analysen fanden auf Basis von -jeweils zuvor aktualisierten Ständen der Phytoplankton-Seendatenbank und harmonisiert mit der für deutsche Seen entwickelten Trophieklassifizierung nach LAWA (2014) statt.

Die Arbeitsgruppe um Geoff Phillips, welche im Rahmen der ECOSTAT-Gruppe "physical-chemical elements" im Jahr 2017 einen "best practice guide" zur Ableitung von Grenzwerten des guten Zustands erarbeitete, ergänzte die Methoden um das "binary logistic model" (BLM). Zudem wurde die BLM-Methode gemeinsam mit den bisherigen Ansätzen in ein Online-Tool umgesetzt und steht auf der Internetseite https://shiny.freshwater-ecology.com/Tkit_NEW/ in einer Shiny-Web-Anwendung des Open Source-Programms R zur Verfügung (Phillips et al. 2024a/b, Várbiro et al. 2018). Der neuere Ansatz geht in höherem Maße auf divergierende Bewertungen zwischen ACP- und biologischer Bewertung und deren Minimierung ein und besitzt seine Stärke in Datensätzen oder Seetypen, deren biologische Antwort im Stressorgradienten nicht zuverlässig oder stark schwankend reagiert.

Im folgenden Arbeitsschritt sollen die auch in der PhytoSee-Verfahrensanleitung (Riedmüller et al. 2022a) veröffentlichten H&O-Werte für Gesamtposphor (GesP) mit der neuen BLM-Methode überprüft werden. Das Toolkit gibt derzeit nur die gut-mäßig-Grenze aus. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Grenzen werden zunächst dieselben Datensätze wie im Jahr 2017 für die Seetypen bzw. Seetypgruppen verwendet, wobei auch die Ausreißerwerte in den Datensätzen identisch gewählt wurden. Die Gruppierung der Seetypen erfolgte nach Höhe der Trophie im Referenzzustand (s. Tabelle 6 in Riedmüller et al. 2022a).

Tabelle 3: Verwendete Phytoplankton-Datensätze mit Seetyp, Typgruppe und Beschreibung.

PP-Seetypen (inkl. k-Typen)	Seetyp- gruppe	Gruppen-Bezeichnung	Anzahl Datensätze
4	1	geschichtete Alpenseen	23
3/7/9	2	geschichtete Mittelgebirgs- und Alpenvorlandseen mit relativ kleinem EZG	51
2/5/8/13	3	geschichtete Mittelgebirgs- und Alpenvorlandseen mit rel. großem EZG, geschichtete Tieflandseen mit rel. kleinem EZG	252
10.1	4	geschichteter Tieflandsee mit mittelgroßem EZG	183
6.1/10.2/14	5	geschichtete Seen mit sehr großem und polymiktische Seen mit kleinem EZG	115
1/ 6.2/ 11.1	6	polymiktische Seen mit mittelgroßem EZG	105
6.3/11.2	7	polymiktische Seen mit großem EZG oder sehr flache Seen	119
12	8	Flussseen	39
Summe			887

Im Datensatz 2017 stehen Phytoplanktonbewertungen (s. Tabelle 3) mit EQR-Werten (ecological quality ratio) und mit den entsprechenden Saisonmittelwerten des Gesamtphosphors in den oberen Wasserschichten bzw. in thermisch geschichteten Seen meist des Epilimnions zur Verfügung. Datensätze mit Nährstoffkonzentrationen von über 100 µg/L GesP (Versuche zur Linearität zwischen GesP und Phytoplanktonbiovolumen) waren damals aus der Analyse ausgeschlossen worden, da diese Bereiche einerseits keine Relevanz für etwaige Grenzwerte besitzen und andererseits in diesen keine solitäre Limitation durch Gesamtphosphor mehr zu erwarten ist.

Für den Vergleich der Grenzwerte wurden in Riedmüller et al. (2018) jeweils drei Kenngrößen aus der Toolkit-Berechnung verwendet (Details in Phillips et al. 2017):

1. Nährstoff-Grenzwert aus den Regressionsanalysen (empfohlen Model 4, major axis regression)
2. Grenzwert aus den Quartilberechnungen: Mittelwert aus benachbarten Quartilen (75Quartil "gute" Zustandsklasse, 25Quartil "mäßige" Zustandsklasse)
3. Grenzwert aus der Mismatch-Analyse

Erweiterung:

4. "Neue Methode" *binary logistic model* (BLM) - binäre logistische Regression im Shiny-Onlinetool (Várbíró et al. 2018)

Das binary logistic model (BLM) kann nach Phillips et al. (2024a) eingesetzt werden, wenn die abhängige Variable (Zustandsklasse) nur zwei Ausprägungen hat, also binär oder dichotom ist (hier: "gut und besser" versus "mäßig und schlechter"). Das Modell berechnet die Wahrscheinlichkeit des Eintretens der Zustandsklassenänderung d.h. die "probability of biota good" (p) (s. Abbildung 3).

Der gedankliche Ansatz ist, das Biologie-Ergebnis "gut und besser" mit dem Stressor (ACP) zu prognostizieren. Die nach ACP guten Ergebnisse werden als "positiv" bezeichnet, als negativ wenn der "gute" Zustand verfehlt wird. Wenn die Biologie wie prognostiziert auch "gut und besser" ergibt, ist das Ergebnis "Wahr positiv" oder "TRUE positive" (Tp), wenn sie "mäßig und schlechter" ergibt ist das Ergebnis aus der ACP-Prognose "Falsch positiv" oder "FALSE positive" (Fp).

Im Fall des Parameters Gesamtphosphor wird mit steigenden Stressorkonzentrationen der "gute" Zustand zunehmend unwahrscheinlicher. Die "richtige" Grenze wird von der Toolkit-Routine mithilfe verschiedener Kenngrößen ausgewählt, welche z.B. den Anteil der "FALSE positive"- (Fp) oder der "FALSE negative"-Fälle (Fn) an der Gesamtzahl der Befunde (N) wiedergibt. Die FALSE-Anteile sollen im Verhältnis zu den TRUE-Fällen möglichst klein gehalten und miteinander abgewogen werden. Das Auswahl-Prozedere und das Ergebnis wird als "optimal decision" bezeichnet.

Für die wasserwirtschaftliche Praxis und die Vorsorglichkeit von Orientierungswerten wären nach Phillips et al. (2024a) mit der Grenzwertwahl die FALSE negativ Fälle möglichst gering zu halten, dass Bewirtschaftungsbemühungen zu einem Orientierungswert hin verlässlich zu einem guten Zustand führen können. Hierfür sei die Kenngröße "Commission" (s. Comm. in Abbildung 3) gut geeignet, welche den Anteil der Fn-Fälle innerhalb der Gruppe der nur "mäßig und schlechteren" Biota-Bewertungen darstellt (Fn/Fn+Tn).

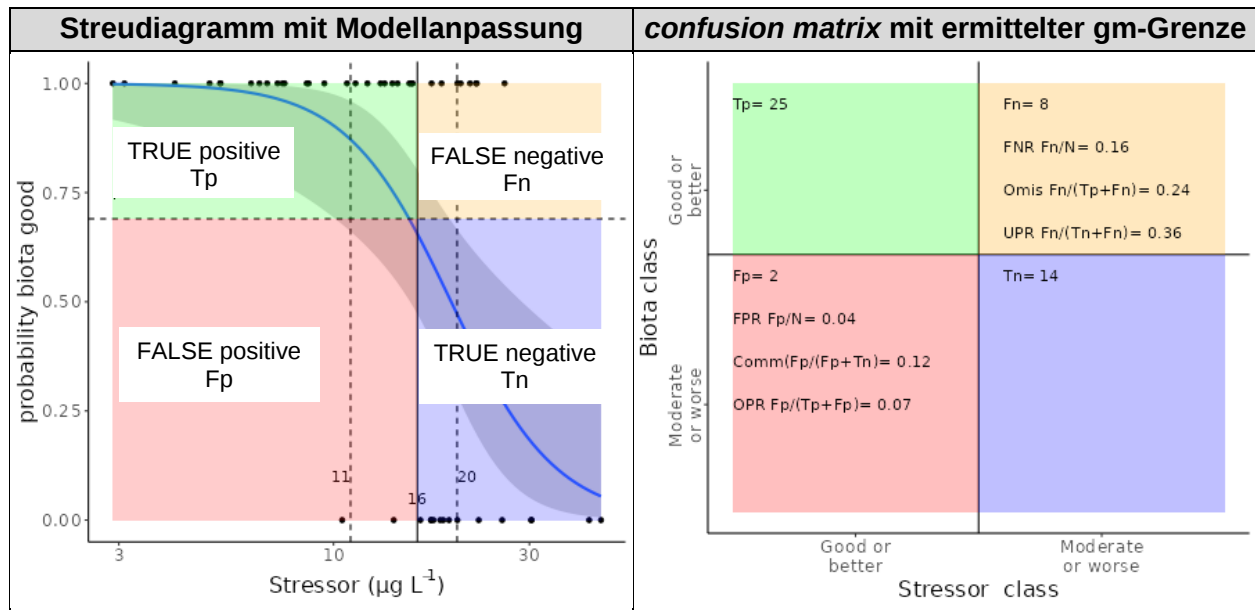


Abbildung 3: Beispiel für eine BLM-Anpassung zwischen dem Stressor Gesamtposphor (x-Achse) und der PhytoSee-Bewertung "gut und besser" und "mäßig und schlechter" (y-Achse) mit ermittelter gm-Grenze ("optimal decision") und Vertrauensbereichen (gestrichelte Linien) sowie die daraus abgeleitete confusion matrix (Wahrheitsmatrix). FNR = false positive rate, FPR = false negative rate, Omis = Omission, Comm = Commission, OPR = over prediction rate, UPR = under prediction rate.

Für alle Seetypgruppen des Datensatzes aus 2017 sind im folgenden Kapitel 4.2 jeweils ein Streudiagramm mit BLM-Anpassung und die confusion matrix aufgeführt. Eine Zusammenstellung der Werte mit den Ergebnissen aus 2017 sowie Vergleiche erfolgt in Kap. 4.3

Im weiteren Verlauf der Überprüfung kam die aktuelle **Phytoplankton-Seendatenbank 2025** bzw. ein ausgewählter *Kalibrationsdatensatz* aus dieser für die Ableitung von seetyp-genauen Orientierungswerten zur Anwendung. Für die Grenzwermittlung wurden die Ergebnisse aus der Regressionsanalyse und der BLM-Methode aus dem Shiny-Tool verwendet.

Tabelle 4: Kalibrationsdatensatz-Auszug aus der Phytoplankton-Seendatenbank Stand 2025 je Seetyp (inkl. künstliche Seen bzw. k-Typ). Typbeschreibung aus Riedmüller et al. 2022a/c). N=3.527. VQ = Volumenquotient = Einzugsgebiet (m^2) / Seevol. (m^3), VTQ (Volumen-Tiefen-Quotient) = VQ/mittlere Tiefe (m)

Phytoplankton-Seetyp	Beschreibung Seetyp	Anzahl Jahrgänge	Phytoplankton-Seetyp	Beschreibung Seetyp	Anzahl Jahrgänge
PP 1	polymiktische Voralpenseen	27	PP 8	geschichtete, Ca-arme Mittelgebirgsseen mit VTQ > 0,18	90
PP 2	geschichtete, Ca-reiche Alpenvorlandseen mit VQ > 1,5	102	PP 9	geschichtete, Ca-arme Mittelgebirgsseen mit VTQ ≤ 0,18	127
PP 3	geschichtete, Ca-reiche Alpenvorlandseen mit VQ ≤ 1,5	54	PP 10.1	geschichtete, Ca-reiche Tieflandseen mit VQ 1,5-15	524
PP 4	geschichtete, Ca-reiche Alpenseen	106	PP 10.2	geschichtete, Ca-reiche Tieflandseen mit VQ > 15	183
PP 5	geschichtete, Ca-reiche Mittelgebirgsseen mit VTQ > 0,18	138	PP 11.1	polymiktische, Ca-reiche Tieflandseen mit VQ > 1,5, Verweilzeit > 30 d, mittlere Tiefe ≤ 3 m	344
PP 6.1	polymiktische Mittelgebirgsseen mit VTQ ≤ 2	50	PP 11.2	polymiktische, Ca-reiche Tieflandseen mit VQ > 1,5, Verweilzeit > 30 d, mittlere Tiefe > 3 m	620
PP 6.2	polymiktische Mittelgebirgsseen mit VTQ 2-6	29	PP 12	polymiktische, Ca-reiche Tieflandseen mit VQ > 1,5, Verweilzeit 3 - 30 d	271
PP 6.3	polymiktische Mittelgebirgsseen mit VTQ > 6	70	PP 13	geschichtete, Ca-reiche Tieflandseen mit VQ ≤ 1,5	628
PP 7	geschichtete, Ca-reiche Mittelgebirgsseen mit VTQ ≤ 0,18	41	PP 14	polymiktische, Ca-reiche Tieflandseen mit VQ ≤ 1,5	123

4.2 Binary logistic model (BLM) im Datensatz 2017

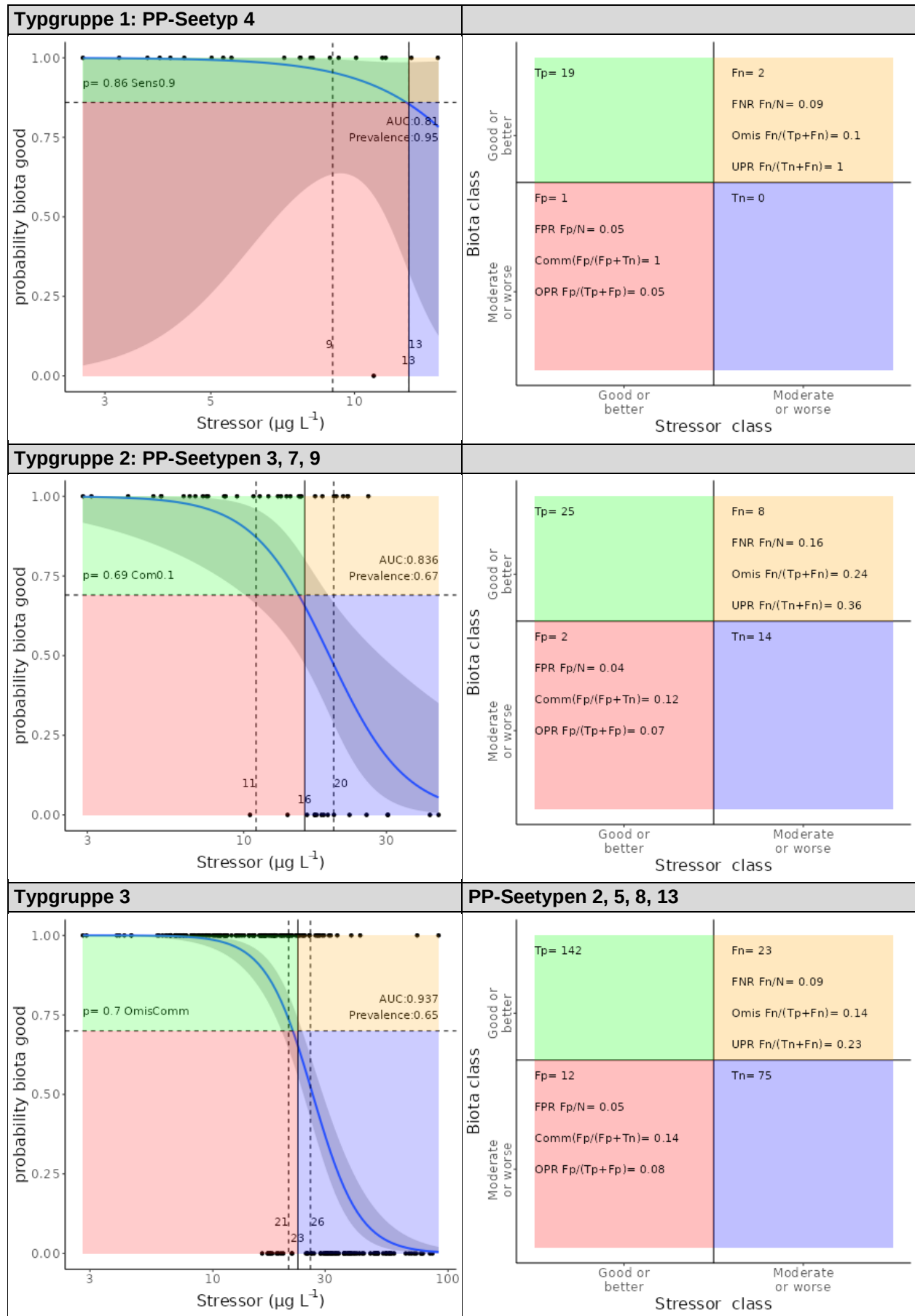


Abbildung 4: Streudiagramm mit BLM-Anpassung, Grenzwert und Vertrauensbereich sowie entsprechende confusion matrix für die Seetypgruppen 1 bis 3.

