

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3716 24 209 0

## **Online-Version der Systeme zur biologischen Fließgewässerbewertung**

von

Peter Rolauffs, Jörg Strackbein, Daniel Hering  
Universität Duisburg-Essen, Essen

Ilka Schönfelder  
Büro für Diatomeenanalyse, Neuenhagen

Antje Gutowski  
AlgaLab, Bremen

Andreas Müller  
chromgruen, Velbert

Robert Vogl  
IRV-Software, Wien

Ute Mischke  
Bayerisches Landesamt für Umwelt, Wielenbach

Ursula Riedmüller  
Limnologiebüro Hoehn, Freiburg

Klaus van de Weyer  
lanaplan GbR, Nettetal

Universität Duisburg-Essen, Abteilung Aquatische Ökologie, 45117 Essen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Abschlussdatum Juni 2021

## Kurzbeschreibung

Für die Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie wurden Verfahren entwickelt, um Gewässer anhand biologischer Qualitätskomponenten ökologisch zu bewerten. Mittels verschiedener Software-Produkte wurden die Verfahren operationalisiert und einem breiten Anwenderkreis zugänglich gemacht. Die ersten Versionen dieser Programme sind teilweise fünfzehn Jahren alt. Anpassungen beschränkten sich weitgehend auf inhaltlich-fachliche Aspekte sowie die Bedienbarkeit. Die grundsätzlichen Architekturen wurden jedoch nicht angetastet und entsprechen daher nicht mehr dem heutigen Stand der Technik.

Um die Anwendungen zukunftssicher zu machen, wurden vier der gängigsten Verfahren zur ökologischen Bewertung von Fließgewässern als Online-Version programmiert: PhytoFluss (für die Biokomponente Phytoplankton), PHYLIB (aquatische Flora), PERLODES (Makrozoobenthos) und fiBS (Fischfauna). Die genannten Verfahren wurden zusammen mit einer Vielzahl begleitender Informationen in eine Plattform eingebettet und sind nun online verfügbar.

## Abstract

For the realization of the EU Water Framework Directive, methods were developed to assess water bodies by biological quality elements. The methods were operationalized using various software products to make them available to a wide range of users. Some of the first versions of these programs are already fifteen years old. Adjustments were mostly limited to content-related aspects and usability. However, the basic architectures were not touched. So nowadays they no longer correspond to the state of the art.

In order to make the applications future-proof, four of the most common methods for the ecological assessment of rivers were programmed as online versions: PhytoFluss (for the biocomponent phytoplankton), PHYLIB (aquatic flora), PERLODES (macroinvertebrates) and fiBS (fish-fauna). The new tools were embedded in a platform together with a large amount of accompanying information and are now available online.

## Inhaltsverzeichnis

Kurzbeschreibung .....	4
Abstract .....	4
Abbildungsverzeichnis .....	8
Tabellenverzeichnis .....	12
Abkürzungsverzeichnis .....	16
Zusammenfassung.....	17
Summary.....	22
1 Projektübersicht .....	25
2 Online-Plattform .....	26
2.1 Überblick.....	26
2.2 Aufbau.....	26
2.3 Inhalte .....	27
2.3.1 Menü ‚Information‘ .....	27
2.3.2 Menü ‚Berechnung‘ .....	28
3 Überarbeitung der Diatomeen-Bewertung .....	29
3.1 Anlass und Zielstellung .....	29
3.2 Material und Methoden .....	30
3.2.1 Datenquelle .....	30
3.2.2 Schwierigkeiten bei der Zuordnung von DV-Nummern und Indikatorwerten.....	31
3.2.3 Implementierung der neuen Indizes in das Online-Tool.....	31
3.2.4 Praxistest der neuen Indizes .....	32
3.2.4.1 Ziele des Praxistests .....	32
3.2.4.2 Testdatensatz .....	32
3.3 Ergebnisse .....	33
3.3.1 Liste der Indikatoren .....	33
3.3.2 Praxistest des ersten Bewertungsdurchlaufs.....	34
3.3.2.1 Rohdaten .....	34
3.3.2.2 Importverhalten .....	35
3.3.2.3 Laufzeitverhalten der Anwendung und Datenausgabe .....	36
3.3.2.4 Änderungen im Bewertungsergebnis NEU vs. ALT .....	37
3.3.2.4.1 Gewählter Ansatz für den Vergleich .....	37
3.3.2.4.2 Statistischer Vergleich TI-NEU vs. TI-ALT .....	39
3.3.2.4.3 Statistischer Vergleich TI-NEU_EXP vs. TI-ALT .....	40
3.3.2.4.4 Zusammenhang zwischen Trophieindex und Gesamtphosphorkonzentration (TP) .....	41

3.3.3	Einfluss der neuen Indizes auf die Bewertung .....	44
3.3.3.1	Dezimale Bewertung .....	44
3.3.3.2	Klassensprünge .....	45
3.4	Diskussion der Ergebnisse.....	47
3.4.1	Taxaliste der Anwendung PHYLIB Online 6.0.2 .....	47
3.4.2	Zuordnung der Indikatorwerte.....	47
3.4.3	Bewertungsmethode.....	48
4	Überarbeitung der PoD-Bewertung.....	51
4.1	Einleitung und Anlass.....	51
4.2	Interpretationshilfe.....	52
4.3	Festlegung von Klassengrenzen .....	53
4.3.1	Fließgewässer der Alpen – PB kbr 01 .....	56
4.3.2	Fließgewässer des Alpenvorlandes – PB kbr 02 .....	62
4.3.3	Karbonatisch geprägte, grobmaterialreiche Bäche des Mittelgebirges – PB kbr 03 .....	68
4.3.4	Karbonatisch geprägte Flüsse des Mittelgebirges – PB kbr 04 .....	74
4.3.5	Karbonatisch geprägte Ströme des Mittelgebirges – PB kbr 05 .....	80
4.3.6	Karbonatisch geprägte, feinmaterialreiche Bäche des Mittelgebirges – PB kbr 06.....	85
4.3.7	Karbonatisch geprägte, feinmaterialreiche Bäche und Flüsse der Keuper- sowie Löss- und Kalkregionen des Mittelgebirges – PB kbr 07.....	91
4.3.8	Basenreiche, organisch geprägte Bäche und Flüsse und kleine Niederungsgewässer des Norddeutschen Tieflandes – PB kbr 08 .....	96
4.3.9	Karbonatische, sand- bzw. lehmgeprägte Bäche und Flüsse des Norddeutschen Tieflandes – PB kbr 09 .....	102
4.3.10	Karbonatisch kiesgeprägte Bäche und Flüsse des Norddeutschen Tieflandes – PB kbr 10.....	107
4.3.11	Karbonatische, löss-lehmgeprägte Bäche des Norddeutschen Tieflandes – PB kbr 11 .....	112
4.3.12	Karbonatische, sandgeprägte große Gewässer des Norddeutschen Tieflandes – PB kbr 12.....	117
4.3.13	Silikatisch geprägte Bäche des Mittelgebirges – PB soba 01 .....	123
4.3.14	Silikatisch geprägte Flüsse des Mittelgebirges – PB soba 02 .....	129
4.3.15	Silikatisch geprägte Bäche und Flüsse des Norddeutschen Tieflandes – PB soba 03 .....	134
4.4	Diskussion .....	140
4.4.1	Allgemein.....	140
4.4.2	Algenklassen.....	140
4.4.3	PoD-Typen.....	140

4.4.4	Graphische Analysen .....	141
4.4.5	Plausibilisierungsverfahren .....	142
4.4.6	Score-Verfahren .....	143
4.4.7	Fazit .....	143
	Danksagung.....	144
5	Literatur .....	145

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2:	Zusammenhang des Trophieindex der Algenaufnahmen in den Systemen ROTT und NEU (Screenshot aus Pfister et al. 2016, S. 54). ....	38
Abbildung 3:	Zusammenhang der Saprobitätsindizes der Algenaufnahmen in den Systemen ROTT und NEU (Screenshot aus Pfister et al. 2016, S. 61).....	39
Abbildung 4:	Scatterplot des Trophieindex nach Pfister (neu) im Vergleich zu Rott (alt). ....	40
Abbildung 5:	Scatterplot des auf die Skala nach Rott expandierten Trophieindex nach Pfister (neu) im Vergleich zum Trophieindex nach Rott (alt).....	41
Abbildung 6:	Scatterplot des Trophieindex nach Rott in Abhängigkeit vom Jahresmittelwert der Gesamt-Phosphorkonzentration. ....	42
Abbildung 7:	Scatterplot des auf die Skala nach Rott expandierten Trophieindex nach Pfister in Abhängigkeit vom natürlichen Logarithmus des Jahresmittelwerts der Gesamt-Phosphorkonzentration.....	43
Abbildung 8:	Scatterplot der dezimalen Bewertungen – NEU vs. ALT (x-Achse: alter Index nach Rott; y-Achse: neuer Index nach Pfister mit nachgelagerter Expansion). ....	45
Abbildung 9:	Scatterplot des expandierten Trophieindex nach Pfister in Abhängigkeit von der mittleren Gesamtphosphorkonzentration. ....	49
Abbildung 10:	Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 1) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 01).....	57
Abbildung 11:	Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 01. ....	58
Abbildung 12:	Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 01. ....	59
Abbildung 13:	Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 02. ....	60
Abbildung 14:	Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 2) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 02).....	64
Abbildung 15:	Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 02. ....	65
Abbildung 16:	Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 02. ....	66
Abbildung 17:	Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 02. ....	67
Abbildung 18:	Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 5) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 03).....	69
Abbildung 19:	Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 03. ....	70
Abbildung 20:	Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 03. ....	71
Abbildung 21:	Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 03. ....	72

Abbildung 22: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 6) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 04)..... 75

Abbildung 23: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 04. .... 76

Abbildung 24: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 04. .... 77

Abbildung 25: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 04. .... 78

Abbildung 26: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 6) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 05)..... 81

Abbildung 27: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 05. .... 82

Abbildung 28: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 05. .... 83

Abbildung 29: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 05. .... 84

Abbildung 30: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 4) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 06)..... 86

Abbildung 31: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 06. .... 87

Abbildung 32: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 06. .... 88

Abbildung 33: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 06. .... 89

Abbildung 34: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 4) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PBb kbr 07) – *Fußnote wie Abbildung 30*..... 93

Abbildung 35: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 07. .... 93

Abbildung 36: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 07. .... 94

Abbildung 37: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 07. .... 95

Abbildung 38: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 10) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 08) – *Fußnote wie Abbildung 30*..... 97

Abbildung 39: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 08. .... 98

Abbildung 40: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 08. .... 99

Abbildung 41: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 08. .... 100

Abbildung 42: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 10) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 09) – *Fußnote wie Abbildung 30*..... 103

Abbildung 43: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 09. .... 104

Abbildung 44: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 09. .... 105

Abbildung 45: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 09. .... 106

Abbildung 46: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 11) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 10)..... 108

Abbildung 47: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 10. .... 109

Abbildung 48: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 10. .... 110

Abbildung 49: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 10. .... 111

Abbildung 50: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 10) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 11)..... 113

Abbildung 51: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte im PoD-Typ PB kbr 10 in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren. .... 114

Abbildung 52: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 11. .... 115

Abbildung 53: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 11. .... 116

Abbildung 54: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 10 bzw. PB 12) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 12). .... 119

Abbildung 55: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 12. .... 120

Abbildung 56: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 12. .... 121

Abbildung 57: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 12. .... 122

Abbildung 58: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 3) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB soba 01). .... 125

Abbildung 59: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB soba 01..... 126

Abbildung 60: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB soba 01..... 127

Abbildung 61: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB soba 01..... 128



Abbildung 62:	Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 3) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB soba 02) – Fußnote wie <i>Abbildung 54</i> .....	130
Abbildung 63:	Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB soba 02.....	131
Abbildung 64:	Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD- Typ PB soba 02.....	132
Abbildung 65:	Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB soba 02.....	133
Abbildung 66:	Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 3) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PBb soba 03). ....	136
Abbildung 67:	Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB soba 03.....	137
Abbildung 68:	Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD- Typ PB soba 03.....	138
Abbildung 69:	Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB soba 03.....	139

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Versionsinformationen zu den Online-Tools.....	27
Tabelle 2:	Artspezifische Trophie- und Saprobiewerte.....	30
Tabelle 3:	Taxaliste der Diatomeen inkl. DV-Nr. sowie Trophie- und Saprobiewerten nach Pfister et al. (2016) (Auszug aus Gesamtliste).....	30
Tabelle 4:	Anzahl der Datensätze von Diatomeenproben und dazugehörigen Jahresmittelwerten der Gesamtphosphorkonzentration.....	33
Tabelle 5:	Anzahl der Datensätze von Diatomeenproben und dazugehörigen Jahresmittelwerten der Gesamtphosphorkonzentration.....	34
Tabelle 5:	Taxa mit fehlenden Importmöglichkeiten nach in die Anwendung PHYLIB Online 6.0.2.....	35
Tabelle 6:	Taxa mit fehlenden Importmöglichkeiten nach in die Anwendung PHYLIB Online 6.0.2.....	35
Tabelle 7:	Anzahlen der Zustandsklassen – NEU vs. ALT.....	46
Tabelle 8:	Anzahlen und Anteile der Zustandsklassen – NEU vs. ALT.....	46
Tabelle 9:	Vorkommen dreier <i>Chamaesiphon</i> -Arten im pH-Spektrum (Abkürzungen siehe Anhang 4-2). .....	52
Tabelle 10:	Vorkommen dreier <i>Chamaesiphon</i> -Arten im Trophie- Spektrum.....	52
Tabelle 11:	Vorkommen dreier <i>Chamaesiphon</i> -Arten im Saprobie-Spektrum.....	52
Tabelle 12:	Vorkommen dreier <i>Chamaesiphon</i> -Arten – Angaben zur Lebensweise. ....	52
Tabelle 13:	Klassengrenzen der Mittelgebirgsgewässer in PHYLIB 5.3 (Schaumburg et al. 2012). .....	53
Tabelle 14:	Vorschlag zur Ermittlung von Klassengrenzen anhand der Beschreibung der Ökologischen Zustandsklassen nach WRRL und der Einstufungen der Indikatortaxa in die Bewertungskategorien.....	54
Tabelle 15:	Zuordnung der Scores zu den Ökologischen Zustandsklassen. ....	55
Tabelle 16:	Kürzel zur Bezeichnung der unterschiedlichen Verfahren der Zustandsklassifizierung am Beispiel der Typen PB 1 (alter Typ) und PB kbr 01 (neuer Typ). .....	55
Tabelle 17:	Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 01. ....	56
Tabelle 18:	Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 01 im Vergleich zu PB 1. ....	57
Tabelle 19:	Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 01 im Vergleich zu PB 1. ....	58
Tabelle 20:	Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 01.....	59
Tabelle 21:	Anzahl der im Datensatz vertretenen Probestellen für die FG-Typen des Alpenvorlandes.....	62
Tabelle 22:	Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 02. ....	63
Tabelle 23:	Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 02 im Vergleich zu PB 2. ....	63

Tabelle 24: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 02 im Vergleich zu PB 2. .... 65

Tabelle 25: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 02..... 66

Tabelle 26: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 03. .... 68

Tabelle 27: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 03 im Vergleich zu PB 5. .... 69

Tabelle 28: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 03 im Vergleich zu PB 5. .... 70

Tabelle 29: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 03..... 71

Tabelle 30: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 04. .... 74

Tabelle 31: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 04 im Vergleich zu PB 6. .... 75

Tabelle 32: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 04 im Vergleich zu PB 6. .... 76

Tabelle 33: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 04..... 77

Tabelle 34: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 05. .... 80

Tabelle 35: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 05 im Vergleich zu PB 6. .... 81

Tabelle 36: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 05 im Vergleich zu PB 6. .... 82

Tabelle 37: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PoD-Typ PB kbr 05. .... 83

Tabelle 38: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 06. .... 85

Tabelle 39: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 06 im Vergleich zu PB 4. .... 86

Tabelle 40: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 06 im Vergleich zu PB 4. .... 87

Tabelle 41: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 06..... 88

Tabelle 42: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 07. .... 91

Tabelle 43: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 07 im Vergleich zu PB 4. .... 92

Tabelle 44: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 07 im Vergleich zu PB 4. .... 92

Tabelle 45: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 07..... 94

Tabelle 46: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 08. .... 96

Tabelle 47: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 08 im Vergleich zu PB 10. .... 97

Tabelle 48: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen –PB kbr 08 im Vergleich zu PB 10. .... 98

Tabelle 49: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 08..... 99

Tabelle 50:	Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 09. ...	102
Tabelle 51:	Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 09 im Vergleich zu PB 10. ....	103
Tabelle 52:	Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen –PB kbr 09 im Vergleich zu PB 10. ....	104
Tabelle 53:	Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 09.....	105
Tabelle 54:	Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 10. ...	107
Tabelle 55:	Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 10 im Vergleich zu PB 11. ....	108
Tabelle 56:	Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 10 im Vergleich zu PB 11. ....	109
Tabelle 57:	Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 10.....	110
Tabelle 58:	Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 11. ...	112
Tabelle 59:	Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 11 im Vergleich zu PB 10. ....	113
Tabelle 60:	Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 11 im Vergleich zu PB 10. ....	114
Tabelle 61:	Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 11.....	115
Tabelle 62:	Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 12 im Vergleich zu PB 10. ....	117
Tabelle 63:	Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 12 im Vergleich zu PB 12. ....	118
Tabelle 64:	Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 12 im Vergleich zu PB 10 und PB 12. ....	118
Tabelle 65:	Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 12 im Vergleich zu PB 10 und PB 12. ....	120
Tabelle 66:	Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 12.....	121
Tabelle 67:	Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB soba 01. ....	124
Tabelle 68:	Taxazahl in den Indikationskategorien – PB soba 01 im Vergleich zu PB 3. ....	124
Tabelle 69:	Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen –PB soba 01 im Vergleich zu Typs PB 3.....	126
Tabelle 70:	Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB soba 01. ....	127
Tabelle 71:	Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB soba 02. ....	129
Tabelle 72:	Taxazahl in den Indikationskategorien – soba 02 im Vergleich zu PB 3. ....	130
Tabelle 73:	Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen –PB soba 02 im Vergleich zu PB 3. ....	131
Tabelle 74:	Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB soba 02. ....	132

Tabelle 75:	Anzahl der im Datensatz vertretenen Probestellen für die FG-Typen des Alpenvorlandes. ....	134
Tabelle 76:	Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB soba 03.	135
Tabelle 77:	Taxazahl in den Indikationskategorien – PB soba 03 im Vergleich zu PB 9. ....	135
Tabelle 78:	Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen –PB soba 03 im Vergleich zu PB 3. ....	136
Tabelle 79:	Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB soba 03. ....	137

## Abkürzungsverzeichnis

<b>ACP</b>	Allgemeine chemische und physikalisch-chemische Parameter
<b>DV-Nr.</b>	DV-Nummer aus der Bundestaxaliste der Gewässerorganismen Deutschlands
<b>FG</b>	Fließgewässer
<b>LAWA</b>	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
<b>LAWA-EK</b>	Expertenkreis der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
<b>ln</b>	Natürlicher Logarithmus
<b>NMDS</b>	Non-metric Multidimensional Scaling
<b>OGewV</b>	Oberflächengewässerverordnung
<b>ÖZK</b>	Ökologische Zustandsklasse
<b>PoD</b>	Phytobenthos ohne Diatomeen
<b>R<sup>2</sup></b>	Bestimmtheitsmaß
<b>RAS</b>	Referenzartensumme
<b>SI</b>	Saprobieindex
<b>TI</b>	Trophieindex
<b>TK</b>	Teilkomponente
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>URL</b>	Uniform Resource Locator
<b>WRRL</b>	Wasserrahmenrichtlinie
<b>ZK</b>	Zustandsklasse

## Zusammenfassung

### Online-Plattform

Für vier der gängigsten Verfahren zur ökologischen Bewertung von Fließgewässern (PhytoFluss, Phylib, Perlodes, fiBS) wurden Online-Tools programmiert. Die Tools sind eingebettet in eine Umgebung, die neben den Anwendungen auch umfangreiche Begleitinformationen enthält. Zu erreichen ist die Plattform über die vom Umweltbundesamt geförderten Homepage [www.gewaesser-bewertung.de](http://www.gewaesser-bewertung.de).

### Diatomeen-Bewertung (Bearbeitung durch Ilka Schönfelder)

In diesem Teil des Forschungsvorhabens wurde eine Aktualisierung der Trophie- und Saprobiebewertung für die Teilkomponente Diatomeen in der Bewertungssoftware PHYLIB Online 6.0 umgesetzt. Als Grundlage der vorgenommenen Aktualisierungen der Einstufungen benthischer Diatomeentaxa dienten die von Pfister et al. (2016) für Österreich und Deutschland vorgeschlagenen Indikationswerte. Diese weichen zum Teil erheblich von den bislang im PHYLIB-Verfahren angewandten Einstufungen nach Rott et al. (1999, 1997) ab. Deshalb wurde ein neuer Testdatensatz von Diatomeenproben aus acht deutschen Bundesländern zusammengetragen und getestet.

Vor der Programmierung wurden folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- ▶ (1) Zuordnung der DV-Nummern der Taxaliste der Gewässerorganismen der Bundesrepublik Deutschland zu den in Pfister et al. (2016) aufgeführten Diatomeentaxa;
- ▶ (2) Ergänzung der Indikatorenliste um noch in Gebrauch befindliche Synonyme, die auch in der Vorgängerversion PHYLIB 5.3.0 mit Indikatorwerten enthalten sind;
- ▶ (3) Übertragung der aktualisierten Einstufungen (Trophie- und Saprobiewerte sowie dazugehörige Gewichtungen) auf die noch gebräuchlichen Synonyme;
- ▶ (4) Ergänzung der Indikatorartenliste um häufig auftretende höhere Taxa (Arten, Gattungen, Ordnungen, Unterklassen) und Klarstellung der Nutzung dieser Taxa als Indikatoren im überarbeiteten Trophie- und Saprobie-Indikationssystem nach Pfister et al. (2016) durch Zuweisung aktualisierter Indikatorwerte (die in das Online-Tool PHLYB 6.0.2 implementierten Indikatorwerte sind Anhang 3-1 zu entnehmen).

Mit den Schritten 2 und 3 wurde versucht, eine synthetische, ökologisch attributierte Taxaliste aus den von Pfister et al. (2016) aufgeführten Taxa und den seit 2012 (PHYLIB 4.1) bei Bestimmungen in Deutschland außerdem auch noch gebräuchlichen Synonymen zu erstellen. Der Sinn dieser synthetischen Taxaliste ist, analog zur hinterlegten Taxaliste in PHYLIB 5.3.0, dass für den Anwender des Verfahrens klar erkennbar wird, welche Kombinationen aus DV-Nr. und Taxonnamen für den Import in die Anwendung PHYLIB Online 6.0.2 valide sind und ob und ggf. welche Indikatorwerte mit den verwendbaren Kombinationen in PHYLIB Online 6.0.2 verknüpft sind. Mit der Möglichkeit des Imports gebräuchlicher Synonyme, die im Regelfall auf zuverlässige Bestimmungsleistungen nach 2012 zurückgehen, wurde auch für die Anwendung der Indizes nach Pfister et al. (2016) in PHYLIB Online 6.0.2 die Möglichkeit beibehalten, tatsächliche Befunde aus den Datenbanken der Bundesländer in der Form weiter zu verwenden, wie sie sind, ohne sie vorher auf ein aktuelles taxonomisches Niveau umschreiben zu müssen.

Die aktualisierten taxonomischen Einstufungen beruhen ausschließlich auf der Zielsetzung des hier vorgestellten Vorhabens, zunächst eine weitestgehende Übertragung der Indikatorwerte nach Pfister et al. (2016) auf die Taxaliste von PHYLIB 5.3.0 vorzunehmen. Kein Ziel war es, Veränderungen im Sinne von Löschungen oder Ergänzungen der durch Pfister veröffentlichten Indikatorwerte vorzunehmen. Fortschreibungen der Indikatorwerte, die beispielsweise durch den Fortschritt in der Taxonomie erforderlich werden, bleiben zukünftigen Projekten vorbehalten.

Der Ergebnisexport von PHYLIB Online 6.0.2 wurde gegenüber der Version 6.0 um die nachfolgend aufgeführten Parameter ergänzt. Die zusätzlichen Parameter werden rechts neben der letzten Spalte („Software-Version“) ausgegeben.

Wert	Bedeutung	Hinweis
Zustands-/Potential-klasse – NEU	Gesamtbewertung der biologischen Qualitätskomponente „Makrophyten & Phytobenthos“ als ganzzahlige Ziffer zwischen 1 und 5 unter Bezugnahme auf die Trophie- und Saprobie-Indizes nach Pfister	Metric wurde noch nicht programmiert. Ein künftiger Test setzt einen erweiterten Datensatz mit Daten der Teilkomponenten PoD und Makrophyten voraus.
Bewertung (dezimal) – NEU	Gesamtbewertung der biologischen Qualitätskomponente „Makrophyten & Phytobenthos“ als Wert mit zwei Dezimalen unter Bezugnahme auf die Trophie- und Saprobie-Indizes nach Pfister	siehe oben
Makrophyten-Phytobenthos-Index – NEU	Index in der Skalierung 0 bis 1 für die Bewertung der biologischen Qualitätskomponente „Makrophyten & Phytobenthos“, unter Bezugnahme auf die Indizes nach Pfister	siehe oben
Ergebnis ohne Salzbelastung – NEU	Gesamtbewertung der biologischen Qualitätskomponente „Makrophyten & Phytobenthos“ als ganzzahlige Ziffer zwischen 1 und 5 vor eventueller Abwertung wegen Versalzung unter Bezugnahme auf die Indizes nach Pfister	siehe oben
Bewertung Diatomeen – NEU	Gesamtbewertung der Teilkomponente Diatomeen als ganzzahlige Ziffer zwischen 1 und 5 unter Bezugnahme auf die Indizes nach Pfister	Die Indexwerte nach Pfister wurden vor der Bewertung expandiert, um die Klassengrenzen von PHYLIB 5.3.0 und der OGewV nicht verändern zu müssen. Die Klassengrenzen von PHYLIB 5.3.0 wurden nicht verändert.
Bew. Diatomeen (dezimal) – NEU	Gesamtbewertung der Teilkomponente Diatomeen als Wert mit zwei Dezimalen unter Bezugnahme auf die Indizes nach Pfister	siehe oben
Index Diatomeen – NEU	Modulwert (0 bis 1) für die Bewertung der Teilkomponente Diatomeen, basierend auf dem Verschnitt der Module Referenzartensumme und Nährstoffbewertung unter Nutzung des expandierten neuen Trophieindex bzw. des expandierten neuen Saprobitätsindex nach Pfister	
Trophieindex (umger.) D – NEU	Modulwert (0 bis 1) für die „Nährstoffbewertung“ auf der Grundlage des expandierten Trophieindex nach Pfister	Die Umrechnungsgleichung von PHYLIB 5.3.0 wurde nicht verändert.
Trophieindex D – NEU_EXPAND	auf die alte Skala von Rott expandierter neuer Trophieindex nach Pfister	
Trophieindex D – NEU	originaler (nicht expandierter) diatomeenbasierter Trophieindex nach Pfister	
Saprobieindex (umger.) D – NEU	Modulwert (0...1) für den neuen Saprobie-Index nach Pfister	Die Umrechnungsgleichung von PHYLIB 5.3.0 wurde nicht verändert.
Saprobieindex D – NEU_EXPAND	auf die alte Skala von Rott expandierter neuer Saprobitätsindex nach Pfister	
Saprobieindex – NEU	originaler (nicht expandierter) diatomeenbasierter Saprobitätsindex nach Pfister	



Wert	Bedeutung	Hinweis
TI-Klasse – NEU	Bewertungsklasse im Modul „Nährstoffbelastung“, abgeleitet aus dem neuen Trophieindex	Die Klassengrenzen von PHYLIB 5.3.0 wurden nicht verändert; Metric wird wie bisher in PHYLIB 5.3.0 nicht für die Typen D 13.1 und D 13.2 ausgegeben
SI-Klasse – NEU	Bewertungsklasse im Modul „Nährstoffbelastung“, abgeleitet aus dem expandierten neuen Saprobitätsindex nach PFISTER mit den Klassengrenzen von PHYLIB 5.3.0	siehe oben
SI-Anzahl – NEU	Anzahl der Taxa mit Saprobiewerten und einer Saprobie-Gewichtung > 0 nach Pfister	
TI-Anzahl – NEU	Anzahl der Taxa mit Trophiewerten und einer Trophie-Gewichtung > 0 nach Pfister	
Gesamtphosphor	Jahresmittelwert der Konzentration des gesamten Phosphors im Freiwasser an oder unweit der Diatomeen-Messstelle	Angabe erfolgt in der Einheit Milligramm Phosphor pro Liter [mg/l]
ortho-Phosphat-Phosphor	Jahresmittelwert der Konzentration des Phosphors in der Form freier Molybdat-reaktiver Phosphate im Freiwasser an oder unweit der Diatomeen-Messstelle	siehe oben

**Hinweis:** Die in der Tabelle verkürzt wiedergegebenen Verweise (Pfister bzw. Rott) lauten vollständig: PFISTER et al. (2016) bzw. ROTT et al. (1997)

Die um die neuen Indizes erweiterte Software wurde anhand von Datenmaterial aus den Bundesländern Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen, Sachsen, Thüringen und Hessen getestet. Für diesen Zweck standen insgesamt 4.139 Diatomeenproben zur Verfügung.

### PoD-Bewertung (Bearbeitung durch Antje Gutowski)

Der vorliegende Bericht ergänzt die Arbeiten zur Weiterentwicklung der Teilkomponente „Phytobenthos ohne Diatomeen“ (PoD) aus dem Vorgängerprojekt (Rolauuffs et al. 2020), in dem die Aspekte Überarbeitung der Grundlagen einer PoD-Bewertung, Überprüfung und Erweiterung der Liste der Indikatorarten, Neueinstufung der Taxa sowie Revision der für das PoD relevanten biozönotischen Fließgewässertypen im Mittelpunkt standen.

In dem hier vorgestellten Projekt wurden die folgenden Resultate erarbeitet:

- ▶ Auf Basis der im Vorgängerprojekt gesammelten Daten wurden Informationen zu Präferenzen und Toleranzen der PoD-Taxa im Hinblick auf ihr Vorkommen im pH-, Trophie- und Saprobie-Spektrum zusammengestellt. Die Information wurden genutzt, um eine Interpretationshilfe zu erstellen, die im Rahmen eines zukünftigen Updates in das PHYLIB-Online-Tool implementiert werden soll.
- ▶ In Zusammenarbeit mit dem Programmierer des PHYLIB-Online-Tools (Firma chromgruen) wurde eine Testversion entwickelt, die die revidierten PoD-Typen, die neue Indikationsliste und die überarbeiteten Einstufungen beinhaltet. Dieses Tool kann für die Bundesländer als Test-Software zur Validierung der Änderungsvorschläge fungieren.
- ▶ Das intensive Monitoring hat die Kenntnis der Zusammensetzung der Algenflora des PoD wesentlich erweitert. Durch die Überarbeitung erhalten die meisten PoD-Typen eine höhere Anzahl indikativer Taxa. Deutliche Zunahmen gibt es in den Algenklassen Cyanobacteria, Florideo-, Tribo-, Chloro- und Ulvophyceae sowie Desmidiaceae. Die größten Veränderungen er-

geben sich durch die Aufnahme der mikrophytischen Euglenophyceae, deren Arten für nährstoffreiche Kleingewässer mit einer gewissen organischen Belastung charakteristisch sind. Als Folge der neuen Indikationen verändern sich die Anteile von Zeigern für die unterschiedlichen Indikationskategorien, abhängig vom PoD-Typ, unterschiedlich stark. Für viele PoD-Typen nimmt die Anzahl der Störzeiger deutlich zu, sodass das Verhältnis zwischen Güte- und Störzeigern deutlich ausgewogener wird.

- ▶ Die Auswirkungen der neuen Indikationen auf die Bewertungsklassen wurden den Klassen, die sich aus den alten Indikationen ergeben, gegenübergestellt.
- ▶ Deutliche Zusammenhänge konnten für die silikatisch geprägten Mittelgebirgsbäche gezeigt werden. Auch für einige karbonatisch geprägte Mittelgebirgstypen ergeben sich signifikante deutliche Korrelationen. Eine schwache Korrelation zwischen alten und neuen Bewertungen zeigen Typen, die aus Datenmangel zusammengefasst wurden sowie solche mit schwacher Datengrundlage. Die Bewertung anderer Typen wurden durch die neue Indikation hingegen grundsätzlich verändert. Ein einheitlicher Trend für alle PoD-Typen hinsichtlich der Verschiebung von Zustandsklassen war nicht festzustellen. Insgesamt zeigt sich für zahlreiche PoD-Typen aber eine Tendenz zu einer strengeren Bewertung. Dazu gehören auch einige karbonatisch geprägte Typen, die bislang in der Kritik standen, zu milde bewertet worden zu sein. Viele feinkornreiche PoD-Typen werden hingegen tendenziell milder bewertet.
- ▶ Darüber hinaus wurden zwei weitere Verfahren zur Festlegung von Klassengrenzen getestet. Das sogenannte „Plausibilisierungsverfahren“ orientiert sich einerseits an den Beschreibungen der Ökologischen Zustandsklassen nach WRRL, andererseits an den Einstufungen der Indikatortaxa in die Bewertungskategorien A bis D. Ziel dieses Vorschlages war es, unter Verwendung der Autökologie der Arten plausible Bereiche der ökologischen Zustandsklassen zu definieren. Wie in PHYLIB 5.3 kommt es durch dieses Vorgehen zu einer Vielzahl unterschiedlicher, für die PoD-Typen jeweils spezifischen Klassengrenzen. Das andere Verfahren, „Score-Verfahren“ genannt, verfolgt den Ansatz über Ankerpunkte, der auch beim Bewertungsverfahren des Makrozoobenthos zum Einsatz kam. Dies führt, im Unterschied zu den anderen Verfahren, gewässertypunabhängig zu einheitlich breiten Zustandsklassen.
- ▶ Mit dem Plausibilisierungsverfahren verschieben sich die Bewertungen stärker als bei Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3. Dies führt in vielen PoD-Typen zu einer insgesamt strengeren, aber differenzierteren Bewertung. Noch stärker verschieben sich die Bewertungen bei Anwendung des Score-Verfahrens. Im Gegensatz zu den anderen Verfahren kommt es hier zu einer deutlich anderen Verteilung der Ergebnisse, bei der die Zustandsklassen „sehr gut“ und „schlecht“ überproportional häufig zugewiesen werden. Der Vergleich mit einer Experteneinschätzung zeigt, dass eine plausible Entscheidung über geeignete Klassengrenzen mit keinem der Verfahren durchgängig gelingt.
- ▶ Ein Grundproblem der der Festsetzung von Grenzen ist, dass der Datenpool nur selten die gesamte Breite möglicher Zustandsklassen abdeckt, so dass es zu Fehleinschätzungen in der Abgrenzung der unterschiedlichen Zustandsklassen kommt. Eine Ursache wird darin gesehen, dass unsere Landschaft durch anthropogene Veränderungen inzwischen so einheitlich belastet ist, dass die gesamte Spanne zwischen sehr guten und schlechten ökologischen Zuständen durch ein Monitoring kaum erfasst werden kann.
- ▶ Manchmal ist das Leitbild sehr eng definiert, sodass die Spannweite der tatsächlich vorhandenen geochemisch ähnlich geprägten Gewässertypen nicht ausreichend berücksichtigt wird (z. B. silikatisch geprägte Mittelgebirgsbäche). Häufig ist es sogar schwierig, ein konkretes Leitbild für den Referenzzustand mit Blick auf das Vorkommen und die angemessenen Abundanzen der PoD-Taxa klar zu definieren, um daran die unterschiedlichen Zustandsklassen auszurichten. Auch fehlt es in vielen PoD-Typen an Grundlagen, die Belastungen wie Verockerung, Verödung oder Auswirkungen struktureller Defizite zu beschreiben.

- ▶ Das Prinzip der Indikation durch Organismen beruht auf der Kenntnis unterschiedlicher Toleranzen und Präferenzen im Hinblick auf Überleben, Wachstum und Reproduktion. Es ist daher notwendig, einerseits die Bewertung in Zusammenarbeit mit den Experten vor Ort abzustimmen und andererseits einen Abgleich mit den Bewertungen der anderen Teilkomponenten zu suchen. Dabei muss es darum gehen, die Synergieeffekte zu nutzen, die durch die unterschiedlichen Ansprüche der Taxa der verschiedenen Organismengruppen dargestellt werden. Hierbei ist die Zusammenarbeit mit den Vertretern der einzelnen Bundesländer und mit den Experten für die anderen Qualitätskomponenten besonders wichtig.
- ▶ Auch wenn aus den oben genannten Gründen noch kein einheitliches Verfahren für die Festlegung plausibler Klassengrenzen vorgestellt werden kann, stellen die Vorschläge doch eine wichtige Grundlage für die spätere Diskussion dar.

## Summary

### Online platform

For four of the most common methods to assess the ecological quality of rivers (PhytoFluss, Phylib, Perlodes, fiBS) online tools were programmed. The tools are embedded in an environment which, in addition to the applications, also contains a large number of accompanying information. The platform can be reached via the homepage [www.gewaesser-bewertung.de](http://www.gewaesser-bewertung.de).

### Revision of the assessment system using diatoms (by Ilka Schönfelder)

In this part of the project an update of the trophic and saprobic assessment for the sub-element “Diatoms” was implemented in the online tool PHYLIB 6.0. The indication values proposed by Pfister et al. (2016) served as the basis for the updates made to the classifications of benthic diatom taxa. In some cases, these deviate considerably from the classifications by Rott et al. (1999, 1997) previously used in the PHYLIB software. Therefore, a new test data set of diatom samples from eight German federal states was compiled and tested.

The following work steps were carried out before programming:

- ▶ Allocation of the data processing numbers (DV-No.) of the so called Bundestaxaliste to those in Pfister et al. (2016) listed diatom taxa;
- ▶ Extension of the list of indicator taxa to include synonyms that are still in use;
- ▶ Transfer of the updated classifications (trophic and saprobic values as well as associated weighting factors) to the synonyms that are still in use;
- ▶ Supplementation of the indicator species list with frequently occurring higher taxa (species, genera, orders, subclasses) and clarification of the use of these taxa as indicators in the revised trophic and saprobic indication system according to Pfister et al. (2016) by assigning updated indicator values.

The updated taxonomic classifications are based exclusively on the objective of this project to transfer the indicator values by Pfister et al. (2016) on the taxa list of PHYLIB 5.3.0. It was not the aim to make changes (deletions or additions) to the indicator values published by Pfister.

The export of results from PHYLIB Online 6.0.2 has been supplemented by the following parameters compared to version 6.0 (all new parameters are deducted from the values by Pfister et al. 2016):

Value	Explanation
Zustands-/Potential-klasse – NEU	final assessment of the biological quality element "Macrophytes & Phytobenthos" as an integer number between 1 and 5
Bewertung (dezimal) – NEU	final assessment of the biological quality element "Macrophytes & Phytobenthos" as a value with two decimals
Makrophyten-Phytobenthos-Index – NEU	final index with a scale of 0 to 1 for the evaluation of the biological quality element "Macrophytes & Phytobenthos"
Ergebnis ohne Salzbelastung – NEU	final assessment of the biological quality element "Macrophytes & Phytobenthos" as an integer number between 1 and 5 before any devaluation due to salinization
Bewertung Diatomeen – NEU	final evaluation of the sub-element diatoms as an integer number between 1 and 5
Bew. Diatomeen (dezimal) – NEU	final assessment of the sub-element diatoms as a value with two decimal places
Index Diatomeen – NEU	module value for the evaluation of the sub-element diatoms, based on the combination of the modules “Referenzartensumme” and “Nährstoffbewertung” using the expanded new trophic index and the expanded new saprobic index, respectively

Value	Explanation
Trophieindex (umger.) D – NEU	module value for the “nutrient load” based on the expanded trophic index according to Pfister
Trophieindex D – NEU_EXPAND	new trophic index (according to Pfister), expanded to the old scale by Rott
Trophieindex D – NEU	original diatom-based trophic index according to Pfister (not expanded)
Saprobieindex (umger.) D – NEU	module value for the new saprobic index according to Pfister
Saprobieindex D – NEU_EXPAND	new saprobic index (according to Pfister), expanded to the old scale by Rott
Saprobieindex – NEU	original diatom-based saprobic index according to Pfister (not expanded)
TI-Klasse – NEU	assessment class of the module “nutrient Load”, derived from the new trophic index
SI-Klasse – NEU	assessment class of the module “nutrient load”, derived from the expanded new saprobic index with the class limits of PHYLIB 5.3.0
SI-Anzahl – NEU	number of taxa with saprobic values according to Pfister
TI-Anzahl – NEU	number of taxa with trophic values according to Pfister
Gesamtphosphor	annual mean value of the concentration of total phosphorus in the open water at or near the diatom measuring reach
ortho-Phosphat-Phosphor	annual mean value of the concentration of phosphorus in the form of free molybdate-reactive phosphates in the open water at or near the diatom measuring reach

### Revision of the assessment system using PoD (by Antje Gutowski)

The present report supplements the work on the development of the sub-element "Phytobenthos without diatoms" (PoD) from the previous project (Rolauuffs et al. 2020), which focused on the following aspects: Revision of the basics of a PoD assessment, review and expansion of the list of indicator taxa, reclassification of taxa, and revision of the biocenotic river types. In the current project the following results were obtained:

- ▶ On the basis of the data collected in the previous project, information on the preferences and tolerances of the PoD taxa with regard to their occurrence in the pH, trophic and saprobic spectrum was compiled. The information was used to create an interpretation aid that is to be implemented in the PHYLIB online tool as part of a future update.
- ▶ In cooperation with the programmer of the PHYLIB online tool, a test version was developed that contains the revised PoD types, the new list of indications and the revised taxonomical classifications. This tool can be used as a test software for the federal states in Germany to validate the proposed changes.
- ▶ The intensive monitoring has significantly expanded our knowledge of the composition of the PoD's algae flora. As a result of the revision, most PoD types will have a higher number of indicative taxa. There are clear increases in the algae classes Cyanobacteria, Florideo, Tribo-, Chloro- and Ulvophyceae as well as Desmidiaceae. The greatest changes result from the uptake of the microphytic Euglenophyceae, whose species are characteristic for nutrient-rich small water bodies with a certain organic load. As a result of the new indications, the proportions of indicator taxa for the different indication categories change, depending on the PoD type. For many PoD types, the number of taxa indicating human influence increases significantly, so that the ratio between them and taxa indicating reference conditions becomes more balanced.
- ▶ The effects of the new indications on assessment classes were compared with the classes resulting from the old indications.
- ▶ Explicit relationships could be shown for the siliceous mountain streams. There are also significant correlations for some carbonate mountain streams. A weak correlation between old and new assessments can be seen in types that were summarized due to lack of data as well as

those with a weak data basis. The assessment of other types, however, was fundamentally changed by the new indication. A coherent trend for all PoD types with regard to the shift of ecological status classes could not be determined. Overall, however, there is a tendency towards a stronger assessment for several PoD types.

- ▶ In addition, two other methods for establishing class boundaries were tested. The so-called "plausibility method" is based on the descriptions of the ecological status classes according to the WFD as well as on the classification of indicator taxa in the assessment categories (A to D). The aim of this proposal was to assign plausible areas of the ecological status classes using the autecology of the species. As in PHYLIB 5.3, this procedure results in a large number of different class boundaries that are specific to the PoD stream types. The other technique, called the "score method", follows the approach using anchor points, which was also used in the evaluation method for macroinvertebrates. In contrast to the other methods, this leads to uniformly wide classes regardless of the stream type.
- ▶ With the plausibility method, the assessments shift more than by using the class boundaries from PHYLIB 5.3. In many PoD types, this leads to an overall stronger but more differentiated assessment. The ecological ratings shift even more when the score method is applied. In contrast to the other methods, the results are distributed significantly differently, with the classes "very good" and "bad" being assigned disproportionately often. The comparison with expert evaluations shows that a plausible decision about suitable class boundaries cannot be consistently achieved with any of the methods.
- ▶ A fundamental problem in setting boundaries is fact that the data pool rarely covers the entire width of possible classes. As a result, there are misjudgements in the delimitation of the different ecological classes. One reason is seen in the fact that our landscape is so polluted by anthropogenic impact that the entire range between "very good" and "bad" can hardly be recorded by monitoring.
- ▶ Sometimes the concept is very narrowly defined, so that the range of actually existing geochemically similar types of water is not sufficiently taken into account. It is often even difficult to clearly define a concrete model for the reference status with a view to the occurrence and the appropriate abundances of the PoD taxa in order to align the different status classes with it. In many PoD types, there is also a lack of the basics to describe stresses such as ochering, desertification or the effects of structural deficits.
- ▶ The principle of indication by organisms is based on the knowledge of different tolerances and preferences with regard to survival, growth and reproduction. It is therefore necessary to coordinate the evaluation in cooperation with the experts, and to search for a comparison with the evaluations of the other biological sub-element. The aim must be to use synergy effects that are represented by the different demands of the taxa of the different organism groups.

Even if, for the reasons mentioned above, it is not yet possible to present a consistent procedure for establishing plausible class boundaries, the proposals represent an important basement for later discussion.

## 1 Projektübersicht

Die Inhalte des Forschungshabens lassen sich im Wesentlichen zwei Themenbereichen zuordnen: dem überwiegend technisch geprägten Aufbau einer Online-Plattform sowie der fachlichen Weiterentwicklung ausgewählter Bewertungsverfahren. Letzteres umfasst auch Vorschläge zur Weiterentwicklung, die bislang aber noch nicht in die Verfahren eingeflossen sind.

- ▶ **Online-Plattform:** Für vier der gängigsten Verfahren zur ökologischen Bewertung von Fließgewässern wurden Online-Versionen programmiert; dies sind: PhytoFluss (Biokomponente Phytoplankton), Phylib (Biokomponente Makrophyten & Phytobenthos), Perlodes (Biokomponente Makrozoobenthos) und fiBS (Biokomponente Fische). Die neuen Versionen wurden in eine Umgebung eingebunden, die neben den reinen Rechentools auch begleitende bzw. weiterführende Informationen enthält. Einen Überblick über die Plattform und die darauf enthaltenen Angebote gibt Kapitel 2.
- ▶ **Bewertungsverfahren:** Die Programmierung der Online-Tools erfolgte prinzipiell auf Grundlage der desktopgestützten Software-Versionen. Zwei der Verfahren (PhytoFluss und Perlodes) wurden in diesem Zuge auch inhaltlich verändert (siehe Kapitel 2), für ein anderes Verfahren (Phylib) wurden Vorschläge für eine Weiterentwicklung von zwei seiner drei Teilkomponenten erarbeitet (Diatomeen: Kapitel 0; Phytobenthos ohne Diatomeen: Kapitel 4).

Anhänge, die nicht diesem Dokument beiliegen, können über die Auftragnehmer oder über das Umweltbundesamt bezogen werden.

## 2 Online-Plattform

### 2.1 Überblick

Die Plattform wurde geschaffen, um Anwendern eine zentrale Anlaufstelle für die Software-Produkte im Bereich der organismischen Bewertung an die Hand zu geben. Zusätzlich zu den Berechnungstools wird dort eine Reihe von Begleittexten bereitgestellt, die der Hintergrundinformation, der Orientierung sowie der Interpretation von Bewertungsergebnissen dienen. Dabei soll das Angebot nicht auf die bislang implementierten Verfahren PhytoFluss, Phylib, Perlodes und fiBS beschränkt bleiben. Von Beginn an wurde die Plattform so konzipiert, dass eine Eingliederung weiterer Verfahren jederzeit möglich ist<sup>1</sup>. Eingebunden ist die Plattform in das vom Umweltbundesamt geförderte Portal <https://www.gewaesser-bewertung.de>. Gegenüber den einzelnen desktopgestützten Versionen bietet die zentrale Client-Server-Lösung zahlreiche Vorteile. Durch eine modulare Architektur sind Benutzeroberfläche, Datenhaltung, Berechnungskerne und Visualisierung der Ergebnisse voneinander getrennt. Zukünftige Überarbeitungen können so an jeder der Komponenten durchgeführt werden, ohne dass die anderen Module davon beeinträchtigt werden. Das Konzept der Online-Umsetzung beendet zudem die Notwendigkeit der Neu-Installation einer Software nach einem Update auf jedem einzelnen Nutzer-PC. Zudem ermöglicht die Online-Umsetzung eine zentrale Versionierung. Das bedeutet, dass Nutzer nach einem Update auf vorhergehende Versionen zurückzugreifen können, um Ergebnisse zu vergleichen<sup>2</sup>.

An der Erstellung der Plattform wie auch an der Programmierung und dem Testen der Rechentools war und ist ein größerer Personenkreis beteiligt. Die wichtigsten Aufgaben verteilen sich wie folgt:

- ▶ Jörg Strackbein: Gestaltung der Benutzeroberfläche; Verwaltung der Zugangsberechtigungen
- ▶ Robert Vogl: Programmierung der Tools PhytoFluss und Perlodes
- ▶ Andreas Müller: Programmierung der Tools Phylib und fiBS inkl. Funktionstest fiBS
- ▶ Peter Rolaußs: wissenschaftliche Koordination; Funktionstest Perlodes
- ▶ Ute Mischke: Funktionstest PhytoFluss
- ▶ Klaus van de Weyer: Funktionstest Phylib
- ▶ Ursula Riedmüller: Erstellung der Begleitinformationen für PhytoFluss

### 2.2 Aufbau

Die Hauptseite der Plattform enthält einleitende sowie eine Auswahl von Querweisen zu nachgeordneten Seiten. In dem darunter befindlichen Abschnitt (außerhalb des Screenshots) sind alle existierenden Bewertungsverfahren für die Bereiche Fließgewässer, Stillgewässer sowie Küsten- und Übergangsgewässer aufgelistet; über verlinkte Schaltflächen erhält der User Zugriff auf die in der Stammseite *gewaesser-bewertung.de* eingestellten beschreibenden Texte. Das im Kopf der Hauptseite enthaltene horizontale Menü verzweigt auf die folgenden Unterseiten:

- ▶ Home
- ▶ Information
- ▶ Berechnung (nur sichtbar nach erfolgter Anmeldung)
- ▶ Kontakt
- ▶ Anmeldung/Abmelden

---

<sup>1</sup> Mittlerweile wurde mit MaBS ein weiteres Verfahren integriert, das eine alternative Bewertung mittels der Teilkomponente Makrophyten möglich macht. Darüber hinaus gibt es Anfragen zur Eingliederung weiterer Verfahren.

<sup>2</sup> Die Versionierung betrifft ausschließlich kommende Updates. Eine Programmierung älterer PC-Versionen der Berechnungsprogramme wäre zu aufwändig.



Über die Option ‚Home‘ gelangt der Anwender zurück auf die Hauptseite. Die Auswahl ‚Information‘ öffnet ein Untermenü mit Verzweigungen zu den einzelnen Verfahren (Details siehe Kapitel 2.3.1). Der Menüpunkt ‚Berechnung‘ erlaubt angemeldeten Benutzern Zugriff auf die Rechentools (Kapitel 2.3.2) – die für eine Anmeldung benötigten Zugangsdaten können über den Hyperlink ‚[im System anmelden](#)‘ angefordert werden. Unter der Option ‚Kontakt‘ verbirgt sich eine Seite mit Angaben zu den Verantwortlichen samt E-Mail-Adressen, dem Impressum sowie der Datenschutzerklärung. Der letzte Menüpunkt öffnet den Anmeldebildschirm.

## 2.3 Inhalte

### 2.3.1 Menü ‚Information‘

Über den ersten Eintrag im Auswahlmenü wird eine Überblicksseite aufgerufen. Darin enthalten sind Angaben über die jeweils aktuellen Versionsnummern (Tabelle 1) sowie kurze, inhaltliche Details zum Update-Verlauf der einzelnen Verfahren. Ausführliche Zusammenstellungen der Gesamthistorie sind auf den Informationsseiten der jeweiligen Verfahren zu finden (derzeit nur PhytoFluss und Perloides).

Tabelle 1: Versionsinformationen zu den Online-Tools.

Verfahren	Desktop-Version	Online-Version	Unterschied zwischen Desktop- und Online-Version
PhytoFluss	PhytoFluss 4.0	PhytoFluss 5.0	technisches und inhaltliches Update
Phylib	Phylib 5.3	Phylib 6.0	technisches Update
Perloides	ASTERICS 4.0.4	Perloides 5.0	technisches mit geringen inhaltlichen Modifikationen
fiBS	fiBS 8.1	fiBS Online 1.0	technisches Update

Anmerkung: Versionsnummern befinden sich auf dem Stand von März 2020

Die weiteren Einträge im Menü verweisen auf die Informationsseiten der berücksichtigten Verfahren. Je nach Verfahren ist die Anzahl der zur Verfügung stehenden Materialien unterschiedlich groß.; am umfangreichsten ist das Spektrum für das Verfahren Perloides. Nachfolgend ein Überblick:

- ▶ Historie: Abriss über die bisherigen Versionen inkl. einer Auflistung der inhaltlichen Veränderungen zwischen den Versionen (verfügbar für PhytoFluss und Perloides)
- ▶ Kurzdarstellungen: Zusammenstellung von Interpretationshilfen, separat für die Bereiche Bewertung und Metrics (PhytoFluss; Perloides; fiBS)
- ▶ Handbuch/Verfahrensanleitung: Unter diesen Oberbegriffen versammelt sich eine Reihe von Materialien mit unterschiedlichen Ausrichtungen.
  - Benutzerhandbuch (Phylib; fiBS): Beschreibung der Handhabung des Online-Tools
  - Software-Handbuch (Perloides): Beschreibung des Verfahrens mit den Schwerpunkten Layout der Import- und Exportdateien sowie Berechnung
  - Verfahrensanleitung (PhytoFluss; Phylib): Beschreibung des Gesamtverfahrens inkl. Probenahme und Berechnung (PhytoFluss: Stand 2020; Phylib: Stand 2012)
  - Handbuch (fiBS): Beschreibung des Gesamtverfahrens inkl. Probenahme und Berechnung (Stand 2009)
- ▶ Beispieldatei: Bereitstellung musterhafter Importdateien (alle Verfahren)

Für das Perloides-Verfahren gibt es darüber hinaus u. a. die folgenden Materialien:

- ▶ Operationelle Taxaliste: Darstellung der Anforderungen an das Mindestbestimmungsniveau
- ▶ Beschreibung der Indizes: Übersicht über alle Core Metrics und weiteren Indizes inkl. zugrundeliegender Formeln, Grenzwerte und Zusatzkriterien bzw. Nebenbestimmungen
- ▶ Tabellen zum Verfahren: Zusammenstellung der Core Metrics, Ankerpunkte und Schlüsselcodes sowie des Taxafilters und weiterer Inhalte

### 2.3.2 Menü ‚Berechnung‘

Über das Auswahlmenü ‚Berechnung‘ gelangt der Nutzer zu den einzelnen Verfahren. Der grundsätzliche Ablauf zur Durchführung einer Berechnung ist bei allen Tools identisch:

- ▶ Auswahl der Importdatei (Auswahlfenster)
- ▶ Hochladen der Importdatei (Schaltfläche)
- ▶ Berechnung starten (Schaltfläche)
- ▶ Download der Ergebnisdatei

Je nach Umfang der Bewertungsergebnisse kann der Nutzer aus unterschiedlichen Exportformaten wählen. Wegen der Vielzahl an Ergebnissen werden im Falle von Perlodes die meisten Formate bereitgestellt (Excel/Standard, Excel/Liste, csv und json), während bei Phylib und fiBS jeweils nur zwischen zwei Formaten gewählt werden kann.

Nach Abschluss der Berechnung werden die auf den Server hochgeladenen Daten automatisch gelöscht. Sobald eine neue Berechnung gestartet wird, werden auch die alten Ergebnisdateien gelöscht. Zudem werden einmal täglich (nachts) alle Benutzerverzeichnisse automatisch geleert. Ein Backup von Daten findet nicht statt. Weitere Informationen zu diesem Thema liefern der Anmeldebildschirm und die Datenschutzerklärung.

Im Falle der Berechnung großer Datenmengen besteht bei Perlodes die Möglichkeit, den automatischen Modus (Batch-Betrieb) zu nutzen. Über eine Direktverbindung lässt sich der Server wie eine externe Festplatte verwenden. Importdaten können auf einfache Weise in ein persönliches Eingabeverzeichnis kopiert werden und werden von der Routine automatisch berechnet. Erläuterungen hierzu sind unter Information/Perlodes im Abschnitt Berechnung (Dateiname Kurzanleitung für den Batch-Modus) zu finden.

## 3 Überarbeitung der Diatomeen-Bewertung

### 3.1 Anlass und Zielstellung

Zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) ist eine regelmäßige Überwachung der Flora und Fauna der Gewässer erforderlich. Das aktuelle deutsche Bewertungsverfahren PHYLIB (Schaumburg et al. 2012), das für die Bewertung des ökologischen Zustands von Binnengewässern anhand der biologischen Qualitätskomponente „Makrophyten und Phytobenthos“ entwickelt wurde, sieht in Fließgewässern eine gekoppelte Erfassung und Bewertung der drei Teilkomponenten Makrophyten, Diatomeen und übriges Phytobenthos vor. Die Kieselalgen (Diatomeen) sind dabei diejenige Teilkomponente der benthischen Flora, die bei der Gewässerüberwachung mit der größten Stetigkeit gesicherte Ergebnisse liefert. Das in den Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland als Routine etablierte Monitoring der benthischen Diatomeen unterstützt die Umsetzung der Ziele der Oberflächengewässerverordnung des Bundes (OGewV 2016). Die Ergebnisse der Überwachungsprogramme belegen Erfolge und Defizite im Gewässerschutz.

Der Bewertungsansatz des PHYLIB-Verfahrens umfasst die zwei Module „Nährstoffbewertung“ und „Referenzartensumme (RAS)“. Im Modul „Nährstoffbewertung“ greift das Verfahren naturwissenschaftlich und fachgutachterlich hergeleitete Kenntnisse über die Optima und Toleranzen der Diatomeentaxa entlang des Trophiegradienten auf. In den PHYLIB-Versionen 1.0 bis 6.0 bildeten der Trophieindex nach Rott et al. (1999) und der Saprobienindex nach Rott et al. (1997) wichtige Bausteine des Bewertungsverfahrens, die auf die erfolgreiche Nutzung der Diatomeen als Anzeiger für Gewässerverunreinigungen in Österreich, in den Niederlanden und in Deutschland in den 1990er Jahren aufbauen konnten.

Als Ergebnis einer in Deutschland jetzt seit über 15 Jahren systematisch betriebenen Nutzung der benthischen Diatomeen als Bioindikatoren stofflicher Gewässerbelastungen hat sich der wissenschaftliche Kenntnisstand über die Artabgrenzungen und über die ökologischen Ansprüche und Zeigerwerte der benthischen Diatomeentaxa erheblich erweitert. Seit der Veröffentlichung von Rott et al. (1999) wurden zahlreichen Varietäten Artstatus zuerkannt. So war es folgerichtig, dass jüngst eine umfassende Revision des Trophie- und des Saprobie-Indikationsverfahrens anhand von Algen erfolgte und dabei zahlreiche Aktualisierungen der Namen und Einstufungen der benthischen Diatomeentaxa Österreichs und Deutschlands vorgenommen wurden (Pfister et al. 2016). Für zahlreiche Arten der benthischen Diatomeen wurden sowohl die Trophiewerte (als Kennzeichen des spezifischen Optimalbereichs gegenüber dem Nährstoffangebot) als auch die dazu gehörenden Gewichtungen (als Kennzeichen der Breite der Toleranz gegenüber unterschiedlichen Nährstoffangeboten) verändert. Für mehrere selten nachgewiesene Taxa benthischer Diatomeen wurde durch die Autoren vorgeschlagen, sie wegen ihrer weiten ökologischen Amplitude in Bezug auf die Gesamtposphatkonzentration der Fließgewässer künftig aus dem Trophie-Indikationsverfahren auszuschließen. Einige Diatomeentaxa konnten auf der Basis einer umfassenden Datengrundlage aber auch neu in die Verfahren der Trophie- und der Saprobieindikation aufgenommen werden.

Im Nachgang zu einer Beratung von Anwendern des Bewertungsverfahrens PHYLIB mit der Teilkomponente Diatomeen mit Experten des LAWA-EK „Fließgewässer“ am 05.09.2019 in Berlin wurde dem Umweltbundesamt (UBA) empfohlen, noch im zeitlichen Rahmen der Fertigstellung der Programmierung des PHYLIB-Verfahrens auf einer Online-Plattform die neuen Indizes nach Pfister et al. (2016) in die neue Softwarelösung aufzunehmen. Damit stünde dann für die Fließgewässerbewertung ein effizientes technisches Werkzeug zur Verfügung, das auch dem verbesserten wissenschaftlichen Kenntnisstand über die Diatomeen als Bioindikatoren von Gewässerverschmutzungen gerecht werden würde.

Die Aufgabenstellung wurde durch das UBA aufgegriffen und ein entsprechender Finanzierungsbau-stein als Nachtrag in den Finanzierungsrahmen des F&E-Förderprojekts „Online-Version der Systeme zur biologischen Fließgewässerbewertung“ (FKZ 3716 24 20 90, kurz: UBA Online-Projekt) aufgenom-men.

### 3.2 Material und Methoden

#### 3.2.1 Datenquelle

Die taxonomische und ökologische Grundlage für die Aufnahme der überarbeiteten Trophie- und Sa-probie-Indizes nach Pfister bildete die entsprechende Zusammenstellung im Projektbericht von PFIS-TER et al. (2016) (Tabelle 2). Zu Beginn der aktuellen Überarbeitung wurden die Tabelleninhalte durch Frau Dr. Gabriele Hofmann dem Projekt in Form einer Excel-Tabelle übergeben.

Tabelle 2: Artspezifische Trophie- und Saprobiewerte.

Taxon-Gruppe	Taxon	TROPHE		SAPROBIE	
		TW	G	SW	G
BACILL	<i>Achnanthes coarctata</i>	2,5	0		
BACILL	<i>Achnanthes exigua</i>	2,6	2	2,0	1
BACILL	<i>Achnanthes nodosa</i>			1,0	5
BACILL	<i>Achnanthes oblongella</i>	1,6	0	1,7	2
BACILL	<i>Achnanthes petersenii</i>	0,9	2	1,2	5
BACILL	<i>Achnanthes pusilla</i>	0,6	3	1,2	5
BACILL	<i>Achnanthes trinodis</i>	0,6	4	1,0	5
BACILL	<i>Achnantheidium affine</i>			1,3	5
BACILL	<i>Achnantheidium atomoides</i>	1,8	2	1,4	4
BACILL	<i>Achnantheidium caledonicum</i>	0,5	5	1,0	5
BACILL	<i>Achnantheidium eutrophilum</i>	2,5	1	2,1	1
BACILL	<i>Achnantheidium gracillimum</i>	0,6	3	1,0	5

Quelle: Pfister et al. 2016, S. 33-48

Um eine automatische Identifizierung der Taxa zu ermöglichen, wurde die Liste um eine Spalte er-gänzt, die die Taxa-Codes (DV-Nr.) aus der Bundestaxaliste enthält (siehe Tabelle 3). Die zusätzlich zum Taxonnamen aufgeführten alternativen Bezeichnungen ermöglichen eine Zuordnung zu den in den Datenbanken der Landesämter aktuell noch gebräuchlichen Synonymen.

Tabelle 3: Taxaliste der Diatomeen inkl. DV-Nr. sowie Trophie- und Saprobiewerten nach Pfister et al. (2016) (Auszug aus Gesamtliste).

DV-Nr.	Taxon-Name aktuell	Synonym	TROPHE		SAPROBIE	
			TW	G	SW	G
6278	<i>Achnanthes thermalis</i> (RABENHORST) SCHOENFELDT					
6279	<i>Achnanthes trinodis</i> (W. SMITH) GRUNOW		0,6	4	1,0	5
26095	<i>Achnanthes tristis</i> KRASSKE					
26000	<i>Achnantheidium affine</i> (GRUNOW) CZARNECKI	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>affinis</i> (G			1,3	5
26003	<i>Achnantheidium atomoides</i> MONNIER, LANGE-BERTALOT & ECTOR		1,8	2	1,4	4
26010	<i>Achnantheidium caledonicum</i> (LANGE-BERTALOT) LANGE-BERTALOT	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>scotica</i> (G	0,5	5	1,0	5
26012	<i>Achnantheidium catenatum</i> (BILY & MARVAN) LANGE-BERTALOT	<i>Achnanthes catenata</i> BILY & MARVAN				
26024	<i>Achnantheidium eutrophilum</i> (LANGE-BERTALOT) LANGE-BERTALOT	<i>Achnanthes eutrophila</i> LANGE-BERTALO	2,5	1	2,1	1
26025	<i>Achnantheidium exile</i> (KUETZING) ROUND & BUKHTIYAROVA	<i>Achnanthes exilis</i> KUETZING				
26061	<i>Achnantheidium gracillimum</i> (LANGE-BERALOT) LANGE-BERTALOT	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>gracillim</i>	0,6	3	1,0	5
26062	<i>Achnantheidium inconspicuum</i> (OESTRUP) LANGE-BERTALOT	<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>inconspi</i>				
26037	<i>Achnantheidium kranzii</i> (LANGE-BERTALOT) ROUND & BUKHTIYAROVA	<i>Achnanthes kranzii</i> LANGE-BERTALOT	1,1	2	1,1	1

### 3.2.2 Schwierigkeiten bei der Zuordnung von DV-Nummern und Indikatorwerten

Bei der Implementierung der neuen Trophie- und Saprobiewerte sowie der zugehörigen Gewichtungen in die Software PHYLIB Online 6.0.2 wurde versucht, das in PHYLIB 5.3.0 und PHYLIB Online 6.0 identische, dem Bewertungsverfahren bislang zugrunde liegende Konzept der Kombination zwischen taxonomisch modern abgegrenzten Diatomeentaxa, diesen Taxa in PHYLIB 4.1, PHYLIB 5.3 und PHYLIB 5.3.0 schrittweise neu zugeordneten DV-Nummern (oft 26tausender Nummern, zuletzt auch einige 36tausender Nummern) und den diesen insoweit eineindeutig beschriebenen Taxa jeweils zugewiesenen ökologischen Einstufungen weitestgehend zu folgen.

Der datenbanktechnisch unternommene Versuch einer Zuordnung von DV-Nummern zu den Taxonnamen war nur mäßig erfolgreich und blieb unvollständig. Probleme bereiteten u. a. die an die Taxabezeichnungen angefügten Autorennamen. So ließen sich im ersten Arbeitsschritt nur etwa 90 % der Diatomeentaxa aus dem PFISTER-Berichts mit DV-Nummern verknüpfen. Für die restlichen Taxanamen (58 von knapp 600) war eine taxonomisch-ökologische Einzelfallbetrachtung erforderlich.

Die Schwierigkeiten bei der Zuordnung der DV-Nummern betrafen sowohl übergeordnete Taxa auf Genus- oder Species-Niveau (Gruppen, Sippen) als auch Subspecies, Varietäten bzw. Formae. Die Überprüfung der automatisch erfolgten Zuordnungen ergab, dass Fehler auftraten, die u. a. durch unterschiedliche Schreibweisen der Namen verursacht wurden. Daher wurden letztlich beide Indikatorenlisten der Anlagen 1 und 2 in Pfister et al. (2016) für die angestrebte Zuordnung der neuen Indikatorwerte (Trophie und Saprobie) Taxon für Taxon anhand der Diatomeen-Namen einzeln überprüft, ggf. in der Indikatorenliste für die Software PHYLIB Online 6.0.2 ergänzt, und dann zu jedem Taxon die zugehörige DV-Nummer aus der Desktopversion PHYLIB 5.3.0 übertragen.

Aufgrund der Unterschiede in den Bezeichnungen der Taxa war die Übertragung der neuen Indikatorwerte auf Synonyme ebenfalls nur mittels Einzelfallprüfungen möglich. Wichtige taxonomisch-ökologische Grundlagen hierfür bildeten die Angaben der Synonyme in Pfister et al. (2016) (Tabelle 8) und die Synonyme mit ihren bisher gültigen ökologischen Attributierungen in der Desktopversion PHYLIB 5.3.0 (Datum vom 16.02.2016). Es wurde angestrebt, dass wie bisher Bestimmungsergebnisse von 6 bis 12 Jahre alten Diatomeenproben in die zu aktualisierende Software eingelesen und ökologisch bewertet werden können.

Wie bisher in PHYLIB 5.3.0 üblich, wurde früheren Sammelarten (mit überwiegend 36tausender DV-Nummern) und Gattungen in der Taxaliste der Indikatoren der überarbeiteten Indizes keine neuen Indikatorwerte (Trophie- und Saprobiewert sowie Gewichtungen) zugeordnet. Das betraf ausdrücklich auch einige „Taxa“ (Zeilen) der Anhänge 1 und 2 in Pfister et al. (2016), die nicht für PHYLIB geeignete Kombinationen aus einer DV-Nummer und einem Taxonnamen enthalten. Vorsicht war insbesondere bei der Übernahme von Indikatorwerten für Taxa geboten, die in den Anhängen 1 und 2 in PFISTER et al. (2016) mit 36tausender DV-Nummern angegeben waren. Unterschiede zwischen den datentechnischen Codierungskonzepten und den dazu gehörigen Namenszuordnungen in Pfister et al. (2016) einerseits und der Software PHYLIB 5.3.0 andererseits wurden durch fachgutachterliche Entscheidungen gelöst, um die neuen Trophiewerte und Saprobiewerte unter Beachtung der auch für PHYLIB 6.0 beachteten PHYLIB-Taxonomie-Regeln zuzuordnen.

### 3.2.3 Implementierung der neuen Indizes in das Online-Tool

Die Berechnungen des Trophieindex (TI) und des Saprobieindex (SI) nach PFISTER wurden vom Planungs- und Beratungsbüro chromgruen (Velbert) in das Online-Tool PHYLIB 6.0 integriert. Dazu wurde im verwendeten Versionsmanagementsystem Mercurial zur testweisen Implementierung der Bewertung der Diatomeenfauna in Fließgewässern nach Phylib mit dem von PFISTER abgeleiteten Trophie- und Saprobieindex ausgehend von der aktuellen Auslieferung ein Zweig „pfister“ erzeugt, in dem die erforderlichen Änderungen vorgenommen wurden. Dieser kann nach formeller Entscheidung über

die Übernahme der entsprechenden Änderungen ohne größeren Aufwand mit dem Hauptzweig („default“) zusammengeführt werden. Bis dahin ist auf der Online-Plattform nur der Hauptzweig aktiv.

Die Anwendung PHYLIB 6.0 wurde dahingehend mit den folgenden Spezifikationen zu PHYLIB 6.0.2 erweitert:

Überführung der Trophie- und Saprobiewerte nach PFISTER (jeweils samt Gewichtungen) in die Datenbank (Auszug siehe Tabelle 5: Anzahl der Datensätze von Diatomeenproben und dazugehörigen Jahresmittelwerten der Gesamtphosphorkonzentration.

- ▶ );
- ▶ Berechnung des TI-NEU und des SI-NEU (mittels des Zugriffs auf die in der Datenbank neu hinterlegten Indikatorwerte nach Pfister);
- ▶ Ermöglichung des Einlesens von Gesamtphosphor- und ortho-Phosphat-Werten mittels einer entsprechend erweiterten Phylib-Importdatei;
- ▶ Berechnung der folgenden, zusätzlichen Metrics:
  - Bewertung Diatomeen - NEU
  - Bew. Diatomeen (dezimal) - NEU
  - Index Diatomeen - NEU
  - Trophieindex (umger.) D – NEU
  - Trophieindex D – NEU\_EXPAND
  - Trophieindex D – NEU
  - Saprobienindex (umger.) D – NEU
  - Saprobienindex D – NEU\_EXPAND
  - Saprobienindex – NEU
  - TI-Klasse – NEU
  - SI-Klasse – NEU
  - SI-Anzahl – NEU
  - TI-Anzahl – NEU
- ▶ Ausgabe der eingelesenen Gesamtphosphor- und ortho-Phosphat-Werte bei den Bewertungsergebnissen und den Taxa.

Die jeweils mit „NEU“ gekennzeichneten Werte wurden basierend auf den neuen Trophie- und Saprobienindizes berechnet. In der durch das Online-Tool PHYLIB 6.0.2 erzeugten Exportdatei wurden zusätzliche Spalten der neuen Indizes rechts neben den bestehenden Ausgabespalten der Version PHYLIB 6.0 angefügt.

### 3.2.4 Praxistest der neuen Indizes

#### 3.2.4.1 Ziele des Praxistests

Die erweiterte Anwendung PHYLIB Online 6.0.2 (DEMO) wurde genutzt, um einen Praxistest der Bewertung der Teilkomponente Diatomeen durchzuführen. Das Ziel dieses Tests bestand darin, die Anwendungsreife der beiden neuen Indizes und die Leistungsfähigkeit der gegenüber PHYLIB 6.0 inhaltlich und kapazitiv erweiterten Online-Anwendung PHYLIB 6.0.2 (DEMO) zu überprüfen.

#### 3.2.4.2 Testdatensatz

Die Online-Anwendung PHYLIB 6.0 wurde für den Einsatz in allen Bundesländern konzipiert. Ein Praxistest der um die neuen Indizes erweiterten Software sollte daher einen großen Datenumfang aus möglichst vielen Bundesländern umfassen. Ein Test der Anwendung PHYLIB Online 6.0.2 (DEMO) wäre theoretisch anhand der Diatomeen-Daten des ACP-Projekts der LAWA möglich gewesen. Die Nut-

zung dieser „historischen“ Daten erschien jedoch aus zwei fachlichen Gründen nicht optimal. Zum einen lag der LAWA-ACP-Datensatz in vollem Umfang den Überarbeitungen der Trophie- und Saprobiewerte durch PFISTER zugrunde. Der Test mit diesen Daten hätte wegen inhaltlicher Zirkelschlüsse eine zu optimistische Abhängigkeit des Trophieindex von der Gesamtposphorkonzentration der im ACP-Projekt berücksichtigten Messstellen ergeben. Zum anderen hat sich die taxonomische Bestimmungstiefe der Teilkomponente Diatomeen in den zurückliegenden Jahren seit der Datensammlung für das LAWA-ACP-Projekt erhöht. Die taxonomischen Grundlagen für die Bioindikation der Trophie und der Saprobie von Fließgewässern wurden nach 2010 verbessert. Zahlreiche Diatomeen-Gattungen wurden in den zurückliegenden 20 Jahren revidiert, Artkonzepte wurden verändert und die „modernen Taxa“ sind jetzt mit neuer Bestimmungsliteratur (z. B. Hofmann et al. 2011) und ergänzender Fachliteratur wesentlich sicherer und genauer bestimmbar als noch im Zeitraum zwischen 2004 und 2008, also zur Zeit der Bestandsaufnahmen für den ersten Bewirtschaftungszyklus der EG-WRRL (2009 bis 2015). Ab dem Jahr 2011 bestimmte Diatomeenproben sind taxonomisch betrachtet als „moderne“ Datensätze den „junghistorischen“ Datensätzen bis 2010 gegenüber zu stellen. Aktuelle Diatomeen-Daten bilden aus Sicht der Bearbeiterin eine verbesserte Grundlage für die Berechnung moderner Indizes. Für einen statistisch von den Eichdaten unabhängigen Anwendungstest der neuen Indizes erfolgte deshalb Anfang Mai 2020 ein Aufruf an die Fließgewässerexperten der Bundesländer mit der Bitte, Daten mit Ergebnissen moderner Diatomeen-Bestimmungen der letzten Jahre und abiotischen Begleitinformationen zu den Messstellen, insbesondere zur Gesamtposphor-Konzentration zur Verfügung zu stellen. Das auf diese Weise zusammengetragene Datenmaterial bestand aus insgesamt 4.263 Diatomeen-Proben aus 8 Bundesländern (Tabelle 4). Den LAWA-Fließgewässerexpertinnen und -experten sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im Fachbeirat Diatomeen-Bewertung gebührt für die schnelle und umfangreiche Datenlieferung ein großes Dankeschön!

Tabelle 4: Anzahl der Datensätze von Diatomeenproben und dazugehörigen Jahresmittelwerten der Gesamtposphorkonzentration.

Bundesland	Datum Dateneingang	Anzahl Datensätze von Diatomeenproben	Anzahl Proben mit Angaben von Jahresmittelwerten der Gesamt-Phosphor-Konzentration (TP)
Hessen	07.05.2020	97	97
Nordrhein-Westfalen	15.05.2020	2.025	1.472
Niedersachsen	19.05.2020	36	36
Mecklenburg-Vorpommern	19.05.2020	684	684
Schleswig-Holstein	19.05.2020	148	148
Brandenburg	25.05.2020	424	164
Sachsen	26.05.2020	533	466
Thüringen	27.05.2020	316	298
<b>Summe</b>	<b>8 Bundesländer</b>	<b>4.263</b>	<b>3.365</b>

Anmerkung: Enthalten sind nur die am ad hoc-LAWA-Praxistest von PHYLIB 6.0.2 beteiligten Bundesländer.

### 3.3 Ergebnisse

#### 3.3.1 Liste der Indikatoren

In Anhang 3-1 (Auszug siehe Tabelle 6) sind die für die Bewertung im PHYLIB-Modul „Nährstoffbewertung“ in der Online-Software PHYLIB 6.0.2 eingestufteten Indikatortaxa der benthischen Diatomeen mit den neuen, auf Pfister et al. (2016) zurückzuführenden Trophiewerten und Saprobiewerten und den dazugehörigen Gewichtungen aufgeführt. Taxonnamen, die als Synonyme gelten, sind darin durch die Angabe der DV-Nr. des jeweils gültigen Taxonnamens gekennzeichnet. Diatomeentaxa, die zwar

aufgeführt, denen aber keine Trophie- und Saprobiewerte zugeordnet sind, sind in der Online-Software PHYLIB 6.0.2 nicht als Indikatortaxa zur Ermittlung von Trophie- und Saprobienindex nach Pfister et al. (2016) eingestuft.

Außer den im Anhang 3-1 aufgeführten benthischen Diatomeentaxa ohne Indikationswerte kommen in Deutschland noch mehrere Hundert weitere Taxa benthischer Diatomeen vor, denen Pfister et al. (2016) aus Gründen mangelnder Sicherheit der Kenntnisse ihrer ökologischen Ansprüche, selbst nach Nutzung der Möglichkeit der Ergänzung der Indikatorenlisten durch Experten basierte Einstufungen, noch keine Trophiewerte und Saprobiewerte zugeordnet hatten. Diese im Anhang 3-1 nicht enthaltenen Taxa werden bei der Überwachung der Fließgewässer in Deutschland selten gefunden oder sie wurden in diesem Zusammenhang in deutschen Fließgewässern überhaupt noch nicht nachgewiesen. Hierunter fallen z. B. sehr viele Arten nährstoffarmer Seen und sehr viele Arten huminstoffreicher Tümpel in Flussauen und Mooren. Bevor solche bislang selten oder überhaupt nicht bei der Fließgewässerüberwachung gemäß EG-WRRL (2000/60/EG) und OGewV (2016) gefundenen Diatomeentaxa als Kandidaten zur Aufnahme in die Indikationsverfahren der Trophie und Saprobie näher in Betracht gezogen werden können, bedürfte es weiterer Untersuchungen ihrer potenziellen Indikatoreigenschaften.

Tabelle 5: Anzahl der Datensätze von Diatomeenproben und dazugehörigen Jahresmittelwerten der Gesamtposphorkonzentration.

DV-Nr.	Taxon-Name aktuell	Synonym zu DV-Nr.	SW	SW-Gewichtung	TW	TW-Gewichtung
6699	<i>Achnanthes altaica</i> (PORETZKY) CLEVE-EULER	26001	1,5	1		
6139	<i>Achnanthes biasolettiana</i> var. <i>biasolettiana</i> GRUNOW	26005	1,4	4	1,1	2
16106	<i>Achnanthes biasolettiana</i> var. <i>subatomus</i> LANGE-BERTALOT	26006	1,7	4	1,6	3
6835	<i>Achnanthes bioretii</i> GERMAIN	16608	1,9	2	1,9	0
16107	<i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>brevipes</i> C.AGARDH					
16528	<i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>intermedia</i> (KUETZING) CLEVE					
16664	<i>Achnanthes caledonica</i> LANGE-BERTALOT	26010	1,0	5	0,5	5
6180	<i>Achnanthes clevei</i> var. <i>clevei</i> GRUNOW	16894	2,0	2	2,6	2
6247	<i>Achnanthes coarctata</i> (BREBISSON) GRUNOW				2,5	0
6855	<i>Achnanthes conspicua</i> MAYER	26015	2,1	2	2,7	1
16110	<i>Achnanthes curtissima</i> CARTER					
16111	<i>Achnanthes daonensis</i> LANGE-BERTALOT	26016	1,2	3	1,8	5
6248	<i>Achnanthes delicatula</i> var. <i>delicatula</i> (KUETZING) GRUNOW	26018	2,3	1	3,0	3
16112	<i>Achnanthes delicatula</i> var. <i>engelbrechtii</i> (CHOLNOKY) LANGE-BERTALOT					
16872	<i>Achnanthes eutrophila</i> LANGE-BERTALOT	26024	2,1	1	2,5	1
6986	<i>Achnanthes exigua</i> GRUNOW		2,0	1	2,6	2

Gesamtliste siehe Anhang 3-1

### 3.3.2 Praxistest des ersten Bewertungsdurchlaufs

#### 3.3.2.1 Rohdaten

Es wurden folgende Datengrundlagen verwendet:

- ▶ 3.548 Nachschlagewerte mit taxaspezifischen Indexwerten
- ▶ 4.260 Diatomeenproben von 3.502 Messstellen im Importformat des Programms Phylib 5.3.0

Diese Daten wurden in die von Phylib Online 6.0.2 verwendete Datenbank importiert. Von den 4.260 Diatomeenproben konnten 4.257 mit Messstellen verknüpft werden. Folgende Kombinationen zwischen Proben und Messstellen konnten nicht in PHYLIB Online 6.0.2 verarbeitet werden (Ursachen wurden nicht geklärt).



Tabelle 6: Taxa mit fehlenden Importmöglichkeiten nach in die Anwendung PHYLIB Online 6.0.2.

Bundesland	Messstelle	Probe
Thüringen	TH_733643	28234
Mecklenburg-Vorpommern	MV_MILDEN_19	MILDEN_19_2014
Mecklenburg-Vorpommern	MV KIPTEE 1	KIPTEE 1 2014

### 3.3.2.2 Importverhalten

#### Verarbeitung von Messstellendaten

Von den 4.257 Proben, die mit Messstellen verknüpft waren, konnte eine Probe nicht berechnet werden (Messstelle „NI\_49472037\_OHZ\_188“, Probe „49472037\_OHZ\_188\_20180827\_0900“). Grund hierfür war, dass die Probe im Feld ‚Deckungsgrad‘ den unzulässigen Eintrag „BMT ohne Deckungsgrad“ enthielt.

#### Verarbeitung von Taxadaten

Die für den Test aufgebaute PHYLIB Online 6.0 Importdatei (Eingabedatei) enthielt 184.114 Taxabefunde für 1.171 verschiedene Diatomeen-Namen. Die verwendeten Diatomeen-Namen sind zum großen Teil die derzeit nomenklatorisch gültigen Namen, zu einem kleineren Teil, wie es für den Test erhofft und erwartet wurde, waren aber auch verschiedene, in der Praxis vor einigen Jahren und z. T. noch heute verwendete Synonyme unter den Bezeichnungen der Taxa. Taxonomische Befunde von Diatomeen können also nach wie vor auch anhand zahlreicher in Deutschland derzeit noch gebräuchlicher Synonyme weitestgehend (fast vollständig) in die Software importiert werden.

In der Ausgabedatei sind 183.477 Taxafunde mit 1.127 verschiedenen Kombinationen aus DV-Nr. und Taxonnamen enthalten. Somit konnten nur 44 „Diatomeentaxa“, die in Tabelle 7 aufgeführt sind, weder auf der Basis ihrer DV-Nr. noch anhand des aus den Datenbanken der Länderbehörden stammenden Taxonnamens in die Anwendung importiert werden. Damit konnten diese taxonomischen Ausnahmefälle auch im weiteren Prozess der Test-Berechnungen der Indizes nicht mitverarbeitet werden.

Tabelle 7: Taxa mit fehlenden Importmöglichkeiten nach in die Anwendung PHYLIB Online 6.0.2.

DV-Nr.	Taxon	Fehlerursache
6886	Eunotia arcus	unklar
6856	Neidium binodis	unklar
6231	Thalassiosira lacustris	planktisch
16071	Pinnularia pulchra var. pulchra	unklar
6937	Thalassiosira weissflogii	planktisch
36205	Pinnularia undulata	unklar
6592	Nitzschia gessneri	unklar
6525	Navicula pseudanglica	unklar
26393	Frustulia marginata	unklar
26319	Encyonema vulgare	unklar
6151	Pinnularia bertrandii	Neophyt
6967	Navicula gastrum	unklar
16822	Brockmanniella brockmannii	unklar
26430	Gomphonema pumilum var. rigidum,	Komma am Ende zu viel
26056	Achnanthidium linearoides	Schreibweise falsch, stammt aus PHYLIB 1.0 - 3.6. Korrekt und aktuell ist: Achnanthidium linearoides (ein i vor dem o)
16845	Plagiogramopsis vanheurckii	marin

DV-Nr.	Taxon	Fehlerursache
6914	Bacillaria paxillifer	Schreibweise falsch, stammt aus PHYLIB 1.0 - 3.6. Korrekt und aktuell ist: Bacillaria paxillifera
16624	Delphineis minutissima	marin
6972	Nitzschia rhombicolancettula	unklar
6376	Eunotia septentrionalis	unklar
6139	Achnanthes biasolettiana var. Biasolettiana	Schreibweise falsch, Korrekt wäre var. biasolettiana
6806	Nitzschia fruticosa	planktisch
6165	Amphora minutissima	unklar
26698	Nitzschia vermicularioides	Schreibweise falsch, Korrekt wäre: Nitzschia vermicularioides (ohne i vor dem o)
26261	Delphineis surirelloides	marin
16793	Hippodonta subtilissima	unklar
6943	Cyclostephanos dubius	planktisch
6998	Eunotia cisalpina	unklar
26120	Caloneis amphisbaena f. subsalina	unklar
6942	Stephanodiscus	planktisch
26162	Cymbella excisa var. procera	unklar
6030	Achnanthes lanceolata	unklar
6165	Amphora lange-bertalotii var. tenuis	unklar
16812	Rhaphoneis amphiceros	Schreibweise falsch, Korrekt wäre: Raphoneis amphiceros
6797	Aulacoseira	planktisch
6009	Stephanodiscus hantzschii	planktisch
6947	Halamphora	unklar
6998	Eunotia neoscandinavica	unklar
16098	Thalassiosira pseudonana	planktisch
16873	Gomphonema cf. innocens	Schreibweise falsch, Korrekt wäre: Gomphonema innocens. Die Angabe cf. erfolgt in separater Spalte
6952	Surirella splendida	unklar
16683	Achnanthes linearoides	Schreibweise falsch, stammt aus PHYLIB 1.0 - 3.6. Korrekt und aktuell ist: Achnanthes linearioides (ein i vor dem o)
36246	Amphora minutissima	unklar
6410	Fragilaria ulna angustissima - Sippen	unklar

### Verarbeitung von Probandensätzen

Probleme, die zu Programmfehlern führten, wurden nicht festgestellt. Sonstige Probleme sind in der Ausgabedatei analog zum Desktop-Programm Phylib 5.3.0 dokumentiert. Da aufgrund fehlender Makrophyten- und PoD-Daten zu jeder Probe eine Meldung erfolgte, wurden die auf die Teilkomponente Diatomeen bezogenen Meldungen entsprechend extrahiert.

### **3.3.2.3 Laufzeitverhalten der Anwendung und Datenausgabe**

Nach Implementierung der o. g. Funktionalitäten wurden die entsprechenden Berechnungen mit den bereitgestellten Testdaten durchgeführt. Die Testdatei mit 4.260 Proben und 184.115 Taxabefunden konnte bis auf den Datenverlust der 44 nicht definierten Kombinationen aus DV-Nr. und Taxonnamen problemlos eingelesen werden.

Die Performanz der Anwendung zeigte sich wie folgt:

- ▶ Datenimport: 58 Sekunden
- ▶ Berechnung: 10 Sekunden
- ▶ Datenexport:
  - Blatt Ergebnisse (4.256 Zeilen): 6 Sekunden
  - Blatt FAQHYD (4.256 Zeilen, kodiert, ohne „neue“ Werte): 8 Sekunden
  - Blatt Taxa (183.292 Zeilen): 19 Sekunden

Die erzeugte PHYLIB-6.0.2-Exportdatei des Testdatensatzes aus 8 Bundesländern hat eine Größe von 22,8 Megabyte.

### 3.3.2.4 Änderungen im Bewertungsergebnis NEU vs. ALT

#### 3.3.2.4.1 Gewählter Ansatz für den Vergleich

Um die neuen Diatomeen-Indizes TI-NEU und SI-NEU nach PFISTER et al. im Bewertungsverfahren PHYLIB als Ersatz für den Trophieindex nach Rott et al. (1999) und den Saprobienindex nach Rott et al. (1997) verwenden zu können, müssen entweder alle Klassengrenzen des PHYLIB-Verfahrens umgerechnet (abgesenkt) oder die primär errechneten neuen Indizes müssen umgerechnet (expandiert) werden. In vorliegendem Bericht wurde einer Expansion der primären Indizes der Vorzug gegeben, weil dadurch

- ▶ kein Eingriff in die gerade frisch programmierte und anwendungsreife Anwendung PHYLIB 6.0 erforderlich wurde und
- ▶ alle Klassengrenzen der OGewV (2016) beachtet wurden, also unverändert fort gelten.

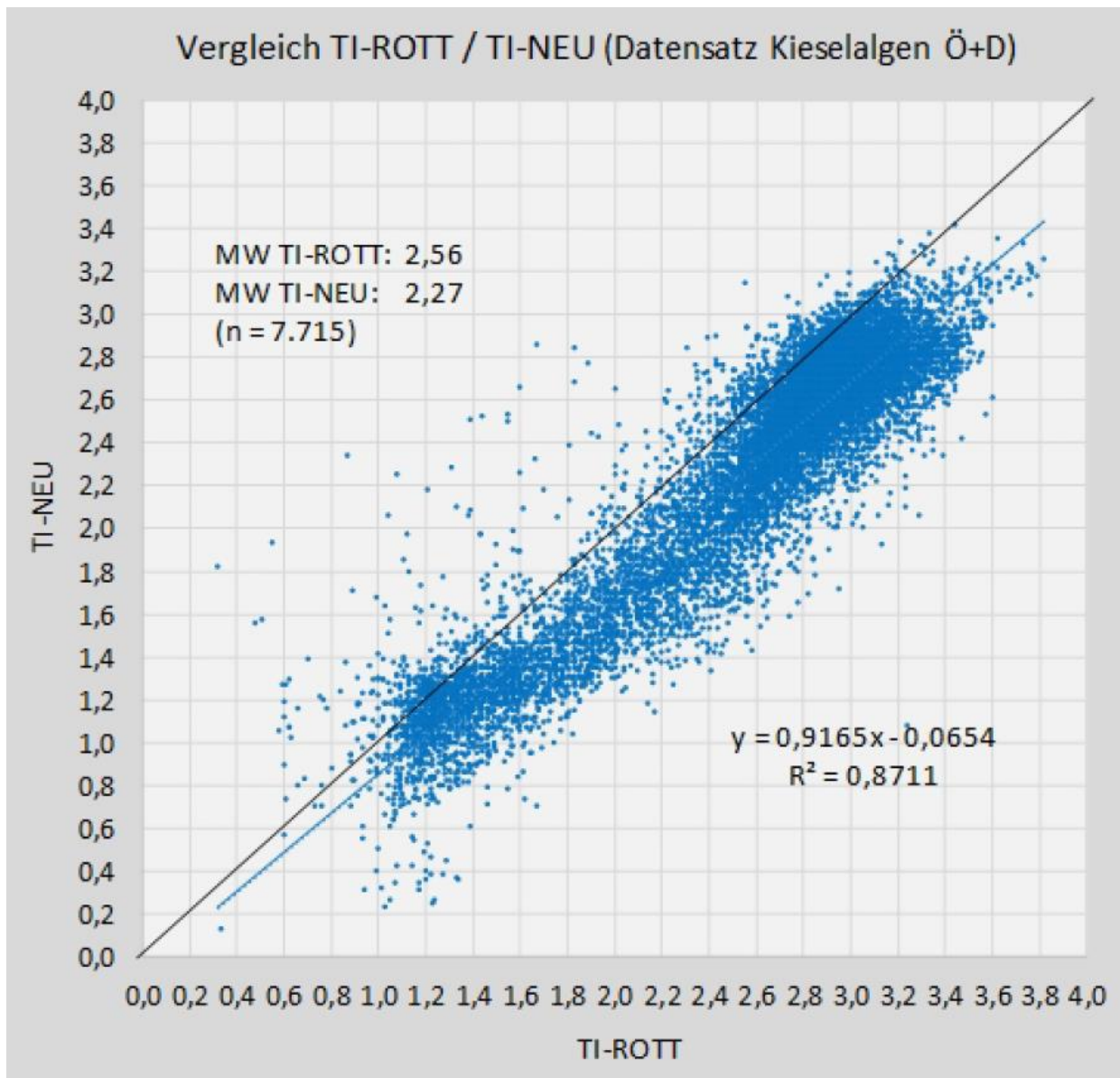
Die Expansion der primär in der Skalierung nach Pfister et al. (2016) berechneten neuen Indizes dient dem Zweck, die Werte dieser neuen Indizes im statistischen Mittel in exakt die gleichen Skalen zu überführen, in der sich die alten Indizes bewegen: TI = 0,3 bis 3,9; SI = 1,0 bis 4,0. Erst durch die statistische Anhebung des TI-NEU und die geringfügige Absenkung des SI-NEU werden Unterschiede zwischen den alten und neuen Indizes an einer betrachteten Messstelle direkt quantifizierbar und interpretierbar.

Pfister belegt den Zusammenhang von einer Absenkung der neuen gegenüber dem alten Trophieindex. Wie aus Abbildung 1 (Screenshot aus Pfister et al 2016) zu entnehmen fällt der neue Index systematisch niedriger aus (Steigung etwa 0,92, Absenkung etwa 0,06 Einheiten). Ein Wert des TI-NEU (nach Pfister) von 1,00 entspräche demnach einem TI-ALT (Skala nach Rott) von etwa 1,20.

Die Umrechnung des TI-NEU in die Skala des TI-ALT erfolgt in der Anwendung PHYLIB Online 6.0.2 durch eine Expansionsgleichung und es werden beide Werte, der originale Pfister-Trophieindex und der auf die Rott-Skala expandierte Pfister-Index exportiert. Die Expansionsgleichung wurde aufgestellt durch eine mathematische Umstellung der von Pfister et al. (2016) angegebenen Expansionsgleichung mit dem Ziel  $TI-NEU_{EXP} = TI-ROTT$  durch einen Ersatz des TI-ROTT durch TI-NEU\_EXP und eine Umstellung nach TI-NEU\_EXP (Klassische Expansion, classical deshrinking). Es ergibt sich danach aus den in Abbildung 1 angegebenen Koeffizienten folgende Expansionsgleichung:

$$TI - NEU_{EXP} = \frac{TI - NEU + 0,0654}{0,9165}$$

Abbildung 1: Zusammenhang des Trophieindex der Algenaufnahmen in den Systemen ROTT und NEU.

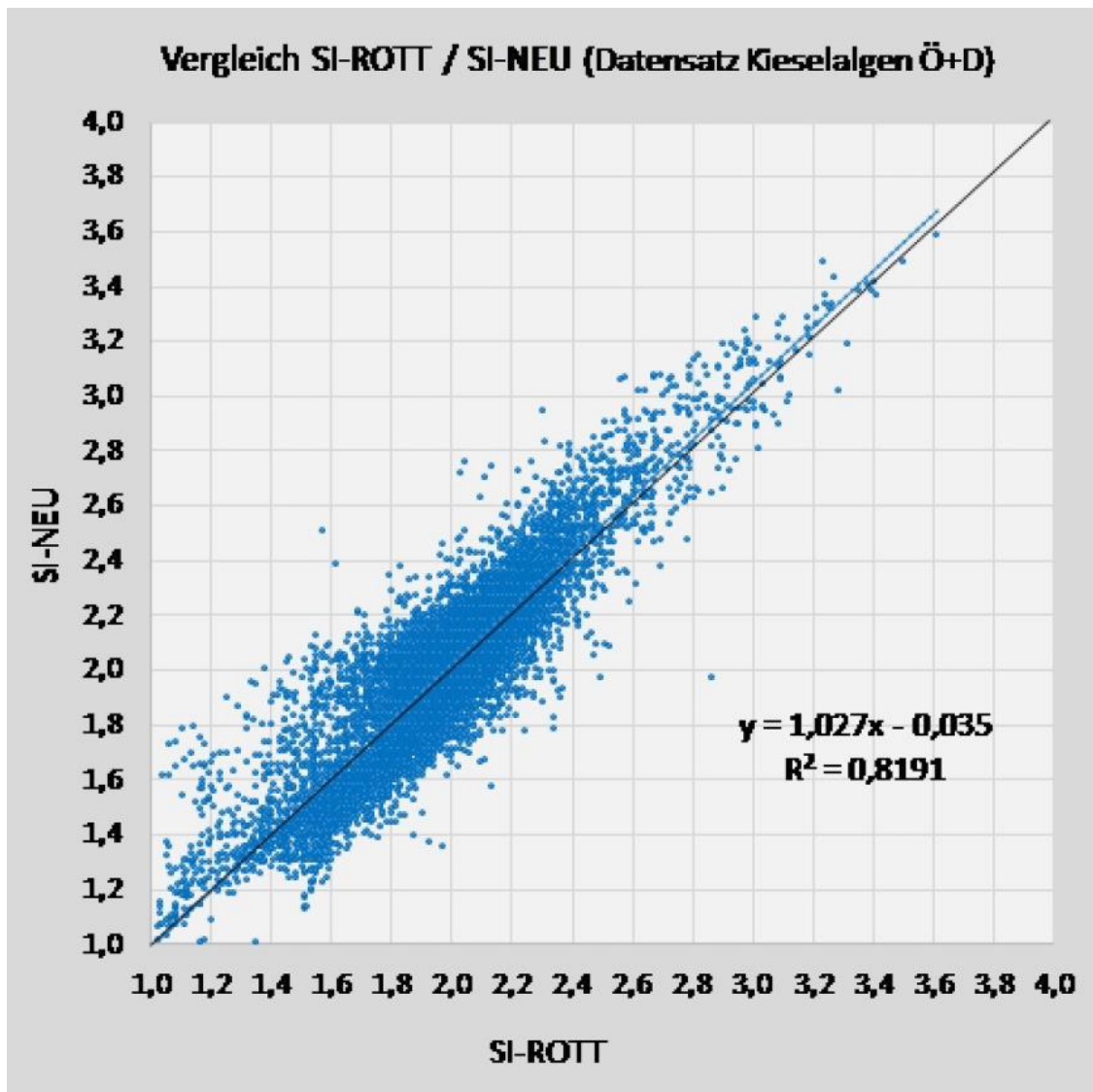


Quelle: Pfister et al. 2016, S. 54

Analog wurde der Saprobitätsindex nach Pfister et al. (2016), der im Spaltenkopf der Exportdatei von PHYLIB Online 6.0.2 nach wie vor als „Saprobienindex“ bezeichnet wird, nach der in Abbildung 2 (Screenshot aus Pfister et al. 2016), angegebenen Gleichung transformiert. Der neue Saprobienindex (korrekt wäre nach den Begründern Kolkwitz & Marsson die Schreibweise „Saprobienindex“, gewichteter Mittelwert der Saprobien) fallen nicht geringer, sondern geringfügig höher aus als die alten und erfordern nur eine geringe Korrektur nach der folgenden Transfergleichung:

$$SI - NEU_{EXP} = \frac{SI - NEU + 0,035}{1,027}$$

Abbildung 2: Zusammenhang der Saprobitätsindizes der Algenaufnahmen in den Systemen ROTT und NEU.

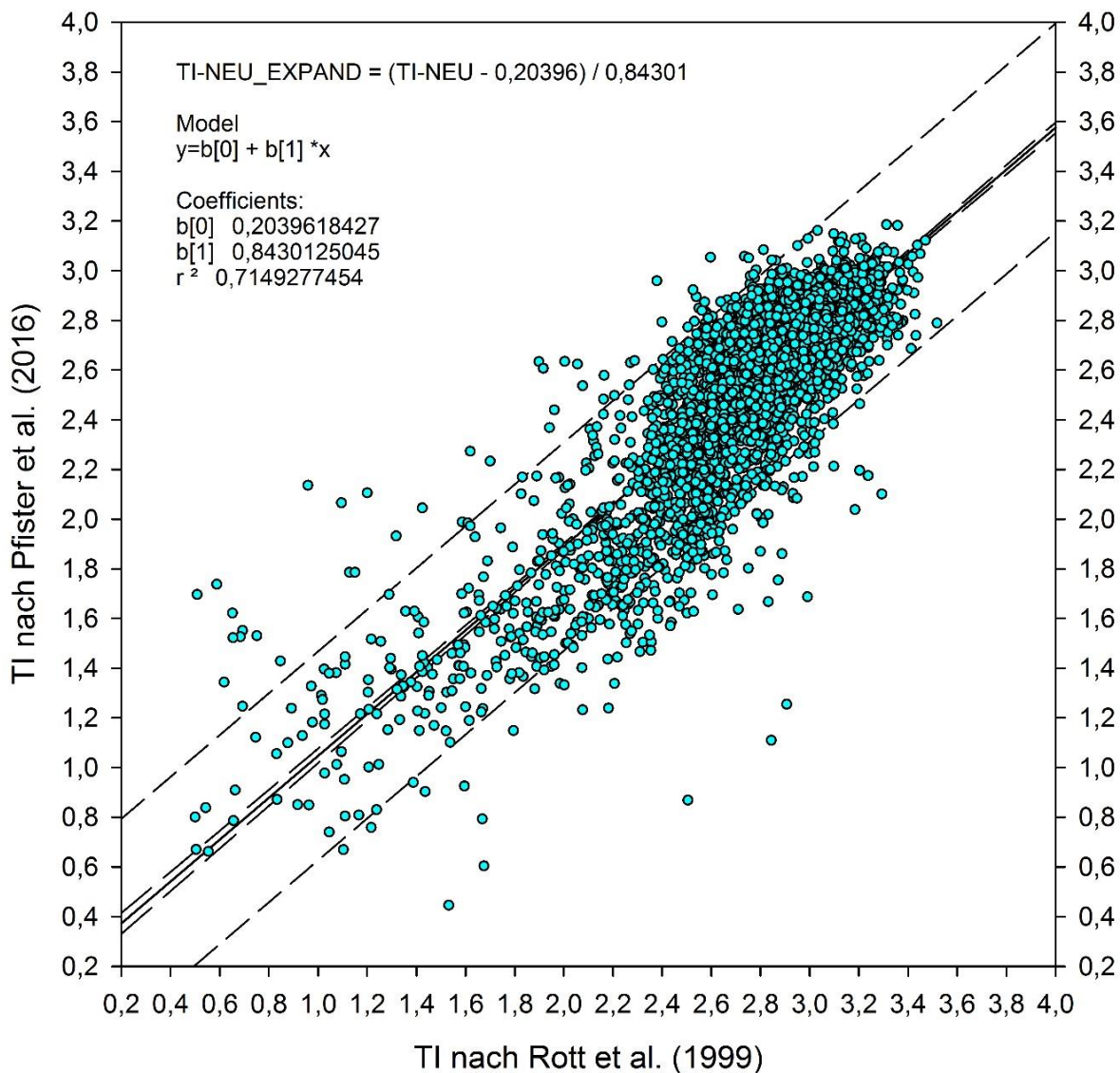


Quelle: Pfister et al. 2016, S. 61

#### 3.3.2.4.2 Statistischer Vergleich TI-NEU vs. TI-ALT

Auch im LAWA-Testdatensatz PHYLIB Online 6.0.2 fällt der nach Pfister et al. (2016) berechnete Trophieindex im statistischen Mittel niedriger aus als der Index nach Rott et al. (1999). Abweichend zum Gesamtdatensatz Österreich-Deutschland fehlt im LAWA-Testdatensatz PHYLIB 6.0.2 eine Häufung von Trophieindizes nach beiden Ansätzen im oligotrophen Bereich  $TI = 1,0$  bis  $1,4$ . Die PHYLIB Online 6.0.2-Testdaten sind also entlang des betrachteten Umweltgradienten „Trophie“ (abgebildet über  $\ln TP$ ) keineswegs gleichmäßig verteilt. Durch dieses Artefakt bedingt wären Ergebnisse eines unmittelbaren Vergleichs der Regression nach Pfister et al. (2016) und der hier vorliegenden Studie nicht gesichert. Es erscheint daher zulässig und angesichts des Fehlens alpiner Datensätze im LAWA-Testdatensatz PHYLIB Online 6.0.2 auch fachlich geboten, für die Anwendung des TI-NEU in PHYLIB die Expansion der TI-NEU in TI-NEU\_EXPAND nach den in Pfister et al. (2016) angegebenen Expansionskoeffizienten vorzunehmen und nicht nach den Expansionskoeffizienten der nachstehenden Abbildung (Abbildung 3).

Abbildung 3: Scatterplot des Trophieindex nach Pfister (neu) im Vergleich zu Rott (alt).



Anmerkung: Regression einschließlich 95 %-Vertrauensintervallen der Regressionsgerade (inneres Band) und der Einzelwerte (äußeres Band). Alle Indizes wurden für die Diatomeenproben des LAWA-Testdatensatzes mit der Anwendung PHYLIB Online 6.0.2 berechnet.

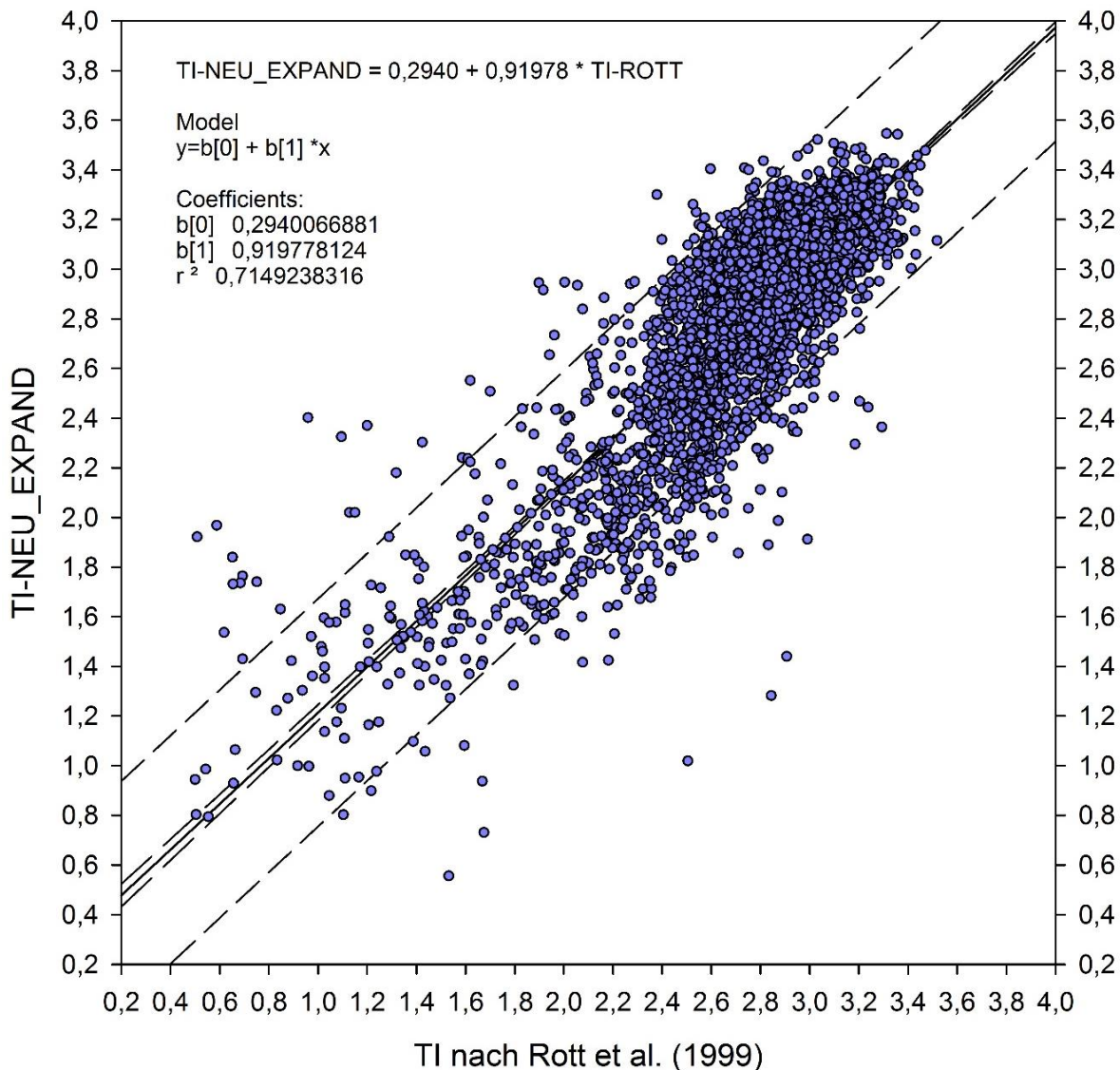
### 3.3.2.4.3 Statistischer Vergleich TI-NEU\_EXP vs. TI-ALT

Nach der Expansion der TI-NEU unter Anwendung der von PFISTER et al. (2016) angegebenen statistischen Zusammenhänge fällt jetzt wieder eine größere Anzahl Proben in den besonders bewertungs- und maßnahmenrelevanten Bereich mit Indexwerten zwischen 3,15 und 3,6 (Abbildung 4). Auch im oligotrophen Bereich ist eine Anhebung der Indexwerte durch den Expansionsschritt festzustellen.

Da im oligotrophen und oligo-mesotrophen Bereich eine besonders starke Streuung zwischen dem TI-ROTT und dem TI-NEU\_EXPAND auffällt, ist für diesen Bereich zu schlussfolgern, dass die Überarbeitungen der Trophiewerte durch Pfister et al. (2016) hier besonders wirkungsvoll sind. Deshalb ist aus fachlicher Sicht ein Praxistest der neuen Indizes auch anhand eines großen Datensatzes von Proben aus in der Referenz oligotrophen Fließgewässerlandschaften Bayerns, Baden-Württembergs, Hessens und Niedersachsens zu empfehlen. Eine solche Erweiterung würde erheblich zu einer Verdichtung verfügbarer Probandatensätze aus oligotrophen und oligo-mesotrophen Fließgewässern beitragen kön-

nen. Auch eine mögliche weitergehende Überprüfung der Indikatorwerte der Diatomeentaxa unter Bezugnahme auf die (logarithmierte) Gesamtphosphorkonzentration als „Master-Variable“ würde erst auf der Grundlage eines um Diatomeenproben aus alpinen, präalpinen, montanen und silikatisch-planaren Fließgewässern einen praxisrelevanten Erfolg versprechen.

Abbildung 4: Scatterplot des auf die Skala nach Rott expandierten Trophieindex nach Pfister (neu) im Vergleich zum Trophieindex nach Rott (alt).



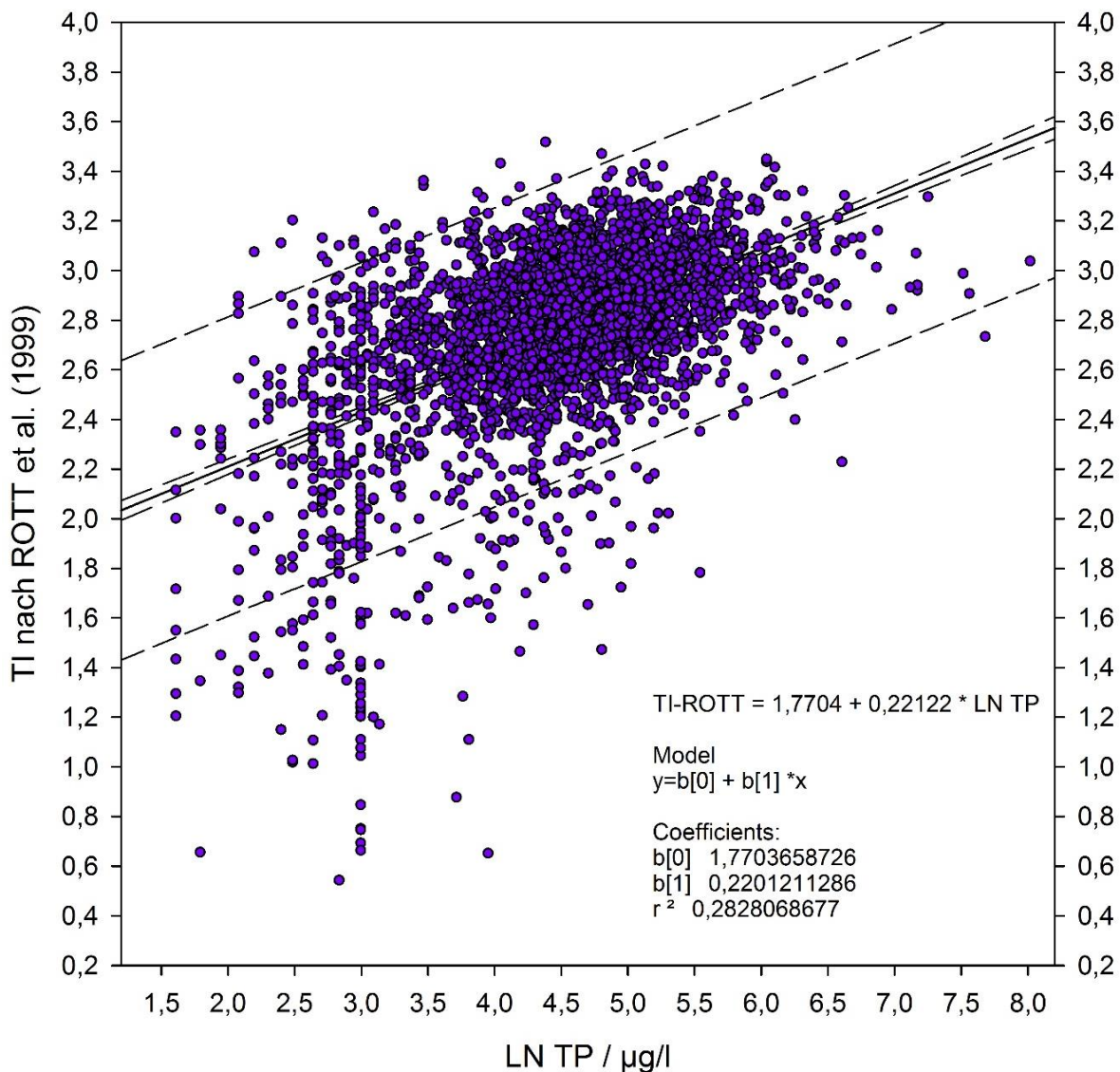
Anmerkungen siehe Abbildung 3

#### 3.3.2.4.4 Zusammenhang zwischen Trophieindex und Gesamtphosphorkonzentration (TP)

**TI-ROTT:** Der Trophieindex nach Rott wurde an einer Skala geeicht, der ein weit gefasster Gradient der Gesamtphosphorkonzentrationen zugrunde lag, beginnend im ultraoligotrophen Bereich und bis in den hypertrophen Bereich hineinreichend. Den tatsächlichen Zusammenhang zwischen dem originalen Trophieindex nach Rott und der Gesamtphosphorkonzentration der Messstelle im Testdatensatz verdeutlicht Abbildung 5. Markant ist das geringe Bestimmtheitsmaß ( $r^2$ ) von 0,28. Auffällig ist auch die große Zahl an weiten Ausreißern unterhalb des 2,5er-Perzentils der Erwartungswerte, wenn man versucht, die Abhängigkeit beider Indizes voneinander mit einer linearen Regression zu beschreiben. Vor allem im oligotrophen und mesotrophen Bereich mit ln TP-Konzentrationen zwischen 1,5 und 4,0 (entspricht 4,5 -

55 µg/l TP) treten große Residuen auf. Die gewählte lineare Regressionsbeziehung (Gerade und Vertrauensintervalle) beschreibt die Struktur der Punktwolke also nicht zufrieden stellend. Die Residuen sind entlang des ln TP-Gradienten nicht gleichmäßig verteilt und auch nicht normal verteilt. Die von Rott et al. (1999) angestrebte log-Linearität (Logarithmusfunktion) des Zusammenhangs zwischen dem originalen TI nach Rott et al. (1999) und ln TP wird im LAWA-Testdatensatz PHYLIB Online 6.0.2 also nicht wirklich deutlich.

Abbildung 5: Scatterplot des Trophieindex nach Rott in Abhängigkeit vom Jahresmittelwert der Gesamt-Phosphorkonzentration.