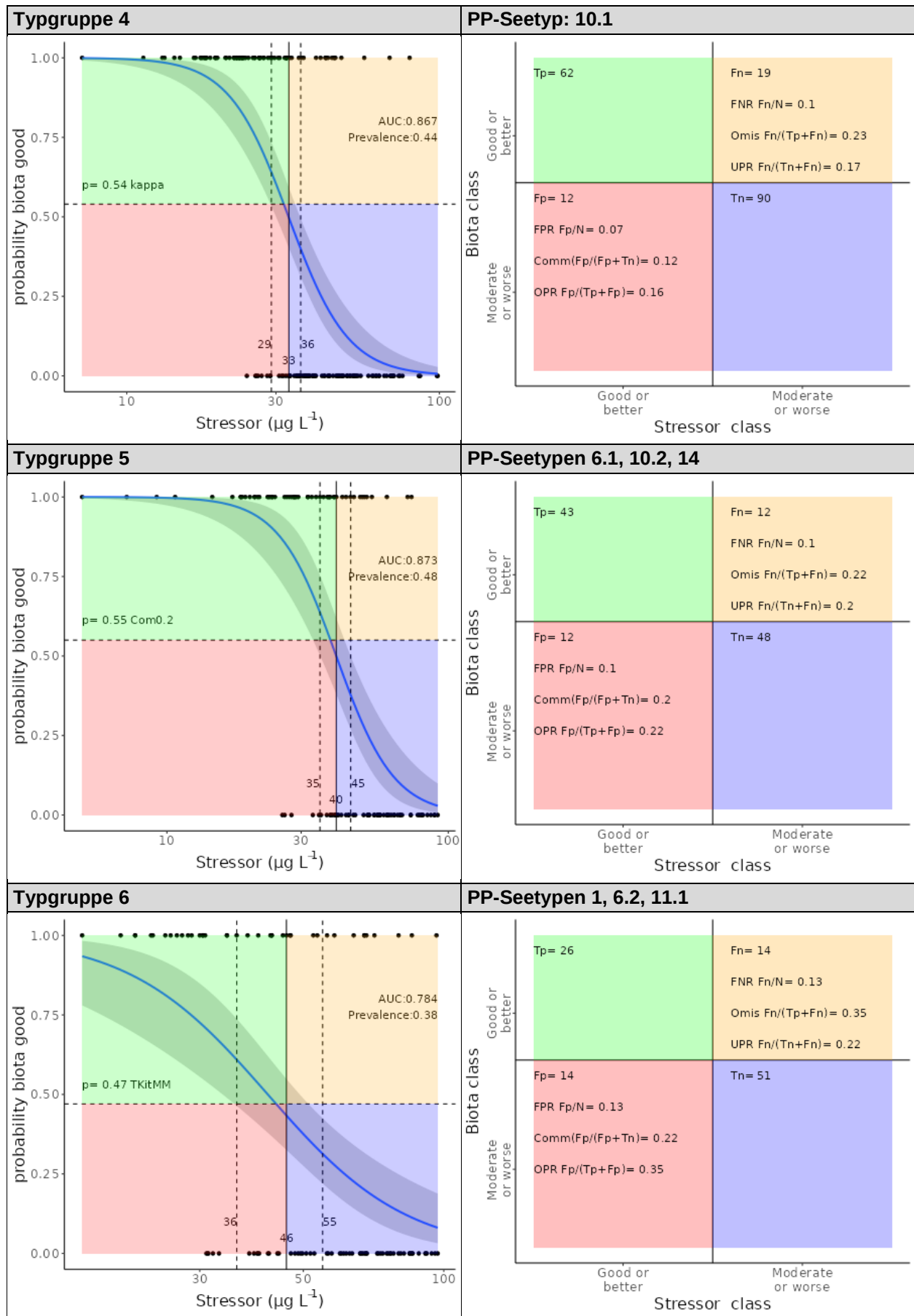


Abbildung 5: Streudiagramm mit BLM-Anpassung, Grenzwert und Vertrauensbereich sowie entsprechende confusion matrix für die Seetypgruppen 4 bis 6.

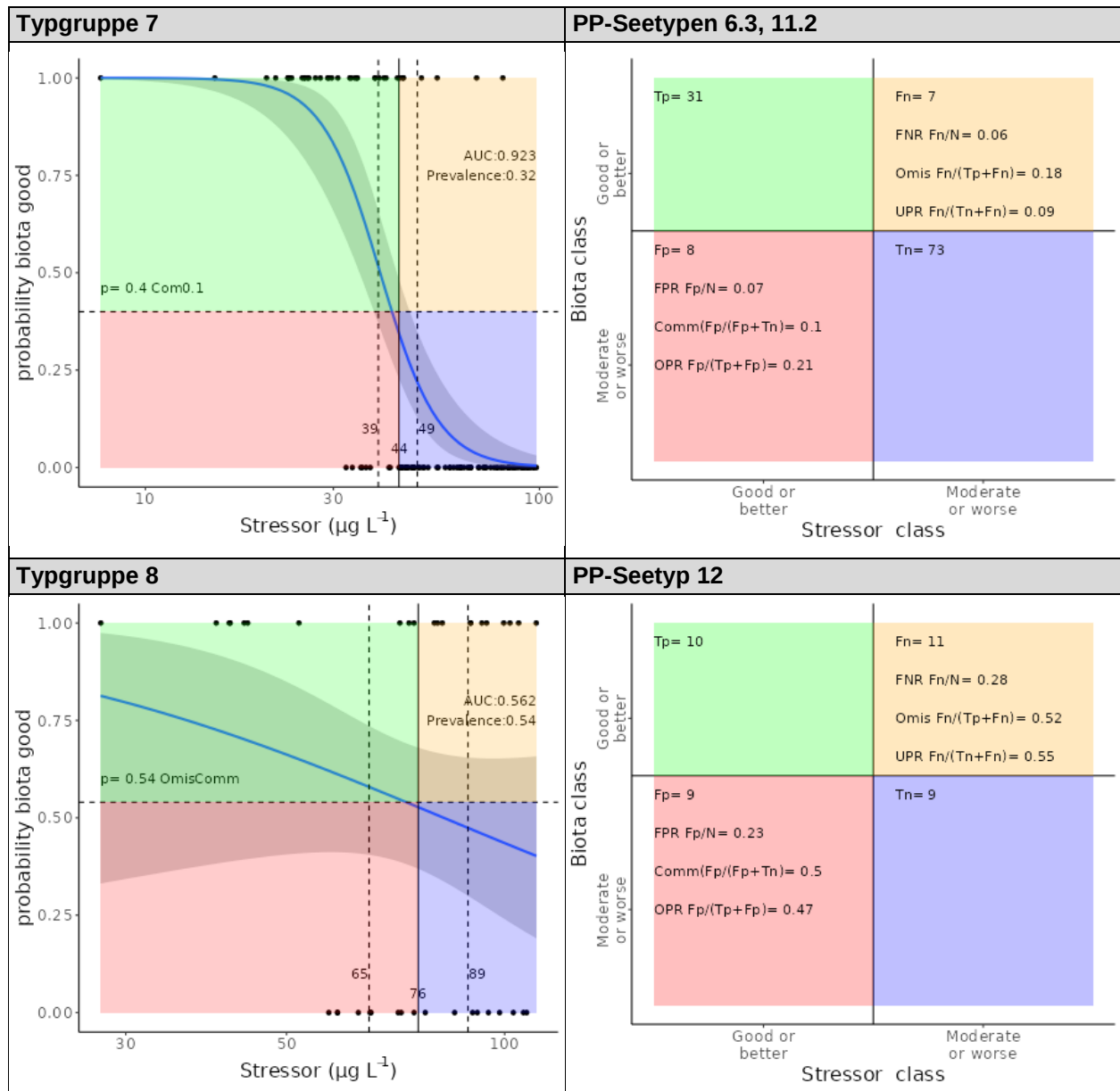


Abbildung 6: Streudiagramm mit BLM-Anpassung, Grenzwert und Vertrauensbereich sowie entsprechende confusion matrix für die Seetypgruppen 7 und 8.

In der ersten Abbildung der Abbildung 4 für die Seetypgruppe 1 (PP-Seetyp 4 = tiefe Alpenseen) waren im Datensatz 2017 keine "mäßig" bewerteten Jahrgänge enthalten.

Die Zusammenstellung der Werte und vergleichende Betrachtungen erfolgen im Folgekap. 4.3.

4.3 Ergebnisse aus Toolkit 2017 und BLM-Tool sowie bisherige H&O-Werte

Die Ergebnisse aus der Toolkit-Anwendung 2017 und der aktuellen Anwendung des Shiny-Tools mit der BLM-Anpassung zeigt die Tabelle 5. Die für die Typgruppen zusammengeführten gm-Übergangsbereiche aus der OGewV (2016) bzw. für die Seetypen 1 bis 3 aus Riedmüller et al. (2022a) werden mit den Ergebnissen verglichen.

Tabelle 5: Ergebnisse für Gesamtphosphor [$\mu\text{g/L}$] aus der Toolkit-Anwendung 2017 (Regression, Quartile, Mismatch) und der aktuellen BLM-Anwendung sowie gm-Übergangsbereiche aus OGewV (2016)/ Riedmüller et al. (2022a) (für die Seetypgruppen vereinigt) und Fazit zur Lage der Werte. threshold probability = Wahrscheinlich des Erreichens des Zustands "gut und besser".

Gruppierung der PP-See typen	Regression	R ²	Quartil	Mismatch	BLM	Lower Conf. Level	Upper Conf. Level	threshold probability	"Seetypgruppen- vereinigt" gm-Übergangsbereich	Fazit zur Lage der gm-Grenz bereiche
4	17	0,65	11	14	13	9	12	0,85	9-12	strenger/gleich
3/7/9	18	0,45	17	17	16	11	20	0,65	14-20	gleich
2/5/8/13	24	0,69	23	33	23	21	26	0,65	18-35	weiter Bereich
10.1	32	0,52	33	33	33	29	36	0,51	25-40	weiter Bereich
6.1/10.2/14	38	0,56	42	41	40	35	45	0,50	30-45	strenger/gleich
1/6.2/11.1	45	0,40	56	45	46	36	55	0,43	35-50	strenger/gleich
6.3/11.2	45	0,54	46	41	44	39	49	0,35	35-70	weiter Bereich
12	70	0,07	80	84	76	65	89	0,54	60-90	gleich

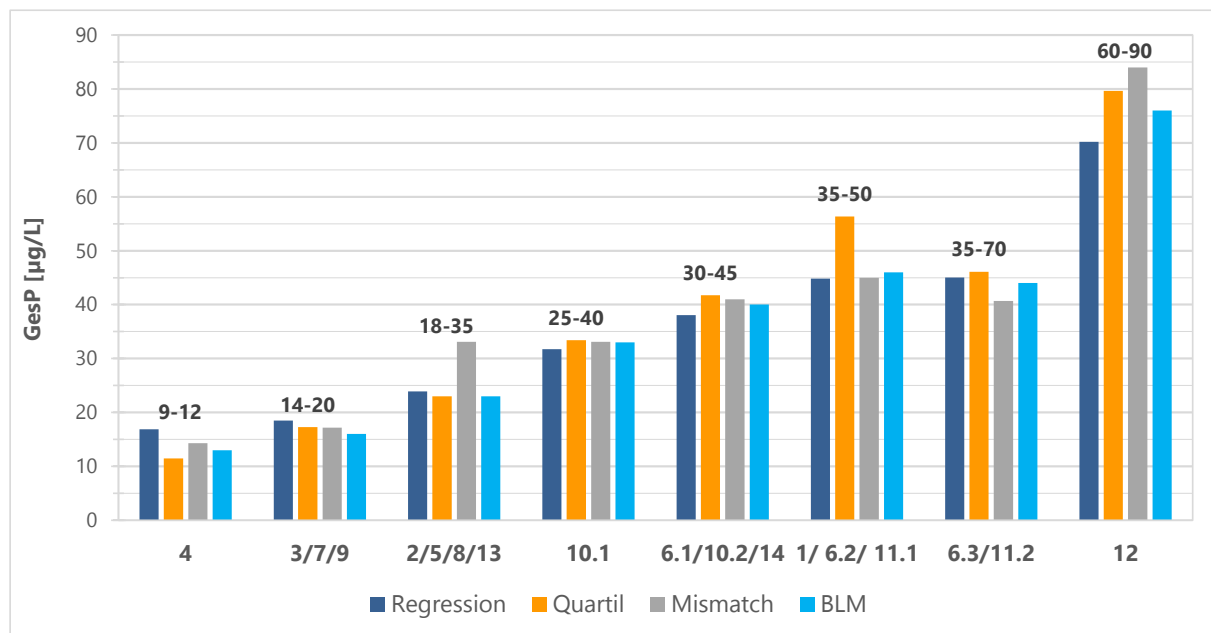


Abbildung 7: gm-Grenzen für Gesamtphosphor (GesP) mit den drei Toolkit-Methoden (Regression, Quartile, Mismatch) und der aktuellen BLM-Auswertung je Seetypgruppe sowie bisherige gm-Übergangsbereiche (Riedmüller et al. 2022a) vereinigt für die Seetypgruppe (Zahlen über den Säulen).

Fazit: Die Anwendung der BLM-Methode ergibt keine deutlich abweichenden Werte zu den 2017 mit dem Toolkit ermittelten Grenzen für die gemäß Referenztrophie gebildeten Seetypgruppen (s. Abbildung 7). Die Vertrauensbereiche des BLM sind den gm-Übergangsbereichen häufig sehr ähnlich wie z.B. bei den Seetypgruppen 4, 3/7/9 oder 12. Die Strenge der deutschen gm-Werte ist im Vergleich recht stimmig. Teils könnten die Übergangsbereiche etwas enger gefasst sein, wobei sich hier auch die Seetypgruppierung "aufweitend" auswirkt. Eine

seetypgenaue Auswertung könnte hier genauer Aufschluss geben. Diese wurde mit dem Datensatz 2025 durchgeführt (s. Folgekapitel).

Der Vergleich der BLM-Ergebnisse des Kalibrationsdatensatzes 2017 mit den von Kelly et al (2022, 2024) und insbesondere von Phillips et al. (2024b) für europäische "broad types" (Gruppenbildung von Seen mit ähnlicher Referenztrophy) abgeleitete Orientierungswerte zeigt die Tabelle 6.

Tabelle 6: Vergleich der deutschen "Orientierungsübergangsbereiche", die BLM-Grenzen im Kalibrationsdatensatz 2017 ("Kal 2017") mit den für europäische Seen abgeleiteten gut-mäßig-Grenzen (Phillips et al. 2024b), welche von Phillips in "broad types" einsortiert wurden.

Vergleich mit broad-type Ergebnissen (Phillips et al. 2024) (gm-Grenze)					
broad type	Beschreibung (Phillips Datensätze)	PP-Seetyp (DE)	BLM-Ergebnisse (Phillips) [µg/L]	BLM-Ergebnisse (Kal 2017) [µg/L]	Orientierungswerte (OGewV 2016, Riedmüller et al. 2022a) ("vereinigte" Bereiche) [µg/L]
LW-03	geschichtete karbonatische alpine Seen auf mittlerer Höhe (IC-A)	2, 3 (4)	12	18, 24 (13)	16-28
LW-03	geschichtete, karbonatische Seen im Tiefland Zentraleuropas (IC-C)	10, 13	31	24-38	25-45
LW-04	karbonatische Flachseen im Tiefland in Zentraleuropa (IC, IC-C)	11.2 (12)	65	44 (76)	35-55 (60-90)
LW-07	silikatische Seen auf mittlerer Höhe (IC)	8, 9	14	16, 23	14-25
LW-08	karbonatische Seen auf mittlerer Höhe (IC)	5, 7	23	16, 23	14-25

Die von Phillips et al. abgeleiteten Grenzen liegen in der Regel innerhalb der für die "broad types" vereinigten Bereiche für die Orientierungswerte aus der OGewV (2016).

Sowohl der "broad type"-Ansatz als auch die Auswahl der explizit in die Gruppen aufgenommenen europäischen Seen bergen eine gewisse Unschärfe mit den deutschen Seetypen-Datensätzen, weshalb ein passgenauer Abgleich nicht möglich ist.

4.4 Ermittlung der Phosphorgrenzen je Seetyp im Datensatz 2025

Für die Darstellung der Seetyp-genauen Auswertung (Datensatz 2025 s. Tabelle 4) wurden aus der Shiny-Anwendung die Methoden Regression und BLM ausgewählt. Für die lineare Regression wurden die Datensätze hinsichtlich GesP-Konzentrationen teils eingeschränkt. Hierzu bietet das Tool eine Prüfungsroutine auf Linearität der Daten an, anhand derer ein geeigneter GesP-Wertebereich ausgewählt werden kann. In den polymiktischen Seetypen und im Seetyp 13 wurden die Datensätze oft auf GesP-Werte bis 200 µg/L (Saisonmittel) beschränkt.

Des Weiteren wurden im Shiny-Tool mit einem Verschieben der eqr-Zielwerte auch die hg-Grenzen ermittelt, deren Abgleich mit den bisherigen Grenzbereichen dann ebenfalls möglich war (s. Kap. 4.4.4).

4.4.1 Regression - Abbildungen und Kennwerte

Seetyp	EQR (PhytoSee) und Stressor Gesamtphosphor - Regression	
PP 1	Stressor ($\mu\text{g L}^{-1}$)	$R^2 = 0,68$ $N = 25$ GM-Grenze: 55 $\mu\text{g/L}$ GML: 44 $\mu\text{g/L}$ GMU: 66 $\mu\text{g/L}$
PP 2	Stressor ($\mu\text{g L}^{-1}$)	$R^2 = 0,76$ $N = 98$ GM-Grenze: 25 $\mu\text{g/L}$ GML: 21 $\mu\text{g/L}$ GMU: 31 $\mu\text{g/L}$
PP 3	Stressor ($\mu\text{g L}^{-1}$)	$R^2 = 0,47$ $N = 47$ GM-Grenze: 20 $\mu\text{g/L}$ GML: 16 $\mu\text{g/L}$ GMU: 25 $\mu\text{g/L}$

ÜBERPRÜFUNG DER GESAMTPHOSPHOR-HINTERGRUND- UND ORIENTIERUNGSWERTE

Seetyp	EQR (PhytoSee) und Stressor Gesamtphosphor - Regression	
PP 4		$R^2 = 0,52$ $N = 98$ GM-Grenze: 13 $\mu\text{g/L}$ GML: 10 $\mu\text{g/L}$ GMU: 18 $\mu\text{g/L}$
PP 5		$R^2 = 0,74$ $N = 132$ GM-Grenze: 17 $\mu\text{g/L}$ GML: 13 $\mu\text{g/L}$ GMU: 20 $\mu\text{g/L}$
PP 6.1		$R^2 = 0,60$ $N = 45$ GM-Grenze: 31 $\mu\text{g/L}$ GML: 21 $\mu\text{g/L}$ GMU: 45 $\mu\text{g/L}$

ÜBERPRÜFUNG DER GESAMTPHOSPHOR-HINTERGRUND- UND ORIENTIERUNGSWERTE

Seotyp	EQR (PhytoSee) und Stressor Gesamtphosphor - Regression	
PP 6.2	$R^2 = 0,77$ $N = 26$ GM-Grenze: 43 $\mu\text{g/L}$ GML: 32 $\mu\text{g/L}$ GMU: 59 $\mu\text{g/L}$	
PP 6.3	$R^2 = 0,57$ $N = 66$ GM-Grenze: 54 $\mu\text{g/L}$ GML: 37 $\mu\text{g/L}$ GMU: 72 $\mu\text{g/L}$	
PP 7	$R^2 = 0,64$ $N = 37$ GM-Grenze: 13 $\mu\text{g/L}$ GML: 9 $\mu\text{g/L}$ GMU: 17 $\mu\text{g/L}$	

ÜBERPRÜFUNG DER GESAMTPHOSPHOR-HINTERGRUND- UND ORIENTIERUNGSWERTE

Seetyp	EQR (PhytoSee) und Stressor Gesamtphosphor - Regression	
PP 8		$R^2 = 0,71$ $N = 87$ GM-Grenze: 16 µg/L GML: 13 µg/L GMU: 21 µg/L
PP 9		$R^2 = 0,28$ $N = 119$ GM-Grenze: 19 µg/L GML: 13 µg/L GMU: 27 µg/L
PP 10.1		$R^2 = 0,47$ $N = 512$ GM-Grenze: 36 µg/L GML: 28 µg/L GMU: 44 µg/L

ÜBERPRÜFUNG DER GESAMTPHOSPHOR-HINTERGRUND- UND ORIENTIERUNGSWERTE

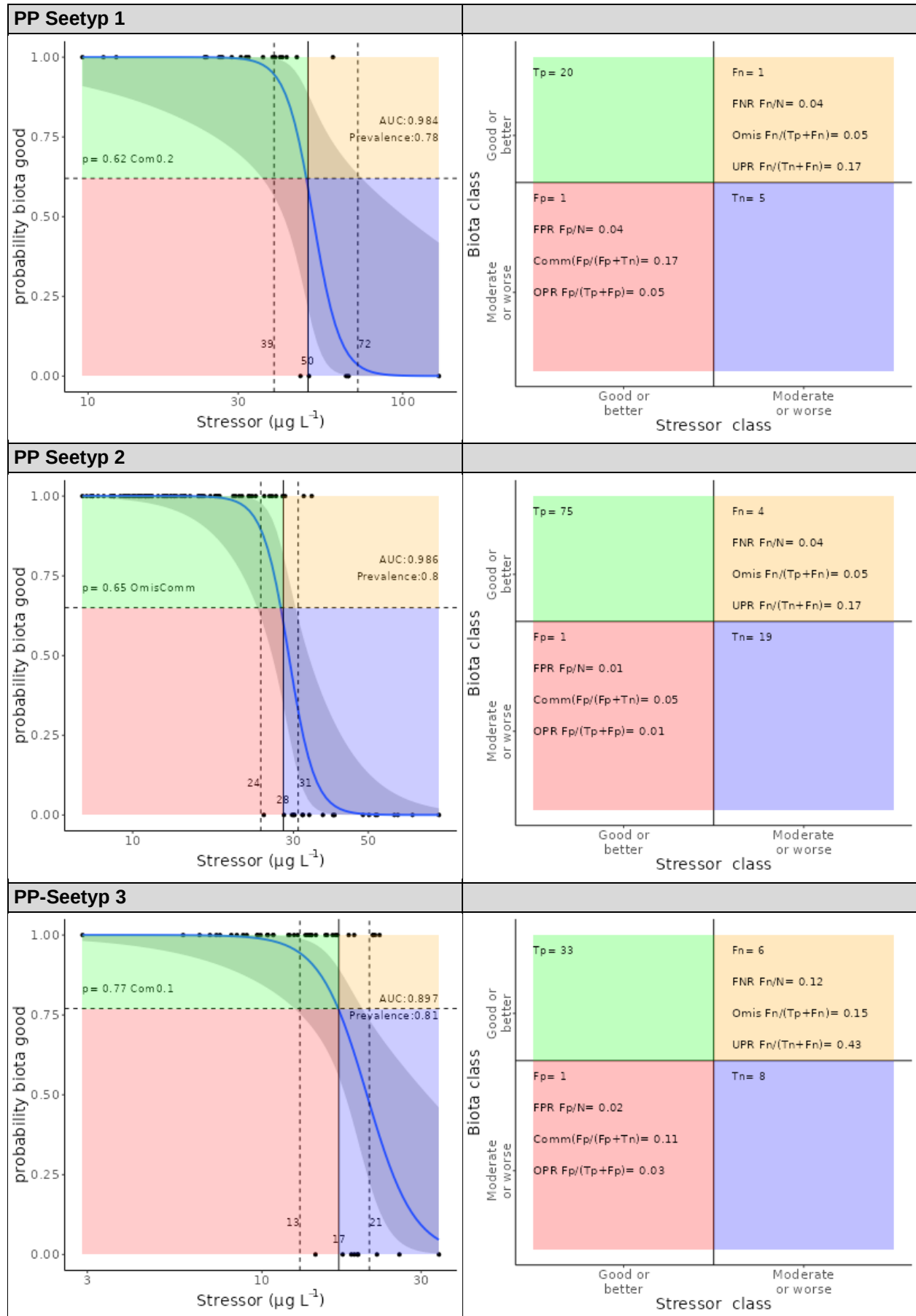
Seetyp	EQR (PhytoSee) und Stressor Gesamtphosphor - Regression	
PP 10.2		$R^2 = 0,44$ $N = 174$ GM-Grenze: 41 $\mu\text{g/L}$ GML: 30 $\mu\text{g/L}$ GMU: 53 $\mu\text{g/L}$
PP 11.1		$R^2 = 0,26$ $N = 310$ GM-Grenze: 49 $\mu\text{g/L}$ GML: 32 $\mu\text{g/L}$ GMU: 49 $\mu\text{g/L}$
PP 11.2		$R^2 = 0,48$ $N = 474$ GM-Grenze: 50 $\mu\text{g/L}$ GML: 37 $\mu\text{g/L}$ GMU: 66 $\mu\text{g/L}$

ÜBERPRÜFUNG DER GESAMTPHOSPHOR-HINTERGRUND- UND ORIENTIERUNGSWERTE

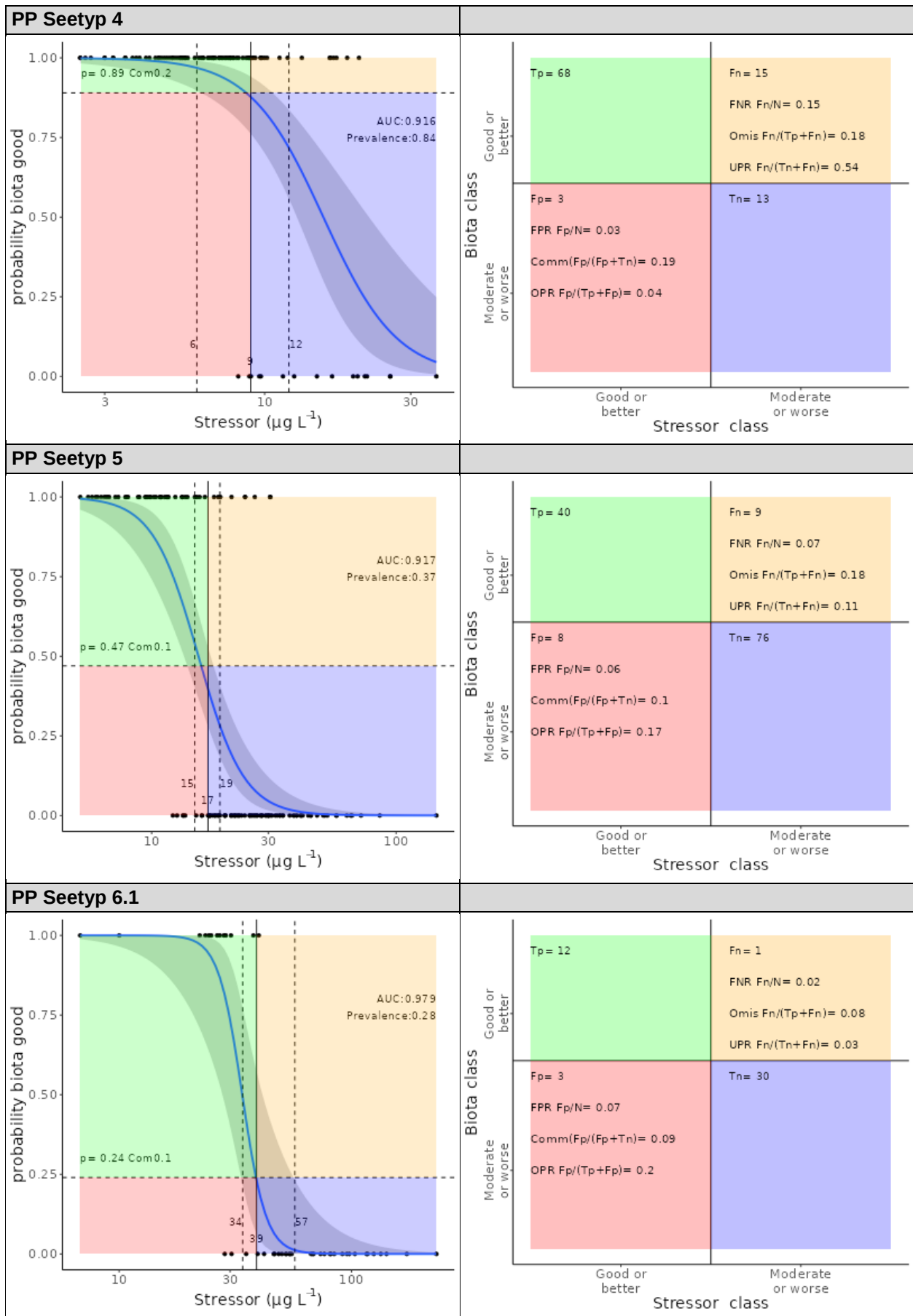
Seetyp	EQR (PhytoSee) und Stressor Gesamtphosphor - Regression	
PP 12		$R^2 = 0,04$ $N = 221$ GM-Gr.: 106 µg/L GML: 56 µg/L GMU: 188 µg/L
PP 13		$R^2 = 0,58$ $N = 620$ GM-Grenze: 30 µg/L GML: 20 µg/L GMU: 42 µg/L
PP 14		$R^2 = 0,38$ $N = 120$ GM-Grenze: 41 µg/L GML: 29 µg/L GMU: 51 µg/L

Abkürzungen: GML = lower confidence level/unterer Vertrauensbereich, GMU = upper confidence level/oberer Vertrauensbereich.