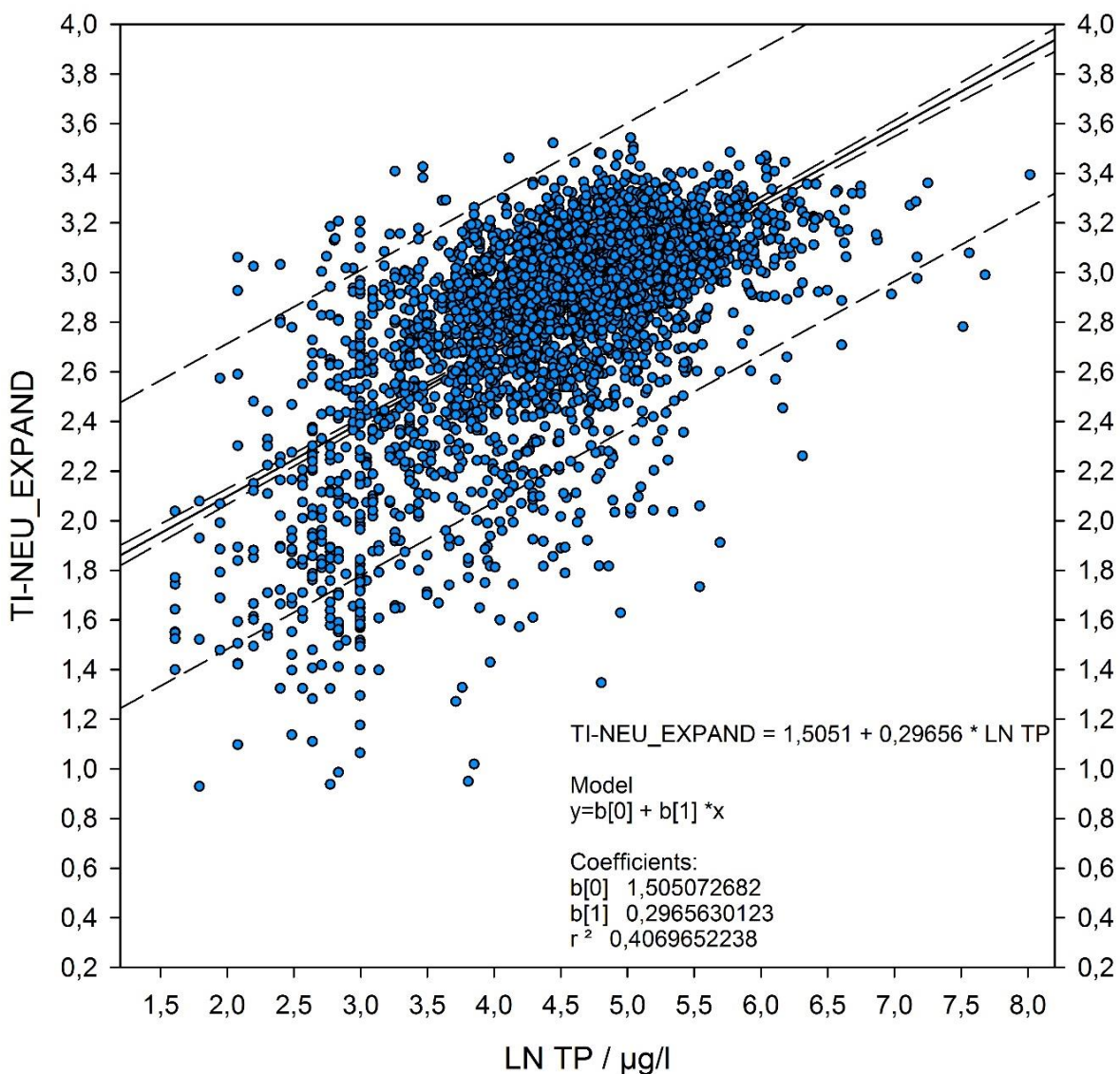
**Anmerkung:** Regression einschließlich 95 %-Vertrauensintervallen der Regressionsgerade (inneres Band) und der Einzelwerte (äußeres Band). Alle Indizes wurden für die Diatomeenproben des LAWA-Testdatensatzes mit der Anwendung PHYLIB Online 6.0.2 berechnet

**TI-NEU\_EXPAND:** Der Trophieindex nach Pfister in seiner expandierten Form, die zur Beachtung der in der OGewV (2016) geregelten Grenzwerte des PHYLIB-Verfahrens gewählt wurde, deckt die gleiche Trophieskala ab wie bei Rott et al. (1999). Der durch Pfister et al. (2016) beschrittene methodische Weg der (moderaten) Abkehr von Experteneinstufungen und die methodische Bezugnahme auf das Verfahren der gewichteten Mittelwertbildung mit anschließender Expansion der zentripetal beeinflussten Trophiewerte bewirkte im Zusammenhang mit dem großen Eichdatensatz aus Österreich und



Deutschland eine Verbesserung des angestrebten Zusammenhangs zwischen dem Trophieindex und der Gesamtposphorkonzentration. Das bestätigt sich auch am LAWA-Testdatensatz PHYLIB Online 6.0.2. Den Zusammenhang zwischen dem neuen (für PHYLIB expandierten) Trophieindex nach Pfister et al. (2016) und dem natürlichen Logarithmus der Gesamtposphorkonzentration im LAWA-Testdatensatz PHYLIB 6.0.2 verdeutlicht Abbildung 6. Um 44 % höher fällt das Bestimmtheitsmaß ( $r^2$ ) von 0,41 aus. Die Anzahl an weiten Ausreißern unterhalb des 2,5-Perzentils der Erwartungswerte, vor allem im oligotrophen und mesotrophen Bereich mit  $\ln$  TP-Konzentrationen zwischen 1,5 und 4,0 (entspricht 4,5 - 55  $\mu\text{g/l}$  TP) ist nicht mehr so auffällig. Die gewählte lineare Regressionsbeziehung (Gerade und Vertrauensintervalle) beschreibt die Punktwolke einigermaßen zufrieden stellend. Eine log-Linearität (Logarithmusfunktion) des Zusammenhangs deutet sich im Testdatensatz erkennbar an.

Abbildung 6: Scatterplot des auf die Skala nach Rott expandierten Trophieindex nach Pfister in Abhängigkeit vom natürlichen Logarithmus des Jahresmittelwerts der Gesamt-Phosphorkonzentration.



Anmerkungen siehe Abbildung 5

### 3.3.3 Einfluss der neuen Indizes auf die Bewertung

#### 3.3.3.1 Dezimale Bewertung

Die Anwendungen PHYLIB Online 6.0 und 6.0.2 (DEMO) geben außer der ganzzahligen Zustandsklasse auch, wie von PHYLIB 5.3.0 und ihren Vorgängerversionen gewöhnt, eine Bewertung mit zwei Dezimalen hinter dem Komma aus. Der Vergleich der neuen (6.0.2) mit den alten (6.0) dezimalen Bewertungen unter Anwendung eines linearen Regressionsmodells gestattet die Ableitung statistischer Parameter, mit denen die Beeinflussung des Bewertungsergebnisses der TK Diatomeen allein durch die Auswechslung des Trophieindex NEU gegen ALT quantitativ ausgedrückt werden kann.

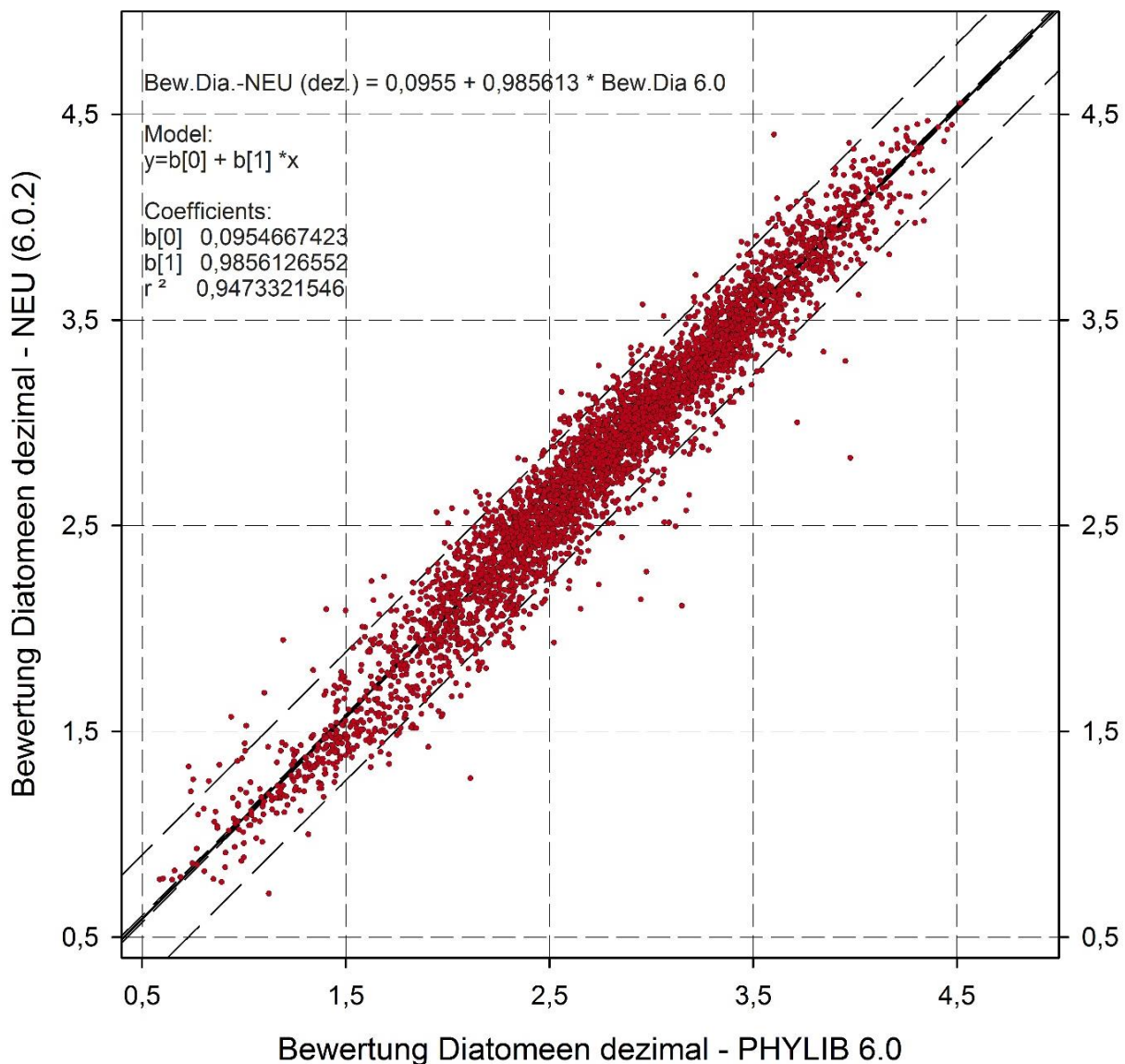
Wie angestrebt und somit auch erwartet verändert sich die dezimale Bewertung der TK Diatomeen im statistischen Mittel nur unmerklich (Abbildung 7), in vielen Einzelfällen aber – wie mit dem überarbeiteten Index angestrebt – doch erheblich. Durch die nachgelagerte Expansion des zunächst original TI nach Pfister et al. (2016) berechneten TI-NEU sind alte (PHYLIB 6.0) und neue (PHYLIB 6.0.2 DEMO) Bewertungen im statistischen Sinne auf die gleiche Bewertungsskala kalibriert. Die Klassengrenzen der OGewV (2016) werden damit uneingeschränkt berücksichtigt.

Die große Zahl an neu und verändert eingestuften Indikatorarten der Oligo- und Mesotrophie nach Pfister et al. (2016) führt im statistischen Sinne im Testdatensatz zu einer leichten Anhebung (Verschlechterung) der Bewertungen von Proben im Bereich des „sehr guten Zustands“ (Klasse 1). Vor allem Gewässer mit dezimaler Bewertung < 1,0, also quasi hyperoptimale Probestellen jenseits der Referenzbedingungen, werden mit dem neuen Trophieindex (und dem unveränderten Referenzartenmodul) jetzt häufiger „normal“ mit Bewertungen im Bereich 1,0 bis 1,49 ausgegeben. Die Ergebnisse für unbelastete Probestellen stellen sich damit im Durchschnitt jetzt etwas realistischer dar.

Für Gewässer ohne Limitation der Diatomeen-Entwicklung durch die Gesamtposphorkonzentration (hypertrophe Gewässer) ergibt sich keine systematische Verschiebung. Die einzige vorher (PHYLIB 6.0) als „schlecht“ (Klasse 5) bewertete Diatomeenprobe bleibt trotz der hier für PHYLIB Online 6.0.2 neu eingeführten nachgelagerten Expansion des TI nach Pfister et al. (2016) auch weiterhin die einzige mit PHYLIB Online 6.0.2 als „schlecht“ (Klasse 5) bewertete Diatomeenprobe. Wie angestrebt wurde mit dem hier vorgestellten Überarbeitungsschritt noch keine technische Überdehnung des Trophieindex in den „schlechten“ Bereich (Klasse 5) hinein vorgenommen. Deshalb sind auch Überdehnungen der dezimalen Bewertung in den „schlechten“ Bereich nicht festzustellen. Wenn eine Ausdehnung des Gradienten der Diatomeen-Bewertungen von jetzt NEU (PHYLIB 6.0.2) maximal 4,55 auf theoretisch maximal 5,50 durch die Anwender des Verfahrens, also die Bundesländer, angestrebt werden sollte, so muss diese Ausdehnung durch einen weiteren Entwicklungsschritt des Bewertungsverfahrens erfolgen.

Die Wurzel des arithmetischen Mittelwerts der quadrierten Abweichungen zwischen den neuen und den alten dezimalen Bewertungen (RMSE) beträgt 0,168432 (verwendete Software: MS Excel). Das bedeutet, dass mit dem neuen Verfahren 32 % der Proben um mehr als 0,17 Klassen nach oben bzw. unten vom bisherigen Ergebnis abweichen. Das hat zur Folge, dass bei Anwendung der neuen Indizes (TI und SI) im Bereich der Klassengrenzen eine größere Zahl an Proben in die benachbarte Zustandsklasse übergeht.

Abbildung 7: Scatterplot der dezimalen Bewertungen – NEU vs. ALT (x-Achse: alter Index nach Rott; y-Achse: neuer Index nach Pfister mit nachgelagerter Expansion).



Anmerkung: Regression einschließlich 95 %-Vertrauensintervallen der Regressionsgerade (inneres Band) und der Einzelwerte (äußeres Band). Alle Indizes wurden für die Diatomeenproben des LAWA-Testdatensatzes mit der Anwendung PHYLIB Online 6.0.2 berechnet.

### 3.3.3.2 Klassensprünge

Im Bereich aller Klassengrenzen außer zwischen „unbefriedigend“ und „schlecht“ treten Übergänge in die benachbarte Klasse auf. Tabelle 8 und Tabelle 9 fassen die Ergebnisse zusammen.

Durch die erreichte Verbesserung der Trophieindikation und Saprobieindikation, die sich in einem engeren Zusammenhang des TI-NEU mit der gewählten Mastervariable ln TP ausdrückt, gibt es in der Nettobilanz keine systematischen Verschiebungen „sehr guter“ Messstellen in den „guten“ Bereich. Konkret liegen aber von 221 bisher „sehr guten“ Messstellen jetzt 33 (15 %) in Zustandsklasse 2. Umgekehrt rückt die gleiche Anzahl von 33 Messstellen (von 1.196 in Zustandsklasse 2; entspricht 3 %) bei Anwendung des TI und des SI nach Pfister et al. (2016) in den „sehr guten“ Zustand auf.

Tabelle 8: Anzahlen der Zustandsklassen – NEU vs. ALT.

		Zustandsklassen NEU PHYLIB 6.0.2					gesamt
		1	2	3	4	5	
Zustandsklassen ALT PHYLIB 6.0	1	188	33				221
	2	33	959	204			1.196
	3		75	2.034	153		2.262
	4			43	532	0	575
	5				0	1	1
	gesamt		221	1.067	2.281	685	1

Datenquelle: Diatomeenproben des LAWA-Testdatensatzes

Tabelle 9: Anzahlen und Anteile der Zustandsklassen – NEU vs. ALT.

		Anzahl Proben		Anteil		
		ALT PHYLIB 6.0	NEU PHYLIB 6.0.2	ALT PHYLIB 6.0	NEU PHYLIB 6.0.2	Differenz NEU vs. ALT
Zustandsklassen	1	221	221	5,2 %	5,2 %	0,0 %
	2	1.196	1.067	28,1 %	25,1 %	-3,0 %
	3	2.262	2.281	53,2 %	53,6 %	0,4 %
	4	575	685	13,5 %	16,1 %	2,6 %
	5	1	1	0,0 %	0,0 %	0,0 %
	gesamt	4.255	4.255	100,0 %	100,0 %	0,0 %

Datenquelle: Diatomeenproben des LAWA-Testdatensatzes

Von den 1.196 Fließgewässermessstellen, die mit PHYLIB 6.0 mit „gut“ bewertet werden, verschlechtern sich durch Anwendung des neuen TI und des neuen SI 204 (17 %) Messstellen zu „mäßig“. Das betrifft insbesondere Proben mit Dominanz von *Cocconeis placentula. var. div.*, die bislang einen zu optimistischen Trophiewert (2,3) hatte, nach Pfister et al. (2016) jetzt ganz als Indikator fallen gelassen wurde. In diesen Fällen und in vielen anderen auch sind die jetzt um eine Klasse strengeren Bewertungen fachlich plausibel. Die 2.262 bislang mit „mäßig“ bewerteten Proben verbleiben mit den neuen Indizes zu 90 % in dieser Zustandsklasse. Verschlechterungen zu Zustandsklasse 4 traten bei 153 (7 %) der bislang mit „mäßig“ bewerteten Proben ein. Verbesserungen waren seltener, betrafen 75 von 2.262 Proben (3 %). Im Endeffekt steigt mit Anwendung der neuen Indizes der Anteil mit „ungenügend“ bewerteter Proben im Testdatensatz von 13,5 % auf 16,1 % (Zuwachs des Klassenanteils an den Gesamtproben um 2,6 Prozentpunkte, Steigerung der Fallzahlen mit Klasse 4 um 19 %). Verschlechterungen zu Zustandsklasse 5 traten im Testdatensatz aus 4.255 Proben nicht ein.

## 3.4 Diskussion der Ergebnisse

### 3.4.1 Taxaliste der Anwendung PHYLIB Online 6.0.2

Die Anwendung PHYLIB Online 6.0 kann nur definierte Kombinationen aus DV-Nummer und Taxonnamen importieren und für die Berechnungen der Metrics verwenden. Der Praxistest eines ad hoc zusammengestellten Datensatzes aus 8 Bundesländern ergab 1.127 in der Anwendung implementierte, also importfähige Kombinationen, aber auch 44 nicht implementierte Kombinationen (Kapitel 3.2).

Der taxonomische Abgleich der 44 bislang noch problematischen Diatomeentaxa mit der Bundestaxaliste einerseits und die fachliche Prüfung des optimalen Umgangs mit diesen Taxa beim Import und bei der Zustandsbewertung andererseits bleibt künftigen Vorhaben vorbehalten. Die diesbezüglich erforderlichen Aktivitäten werden sehr vielfältig sein. Für planktische Taxa wäre wie bisher ein Ausschluss aus den der Anwendung PHYLIB Online 6.0 oder 6.0.2 zum Import angebotenen Daten zu empfehlen. Konsequenter wäre der obligatorische Import der Diatomeendaten in Form von Objektzahlen mit nachfolgender anwendungsinterner Kennzeichnung planktischer Taxa und datenbankinterner Umrechnung nur der importierten Objektzahlen benthischer Taxa in Dominanzwerte, wie das z. B. in der Datenbank BioLimS des LHW Sachsen-Anhalt praxiserprobt ist. Für marine Taxa wäre vor einem Ausschluss als „Phytoplankton“ oder „Centrales“ zunächst noch zu belegen, dass die betreffenden Taxa nicht doch eher eine pennate Morphologie aufweisen und in Lebensräumen des Watts und der Bodden nicht doch auch teilweise oder überwiegend benthisch leben. Für Taxa für die die PHYLIB-Software bis Version 4.1 zwangsweise eine künstlich falsche Schreibweise für den Import erforderte (*Achnanthydium linearoides*, *Bacillaria paxillifer*, *Rhaphoneis amphiceros*) sind mit Übergang zu PHYLIB 5.3.0 (16.02.2016) und PHYLIB Online 6.0 Korrekturen ihrer Schreibweisen in den Datenbanken der Länder notwendig geworden. Diese Korrekturen wurden noch nicht komplett umgesetzt. Um die oft schwer erkennbaren, manchmal nomenklatorisch nicht abschließend geklärten, aber immer in großer Vielfalt möglichen Fehler in den Namen der Taxa zu vermeiden, wäre ein vorrangiger (oder obligatorischer) Datenimport über die DV-Nummer eine konsequente Option zur Vermeidung von Importverlusten. Die Bundestaxaliste wäre künftig um alle Neufunde in der Flora Deutschlands zu ergänzen, eine Mindestanzahl an Nachweisen in Deutschland ist als Voraussetzung für die Aufnahme in die Bundestaxaliste dann nicht akzeptabel, wenn das Kriterium „+/- 2% ungenau bestimmter Taxa führt zur Nichtbewertung durch die Software“ beibehalten wird. Neophytische Diatomeentaxa können immer Dominanzwerte > 2% erreichen und damit die Bewertung der im Übrigen meistens wenig veränderten Diatomeen-Zönose behindern. Ihre aktive Einbeziehung als „Nicht-Referenzarten“ in die Bewertung wäre sinnvoll, setzt aber selbstverständlich ihre Importfähigkeit voraus, die wiederum eine DV-Nummer in der Bundestaxaliste erfordert. Die Pflege der Bundestaxaliste bleibt damit eine sehr wichtige Grundlage für eine fachlich gute Gewässerbewertung nach OGewV. Nur durch das Fehlen einer DV-Nummer der Bundestaxaliste sollte die Bewertbarkeit mancher Diatomeenproben gemäß OGewV (2016) künftig nicht länger in Frage gestellt sein.

### 3.4.2 Zuordnung der Indikatorwerte

Das hier vorgestellte Ergebnis einer ersten Zuordnung der DV-Nummern und Indikatorwerte zu zahlreichen Diatomeen-Namen (mit Autor) ist eine Indikatorenliste, die als ein erster umfassender Entwurf (Lösungsvorschlag) von Zuordnungen der neuen Trophie- und Saprobie-Werte samt ihrer Gewichtungen nach Pfister et al. (2016) zu den Diatomeentaxa der Gewässerorganismen Deutschlands mit Stand PHYLIB 5.3.0 (16.02.2016) zu verstehen ist. Dieser als Anhang 3-1 beigefügte Lösungsvorschlag lässt Spielräume für weitere Präzisierungen offen. Ergänzende Entscheidungen über die Aufnahme oder Löschung von Indikator taxa können z. B. die Eignung oder Nichteignung von Diatomeentaxa auf Artrang als Trophie- und Saprobieindikatoren betreffen. Weiterhin bleibt das Themenfeld der Berechtigung der Übertragung von Indikatorwerten vom Artrang auf nur einige oder eben alle Subspecies, Varietäten oder Formae einer Diatomeenarten der aktuellen deutschen Bundestaxaliste

nicht abschließend bearbeitet. Eine gewisse Notwendigkeit für die Weiterarbeit am Indikatorensystem ergibt sich dabei zum einen aus einigen in Deutschland ungebräuchlichen Kombinationen von DV-Nummer und Taxonnamen in den Tabellen der Anhänge 1 und 2 in Pfister et al. (2016). Als Folge der zunehmenden Nutzung der Rasterelektronenmikroskopie und genetischer Forschungsmethoden verbessern sich zum anderen die Kenntnisse über die Diatomeen in jedem Jahr. So haben sich seit den Bestimmungen der Eichdaten für den von Pfister et al. (2016) verwendeten Eichdatensatz (der Beprobungs- und Bestimmungszeitraum lag schwerpunktmäßig in den Jahren 2006 bis 2012), schon wieder neue wissenschaftliche (taxonomische und ökologische) Kenntnisse angesammelt. Dieser Zuwachs ist größtenteils praxisrelevant, so z. B. die Artdiagnose alteingesessener und neophytischer Arten der Gattung *Achnantheidium* betreffend. Wegen des stetigen Wissenszuwachses ist auch in Zukunft eine gelegentliche Überarbeitung der Indikatorenlisten der Diatomeen ratsam.

### 3.4.3 Bewertungsmethode

Mit dem Trophie- und dem Saprobieindex nach Pfister et al. (2016) werden Diatomeenproben der Mittelgebirge und des Tieflands jetzt etwas strenger bewertet. Die Bewertungen fallen nach fachgutachterlicher Meinung der Bearbeiterin im statistischen Mittel jetzt etwas plausibler aus als jene Indizes, die sich auf Rott et al. (1999, 1997) stützen. Allein die Veränderungen der Einstufung von *Fragilaria famelica* und *Cocconeis placentula* var. *div.* haben seit 1999 in allen Fließgewässerlandschaften zu fachgutachterlichem Korrekturbedarf bei Bewertungen von Diatomeenproben geführt, die jetzt automatisch wegfallen. Welche Arten jetzt neue „Sorgen“ bereiten, wird sich erst durch die Anwendungen in den Ländern zeigen. Als echter Fortschritt in der Anwendung PHYLIB Online 6.0 werden für die anstehenden regionalen Plausibilitätstests jetzt die Indikatorwerte der Diatomeentaxa in der Exportdatei mit ausgegeben. Taxa mit auffälligen Indikatorwerten werden dabei schnell ins Auge fallen.

Der neue Trophieindex ist um 44 % besser mit dem Logarithmus der Gesamtphosphatkonzentration korreliert als der bisherige (alte) Index. Diese Verbesserung macht den Bezug der u. a. aus dem Trophieindex abgeleiteten Bewertungsergebnisse zum Hauptbelastungsfaktor Gesamtphosphorkonzentration jetzt viel deutlicher als bisher.

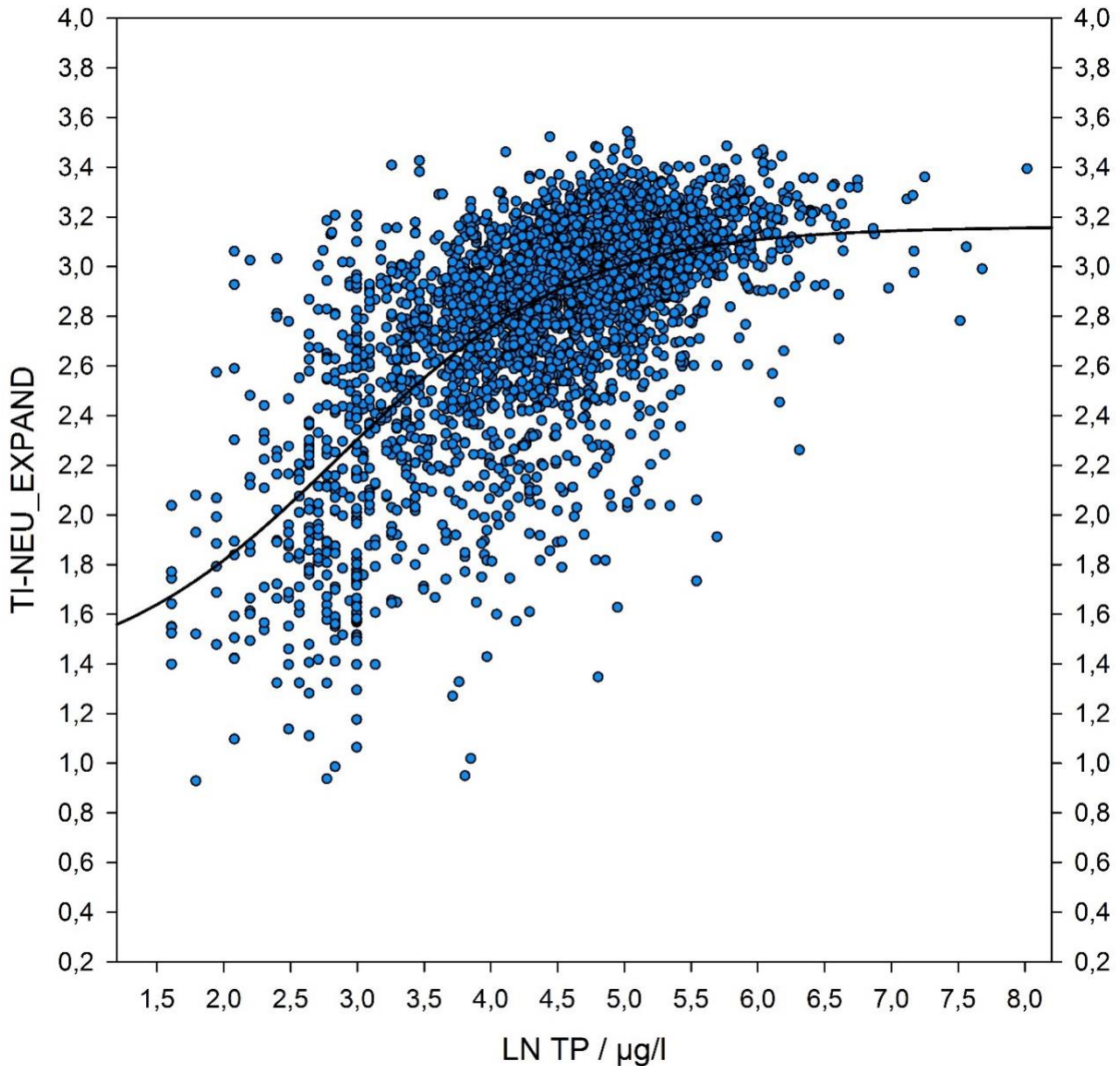
Von den im oligotrophen und oligo-mesotrophen Bereich eingenischten Diatomeenarten sind viele nach wie vor als Indikatoren dieser Zustände eingestuft. Für mehrere oligotrophente Diatomeentaxa wurde der Trophiewert etwas erhöht und das Indikationsgewicht verringert, so dass jetzt die PHYLIB-Bewertungsergebnisse seltener ins ultraoligophe Milieu mit dezimalen Bewertungen < 1,0 abgleiten.

Als handwerklich noch nicht in gleichem Maße gelungen muss leider die Zuweisung der neuen Trophiewerte zu den poly- bis hypertraphenten und den hypertraphenten Taxa eingeschätzt werden. Im Themenfeld Bioindikation poly- bis hypertropher und hypertropher Zustände mittels des TI besteht noch Anpassungsbedarf. Der Anstieg des nach Pfister et al. (2016) errechneten Trophieindex entlang des logarithmisch skalierten TP-Gradienten folgt nach wie vor einer Sigmoidal-Funktion (Abbildung 8). Auch nach der Expansion erreicht der Trophieindex im Bereich  $TI = 3,15$  eine Sättigung. Oberhalb  $\ln TP = 5,5$  (= 245 µg/l) verliert der Trophieindex stark an Abhängigkeit von der Gesamtphosphorkonzentration und erreicht das technisch bedingte Sättigungsniveau von ca. 3,15. Streng physiologisch betrachtet erscheint es durchaus plausibel, dass Gesamtphosphorkonzentrationen über 245 µg/l nicht zu einer immer weiteren Erhöhung der relativen Abundanzen poly- bis hypertraphenter Diatomeenarten auf den Bodensubstraten von Fließgewässern führen. In diesem Bereich sind die gemäßigt eutrphenen Taxa konkurrenzseitig unterlegen und mehrere poly- bis hypertraphente und hypertraphente Taxa haben sich in den Assoziationen durchgesetzt und bilden individuenstarke, oft voluminöse Massenentwicklungen an Diatomeen-Beständen.

Für die Bewertung besonders verschmutzter Fließgewässer bis hinein in die Zustandsklasse 5 ist auch der Trophieindex nach Pfister et al. (2016) noch nicht das optimal geeignete Instrument. Es wäre deshalb zu prüfen, ob mit der Überprüfung und Anpassung der Trophiewerte poly- bis hypertraphenter

und hypertraphenter Diatomeentaxa nicht doch eine verbesserte Linearisierung des Zusammenhangs TI vs.  $\ln TP$  bis  $\ln TP > 6,5$  erreichbar wäre.

Abbildung 8: Scatterplot des expandierten Trophieindex nach Pfister in Abhängigkeit von der mittleren Gesamtposphorkonzentration.



Anmerkung: Anpassungskurve entspricht einer Sigmoidal-Funktion (Bestimmtheitsmaß = 0,45)

Für die Ausdehnung der dezimalen Bewertungen von jetzt maximal 4,5 auf künftig maximal 5,5 gibt es zwei Optionen:

- ▶ Option 1: diatomeentypspezifische Fixierung oberer und unterer Ankerpunkte auf der Skala des Trophieindex, die dazu selbst unverändert bleiben sollte;
- ▶ Option 2: Dehnung des Gradienten der dezimalen Bewertung bei einer Fortschreibung des PHYLIB-Verfahrens; hierzu wäre eine strengere Klassengrenzziehung im Referenzartenmodul (ungekoppelt oder gekoppelt) mit einer Expansion der nach fachgutachterlicher Einschätzung der Bearbeiterin immer noch zu stark zentripetal ausgerichteten Trophiewerte nach Pfister, vor allem poly- und hypertraphente Diatomeentaxa betreffend, nötig. Eine Ausdehnung des

Trophieindex auf Werte  $> 3,6$  wäre leicht möglich. Für den vorliegenden Bericht ist dies unterblieben, da zunächst die Leistungsfähigkeit des Index ausgelotet werden sollte. Um den Trophieindex in Bereiche  $> 3,6$  hineinzuführen, wäre es erforderlich, hypertraphenten Taxa entsprechende Trophiewerte zuzuweisen.

Kalibrationstechnisch und fachwissenschaftlich wäre Option 1 sehr anspruchsvoll. Die Varianten von Option 2 (ungekoppelte bzw. gekoppelte Klassengrenzziehung im RAS-Modul) wären zwar auch arbeits- und zeitintensiv, jedoch technisch betrachtet unter Ausnutzung der Daten des LAWA-Testdatensatzes für PHYLIB 6.0.2 methodisch effektiver umsetzbar.



## 4 Überarbeitung der PoD-Bewertung

### 4.1 Einleitung und Anlass

Das „Phytobenthos ohne Diatomeen“ (PoD) ist Teil der biologischen Qualitätskomponente der aquatischen Flora „Makrophyten & Phytobenthos“, die mit Hilfe des PHYLIB-Verfahrens den ökologischen Zustand der Fließgewässer Deutschlands entsprechend den Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) bewertet.

Um das Verfahren zu überarbeiten und weiterzuentwickeln, wurden in einem Vorgängerprojekt<sup>3</sup> umfangreiche Arbeiten durchgeführt. Grundlage dieser Studie war die in der Abteilung Aquatische Ökologie der Universität Essen-Duisburg hinterlegten Daten der Bundesländer. Im Mittelpunkt des Projekts standen zum einen die Überarbeitung der Grundlagen einer PoD-Bewertung mit Prüfung der Bindung der Taxa an bestimmte Fließgewässertypen, die Ermittlung und Überprüfung ihrer ökologischen Präferenzen, die Überprüfung und Erweiterung der Liste der Indikatoren sowie die Neueinstufung der Taxa. Zum anderen wurden die für das PoD relevanten biozönotischen Fließgewässertypen revidiert. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind im Abschlussbericht (Rolaufts et al. 2020) veröffentlicht und stehen online zur Verfügung (<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/weiterentwicklung-bewertungsverfahren-eg-wrri>). Anhang 4 dieses Berichts beinhaltet für 240 Taxa Steckbriefe mit den Ergebnissen zur Autökologie inklusive taxonomischer Anmerkungen und Kommentare, ergänzende Informationen aus der Literatur sowie Analysen der Artgemeinschaften verschiedener Fließgewässertypen. Die Arbeiten mündeten in einer Neugliederung von 15 biozönotischen Fließgewässertypen des PoD, die sich grundsätzlich nahe an der LAWA-Typologie orientieren und im bisherigen Verfahren nicht berücksichtigte Fließgewässertypen integrieren (z. B. Keupergewässer). Insgesamt wurden 213 Taxa als Indikatoren eingestuft.

Das hier nun dargestellte Folgeprojekt umfasst folgende Arbeiten:

- ▶ Zuarbeit zu einer von der Firma chromgruen erstellten Testversion der Bewertungssoftware PHYLIB mit den revidierten PoD-Typen sowie den hinzugekommenen Indikatortaxa und überarbeiteten Einstufungen;
- ▶ Erstellung einer Interpretationshilfe mit detaillierten Informationen zur Ökologie und Lebensweise der Arten, um dem Anwender die Einschätzung der Plausibilität der Zuordnung der Zuordnungsstufen zu erleichtern;
- ▶ Vorschläge zur Festlegung neuer Index- bzw. Klassengrenzen für das erarbeitete Verfahren aufgrund der Rückmeldung der und in Zusammenarbeit mit den Vertretern der Bundesländer;
- ▶ Zuarbeit zu den Gewässersteckbriefen (Pottgiesser 2018);
- ▶ Überarbeitung der Verfahrensanweisung.

Für die beiden zuletzt genannten Arbeitspakete ist zu beachten, dass Auswertungen und Textteile, die für die Gewässersteckbriefe genutzt werden können, bereits im Schlussbericht des Vorgängerprojekts (siehe dort Anhang 4: NMDS-Analysen) und in der Beschreibung der PoD-Typen im vorliegenden Bericht enthalten sind. Die Verfahrensanleitung muss allerdings noch an die neuen Erkenntnisse angepasst werden. Diese Texte sollen zu gegebener Zeit in einer überarbeiteten Fassung direkt in die Internetseite <https://www.gewaesser-bewertung.de> eingearbeitet werden.

---

<sup>3</sup> Weiterentwicklung der biologischen Bewertungsverfahren zur EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) unter besonderer Berücksichtigung der großen Flüsse (FKZ 3714 22 211 0); gefördert durch einen Auftrag des Umweltbundesamtes

## 4.2 Interpretationshilfe

Wichtige Einflüsse auf das Vorkommen der benthischen Algen des PoD besitzen v. a. die geochemische Prägung sowie die Trophie und Saprobie des Gewässers. Zur Einschätzung der Typspezifität sind weiterhin Informationen über die Lebensweise, das bevorzugte Substrat und die Art des Gewässers wichtig. Auf Basis der bisher gesammelten Daten wurde daher eine Tabelle entworfen, in der die Informationen aus den Artsteckbriefen und der Literatur zu den Präferenzen und Toleranzen der Taxa zusammengestellt sind. Ziel ist es, im Online-Tool<sup>4</sup> die entsprechenden Angaben für die an einer Messstelle vorkommenden Arten in einem Bericht auszugeben und neben genauen Angaben auch einen visuellen Eindruck über das Vorkommen der dort präsenten Taxa zu vermitteln. Der Aufbau der Interpretationshilfe soll hier anhand dreier Blaualgenarten exemplarisch dargestellt werden (Tabelle 10 bis Tabelle 13).

Tabelle 10: Vorkommen dreier *Chamaesiphon*-Arten im pH-Spektrum (Abkürzungen siehe Anhang 4-2).

DV-Nr.	Taxon (Cyanobacteria)	GP	ACB	ACF	CN	ALF	ALB	IND
8105	<i>Chamaesiphon fuscus</i>	ACF		++				
8446	<i>Chamaesiphon geitleri</i>	ALB			x		++	
8867	<i>Chamaesiphon polonicus</i>	IND				x		++

Tabelle 11: Vorkommen dreier *Chamaesiphon*-Arten im Trophie- Spektrum.

DV-Nr.	Taxon (Cyanobacteria)	TW	G	u-o	o	o-m	m	m-e	e	e-p	p	p-h
8105	<i>Chamaesiphon fuscus</i>	0.9	1		++	x						
8446	<i>Chamaesiphon geitleri</i>	0.9	1		++							
8867	<i>Chamaesiphon polonicus</i>	1.2	2			++						

Tabelle 12: Vorkommen dreier *Chamaesiphon*-Arten im Saprobie-Spektrum.

DV-Nr.	Taxon (Cyanobacteria)	SW	G	I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
8105	<i>Chamaesiphon fuscus</i>	1.4	4		+++					
8446	<i>Chamaesiphon geitleri</i>	1.3	5	++++						
8867	<i>Chamaesiphon polonicus</i>	1.4	2	x	++					

Tabelle 13: Vorkommen dreier *Chamaesiphon*-Arten – Angaben zur Lebensweise.

DV-Nr.	Taxon (Cyanobacteria)	Lebensweise	Substrat	Gewässertyp
8105	<i>Chamaesiphon fuscus</i>	BE	EPLI	FL
8446	<i>Chamaesiphon geitleri</i>	BE	EPLI	FL
8867	<i>Chamaesiphon polonicus</i>	BE	EPLI	FL

Der Schwerpunkt der jeweiligen Verbreitung der Taxa im pH-Spektrum gibt Hinweise auf ihre bevorzugte geochemische Prägung. Hierzu gibt es genaue Angaben bei Rott et al. (1999), die in einer eigenen Spalte angegeben werden, sowie weitere Angaben aus der Literatur bzw. eigene Einschätzungen. Mit unterschiedlicher Kennzeichnung werden diese Vorkommen im pH-Spektrum für jedes Taxon angegeben. Ähnlich vorgegangen wird bei den Einschätzungen zu Trophie und Saprobie. Hierzu gibt es neben weiteren Literaturangaben vor allem Daten bei Pfister et al. (2016) und Rott et al. (1999). In beiden

<sup>4</sup> <https://www.gewaesser-bewertung-berechnung.de/index.php/home.html>

Arbeiten wurden zusätzlich Toleranzbereiche der Taxa berücksichtigt. Diese genauen Angaben werden auch hier in Extra-Spalten vermerkt. Für die Kennzeichnung im Trophie- bzw. Saprobiespektrum mussten die unterschiedlichen Toleranzangaben aus Gründen der Übersichtlichkeit zusammengefasst werden. Zusätzlich werden Angaben zum Vorkommen hinsichtlich Lebensweise, Substrat und Gewässertyp in gesonderten Spalten angegeben. In einer Bemerkungsspalte sind weitere Hinweise wie Schwermetalltoleranzen, Angaben über Einstufungen in den Roten Listen (Foerster et al. 2018, Kusber & Gutowski 2018, Linne von Berg 2018) vermerkt. Die vollständige Interpretationshilfe ist als Anhang 4-2 beigefügt. Erläuterungen zur Plausibilisierung wie z. B. Hinweise zur Interpretation vieler Arten der Euglenophyceae werden Teil der Verfahrensanleitung sein.

### 4.3 Festlegung von Klassengrenzen

Die grundlegende Überarbeitung der Indikatorartenliste und die Einstufung der Taxa in die Bewertungskategorien machen weitere Anpassungen im Verfahren erforderlich. Dabei sind Festlegungen neuer Index- bzw. Klassengrenzen von entscheidender Bedeutung. Vorschläge zur Anpassung wurden in mehreren Schritten erarbeitet. Zunächst wurde in Zusammenarbeit mit dem Programmierer des DV-Tools (Firma chromgruen) eine Testversion entwickelt, die die neu erarbeiteten PoD-Typen und die neue Indikationsliste berücksichtigt. Dies beinhaltet ebenfalls eine intensive Unterstützung bei der Fehlersuche und auch bei der Implementierung von Zuordnungen vieler Taxa zu indikativen Gattungen.

Im Laufe der Arbeiten ergaben sich Änderungen hinsichtlich der Indikation einiger Taxa im Vergleich zum Bericht von Rolauuffs et al. (2020), der noch auf der Taxaliste mit Stand von März 2017 beruhte. In der hier vorliegenden Studie wurden Änderungen hinsichtlich einiger DV-Nummern und aufgrund von Synonymisierungen einiger Taxa im Rahmen der neuen Bundestaxaliste (BTL 05/2020) eingearbeitet. Die alten DV-Nummern und Namen werden aber in einem Bemerkungsfeld angegeben. Die Gesamttabelle (siehe Anhang 4-1) gibt die nun aktuellen Einstufungen wieder. Allerdings müssen diese Änderungen noch in das Test-Tool eingearbeitet werden.

Die Bewertungen im genannten Tool wurden zunächst anhand der für die PoD-Typen aktuellen Klassengrenzen der PHYLIB-Version 5.3 berechnet. Dies ermöglicht die Analyse von Änderungen, die sich durch die überarbeiteten und erweiterten Einstufungen im Vergleich mit den bisherigen Ergebnissen ergeben. Das so erstellte Tool kann nach Einarbeitung der taxonomischen Änderungen als Test-Software für die Bundesländer fungieren. Die Bewertungen der Probestellen in den Bundesländern werden dem UBA zur Weiterleitung an diese zur Verfügung gestellt. Für eine Festlegung von Klassengrenzen existieren verschiedene mögliche Vorgehensweisen: Im bisherigen Verfahren (PHYLIB 5.3) wurden je nach PoD-Typ eigene, unterschiedliche Klassengrenzen durch die Bundesländer definiert. Dies führte zu einer Vielzahl verschiedener nicht direkt vergleichbarer Grenzen (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Klassengrenzen der Mittelgebirgsgewässer in PHYLIB 5.3 (Schaumburg et al. 2012).

Ökologische Zustandsklasse	PB 3	PB 4	PB 5	PB 6
Klasse 1	1,00 – 0,80	1,00 – 0,87	1,00 – 0,80	1,00 – 0,80
Klasse 2	0,79 – 0,55	0,86 – 0,73	0,79 – 0,55	0,79 – 0,60
Klasse 3	0,54 – 0,30	0,72 – 0,56	0,54 – 0,40	0,59 – 0,40
Klasse 4	0,29 – 0,20	0,55 – 0,17	0,39 – 0,20	0,39 – 0,20
Klasse 5	0,19 – 0,00	0,16 – 0,00	0,19 – 0,00	0,19 – 0,00

Ein eigener Vorschlag, im Folgenden „Plausibilisierungsverfahren“ genannt, orientiert sich einerseits an den Beschreibungen der Ökologischen Zustandsklassen nach WRRL und andererseits an den Ein-

stufungen der Indikatortaxa in die Bewertungskategorien (Tabelle 15). Dabei gelten einige Bedingungen hinsichtlich des Auftretens von Taxa bestimmter Kategorien, wie z. B. die Vorgabe, dass in einem Gewässer der Zustandsklasse 1 keine Störzeiger der Kategorie D auftreten dürfen. Weiterhin gelten Bedingungen hinsichtlich der Abundanz der Summe sensibler, typspezifischer Taxa (Kategorie A) bzw. toleranter, aber durchaus typspezifischer Taxa (Kategorie B) oder aber des Anteils der typunspezifischen Störzeiger (Kategorie D). Bei diesem Vorschlag kann die Grenze zwischen Klasse 1 und Klasse 2 eindeutig definiert werden. Diese liegt bei einem Indexwert von 0,75, da dies der maximal erreichbare Wert ist, wenn ausschließlich Arten der Kategorie B vorhanden sind. Alle weiteren Klassengrenzen berechnen sich aus der halben Differenz der Mediane der benachbarten Zustandsklassen. Auf diese Weise erscheint es möglich, unter Verwendung der Autökologie der Arten plausible Bereiche der Ökologischen Zustandsklassen zu definieren. Ebenso wie im PHYLIB-Verfahren 5.3 kommt es hier zu einer Vielzahl verschiedener nicht direkt vergleichbarer Klassengrenzen, die sich aus den Daten des biozönotischen Gewässertyps ergeben. Um später eine Vergleichbarkeit der Indexwerte zu gewährleisten, sollten diese Klassengrenzen dann in einem zweiten Schritt normiert werden.

Tabelle 15: Vorschlag zur Ermittlung von Klassengrenzen anhand der Beschreibung der Ökologischen Zustandsklassen nach WRRL und der Einstufungen der Indikatortaxa in die Bewertungskategorien.

Beschreibung gemäß WRRL	Ökologische Zustandsklasse		mögliche Indikatoren	Bedingung 1 Indikatoren	Bedingung 2 Summe der Abundanz in den Kategorien A und B	
Referenzbedingungen Abwesenheit störender Einflüsse für das Gewässer Typspezifische Pflanzen- und Tiergemeinschaften Physikalisch-chemischen und hydromorphologischen Werte nicht oder nur sehr geringfügig durch den Menschen (anthropogen) verändert	1	sehr gut	A, B, C	Indikatoren der Kategorie A vorhanden; keine Indikatoren der Kategorie D	≥ 80 %	
Geringe anthropogene Abweichungen Nur geringe, kaum signifikante Abweichungen von Referenzbedingungen	2	gut	A, B, C, D		79,9 % ≥ x ≥ 60 % und Indikatoren der Kategorie D ≤ 10 %	≥ 80 %, aber keine A-Arten vorhanden, und Indikatoren der Kategorie D ≤ 10 %
Mäßige anthropogene Abweichungen Hinweise auf bereits stärkere Störungen als unter den Bedingungen des guten Zustands Stärkere anthropogene Abweichungen	3	mäßig	A, B, C, D		59,9 % ≥ x ≥ 40 %	≥ 60 %, aber D-Arten vorhanden
Auftreten einer erheblich veränderten Gemeinschaft der Organismen Erhebliche anthropogene Veränderungen	4	unbefriedigend	B, C, D	keine Indikatoren der Kategorie A	39,9 % ≥ x ≥ 20 %	< 20 %, aber Indikatoren der Kategorie D ≤ 10 %
Große Teile der Gemeinschaft der Organismen fehlen	5	schlecht	B, C, D		≤ 19,9 %; D > 10%	

Das Verfahren ähnelt zum Teil einem Vorschlag von Kelly et al. (2008). Diese nutzten für eine Einschätzung der Ökologischen Zustandsklassen für Diatomeen in Großbritannien die Anteile von nährstoffsensitiven und nährstofftoleranten Taxa, um im Kontinuum der Indexwerte Grenzen festzulegen. Die Einteilung der Taxa des PoD im PHYLIB-Verfahren gemäß den Kategorien A und B (typspezifische Taxa) und von C und D als Störzeiger weist hierzu eine Analogie auf. Kelly et al. (2008) bestimmten die Grenze zwischen den Klassen 1 und 2 beim 25. Perzentil definierter Referenzstandorte. Ein solches Vorgehen war mit dem deutschen Datenmaterial nicht möglich, da keine Referenzstandorte festgelegt

waren. Kelly et al. (2008) definierten weiterhin die Grenze zwischen den Klassen 2 und 3 am Kreuzpunkt gleicher Anteile der nährstoffsensitiven und nährstofftoleranten Taxa. Im hier für Deutschland vorgeschlagenen Verfahren wird diese Grenze etwas strenger gefasst und liegt bei einem Mindestanteil von 60% in der Summe der Abundanz von Taxa der Kategorien A und B.

Im Perlodes-Verfahren für das Makrozoobenthos<sup>5</sup>, im Folgenden Score-Verfahren genannt, erfolgt die Bewertung anhand von Scores. Das sind normierte Werte, die anhand von zuvor festgelegten Ankerpunkten aus den Ergebnissen der Bewertungsmetriks gewonnen werden (siehe Formel). Zur Festlegung der Ankerpunkte wurden Perzentile herangezogen, die den Referenzzustand (Score = 1) und den schlechtesten Zustand (Score = 0) repräsentieren. Die Zustandsklassen ergeben sich durch eine äquidistante Aufteilung der Skala (Tabelle 16).

Formel zur Berechnung der Score-Werte

$$Score = \frac{Metric - \text{unterer Ankerpunkt}}{\text{oberer Ankerpunkt} - \text{unterer Ankerpunkt}}$$

Tabelle 16: Zuordnung der Scores zu den Ökologischen Zustandsklassen.

Score	Ökologische Zustandsklasse	
> 0,8 - 1,0	sehr gut	Klasse 1
> 0,6 - ≤ 0,8	gut	Klasse 2
> 0,4 - ≤ 0,6	mäßig	Klasse 3
> 0,2 - ≤ 0,4	unbefriedigend	Klasse 4
0,0 - ≤ 0,2	schlecht	Klasse 5

Für das PoD werden die Ankerpunkte auf das 95. bzw. 5. Perzentil der Metric-Ergebnisse gesetzt. Um im vorliegenden Bericht die unterschiedlichen Verfahren kenntlich zu machen, werden die Bezeichnungen gemäß Tabelle 17 verwendet.

Tabelle 17: Kürzel zur Bezeichnung der unterschiedlichen Verfahren der Zustandsklassifizierung am Beispiel der Typen PB 1 (alter Typ) und PB kbr 01 (neuer Typ).

Bezeichnung	Erläuterung der Zustandsklassifizierung
PB 1_5.3	alte Indikation; alte Klassengrenzen gemäß PHYLIB-Version 5.3
PB kbr 01_5.3	neue Indikation und FG-Typen; alte Klassengrenzen gemäß PHYLIB-Version 5.3
PB kbr 01_plaus	neue Indikation und FG-Typen; plausibilisierte Klassengrenzen
PB kbr 01_score	neue Indikation und FG-Typen; Klassengrenzen analog zum score-basierten Verfahren des MZB

Im Folgenden sollen die Änderungen der Indikation durch das überarbeitete Verfahren sowie Vorschläge für mögliche Klassengrenzen für die biozönotischen Fließgewässertypen des PoD dargestellt werden.

<sup>5</sup> [https://www.gewaesser-bewertung-berechnung.de/files/downloads/perlodes/PerlodesOnline\\_Dokumentation\\_Teil\\_II\\_Software-Handbuch.pdf](https://www.gewaesser-bewertung-berechnung.de/files/downloads/perlodes/PerlodesOnline_Dokumentation_Teil_II_Software-Handbuch.pdf)

### 4.3.1 Fließgewässer der Alpen – PB kbr 01

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Hier werden unterschiedlich große Gewässer der Kalkalpen zusammengefasst (Subtypen 1.1 und 1.2). Die Algen des PoD siedeln vor allem auf Blöcken und Kies, da Feinmaterial nur in geringen Anteilen vorhanden ist. Durch die charakteristische turbulente Strömung und Extremabflüsse werden Kies und Feinmaterial häufig verlagert, so dass sich auf diesen Substraten benthische Algen nicht sehr gut entwickeln bzw. halten können. Nach Angabe für die benthischen Diatomeen ist für die Bäche von ultra-oligotrophen und für die Flüsse von oligotrophen Verhältnissen auszugehen (Pottgiesser 2018). Für die Analyse standen Daten von 39 Probenahmen an Bächen (LAWA-Typ 1.1) und 25 Probenahmen an kleinen Flüssen (LAWA-Typ 1.2) zur Verfügung. Im bisherigen PHYLIB-Verfahren (Version 5.3) wurden diese Gewässer mittels PoD-Typ PB 01 bewertet.

Als Charakterarten können epilithische, alkalibionte bzw. alkaliphile Arten wie die Blaualgen *Chamaesiphon geitleri* und *Phormidium incrustatum*, die Grünalge *Gongrosira incrustans* sowie die Chrysophyceen *Hydrurus foetidus* gelten (siehe Rolauffs et al 2020: Anhang 4, NMDS-Analysen). Typspezifisch sind auch Arten der Gattungen *Rivularia*, *Schizothrix* und *Tolypothrix*, wie sie im österreichischen Bewertungssystem (Pfister et al. 2016) verwendet werden. Sie wurden allerdings für Deutschland bisher nur selten nachgewiesen. Größere Anteile mikrophytischer Arten sind nicht typspezifisch.

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Durch die neuen Daten hat die Gesamtzahl der zur Verfügung stehenden Indikatoren leicht zugenommen (Tabelle 18). Geringe Zuwächse hat es bei den Florideo-, Chloro- und Ulvo-, Zygnemato- und Euglenophyceae. Im überarbeiteten Verfahren sind nun auch mehrere mikrophytische Arten der Desmidiaceen indikativ. Veränderungen hinsichtlich der als indikativ berücksichtigten Taxa innerhalb der Klassen hat es vor allem bei den Cyanobakterien gegeben. Aus Tabelle 19 wird ersichtlich, dass nach Überprüfung der Indikation der Taxa durch Betrachtung ihrer Autökologie deutlich mehr Taxa den Störzeigern (Kategorie C und D) zugeordnet werden, während die Anzahl der typspezifischen, eher bessere Zustände anzeigenden Taxa (Kategorien A und B) abgenommen hat.

Tabelle 18: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 01.

Klasse	PB 1	entfallen	neu	PB kbr 01
Cyanobacteria	38	6	6	38
Bangiophyceae	0	0	1	1
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	6	0	4	10
Phaeophyceae	1	0	0	1
Chrysophyceae	2	0	0	2
Trebouxiophyceae	0	0	0	0
Tribophyceae	2	0	0	2
Chlorophyceae	8	1	3	10
Ulvophyceae	5	0	3	8
Klebsormidiophyceae	2	2	0	0
Desmidiaceae	0	0	5	5
Zygnematophyceae	0	0	2	2
Euglenophyceae	0	0	2	2
<b>Gesamt</b>	<b>64</b>	<b>9</b>	<b>26</b>	<b>81</b>

Tabelle 19: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 01 im Vergleich zu PB 1.

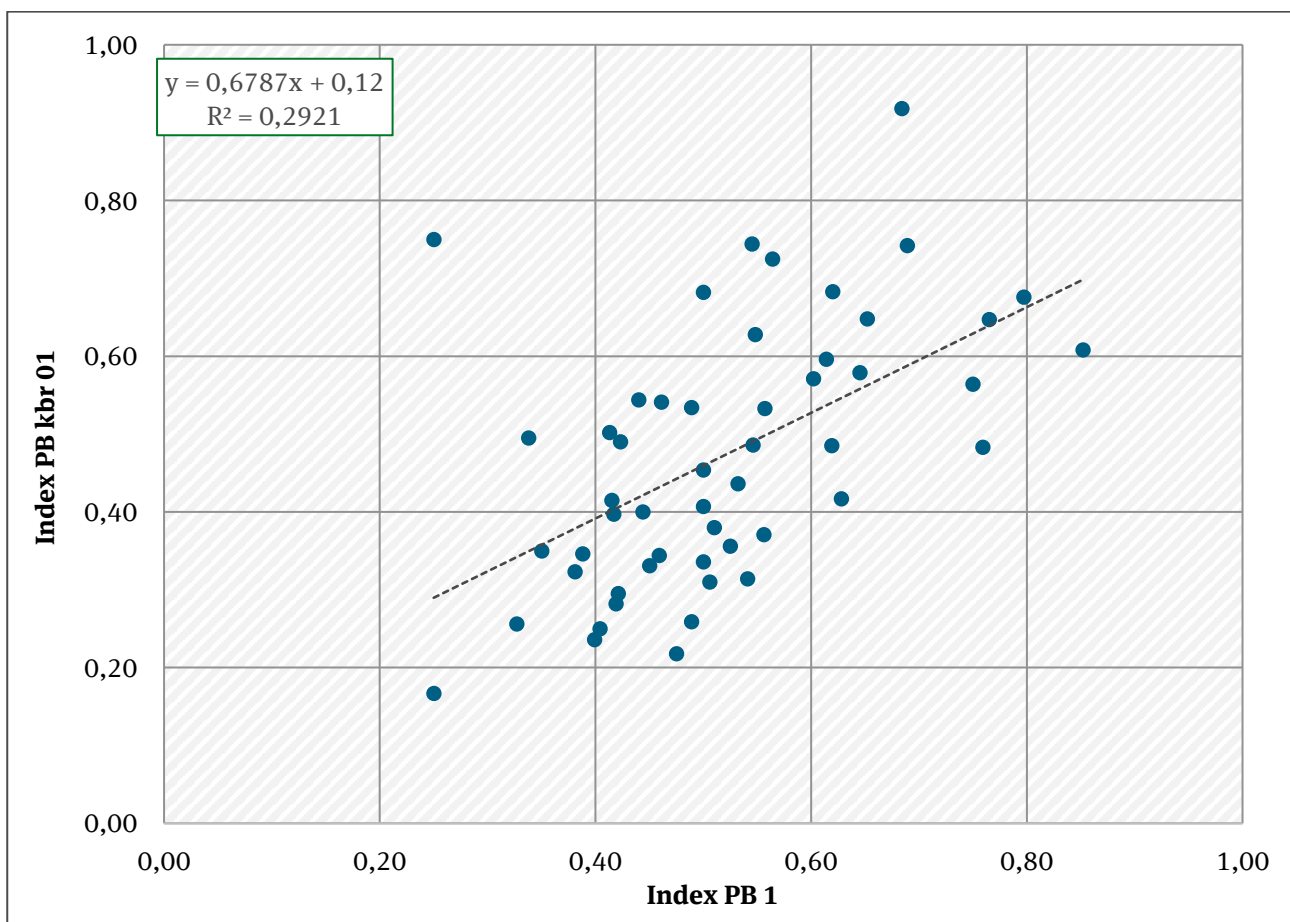
Kategorie	PB 1	PB kbr 01
A	16	14
B	26	19
B/C	0	0
C	19	29
C/D	0	2
D	3	17
Gesamt	64	81

C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Von den 63 Probestellen konnten 53 sowohl mit PHYLIB 5.3 als auch mit dem neuen Indikationsverfahren gesichert bewertet werden (Tabelle 21) – das entspricht einem Anteil von 83 %.

Ein guter Zusammenhang zwischen den Bewertungen von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3 besteht nicht. Das zeigt auch die Regressionsanalyse (Abbildung 9) mit einem Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) von 0,29.

Abbildung 9: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 1) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 01).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

Die Regression wird stark von einer Einzelprobe beeinflusst (Punkt links oben). An diesem Standort wurden drei Taxa des PoD nachgewiesen, von denen zwei (*Ulothrix zonata* und *U. tenuissima*) mit einer Massenentwicklung und eine mit makroskopisch erkennbarem Vorkommen (*Bangia atropurpurea*) registriert wurden. Im alten PHYLIB-Verfahren war *Bangia* noch nicht als Indikator enthalten, und die Indikation der *Ulothrix*-Arten mit Kategorie C führte zu der sehr schlechten Bewertung. Bei der neuen Indikation werden die *Ulothrix*-Arten nun als Indikatoren der Kategorie B angesehen. Hier gab es somit extreme Veränderungen in der Bewertung aufgrund geänderter Einstufungen der Taxa. Entfernt man diesen Wert aus der Analyse, ergibt sich ein  $R^2$  von 0,43.

Wie aus dem nachfolgenden Boxplot (Abbildung 10) ersichtlich, wird eine Auftrennung in die unterschiedlichen Zustandsklassen durch die Mediane im Plausibilisierungsverfahren gut erreicht. Allerdings erhält nur eine Probestelle Zustandsklasse 1. Tabelle 20 gibt die statistischen Grunddaten zur Berechnung der Indexgrenzen nach dem Plausibilisierungsverfahren an. Vergleicht man diese Indexgrenzen mit den im PHYLIB-Verfahren 5.3 vorgegebenen Grenzen, so sind eine deutlich strengere Einschätzung durch die Plausibilisierung und eine deutliche Verschiebung der Indexgrenzen erkennbar.

Abbildung 10: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 01.

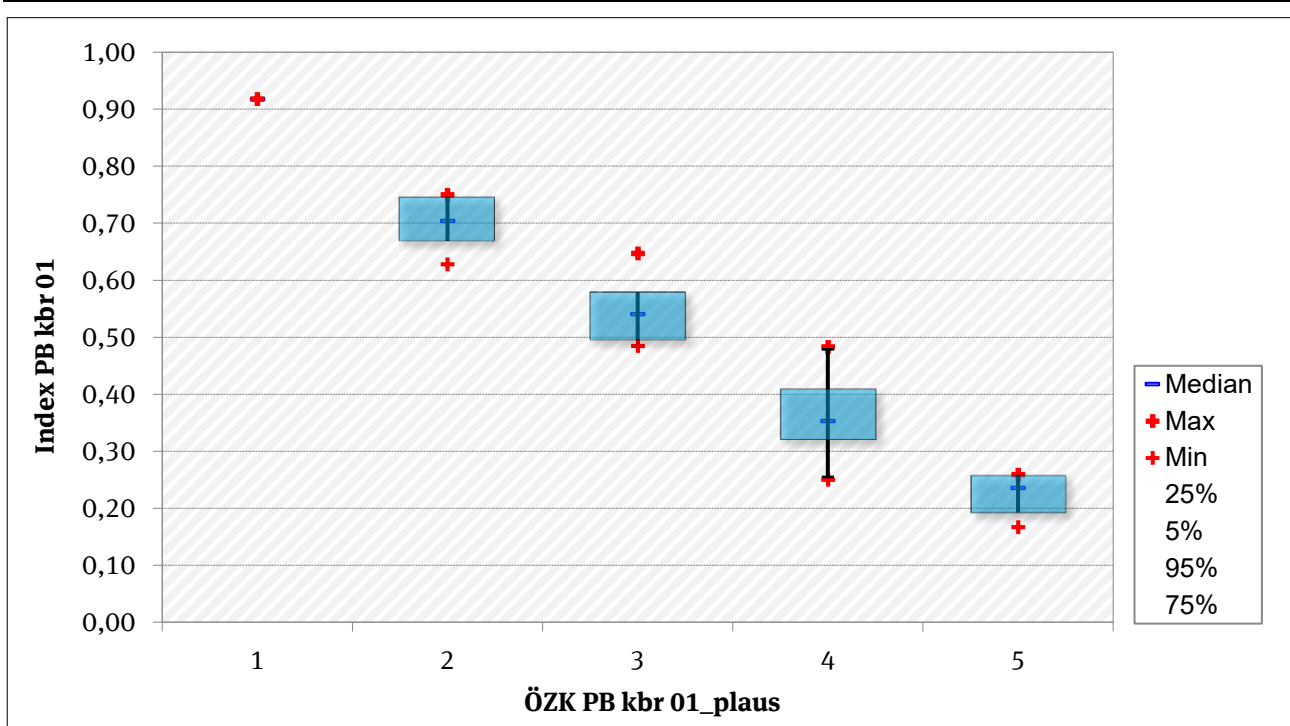


Tabelle 20: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 01 im Vergleich zu PB 1.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 01	Indexgrenzen PB 1
Klasse 1	0.92	0.92	0.92	0.92	1	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.70$
Klasse 2	0.63	0.70	0.75	0.70	10	$0.75 \geq x \geq 0.63$	$0.69 \geq x \geq 0.44$
Klasse 3	0.49	0.55	0.65	0.54	15	$0.62 \geq x \geq 0.46$	$0.43 \geq x \geq 0.27$
Klasse 4	0.25	0.36	0.48	0.35	22	$0.45 \geq x \geq 0.30$	$0.26 \geq x \geq 0.14$
Klasse 5	0.17	0.23	0.26	0.24	5	$0.29 \geq x \geq 0.00$	$0.13 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen



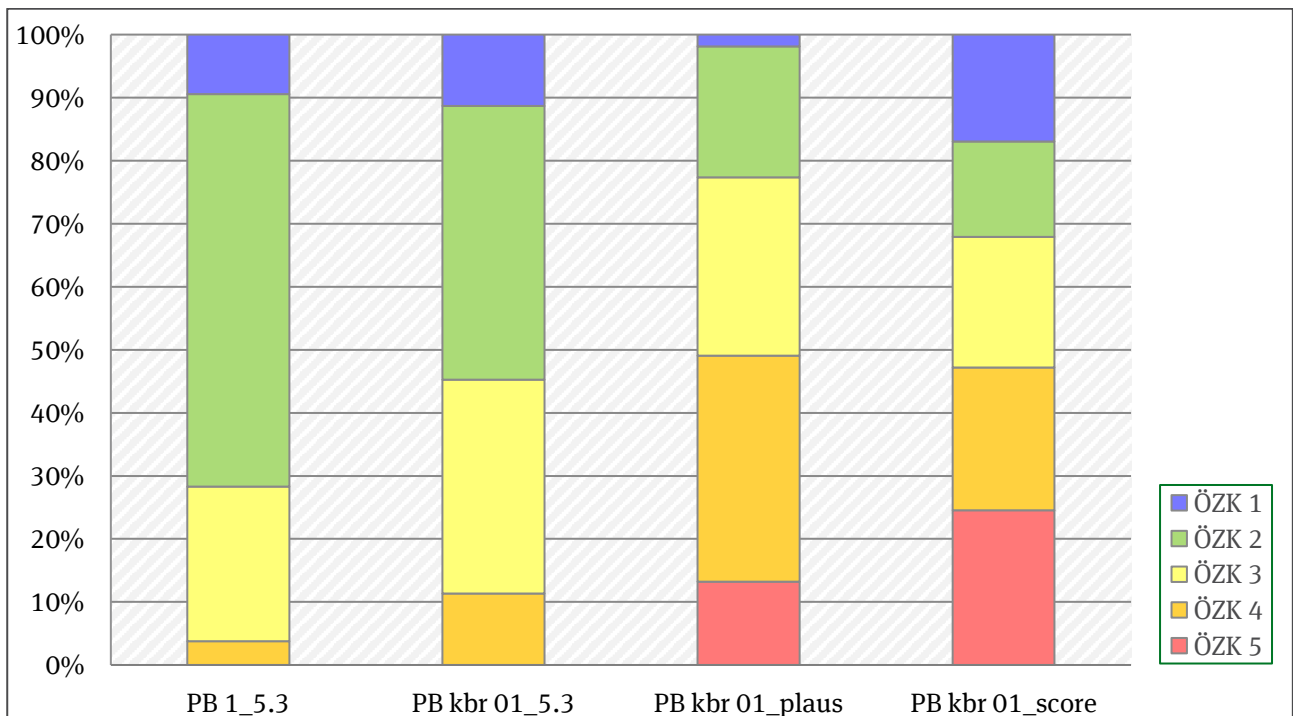
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Bewertungen in den Zustandsklassen bei Anwendung der unterschiedlichen Verfahren. Daraus wird deutlich, dass allein mit Einführung der neuen Einstufungen (PB 1\_5.3 versus PB kbr 01\_5.3) etliche Probestellen nicht mehr Klasse 2, sondern den Klassen 3 oder 4 zugeordnet werden. Der Anteil sehr gut bewerteter Probestellen bleibt fast identisch (vgl. Tabelle 21). Noch strenger fallen die Bewertungen mit dem Plausibilisierungs- bzw. Score-Verfahren aus. Allerdings verteilen sich hier die Probestellen sehr unterschiedlich in die verschiedenen Zustandsklassen. Während es beim Score-Verfahren zu einer recht gleichmäßigen Verteilung der Zustandsklassen kommt, liegt beim Plausibilisierungsverfahren der Schwerpunkt auf den Klassen 3 und 4, was für unsere doch in weiten Teilen relativ großflächig beeinträchtigten Kulturlandschaft wesentlich plausibler erscheint.

Tabelle 21: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 01.

ÖZK	PB 1_5.3	PB kbr 01_5.3	PB kbr 01_plaus	PB kbr 01_score
Klasse 1	5	6	1	9
Klasse 2	33	23	11	8
Klasse 3	13	18	15	11
Klasse 4	2	6	19	12
Klasse 5	0	0	7	13
Gesamt	53	53	53	53

Abbildung 11: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 01.



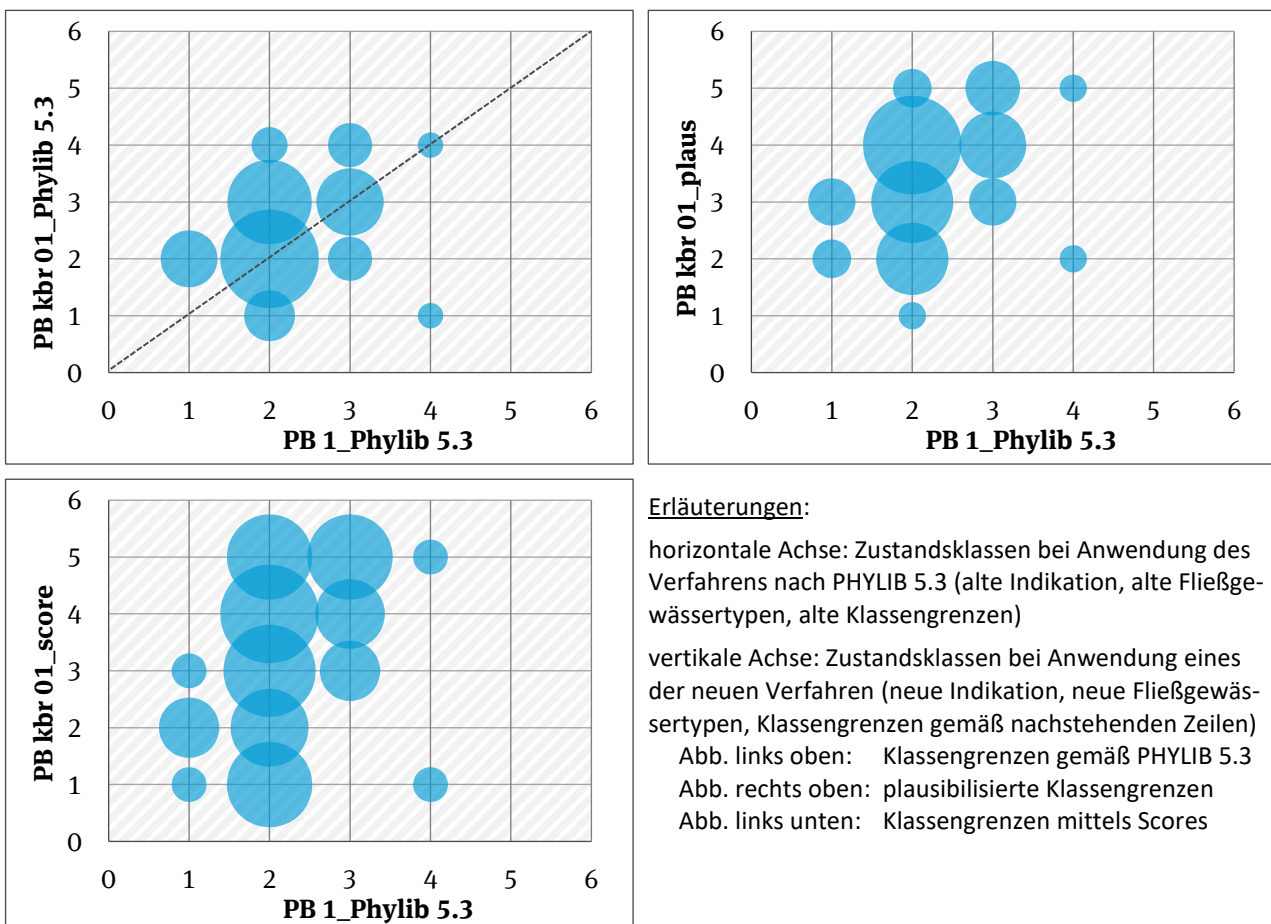
Die Veränderungen in der Zuordnung zu den Ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter und neuer Indikatorwerte für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 12.

**Erläuterungen zum Diagrammtyp „Bubbles“**

Bevor der Fokus auf die Situation des betrachteten Gewässertyps gerichtet wird, soll an dieser Stelle der Diagrammtyp zunächst einmal grundsätzlich erläutert werden. Auf der horizontalen Achse sind die Zustandsklassen (ZK) nach der Bewertung mittels PHYLIB-Verfahren und den Indexgrenzen in der Version 5.3 aufgetragen (identisch für alle Teildiagramme), auf der vertikalen Achse die Klassen der drei unterschiedlichen Szenarios. Der Durchmesser der Kreise ist ein Maß für die relative Häufigkeit der Fälle (Kombination aus den Zustandsklassen der ursprünglichen und der neuen Berechnungsweise). Kreise, deren Mittelpunkte auf der Diagonalen liegen (punktierter Linie in Abbildung 12) kennzeichnen die Fälle, bei denen es zu keinem Wechsel der Zustandsklasse (ZK) kommt. Kreise oberhalb der Diagonalen indizieren eine Verschlechterung der Klasse, Kreise unterhalb der Diagonalen eine Verbesserung.

Nun zum konkreten PoD-Typ: Für den Vergleich der Indikation nach PHYLIB 5.3 (PB 1) und nach dem überarbeiteten Verfahren (PB kbr 01) unter Anwendung der Indexgrenzen aus dem PHYLIB-Verfahren 5.3 werden alle bisher mit einer ZK 1 bewerteten Probestellen nun ZK 2 zugerechnet. Mit ZK 2 bewertete Probestellen werden nun den ZK 1 bis 4 zugeteilt. Dabei verbleibt zwar der größte Anteil in ZK 2, allerdings fällt ein großer Teil ZK 3 zu und zwei Probestellen sogar ZK 4. Vier Probestellen verbessern sich und erreichen ZK 1. Der größte Teil der Probestellen aus ZK 3 verbleibt in dieser Zustandsklasse, je vier Probestellen verändern sich zu ZK 2 bzw. 4. Von den zwei bisher mit ZK 4 bewerteten Probestellen erreicht nach der überarbeiteten Indikation eine Stelle sogar ZK 1.

Abbildung 12: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 02.



Etwas anders sehen die Veränderungen nach Anwendung der Indexgrenzen mit dem Plausibilisierungsverfahren aus. Probestellen der ZK 1 aus dem alten Verfahren gehen nun in die ZK 2 und 3 über. Von den ursprünglich mit einer ZK 2 bewerteten Probestellen fällt ein großer Anteil ZK 3 und der größte Anteil ZK 4 zu. Zwei Probestellen werden nun sogar mit ZK 5 bewertet. Nur eine Probestelle verbessert sich zu ZK 1. Die Veränderungen in den Zustandsklassen 3 und 4 ähneln denen des ersten Szenarios.

Noch drastischer sind die Veränderungen mit dem Score-Verfahren. Zwar verbleibt hier eine Probe-stelle mit der ursprünglichen Bewertung ZK 1 erwartungsgemäß auch in dieser Zustandsklasse, die Mehrzahl der Stellen wird aber nun mit ZK 2 und sogar mit ZK 3 bewertet. Probestellen mit der vorherigen Bewertung einer ZK 2 verteilen sich relativ gleichmäßig auf alle Zustandsklassen, und Probestellen mit einer vorherigen ZK 3 wandern zum großen Teil zu ZK 4 bzw. zu einem noch größeren Anteil zu ZK 5.

Bei der stichprobenartigen Plausibilisierung durch Experten erschienen die Einstufungen mit dem Plausibilisierungsverfahren oft als zu streng. Allerdings bestehen auch noch gewisse Unsicherheiten hinsichtlich der Einschätzung der in diesem PoD-Typ zusammengefassten Gewässer und ihrer typspezifischen Flora. Die Bewertung mittels Score-Verfahren erschien hingegen nicht plausibel, da es extreme Bewertungen zu stark betont. Es ist daher notwendig, im Abgleich mit den Daten der anderen Teilkomponenten sowie der Standortdaten zu endgültigen Indexgrenzen zu kommen. Die hier besprochenen Indexgrenzen sind daher nur als Diskussionsgrundlage zu werten.

### 4.3.2 Fließgewässer des Alpenvorlandes – PB kbr 02

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

In diesem PoD-Typ werden alle Fließgewässer des Alpenvorlandes zusammengefasst (Tabelle 22). Sie sind von unterschiedlichster Größe, aus Gebieten verschiedenster geologischer Prägung und von sehr unterschiedlicher Charakteristik. Es handelt sich um Bäche und kleine Flüsse der Voralpen (Subtypen 2.1 und Typ 2.2), Bäche und kleine Flüsse der Jungmoräne des Alpenvorlandes (Subtypen 3.1 und 3.2) und große Flüsse (LAWA-Typ 4). Berücksichtigt werden hier auch die eigentlich Ökoregion-unabhängigen Fließgewässertypen der organisch geprägten Bäche und Flüsse des Alpenvorlandes (LAWA-Typen 11 und 12) sowie die kleinen Niederungsgewässer in Fluss- und Stromtälern (LAWA-Typ 19). Im PHYLIB-Verfahren 5.3 waren diese Gewässer dem PoD-Typ PB 2 zugeordnet. Bisher nicht in der Bewertung berücksichtigt waren die Seenausflüsse (LAWA-Typ 21\_S).

Tabelle 22: Anzahl der im Datensatz vertretenen Probestellen für die FG-Typen des Alpenvorlandes.

Fließgewässer-typ	Typbeschreibung	Probenahmen (Anzahl)
2.1	Bäche des Alpenvorlandes	118
2.2	Kleine Flüsse des Alpenvorlandes	22
3.1	Bäche der Jungmoräne des Alpenvorlandes	70
3.2	Kleine Flüsse der Jungmoräne des Alpenvorlandes	5
4	Große Flüsse des Alpenvorlandes	26
11_karb_AvD	Organisch geprägte Bäche des Alpenvorlandes	16
12_karb_AvD	Organisch geprägte Flüsse des Alpenvorlandes	-
19_karb_AvD	Kleine Niederungsließgewässer des Alpenvorlandes	11
21_S	Seeausflüsse des Alpenvorlandes	5

Die Fließgewässertypen 2.1 und 3.1 sind in der Analyse mit den meisten Probestellen vertreten (siehe Tabelle 22), aber auch die Typen 4 und 2.2 sind mit einer ansehnlichen Anzahl an Probestellen repräsentiert. Berücksichtigung fanden zudem einige Probestellen der Typen 11, 12, 19 und 21\_S. Diese Zusammenfassung ist insofern problematisch, als damit neben Gewässern mit einer grundsätzlich karbonatischen Prägung auch solche mit Einfluss silikatischer bzw. organischer Prägung betrachtet werden. Als Substrate stehen den benthischen Algen in diesen Gewässern Blöcke, Kies, Schotter und Sand in unterschiedlichen Anteilen zur Verfügung. Für die benthischen Diatomeen werden meso-eutrophe bis eutrophe Bedingungen für den Referenzzustand angegeben (Pottgiesser 2018). Die Gemeinschaft der Algen des PoD wird in diesen Gewässern von toleranten und eher eutraphenten Taxa geprägt (siehe Rolauffs et al 2020: Anhang 4, NMDS-Analysen). Im Unterschied zu den Alpengewässern sind Vorkommen alkalibionter bis alkaliphiler, epilithischer Charakterarten wie *Phormidium incrustatum*, *Homoeothrix crustacea* und *Gongrosira incrustans* nicht sehr auffällig. Dies gilt ebenso für mikrophytische Arten, die eigentlich in den Auengewässern zu erwarten gewesen wären.

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Durch die neuen Daten hat sich die Gesamtanzahl der zur Verfügung stehenden Indikatoren nur geringfügig verändert (Tabelle 23). Allerdings finden nun wesentlich mehr Taxa der Desmidiaceen und Euglenophyceen in der Indikation Berücksichtigung. Deutliche Wechsel von Indikatortaxa gab es bei den Cyanobakterien, bei denen 14 Taxa nicht mehr berücksichtigt werden, während 8 Taxa nun als indikativ eingestuft werden. Aus den Taxzahlen der vier Indikationskategorien (Tabelle 24) wird deutlich, dass nach Überprüfung der Indikation der Taxa durch Betrachtung ihrer Autökologie, ein wesentlicher Teil der vorhandenen Arten eher als Störzeiger (Kategorie C und D) angesehen wird, während

sich die Anzahl typspezifischer, eher bessere Zustände anzeigender Taxa der Kategorien A und B im Vergleich zur PHYLIB-Version 5.3 in etwa halbiert hat.

Tabelle 23: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 02.

Klasse	PB 2	entfallen	neu	PB kbr 02
Cyanobacteria	39	14	8	33
Bangiophyceae	1	0	0	1
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	8	2	1	7
Phaeophyceae	1	0	0	1
Chrysophyceae	2	0	0	2
Trebouxiophyceae	2	2	0	0
Tribophyceae	4	2	2	4
Chlorophyceae	9	2	6	13
Ulvophyceae	5	0	4	9
Klebsormidiophyceae	3	3	0	0
Desmidiaceae	5	0	6	11
Zygnematophyceae	2	1	1	2
Euglenophyceae	0	0	4	4
<b>Gesamt</b>	<b>81</b>	<b>26</b>	<b>32</b>	<b>87</b>

Tabelle 24: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 02 im Vergleich zu PB 2.

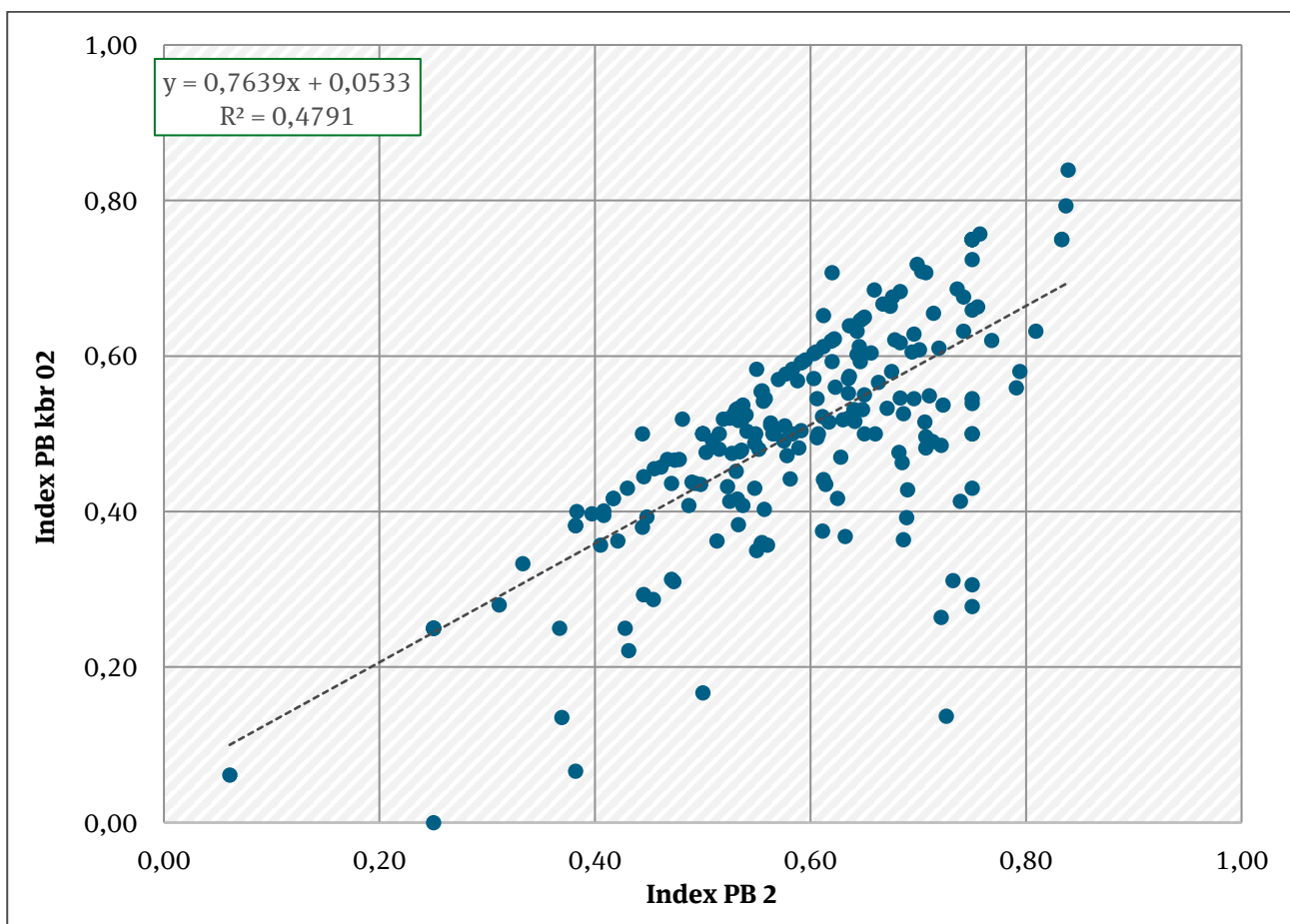
Kategorie	PB 2	PB kbr 02
A	19	10
B	41	26
B/C	3	2
C	15	28
C/D	0	5
D	3	16
<b>Gesamt</b>	<b>81</b>	<b>87</b>

### C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Für eine Analyse der Alpenvorlandgewässer standen Daten von 273 Probestellen zur Verfügung. Davon konnten 219 Stellen mit PHYLIB 5.3 und 221 Probestellen mit dem neuen Indikationsverfahren gesichert bewertet werden – das entspricht Anteilen von 80 % bzw. 81 %.

Zwischen der Bewertung mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3 besteht durchaus ein Zusammenhang. Dies zeigt die Regressionsanalyse (Abbildung 13), die ein Bestimmtheitsmaß von 0,48 aufweist.

Abbildung 13: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 2) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 02).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

Aus der Analyse geht auch hervor, dass die Veränderungen mehrheitlich in Richtung Verschlechterungen tendieren (ein Großteil der Punkte liegt unterhalb der gedachten Diagonalen). Insgesamt decken die Indexwerte fast den gesamten Bereich möglicher Werte ab.

Wie aus dem nachfolgenden Boxplot (Abbildung 14) ersichtlich, trennen sich die Zustandsklassen anhand der Mediane gut voneinander ab. Allerdings gibt es zwischen ZK 1 und ZK 2 deutliche Überschneidungen hinsichtlich der Indexwerte – eine klare Grenze ist schwer erkennbar. Klasse 3 ist sehr eng definiert; vergleicht man die nach dem Plausibilisierungsverfahren bestimmten Indexgrenzen mit den im PHYLIB-Verfahren 5.3 vorgegebenen Grenzen (Tabelle 25), so wird eine strengere Einschätzung der Grenzen für Klasse 3 deutlich, was damit zu einer Verschiebung der Probestellenbewertungen hin zu schlechteren Bewertungen führt.

Abbildung 14: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 02.

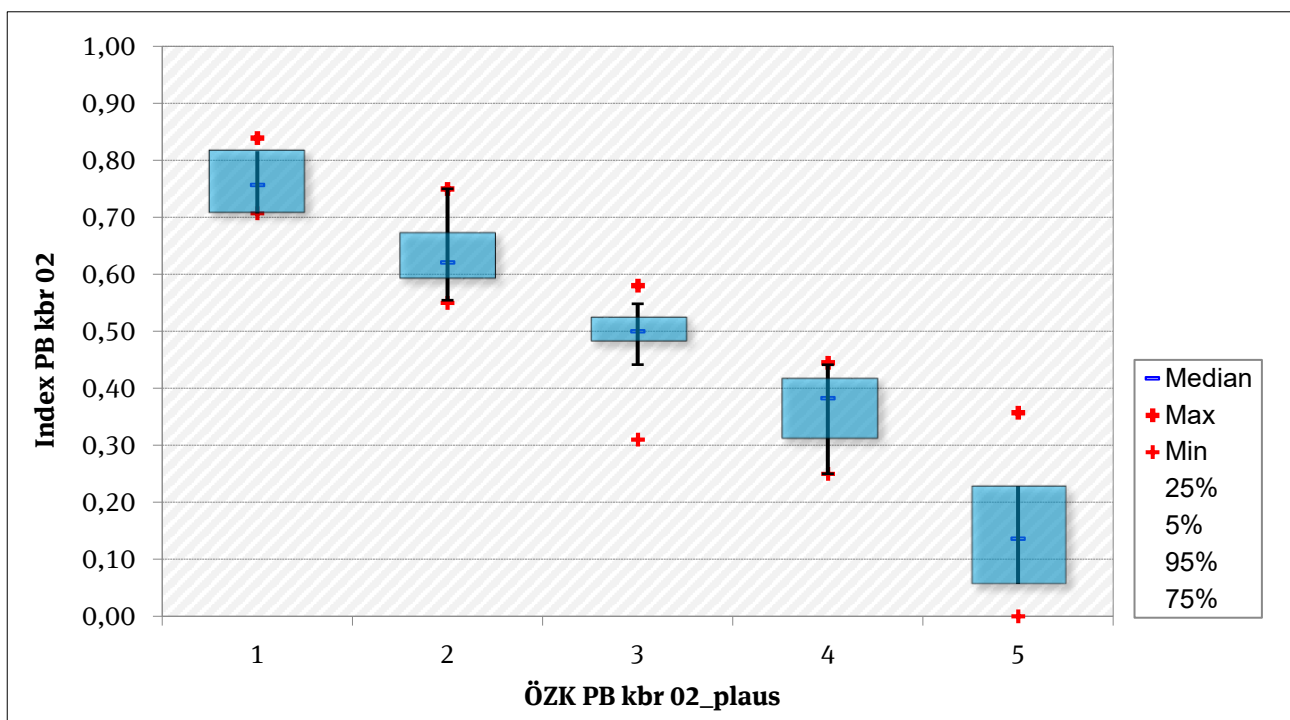


Tabelle 25: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 02 im Vergleich zu PB 2.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 02	Indexgrenzen PB 2
Klasse 1	0.71	0.76	0.84	0.76	5	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.80$
Klasse 2	0.55	0.64	0.75	0.62	69	$0.75 \geq x \geq 0.57$	$0.79 \geq x \geq 0.55$
Klasse 3	0.31	0.50	0.58	0.50	84	$0.56 \geq x \geq 0.45$	$0.54 \geq x \geq 0.30$
Klasse 4	0.25	0.37	0.45	0.38	53	$0.44 \geq x \geq 0.27$	$0.29 \geq x \geq 0.20$
Klasse 5	0.14	0.14	0.36	0.14	10	$0.26 \geq x \geq 0.00$	$0.19 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Aus Tabelle 26 und Abbildung 15 wird (analog zur Situation bei den Alpengewässern) deutlich, dass sich allein mit Einführung der neuen Einstufungen (PB 2\_5.3 versus PB kbr 02\_5.3) der Anteil der als „sehr gut“ und „gut“ bewerteten Probestellen deutlich verringert. Interessanterweise sind die Anteile der beiden oberen Zustandsklassen für alle drei neuen Einstufungsverfahren ähnlich. Durch Anwendung der unterschiedlichen Indexgrenzen kommt es hier nur zu veränderten Abgrenzungen zwischen den Klassen 1 und 2, wobei die Einschätzung nach dem Score-Verfahren zu einer sehr milden Zuordnung hinsichtlich der ZK 1 führt.

Bei den Probestellen, die den guten Zustand nicht erreichen, fallen die Bewertungen mit dem Plausibilisierungs- bzw. Score-Verfahren im Vergleich zum Verfahren PB kbr 02\_5.3 strenger aus. Bei Berücksichtigung der Indexgrenzen aus PHYLIB 5.3 fallen über 50 % der Probestellen in die Klasse 3, während es bei den anderen Verfahren unter 40 % sind. Daher kommt es zu höheren Anteilen der Bewertungen mit den Klassen 4 und 5. Dabei liegt der Anteil der ZK 5 im Score-Verfahren nochmals höher als im Plausibilisierungsverfahren.

Tabelle 26: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 02.

ÖZK	PB 2_5.3	PB kbr 02_5.3	PB kbr 02_plaus	PB kbr 02_score
Klasse 1	7	2	3	27
Klasse 2	139	82	67	48
Klasse 3	67	119	85	79
Klasse 4	5	11	51	43
Klasse 5	1	7	15	24
Gesamt	219	221	221	221

Abbildung 15: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 02.

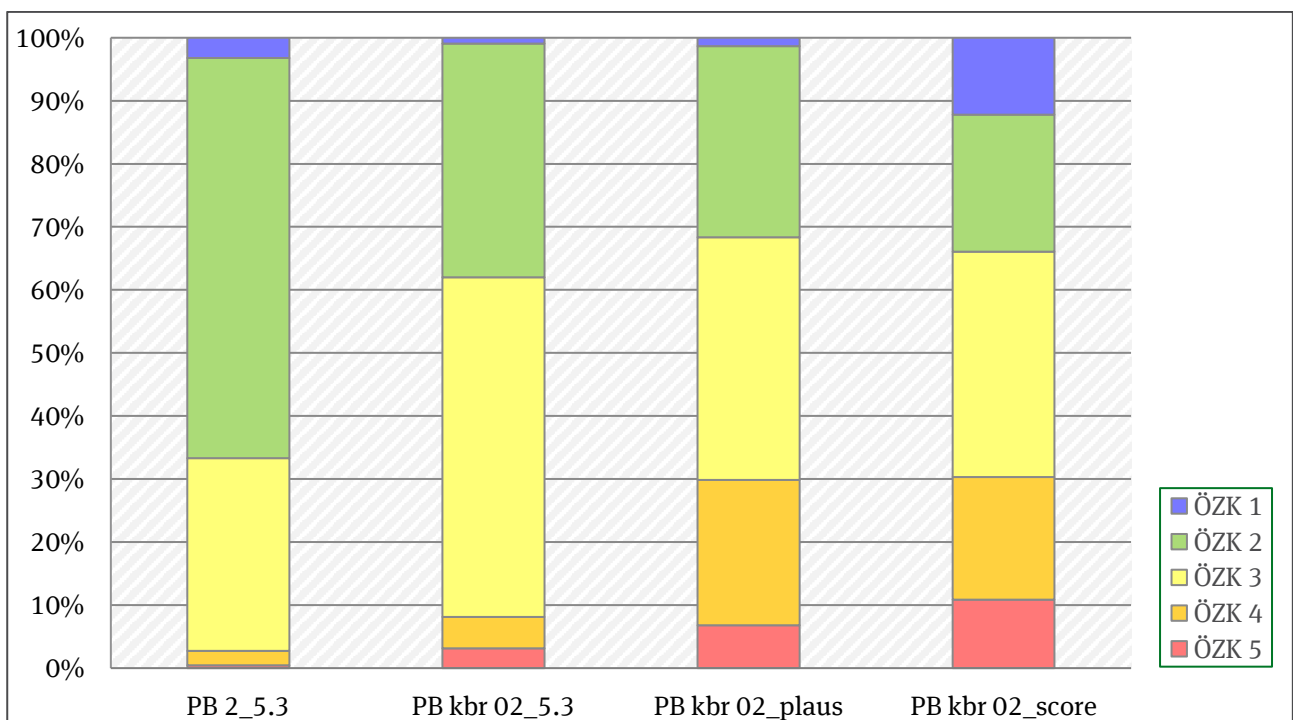
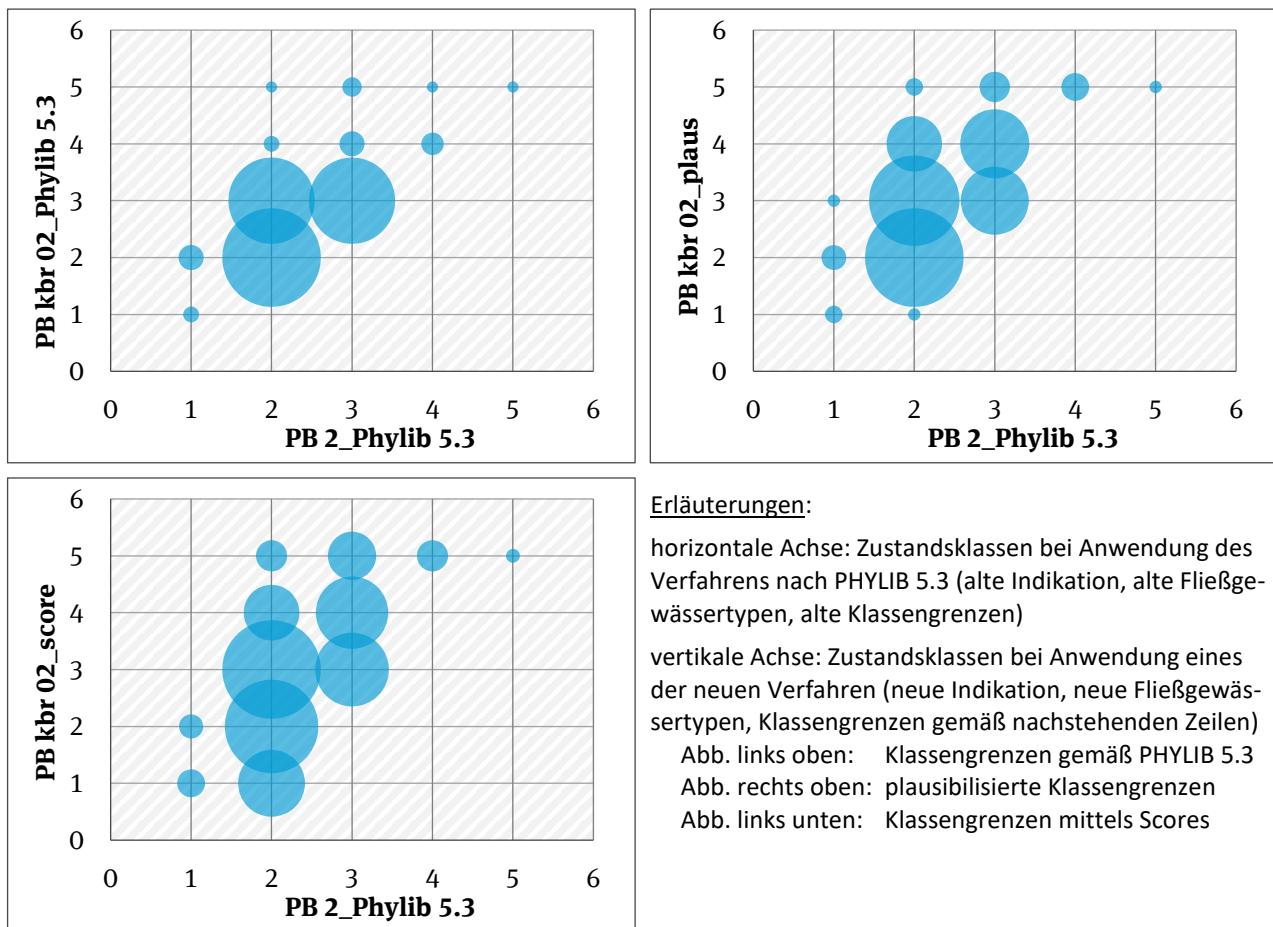


Abbildung 16 zeigt die Verschiebungen in der Verteilung der Ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 2) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 02) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios. Bei der Indikation nach PHYLIB 5.3 (PB 2) und nach dem überarbeiteten Verfahren (PB kbr 02) unter Anwendung der Indexgrenzen aus dem PHYLIB-Verfahren 5.3 verbleibt nur ein geringer Anteil von Probestellen in ZK 1. Die Mehrzahl wird durch die neue Indikation ZK 2 zugeordnet. Bei den ursprünglich mit ZK 2 eingestuften Probestellen wird ein größerer Teil nun eine Klasse schlechter bewertet, und einige Probestellen fallen sogar den ZK 4 bzw. 5 zu. Allerdings verbessern sich auch Probestellen hinsichtlich ihrer Bewertung zu ZK 1. Auch für diese Gewässer verbleibt der größte Teil der Probestellen der ZK 3 in dieser Klasse, und bei nur wenigen Stellen verändert sich die Bewertung in ZK 4 bzw. 5. Relativ stabil bleiben die Bewertungen in ZK 4: Hier verschlechtert sich nur ein Standort zu ZK 5, und eine vorher mit ZK 5 bewertete Stelle wird auch bei neuer Indikation gleich eingestuft.



Abbildung 16: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 02.



Etwas anders sehen die Veränderungen nach Anwendung der Indexgrenzen mit dem Plausibilisierungsverfahren aus. Die mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 mit ZK 1 bewerteten Probestellen werden auf drei Zustandsklassen aufgeteilt, und auch bei den vorher mit ZK 2 bewerteten Stellen ist nun eine stärkere Differenzierung erkennbar. Wesentlich schlechter bewertet werden viele der ursprünglich mit ZK 3 bewerteten Stellen. Die Veränderungen mit dem Score-Verfahren betreffen vor allem die Zustandsklassen 1, 2 und 3. Einige ursprünglich mit ZK 1 bewerteten Probestellen verschlechtern sich ebenso wie bei den anderen Verfahren, allerdings ist der Effekt nicht so deutlich. Ähnlich verhält es sich für die mit ZK 3 bewerteten Probestellen. Wesentlich sind aber die Veränderungen bei den mit ZK 2 bewerteten Stellen. Hier kommt es einerseits zu deutlich verbesserten Bewertungen; 23 Probestellen fallen nun sogar der ZK 1 zu. Die Anteile, die den schlechteren Zustandsklassen zufallen, ähneln denen im Plausibilisierungsverfahren. Insgesamt werden extreme Bewertungen betont.

Bei der stichprobenartigen Plausibilisierung durch Experten erschienen die Einstufungen mit dem Plausibilisierungsverfahren häufig gerechtfertigt. Bei den mit ZK 5 bewerteten Probestellen kamen oft Massenentwicklungen eutraphenter Arten vor oder die Trophie wurde auf Grund des Artenspektrums als untypisch eingeschätzt. Auch hier erschien das Score-Verfahren als nicht plausibel, da es extreme Bewertungen zu stark betont. Allerdings bestehen für diesen PoD-Typ ebenso wie für die Alpengewässer Unsicherheiten hinsichtlich der Einschätzung, da hier sehr viele unterschiedliche Fließgewässertypen zusammengefasst wurden und so eine ausreichende Differenzierung in der Bewertung schwierig ist.

### 4.3.3 Karbonatisch geprägte, grobmaterialreiche Bäche des Mittelgebirges – PB kbr 03

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

In diesem PoD-Typ wird ausschließlich LAWA-Typ 7 behandelt. Im PHYLIB-Verfahren 5.3 waren diese Gewässer dem PoD-Typ PB 5 zugeordnet. Als Substrat steht den Algen des PoD in den stärker fließenden Bereichen mit Steinen und Schotter vor allem Grobmaterial zur Verfügung. Auffällig sind Versinterungen, an denen kalkkrustenbildende Algen einen erheblichen Anteil haben. Hierzu gehören die epilithischen Charakterarten der Gewässer wie *Homoeothrix crustacea*, *Phormidium incrustatum* und *Gongrosira incrustans*. Hinzu kommen fädige Wuchsformen, die eher mit zunehmendem Nährstoffgehalt und abnehmendem pH auftreten (*Enteromorpha*, *Rhizoclonium*, *Cladophora*, *Oedogonium*, *Vaucheria*, *Tribonema*, *Spirogyra*). Zusätzlich ist eine mikrophytische Algenflora auffällig, die teils epiphytisch (z. B. die Blaualge *Chamaesiphon incrustans*) oder metaphytisch (z. B. Arten der Desmidiaceae und Euglenophyceae) wächst. Sie besiedelt offenbar die Bereiche mit nicht zu starker Strömung. Nach Angaben für die benthischen Diatomeen sind trophiesensible, alkaliphile, mesotraphente Arten im Leitbild zu erwarten (Pottgiesser 2018; Rolauuffs et al 2020: Anhang 4, NMDS-Analysen).

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Durch die Analyse der Projektdaten hat sich die Gesamtzahl der zur Verfügung stehenden Indikatoren um 60 % vergrößert (siehe Tabelle 27). Auffällig viele Taxa kommen bei den Cyanobakterien, den Florideophyceae, den Chlorophyceae, den mikrophytischen Desmidiaceae und Euglenophyceae hinzu. Wechsel von Indikatortaxa innerhalb der Algenklassen waren vor allem bei den Cyanobakterien festzustellen.

Aus Tabelle 28 wird deutlich, dass im Vergleich zur PHYLIB-Version 5.3 nach Überprüfung der Indikation der Taxa durch Betrachtung ihrer Autökologie viele Indikatoren in den Kategorien der typspezifischen Taxa A und B, aber auch tolerante Störzeiger der Kategorie C hinzugekommen sind. Den größten Zuwachs hat es bei den Indikatoren der Kategorie D gegeben, also den Störzeigern, die eine starke Eutrophierung bzw. deutlich typunspezifische Zustände anzeigen.

Tabelle 27: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 03.

Klasse	PB 5	entfallen	neu	PB kbr 03
Cyanobacteria	29	6	22	45
Bangiophyceae	0	0	1	1
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	9	0	5	14
Phaeophyceae	1	0	0	1
Chrysophyceae	2	1	0	1
Trebouxiophyceae	0	0	0	0
Tribophyceae	5	1	3	7
Chlorophyceae	10	2	11	19
Ulvophyceae	6	0	5	11
Klebsormidiophyceae	1	1	0	0
Desmidiaceae	13	2	6	17
Zygnematophyceae	2	1	1	2
Euglenophyceae	1	0	9	10
<b>Gesamt</b>	<b>79</b>	<b>14</b>	<b>63</b>	<b>128</b>

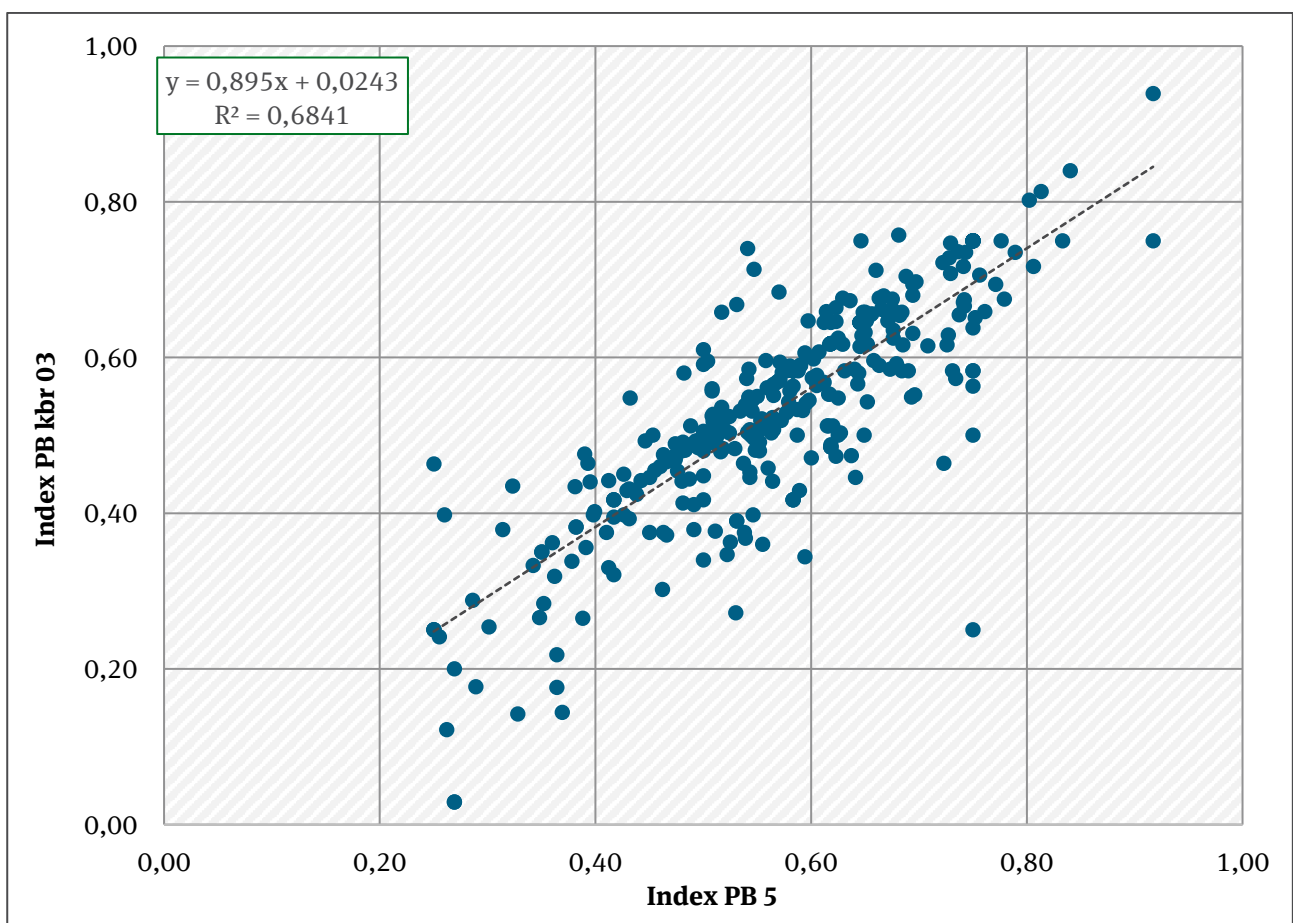
Tabelle 28: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 03 im Vergleich zu PB 5.

Kategorie	PB 5	PB kbr 03
A	14	18
B	34	45
B/C	4	3
C	22	34
C/D	0	5
D	5	23
Gesamt	79	128

C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Für eine Analyse der karbonatischen, grobmaterialreichen Bäche des Mittelgebirges standen Daten von 371 Probestellen zur Verfügung. Davon konnten 347 Probestellen mit PHYLIB 5.3 und mit dem neuen Indikationsverfahren gesichert bewertet werden – das entspricht einem Anteil von 94 %.

Abbildung 17: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 5) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 03).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

Wie die Regressionsanalyse (Abbildung 17) zeigt, besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Bewertung mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,68 – der Zusammenhang ist damit

als vergleichsweise stark zu betrachten. Insgesamt decken die Indexwerte einen Großteil des zur Verfügung stehenden Wertebereichs ab und zeigen, dass es durch die Neueinstufungen gleichermaßen zu Verbesserungen wie zu Verschlechterungen der Bewertungen kommt.

Nach dem Plausibilisierungsverfahren trennen sich die Zustandsklassen anhand der Mediane recht gut (Abbildung 18). Nennenswerte Überschneidungen gibt es vor allem zwischen den Klassen 1 und 2 sowie zwischen den Klassen 2 und 3. Wie bei den Voralpengewässern ist für diesen PoD-Typ die Zustandsklasse 3 bezüglich der Indexwerte mit dem Plausibilisierungsverfahren sehr eng definiert. Die Klassen 4 und 5 sind am klarsten voneinander zu trennen. Vergleicht man diese Indexgrenzen mit den im PHYLIB-Verfahren 5.3 vorgegebenen Grenzen (Tabelle 29), so wird die Einschätzung der ZK 1 milder, die der ZK 2 bleibt gleich und die Zustandsklassen 3, 4 und 5 werden strenger bewertet.

Abbildung 18: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 03.