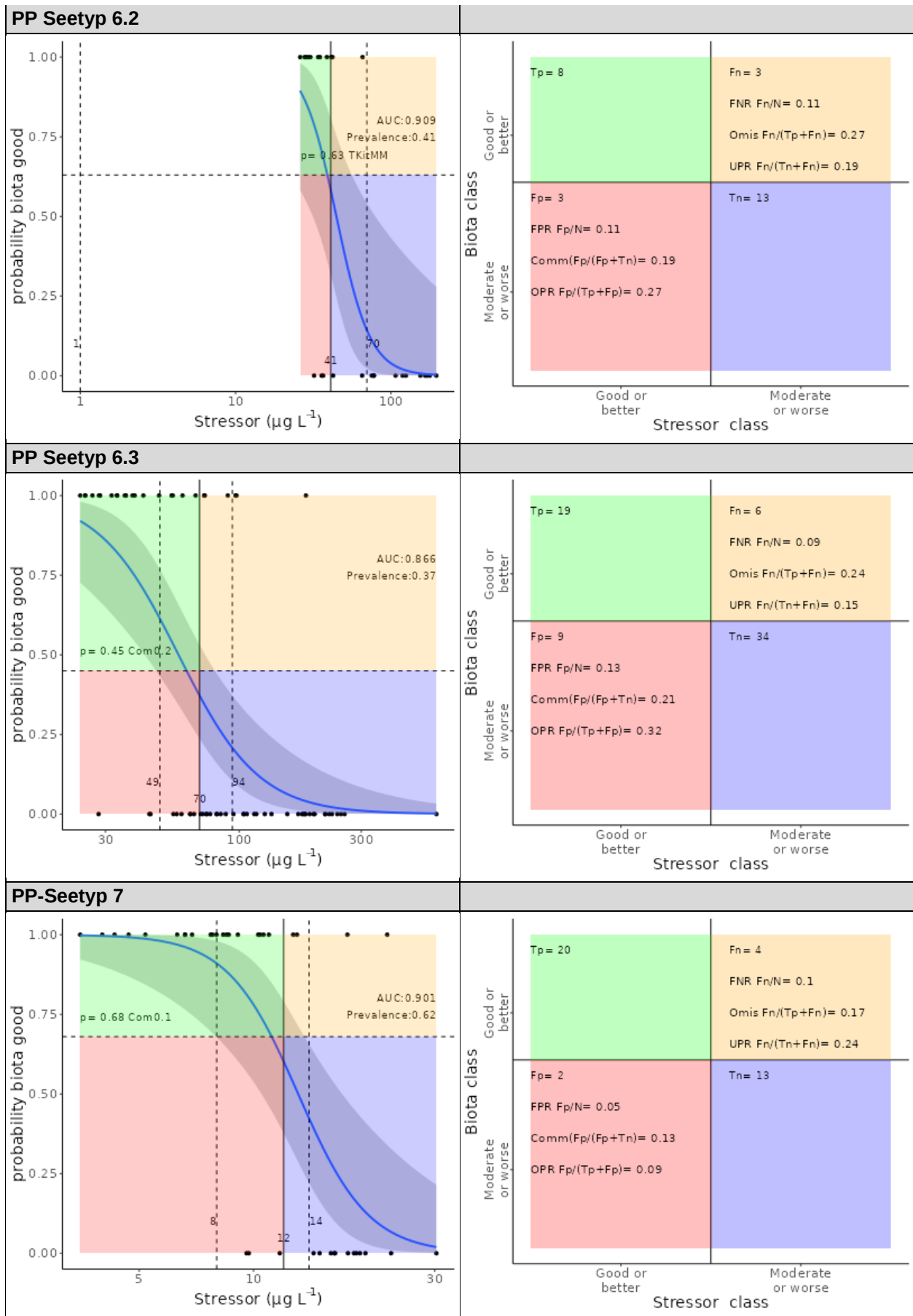
4.4.2 Binary logistic Model (BLM) – Abbildungen und Kennwerte