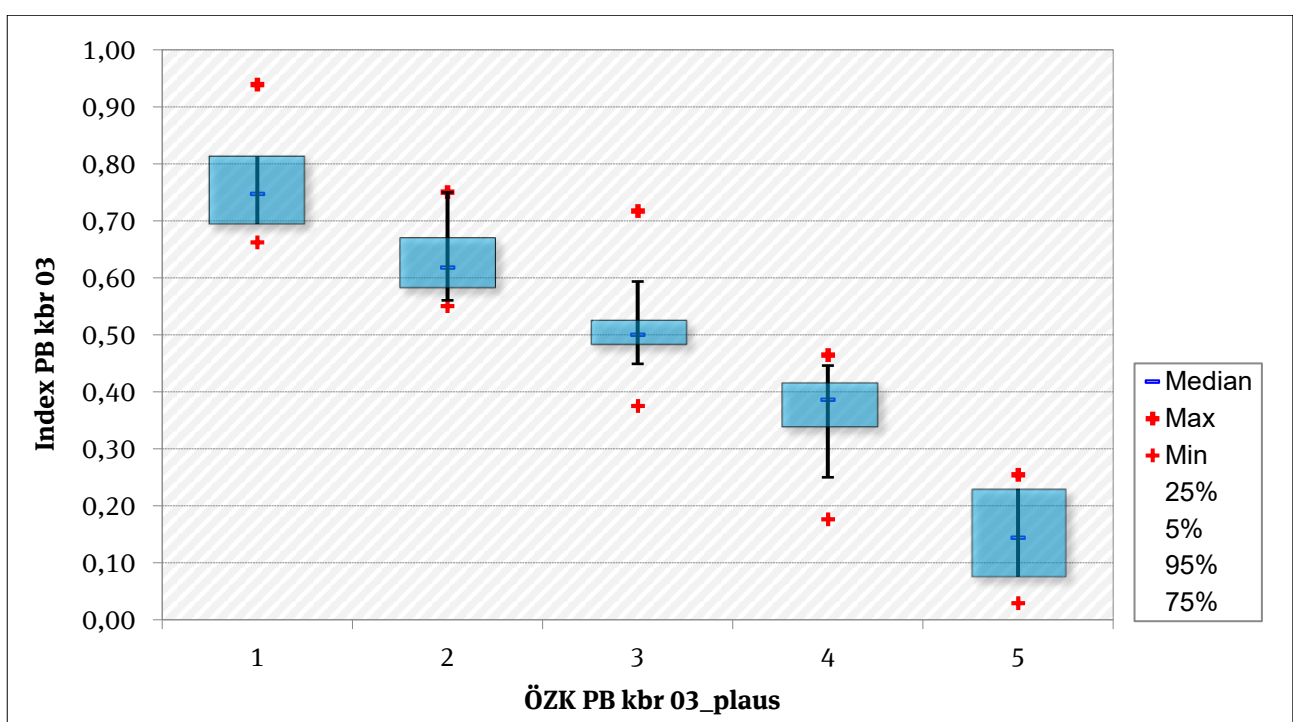


Tabelle 29: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 03 im Vergleich zu PB 5.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 03	Indexgrenzen PB 5
Klasse 1	0.66	0.76	0.94	0.75	15	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.80$
Klasse 2	0.55	0.63	0.75	0.62	133	$0.75 \geq x \geq 0.57$	$0.79 \geq x \geq 0.55$
Klasse 3	0.38	0.50	0.63	0.50	125	$0.56 \geq x \geq 0.45$	$0.54 \geq x \geq 0.40$
Klasse 4	0.18	0.37	0.46	0.39	110	$0.44 \geq x \geq 0.28$	$0.39 \geq x \geq 0.20$
Klasse 5	0.15	0.15	0.25	0.14	9	$0.27 \geq x \geq 0.00$	$0.19 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

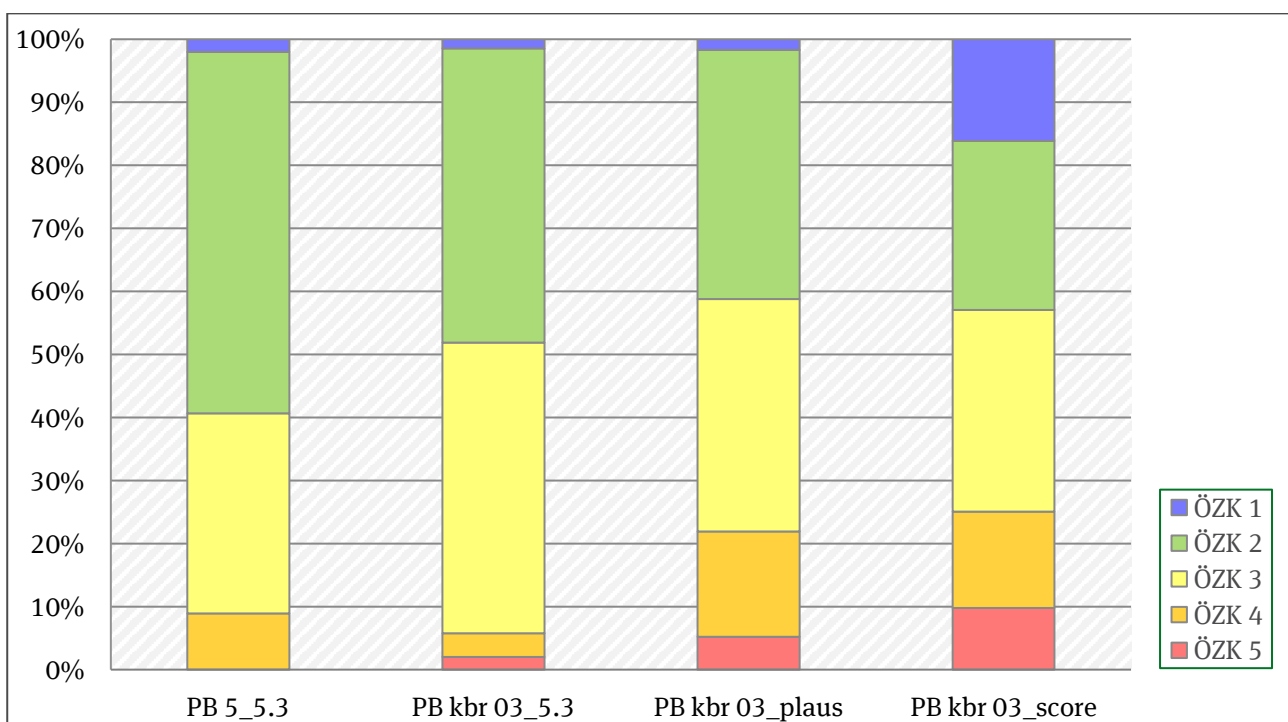
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Aus Tabelle 30 und Abbildung 19 wird deutlich, dass mit Einführung der neuen Einstufungen (PB 5\_5.3 versus PB kbr 03\_5.3) zwar mehr Probestellen der ZK 3 zugeordnet werden, es aber wenig Änderungen bei den mit ZK 1 bewerteten Probestellen gibt. Durch die Berücksichtigung zusätzlicher Indikatoren kommt es unter Anwendung der Indexgrenzen nach PHYLIB 5.3 zu einer Aufschlüsselung der Bewertungen zwischen den Klassen 4 und 5, obwohl insgesamt der Anteil der mit diesen Zustandsklassen bewerteten Probestellen abgenommen hat. Strenger bewerten das Plausibilisierungsverfahren und das Score-Verfahren. Hier sind die Anteile der mit ZK 4 und ZK 5 bewerteten Probestellen deutlich erhöht. Beide Verfahren kommen zu ähnlich hohen Anteilen der ZK 3 (37 % bzw. 31 %), sie unterscheiden sich allerdings deutlich hinsichtlich der Klassen 1 und 2.

Tabelle 30: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 03.

ÖZK	PB 5_5.3	PB kbr 03_5.3	PB kbr 03_plaus	PB kbr 03_score
Klasse 1	7	5	6	56
Klasse 2	199	162	137	93
Klasse 3	110	160	128	111
Klasse 4	31	13	58	53
Klasse 5	0	7	18	34
Gesamt	347	347	347	347

Abbildung 19: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 03.



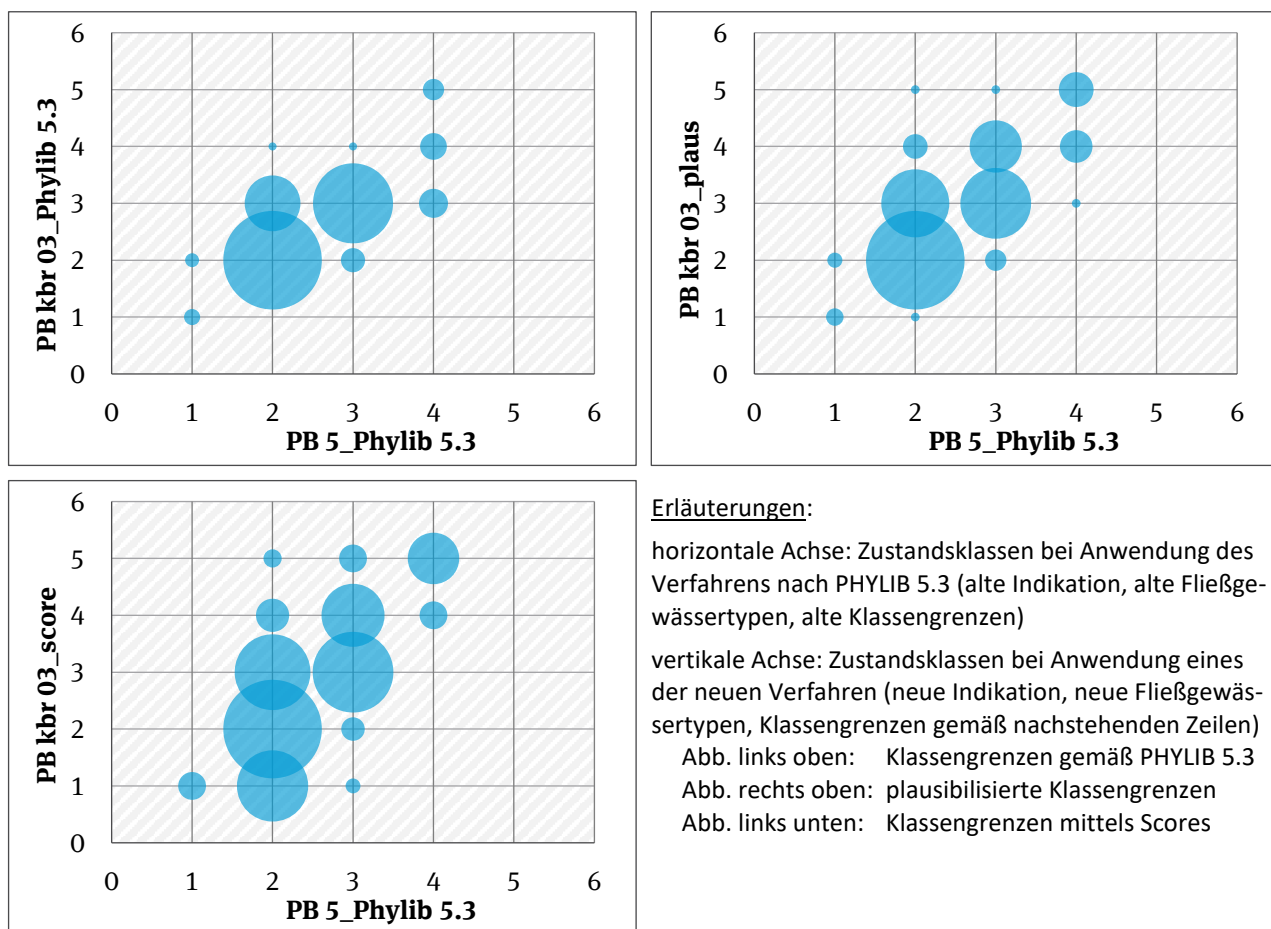
Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 5) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 03) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 20.

Bei der Indikation nach PHYLIB 5.3 (PB 2) und nach dem überarbeiteten Verfahren (PB kbr 03) unter Anwendung der Indexgrenzen aus dem PHYLIB-Verfahren 5.3 werden einige Probestellen der vorherigen ZK 1 nun ZK 2 zugeordnet. Bezüglich ZK 2 verbleibt der größte Teil in der bisherigen Zustandsklasse. Etwa ein Drittel der bislang mit ZK 2 bewerteten Probestellen wird durch die überarbeitete Indikation ZK 3 zugeordnet und eine Probestelle sogar ZK 4. Auch bei dem größten Teil der mit ZK 3 bewerteten Probestellen bleibt es bei dieser Bewertung. Einige Probestellen werden durch die neue Indikation besser eingestuft und nur eine Stelle schlechter. Die bisher mit ZK 4 bewerteten Probestellen werden teils besser, teils aber auch schlechter bewertet.

Bei Anwendung nach dem Plausibilisierungsverfahren werden ebenso viele Probestellen wie durch die veränderte Indikation von der vorherigen ZK 1 nun ZK 2 zugeordnet. Stärker differenziert werden die bislang mit den Klassen 2, 3 und 4 bewerteten Probestellen. Zwar bleibt jeweils der größte Teil der Bewertungen erhalten, aber recht große Anteile verschlechtern sich um eine Zustandsklasse – eine geringe Anzahl von Stellen sogar um zwei Klassen. Ein jeweils geringer Anteil verbessert sich um eine Klasse.

Die Veränderungen mit dem Score-Verfahren betreffen hauptsächlich die Klassen 2 und 3. Dabei werden die Probestellen, die bisher mit ZK 2 bewertet wurden, allen möglichen Zustandsklassen zugeteilt. Insgesamt verschlechtert sich der Hauptteil der Probestellen in der Bewertung, allerdings gibt es auch einen recht großen Anteil von Stellen, deren Bewertung sich verbessert. Der größte Teil der bisherigen Bewertungen mit ZK 4 fällt nun der Klasse 5 zu.

Abbildung 20: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 03.



Bei der Plausibilisierung durch Experten erschienen die Einstufungen mit dem Plausibilisierungsverfahren meist gerechtfertigt. Bei den nach dem Plausibilisierungsverfahren schlecht bewerteten Probestellen wurden fast immer Massenentwicklungen eutraphenter Arten oder eine durch das Artenspektrum ersichtliche stark erhöhte Trophie festgestellt. In einigen Fällen gab es Zweifel an der Typzugehörigkeit der Probestellen und der daraus zu folgernden Bewertung. Hier kamen auch Taxa silikatisch geprägter Gewässer vor. Vermutlich stammen diese Analysen von Probestellen aus Übergangsregionen. Die Bewertung mit dem Score-Verfahren erschien teils als zu positiv, teils als zu negativ. Auch in diesem PoD-Typ kommt es durch dieses Verfahren zur Betonung extremer Bewertungen.

### 4.3.4 Karbonatisch geprägte Flüsse des Mittelgebirges – PB kbr 04

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Dieser PoD-Typ umfasst Gewässer, die bisher im PHYLIB-Verfahren 5.3 mit dem PoD-Typ PB 6 bewertet wurden. Das betrifft den Großteil der fein- bis grobmaterialreichen Mittelgebirgsflüsse der Muschelkalk-, Jura-, Malm-, Lias-, Dogger- und anderer Kalkregionen (LAWA-Typ 9.1) sowie die großen Flüsse (LAWA-Typ 9.2). Ein Teil der Probestellen des FG-Typs 9.1 wurde von den Bundesländern auf Grund der Beschaffenheit des Sohlsubstrates aber dem PoD-Typ PB 4 zugerechnet. Diese wurden hier aus der Analyse ausgeschlossen und dem neuen PoD-Typ PB kbr 07 zugerechnet. Die Abkürzung „PB 6“ weist auf diese Differenzierung hin.

Ähnlich wie in den karbonatisch geprägten Mittelgebirgsbächen stehen auch in den Flüssen in stärker fließenden Bereichen Steine und Schotter als Substrat zur Verfügung. Allerdings gibt es wesentlich mehr strömungsberuhigte Bereiche mit feinsedimentreichen Ablagerungen wie Sand und Lehm. Auch durch die unterschiedliche Gestalt der sehr dynamischen, flachen Gewässer unter Abflussführung und erheblichen Abflussschwankungen im Jahresverlauf herrscht in ihnen eine große Habitatvielfalt. Die Trophie liegt nach Angaben für die benthischen Diatomeen im Referenzzustand im mesotrophen und meso-eutrophen Bereich (Pottgiesser 2018). Die Gesellschaften des PoD reagieren auf Veränderungen der Leitfähigkeit und des Chloridgehaltes sowie auf die Gehalte von Gesamt-Stickstoff und Nitrat (Rolaufts et al. 2020: Anhang 4, NMDS-Analysen). Charakteristisch sind Vorkommen kalkkrustenbildender Blaualgen und epilithischer Arten, wie der Rotalgen *Paralemanea* und *Hildenbrandia rivularis*. Allerdings ist auch eine mikrophytische Algenflora von alkaliphilen, toleranten Desmidiaceae und Euglenophyceae auffällig. Bei höherer Trophie treten tolerante, fädige Grünalgen der Tribo- und Ulvophyceae auf. Erhöhte Chloridgehalte dokumentieren sich durch das Auftreten von Arten der Gattung *Ulva* (syn. *Enteromorpha*).

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Durch Neueinstufungen hat sich die Gesamtanzahl der zur Verfügung stehenden Indikatoren um fast 70 % vergrößert (Tabelle 31). Vor allem Arten der Euglenophyceen finden nun Berücksichtigung, aber auch bei den Chloro- und Florideophyceae sowie den Cyanobacteria und den Desmidiaceen hat die Anzahl der Indikatoren deutlich zugenommen.

Tabelle 31: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 04.

Klasse	PB 6	entfallen	neu	PB kbr 04
Cyanobacteria	31	6	25	53
Bangiophyceae	1	0	0	1
Florideophyceae	8	0	4	12
Phaeophyceae	0	0	1	1
Chrysophyceae	2	2	0	0
Trebouxiophyceae	0	0	0	0
Tribophyceae	6	2	3	7
Chlorophyceae	10	2	15	23
Ulvophyceae	8	1	4	11
Klebsormidiophyceae	2	2	0	0
Desmidiaceae	15	0	9	24
Zygnematophyceae	2	1	0	1
Euglenophyceae	3	1	14	16
<b>Gesamt</b>	<b>88</b>	<b>17</b>	<b>75</b>	<b>149</b>



Dadurch gab es vor allem Zunahmen bei den Indikatoren der Kategorie D, allerdings wurden auch in fast allen anderen Kategorien zusätzliche Taxa berücksichtigt (Abbildung 24). Damit stehen im Vergleich mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 nun vor allem in der Gruppe der Störzeiger wesentlich mehr Indikatoren zur Verfügung.

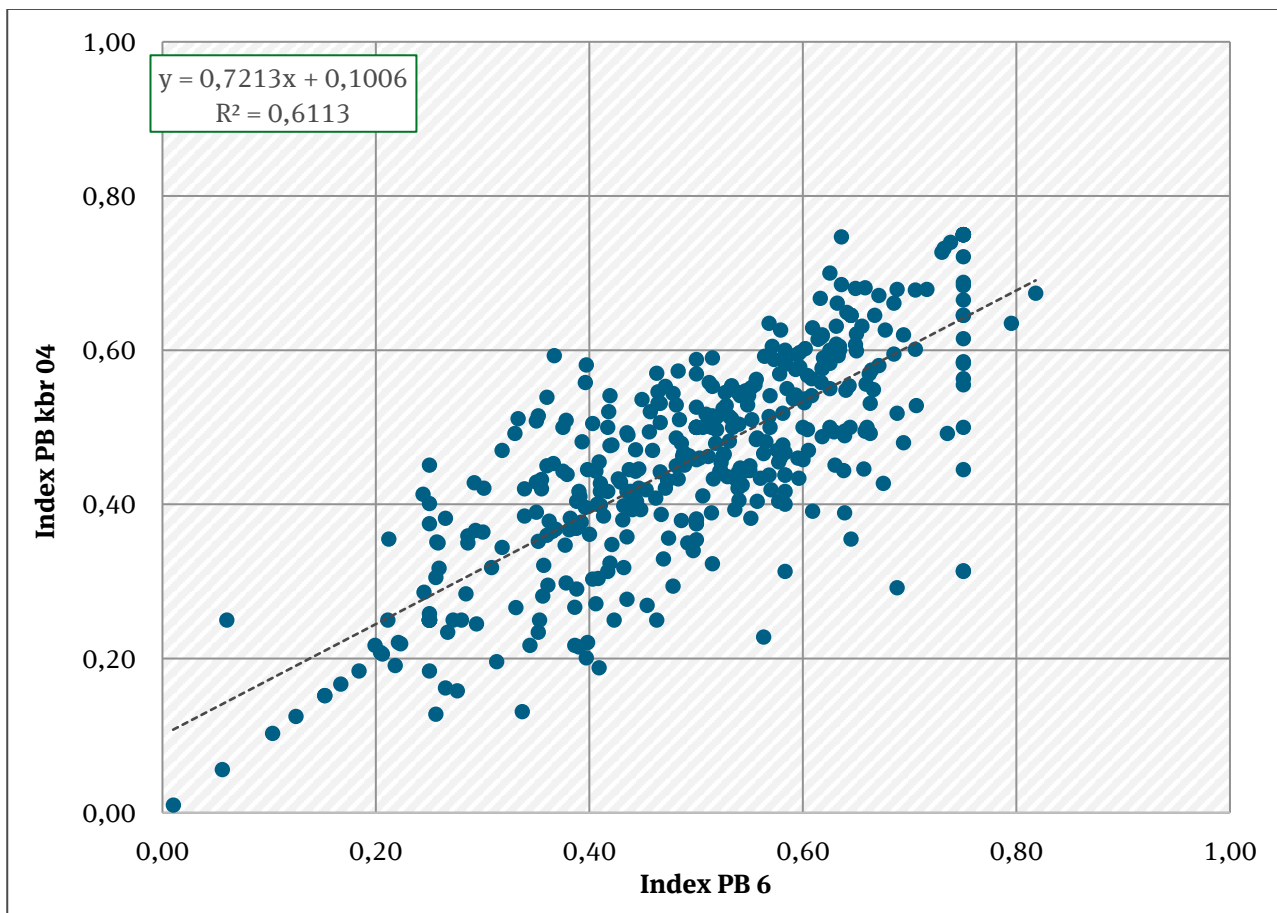
Tabelle 32: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 04 im Vergleich zu PB 6.

Kategorie	PB 6	PB kbr 04
A	10	17
B	44	49
B/C	5	3
C	24	34
C/D	0	7
D	5	39
Gesamt	88	149

C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Von den 432 Probestellen konnten 410 sowohl mit PHYLIB 5.3 als auch mit dem neuen Indikationsverfahren gesichert bewertet werden, was einem Anteil von 94 % entspricht.

Abbildung 21: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 6) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 04).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

Wie die Regressionsanalyse (Abbildung 21) zeigt, besteht ein klarer Zusammenhang zwischen der Bewertung mit PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3. Die Indexwerte decken fast die gesamte Skala möglicher Werte ab; das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,61. Im Bereich niedriger Indexwerte blieben viele Einstufungen gleich, nur für eine Stelle hat sich die Bewertung deutlich verbessert. Am anderen Ende der Skala zeigen die Einstufungen eine starke Differenzierung.

Wie aus dem Boxplot in Abbildung 22 ersichtlich, lassen sich die Zustandsklassen durchaus anhand der Grenzen der Mediane trennen. Allerdings überschneiden sich die Indexwerte für alle Zustandsklassen in erheblichem Maße. Es wird hier besonders wichtig sein, gesicherte Abgrenzungen der Zustandsklassen zu finden. Vergleicht man diese Grenzen mit den aus dem PHYLIB-Verfahren 5.3 vorgegebenen (Tabelle 33), so werden die Zustandsklassen 1 und 2 milder bewertet, während sich für ZK 3 kaum Änderungen ergaben. Strenger gefasst wurde Zustandsklasse 4.

Abbildung 22: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 04.

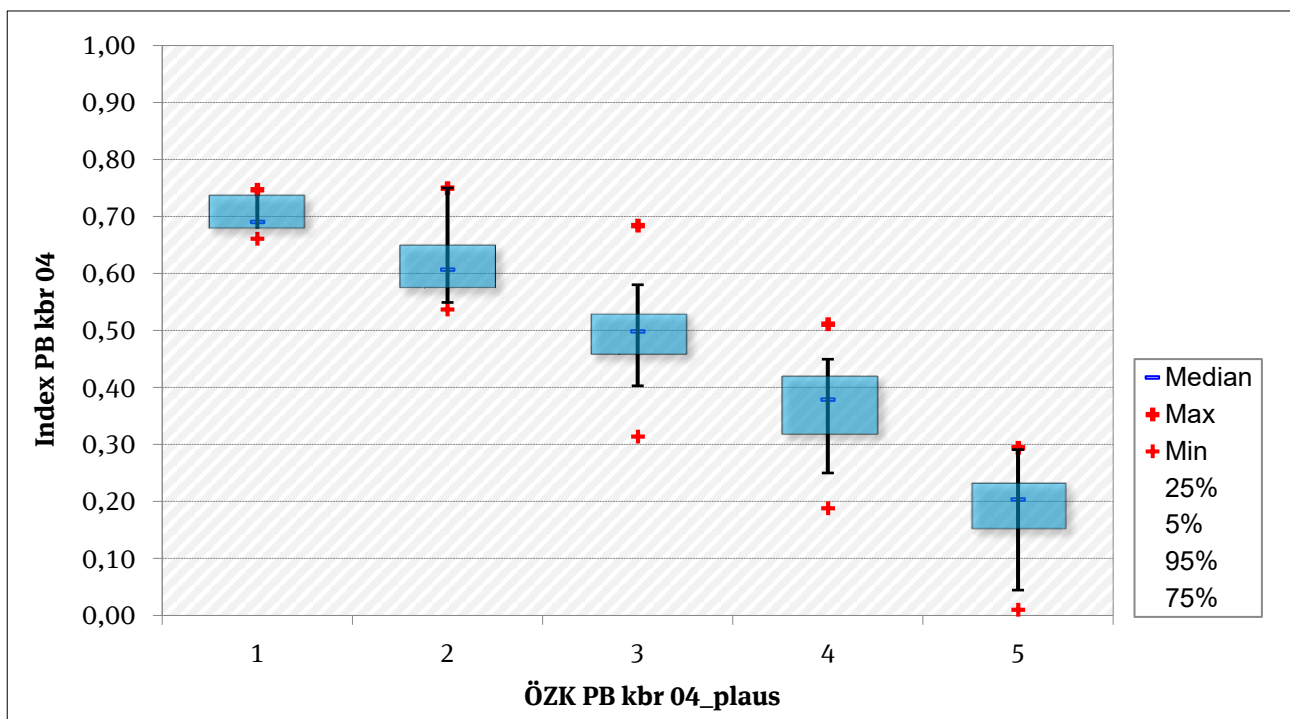


Tabelle 33: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 04 im Vergleich zu PB 6.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 04	Indexgrenzen PB 6
Klasse 1	0.66	0.70	0.75	0.69	8	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.80$
Klasse 2	0.54	0.62	0.75	0.61	83	$0.75 \geq x \geq 0.56$	$0.79 \geq x \geq 0.60$
Klasse 3	0.31	0.49	0.68	0.50	154	$0.55 \geq x \geq 0.45$	$0.59 \geq x \geq 0.40$
Klasse 4	0.19	0.37	0.51	0.38	131	$0.44 \geq x \geq 0.31$	$0.39 \geq x \geq 0.20$
Klasse 5	0.01	0.19	0.29	0.20	34	$0.29 \geq x \geq 0.00$	$0.19 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

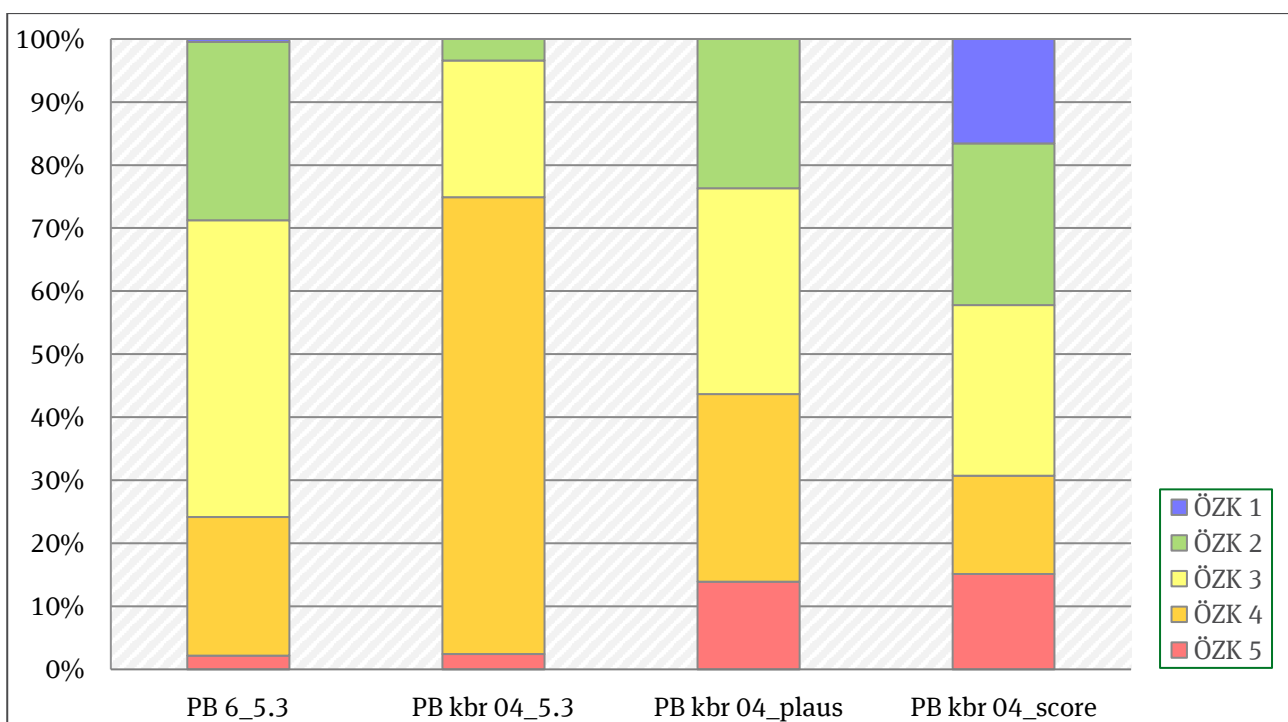
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Durch die neue Indikation kommt es bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 zu deutlich schlechteren Bewertungen. Der Großteil der Probestellen wird nun nicht mehr ZK 2 oder 3, sondern 4 zugeordnet. Die Klasse 1 wird nicht mehr vergeben, der Anteil der Probestellen in der Klasse 5 bleibt ähnlich hoch (Tabelle 34, Abbildung 23). Dies erscheint zunächst sehr drastisch. Allerdings fielen die Bewertungen mit dem alten PHYLIB-Verfahren für diese Gewässer besonders häufig als unplausibel auf, da wichtige und abundante Taxa wie Arten der Gattung *Ulva* (syn. *Enteromorpha*) darin keine Berücksichtigung fanden und die Zuordnung der Gewässer daher durch die Experteneinschätzung korrigiert werden musste. Die Bewertungen mit Hilfe des Plausibilisierungs- sowie des Score-Verfahrens fallen anhand der neuen Indexgrenzen deutlich anders aus. Mit den durch die Plausibilisierung errechneten Indizes sind die Anteile der Zustandsklassen 3 und 4 relativ gleich. Klasse 1 kann hier nicht vergeben werden, allerdings werden über 20 % der Probestellen ZK 2 zugeordnet. Mehr als 10 % werden in ZK 5 eingestuft. Ähnlich hoch ist der Anteil bei der Einstufung nach dem Score-Verfahren. Hier findet allerdings auch ZK 1 Berücksichtigung. Die Zuordnungen zu den Klassen 2 und 3 erreichen ähnlich hohe Anteile, und ca. 15 % der untersuchten Gewässerabschnitte werden ZK 4 zugeordnet.

Tabelle 34: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 04.

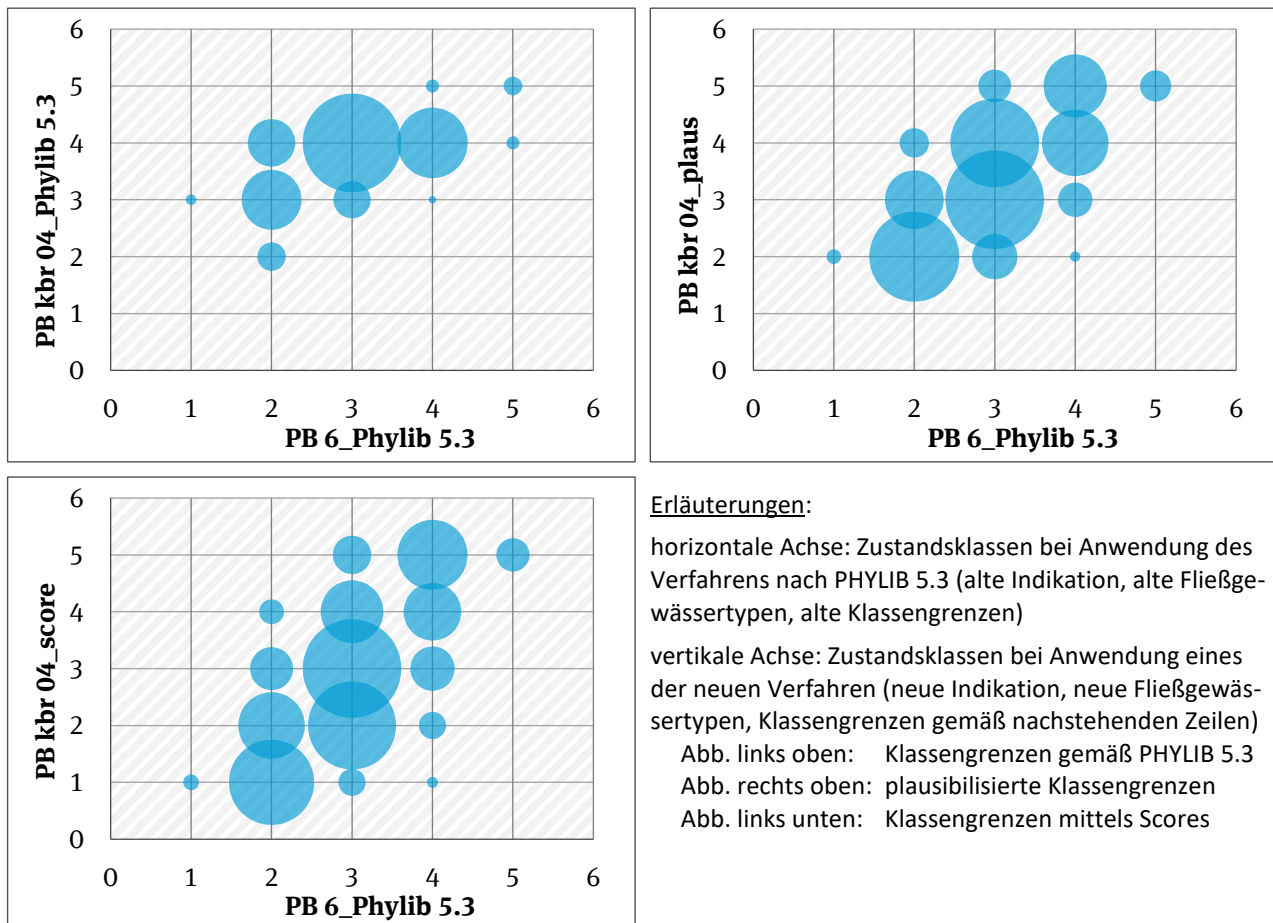
ÖZK	PB 6_5.3	PB kbr 04_5.3	PB kbr 04_plaus	PB kbr 04_score
Klasse 1	2	0	0	68
Klasse 2	116	14	97	105
Klasse 3	193	89	134	111
Klasse 4	90	297	122	64
Klasse 5	9	10	57	62
Gesamt	410	410	410	410

Abbildung 23: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 04.



Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 6) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 04) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 24.

Abbildung 24: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 04.



Bei der Indikation nach PHYLIB 5.3 (PB 6) und nach dem überarbeiteten Verfahren (PB kbr 04) unter Anwendung der Indexgrenzen aus dem PHYLIB-Verfahren 5.3 werden alle Probestellen der vorherigen ZK 1 nun ZK 3 zugeordnet. Bezüglich ZK 2 verbleibt nur ein kleiner Teil in dieser Zustandsklasse. Die Mehrzahl der bisher mit ZK 2 bewerteten Probestellen wird durch die überarbeitete Indikation ZK 3 und viele Stellen sogar ZK 4 zugeordnet. Bei dem größten Teil der mit ZK 3 eingestuften Probestellen ergab sich eine Verschlechterung der Bewertung. Nur ein geringer Teil der in ZK 3 eingestuften Stellen bleibt in dieser Klasse. Die bisher mit ZK 4 oder 5 bewerteten Probestellen verbleiben größtenteils in ihrer Klasse, nur in wenigen Fällen kam es zu einer Verbesserung oder Verschlechterung. Bei Anwendung des Plausibilisierungsverfahrens werden alle vormals mit ZK 1 bewerteten Probestellen in ZK 2 gestuft. Stärker differenziert werden die bisher mit den Klassen 2, 3 und 4 bewerteten Stellen. Zwar bleibt jeweils der größte Teil der Bewertungen erhalten, aber jeweils ein recht großer Anteil verschlechtert sich um eine Zustandsklasse und eine geringe Anzahl von Probestellen sogar um zwei Klassen. Allerdings kommt es bei einem geringen Anteil auch zu einer Verbesserung. Die Veränderungen mit dem Score-Verfahren betreffen die Zustandsklassen 2, 3 und 4. Dabei werden die Probestellen, die bisher mit ZK 2 bewertet wurden, allen möglichen Zustandsklassen zugeteilt, vermehrt jedoch ZK 1. Von den bislang mit ZK 3 bewerteten Probestellen bleiben die meisten in dieser Klasse, oftmals kommt es zur Verschiebung um eine Klasse nach oben oder unten, in einigen Fällen sogar zu einer Einstufung

in ZK 1 bzw. ZK 5. Die meisten der bisher mit ZK 4 bewerteten Stellen sind nun auf die Klassen 4 und 5 verteilt. In einigen Fällen kam es zu Verbesserungen, in einem Fall bis hinauf zur ZK 1.

Bei der Plausibilisierung durch Experten erschienen die Einstufungen mit dem Plausibilisierungsverfahren meist gerechtfertigt. Bei den nach dem diesem Verfahren schlecht bewerteten Probestellen wurden fast immer Massenentwicklungen eutraphenter Arten oder eine durch das Artenspektrum ersichtliche stark erhöhte Trophie festgestellt. In einigen Fällen gab es Zweifel an der Typzugehörigkeit der Probestellen und der daraus zu folgernden Bewertung. Dabei handelte es sich vor allem um Probestellen mit einem Vorkommen eutraphenter Arten mit geringerer Abundanz. Probleme bereitete auch die Einschätzung von Vorkommen des eutraphenten Salinitätszeigers *Ulva* (syn. *Enteromorpha*). Hier muss je nach Standortbedingungen eruiert werden, ob es sich um Gewässer mit natürlichen Einträgen handelt, um zu einer abschließenden Bewertung zu kommen. Die Bewertung mittels Score-Verfahren erschien teils als zu positiv, teils als zu negativ. Auch in diesem PoD-Typ kommt es durch dieses Verfahren zur Betonung extremer Bewertungen.

### 4.3.5 Karbonatisch geprägte Ströme des Mittelgebirges – PB kbr 05

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Der PB-Typ PB kbr 05 beinhaltet die kiesgeprägten Ströme des Mittelgebirges (LAWA-Typ 10), die im bisherigen PHYLIB-Verfahren wie die karbonatisch geprägten Flüsse mit dem PoD-Typ PB 6 bewertet wurden. In den Gewässern stehen den benthischen Algen vor allem Schotter und Kies, aber auch Feinsedimente oder Totholz mit daran angeschwemmtem organischem Material zur Verfügung. Diese Substrate werden allerdings häufig verlagert. Die Gesellschaften der benthischen Diatomeen sind vor allem durch ubiquistische, trophietolerante Arten gekennzeichnet, die Meso-Eutrophie oder auch bessere Trophiezustände anzeigen (Pottgiesser 2018). Auch die Gesellschaft der Algen des PoD ist durch tolerante Taxa gekennzeichnet. Als Charakterart karbonatischer Gewässer tritt nur die kalkin-krustierte Chlorophyceae *Gongrosira incrustans* signifikant auf. Neben epilithischen Formen sind aufschwimmende grüne Fadenalgen und auf Sediment wachsende Arten auffällig. Wie in den karbonatisch geprägten Mittelgebirgsflüssen ist eine mikrophytische Begleitflora von Desmidiaceae und bei höherer Belastung von Euglenophyceae vorhanden. Diese Begleitflora ist allerdings hier nicht so ausgeprägt, eventuell fehlen an den untersuchten Probestellen typspezifische Stillwasserbereiche oder aber die Gewässer sind stärker belastet.

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Durch Neueinstufungen verändert sich die Gesamtanzahl der zur Verfügung stehenden Indikatoren für diesen Gewässertyp nur wenig (Tabelle 35). Allerdings gab es deutliche Veränderungen im Hinblick auf die Berücksichtigung von Taxa einzelner Algenklassen. So wurden in der neuen Indikation bei den Cyanobacteria und Chlorophyceae deutlich mehr Taxa berücksichtigt, während für andere Algenklassen weniger Indikatoren Berücksichtigung fanden. Vergleicht man die Zuordnungen der Indikatoren zu den Indikationskategorien, so wird erkennbar, dass mit der neuen Indikation wesentlich mehr Indikatoren den Störzeigern zugerechnet werden, während die Anzahl der typspezifischen Indikatoren abgenommen hat (Tabelle 36).

Tabelle 35: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 05.

Klasse	PB 6	entfallen	neu	PB kbr 05
Cyanobacteria	32	8	19	43
Bangiophyceae	1	0	0	1
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	8	3	0	5
Phaeophyceae	0	0	1	1
Chrysophyceae	2	2	0	0
Trebouxiophyceae	0	0	0	0
Tribophyceae	6	2	3	7
Chlorophyceae	10	4	10	16
Ulvophyceae	9	2	3	10
Klebsormidiophyceae	2	2	0	0
Desmidiaceae	15	8	4	11
Zygnematophyceae	2	1	1	2
Euglenophyceae	3	3	1	1
<b>Gesamt</b>	<b>90</b>	<b>35</b>	<b>42</b>	<b>97</b>

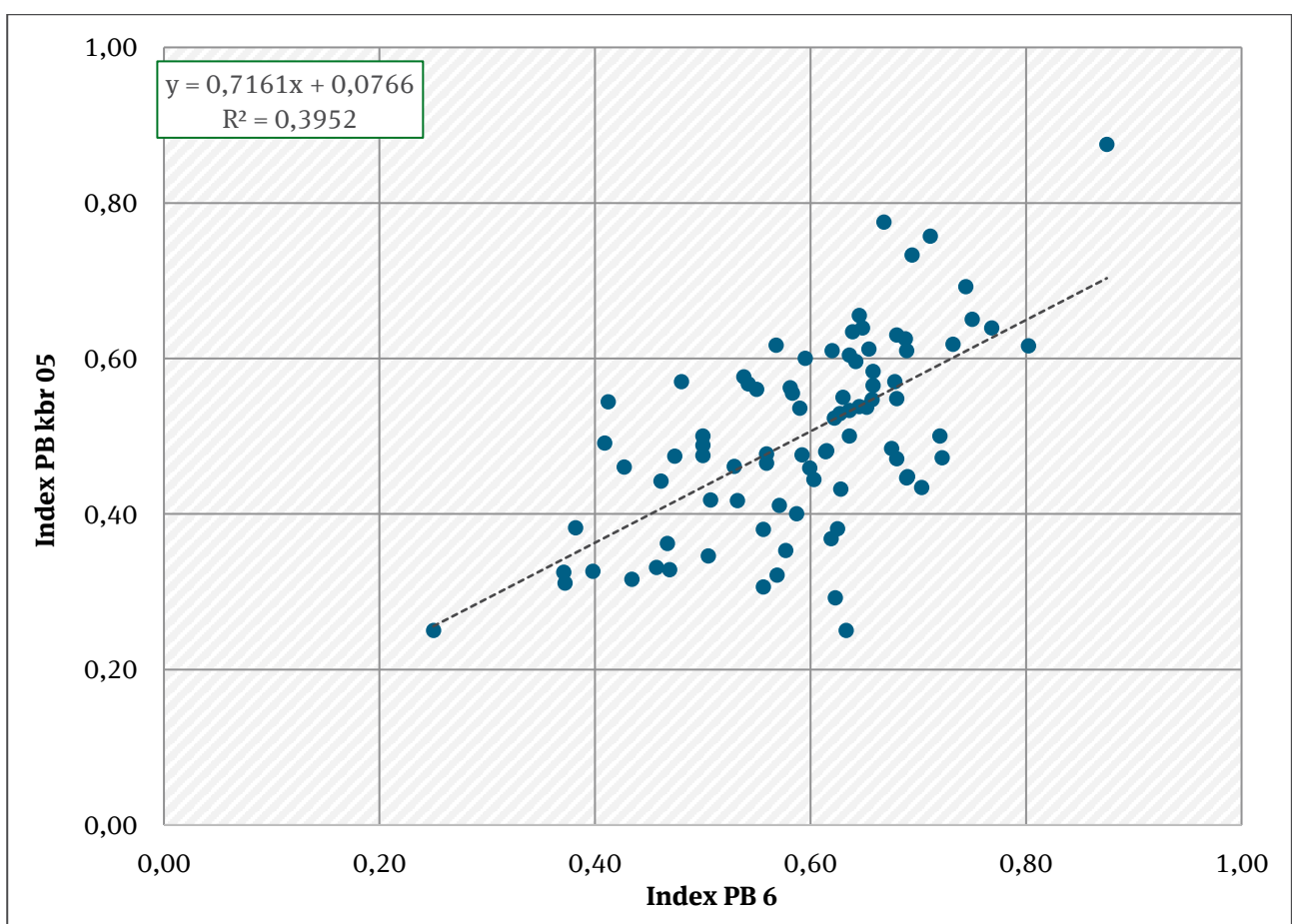
Tabelle 36: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 05 im Vergleich zu PB 6.

Kategorie	PB 6	PB kbr 05
A	10	11
B	45	36
B/C	6	3
C	24	25
C/D	0	7
D	5	15
Gesamt	90	97

C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Für eine Analyse der karbonatisch geprägten Mittelgebirgsströme standen lediglich Daten von 91 Probestellen zur Verfügung. Davon konnten 86 Stellen mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und 87 mit der neuen Indikation gesichert bewertet werden. Das entspricht einem Anteil von 95 % bzw. 96 % der untersuchten Probestellen.

Abbildung 25: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 6) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 05).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

Wie die Regressionsanalyse (Abbildung 25) zeigt, hat sich für viele Probestellen die Bewertung vom PHYLIB-Verfahren 5.3 zu der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus

PHYLIB 5.3 verändert. Wechsel der Zustandsklassen erfolgen mehrheitlich nach unten, d. h. in Richtung schlechterer Bewertungen (von mäßig nach unbefriedigend bzw. von gut nach mäßig). Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,40.

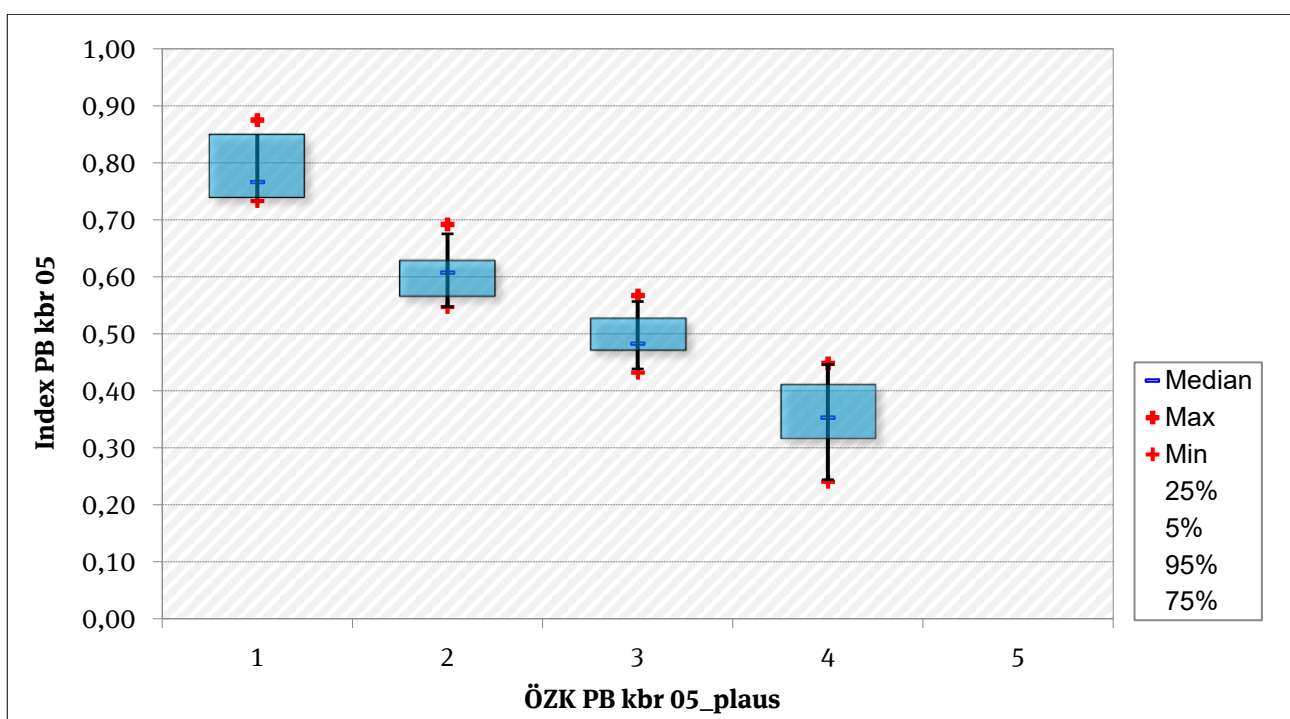
Wie aus dem Boxplot (Abbildung 26) ersichtlich, lassen sich die Zustandsklassen anhand der Mediane im Zuge des Plausibilisierungsverfahrens gut trennen. Allerdings gibt es zwischen den Klassen 2 und 3 bzw. 3 und 4 Überschneidungen; Klasse 5 wurde nicht vergeben. Es wird daher auch hier besonders wichtig sein, plausible Abgrenzungen der Zustandsklassen im Vergleich mit den anderen Teilkomponenten zu finden. Vergleicht man die Indexgrenzen mit den aus dem PHYLIB-Verfahren 5.3 vorgegebenen Grenzen (Tabelle 37), wird deutlich, dass die Zustandsklassen 1 und 3 etwas enger und Klasse 2 etwas weiter gefasst sind. Die Grenze zwischen den Klassen 4 und 5 verändert sich kaum.

Tabelle 37: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 05 im Vergleich zu PB 6.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 05	Indexgrenzen PB 6
Klasse 1	0.73	0.79	0.88	0.77	4	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.80$
Klasse 2	0.55	0.60	0.69	0.61	28	$0.75 \geq x \geq 0.57$	$0.79 \geq x \geq 0.60$
Klasse 3	0.43	0.49	0.57	0.48	28	$0.56 \geq x \geq 0.44$	$0.59 \geq x \geq 0.40$
Klasse 4	0.24	0.35	0.45	0.35	27	$0.43 \geq x \geq 0.19$	$0.39 \geq x \geq 0.20$
Klasse 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0	$0.18 \geq x \geq 0.00$	$0.19 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

Abbildung 26: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 05.





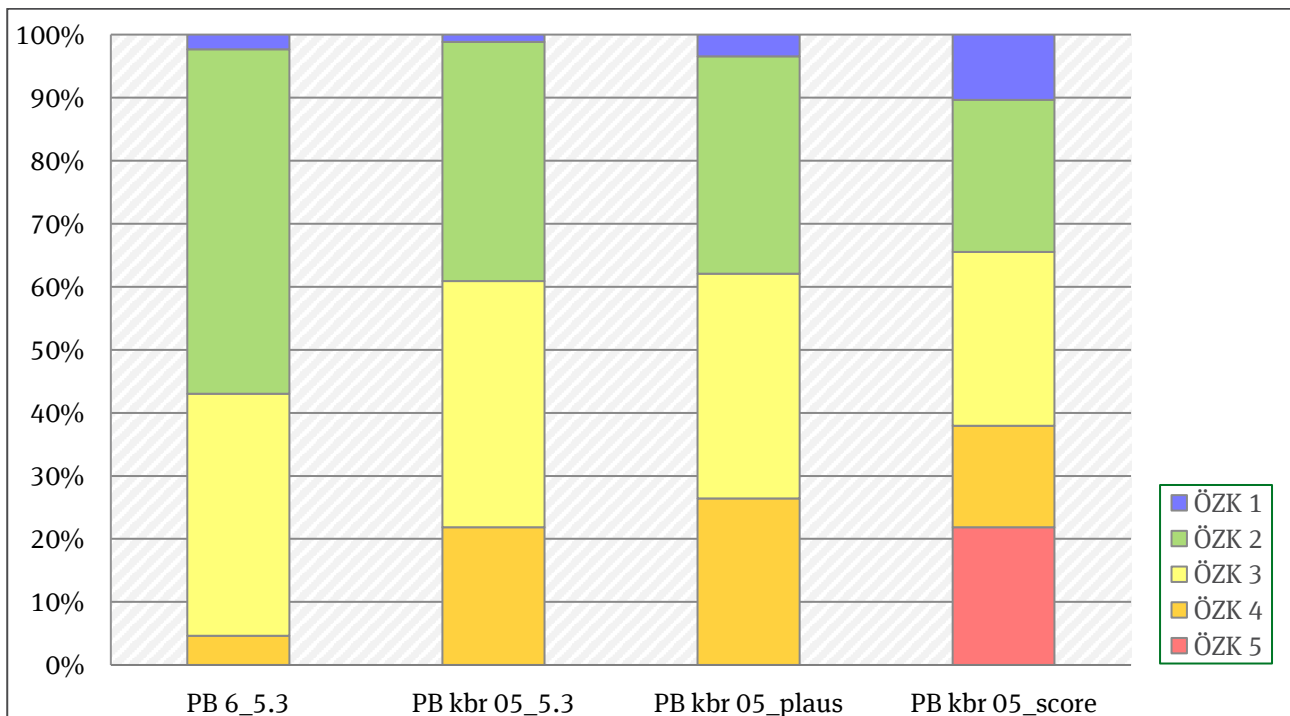
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Durch die neue Indikation kommt es bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 zu deutlich schlechteren Bewertungen (Tabelle 38, Abbildung 27), die allerdings nicht so stark ausgeprägt sind wie für die karbonatisch geprägten Mittelgebirgsflüsse. Dies liegt vermutlich daran, dass durch die überarbeitete Indikation wesentlich mehr Störzeiger berücksichtigt wurden (siehe Tabelle 36). Eine erhebliche Anzahl von Probestellen wird mit der neuen Indikation nicht mehr den Zustandsklassen 2 oder 3, sondern den Klassen 3 und 4 zugeordnet. Nur noch eine Probestelle erreicht ZK 1, allerdings fällt auch keine Probestelle in ZK 5. Eine ähnliche Verteilung ergibt sich unter Anwendung des Plausibilisierungsverfahrens, während sich die Verteilung der Bewertungen durch das Score-Verfahren deutlich von den anderen Verfahren unterscheidet. Hier werden erheblich mehr Probestellen den Klassen 1 und 5 zugeordnet, und die Anteile in den Klassen 2 bis 4 fallen relativ gering aus.

Tabelle 38: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PoD-Typ PB kbr 05.

ÖZK	PB 6_5.3	PB kbr 05_5.3	PB kbr 05_plaus	PB kbr 05_score
Klasse 1	2	1	3	9
Klasse 2	47	33	30	21
Klasse 3	33	34	31	24
Klasse 4	4	19	23	14
Klasse 5	0	0	0	19
Gesamt	86	87	87	87

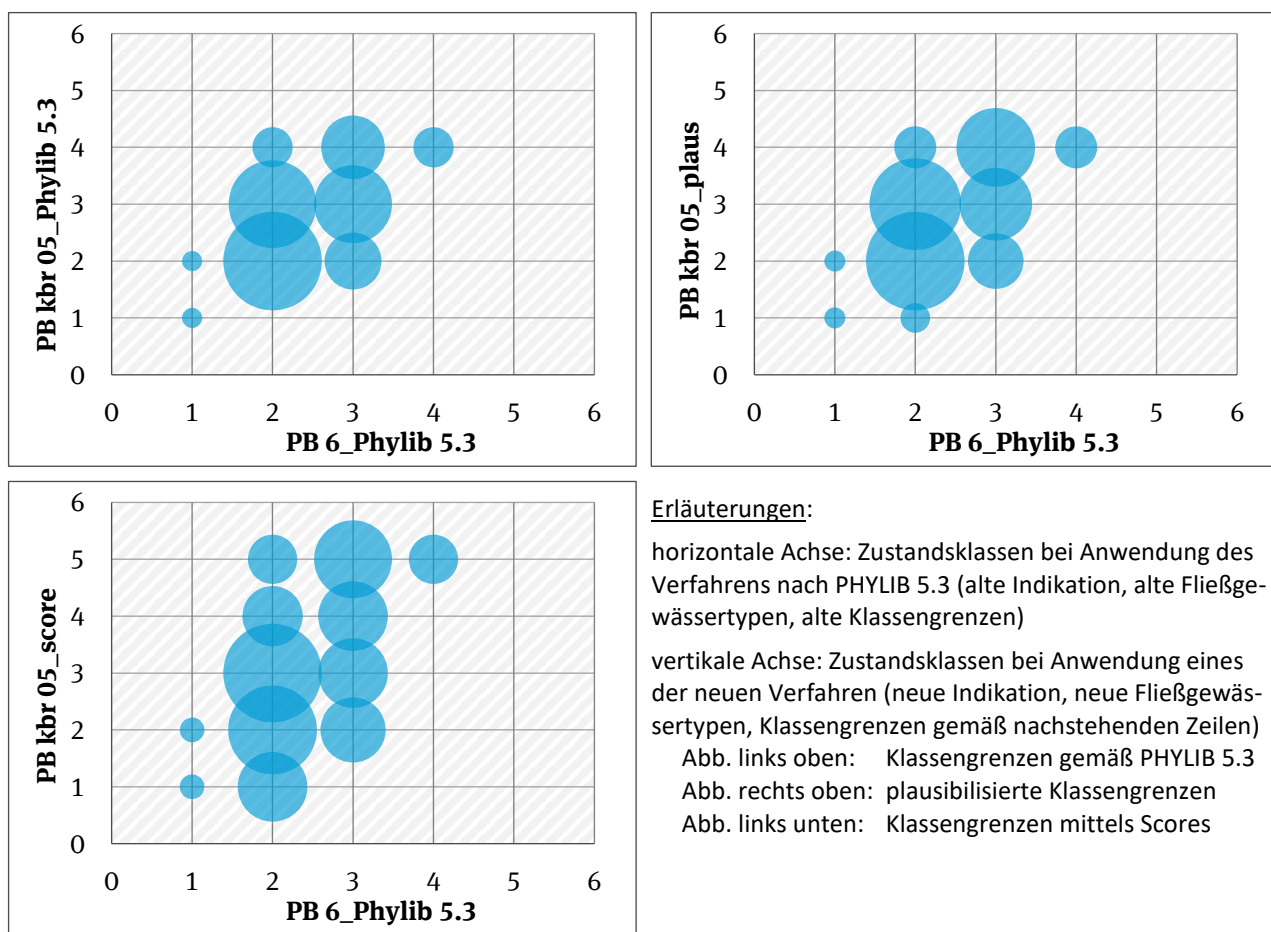
Abbildung 27: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 05.



Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 6) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 05) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 28.

Mit der überarbeiteten Indikation verschlechtern sich die Bewertungen für viele Probestellen um eine oder zwei Zustandsklassen. Dabei bleibt in Klasse 2 ein größerer Anteil der Bewertungen erhalten, während in Klasse 3 nur ein geringer Anteil der ursprünglichen Stellen verbleibt. Ähnliche Veränderungen ergeben sich durch das Plausibilisierungsverfahren. Allerdings kommt es hier auch zu verbesserten Bewertungen zu Klasse 2. Die Einstufungen der Probestellen in die Klassen 1 und 4 sind offenbar für alle Verfahren unstrittig. Allerdings kommt es zu sehr ausgeprägten Änderungen bei der Zuweisung von ZK 2 und ZK 3 bei Anwendung des Score-Verfahrens. Hier verteilen sich die bisher mit ZK 2 bewerteten Probestellen auf alle möglichen Zustandsklassen. Die mit ZK 3 bewerteten Stellen werden relativ gleichmäßig auf die Klassen 2 bis 5 verteilt. Hier wird besonders deutlich, dass durch dieses Verfahren Probestellen mit einer mittleren Bewertung stärker aufgeteilt werden.

Abbildung 28: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 05.



Die Plausibilisierung durch Experteneinschätzung ist schwierig. Teils erschien die Bewertung mit den alten Indexgrenzen, aber auch die Bewertung mit dem Plausibilisierungsverfahren angemessen. Einstufungen mit Klasse 4 wurden teils noch als zu positiv eingeschätzt, wenn es sich um Probestellen mit Massentwicklungen eutraphenter Arten oder um solche mit einem Vorkommen deutlicher Störzeiger handelte. Die Unsicherheiten betreffen vor allem die Binnendifferenzierung der anderen Zustandsklassen. Die hier zu bewertenden Gewässer sind fast alle stark verändert, teils verödet und schwer zu beproben. Fast immer sind nur Beprobungen von Uferabschnitten möglich, die wechselnden Wasserständen ausgesetzt sind. Die Charakteristika dieser Gewässer sind daher allein durch das PoD nur schwer einzuschätzen.

### 4.3.6 Karbonatisch geprägte, feinmaterialreiche Bäche des Mittelgebirges – PB kbr 06

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Dieser PoD-Typ fasst die Fließgewässer der Löss- und Kreideregionen sowie des Rotliegenden zusammen (LAWA-Typ 6). Eine Vielzahl von Substraten steht den benthischen Algen hier zur Verfügung. Vor allem handelt es sich um Schluff, Löss, Lehm und Feinsande, es gibt aber auch Steine, Blöcke, Kies, Totholz oder Falllaub. Damit können sowohl mattenbildende, sedimentbewohnende als auch auf Steinen, Pflanzen oder organischem Material wachsende Arten vorkommen. Die Algen müssen Sedimentverlagerungen durch Abflussschwankungen und schlechte Lichtbedingungen aufgrund schweb- und nährstoffreichen Wassers tolerieren können. Bei den benthischen Diatomeen herrschen eutrphente Taxa vor (Pottgiesser 2018). Wie die NMDS-Analysen zeigen (Rolaufts et al. 2020: Anhang 4), sind auch bei den Algen des PoD eher tolerante Arten auffällig, die bei höheren trophischen und saprobiellen Zuständen vorkommen. Als Charakterarten dieser Gewässer können die kalkkrustenbildenden Arten der Blaualgen *Homoeothrix crustacea* und *Phormidium incrustatum* und die Grünalgen *Gongrosira incrustans* gelten. Hinzu kommen Feinsedimente bewohnende fädige Blaualgen und eine artenreiche mikrophytische Flora eutrphenter Desmidiaceae bzw. Euglenophyceae. In PHYLIB 5.3 waren diese Gewässer dem PoD-Typ PB 4 zugeordnet.

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Durch Neueinstufungen stehen für diesen Gewässertyp für eine Indikation nun 70 % mehr Taxa zur Verfügung (Tabelle 39). Mit Abstand die meisten Taxa kamen bei den Euglenophyceae und Cyanobacteria hinzu, aber auch in den Klassen der Florideo-, Chlorophyceae und Desmidiaceae kamen neue Indikatoren hinzu. Im Vergleich der Zuordnungen der Indikatoren zu den Indikationskategorien vereinfacht sich die Anzahl der Indikatoren der Kategorie D, und die Taxa der Kategorie C wächst um das Zweieinhalbfache (Tabelle 40). Es wurden nun auch viele Indikatoren in der Kategorie A berücksichtigt, ihre Anzahl verdreifachte sich. Dies zeigt, dass dieser Fließgewässertyp inzwischen wesentlich genauer untersucht wurde.

Tabelle 39: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 06.

Klasse	PB 4	entfallen	neu	PB kbr 06
Cyanobacteria	24	5	33	52
Bangiophyceae	0	0	1	1
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	8	1	7	14
Phaeophyceae	0	0	1	1
Chrysophyceae	2	1	0	1
Trebouxiophyceae	1	1	0	0
Tribophyceae	7	2	2	7
Chlorophyceae	15	5	12	22
Ulvophyceae	8	1	4	11
Klebsormidiophyceae	1	1	0	0
Desmidiaceae	13	1	10	22
Zygnematophyceae	2	1	1	2
Euglenophyceae	6	0	13	19
<b>Gesamt</b>	<b>87</b>	<b>19</b>	<b>84</b>	<b>152</b>

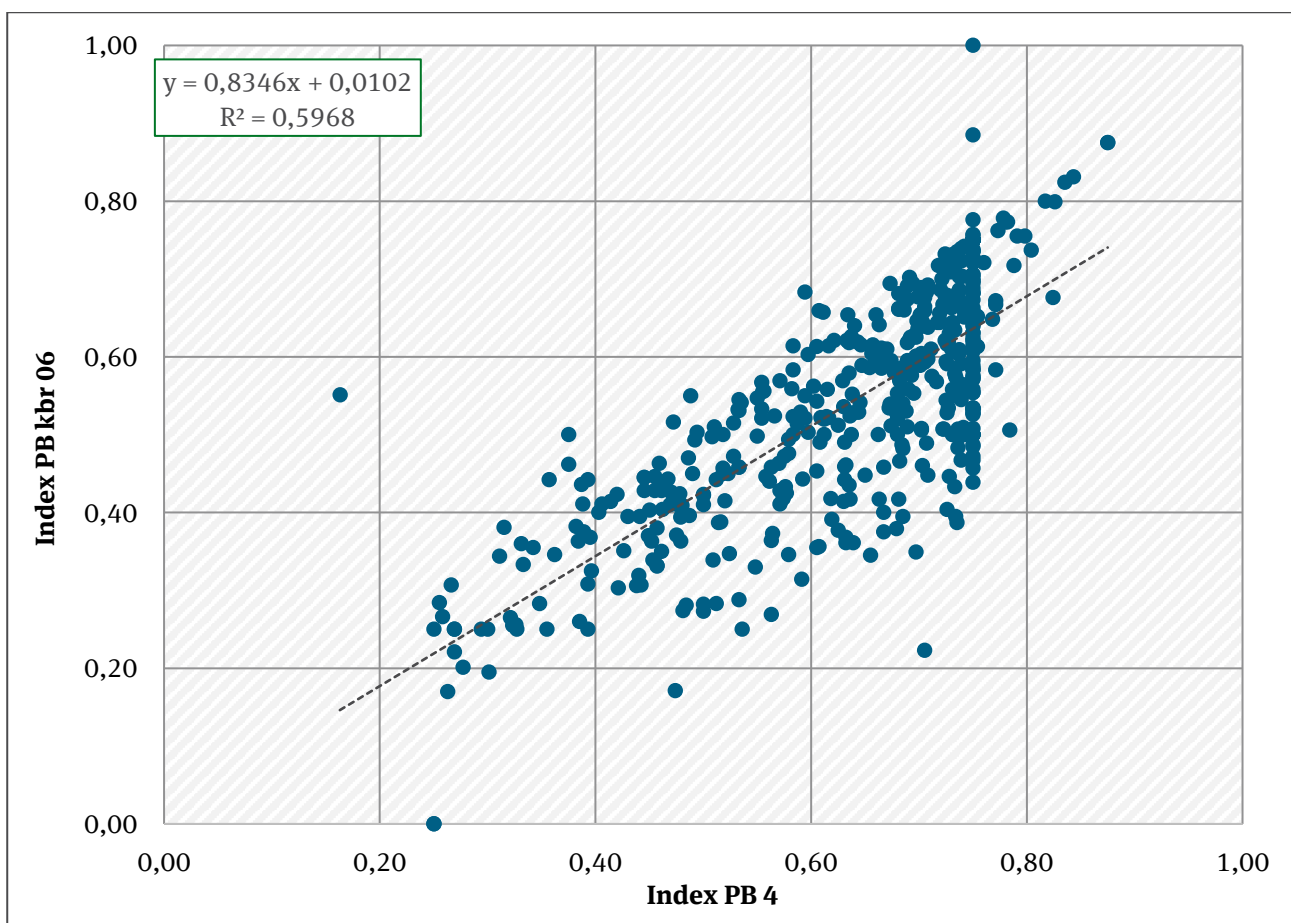
Tabelle 40: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 06 im Vergleich zu PB 4.

Kategorie	PB 4	PB kbr 06
A	7	23
B	47	46
B/C	7	5
C	22	51
C/D	0	5
D	4	22
Gesamt	87	152

C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Für eine Analyse der karbonatisch geprägten Mittelgebirgsbäche standen Daten von 536 Probestellen zur Verfügung. Davon konnten 480 mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und 491 mit der neuen Indikation gesichert bewertet werden. Das entspricht einem Anteil von 90 % bzw. 92 % der untersuchten Probestellen.

Abbildung 29: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 4) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 06).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

Die Regressionsanalyse (Abbildung 29) zeigt einen relativ starken Zusammenhang zwischen der Bewertung mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der

Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3. Der Bereich der möglichen Werte wird durch die Indexwerte gut abgedeckt; das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,60.

Wie aus dem Boxplot in Abbildung 30 ersichtlich, lassen sich die Zustandsklassen anhand der Mediane im Zuge des Plausibilisierungsverfahrens gut trennen. Hinsichtlich der Streuung der Indizes überschneiden sich die Zustandsklassen, so dass eine Trennung nicht völlig gesichert ist. Vergleicht man diese Indexgrenzen mit den aus dem PHYLIB-Verfahren 5.3 vorgegebenen Grenzen (Tabelle 41), so werden deutliche Verschiebungen der Indexgrenzen ersichtlich.

Abbildung 30: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 06.

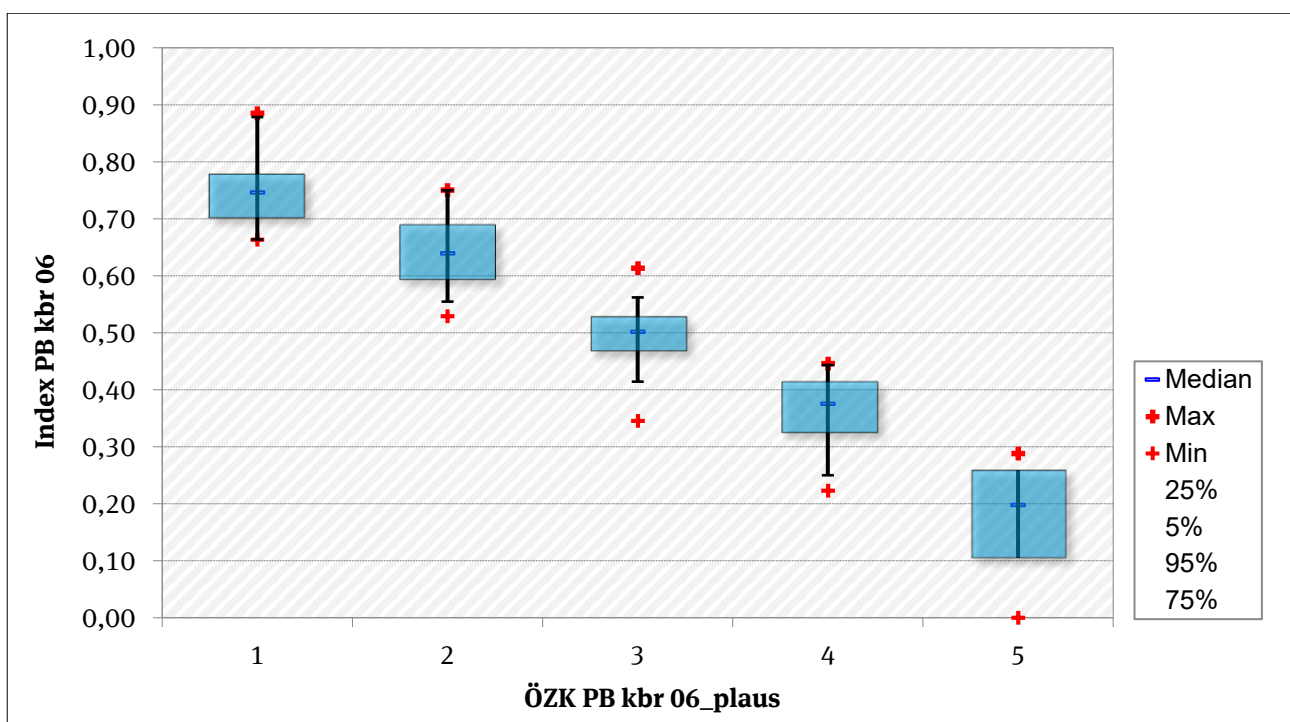


Tabelle 41: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 06 im Vergleich zu PB 4.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 01	Indexgrenzen PB 4
Klasse 1	0.66	0.75	0.89	0.75	32	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.87$
Klasse 2	0.53	0.65	0.75	0.64	192	$0.75 \geq x \geq 0.58$	$0.86 \geq x \geq 0.73$
Klasse 3	0.35	0.50	0.61	0.50	136	$0.57 \geq x \geq 0.45$	$0.72 \geq x \geq 0.56$
Klasse 4	0.22	0.36	0.45	0.38	115	$0.44 \geq x \geq 0.30$	$0.55 \geq x \geq 0.17$
Klasse 5	0.00	0.18	0.29	0.20	16	$0.29 \geq x \geq 0.00$	$0.16 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

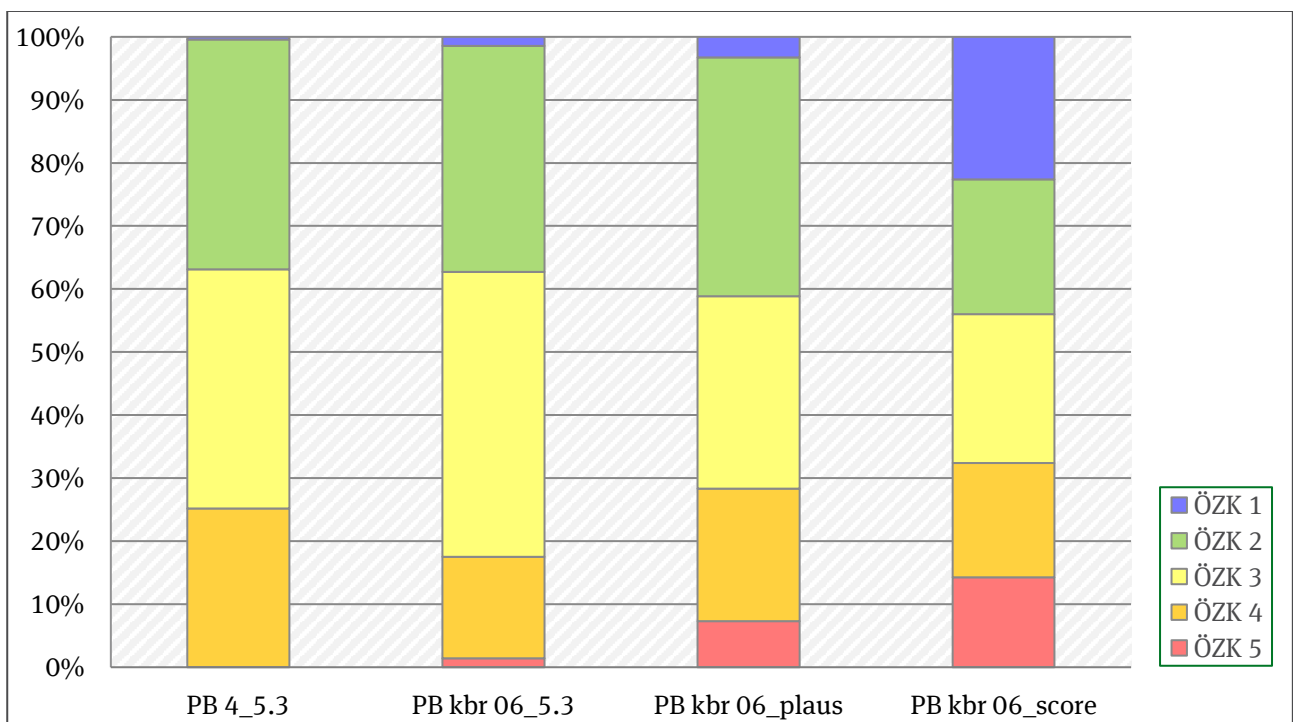
Durch die neue Indikation kommt es bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 und des Plausibilisierungsverfahrens allerdings nicht zu massiven Veränderungen in den Anzahlen der Bewertungen (Tabelle 42, Abbildung 31). Zwar wurden in diesem FG-Typ wesentlich mehr typspezifische Arten in die Indikationsliste aufgenommen, an vielen Probestellen gab es aber auch Nachweise von Störzeigern, die bisher keine Berücksichtigung fanden. Im Vergleich der Bewertungen mit PHYLIB 5.3 und der neuen Indikation bei Anwendung der gleichen Indexgrenzen nehmen die Anzahlen in den Klassen 1

und 3 zu, und es werden nun auch Probestellen mit ZK 5 bewertet. Der Häufigkeit von Probestellen mit ZK 4 verringert sich. Bei der Anwendung des Plausibilisierungsverfahrens werden mehr Probestellen den Klassen 1 und 2 zugeordnet. Allerdings verringert sich die Anzahl der Probestelle mit ZK 3, während mehr Probestellen den Klassen 4 und 5 zugeordnet werden. Dagegen unterscheidet sich die Verteilung der Bewertungen durch das Score-Verfahren deutlich. Hier verteilen sich die Probestellen relativ gleichmäßig auf die Klassen 1 bis 3; ein etwas geringer Anteil wird den Klassen 4 und 5 zugeordnet.

Tabelle 42: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 06.

ÖZK	PB 4_5.3	PB kbr 06_5.3	PB kbr 06_plaus	PB kbr 06_score
Klasse 1	2	7	16	111
Klasse 2	175	176	186	105
Klasse 3	182	222	150	116
Klasse 4	121	79	103	89
Klasse 5	0	7	36	70
Gesamt	480	491	491	491

Abbildung 31: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 06.



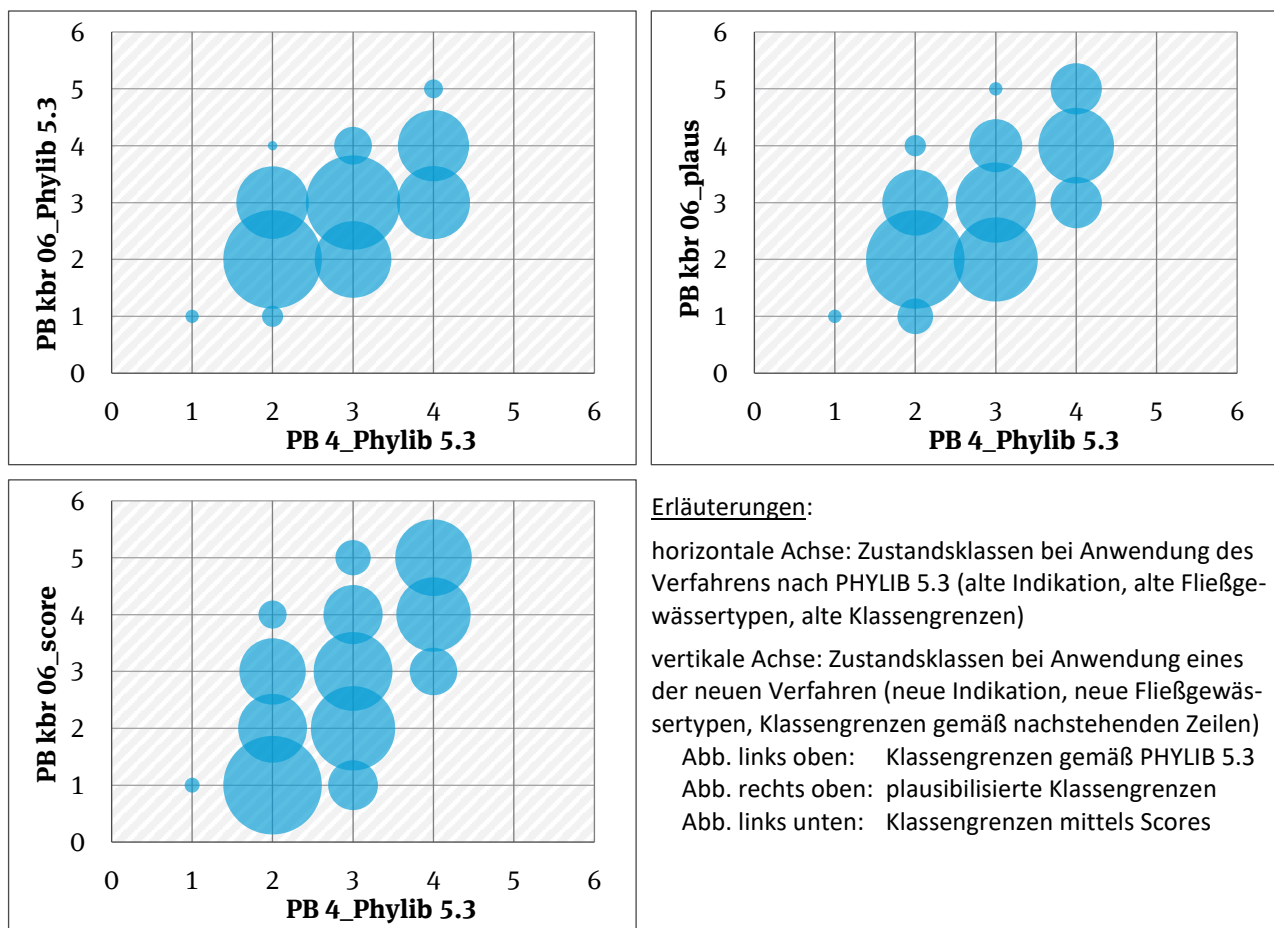
Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 4) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 06) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 32.

Mit der überarbeiteten Indikation verbleibt eine Probestelle in ZK 1. Änderungen betreffen nur die Zustandsklassen 2 bis 4. Hinsichtlich Zustandsklasse 2 wird der größte Teil der Probestellen wie mit der Indikation mit dem alten PHYLIB-Verfahren erneut dieser Klasse zugerechnet. Einige Stellen verbessern sich um eine Klasse. Allerdings wird ein nicht unerheblicher Anteil an Probestellen auch eine Klasse schlechter bewertet, eine Stelle sogar um zwei Klassen (nun ZK 4).

Ähnlich verhält es sich bei der Bewertung nach dem Plausibilisierungsverfahren. Allerdings werden hier mehr Probestellen den Klassen 1 und 4 zugerechnet. Die Veränderungen für ZK 3 sind ausgeprägter. Ein größerer Anteil der Probestellen verbessert sich um eine Klasse, nur ein kleinerer Anteil verschlechtert sich (nun ZK 4 und 5). Hinsichtlich der ursprünglichen Einordnung in die ZK 4 verändert sich die Bewertung vieler Stellen in gleichen Anteilen nach oben (ZK 3) sowie nach unten (ZK 5).

Die Veränderungen bei der Bewertung mit dem Score-Verfahren fallen wesentlich stärker aus. Unstrittig scheinen hier, wie auch in den anderen Verfahren, die Einstufungen für ZK 1 zu sein. Bezüglich der vorherigen Einordnung in ZK 2 wird mit Hilfe dieses Verfahrens nun der größte Teil der Probestellen ZK 1 gerechnet, etwa gleiche Anteile verbleiben in ZK 2 oder gehen zu ZK 3. Ein im Vergleich mit den anderen Verfahren größerer Teil fällt in die Klasse 4. Die Bewertungen der ursprünglich ZK 3 zugeteilten Probestellen teilen sich auf alle 5 Zustandsklassen auf. Dabei verbessert sich der größte Teil der Probestellen in Richtung der Klassen 1 und 2, ein geringerer Teil verschlechtert sich (nun ZK 4 und 5). Ähnliche Veränderungen wie im Plausibilisierungsverfahren sind für die ZK 4 festzustellen. Allerdings verschlechtern sich hier mehr Stellen hin zu ZK 5.

Abbildung 32: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 06.



Eine Plausibilisierung durch Experteneinschätzung ist kaum zu treffen, denn die typspezifische Algenflora dieses Fließgewässertyps ist noch nicht geklärt. Bei den aktuell getroffenen sehr guten und guten Bewertungen dominieren offenbar epilithische Charakterarten karbonatisch geprägter Gewässer. Es ist fraglich, in welchem Umfang diese aber für ein feinmaterialreiches Gewässer charakteristisch sind. Dagegen erschienen die Einstufungen mit einer Zustandsklasse 5 nach dem Plausibilisierungsverfahren

ren zum großen Teil schlüssig. Schwer zu beurteilen sind hier allerdings Fälle, in denen vor allem mikrophytische Euglenophyceen vorkommen. Angesichts der Typbeschreibung dieser Gewässer muss noch geklärt werden, ob ein Vorkommen von Euglenophyceen hier toleriert werden sollte. Auch für diesen PoD-typ betreffen die Unsicherheiten für eine plausible Einschätzung vor allem die Differenzierung der Zustandsklassen 2 bis 4. Ein Abgleich mit den Bewertungen und Einschätzungen der anderen Teilkomponenten ist daher für diesen Fließgewässertyp besonders wichtig.



### 4.3.7 Karbonatisch geprägte, feinmaterialreiche Bäche und Flüsse der Keuper- sowie Löss- und Kalkregionen des Mittelgebirges – PB kbr 07

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Dieser PoD-Typ umfasst FG-Typen, die im bisherigen PHYLIB-Verfahren in der Version 5.3 mit dem PoD-Typ PB 4 bewertet wurden. Damit werden die Keupergewässer mit ihren Bächen und Flüssen (6K, 9.1K) und ein Teil der Gewässer des FG-Typs 9.1 zusammen behandelt, da diese von den Bundesländern ebenfalls dem PoD-Typ PB 4 zugerechnet wurden. Die Abkürzung „PB 4“ weist auf diese Differenzierung hin. Eine Unterscheidung der Keupergewässer als eigenständiger FG-Typ war in der Darstellung von Schaumburg et al. (2012) noch nicht vollzogen worden.

Diese Gewässer zeichnen sich vor allem durch die Dominanz von Feinsubstraten wie Sand oder Lehm als Substrat für die Algen des PoD aus. Es können aber auch Sandsteine, Kies oder Schotterstrecken vorkommen und zusätzlich gibt es Bereiche mit Totholz oder anderem organischen Material. Die Fließgeschwindigkeit ist gering und die Gewässer sind stark getrübt (Pottgiesser 2018). Sie sind im Grundzustand eutroph. Insgesamt wurden im Projekt 126 Probestellen des FG-Typs 6\_K, 44 des FG-Typs 9.1 und 50 des FG-Typs 9.1\_k berücksichtigt (Rolauffs et al. 2020). Eine typspezifische Flora für das PoD ist schwer zu charakterisieren. Auf den eingelagerten Steinen kommen als Charakterart karbonatischer Gewässer *Phormidium incrustatum* und epilithische grüne Fadenalgen vor. Es stellt sich allerdings die Frage, ob diese Algen wirklich als charakteristisch für diesen FG-Typ anzusehen sind, denn Steine stellen hier nicht das dominante Substrat. Charakteristisch sind wohl eher Feinsediment besiedelnde, fädige Blau- und Grünalgen und eine mikrophytische Flora von alkaliphilen oder geochemisch indifferenten Desmidiaceae und Euglenophyceae. Insgesamt herrschen tolerante, eutraphente Taxa vor. Die Flora ist artenarm.

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Nach Überarbeitung der Indikation stehen 104 indikative Taxa für eine Bewertung zur Verfügung (Tabelle 43). Damit hat sich die Anzahl leicht erhöht. Weiterhin gab es deutliche Wechsel bei den berücksichtigten Taxa. Dies betrifft vor allem die Cyanobakterien, die Chloro- und Euglenophyceae sowie die Desmidiaceen. Indikatoren einiger Algenklassen wurden nicht mehr berücksichtigt.

Tabelle 43: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 07.

Klasse	PB 4	entfallen	neu	PB kbr 07
Cyanobacteria	24	8	21	37
Bangiophyceae	0	0	1	1
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	8	1	0	7
Phaeophyceae	0	0	0	0
Chrysophyceae	2	2	0	0
Trebouxiophyceae	1	1	0	0
Tribophyceae	7	3	0	4
Chlorophyceae	15	6	12	21
Ulvophyceae	8	1	3	9
Klebsormidiophyceae	1	1	0	0
Desmidiaceae	13	3	6	16
Zygnematophyceae	2	1	0	1
Euglenophyceae	6	3	5	8
<b>Gesamt</b>	<b>87</b>	<b>30</b>	<b>48</b>	<b>104</b>

Auch für diesen PoD-Typ werden nach Überprüfung der Indikation mehr Taxa den Störzeigern (Kategorie C und D) zugeordnet (Tabelle 44). Allerdings hat auch die Anzahl der typspezifischen Taxa der Kategorie A deutlich zugenommen.

Tabelle 44: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 07 im Vergleich zu PB 4.

Kategorie	PB 4	PB kbr 07
A	7	12
B	47	49
B/C	7	7
C	22	26
C/D	0	5
D	4	5
<b>Gesamt</b>	<b>87</b>	<b>104</b>

### C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Von den insgesamt 220 Probestellen konnten 140 Stellen mit PHYLIB 5.3 und 137 mit dem neuen Indikationsverfahren gesichert bewertet werden – das entspricht 64 % bzw. 62 % der untersuchten Probestellen. Diese Rate ist nicht besonders hoch, allerdings scheitert die Bewertung oft an der geringen Anzahl und Abundanz der nachgewiesenen Algentaxa und nicht an der fehlenden Berücksichtigung von Indikatoren.

Der Zusammenhang zwischen der Bewertung mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3 ist recht eng. Das geht auch aus der Regressionsanalyse (Abbildung 33) hervor, die ein Bestimmtheitsmaß von 0,67 aufweist. Allerdings zeigt sich hier die Tendenz zu einer stärkeren Differenzierung der bislang besser eingestuften Stellen.

Wie aus dem Boxplot (Abbildung 34) ersichtlich, ist die Auftrennung in die unterschiedlichen Zustandsklassen durch die Mediane im Plausibilisierungsverfahren nicht für alle Zustandsklassen zufriedenstellend. Die Trennung zwischen den Klassen 1 und 2 ist nicht gegeben. Ebenso schwierig ist die Differenzierung zwischen den Klassen 4 und 5 und zwar aufgrund des Mangels an ZK 5. Der Vergleich zwischen den Indexgrenzen des PHYLIB-Verfahrens 5.3 mit den aus dem Plausibilisierungsverfahren entwickelten zeigt deutliche Unterschiede (Tabelle 45).

Tabelle 45: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 07 im Vergleich zu PB 4.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 07	Indexgrenzen PB 4
Klasse 1	0.68	0.79	0.88	0.79	27	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.87$
Klasse 2	0.47	0.72	0.75	0.75	92	$0.75 \geq x \geq 0.64$	$0.86 \geq x \geq 0.73$
Klasse 3	0.34	0.49	0.56	0.52	10	$0.63 \geq x \geq 0.46$	$0.72 \geq x \geq 0.56$
Klasse 4	0.25	0.35	0.42	0.38	7	$0.45 \geq x \geq 0.34$	$0.55 \geq x \geq 0.17$
Klasse 5	0.28	0.28	0.28	0.28	1	$0.33 \geq x \geq 0.00$	$0.16 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

Abbildung 33: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 4) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PBb kbr 07) – Fußnote wie Abbildung 29.

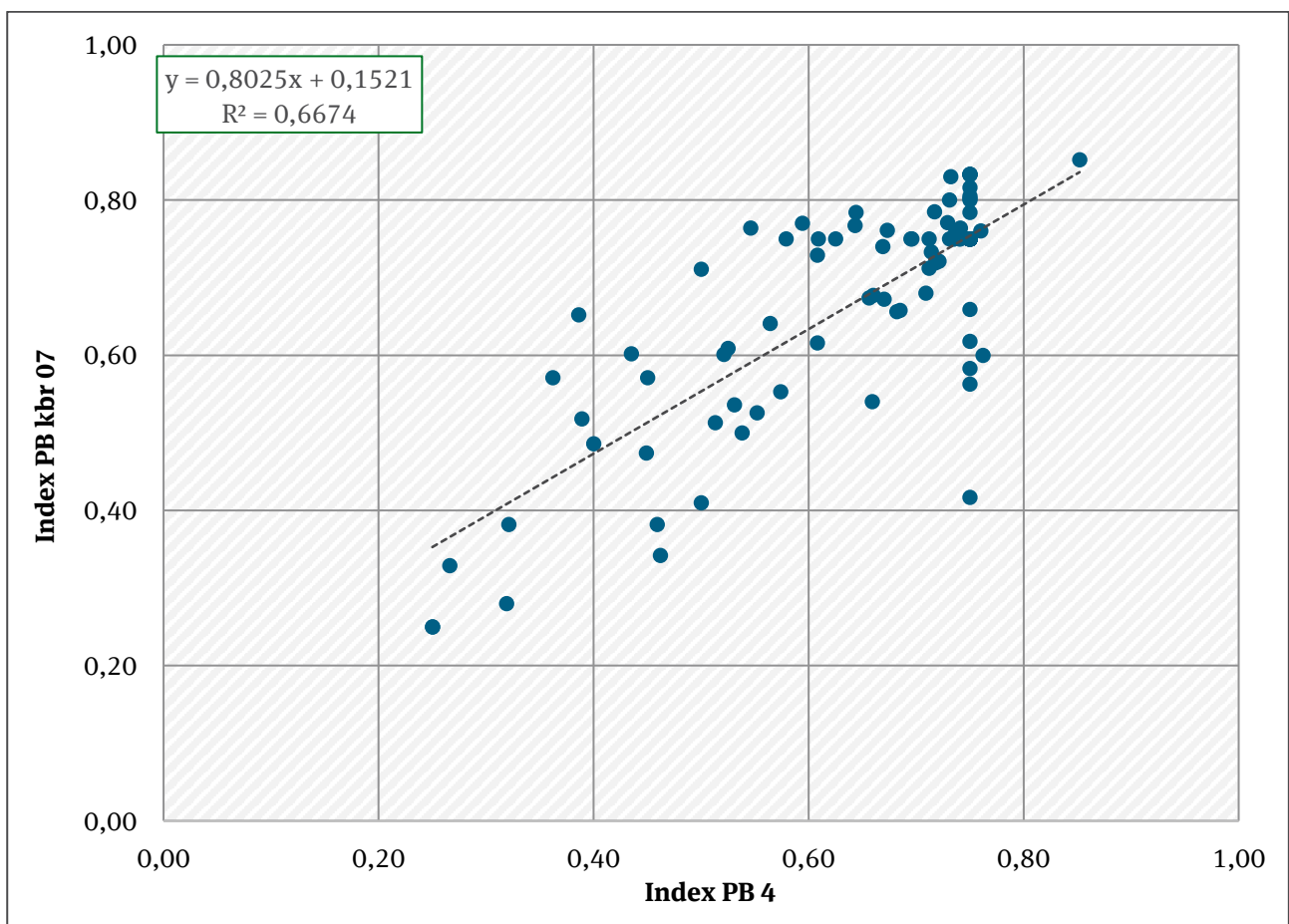
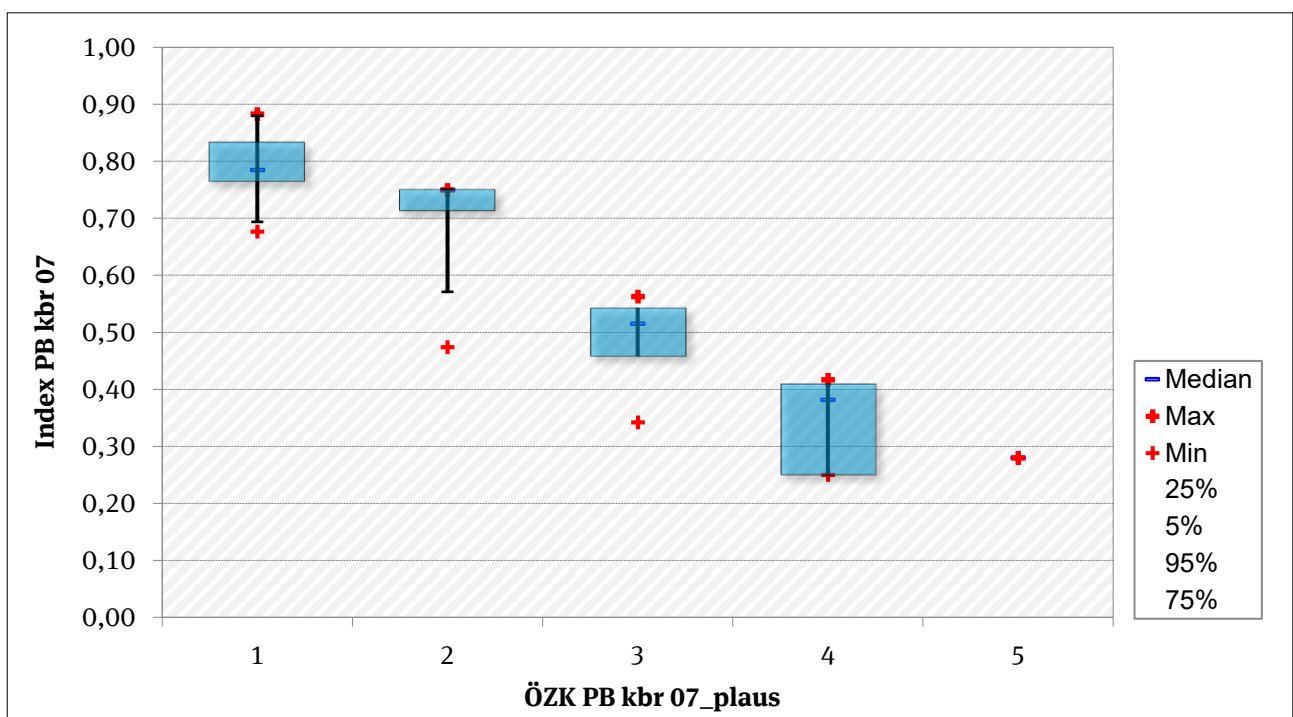


Abbildung 34: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 07.



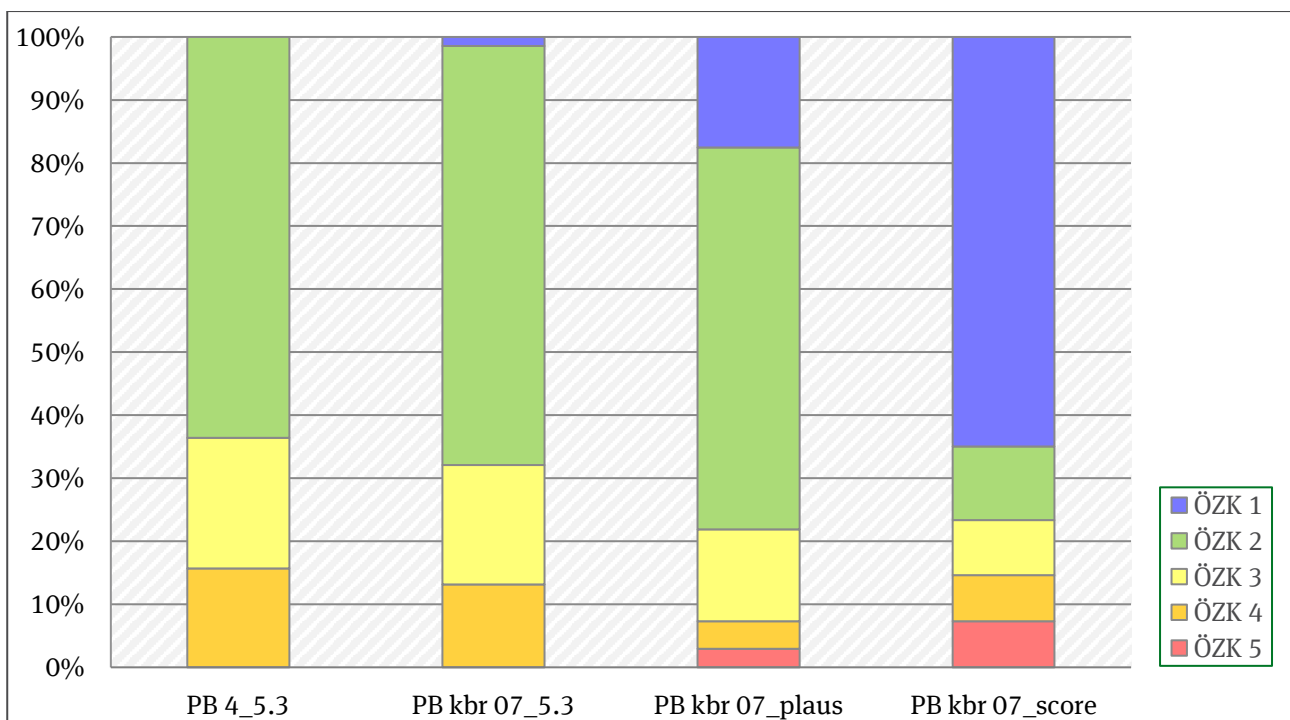
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Durch die neue Indikation kommt es bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 zu geringen Veränderungen hinsichtlich der Anzahlen der Bewertungen (Tabelle 46, Abbildung 35). Lediglich zwei Probestellen werden nun mit zur Zustandsklasse 1 gestellt. Deutlichere Veränderungen ergeben sich erst durch Anwendung des Plausibilisierungsverfahrens, mit dem wesentlich mehr Stellen ZK 1 zugeordnet und die schlechteren Zustandsklassen etwas stärker differenziert werden. Bei allen drei Verfahren werden die meisten Probestellen mit ZK 2 bewertet, weil das Arteninventar oft sehr ähnlich ist und hauptsächlich aus toleranten, aber durchaus noch typspezifische Taxa besteht, die mit eher niedriger Abundanz vorkommen. Zu schlechteren Einschätzungen kommt es nur, wenn deutliche Störzeiger hinzukommen. Dies führt auch dazu, dass bei den Bewertungen durch das Score-Verfahren die meisten der bisher mit ZK 2 bewerteten Stellen nun in ZK 1 fallen und sich nur ein kleiner Anteil von Probestellen hinsichtlich ihres ökologischen Zustandsklassen differenzieren lassen.

Tabelle 46: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 07.

ÖZK	PB 4_5.3	PB kbr 07_5.3	PB kbr 07_plaus	PB kbr 07_score
Klasse 1	0	2	24	89
Klasse 2	89	91	83	16
Klasse 3	29	26	20	12
Klasse 4	22	18	6	10
Klasse 5	0	0	4	10
Gesamt	140	137	137	137

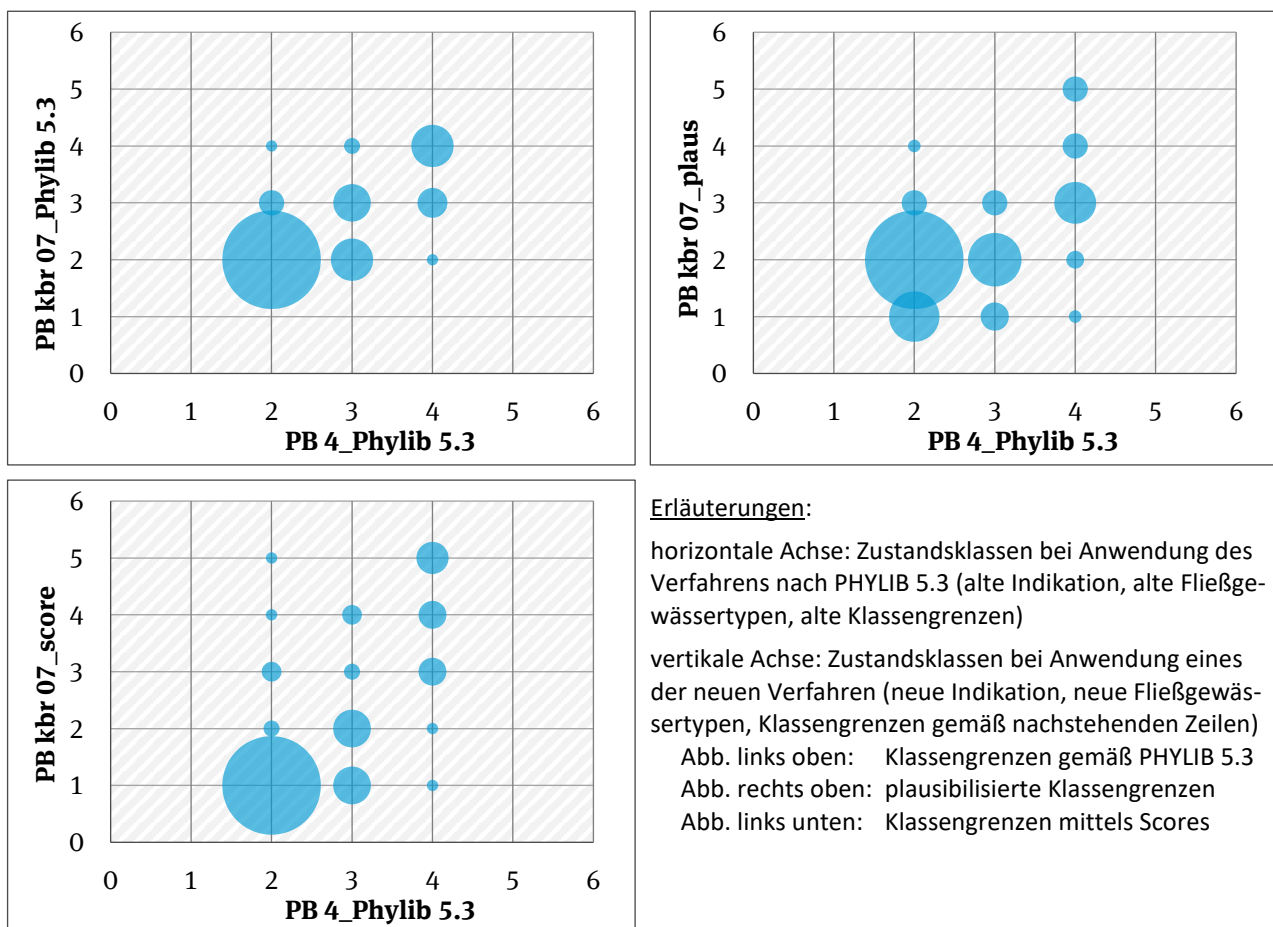
Abbildung 35: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 07.



Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 4) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 07) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 36.

Wie schon aus Abbildung 35 ersichtlich ändert sich für die mit ZK 2 bewerteten Probestellen wenig durch eine veränderte Indikation; einige Stellen werden nun schlechter bewertet (Klassen 3 und 4). Dagegen verbessern sich die Bewertungen für den Großteil der Probestellen bei den ursprünglich mit ZK 3 bewerteten Stellen. Nur ein vernachlässigbarer Anteil verschlechtert sich zu ZK 4. Zu einem geringen Anteil verbessert sich auch die Zustandsklasse für die mit ZK 4 erfolgten Bewertungen. Nach dem Plausibilisierungsverfahren verbessern sich die Bewertungen für die meisten Probestellen mit ursprünglicher Zuordnung zu den Klassen 3 und 4 um eine oder sogar mehr Zustandsklassen; nur selten kommt es zu Einstufungen in schlechtere Klassen. Noch extremer sind die Verschiebungen bei Anwendung des Score-Verfahrens.

Abbildung 36: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 07.



Wie für die feinmaterialreichen Gewässer der PoD-Typs 6 ist eine Plausibilisierung durch eine Experteneinschätzung kaum zu treffen. Grundsätzlich besteht hier das Problem, dass in den meisten Gewässern dieses Typs die gleichen Taxa vorkommen. Meist handelt es sich um Indikatoren der Kategorie B, die gerade noch mit makroskopisch sichtbarer Abundanz vorkommen. Dies führt zu den großen Anteilen guter Bewertungen. Bewertungen sind meist nur erfolgreich in ihrer Differenzierung, wenn Massenentwicklungen auftreten oder deutliche Störzeiger vorkommen. Die Probestellen scheinen nur dann sinnvoll zu bewerten sein, wenn die Analysen im Gelände und Labor sehr sorgfältig durchgeführt werden und auch die mikroskopisch erkennbaren Taxa genau analysiert werden. Trotzdem werden hier aufgrund des Substratmangels für benthische Algen die Bewertungen problematisch bleiben.

### 4.3.8 Basenreiche, organisch geprägte Bäche und Flüsse und kleine Niedergewässer des Norddeutschen Tieflandes – PB kbr 08

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Im PoD-Typ PB kbr 08 sind Fließgewässertypen des Norddeutschen Tieflandes zusammengefasst, die nach WRRL-Typologie als eigentlich Ökoregion-unabhängig gelten. Mit 76 Probestellen gehört der größte Anteil zum LAWA-Typ 19 (kleine Niedergewässer). LAWA-Typ 11 (organisch geprägte Bäche) ist mit 36 Probestellen vertreten. Weitere Probestellen sind den organisch geprägten Flüssen (LAWA-Typ 12) zugeordnet. Alle Gewässer sind karbonatisch bzw. basenreich geprägt. Im PHYLIB-Verfahren 5.3 wurden sie mit dem Typ PB 10 zugerechnet.

Diese Gewässer weisen eine vielfältige Morphologie mit wechselnder Strömung auf. Die Gewässer-sole besteht vor allem aus organischem Material (Torf, Totholz, Grob- und Feindetritus). Algen des PoD können vor allem an Totholz- oder Wurzelbarrieren wachsen oder nutzen die reichen Wasserpflanzenbestände als Substrat. Sie können aber auch auf dem manchmal vorhandenen Sand oder der Sohle vorkommen. Die Gewässer sind von umliegenden Niedermoooren beeinflusst, das Wasser ist durch Huminstoffe gefärbt. Nach Angaben für die Diatomeen liegt die Trophie je nach Gewässertyp und -größe zwischen Mesotrophie und Polytrophie (Pottgiesser 2018). Die Artengemeinschaften dieser Gewässer scheinen vor allem durch alkaliphile, tolerante, aufschwimmende, metaphytisch oder auf Feinsediment wachsende Algen geprägt zu sein. Dazu gehören viele mikrophytische Arten der Desmidiaceae und Euglenophyceae, die aber keine sehr hohe Abundanz entwickeln. Epilithische Charakterarten karbonatischer Gewässer sind an den Probestellen zwar zu finden, sollten aber entsprechend der Typbeschreibung nicht prägend sein. Die meisten Arten sind an eutrophe Verhältnisse und eine höhere saprobielle Belastung angepasst (Rolauffs 2020: Anhang 4, NMDS-Analysen).

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Die Gesamtanzahl der Indikatoren hat sich für diesen PoD-Typ mit Überarbeitung der Indikation kaum erhöht (Tabelle 47). Während Taxa einiger Klassen nicht mehr berücksichtigt wurden, gab es deutliche Zunahmen hinsichtlich der Anzahl der Indikatoren bei den Desmidiaceae und Euglenophyceae.

Tabelle 47: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 08.

Klasse	PB 10	entfallen	neu	PB kbr 08
Cyanobacteria	34	11	13	36
Bangiophyceae	0	0	0	0
Compsopogonaceae	1	1	0	0
Florideophyceae	7	2	2	7
Phaeophyceae	0	0	0	0
Chrysophyceae	0	0	0	0
Trebouxiophyceae	1	1	0	0
Tribophyceae	6	1	2	7
Chlorophyceae	14	4	3	13
Ulvophyceae	9	1	3	11
Klebsormidiophyceae	3	3	0	0
Desmidiaceae	18	5	9	22
Zygnematophyceae	3	1	0	2
Euglenophyceae	7	1	11	17
<b>Gesamt</b>	<b>103</b>	<b>31</b>	<b>43</b>	<b>115</b>

Während die Anzahlen der Indikatoren für die Bewertungskategorien A und B fast gleichblieben (Tabelle 48), nahm die Anzahl der Indikatoren für Taxa, die je nach Abundanz zur Kategorie B bzw. C gezählt werden, um mehr als das Zweieinhalbfache zu. Meist gehörten diese Taxa bislang der Kategorie C an. Das Vorkommen dieser Indikatoren wurde also auf Grund der hohen typspezifischen Trophie des FG-Typs stärker toleriert. Allerdings verdoppelte sich auch die Anzahl der Störzeiger der Kategorie D.

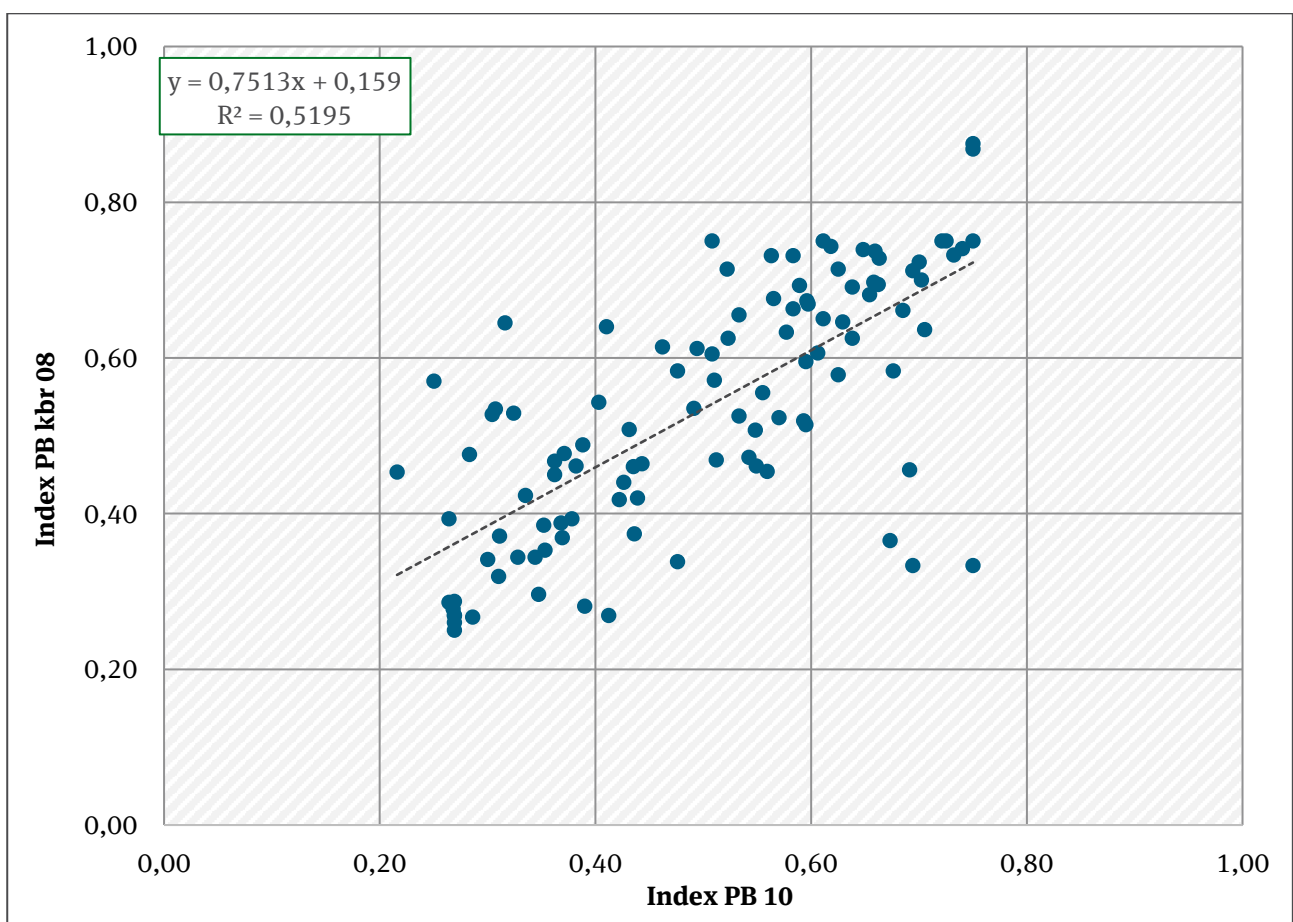
Tabelle 48: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 08 im Vergleich zu PB 10.

Kategorie	PB 10	PB kbr 08
A	8	9
B	46	47
B/C	8	22
C	33	16
C/D	0	5
D	8	16
Gesamt	103	115

C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Von den insgesamt 127 Probestellen konnten 109 sowohl mit PHYLIB 5.3 als auch dem neuen Indikationsverfahren gesichert bewertet werden – das entspricht 86 %.

Abbildung 37: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 10) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 08) – Fußnote wie Abbildung 29.



Ein schwacher Zusammenhang zwischen der Bewertung mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3 ist erkennbar. Das zeigt auch die Regressionsanalyse (Abbildung 37) mit einem Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) von 0,52. Dabei kommt es durch die Neueinstufungen bei den mittleren und schlechteren Bewertungen sowohl zu Verbesserungen wie auch zu Verschlechterungen, bei den sehr guten Bewertungen hauptsächlich zu Verschlechterungen.

Wie aus dem Boxplot (Abbildung 38) ersichtlich, ist die Auftrennung in die unterschiedlichen Zustandsklassen durch die Mediane im Plausibilisierungsverfahren nicht deutlich. Die Indexwerte überlappen sich in erheblichem Maße. Vergleicht man die Indexgrenzen, die sich aus dem Plausibilisierungsverfahren ergeben, mit den aus dem PHYLIB-Verfahren 5.3 vorgegebenen Grenzen (Tabelle 49), so ähneln sich die Indexgrenzen für die Zustandsklassen. Lediglich an der Grenze von ZK 4 zu ZK 5 gibt es eine deutliche Abweichung.

Abbildung 38: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 08.