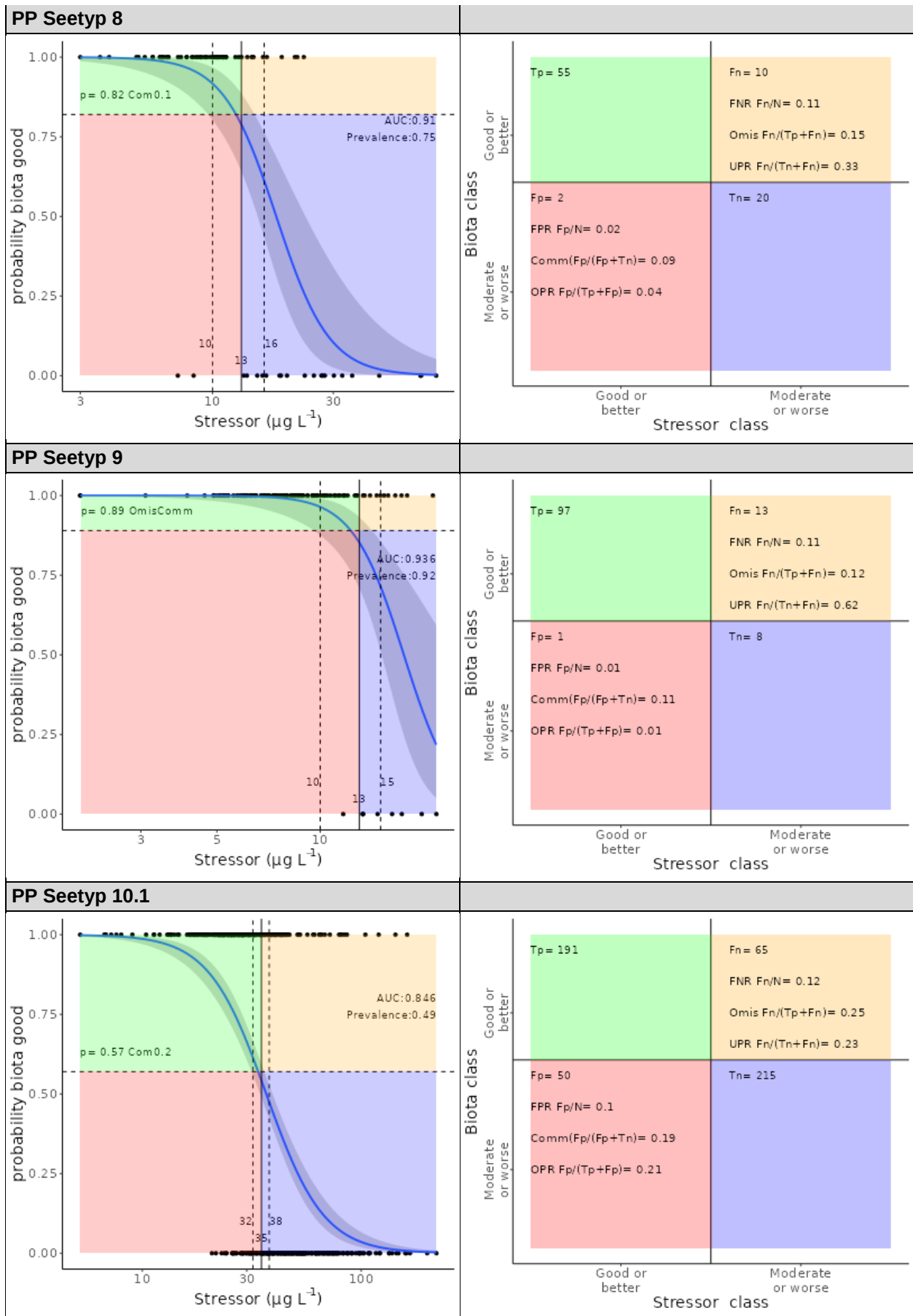


ÜBERPRÜFUNG DER GESAMTPHOSPHOR-HINTERGRUND- UND ORIENTIERUNGSWERTE

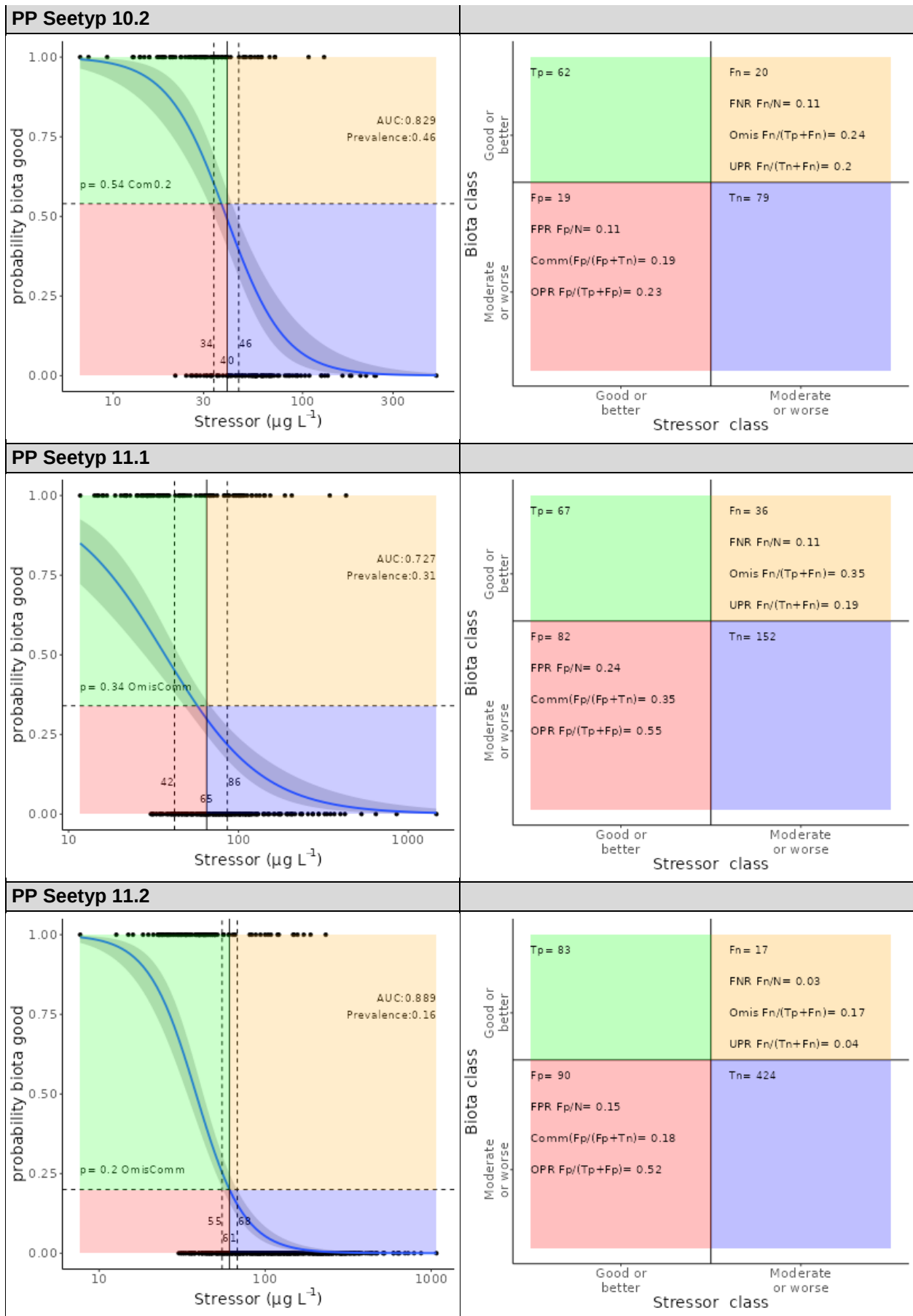


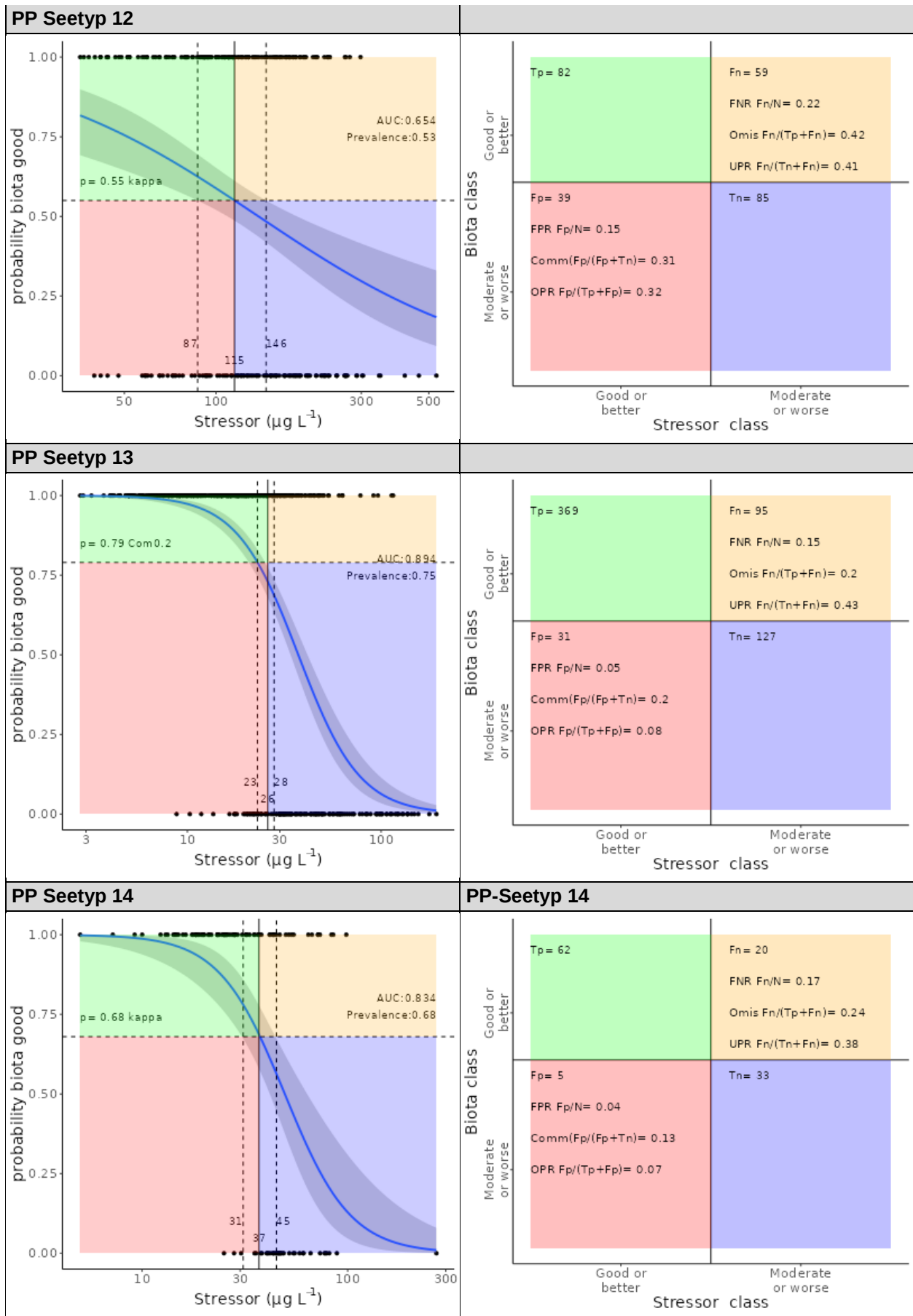
ÜBERPRÜFUNG DER GESAMTPHOSPHOR-HINTERGRUND- UND ORIENTIERUNGSWERTE





ÜBERPRÜFUNG DER GESAMTPHOSPHOR-HINTERGRUND- UND ORIENTIERUNGSWERTE





4.4.3 Zusammenschau der gm-Grenzen im Datensatz 2025

Die in Tabelle 4 aufgeführten Kalibrationsdatensätze je PP-Seetyp wurden im Shiny-Tool hinsichtlich gm-Grenze ausgewertet. In der Tabelle 7 sind die Ergebnisse aus der Regressions- und BLM-Anpassung, die *Mismatch*-Ergebnisse und die bisherigen gm-Übergangsbereiche aufgeführt. Die Abbildung 8 zeigt die im Tool ermittelten Grenzwerte aus Regression und BLM-Modul sowie die gm-Übergangsbereiche.

Tabelle 7: Ergebnisse für Gesamtphosphor [µg/L] aus der Shiny-Toolkit-Anwendung 2025 (Regression, Mismatch, BLM) sowie gm-Grenzbereiche aus (2016) bzw. Riedmüller et al. (2022a) und Fazit. Threshold probability = Wahrscheinlichkeit für "gut und besser". LCL/UCL = Lower/Upper Confidence Level = Lower/Upper Confidence Level = unterer/oberer Vertrauensbereich.

PP-Seetyp	Stichprobe N	Regression (LCL-UCL)	R ²	Mismatch	BLM	LCL	UCL	threshold probability	gm-Übergangsbereich Seetyp	Fazit zur Lage der gm-Übergangsbereiche
1	25	55 (44-66)	0,68	50	50	39	72	0,62	35-50	strenger
2	98	25 (21-31)	0,76	30	28	24	31	0,65	20-28	etwas strenger
3	47	20 (16-25)	0,47	19	17	13	21	0,77	16-22	ähnlich
4	98	13 (10-18)	0,52	13	9	6	12	0,89	9-12	etwas strenger
5	132	17 (13-20)	0,74	17	17	15	19	0,47	18-25	milder
6.1	45	31 (21-45)	0,60	35	39	34	57	0,24	30-45	ähnlich
6.2	26	43 (32-59)	0,77	41	42	5	73	0,63	35-50	ähnlich
6.3	66	54 (37-72)	0,57	64	70	49	94	0,45	45-70	etwas strenger
7	37	13 (9-17)	0,64	13	12	8	14	0,68	14-20	milder
8	87	16 (13-21)	0,71	16	13	10	16	0,82	18-25	milder
9	119	19 (13-27)	0,28	16	13	10	15	0,89	14-20	etwas milder
10.1	512	36 (28-44)	0,47	37	35	32	38	0,57	25-40	ähnlich
10.2	174	41 (30-53)	0,44	40	40	34	46	0,54	30-45	ähnlich
11.1	310	49 (32-69)	0,26	51	65	42	86	0,34	35-45	strenger
11.2	471	50 (37-66)	0,48	45	61	55	68	0,20	35-55	etwas strenger
12	221	106 (56-188)	0,04	128	115	87	146	0,55	60-90	strenger
13	620	30 (20-42)	0,58	31	26	23	28	0,79	25-35	etwas milder
14	120	41 (29-51)	0,38	45	37	31	45	0,68	30-45	ähnlich

Fazit zur Vorsorglichkeit der bisherigen gm-Übergangsbereiche (Tabelle 7, Abbildung 8):

Der Werte- und Bereichsvergleich für die 18 Phytoplankton-Seetypen ergibt drei mildere und drei strengere Bereiche, wobei die Abweichungen nicht bedeutend sind. Bei den zu milden Grenzbereichen besteht eine geringere Vorsorglichkeit und es bleibt wie auch bei den strengen zu überlegen, die gm-Übergangsbereiche etwas anzupassen.

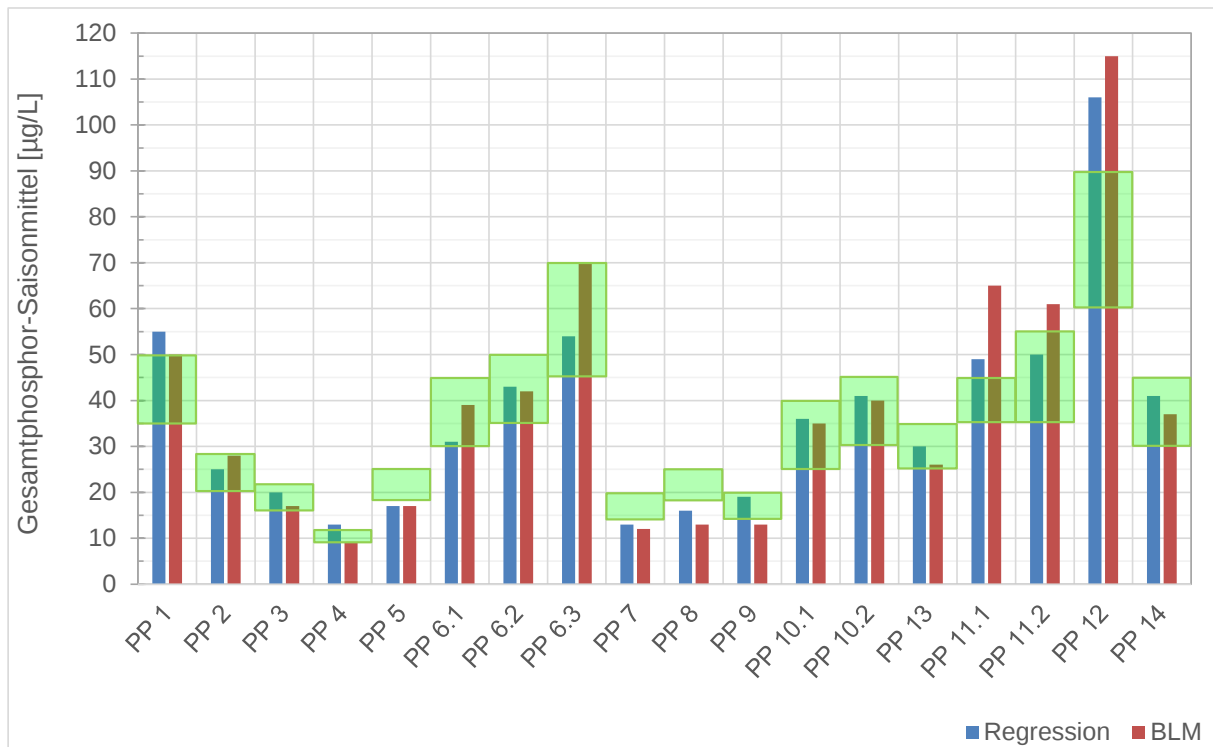


Abbildung 8: gm-Grenzen für Gesamtposphor (GesP) mit den Toolkit-Methoden Regression und BLM je Seetyp sowie gm-Übergangsbereiche nach OGewV (2016) bzw. Riedmüller et al. (2022a) in den grünen Kästen. Sortierung im Tiefland zusätzlich nach Schichtungstyp.

4.4.4 Zusammenschau der hg-Grenzen im Datensatz 2025

Im Shiny-Toolkit werden in der Regressionsanalyse die hg-Grenzwerte (high-good) mit den Vertrauensintervallen mitausgegeben (s. Tabelle 8), im BLM-Modul dagegen nur die gm-Grenzen. Mit einem Verschieben der gm-Grenze im frei wählbaren EQR-Wert von 0,6 auf 0,8, welcher in den Datensätzen der hg-Grenze entspricht ($\rightarrow$ *normalisierter* EQR), können dennoch hg-Werte ermittelt werden. Alle Ergebnisse sind inkl. Mismatch ("TkitMM") in der Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Ergebnisse für die hg-Grenzen und Vertrauensbereiche für Gesamtposphor [$\mu\text{g/L}$] aus der Shiny-Toolkit-Anwendung 2025 (Regression, BLM) sowie hg-Grenzbereiche aus der OGewV (2016) bzw. Riedmüller et al. (2022a) und Fazit. Threshold probability = Wahrscheinlichkeit für "gut und besser". LCL/UCL = Lower/Upper Confidence Level = unterer/oberer Vertrauensbereich.

PP-Seotyp	Stichprobe N	R ²	Regression (LCL-UCL)	Mismatch	BLM	LCL	UCL	Threshold probability	hg-Übergangsbereich	Fazit zur Lage der hg-Übergangsbereiche
1	25	0,68	30 (24-36)	27	29	6	38	0,36	24-30	etwas strenger
2	98	0,76	13 (11-16)	13	13	11	15	0,60	10-15	ähnlich
3	47	0,47	10 (8-12)	10	11	9	13	0,34	8-12	ähnlich
4	98	0,52	6 (5-8)	6	6	6	7	0,49	6-8	ähnlich
5	132	0,74	9 (7-11)	10	10	9	11	0,45	9-14	etwas milder
6.1	45	0,60	16 (10-23)	kein Ergebnis im BLM-Modul*					18-25	etwas milder
6.2	26	0,77	22 (17-30)	28	36	28	36	0,10	25-35	ähnlich
6.3	66	0,57	22 (15-29)	27	29	22	33	0,22	30-40	milder
7	37	0,64	7 (5-9)	8	9	7	11	0,37	8-12	ähnlich
8	87	0,71	10 (8-12)	10	10	9	12	0,47	9-14	ähnlich
9	119	0,28	7 (5-10)	8	8	7	10	0,51	8-12	etwas milder
10.1	512	0,47	23 (19-29)	24	28	27	31	0,20	17-25	etwas strenger
10.2	174	0,44	25 (19-33)	28	31	27	36	0,27	20-30	etwas strenger
11.1	310	0,26	29 (20-42)	31	37	33	42	0,19	25-35	etwas strenger
11.2	471	0,48	32 (24-42)	36	45	41	50	0,16	28-35	strenger
12	221	0,04	46 (25-82)	71	113	41	464	0,17	40-50	strenger
13	620	0,58	14 (10-20)	16	16	15	18	0,44	15-22	etwas milder
14	120	0,38	27 (20-34)	30	29	24	33	0,53	20-30	ähnlich

* im BLM-Modul (hier auch Mismatch enthalten) wurden keine Ergebnisse ausgegeben, da im Datensatz keine als "sehr gut" (EQR > 0,80) bewerteten Datensätze enthalten waren.

Fazit zur Vorsorglichkeit der bisherigen hg-Übergangsbereiche (Tabelle 8, Abbildung 9):

Der Werte- und Bereichsvergleich für die 18 Phytoplankton-Seotypen ergibt eine mildere und zwei strengere Bereiche, wobei die Abweichungen nicht bedeutend sind. Bei dem zu milden Grenzbereich im Seotyp 6.3 besteht eine geringere Vorsorglichkeit und es bleibt wie auch bei den strengeren zu überlegen, die hg-Übergangsbereiche etwas anzupassen.

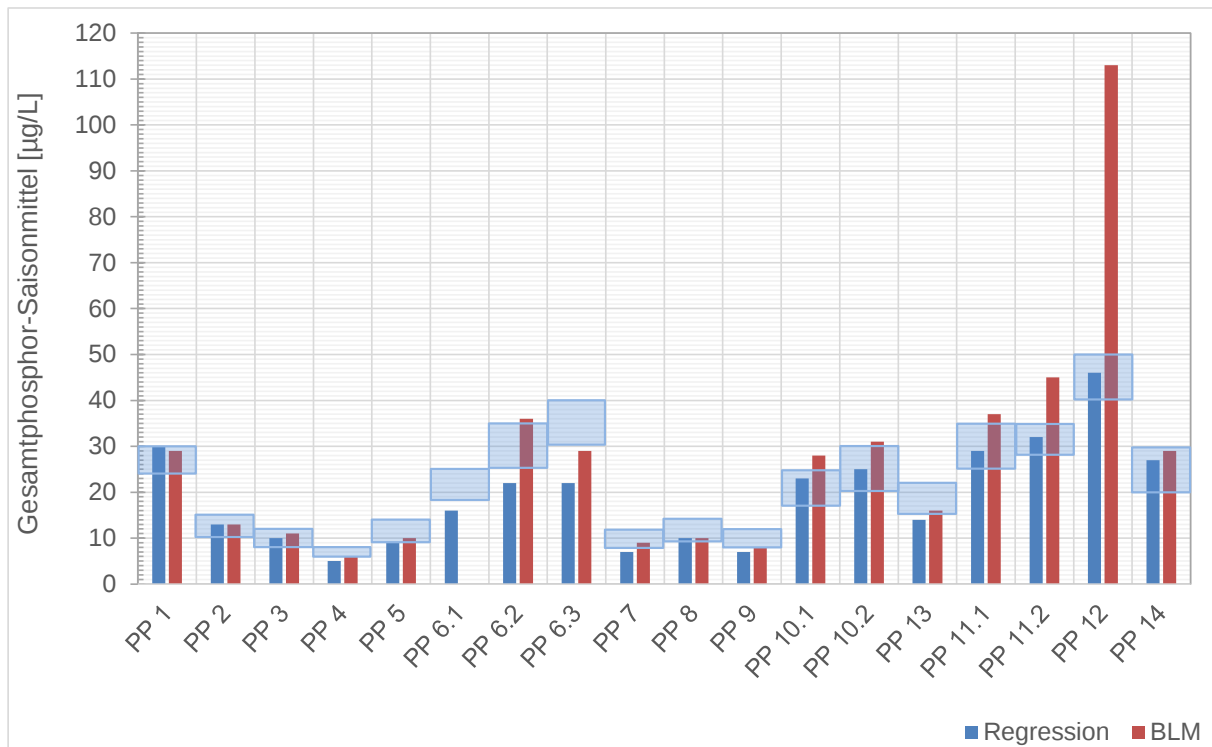


Abbildung 9: hg-Grenzen für Gesamtphosphor (GesP) mit den Toolkit-Methoden Regression und BLM je Seetyp sowie gm-Übergangsbereiche (OGewV 2016) bzw. Riedmüller et al. (2022a) in den grünen Kästen. Sortierung im Tiefland zusätzlich nach Schichtungstyp.