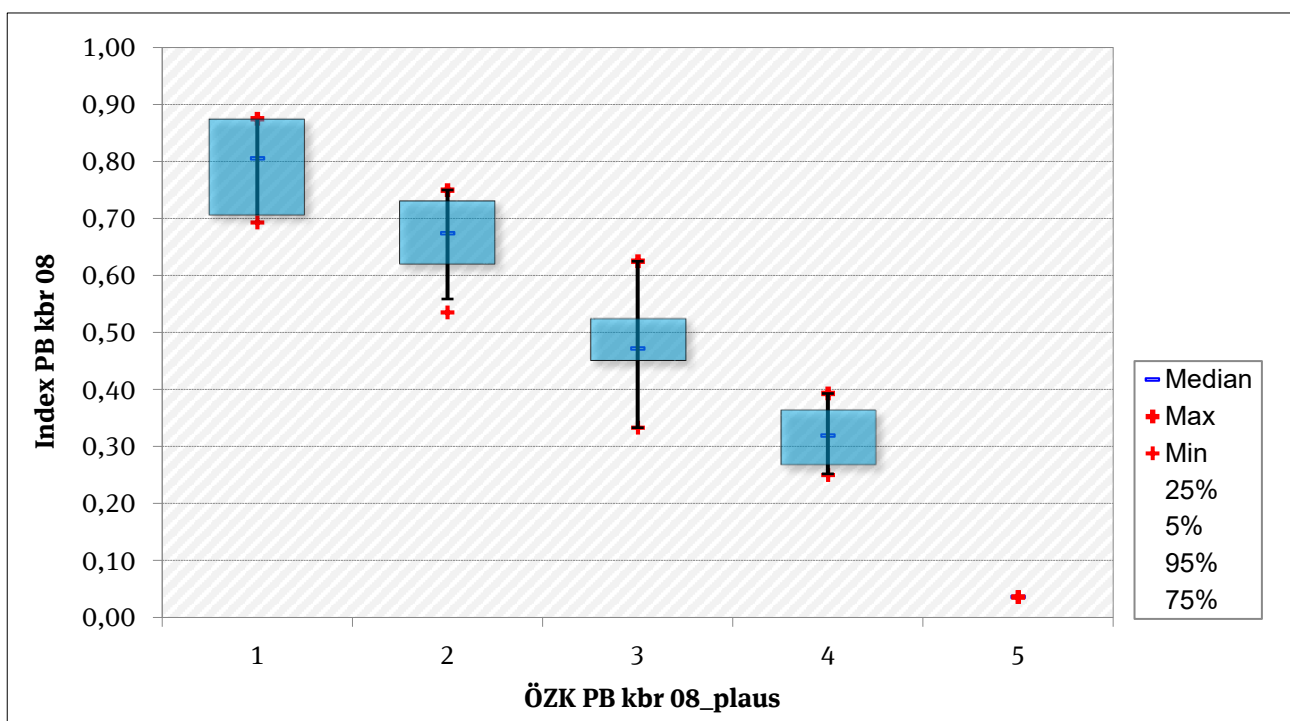


Tabelle 49: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 08 im Vergleich zu PB 10.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 08	Indexgrenzen PB 10
Klasse 1	0.69	0.79	0.88	0.81	4	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.75$
Klasse 2	0.54	0.67	0.75	0.67	44	$0.75 \geq x \geq 0.58$	$0.74 \geq x \geq 0.60$
Klasse 3	0.33	0.48	0.63	0.47	37	$0.57 \geq x \geq 0.41$	$0.59 \geq x \geq 0.40$
Klasse 4	0.25	0.32	0.39	0.32	23	$0.40 \geq x \geq 0.19$	$0.39 \geq x \geq 0.25$
Klasse 5	0.04	0.04	0.04	0.04	1	$0.18 \geq x \geq 0.00$	$0.24 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen



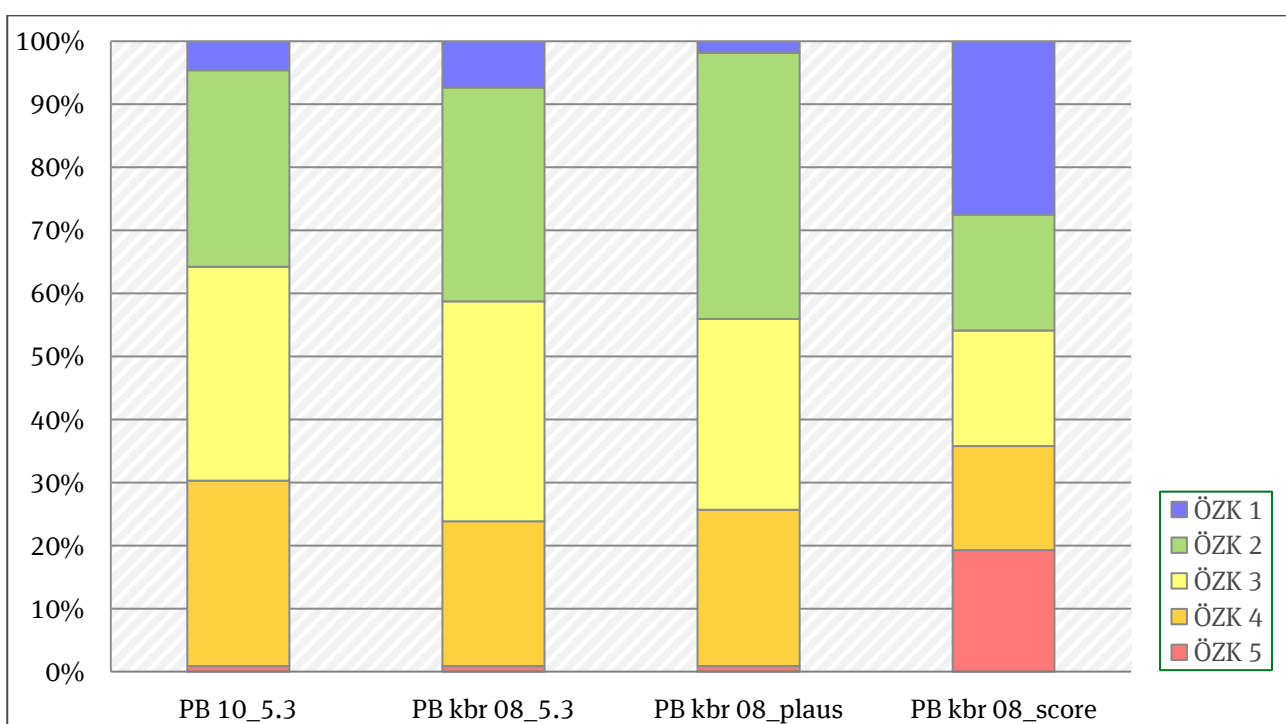
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Durch die Überarbeitung der Indikation kommt es bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 nur zu geringfügigen Veränderungen (Tabelle 50, Abbildung 39). Insgesamt nehmen die Anteile der von Bewertungen mit den Zustandsklassen 1 bis 3 zu, während es zu geringeren Anteilen der schlechteren Bewertungen kommt. Auch das Plausibilisierungsverfahren führt zu keinen wesentlichen Änderungen. Zwar nimmt der Anteil der mit ZK 1 bewerteten Probestellen ab, dafür nimmt der Anteil derer mit ZK 2 auf Kosten der mit ZK 3 bewerteten Stellen zu. Leichte Zunahmen sind nun auch für Einstufungen mit ZK 4 festzustellen. Ein völlig anderes Bild ergeben dagegen die Bewertungen durch das Score-Verfahren. Die meisten Probestellen werden den Klassen 1 und 5 zugeordnet, der Rest verteilt sich relativ gleichmäßig auf die verbleibenden Zustandsklassen.

Tabelle 50: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 08.

ÖZK	PB 10_5.3	PB kbr 08_5.3	PB kbr 08_plaus	PB kbr 08_score
Klasse 1	5	8	2	30
Klasse 2	34	37	46	20
Klasse 3	37	38	33	20
Klasse 4	32	25	27	18
Klasse 5	1	1	1	21
Gesamt	109	109	109	109

Abbildung 39: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 08.



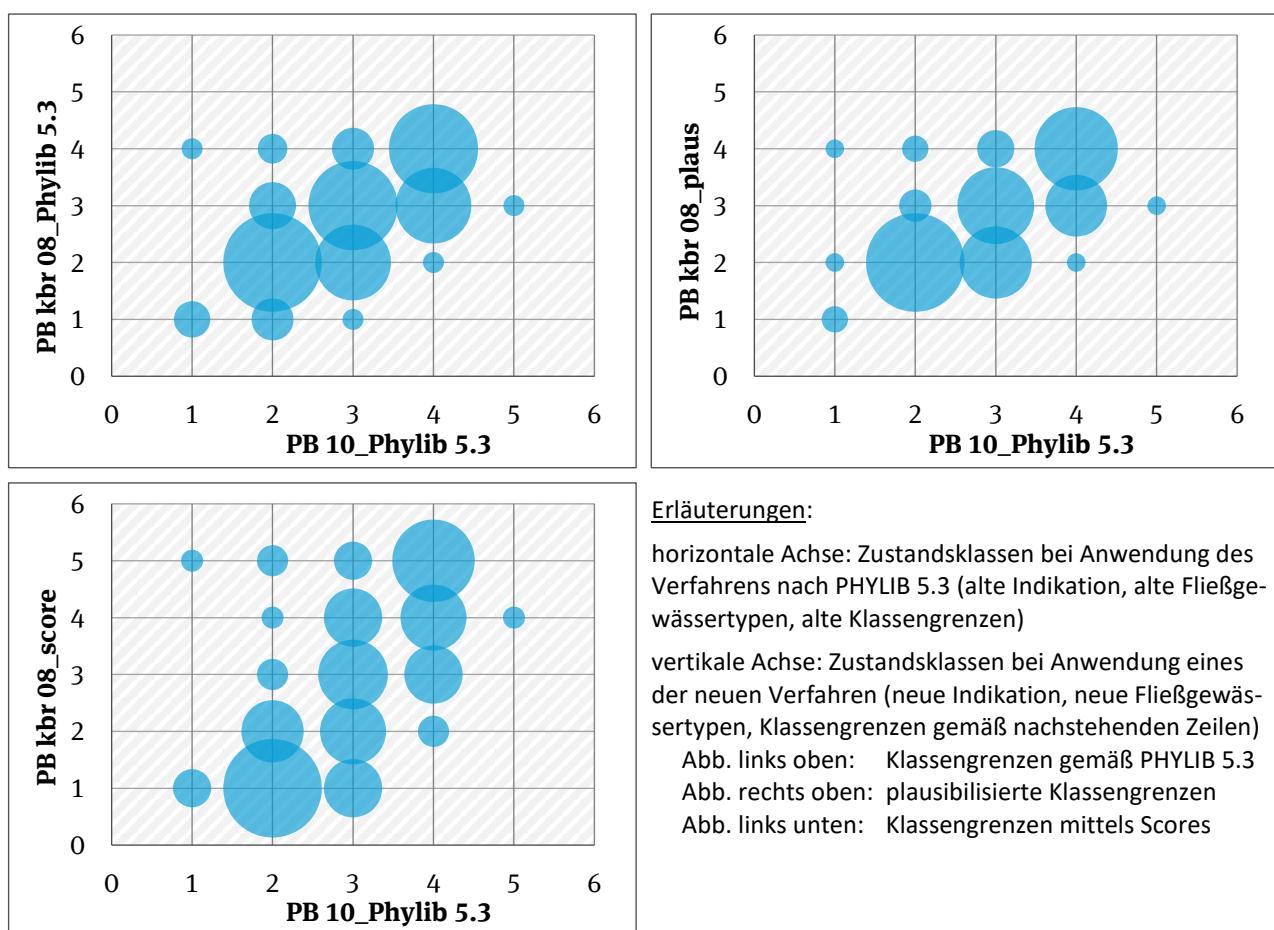
Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 10) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 08) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 40. In den Graphiken wird eine Probestelle nicht dargestellt, die mit der Indikation von PHYLIB 5.3 als nicht gesichert bewertet, aber nach der neuen Indikation Klasse 5 zugeordnet wird.

Obwohl durch die veränderte Indikation nur wenige Änderungen hinsichtlich der Anteile der Probestellen zu den Bewertungen auffällig waren, haben sich innerhalb aller Zustandsklassen deutliche Revisionen bei allen drei Verfahren ergeben. So verändert sich durch die neue Indikation eine Probestelle von ZK 1 zu ZK 4. Zwar verbleibt der größte Anteil der ursprünglich mit ZK 2 bewerteten Stellen in dieser Klasse, aber ein kleiner Teil der Probestellen verbessert bzw. verschlechtert sich um eine oder zwei Zustandsklassen. Die größten Veränderungen betreffen Zustandsklasse 3. Hier verbessert sich ein größerer Anteil, und nur ein kleiner Anteil verschlechtert sich (nun ZK 4). Ähnlich verhält es sich in ZK 4; die früher der ZK 5 zugeordneten Probestelle verändert sich in der Bewertung nun zu ZK 3.

Nach dem Plausibilisierungsverfahren wird die Zustandsklasse 1 stärker differenziert, während es wenig Veränderungen für die mit ZK2 bewerteten Probestellen gibt. Hier kommt es ausschließlich zu Verschlechterungen um eine oder zwei Zustandsklassen. Die Verschiebungen für ZK 3 sind fast identisch zu denen mit den Indexgrenzen aus PHYLIB 5.3.

Extrem große Veränderungen zeigen sich wiederum im Score-Verfahren hinsichtlich der Zustandsklassen 2 bis 4. Während sich ein Großteil der Stellen mit ZK 2 verbessern, werden die Probestellen der ZK 3 relativ gleichmäßig auf die verschiedenen Zustandsklassen aufgeteilt, und die ursprünglich ZK 4 zugeordneten Stellen verschlechtern sich. Insgesamt wird hier das mittlere Spektrum der Indexwerte sehr stark differenziert.

Abbildung 40: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 08.



Eine Experteneinschätzung dieser hier zu einem PoD-Typ zusammengefassten Gewässer ist schwierig. Auffällig ist, dass mit den Klassengrenzen von PHYLIB 5.3 nur eine Probestelle mit einer Zustandsklasse 5 bewertet wird. Betrachtet man die Bewertungen mit ZK 4, so erscheinen diese als deutlich zu

positiv bewertet, da Massenentwicklungen eutraphenter Taxa meist nicht erfasst werden. Hier erscheint die Bewertung mit Hilfe des Score-Verfahrens oft eher plausibel. In diesem Bereich müssten die Indexgrenzen deutlich strenger gefasst werden. Unsicherheiten bestehen für die Einschätzungen der besseren Bewertungen. Vermutlich bestehen hier Unklarheiten bei der Einschätzung typspezifischer Bedingungen für die Algen des PoD.

### 4.3.9 Karbonatische, sand- bzw. lehmgeprägte Bäche und Flüsse des Norddeutschen Tieflandes – PB kbr 09

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Im PoD-Typ PB kbr 09 werden die Bäche und Flüsse der LAWA-Typen 14 und 15 zusammengefasst. Beide Fließgewässertypen wurden auch im bisherigen PHYLIB-Verfahren in der Version 5.3 gemeinsam bewertet (PB 10). Die Gewässer bieten den Algen des PoD relativ wenig festes Substrat, denn die Gewässersohle besteht vor allem aus Sand. Nur kleinräumig sind Kiesbänke und als Sekundärsubstrate Totholz, Wurzeln, Wasserpflanzen oder Falllaub vorhanden. Lokal können Niedermoore aus dem Einzugsgebiet Einfluss auf die Gewässer besitzen. Als typspezifisch wird für die Diatomeen das dominante Vorkommen toleranter Ubiquisten angegeben, die Meso-Eutrophie bis Eutrophie indizieren (Pottgieser 2018).

Wie die NMDS-Analysen der Gemeinschaften dieser Fließgewässertypen ergaben (Rolauffs et al. 2020: Anhang 4), kommen in den untersuchten Gewässern durchaus epilithische Charakterarten karbonatischer Gewässer vor, allerdings wäre nach der Typbeschreibung eine hohe Abundanz dieser Taxa nicht typspezifisch. Als typspezifisch sind eher Taxa anzusehen, die die Sekundärsubstrate besiedeln, also epixylisch, epiphytisch, metaphytisch sowie epipsammisch und epipelisch lebende Taxa. Dazu gehören vor allem Fadenalgen und mikrophytische Algen. Insgesamt kommen tolerante, alkaliphile Taxa vor, die eutrophe Verhältnisse anzeigen und auch saprobielle Belastung ertragen. Insgesamt wurden im Projekt 305 bzw. 129 Probestellen der LAWA-Typen 14 und 15 berücksichtigt (Rolauffs et al. 2020).

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Nach Überarbeitung der Indikation stehen nun 157 indikative Taxa für eine Bewertung zur Verfügung (Tabelle 51). Damit hat sich die Anzahl der Indikatoren um ca. 50 % erhöht. Die Veränderungen betreffen vor allem die Algenklassen der Cyanobakterien, Florideo- und Chlorophyceae sowie die mikrophytischen Desmidiaceae und Euglenophyceae.

Tabelle 51: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 09.

Klasse	PB 10	entfallen	neu	PB kbr 09
Cyanobacteria	34	8	26	52
Bangiophyceae	0	0	1	1
Compsopogonaceae	1	1	0	0
Florideophyceae	7	2	5	10
Phaeophyceae	0	0	0	0
Chrysophyceae	0	0	0	0
Trebouxiophyceae	1	0	0	1
Tribophyceae	6	1	2	7
Chlorophyceae	14	0	11	25
Ulvophyceae	9	1	2	10
Klebsormidiophyceae	3	3	0	0
Desmidiaceae	18	4	16	30
Zygnematophyceae	3	1	0	2
Euglenophyceae	7	1	13	19
<b>Gesamt</b>	<b>103</b>	<b>22</b>	<b>76</b>	<b>157</b>

Damit ist die oben beschriebene typspezifische Algenflora durch die überarbeitete Indikation wesentlich besser repräsentiert als im PHYLIB-Verfahren 5.3. Im Unterschied zu vielen anderen PoD-Typen gab es

dadurch deutliche Zunahmen bei Indikatoren aller Indikationskategorien (Tabelle 52). Dabei hat die Anzahl der typspezifischen Taxa der Kategorie A am stärksten zugenommen.

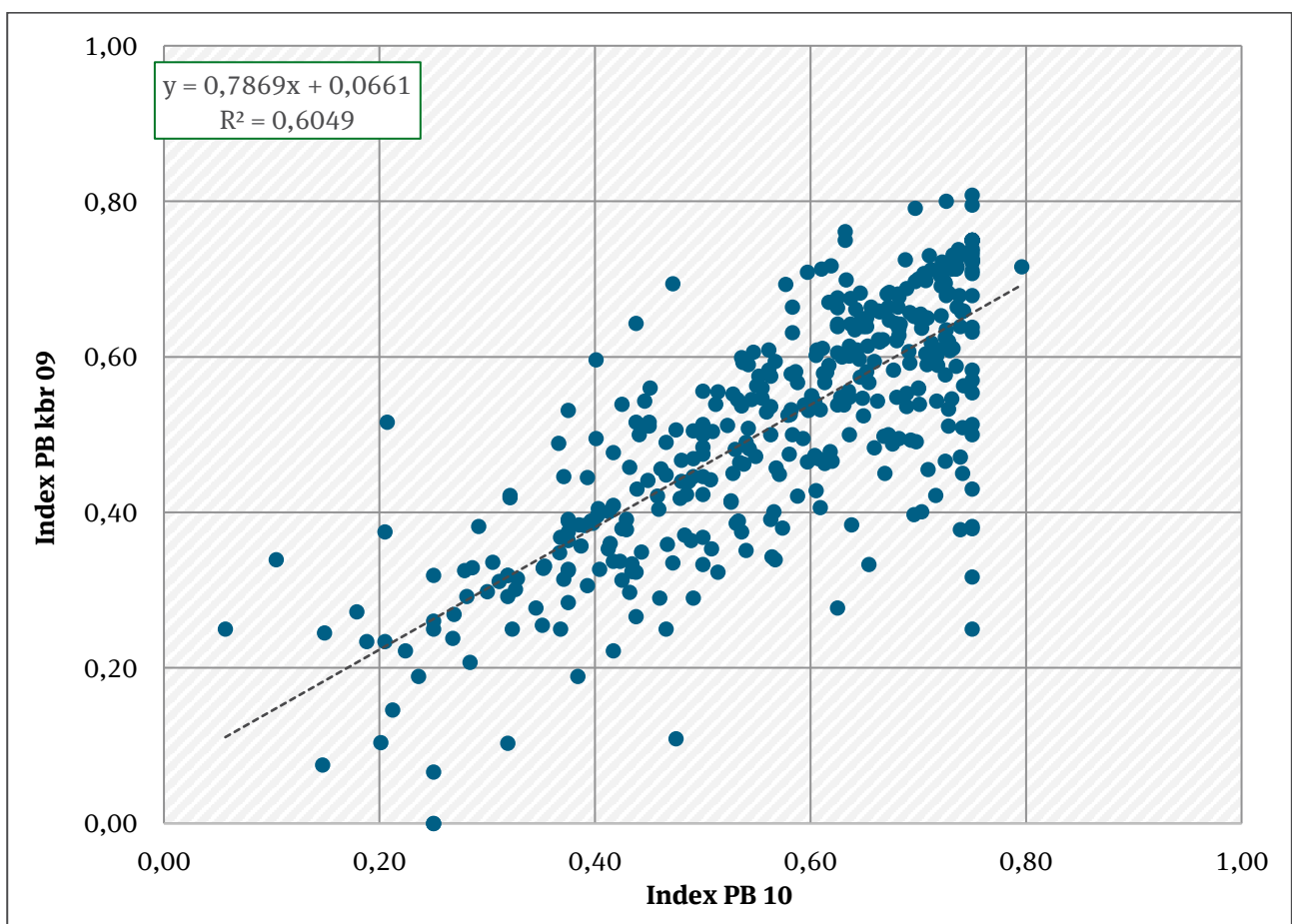
Tabelle 52: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 09 im Vergleich zu PB 10.

Kategorie	PB 10	PB kbr 09
A	8	20
B	46	59
B/C	8	8
C	33	50
C/D	0	4
D	8	16
Gesamt	103	157

C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Von den insgesamt 434 Probestellen konnten 397 Stellen mit PHYLIB 5.3 und 402 Stellen mit dem neuen Indikationsverfahren gesichert bewertet werden, was 91 % bzw. 93 % der untersuchten Probestellen entspricht.

Abbildung 41: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 10) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 09) – Fußnote wie Abbildung 29.



Ein Zusammenhang zwischen der Bewertung mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3 ist deutlich erkennbar. Das zeigt auch die Regressionsanalyse (Abbildung 41) mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,60.

Wie aus dem Boxplot (Abbildung 42) ersichtlich, wird eine Auftrennung in die unterschiedlichen Zustandsklassen durch die Mediane im Plausibilisierungsverfahren für alle Zustandsklassen gut erkennbar. Auch die Indexwerte überlappen sich nicht in erheblichem Maße. Eine Trennung der unterschiedlichen Zustandsklassen müsste daher mit Hilfe des Plausibilisierungsverfahrens recht gut möglich sein. Die Indexgrenzen dieses Verfahrens sind mit denen des PHYLIB-Verfahrens 5.3 für die Zustandsklasse 1 und 2 vergleichbar, weichen aber bei den schlechteren Zustandsklassen ein wenig voneinander ab (Tabelle 53).

Abbildung 42: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 09.

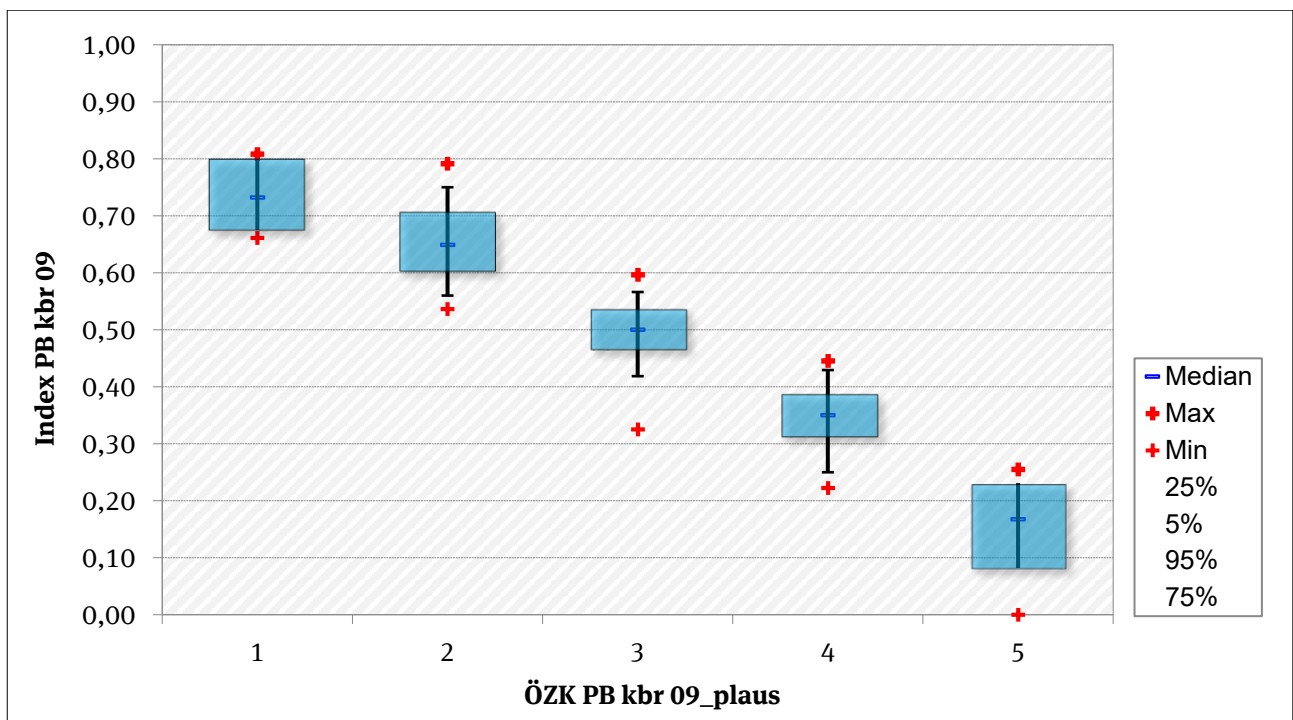


Tabelle 53: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 09 im Vergleich zu PB 10.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 09	Indexgrenzen PB 10
Klasse 1	0.66	0.74	0.81	0.73	8	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.75$
Klasse 2	0.54	0.65	0.79	0.65	162	$0.75 \geq x \geq 0.58$	$0.74 \geq x \geq 0.60$
Klasse 3	0.33	0.50	0.60	0.50	110	$0.57 \geq x \geq 0.44$	$0.59 \geq x \geq 0.40$
Klasse 4	0.22	0.35	0.45	0.35	106	$0.43 \geq x \geq 0.27$	$0.39 \geq x \geq 0.25$
Klasse 5	0.00	0.15	0.26	0.17	16	$0.26 \geq x \geq 0.00$	$0.24 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

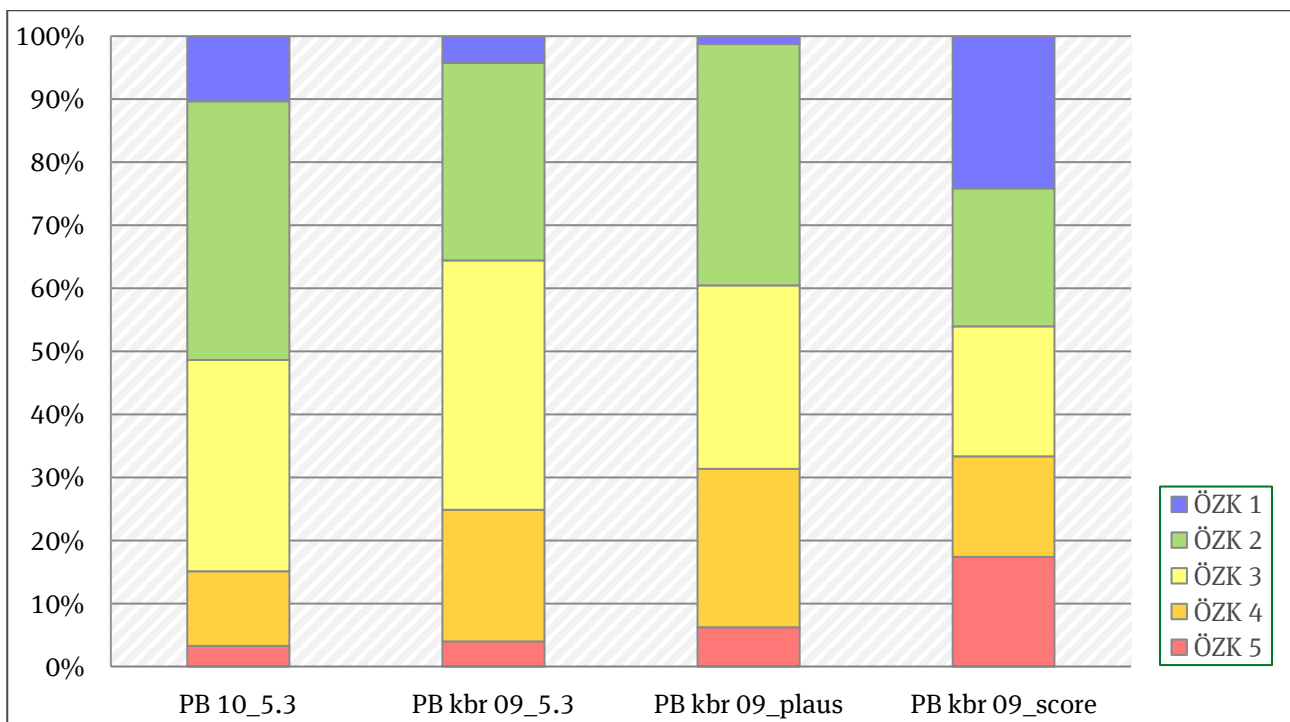
Die Änderungen in den Anzahlen der Bewertungen durch die neue Indikation führt bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 zu folgenden Veränderungen: Die Anteile der mit ZK 1 bzw. ZK 2 bewerteten Probestellen nehmen ab, während die Anteile der mit den Klassen 3 und 4 bewerteten Stellen zunehmen. Die Anteile von ZK 5 bleiben ungefähr gleich (Tabelle 54, Abbildung 43). Mit dem Plausibilisierungsverfahren nimmt der Anteil der mit ZK 2 bewerteten Stellen zu und zwar zu Lasten der mit ZK 1 und ZK 3 bewerteten Probestellen. Der Anteil von Zustandsklasse 3 verringert sich auch

durch die zunehmenden Anteile von Probestellen, die nun mit ZK 4 und ZK 5 bewertet werden. Wie im PoD-Typ PB kbr 08 besitzen unter Verwendung des Score-Verfahrens Bewertungen mit ZK 1 und ZK 5 die größten Anteile, während sich die verbleibenden Bewertungen relativ gleichmäßig auf die anderen Zustandsklassen aufteilen.

Tabelle 54: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 09.

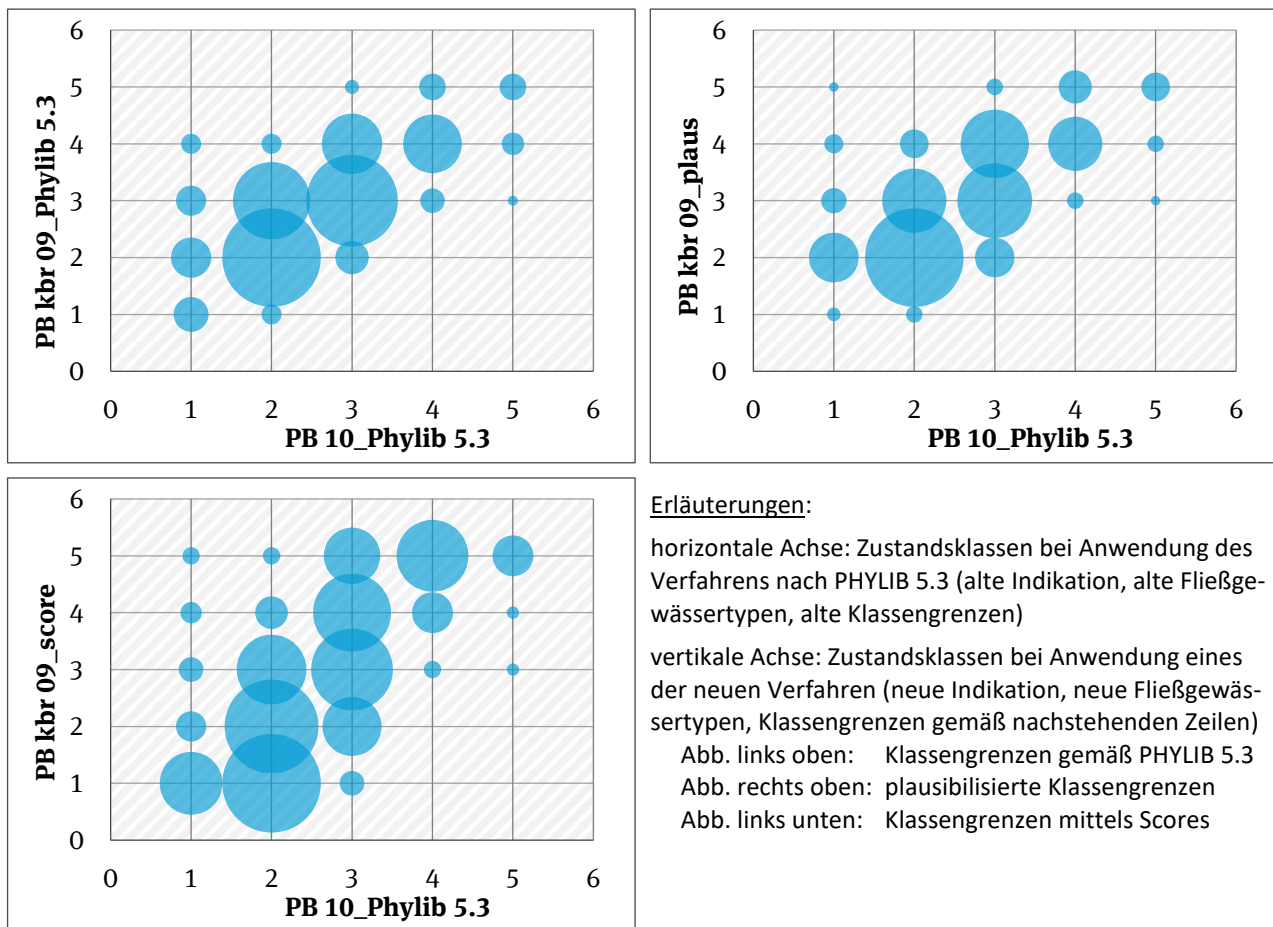
ÖZK	PB 10_5.3	PB kbr 09_5.3	PB kbr 09_plaus	PB kbr 09_score
Klasse 1	41	17	5	97
Klasse 2	163	126	154	88
Klasse 3	133	159	117	83
Klasse 4	47	84	101	64
Klasse 5	13	16	25	70
Gesamt	397	402	402	402

Abbildung 43: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 09.



Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 10) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 09) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 44. Die Einzelgraphiken dokumentieren, dass sich innerhalb aller Zustandsklassen starke Änderungen ergeben. So verteilen sich die ursprünglich mit ZK 1 bewerteten Probestellen für alle Szenarien nun auf fast alle bzw. alle Zustandsklassen. Mit der neuen Indikation und dem Plausibilisierungsverfahren kommt es für größere Anteile von Probestellen tendenziell zu Bewertungen, die um eine Klasse schlechter ausfallen; ein relativ geringer Anteil von Probestellen kommt mit einer besseren Bewertung davon. Nur bei Anwendung des Score-Verfahrens verbessert sich wiederum ein Großteil der Probestellen der ZK 2 hin zu ZK 1; zahlreiche der ZK 4 zugeordneten Probestellen verschlechtern sich.

Abbildung 44: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 09.



Auch für diesen Tieflandtyp ist eine Experteneinschätzung schwierig zu treffen. Insgesamt erscheinen die Einstufungen mit ZK 4 im Plausibilisierungsverfahren teils zu mild, wenn Massenentwicklungen eutrophenter Taxa nicht erfasst werden. Problematisch einzuschätzen sind vor allem Probestellen, an denen viele verschiedene Taxa mit hauptsächlich geringer Abundanz vorkommen. So gibt es Probestellen, die schlecht bewertet werden, weil Euglenophyceae mit nicht zu hoher Abundanz entscheidenden Einfluss auf die Algenflora haben. Dies gilt auch für andere Arten des Sapropels, wie *Geitlerinema splendidum*, die nach Beschreibung des Typs durchaus als typentsprechend eingeschätzt werden könnten. Hinzu kommt die Frage, wie eine höhere Abundanz epilithischer Charakterarten bewertet werden sollte. Auch sind die Einflüsse der Niedermoore schwer zu beurteilen. Ein Abgleich mit den Einschätzungen der benthischen Floren anderer Teilkomponenten würde hier mehr Sicherheit schaffen. Auch fehlen in diesem PoD-Typ offenbar Referenzstellen.



### 4.3.10 Karbonatisch kiesgeprägte Bäche und Flüsse des Norddeutschen Tieflandes – PB kbr 10

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Im PoD-Typ PB kbr 10 werden die Bäche und Flüsse der LAWA-Typen 16 und 17 zusammengefasst. Beide Fließgewässertypen wurden auch im bisherigen PHYLIB-Verfahren in der Version 5.3 gemeinsam bewertet (PB 11). Als Substrat stehen den Algen des PoD vor allem Kies und Steine mit unterschiedlich hohen Sand- oder Lehmantilen zur Verfügung. Teilweise sind auch Blöcke aus Findlingen vorhanden. In den Flüssen ist die Verteilung von Sand und Kies großräumiger verteilt. So kann Kies an Stellen größerer Strömung Uferbänke ausbilden, während Sand eher bei geringerer Strömung Mittelbänke ausbildet. Als weitere Substrate stehen Totholz, Wurzeln, Wasserpflanzen oder Falllaub zur Verfügung. Bei den Diatomeen treten ubiquitäre, trophietolerante Arten auf, die Meso-Eutrophie bis Eutrophie indizieren (Pottgiesser 2018). Dies gilt auch für das PoD. Nach Analysen der Gemeinschaften des PoD (Rolaufts et al. 2020: Anhang 4, NMDS-Analysen) sind für diese Gewässer mit steigenden pH-Werten epilithische Charakterarten karbonatischer Gewässer signifikant. Hinzu kommen tolerante, aber nicht zu hohe Trophie anzeigende Taxa verschiedener Algenklassen und Wuchsformen. Insgesamt ist die Artenvielfalt dieser Gewässer sehr hoch. Auffällig ist eine mikrophytische Algenflora, die zum großen Teil aus alkaliphilen, toleranten Desmidiaceae und aus Euglenophyceae zusammengesetzt ist. In seiner Artenvielfalt sind diese Fließgewässertypen einem grobmaterialreichen Mittelgebirgsbach sehr ähnlich. Insgesamt wurden im Projekt 142 Probestellen des LAWA-Typs 16 und 168 Probestellen des LAWA-Typs 17 berücksichtigt (Rolaufts et al. 2020).

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Nach Überarbeitung der Indikation stehen statt bislang 80 nun 143 indikative Taxa für eine Bewertung zur Verfügung (Tabelle 55). Damit hat sich die Anzahl der Indikatoren fast verdoppelt. Die mit Abstand größten Veränderungen betreffen die Algenklasse der Chlorophyceae. Zusätzliche Indikatoren wurden aber auch in den Klassen der Tribophyceae, Ulvophyceae und Euglenophyceae sowie bei den Desmidiaceae und Cyanobakterien registriert. Damit wurde die Kenntnis über die typspezifische Algenflora deutlich erweitert.

Tabelle 55: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 10.

Klasse	PB 11	entfallen	neu	PB kbr 10
Cyanobacteria	29	7	27	49
Bangiophyceae	1	1	0	0
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	5	1	3	7
Phaeophyceae	0	0	0	0
Chrysophyceae	1	1	0	0
Trebouxiophyceae	0	0	0	0
Tribophyceae	3	0	4	7
Chlorophyceae	6	1	16	21
Ulvophyceae	5	0	5	10
Klebsormidiophyceae	1	1	0	0
Desmidiaceae	16	3	16	29
Zygnematophyceae	3	1	0	2
Euglenophyceae	10	4	12	18
<b>Gesamt</b>	<b>80</b>	<b>20</b>	<b>83</b>	<b>143</b>

Mehr als das Fünffache der Indikatoren stehen nun in der Bewertungskategorie A zur Verfügung, und für die Kategorien B und D verdoppeln sich in etwa die Anzahlen (Tabelle 56). Damit ergeben sich durch die neue Indikation völlig andere Bedingungen.

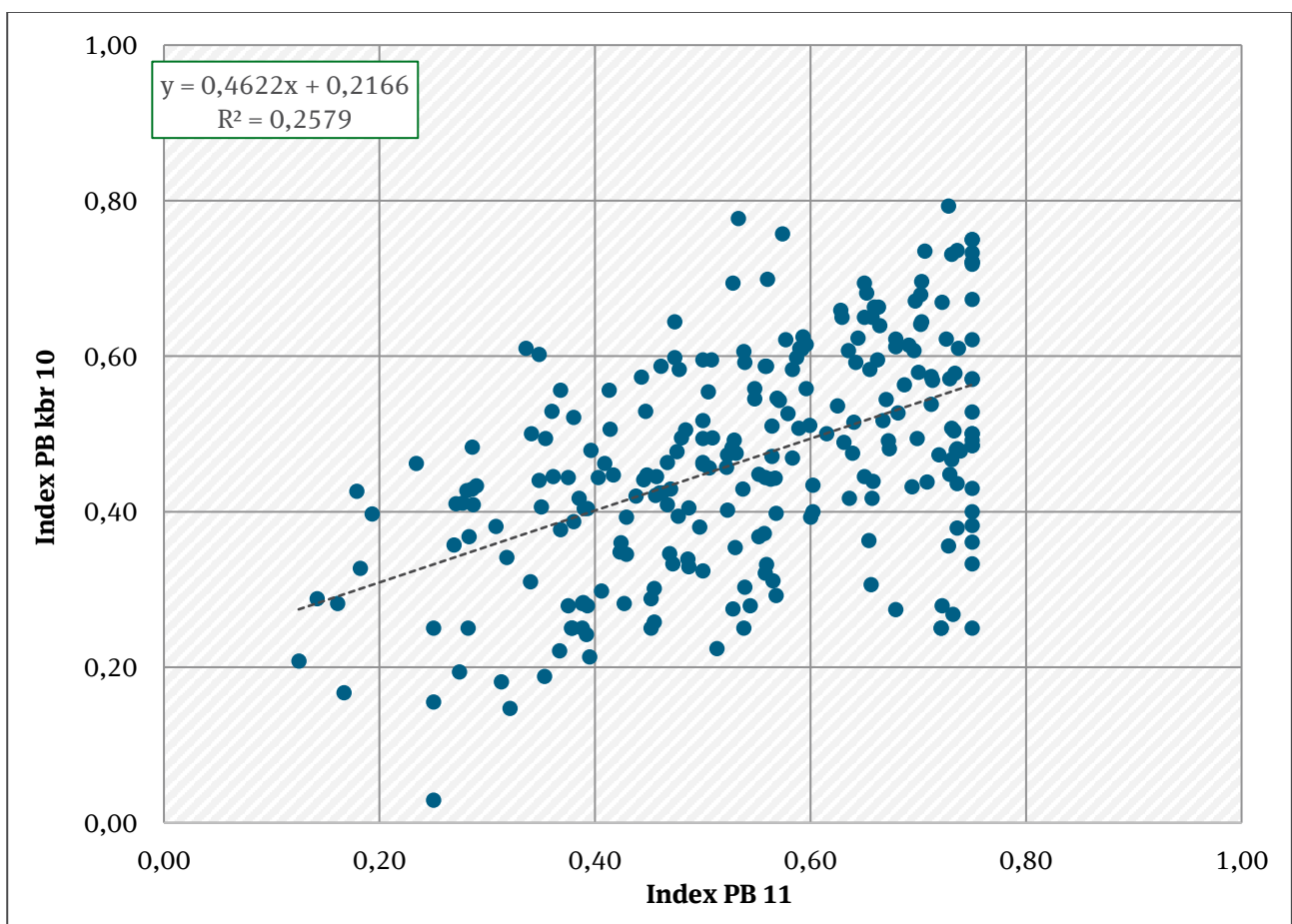
Tabelle 56: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 10 im Vergleich zu PB 11.

Kategorie	PB 11	PB kbr 10
A	2	11
B	32	60
B/C	6	4
C	33	48
C/D	0	6
D	7	14
Gesamt	80	143

C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Von den insgesamt 310 Probestellen konnten 254 mit PHYLIB 5.3 gesichert bewertet werden. Mit dem neuen Indikationsverfahren steigt die Anzahl der gesichert bewertbaren Probestellen auf 271 – das entspricht 82 % (PHYLIB 5.3) bzw. 87 % (neue Indikation).

Abbildung 45: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 11) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 10).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

Vermutlich ist durch die sehr starke Überarbeitung der Indikation in diesem Fließgewässertyp ein Zusammenhang zwischen der Bewertung mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3 kaum erkennbar. Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsanalyse (Abbildung 45) liegt bei 0,26.

Aus dem Boxplot (Abbildung 46) ist ersichtlich, dass eine Auftrennung in die unterschiedlichen Zustandsklassen durch die Mediane im Plausibilisierungsverfahren für alle Zustandsklassen gut erkennbar. Auch die Indexwerte überlappen sich kaum. Eine Trennung der unterschiedlichen Zustandsklassen müsste daher mit Hilfe des Plausibilisierungsverfahrens recht gut möglich sein. Einzige Ausnahme ist hier die starke Streuung der Indizes innerhalb der Klasse 2, was eine Grenzziehung zu Klasse 1 erschwert. Die Indexgrenzen dieses Verfahrens ähneln denen des PHYLIB-Verfahrens 5.3 (Tabelle 57).

Abbildung 46: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 10.

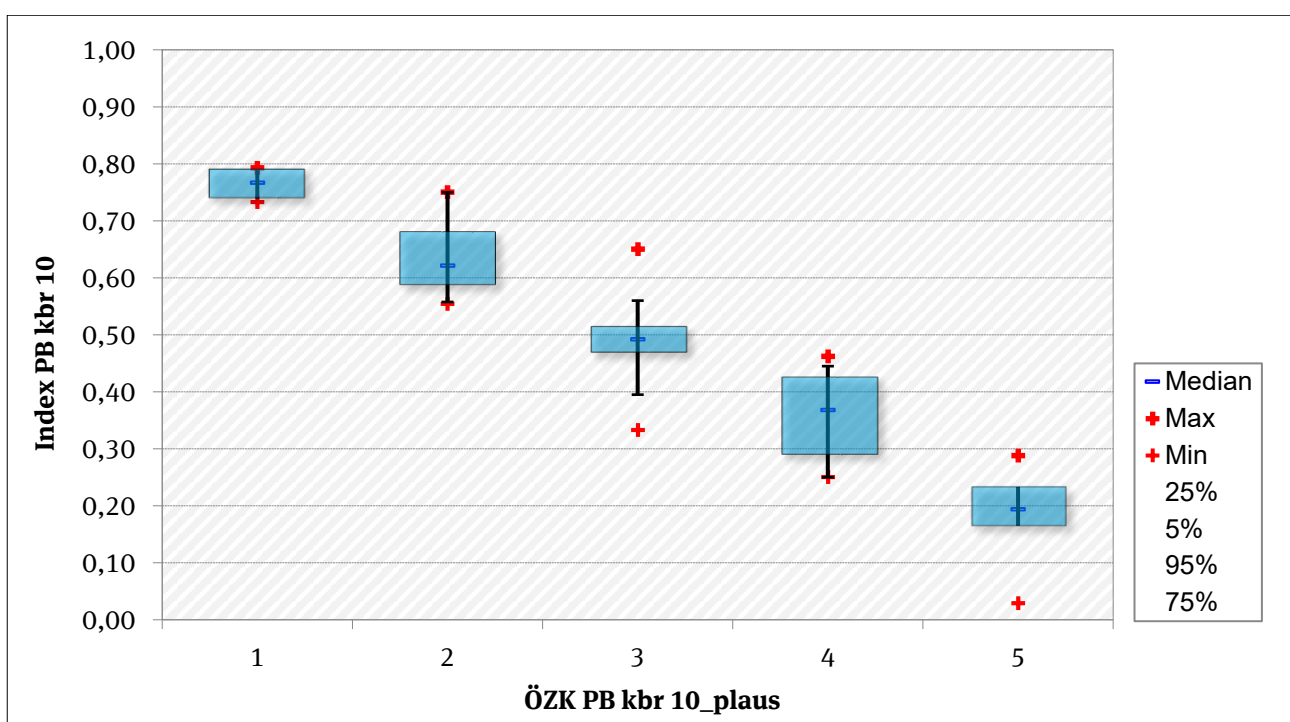


Tabelle 57: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 10 im Vergleich zu PB 11.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 10	Indexgrenzen PB 11
Klasse 1	0.73	0.77	0.79	0.77	4	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.75$
Klasse 2	0.55	0.64	0.75	0.62	75	$0.75 \geq x \geq 0.57$	$0.74 \geq x \geq 0.60$
Klasse 3	0.33	0.49	0.65	0.49	74	$0.56 \geq x \geq 0.38$	$0.59 \geq x \geq 0.40$
Klasse 4	0.25	0.36	0.46	0.37	101	$0.37 \geq x \geq 0.29$	$0.39 \geq x \geq 0.25$
Klasse 5	0.03	0.20	0.29	0.19	17	$0.28 \geq x \geq 0.00$	$0.24 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

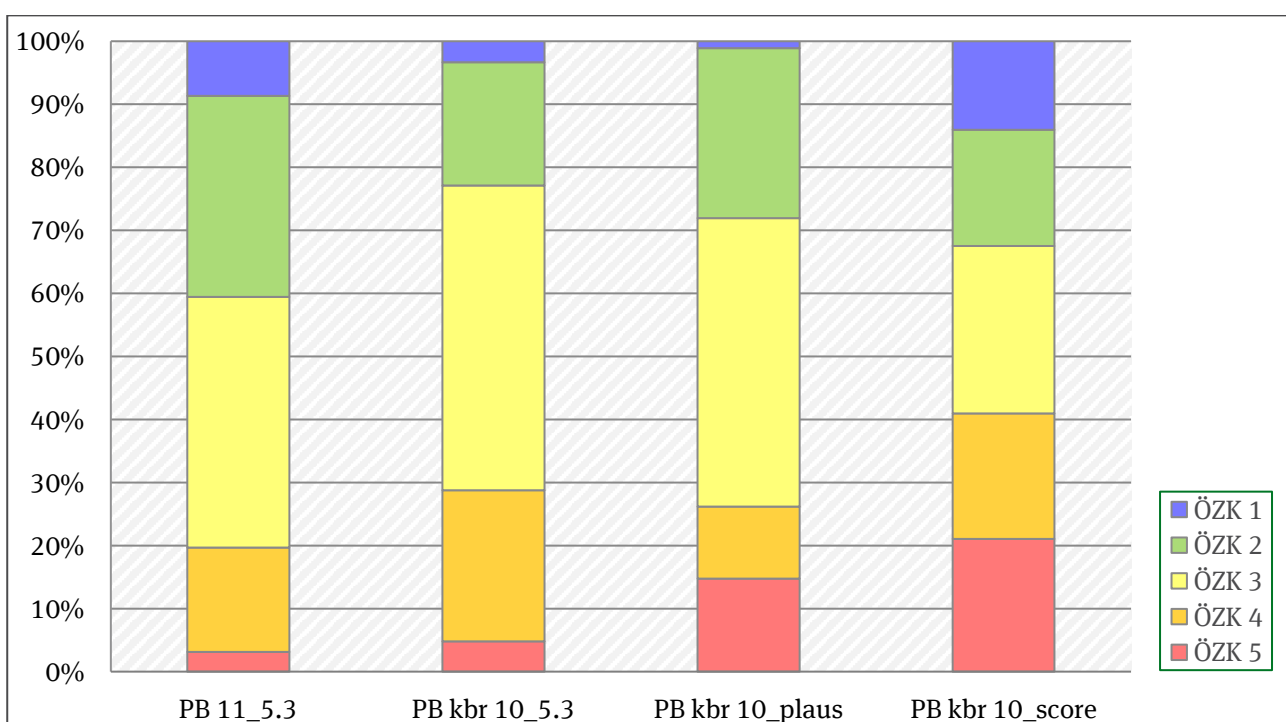
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Durch die überarbeitete Indikation kommt es bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 zu einer strengeren Bewertung. Die Anzahl der mit Zustandsklasse 1 oder 2 bewerteten Probestellen nimmt ab (Tabelle 58, Abbildung 47), während die Anzahl der mit den Klassen 3 bis 5 bewerteten Stellen deutlich zunimmt. Durch Anwendung des Plausibilisierungsverfahrens entsteht ein etwas anderes Bild. Nur wenige Probestellen bleiben in ZK 1, während die Anzahl der mit ZK 2 bewerteten Stellen gegenüber PB kbr 10\_5.3 deutlich zunimmt. Ähnlich hoch bleibt die Anzahl der mit ZK 3 bewerteten Probestellen, während wesentlich mehr Stellen nun nicht mehr ZK 4, sondern ZK 5 zugerechnet werden. Durch das Score-Verfahren verteilen sich die Anteile der Bewertungen relativ gleichmäßig auf alle Zustandsklassen.

Tabelle 58: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 10.

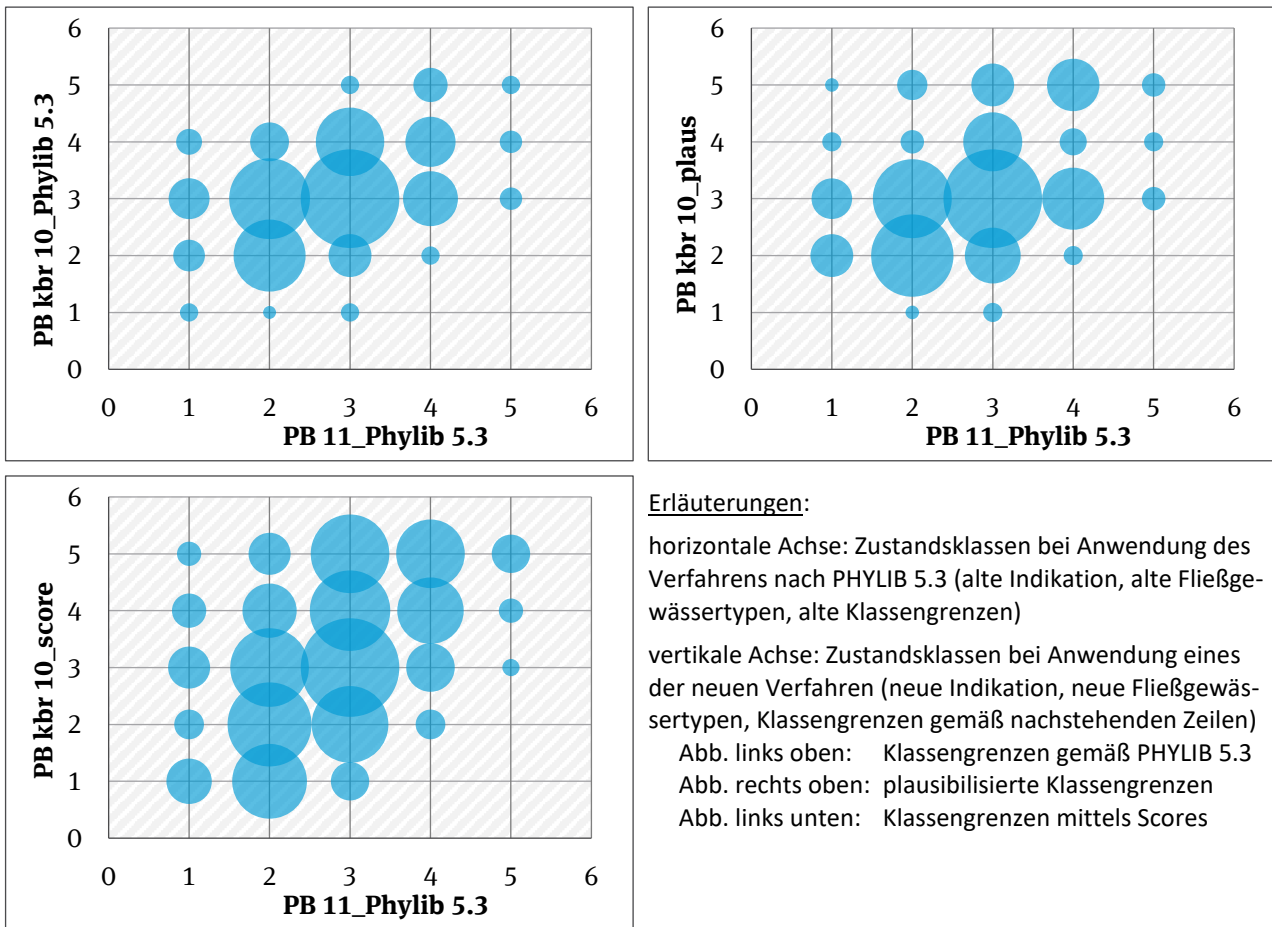
ÖZK	PB 11_5.3	PB kbr 10_5.3	PB kbr 10_plaus	PB kbr 10_score
Klasse 1	22	9	3	38
Klasse 2	81	53	73	50
Klasse 3	101	131	124	72
Klasse 4	42	65	31	54
Klasse 5	8	13	40	57
Gesamt	254	271	271	271

Abbildung 47: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 10.



Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 10) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 10) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 48. Alle Verfahren führen zu starken Veränderungen. Dabei kommt es fast überall sowohl zu Verbesserungen als auch zu Verschlechterungen der Bewertungen um mehrere Zustandsklassen – ein Effekt der starken Überarbeitung der Indikationsliste für diesen PoD-Typ.

Abbildung 48: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 10.



Eine Experteneinschätzung dieser Gewässer ist problematisch. In diesem Gewässertyp gibt es viele Probestellen, an denen eine Mischung verschiedener Taxa mit geringer Abundanz vorkommt, die dann schwer in ihrer Typspezifität einzuschätzen ist. Dabei handelt es sich häufig um Kombinationen des Vorkommens von Desmidiaceen und Euglenophyceae. Insgesamt erscheinen Einstufungen in die besseren Zustandsklassen nach Phylib 5.3 bzw. dem Plausibilisierungsverfahren durchaus nachvollziehbar, während Bewertungen mit Hilfe des Score-Verfahrens oft eher für die schlechteren Zustandsklassen plausibel erscheinen.

### 4.3.11 Karbonatische, löss-lehmgeprägte Bäche des Norddeutschen Tieflandes – PB kbr 11

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Der PoD-Typ PB kbr 11 behandelt die löss-lehmgeprägten Bäche des LAWA-Typs 18. Diese Gewässer sind gekennzeichnet durch eine feinsedimentreiche, Gewässersohle und eine starke Trübung. Als „Hartsubstrat“ stehen den benthischen Algen Lehmplatten und Mergelsteine zur Verfügung. Allerdings kann bereichsweise auch Kies ein- bzw. aufgelagert sein. Diese Gewässer sind häufig nur noch in degradiertem Zustand in Deutschland anzutreffen (Pottgiesser 2018). Im bisherigen PHYLIB-Verfahren in der Version 5.3 wurden diese Gewässer mit dem PB 10 bewertet. Nach Analysen der Gemeinschaften des PoD (Rolauffs et al. 2020: Anhang 4, NMDS-Analysen) ist vor allem eine mikrophytische Algenflora aus alkaliphilen, toleranten Desmidiaceae und Euglenophyceae charakteristisch. Bei Vorhandensein von Hartsubstrat kommen zusätzlich epilithische Charakterarten karbonatischer Gewässer vor. Es ist allerdings fraglich, in welcher Abundanz diese im Referenzzustand auftreten können. Hinzu kommen tolerante Taxa verschiedener Algenklassen. Als Wuchsformen dominieren mikrophytische Organismen sowie fädige, aufschwimmende Formen. Die Gewässer sind eutroph. Insgesamt wurden im Projekt 115 Probestellen des Fließgewässertyps berücksichtigt (Rolauffs et al. 2020). Im bisherigen PHYLIB-Verfahren in der Version 5.3 wurde dieser Fließgewässertyp mit PoD-Typ PB 10 bewertet.

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Durch die Aufspaltung des alten PoD-Typ 10 wurden für diesen FG-Typ weniger Arten genannt. Nach Überarbeitung der Indikation stehen nun statt 103 Taxa nur noch 96 Indikatoren für eine Bewertung zu Verfügung (Tabelle 59). Zunahmen bei der Anzahl der Indikatoren gab es nur bei den Eugleno- und Chlorophyceae. Die Veränderungen hinsichtlich der Zuordnung der Indikatoren zu den Bewertungskategorien sind relativ gering (Tabelle 60). Allerdings wurden einige Indikatoren je nach Abundanz in ihrer Indikation unterschieden (Kategorie B/C bzw. C/D).