4.5 Entscheidung des LAWA-Expertenkreises Seen zum Überarbeitungsbedarf der H&O-Werte

Die Ergebnisse aus den Anwendungen des Shiny-Tools (Várbíró et al. 2018) wurden am 26. März 2025 dem LAWA-Expertenkreises Biologische Bewertung von Seen und Interkalibration in der 101. Sitzung in Stuttgart vorgestellt.

Nach der Diskussion wurde entschieden, dass die Ergebnisse keinen Anlass für eine Überarbeitung der bisherigen Hintergrund- und Orientierungswerte geben.

5 Überprüfung des Algenklassen-Metrics im PhytoSee-Verfahren

5.1 Einführung und Problemstellung

In einer Voranalyse, welche eine Teilaufgabe im LAWA-Projekt O3.21 darstellte (s. Riedmüller et al. 2022d), konnte ermittelt werden, dass sich in den jüngeren Jahren in den meisten Seetypen der **Ökoregion Norddeutsches Tiefland** die Blaualgen-Dominanzen in einem Ausmaß erhöhen können, dass es zu unplausiblen Bewertungsergebnissen kommt. Als Ursache werden klimabedingt günstigere Entwicklungsbedingungen für diese Algengruppe angenommen. Die Folge sind im Kontext zu gut eingestufte Teilergebnisse im Algenklassenmetric (AK), welche sich je nach Ausmaß im Gesamtindex PhytoSee (PSI) bedeutend niederschlagen können.

Im vorliegend berichteten Projekt soll einerseits eine vertiefte Analyse zu den unplausiblen AK-Metric-Bewertungen stattfinden sowie andererseits Lösungen erarbeitet werden, welche nach Dafürhalten der LAWA-Bundeslandvertreter und Seenexperten im Verfahren dann gleich umgesetzt werden.

Der Teilmetric AK hat seinerseits drei oder vier Submetrics (s. Tabelle 9). Im Fall von Cyanobakterien-Massenentwicklungen bleiben die Biomassen der übrigen Algenklassen oft derart klein, dass deren Bewertungswerte sehr geringe oder negative Werte annehmen (s. Riedmüller et al. 2022a). Im Mittelwert ergeben sich dann viel zu günstige Bewertungszahlen für den "gesamten" AK-Metric.

Tabelle 9: Algenklassen-Submetrics in den Seegruppen im Norddeutschen Tiefland sowie verwendete Kenngrößen. BV = Algenklassen-Biovolumen, % = BV-Dominanz in der Artengemeinschaft, **gelb unterlegt** = Submetrics mit Cyanobakterien-Beteiligung. Stand Riedmüller et al. (2022a).

Algenklasse oder Algenklassen-Kombination	Ökoregion Norddeutsches Tiefland	
	Phytoplankton-Seetypen TLgesch	Phytoplankton-Seetypen TLpoly
	10.1, 10.2, 13	11.1, 11.2, 14
Bacillario- & Chlorophyceae	Saisonmittel BV	
Chlorophyceae		Saisonmittel BV
Bacillario- & Cryptophyceae		Saisonmittel BV
Cryptophyceae	Saisonmittel BV	
Cryptophyceae & Cyanobacteria		Saisonmittel BV
Dinophyceae & Cyanobacteria	Mittelwert Juli-Okt BV	
Chrysophyceae	Saisonmittel % (Dominanz > 0,4%)*	
Anzahl Submetrics	4	3

*Bedingung für den Einsatz des Submetrics.

Da in den beiden Seetyp-Datensätzen der Ökoregion Tiefland (s. Tabelle 9) immer nur ein Teil der Jahrgänge vom geschilderten Problem betroffen sind, sollten sich die avisierten Änderungen auch nur auf diese Jahrgänge auswirken. Ein Effekt auf alle Jahrgänge der beiden Gruppen der geschichteten und polymiktischen Tieflandseen ist zu vermeiden, da sich die bis dahin im Gesamten guten "Pressure-Korrelationen" deutlich verschlechtern können. Demnach sind neben geeigneten Maßnahmen auch spezielle Auswahlbedingungen zu finden, mit denen die problematischen Jahrgänge passgenau gefiltert werden.

Als Kenngröße für die Auswahl betroffener Jahrgänge wurde nach Versuchen diverser Varianten die Differenz aus AK-Metric und dem Mittelwert der beiden übrigen Metrics Biomasse und PTSI (MW BM_PTSI) verwendet. Die drei Teilmetrics werden im PhytoSee-Index (PSI) mittels gewichteter Mittelwertbildung eingerechnet. Für den AK-Metric kann näherungsweise

eine Gewichtung von einem Drittel angenommen werden. Eine Differenz (BM_PTSI - AK) von +0,75 Indexeinheiten bedeutet demnach, dass der PSI durch den AK um eine Viertel-Zustandsklasse verbessert wird. Eine Differenz von 1,5 bedeutet entsprechend eine Verbesserung des PSI um eine halbe Zustandsklasse.

Im aktuellen Datensatz (Datenbank-Stand Februar 2025) der polymiktischen Seengruppe ($\rightarrow$ TLpoly) weisen rund 24% von 1.759 Jahrgängen eine Differenz von mindestens 0,75 Indexeinheiten auf (s. Tabelle 10). Bei den geschichteten Tieflandseen ($\rightarrow$ TLgesch) sind es ebenfalls 24% von 1.664 Jahrgängen. Demnach treten in rund einem Viertel der Tiefland-Seejahrgänge deutlich günstiger bewertende AK-Metrics auf, wobei die Ursachen jedoch unterschiedlich sein können und nicht immer auf erhöhte Blaualgenvorkommen zurückgehen. Die Ursachen werden in den Folgekapiteln genauer beleuchtet.

Tabelle 10: Verbreitung der auffälligen Jahrgangsbewertungen in den beiden Datensätzen der polymiktischen (TLpoly) und geschichteten (TLgesch) Tieflandseen. BM_PTSI-AK = Differenz aus dem Mittelwert aus Biomasse- und PTSI-Metric und dem Algenklassen-Metrics (AK).

Mixistyp Tieflandseen	Jahrgänge gesamt	Anzahl Jahrgänge	
		BM_PTSI-AK $\geq$ 0,75	BM_PTSI-AK $\geq$ 1,5
TLpoly	1.759	425 (24%)	97 (5,5%)
TLgesch	1.664	391 (24%)	70 (4,2%)

5.2 Jahrgänge mit besonders hohen Abweichungen sowie Ursachen

Für die tiefergehende Ursachensuche wurden Jahrgänge selektiert, in denen der AK-Metric im Vergleich zum Mittelwert aus BM-Metric und PTSI-Metric besonders klein war und die Abweichung größer oder gleich 1,5 Indexeinheiten betrug. Die PSI-Gesamtbewertung fällt in diesen Jahrgängen um mindestens 0,5 Indexeinheiten günstiger aus.

Es ergaben sich folgende Besonderheiten:

- Sowohl bei den polymiktischen als auch bei den geschichteten Seen wiesen rund 2/3 der Jahrgänge Cyanobakterien-Dominanz an einzelnen Terminen im Jahresgang oder sogar über das ganze Jahr hinweg auf. Bei den geschichteten Seen waren die Fälle der höheren Abweichungen nicht ganz so häufig wie bei den polymiktischen (s. Tabelle 10). In diesen Fällen gingen aufgrund der starken Konkurrenzkraft der Blaualgen die zwei oder drei übrigen AK-Submetrics mit derart geringen Biovolumina in die Bewertung ein, dass der Mittelwert für den AK viel zu günstig ausfiel. Dies war insbesondere in leicht bis mittel erhöhten Eutrophierungsgraden der Fall. In stark eutrophierten Seen besitzen oft alle Algengruppen hohe Biomassen und werden "unbefriedigend" oder "schlecht" bewertet und auch die Abweichung des AK fällt dort nicht auffällig hoch aus.
- In den schnell durchflossenen polymiktischen Seen (oft der Flusseeotypus 12) bleiben die Biovolumina und in Folge der BM-Metric oft im Verhältnis niedrig. Der PTSI zeigt dann meist stimmigere Werte zu erhöhten Nährstoffbelastungen an und die verwendete Differenz fällt aufgrund des höheren PTSI ebenfalls höher aus. Da in den AK-Submetrics in der Regel ebenfalls Biovolumina eingehen und die AK-Submetrics oft noch empfindlicher auf BV-Veränderungen reagieren, erscheinen diese Jahrgänge dann auch in der ausgewählten Gruppe (BM_PTSI-AK $\geq$ 1,5). Ursache für derartige Verhältnisse sind geringe Verweilzeiten und generell die Verwendung der Biovolumina in den AK-Submetrics.
- Zahlreiche Jahrgänge von nährstoffärmeren u.a. pH-neutralen Tagebauseen werden im PTSI deutlich schlechter bewertet. Die Ursache ist unklar und kann im vorliegenden Projekt-rahmen nicht vertieft geklärt werden. Jedenfalls fällt auch dort die Differenz zum AK-Metric

größer aus. Möglicherweise sollten auch die PTSI-Indikatorlisten, welche in den Tieflandseen noch von 2007 bis 2011 stammen, mit neueren Datenständen aktualisiert werden.

In den Auswertungen traten Verbesserungsmöglichkeiten oder denkbare Maßnahmen hervor:

1. Veränderungen, welche die Gesamtbewertung im AK-Metric verändern so z.B. eine Veränderung der Gesamtkalibration der Submetrics oder das "Schneiden" der Negativ-Bewertungen in den Submetrics auf -1 oder 0,1 (derzeit können Submetric-Ergebnisse bis -3 auftreten)
2. Veränderung, welche sich auf ausgewählte Jahrgänge auswirken. Mögliche Auswahlkriterien wären die Cyanobakterien-Dominanz oder die Überschreitung einer kritischen Abweichung des AK-Metrics z.B. 1,5 oder 0,75 Zustandsklasseneinheiten
3. Eine veränderte Mittelwertbildung innerhalb des AK-Metrics z.B. Streichen des Minimumteilergebnisses im Submetricset, das bei den polymiktischen Tieflandseen aus 3 und bei den geschichteten Tieflandseen aus 3 oder 4 Einzelergebnissen besteht. Nach Streichung würden dann nur noch 2 bzw. 2 oder 3 AK-Submetrics zum AK-Gesamtergebnis führen.
4. Herabsetzen der Gewichtung des AK-Metrics im PhytoSee-Index
5. Kombination aus mehreren Kriterien und Maßnahmen

Bei den Maßnahmen mit Wirkung auf den gesamten AK-Metric ergibt sich das Problem, dass viele korrekt bewertete Seen z.B. des im Datensatz sehr häufigen Seetyps 11.2, welcher im Mittel kaum Änderungsbedarf aufweist, betroffen sind. Darüber hinaus würden sich ggf. grundlegende Veränderungen ergeben, mit denen der Bedarf der Interkalibration ausgelöst würde.

5.3 Tests von Verbesserungsmaßnahmen und Fazit

Im vorliegenden Kapitel werden die erfolgten Test zu Verbesserungsmaßnahmen und deren Ergebnis kurz beschrieben.

Test zum Einfluss von negativen Submetricergebnissen

Einleitung: In einer ersten Analyse wurde in der Teilgruppe der polymiktischen Tieflandseen (TLpoly) geprüft, ob eine "Abschaffung" oder Einschränkung von negativen Submetricergebnissen eine Verbesserung erbringen könnte. Negative Bewertungsergebnisse entstehen im Verfahren, wenn die Algenklassenbiovolumina sehr klein bleiben und die im Prozedere zuerst erfolgende *Trophieklassifikation* bereits sehr geringe Ergebnisse liefert (s. Verfahrensanleitung Riedmüller et al.2022a). Wenn diese dann mit der Formel

Bewertung Submetric = (*Trophieklassifikation* Submetric - trophischer Referenzwert) * 2 +0,5
in Bewertungszahlen umgerechnet werden, können negative Werte entstehen.

Der Schritt über die *Trophieklassifikation* als ersten Schritt erfolgt aufgrund der jeweils für die geschichteten und polymiktischen Seetypen gemeinsam abgeleiteten AK-Submetrics. Da die einzelnen Seetypen jedoch unterschiedliche "Referenztrophen" besitzen, muss diese für die *Bewertung* wie beschrieben eingerechnet werden. Einzelheiten zu diesem Vorgehen sind der Verfahrensanleitung Riedmüller et al. (2022a) oder dem Projektbericht Riedmüller et al. (2013) zu entnehmen.

Des Weiteren wurde getestet, ob die zusätzliche Begrenzung von sehr hohen Submetricergebnissen, welche im Datensatz Werte bis 7,5 annehmen können, eine Verbesserung der gesamten Plausibilität erbringen können.

Datensatz: TLpoly

Prüfung und Varianten:

1. alle Submetric-Bewertungsergebnisse < -1 werden auf -1 gesetzt
2. alle Submetric- Bewertungsergebnisse $< 0,1$ werden auf $0,1$ gesetzt
3. alle Submetric- Bewertungsergebnisse $< 0,1$ werden auf $0,1$ gesetzt **und** alle Submetric- Bewertungsergebnisse $> 6,5$ werden auf $6,5$ gesetzt

Fazit: Auswirkung auf den gesamten AK-Metric ist zu hoch und viele Jahrgänge wurden unplausibel streng bewertet. Gegenmaßnahmen mit Schneiden der hohen Werte auf $6,5$ brachte keine ausreichende Verbesserung für die unplausibler bewerteten Jahrgänge.

Tests zum generellen Weglassen des jeweils minimalen Submetric-Ergebnisses

Einleitung: In den drei Submetrics bei den TLpoly und den 3-4 Submetrics könnte jeweils der kleinste Werte aus der Mittelung ausgeschlossen werden. Diese Maßnahme wurde für die gesamte AK-Bewertung getestet.

Datensatz: TLpoly

Prüfung und Varianten:

1. Weglassen des jeweils minimalen Submetricergebnisses im AK-Mittelwert
2. alle Submetric- Bewertungsergebnisse $< 0,1$ werden auf $0,1$ gesetzt **und** alle Submetric- Bewertungsergebnisse $> 6,5$ werden auf $6,5$ gesetzt **und** Weglassen des jeweils minimalen Submetricergebnisses im AK-Mittelwert

Fazit: Auswirkung auf den gesamten AK-Metric ist zu hoch und viele Jahrgänge wurden unplausibel strenger bewertet. Die Maßnahme des Streichens des minimalen Submetrics in bestimmten Fällen wurde jedoch als aussichtsreich erachtet.

Tests zum Weglassen des minimalen Submetric-Ergebnisses unter bestimmten Bedingungen

Einleitung: In den drei Submetrics bei den TLpoly und den 3-4 Submetrics soll jeweils der kleinste Werte aus der Mittelung ausgeschlossen werden, wenn die Differenz aus BM_PTSI und AK-Metric in den Jahrgängen bestimmte Werte überschreitet und/oder wenn die Dominanz der Cyanobakterien im Saisonmittel bestimmte Werte übersteigt.

Datensatz: TLpoly und TLgesch

Prüfung und Varianten:

1. Weglassen des jeweils minimalen Submetricergebnisses im AK-Mittelwert **wenn** die Differenz aus BM_PTSI und AK-Metric $0,60, 0,75, 1,0$ oder $1,5$ überschreitet.
2. Weglassen des jeweils minimalen Submetricergebnisses im AK-Mittelwert **wenn** die Differenz aus BM_PTSI und AK-Metric $\geq 0,75$ beträgt **und wenn** die Dominanz der Cyanobakterien im Saisonmittel $50\%, 30\%$ oder 20% übersteigt.

Fazit: Die beste Grenze für die Abweichung BM_PTSI-AK war $0,75$ und als Abgrenzung hinsichtlich Cyanobakterien-Dominanz stellte sich der Wert 20% heraus. Bei der in der Regel praktizierten Untersuchungshäufigkeit von 6 Terminen pro Jahr sind dann mindestens ein oder zwei Termine mit einer hohen Cyanobakterien-Beteiligung vorhanden.

Tests zum Weglassen des Chrysophyceen-Submetrics (TLgesch)

Einleitung: Für die Seentypgruppe TLgesch kommen 4 Submetrics zur Anwendung, wobei der Chrysophyceenmetric bereits aufgrund einer Untergrenze der Anwendung ($\leq 0,4\%$ Dominanz) in rund 15% der See-Jahrgänge ausgeschlossen wird. In den vertieften Analysen fiel das häufig deutliche Abweichen in der Gruppe der gemäß Fragestellung betroffenen Jahrgänge auf. Der Chryso-Metric ist entgegen der meisten übrigen Metrics umgekehrt kalibriert, d.h. je höher die Dominanz der Chrysophyceen desto besser fällt die Bewertung aus. Entsprechend werden bei sehr hohen Dominanzen sehr gute bis negative Bewertungszahlen ermittelt, welche den AK-Metric im oft unerwünschten Sinn beeinflussen. Da viele Chrysophyceen mixotroph sind, treten sie mit hoher Konkurrenzskraft in nährstoff-begrenzten Seen oder Phasen auf. Gerade in mesotrophen Seen können sie den AK-Gesamtmetric unplausibel stark nach unten ziehen.

Datensatz: TLgesch

Prüfung und Varianten:

- Eingrenzen der Bewertung im Chryso-Metric auf Dominanzen $< 22\%$, 20% , 30% , 40% , 50%

Fazit: Die Eingrenzung des Chryso-Metrics auf den Dominanzbereich von $< 22\%$ bringt eine gute Plausibilität und erfasst insgesamt 111 Jahrgänge (7%) im TLgesch-Datensatz, wovon 38 zu den „auffälligen“ Jahrgängen gehören ($BM_PTSI-AK \geq 0,75$), deren Cyano-Dominanz jedoch **nicht** über 20% liegt. Die veränderte Bewertung der rund 70 übrigen Jahrgänge erleiden dadurch keinen bedeutsamen Nachteil, da diese größtenteils auch ohne den Chryso-Metric im AK-Gesamtmetric als "sehr gut" bewertet sind.

5.4 Ergebnis der "Maßnahmensuche" für eine stimmigere Algenklassen-Bewertung

In beiden Seentypgruppen TLpoly und TLgesch wurden demnach zwei Grenzkriterien für ein Einschreiten herausgearbeitet:

Wenn

1. Differenz aus BM_PTSI und AK-Metric $\geq 0,75$ **und**
2. Dominanz der Cyanobakterien im Saisonmittel $\geq 20\%$

dann **Streichung des minimalen Submetric-Ergebnisses.**

Bei den geschichteten Tieflandseen wird im Chrysophyceen-Metric generell zusätzlich zu der Untergrenze von $0,4\%$ eine Obergrenze der Bewertung von 22% eingeführt.

Tabelle 11: Anzahl der Jahrgänge in den beiden Datensätzen der polymiktischen (TLpoly) und geschichteten (TLgesch) Tieflandseen, in den sich durch die Bewertungsanpassungen Änderungen ergeben. BM_PTSI = Mittelwert aus Biomasse- und PTSI-Metric. AK = Algenklassen-Metric. Cyano-Dominanz = Cyanobakterien-Dominanz im Saisonmittel.

Mixistyp Tieflandseen	Jahrgänge gesamt	Anzahl Jahrgänge (Prozent im Datensatz)				
		$BM_PTSI-AK \geq 0,75$	Cyano-Dominanz $\geq 20\%$	$BM_PTSI-AK \geq 0,75$ und Cyano-Dominanz $\geq 20\%$	Chryso-Dominanz $> 22\%^*$	insgesamt korrigierte Jahrgänge
polymiktisch (TLpoly)	1.759	425 (24%)	954 (54%)	241 (14%)		241 (14%)
geschichtet (TLgesch)	1.664	391 (24%)	474 (28%)	159 (10%)	111 (7%) davon 38 mit $BM_PTSI-AK \geq 0,75$	197 (12%)

In den beiden Datensätzen von Tieflandseen sind rund ein Viertel der Jahrgänge von stärkeren Abweichungen des AK-Metrics betroffen (s. Tabelle 11) (Ursachen s. Kap. 5.2). Die Cyanobakterien-Dominanz überschreitet 20% im Saisonmittel in rund der Hälfte der polymiktischen Seejahrgänge, während sie in den geschichteten Seen nur rund halb so häufig auftritt. Mit den beschriebenen Anpassungen können 14% bzw. 12% aller Jahrgänge erreicht werden, wobei bei den geschichteten Seen die zusätzliche Begrenzung des Chryso-Metrics mit beiträgt.

Die AK-Anpassungen sowie Einzelschritte darin können mit Vorher-Nachher-Abbildungen dokumentiert werden. Als Kalibrations- oder **Stressorkenngröße** zur Ermittlung der Bewertungsqualität wird die **ÖQ BM-GesP** verwendet, in der die "Ökologische Qualität" aus Biomasse und Gesamtposphor seetypspezifisch errechnet wird und in der Einheit der Bewertungsmetrics angegeben ist.

Die Abbildung 10 zeigt die Veränderungen in den 241 Jahrgängen, in denen sich der AK-Metric im Mittel um 0,7 Indexeinheiten "verschlechtert" und somit die Plausibilität erhöht. Zudem wird die Streuung des Metrics nochmals deutlich verringert.

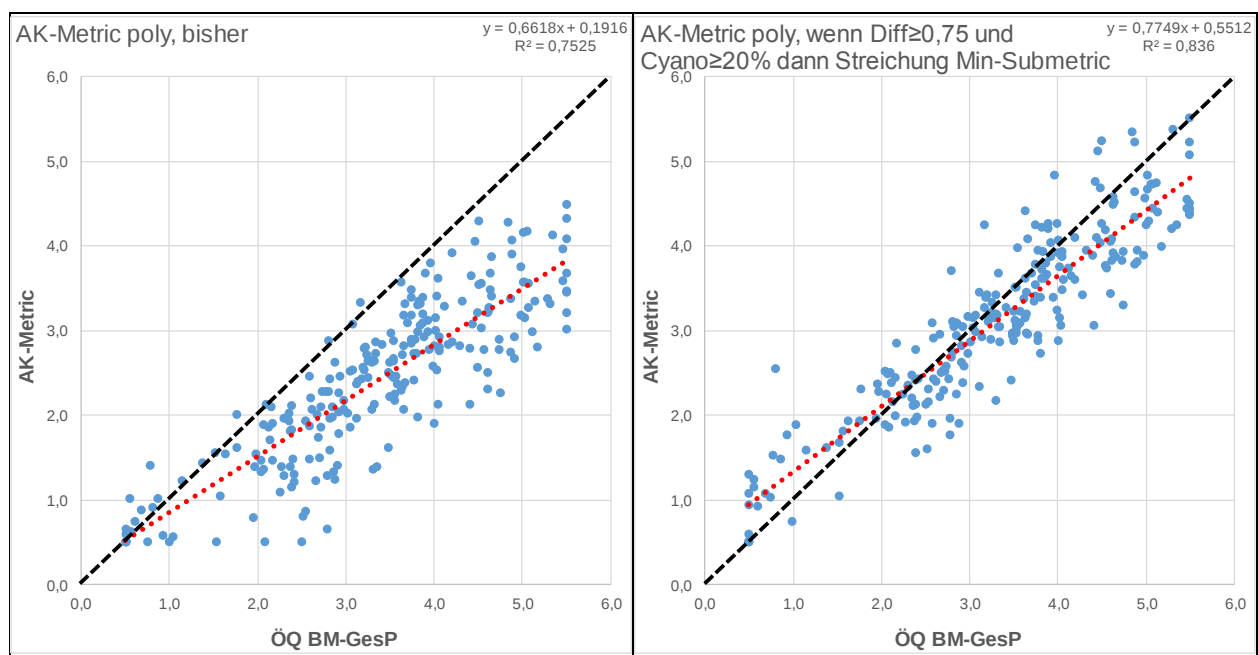


Abbildung 10: Veränderung im AK-Metric der **polymiktischen Tieflandseen** mit Streichung des minimalen Submetrics (3 → 2 Submetrics) in den Jahrgängen mit Differenz PTSI_{BM-AK} ≥ 0,75 Indexeinheiten und Cyano-Dominanz-Saisonmittel ≥ 20%. ÖQ BM-GesP = Stressorkenngröße "Ökologische Qualität" aus Biomasse- und Gesamtposphor. N=241.

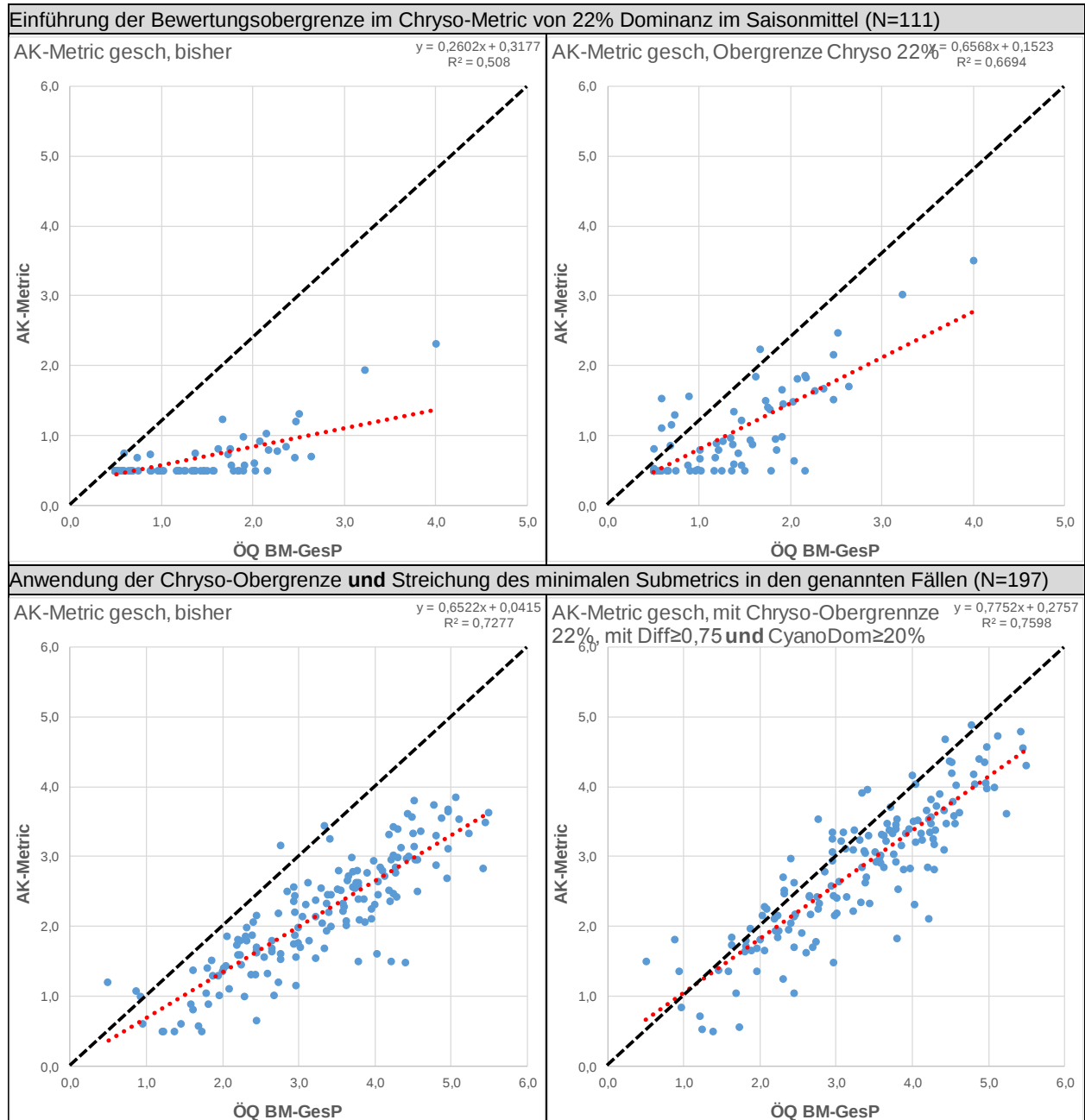


Abbildung 11: Veränderung im AK-Metric der **geschichteten Tieflandseen** mit Einführung der Obergrenze im Chryso-Metric (oben, nur betroffene Jahrgänge) sowie zusätzlich der Streichung des minimalen Submetrics (3/4 → 2/3 Submetrics) in den Jahrgängen mit Differenz PTSI_BM-AK $\geq 0,75$ Indexeinheiten und Cyano-Dominanz-Saisonmittel $\geq 20\%$. ÖQ BM-GesP = Stressorkenngroße "Ökologische Qualität" aus Biomasse- und Gesamtphosphor. N=197.

Die Abbildung 11 zeigt die Veränderungen im AK-Metric bei den geschichteten Seen durch die Verbesserung im Chryso-Metric und zuzüglich der weiteren Anpassungen in den insgesamt 197 Jahrgängen in denen sich der AK-Metric im Mittel um rund 0,6 Indexeinheiten "verschlechtert" und somit die Plausibilität erhöht. Neben der Verbesserung in der Steigung der linearen Anpassungsgeraden in Bezug zur Ausgleichsgeraden konnte auch die Streuung des AK-Metrics verringert werden.

Die Auswirkungen auf die Gesamtkalibrationen in den Seetypgruppen zeigen die unten folgenden Abbildungen. In beiden Gruppen konnten sowohl die Steigung der linearen Anpassung in Hinsicht auf die Ausgleichsgerade als auch die Streuung verbessert werden.

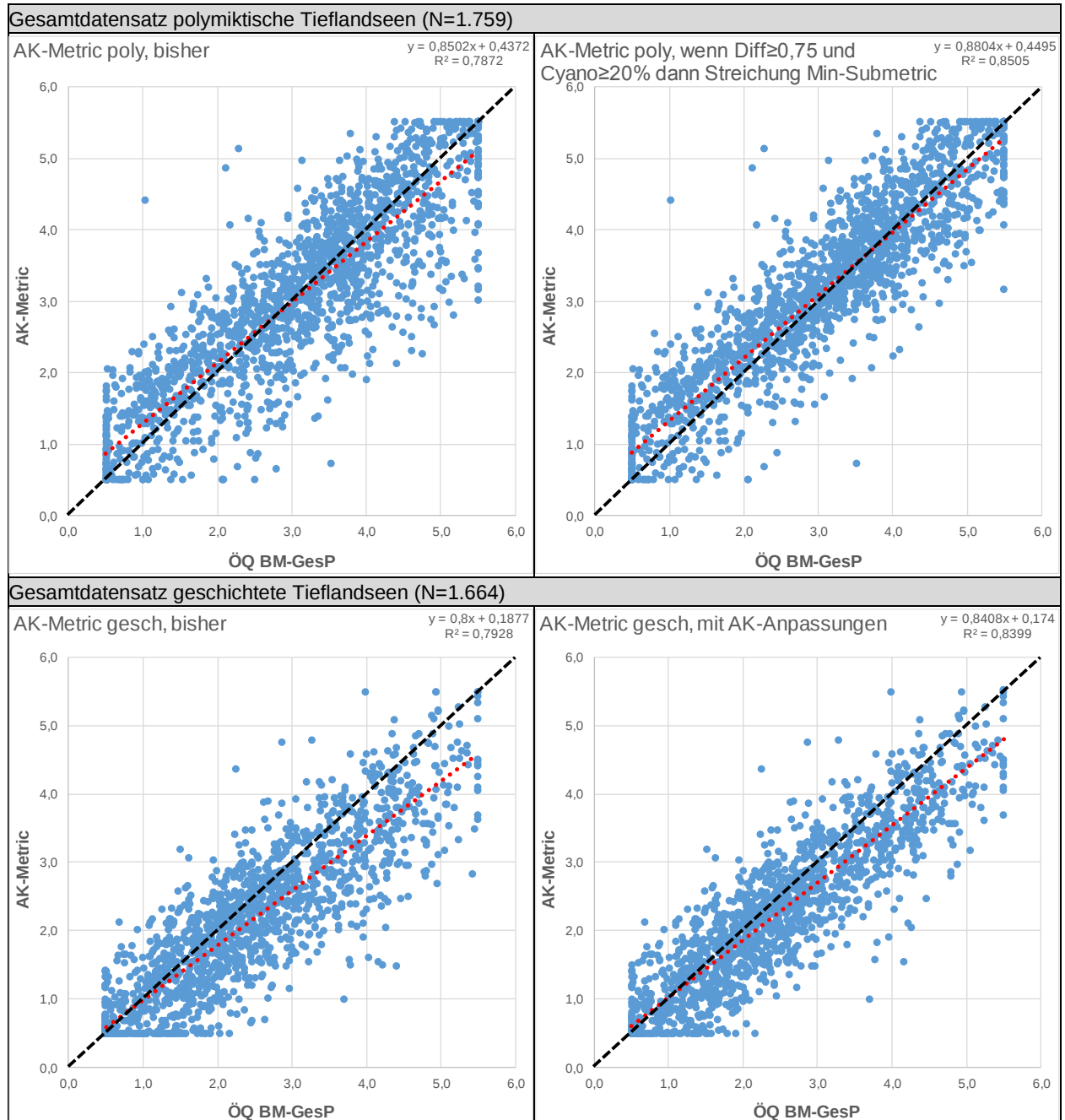


Abbildung 12: Auswirkung der Anpassungen im AK-Metric in den aktuellen Gesamtdatensätzen der polymiktischen und geschichteten Tieflandseen. ÖQ BM-GesP = Stressorengröße "Ökologische Qualität" aus Biomasse- und Gesamtposphor.

6 Zusammenfassung

Das PhytoSee-Verfahren - das WRRL-Bewertungsverfahren für Seen mit der biologischen Qualitätskomponente Phytoplankton - welches in seiner ersten Testversion im Jahr 2006 von Nixdorf et al. (2006) veröffentlicht worden war, wurde seither in verschiedenen LAWA-Projekten an eine sich sukzessive vergrößernde und verbessernde Datengrundlage, an erweiterte nationale (z.B. Bewertung von künstlichen und erheblich veränderten Seen) und internationale Anforderungen (Interkalibration mit Verfahren von Mitgliedsstaaten) angepasst und erweitert. Teil der unterstützenden ökologischen WRRL-Seebewertung sind seit etwa 2010 und vertieft seit 2013 die Hintergrund- und Orientierungswerte der physikalisch-chemischen Parameter Gesamtposphor und Secchi-Sichttiefe erarbeitet worden.

In der Anwendung des PhytoSee-Verfahrens wurde insbesondere in den jüngeren Untersuchungsjahren eine zunehmende **Unplausibilität im Teilmetric Algenklassen** (AK-Metric) in den meisten Seetypen der Ökoregion Norddeutsches Tiefland festgestellt. Insbesondere bei hohen Blaualgen-Dominanzen, deren Zunahme als Folge des Klimawandels angenommen wird, kommt es vermehrt zu unplausibel "günstigen" Bewertungsergebnissen, welche in einigen Fällen im Endergebnis eine Verbesserung der Zustandsklasse bewirken.

Der AK-Metric ist einer von vier Teilmetrics im PhytoSee-Index und besitzt im Tiefland eine Gewichtung von rund 30%. Er wird wiederum aus 2-4 Submetrics gemittelt. Die "Fehlbewertung" entsteht nicht durch eine unplausible Bewertung des Cyanobakterien-Submetrics selbst. Dieser fällt bei hoher Dominanz hinreichend schlecht aus, sondern durch die oft stark unterrepräsentiert vorkommenden anderen Algenklassen, deren Submetrics dann viel zu günstige Teilbewertungen erhalten und den Mittelwert absenken. Die beiden Seetypgruppen "polymiktische" und "geschichtete" Tieflandseen besitzen ein jeweils unterschiedliches Submetricset.

Da von dem geschilderten Problem die Mehrzahl der Seen oder Jahrgänge nicht betroffen ist, sollten sich Verfahrensänderungen nur explizit auf die entsprechende Teilgruppe beschränken. Im Projekt wurden diverse "Maßnahmen" getestet, welche für die beiden o.g. Seetypgruppen zudem unterschiedlich beschaffen sein könnten. Die versuchten Varianten und die Verbesserung der Metric-Kalibration sind im Bericht dargestellt. Letztlich fiel die Entscheidung auf eine Kombination von **zwei Grenzkriterien**, welche sowohl für die polymiktischen als auch für die geschichteten Tieflandseetypen als stimmig erachtet werden:

- Abweichung des AK-Metric vom Mittelwert aus Artenindex PTSI und dem Biomassemetric um 0,75 Indexeinheiten und mehr ($MW_{BM_PTSI-AK} \geq 0,75$) und
- Cyanobakteriendominanz im Saisonmittel $\geq 20\%$

→ dann: Streichung des minimalen Submetric-Ergebnisses im Submetricset.

Des Weiteren wird bei den geschichteten Tieflandseen im **Chrysophyceen-Submetric** generell zusätzlich zu der Untergrenze von 0,4% eine Obergrenze der Bewertung von 22% eingeführt. Die Obergrenze führt zu einer Reduktion von "sehr guten" Teilergebnissen. Der "Verlust" ist in der großen Mehrzahl der See-Jahrgänge gut verzichtbar, erhöht aber für eine Teilgruppe von Jahrgängen die Plausibilität bedeutend.

Die fallweise Bewertungserweiterung wurde im Access-Referenztool nun in der Version 8.1 (Stand September 2025) eingearbeitet. Hr. Vogl von IRV-Software (Wien) aktualisierte das Online-Tool (Vogl 2025) (www.gewaesserbewertung-berechnung.de). Des Weiteren wurden die Begleitdokumente PhytoSee-Historie, die Verfahrensanleitung sowie die Internetseite www.gewaesserbewertung.de angepasst.

Eine weitere Projektaufgabe war die **Überprüfung der Hintergrund- und Orientierungswerte** für Gesamtposphor in Seen, welche größtenteils in der Oberflächengewässerverordnung seit der Fassung von 2016 zur Unterstützung der ökologischen WRRL-Bewertung bereits enthalten sind. Anlass war die Veröffentlichung eines Onlinetools (Shiny-Web-Anwendung des Open Source-Programms R) zur Ableitung von Nährstoff-Grenzwerten für den "guten" Zustand, welches eine bisher nicht angewandte weitere Methode - das "binary logistic model" (BLM) - enthält. Der Ansatz geht in höherem Maße auf divergierende Bewertungen zwischen physikalisch-chemischen Parametern und biologischen Komponenten und deren Minimierung ein. Die mit dem BLM ermittelten seetypspezifischen Grenzwerte für den "sehr guten" und "guten" Zustand liegen in der Regel innerhalb oder nahe der bislang ermittelten "Grenzbereiche". Der LAWA-Expertenkreis "Biologische Bewertung von Seen und Interkalibration" entschied nach Vorstellung der Ergebnisse in der 101. Sitzung in Stuttgart am 26. März 2025, dass **kein Bedarf für eine Überarbeitung** der bisherigen Werte entsteht.

7 Literatur

- Kelly, M., Phillips, G., Teixeira, H., Salas Herrero, F., Várбірó, G., Kolada A., Lyche Solheim, A., Poikane, S. (2022): Physico-chemical supporting elements in inland waters under the Water Framework Directive: a review of national standards to support good ecological status. EUR 31040 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022. ISBN 978-92-76-51133-5, doi:10.2760/470539, JRC127875.
- Kelly, M.G., Teixeira, H., Lyche Solheim, A., Free, G., Philips, G., Salas Herrero, M.F., Kolada, A., Várбірó, G. & Poikane, S. (2024): Physico-chemical criteria to support Good Ecological Status in Europe. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2024, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/355815>, JRC136407.
- LAWA (2014): Trophieklassifikation von Seen. Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen. Empfehlungen Oberirdische Gewässer. Hrsg. LAWA – Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser. 34 S. zzgl. Access-Auswertetool. (Autoren: Riedmüller, U., Hoehn, E., Mischke, U.). Update des Auswertetools unter: <http://www.gewaesserfragen.de>
- Nixdorf, B., Mischke, U., Hoehn, E. & Riedmüller, U. (2006): Überarbeiteter Endbericht: Leitbild-orientierte Bewertung von Seen anhand der Teilkomponente Phytoplankton im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. LAWA-Projekt-Nr. O 5.09 190 S. https://www-docs.b-tu.de/fg-gewaesser-schutz/public/projekte/meckpom/bericht_bewertung_seen_2006.pdf
- OGewV (Oberflächengewässerverordnung) (2016): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer. Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373).
- Phillips, G., Birk, S., Böhmer, J., Kelly, M., Willby, N. (2016): The use of pressure response relationships between nutrients and biological quality elements as a method for establishing nutrient supporting element boundary values for the Water Framework Directive. Report to ECOSTAT. Stand April 2016. 154 pp.
- Phillips, G., Kelly, M., Teixeira, H., Salas, F., Free, G., Leujak, W., Solheim, A.L., Várбірó, G. (2017): Best Practice Guide on establishing nutrient concentrations to support good ecological status. Final draft, December 2017. 133 p.
- Phillips, G., Kelly, M., Teixeira, H., Salas, F., Free, G., Várбірó, G., Varkitzi, J., Kolada, A., Lyche Solheim, A., Poikane, S. (2024a): Best practice for establishing nutrient concentrations to support good ecological status. 2nd edition. August 2024. 103 S.
- Phillips, G., Pitt, J.-A. (2015): A Comparison European freshwater nutrient boundaries: A report to ECOSTAT. Updated 25.11.2015
- Phillips, G., Teixeira, H., Kelly, M., Lyche Solheim, A., Free, G., Salas Herrero, M.F., Kolada, A., Várбірó, G. and Poikane, S. (2024b): Establishing supporting element standards. A revised approach and applications. Publications Office of the European Union, Luxembourg, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/55461>, JRC137201.
- Riedmüller, U., Mischke, U., Hoehn, E., Deneke, R. (2013): Ökologische Bewertung von natürlichen, künstlichen und erheblich veränderten Seen mit der Biokomponente Phytoplankton nach den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Abschlussbericht für das LAWA-Projekt-Nr. O 4.10. Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall" 2010. 155 S.
- Riedmüller, U., Mischke, U., Hoehn, E. (2013): Bewertung von Seen mit Hilfe allgemeiner physikalisch-chemischer Parameter. Seetypspezifische Hintergrund- und Orientierungswerte für die Parameter Gesamtposphor und Sichttiefe. Im Auftrag und unter fachlicher Begleitung der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser – Expertenkreis Seen. Stand 6. März 2013. 10 S.
- Riedmüller, U., Hoehn, E., Deneke, R., Mischke, U. (2018): Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens mit Phytoplankton gemäß EG-WRRL. Abschlussbericht für das LAWA-Projekt-Nr. O 7.16. Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall" 2016. 81 S. Arbeitsschwerpunkte: Überarbeitung des Bewertungsmoduls für Alpen- und Alpenvorlandseen inkl. Hintergrund- und Orientierungswerte, Stickstoff- und Gesamtposphorlimitation in Seen. www.gewaesser-bewertung.de

- Riedmüller, U., Mischke, U., Hoehn, E. (2022a): Verfahrensanleitung PhytoSee Online – Bewertung von Seen mit Phytoplankton – ab Version 8.0.x. Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall" 2021. LAWA-Projekt Nr. O 3.21. Stand 31. März 2022. 57 S.
- Riedmüller, U., Mischke, U., Hoehn, E. (2022b): Versionsdokumentation PhytoSee - Historie des Bewertungsverfahrens mit Phytoplankton für Seen. Im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall" 2021. LAWA-Projekt Nr. O 3.21. Stand März 2022. 18 S.
- Riedmüller, U., Mischke, U., Pottgiesser, T., Böhmer, J., Deneke, R., Ritterbusch, D., Stelzer, D. & Hoehn, E. (2022c): Steckbriefe der deutschen Seetypen. Begleittext und Steckbriefe.
- Riedmüller, U., Vogl, R., Tworeck, A., Hoehn, E. (2022d): Web-basierte Neuprogrammierung des biologischen Bewertungsverfahrens PhytoSee sowie Prüfung von Bewertungsmetrics und Indikatortaxa. LAWA-Projekte-Nr. O 9.20 und O 3.21. Abschlussbericht im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall" 2020 und 2021. 35 S.
- Várbíró, G., Teixeira, H., Kelly, M., Phillips, G. (2018): A Shiny application of a statistical toolkit to assist with the development of nutrient concentrations that would support good ecological status for the Water Framework Directive. https://shiny.freshwater-ecology.com/Tkit_NEW/
- Vogl, R. (2025): Gewässerbewertung Online – PhytoSee. Online Version 8.1.x. <https://gewaesser-bewertung-berechnung.de/index.php/phytosee-online.html>