Tabelle 59: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 11.

Klasse	PB 10	entfallen	neu	PB kbr 11
Cyanobacteria	34	15	12	31
Bangiophyceae	0	0	0	0
Compsopogonaceae	1	1	0	0
Florideophyceae	7	3	2	6
Phaeophyceae	0	0	0	0
Chrysophyceae	0	0	0	0
Trebouxiophyceae	1	1	0	0
Tribophyceae	6	2	2	6
Chlorophyceae	14	4	9	19
Ulvophyceae	9	3	1	7
Klebsormidiophyceae	3	3	0	0
Desmidiaceae	18	8	3	13
Zygnematophyceae	3	2	0	1
Euglenophyceae	7	2	8	13
<b>Gesamt</b>	<b>103</b>	<b>44</b>	<b>37</b>	<b>96</b>

Tabelle 60: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 11 im Vergleich zu PB 10.

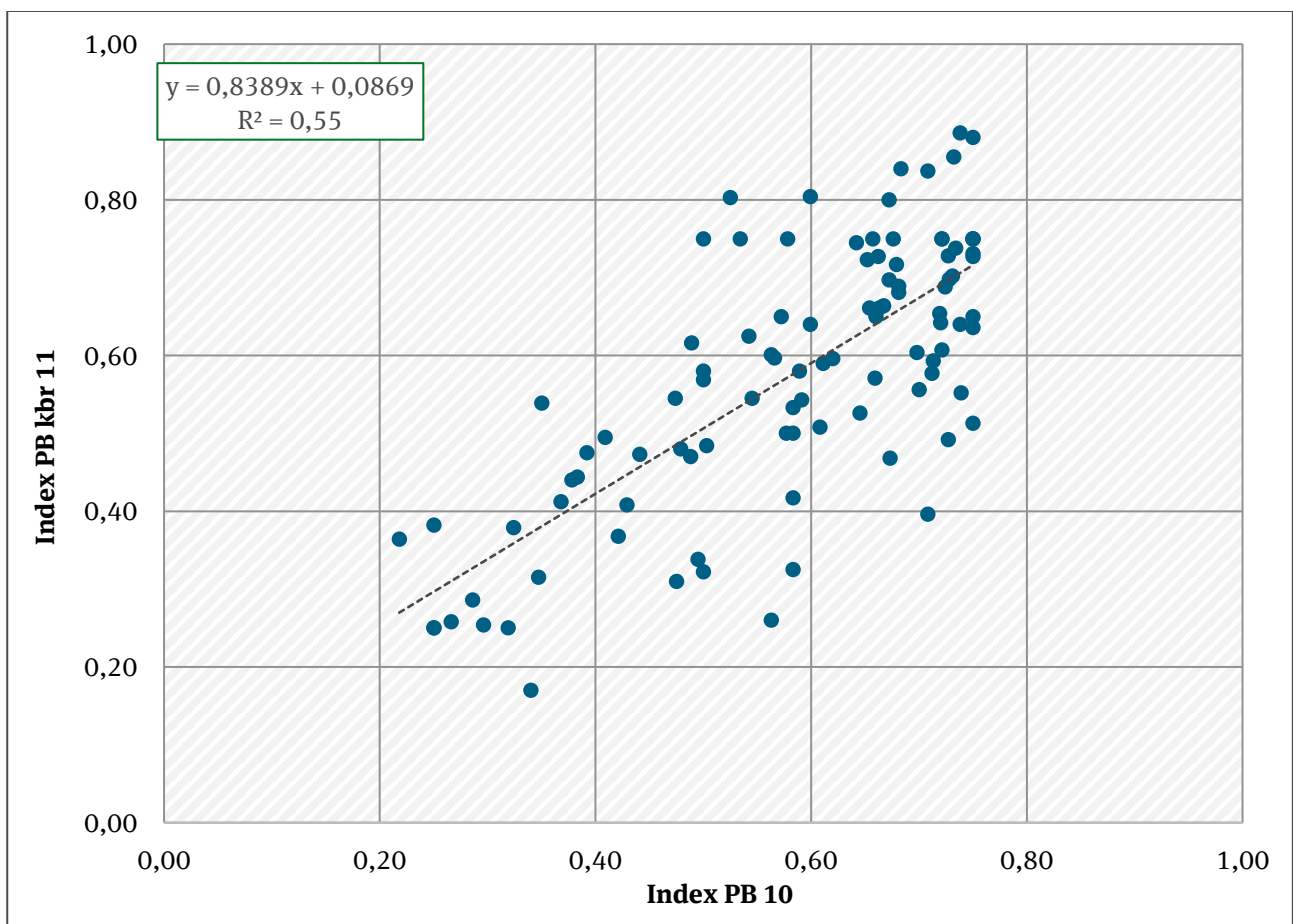
Kategorie	PB 10	PB kbr 11
A	8	8
B	46	33
B/C	8	17
C	33	27
C/D	0	4
D	8	8
Gesamt	103	97

C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Von den insgesamt 115 Probestellen konnten 101 Probestellen mit PHYLIB 5.3 und 104 Probestellen mit der neuen Indikation gesichert bewertet werden – das entspricht 88 % (PHYLIB 5.3) bzw. 90 % (neue Indikation) der untersuchten Probestellen.

Wie die Regressionsanalyse (Abbildung 49) zeigt, besteht ein Zusammenhang zwischen der Bewertung mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,55.

Abbildung 49: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 10) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 11).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

Wie aus dem Boxplot (Abbildung 50) ersichtlich, wird eine Auftrennung in die unterschiedlichen Zustandsklassen durch die Mediane im Plausibilisierungsverfahren für alle Zustandsklassen gut erkennbar. Allerdings überschneiden sich die Indexwerte zwischen den Zustandsklassen. Besonders stark ausgeprägt ist dies zwischen den Klassen 2 und 3 sowie zwischen den Klassen 3 und 4. Es wird daher hier problematisch sein, plausible Indexgrenzen zwischen den Zustandsklassen zu definieren. Die ermittelten Indexgrenzen des Plausibilisierungsverfahrens ähneln denen des PHYLIB-Verfahrens 5.3 (Tabelle 61).

Abbildung 50: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte im PoD-Typ PB kbr 10 in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren.

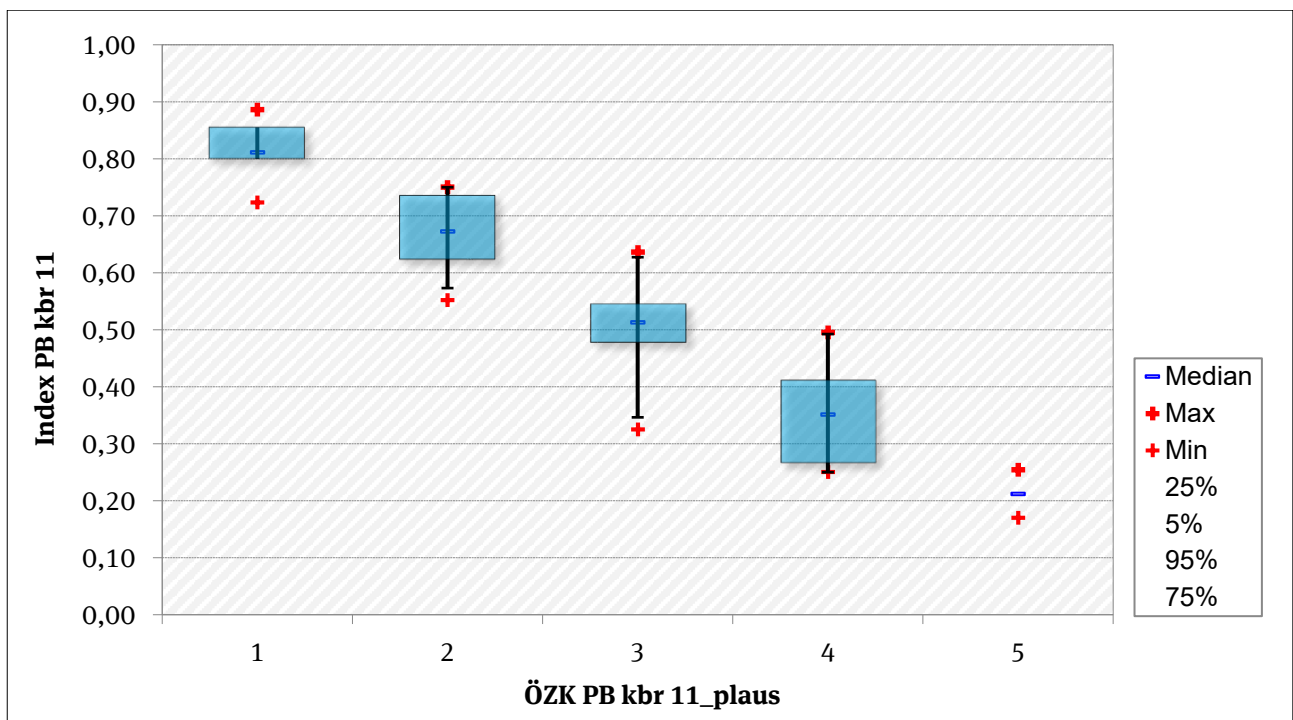


Tabelle 61: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 11 im Vergleich zu PB 10.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 11	Indexgrenzen PB 10
Klasse 1	0.72	0.82	0.89	0.81	11	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.75$
Klasse 2	0.55	0.67	0.75	0.67	46	$0.75 \geq x \geq 0.60$	$0.74 \geq x \geq 0.60$
Klasse 3	0.33	0.51	0.64	0.51	25	$0.59 \geq x \geq 0.44$	$0.59 \geq x \geq 0.40$
Klasse 4	0.25	0.35	0.50	0.35	20	$0.43 \geq x \geq 0.29$	$0.39 \geq x \geq 0.25$
Klasse 5	0.17	0.21	0.25	0.21	2	$0.28 \geq x \geq 0.00$	$0.24 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Durch die überarbeitete Indikation kommt es bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 zu Verschiebungen von ZK 2 zu ZK 1. Anteile der Bewertungen für die anderen Zustandsklassen bleiben ungefähr gleich (Tabelle 62, Abbildung 51). Die Verteilung der Bewertungen nach Anwendung des Plausibilisierungsverfahrens ist wieder der nach PHYLIB 5.3 vergleichbar. Allerdings werden deutlich

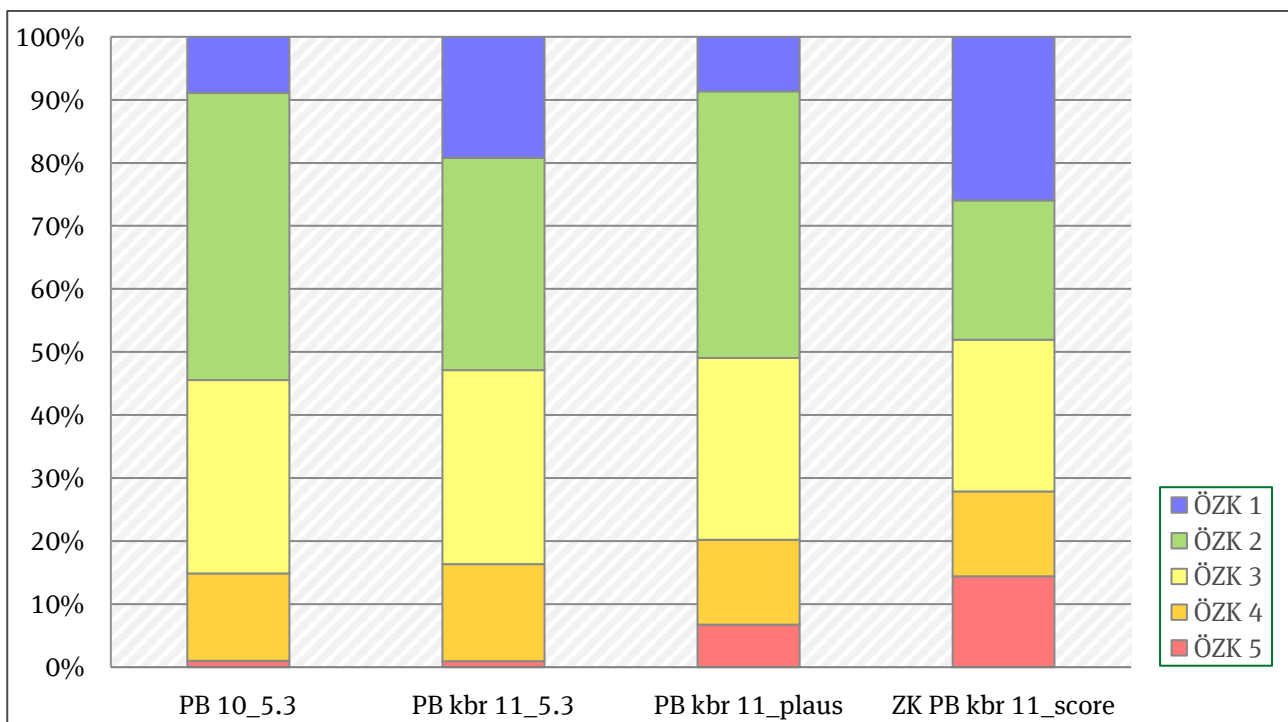


mehr Probestellen ZK 5 zugeordnet. Durch das Score-Verfahren verteilen sich die Anteile der Bewertungen mit vorheriger ZK 2 und 3 relativ gleichmäßig auf alle Zustandsklassen. Sehr viele Probestellen werden nun mit ZK 1 und ZK 5 bewertet, extreme Bewertungen werden also betont.

Tabelle 62: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 11.

ÖZK	PB 10_5.3	PB kbr 11_5.3	PB kbr 11_plaus	PB kbr 11_score
Klasse 1	9	20	9	27
Klasse 2	46	35	44	23
Klasse 3	31	32	30	25
Klasse 4	14	16	14	14
Klasse 5	1	1	7	15
Gesamt	101	104	104	104

Abbildung 51: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 11.

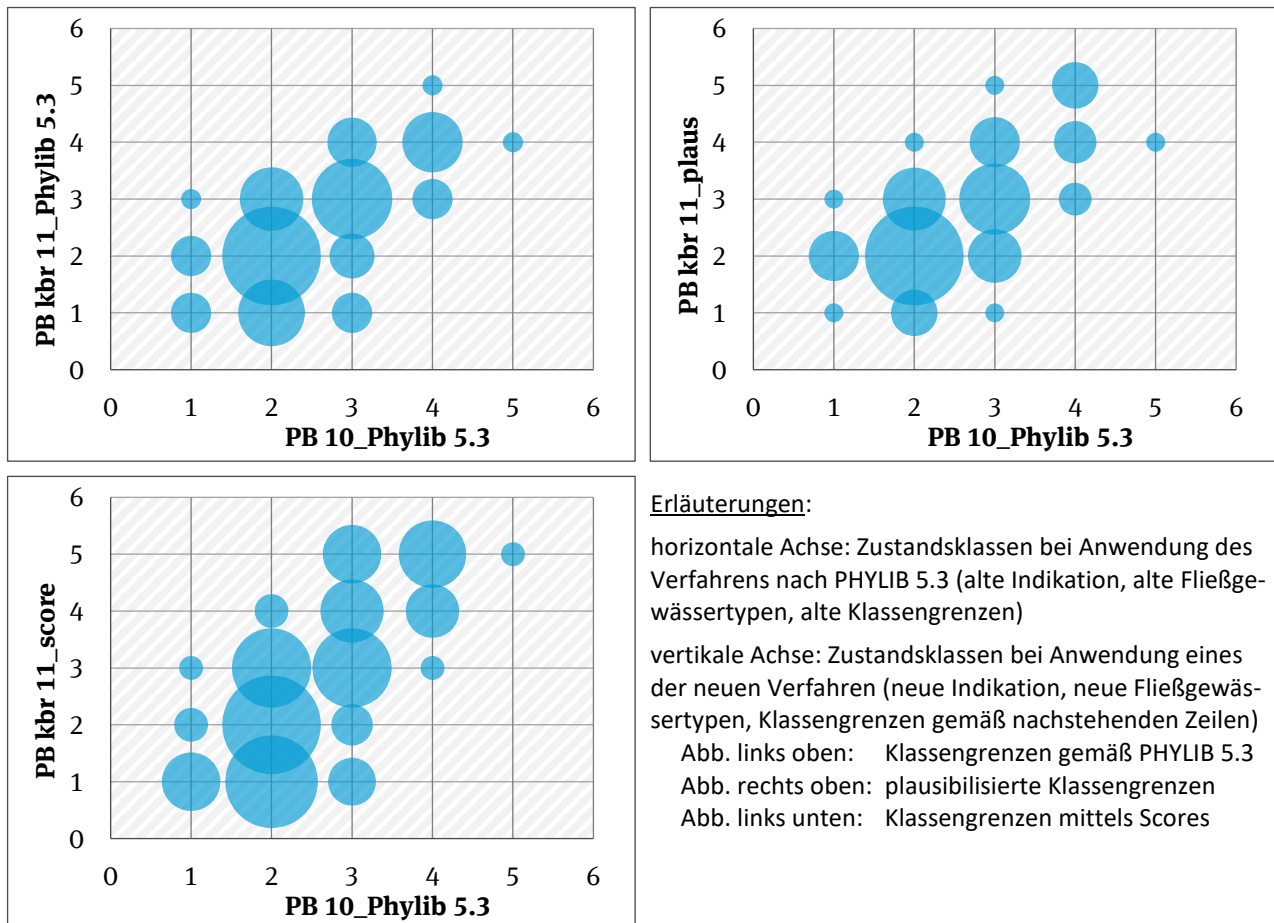


Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 10) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 11) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 52.

Bei der Indikation nach PHYLIB 5.3 (PB 10) und nach dem überarbeiteten Verfahren (PB kbr 11) unter Anwendung der Indexgrenzen aus dem PHYLIB-Verfahren 5.3 werden einige Probestellen der ZK 1 nun schlechteren Zustandsklassen (ZK 2 und 3) zugeordnet. Bezüglich ZK 2 verbleibt der größte Teil in dieser Klasse. Ein nicht unerheblicher Anteil verbessert sich hin zu ZK 1; gleichzeitig kommt es bei einem ähnlich hohen Anteil zu Verschlechterungen (ZK 3). Auch bezüglich der ursprünglich mit ZK 3 bewerteten Stellen bleibt der größte Teil in dieser Bewertung. Allerdings verbessert sich hier sogar eine größere Zahl von Stellen (nun ZK 1 und ZK 2), und nur ein kleinerer Anteil wird mit ZK 4 bewertet. Ähnlich sieht es für die Zustandsklasse 4 aus. Die bislang mit ZK 5 bewertete Stelle verbessert sich auf ZK 4.

Bei Anwendung nach dem Plausibilisierungsverfahren verhält es sich ähnlich, allerdings variiert hier die Anzahl der unterschiedlich bewerteten Probestellen, und die Klassen 2 und 3 werden etwas stärker differenziert. Eine ähnliche Differenzierung wird auch durch Anwendung des Score-Verfahrens erzielt. Allerdings verteilen sich die Probestellen gleichmäßiger.

Abbildung 52: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 11.



Eine Plausibilisierung durch Experten ist auch hier kaum zu treffen, denn die typspezifische Algenflora dieses Fließgewässertyps ist noch nicht genau genug geklärt. Tendenziell werden die Bewertungen als zu milde eingeschätzt, denn Massenentwicklungen werden oft nicht mit einer schlechten Zustandsbewertung (ZK 5) erfasst. Dies gilt vor allem für die schlechteren Einschätzungen, während die Einschätzungen für die besseren Zustandsklassen relativ plausibel erscheinen.

### 4.3.12 Karbonatische, sandgeprägte große Gewässer des Norddeutschen Tieflandes – PB kbr 12

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Im PoD-Typ PB kbr 12 werden die sand- und lehmgeprägten großen Flüsse (LAWA-Typ 15\_g) und sandgeprägten Ströme (LAWA-Typ 20) zusammengefasst. Beide Typen wurden im bisherigen PHYLIB-Verfahren in der Version 5.3 mit unterschiedlichen PoD-Typen bewertet: LAWA-Typ 15\_g mit PoD-Typ PB 10 und LAWA-Typ 20 mit PoD-Typ PB 12. Allerdings sind die Indexgrenzen für die Zustandsklassen beider PoD-Typen mit PHYLIB-5.3 identisch.

Die Gewässersohle dieser Gewässer besteht vor allem aus Sand oder Kies, also beweglichen Substraten, die benthischen Wuchsformen nur geringe Anheftungsmöglichkeiten eröffnen. Diese bieten sich den Algen des PoD eher bei den Sekundärsubstraten wie Totholz, Erlenwurzeln oder Wasserpflanzen. Auf der Gewässersohle sind Feinsedimente besiedelnde fädige Formen zu erwarten oder in Bereichen mit Falllaub mikrophytische Taxa. Die Auen mit ihren Rinnensystemen und die Altgewässer und ein möglicher Niedermooreinfluss sollten einer Vielfalt verschiedener Taxa Raum bieten. Als typspezifisch werden für die Diatomeen individuenreiche Vorkommen von trophietoleranten, eu- bis polytraphenten Taxa angegeben, die maximal  $\beta$ -Mesosaprobie indizieren (Pottgiesser 2018). Wie die NMDS-Analysen der Gemeinschaften dieser Fließgewässertypen ergaben (Rolauffs et al. 2020: Anhang 4), kommen in den untersuchten Gewässern vor allem tolerante, alkaliphile und eutrapihente fädige und thallose Wuchformen der Ulvo-, Chloro- und Tribophyceae vor. Epilithische Charakterarten treten nur in geringem Maße auf. Wie bei den Diatomeen sind vor allem tolerante, alkaliphile, eutrapihente Taxa vorhanden, die eine gewisse saprobielle Belastung ertragen können. Zusätzlich ist in ruhigen Strömungsbereichen eine mikrophytische Algenflora aus Desmidiaceen und Euglenophyceae zu finden. Insgesamt wurden im Projekt 103 Probestellen des Fließgewässertyps berücksichtigt (Rolauffs et al. 2020), nämlich 48 Stellen des LAWA-Typs 15\_g und 55 Stellen des LAWA-Typs 20.

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Nach Überarbeitung der Indikation hat sich die Anzahl an Indikatoren nicht wesentlich verändert (103 versus 106). Taxa einiger Klassen werden nach der Überarbeitung nicht mehr als Indikatoren berücksichtigt, dafür kamen einige Arten aus anderen Klassen (vor allem Florideophyceae) hinzu (Tabelle 63).

Tabelle 63: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 12 im Vergleich zu PB 10.

Klasse	PB 10	entfallen	neu	PB kbr 12
Cyanobacteria	34	12	13	35
Bangiophyceae	0	0	0	0
Compsopogonaceae	1	1	0	0
Florideophyceae	7	0	3	10
Phaeophyceae	0	0	0	0
Chrysophyceae	0	0	0	0
Trebouxiophyceae	1	1	0	0
Tribophyceae	6	1	2	7
Chlorophyceae	14	5	8	17
Ulvophyceae	9	1	2	10
Klebsormidiophyceae	3	3	0	0
Desmidiaceae	18	7	7	18
Zygnematophyceae	3	1	0	2
Euglenophyceae	7	4	4	7
<b>Gesamt</b>	<b>103</b>	<b>36</b>	<b>39</b>	<b>106</b>

Tabelle 64: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB kbr 12 im Vergleich zu PB 12.

Klasse	PB 12	entfallen	neu	PB kbr 12
Cyanobacteria	8	3	30	35
Bangiophyceae	1	0	0	0
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	3	0	7	10
Phaeophyceae	0	0	0	0
Chrysophyceae	0	0	0	0
Trebouxiophyceae	0	0	0	0
Tribophyceae	3	0	4	7
Chlorophyceae	7	1	11	17
Ulvophyceae	5	0	5	10
Klebsormidiophyceae	1	1	0	0
Desmidiaceae	9	3	12	18
Zygnematophyceae	2	1	1	2
Euglenophyceae	0	0	7	7
<b>Gesamt</b>	<b>39</b>	<b>9</b>	<b>77</b>	<b>106</b>

Dagegen ist der Zugewinn an Indikatoren im Vergleich zum alten PoD-Typ PB 12 enorm (Tabelle 64) – ihre Anzahl hat sich fast verdreifacht. Um ein Vielfaches hat sich die Anzahl der Indikatoren für die Cyanobakterien, Florideo-, Tribo-, Chloro- und Ulvophyceae sowie die Desmidiaceae erhöht. Bei Betrachtung der Veränderungen hinsichtlich der Anzahlen der Taxa für die Bewertungskategorien gibt es im Vergleich zum PoD-Typ 10 nun deutlich mehr Indikatoren der Kategorien A, während erheblich weniger Indikatoren der Kategorie D zufallen. Auffällig ist jetzt eine stärkere Differenzierung nach Abundanz, denn die Anzahl der Indikatoren, die hiernach differenziert wird, hat sich verdoppelt. Im Vergleich zum alten PoD-Typ PB 12 sind mit dem neuen PoD-Typ in allen Kategorien nun wesentlich mehr Indikatoren verfügbar. Profitiert hat auch hier die Kategorie A.

Tabelle 65: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB kbr 12 im Vergleich zu PB 10 und PB 12.

Kategorie	PB 10	PB kbr 12	Kategorie	PB 12	PB kbr 12
A	8	20	A	3	20
B	46	47	B	27	47
B/C	8	16	B/C	3	16
C	33	14	C	4	14
C/D	0	3	C/D	0	3
D	8	6	D	2	6
<b>Gesamt</b>	<b>103</b>	<b>106</b>	<b>Gesamt</b>	<b>39</b>	<b>106</b>

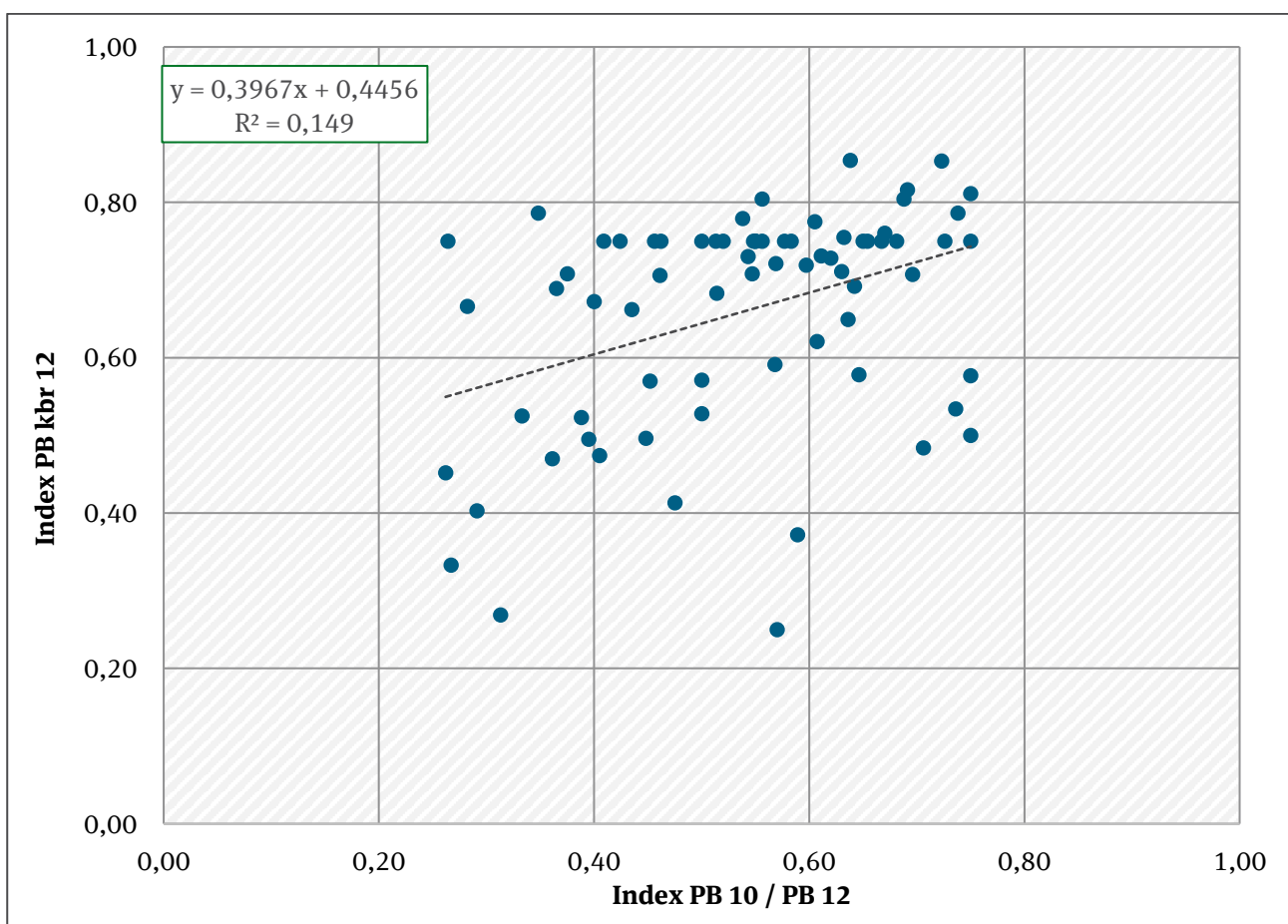
C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Durch den starken Zuwachs an Indikatoren konnte der prozentuale Anteil der gesichert bewerteten Probestellen für diesen PoD-Typ um 10 % erhöht werden. Von den insgesamt 103 untersuchten Stellen konnten 73 Stellen mit PHYLIB 5.3 gesichert bewertet werden und 82 Stellen mit dem neuen Indikationsverfahren – das entspricht 71 % bzw. 80 % der untersuchten Stellen.

Durch die Zusammenlegung der zwei ursprünglichen Fließgewässertypen und die damit einhergehende intensive Überarbeitung der Indikation ist ein Zusammenhang zwischen der Bewertung mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen

aus PHYLIB 5.3 nicht erkennbar. Das Bestimmtheitsmaß der Regressionsanalyse (Abbildung 53) fällt daher erwartungsmäßig recht niedrig aus ( $R^2 = 0,15$ ). Auch fehlt es sowohl an hohen wie auch niedrigen Indizes und damit an Möglichkeiten zur Differenzierung der Zustandsklassen.

Abbildung 53: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 10 bzw. PB 12) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB kbr 12).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

Wie aus dem Boxplot (Abbildung 54) ersichtlich, ist eine Auftrennung in die unterschiedlichen Zustandsklassen durch die Mediane im Plausibilisierungsverfahren nur für die Klassen 3 und 4 gut erkennbar, da sich hier die Indexwerte kaum überlappen. Zustandsklasse 5 ist nicht vergeben. Am oberen Ende der Skala ist eine Differenzierung zwischen den Klassen 1 und 2 nicht gegeben. Eine Trennung der unterschiedlichen Zustandsklassen mit Hilfe des Plausibilisierungsverfahrens ist daher nur sehr begrenzt möglich. Offenbar differenzieren sich die untersuchten Probestellen zu wenig. Die vorgeschlagenen Indexwerte des Plausibilisierungsverfahrens sind daher nur sehr eingeschränkt nutzbar. Für einen Vergleich der Indexgrenzen zwischen PHYLIB 5.3 und denen des Plausibilisierungsverfahrens siehe Tabelle 66. Die Abgrenzung zwischen den Zustandsklassen 1 und 2, 2 und 3 sowie 3 und 4 ist nun etwas strenger angesetzt, diejenige zwischen den Zustandsklassen 4 und 5 deutlich milder.

Abbildung 54: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB kbr 12.

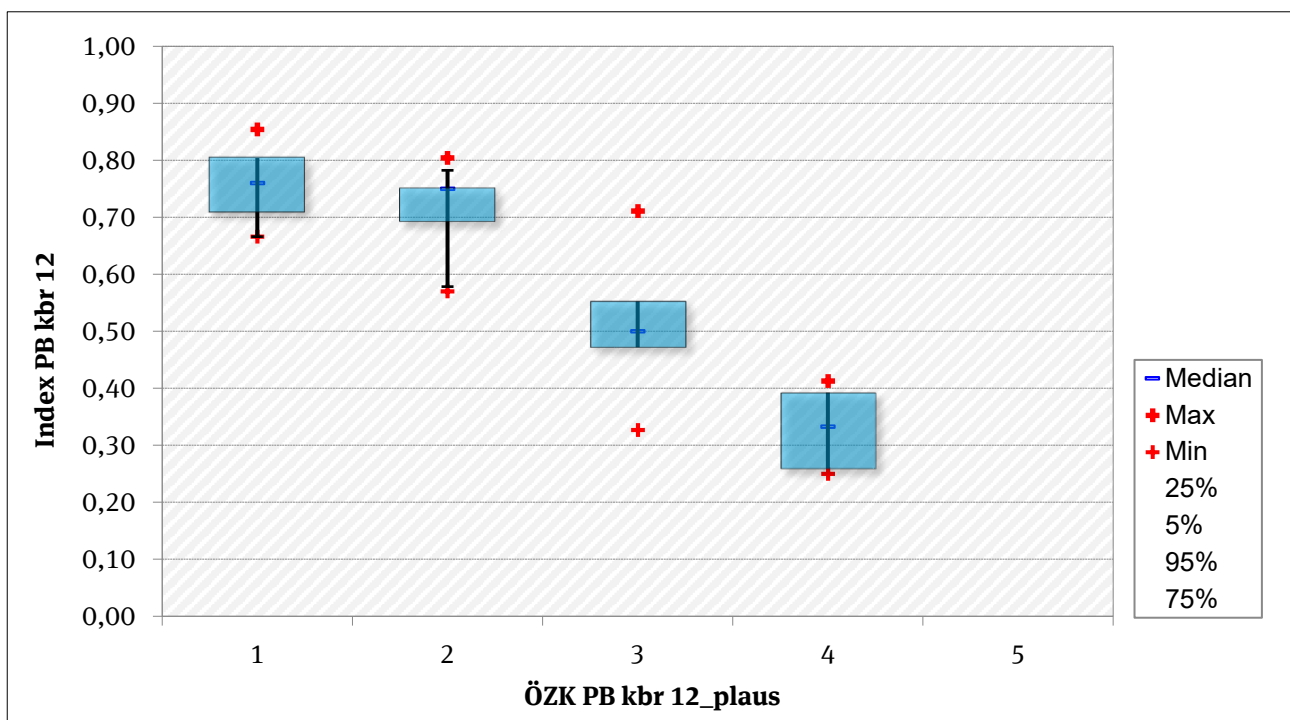


Tabelle 66: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB kbr 12 im Vergleich zu PB 10 und PB 12.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB kbr 12	Indexgrenzen PB 10, PB 12
Klasse 1	0.67	0.76	0.85	0.76	19	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.75$
Klasse 2	0.57	0.72	0.80	0.75	41	$0.75 \geq x \geq 0.64$	$0.74 \geq x \geq 0.60$
Klasse 3	0.33	0.51	0.71	0.50	17	$0.63 \geq x \geq 0.43$	$0.59 \geq x \geq 0.40$
Klasse 4	0.25	0.33	0.41	0.33	5	$0.42 \geq x \geq 0.18$	$0.39 \geq x \geq 0.25$
Klasse 5						$0.17 \geq x \geq 0.00$	$0.24 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

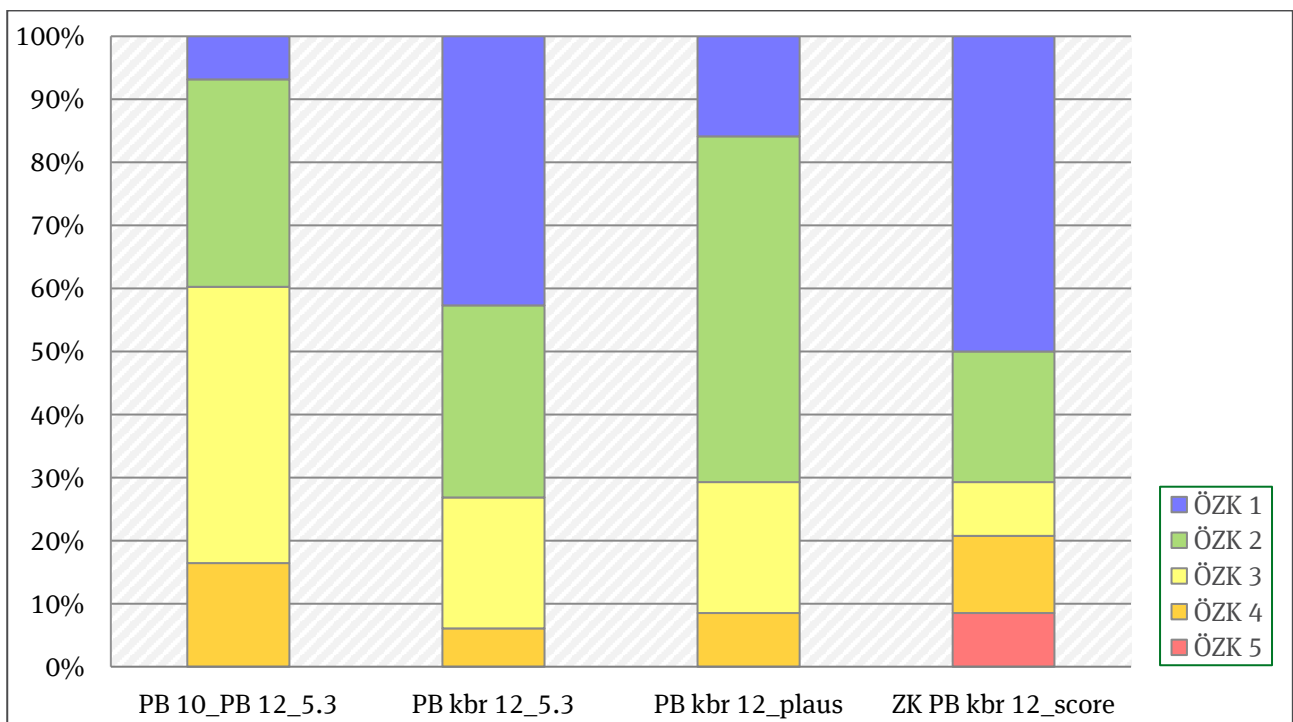
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Die Änderungen in den Anzahlen der Bewertungen durch die neue Indikation führt bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 zu einer Vervielfachung der Bewertungen mit Klasse 1 und einer daraus folgenden deutlichen Verringerung der Anteile der Bewertungen mit den Klassen 3 und 4 (Tabelle 67, Abbildung 55). Mit dem Plausibilisierungsverfahren ändert sich bei den schlechteren Bewertungen nicht viel. Es verschiebt sich nur der Anteil der Zustandsklasse 2 zulasten von ZK 1. Bei Anwendung des Score-Verfahrens kommt es mit über 70 % zu extrem vielen sehr guten und guten Bewertungen. Die Bewertungen mit ZK 3 und 4 haben nur geringe Anteile, während nun aber einige Bewertungen in ZK 5 fallen, die in den anderen 3 Verfahren keine Rolle spielt.

Tabelle 67: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB kbr 12.

ÖZK	PB 10_PB 12_5.3	PB kbr 12_5.3	PB kbr 12_plaus	PB kbr 12_score
Klasse 1	5	35	13	41
Klasse 2	24	25	45	17
Klasse 3	32	17	17	7
Klasse 4	12	5	7	10
Klasse 5	0	0	0	7
Gesamt	73	82	82	82

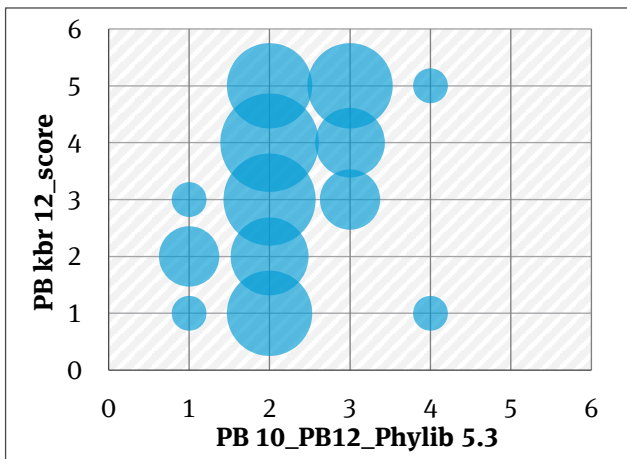
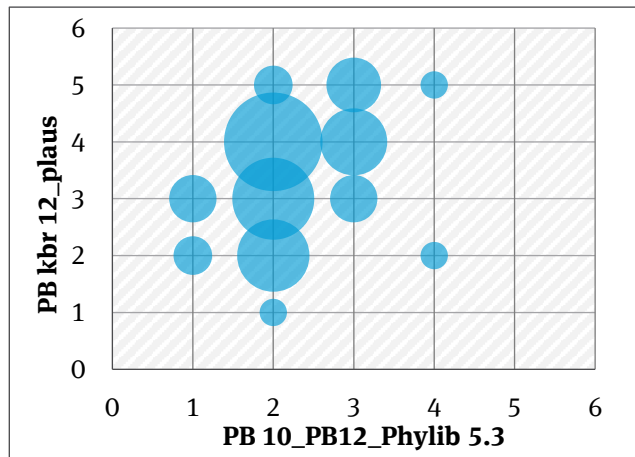
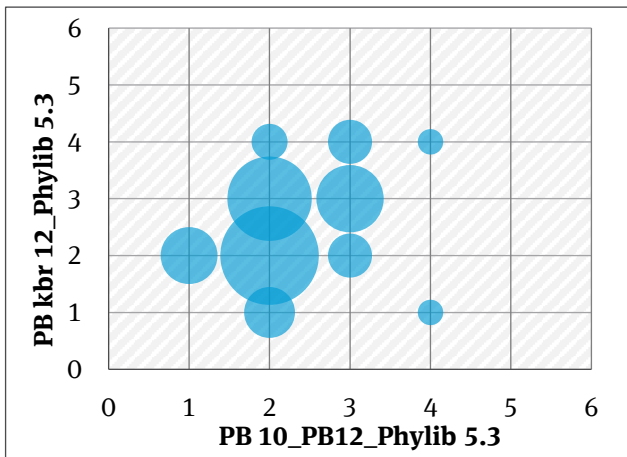
Abbildung 55: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB kbr 12.



Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 10, PB 12) und neuer Indikatorwerte (PB kbr 12) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios Abbildung 56.

Durch die unterschiedliche Indikation bzw. durch die verschiedenen Verfahren ergeben sich innerhalb aller Zustandsklassen deutliche Veränderungen. Mit der neuen Indikation kommt es für einen Teil der bisher mit ZK 1 oder ZK 2 bewerteten Probestellen zu einer schlechteren Bewertung. Der größte Anteil der vormals mit ZK 2 bewerteten Stellen verbessert sich jedoch in Richtung ZK 1. Auch aus Klasse 3 verbessert sich ein größerer Anteil sogar in Richtung ZK 1 und ein nennenswerter Anteil zu ZK 2. Schlechtere Bewertungen zeigen sich nur bei einem kleinen Teil der Stellen. Die im alten PHYLIB-Verfahren mit ZK 4 bewerteten Probestellen verbessern sich wiederum mit wenigen Ausnahmen (nun ZK 3 oder 2 und in einem Fall auch ZK 1). Ähnlich verhält es sich beim Plausibilisierungsverfahren. Allerdings sind die Änderungen in den Zustandsklassen 2 und 3 nicht ganz so stark ausgeprägt. Bei Anwendung des Score-Verfahrens verteilen sich die Bewertungen auf alle Zustandsklassen, wobei sich extrem viele Probestellen nun positiv verändern.

Abbildung 56: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB kbr 12.



**Erläuterungen:**

horizontale Achse: Zustandsklassen bei Anwendung des Verfahrens nach PHYLIB 5.3 (alte Indikation, alte Fließgewässertypen, alte Klassengrenzen)

vertikale Achse: Zustandsklassen bei Anwendung eines der neuen Verfahren (neue Indikation, neue Fließgewässertypen, Klassengrenzen gemäß nachstehenden Zeilen)

Abb. links oben: Klassengrenzen gemäß PHYLIB 5.3

Abb. rechts oben: plausibilisierte Klassengrenzen

Abb. links unten: Klassengrenzen mittels Scores



### 4.3.13 Silikatisch geprägte Bäche des Mittelgebirges – PB soba 01

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Der PoD-Typ PB soba 01 behandelt vor allem die Gewässer der grobmaterialreichen Mittelgebirgsbäche silikatischer Prägung (LAWA-Typ 5). Im Datenmaterial waren 1.521 Probestellen dieses Typs vorhanden. Mit 114 Probestellen standen sehr viel weniger Daten für die feinmaterialreichen Bäche dieser Prägung zur Verfügung (LAWA-Typ 5.1). Mit 15 Probestellen waren die eigentlich Ökoregion-unabhängigen, basenarmen, organisch geprägte Mittelgebirgsbäche (LAWA-Typ 11) vertreten. Daten vom durch die Diatomeen beschriebenen Subtyp 5.2 der Gewässer in den Vulkangebieten und den Ökoregion-unabhängigen Flüssen des Fließgewässertyps 12 lagen nicht vor. Die Ökoregion-unabhängigen Gewässer der silikatisch geprägten Mittelgebirge (LAWA-Typen 11 und 12) wurden im alten PHYLIB-Verfahren für eine Bewertung nicht berücksichtigt.

Obwohl die Gewässer der beiden letzten Typen in ihrer Charakteristik von Fließgewässertyp 5 abweichen, werden sie ebenso wie im alten PHYLIB-Verfahren in der Version 5.3 (PB 03) in diesen PoD-Typ noch subsummiert. Alle Typen charakterisiert eine geringe Leitfähigkeit und ein niedriger pH als Weichwassergewässer. Teils können sie auch versauert sein. Wie für die Diatomeen festgestellt wurde, herrscht in diesen Gewässern eine azidophile bis circumneutrale, an geringe Nährstoffgehalte angepasste Algenflora vor. Den benthischen Algen steht in LAWA-Typ 5 eine große Vielfalt unterschiedlicher Substrate zur Verfügung, da die Gewässersohle aus Schotter und Steinen sowie lokal aus Blöcken und Felsrippen besteht. Feinsubstrat ist in den Stillen vorhanden, und als organisches Material bietet Totholz zusätzliche Anheftungsmöglichkeiten. LAWA-Typ 5.1 ist dagegen feinmaterialreich, das Substrat für benthische Algen beschränkt sich hier auf Sand und Kies sowie eingestreute Steine und Totholz. Im Unterschied hierzu steht in den organisch geprägten Mittelgebirgsbächen und -flüssen (LAWA-Typen 11 und 12) vor allem organisches Material mit Torf, Totholz, Grob- und Feindetritus sowie Wasserpflanzen zur Verfügung (Pottgiesser 2018).

Wie die NMDS-Analysen der Gemeinschaften dieser FG-Typen ergaben (Rolauffs et al. 2020: Anhang 4), ist die Algenflora des PoD extrem artenreich. Typspezifisch für die Weichwasserstandorte des LAWA-Typs 5 sind einerseits azidophile, oligo- bis oligo-mesotraphente, epilithisch wachsenden Algen und andererseits in ruhigen Strömungsbereichen eine mikrophytische Algenflora aus Desmidiaceen. Allerdings gibt es auch viele Probestellen aus Übergangsregionen in karbonatisch geprägte Gebiete, in denen Charakterarten karbonatischer Gewässer zu finden sind, und Probestellen, die durch Eutrophierung der Weichwasserstandorte degradiert und dadurch „karbonatisiert“ sind. In LAWA-Typ 5.1 sollten epilithische Arten zurück- und mikrophytische Desmidiaceen bzw. sedimentbewohnenden Fadenalgen stärker auftreten. In welchem Ausmaß epilithische Arten karbonatischer Gewässer oder Euglenophyceae eine Rolle spielen, muss noch abschließend geklärt werden.

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Nach Überarbeitung der Indikation stehen im Vergleich mit dem PoD Typ PB 3 nur geringfügig mehr Indikatoren zur Verfügung (156/187). Dies zeigt, dass die vielfältige Algenflora dieser PoD-Typen schon mit dem alten PHYLIB-Verfahren gut erfasst war. Zunahmen betreffen vor allem die Euglenophyceae, deren Arten bisher wenig beachtet wurden. Veränderungen innerhalb der Klassen hat es vor allem bei den Cyanobacteria und den Desmidiaceae gegeben (Tabelle 68).

Hinsichtlich der Anzahlen der Taxa für die Bewertungskategorien gibt es im Vergleich zum PoD-Typ PB 3 nun deutlich mehr Indikatoren bei den Störzeigern. Ca. 50% mehr Taxa werden jetzt zur Kategorie C gestellt, von denen viele bei höherer Abundanz zur Kategorie D wechseln (Tabelle 69).

Tabelle 68: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB soba 01.

Klasse	PB 3	entfallen	neu	PB soba 01
Cyanobacteria	53	12	18	59
Bangiophyceae	1	0	0	1
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	13	1	3	15
Phaeophyceae	1	0	0	1
Chrysophyceae	2	0	0	2
Trebouxiophyceae	2	0	0	2
Tribophyceae	4	0	3	7
Chlorophyceae	21	2	7	26
Ulvophyceae	8	1	0	7
Klebsormidiophyceae	3	2	0	1
Desmidiaceae	41	18	22	45
Zygnematophyceae	3	1	0	2
Euglenophyceae	4	0	15	19
<b>Gesamt</b>	<b>156</b>	<b>37</b>	<b>68</b>	<b>187</b>

Tabelle 69: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB soba 01 im Vergleich zu PB 3.

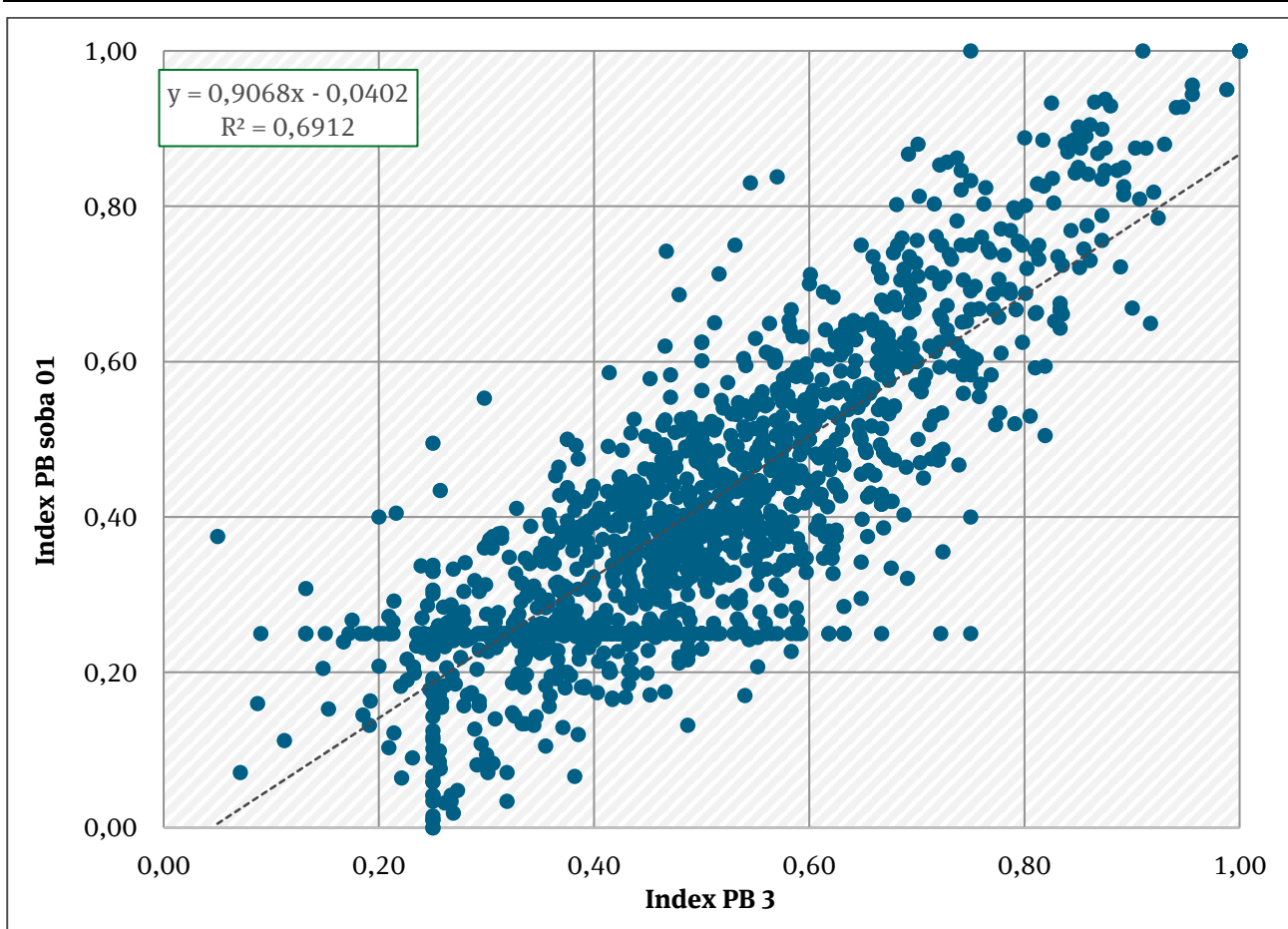
Kategorie	PB 3	PB soba 01
A	40	36
B	51	37
B/C	2	0
C	56	56
C/D	0	26
D	7	32
<b>Gesamt</b>	<b>156</b>	<b>187</b>

### C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Von den insgesamt 1.650 untersuchten Probestellen konnten 1.421 mit PHYLIB 5.3 gesichert bewertet werden und 1.426 mit dem neuen Indikationsverfahren – das entspricht jeweils 86 %.

Der Zusammenhang zwischen der Bewertung mit dem PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3 ist recht eng. Das zeigt auch die Regressionsanalyse (Abbildung 57) mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,69. Offenbar werden tendenziell mildere Bewertungen bei sehr schlechten Indexwerten getroffen, während es ansonsten an vielen Stellen zu einer strengeren Bewertung kommt. Der Bereich der möglichen Werte wird durch die Indexwerte sehr gut abgedeckt.

Abbildung 57: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 3) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB soba 01).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

Wie aus dem Boxplot (Abbildung 58) ersichtlich, scheint eine Auftrennung in die unterschiedlichen Zustandsklassen durch die Mediane im Plausibilisierungsverfahren zunächst gut erkennbar. Allerdings überlappen sich die Indexwerte für alle Zustandsklassen stark. Eine einfache Trennung der unterschiedlichen Zustandsklassen mit Hilfe des Plausibilisierungsverfahrens ist daher schwer möglich. Die vorgeschlagenen Indexwerte des Plausibilisierungsverfahrens sind nur eingeschränkt nutzbar. Für einen Vergleich der Indexgrenzen zwischen PHYLIB 5.3 und denen des Plausibilisierungsverfahrens siehe Tabelle 70. Danach fallen die Indexgrenzen für die Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren deutlich strenger aus.

Abbildung 58: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB soba 01.

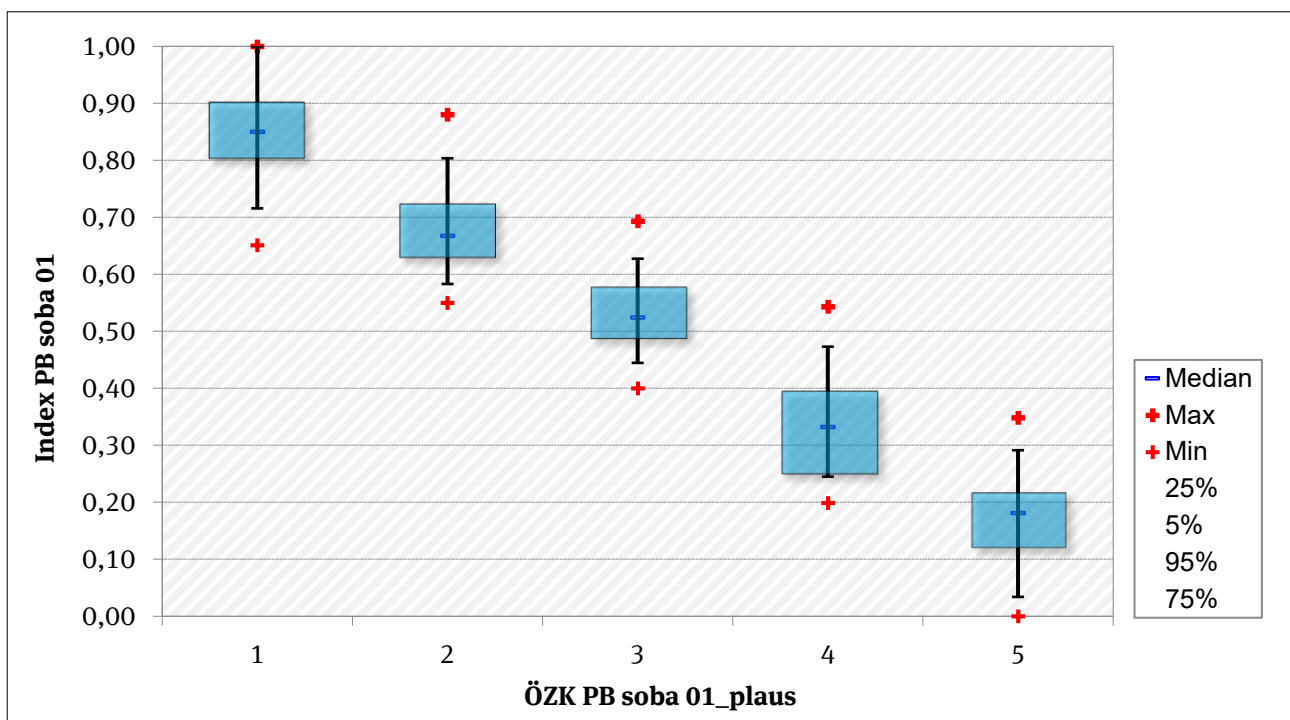


Tabelle 70: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB soba 01 im Vergleich zu Typs PB 3.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB soba 01	Indexgrenzen PB 3
Klasse 1	0.65	0.85	1.00	0.85	73	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.80$
Klasse 2	0.55	0.68	0.88	0.67	142	$0.75 \geq x \geq 0.61$	$0.79 \geq x \geq 0.55$
Klasse 3	0.40	0.53	0.69	0.52	247	$0.60 \geq x \geq 0.44$	$0.54 \geq x \geq 0.30$
Klasse 4	0.20	0.33	0.54	0.33	803	$0.43 \geq x \geq 0.27$	$0.29 \geq x \geq 0.20$
Klasse 5	0.00	0.17	0.35	0.18	161	$0.26 \geq x \geq 0.00$	$0.19 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

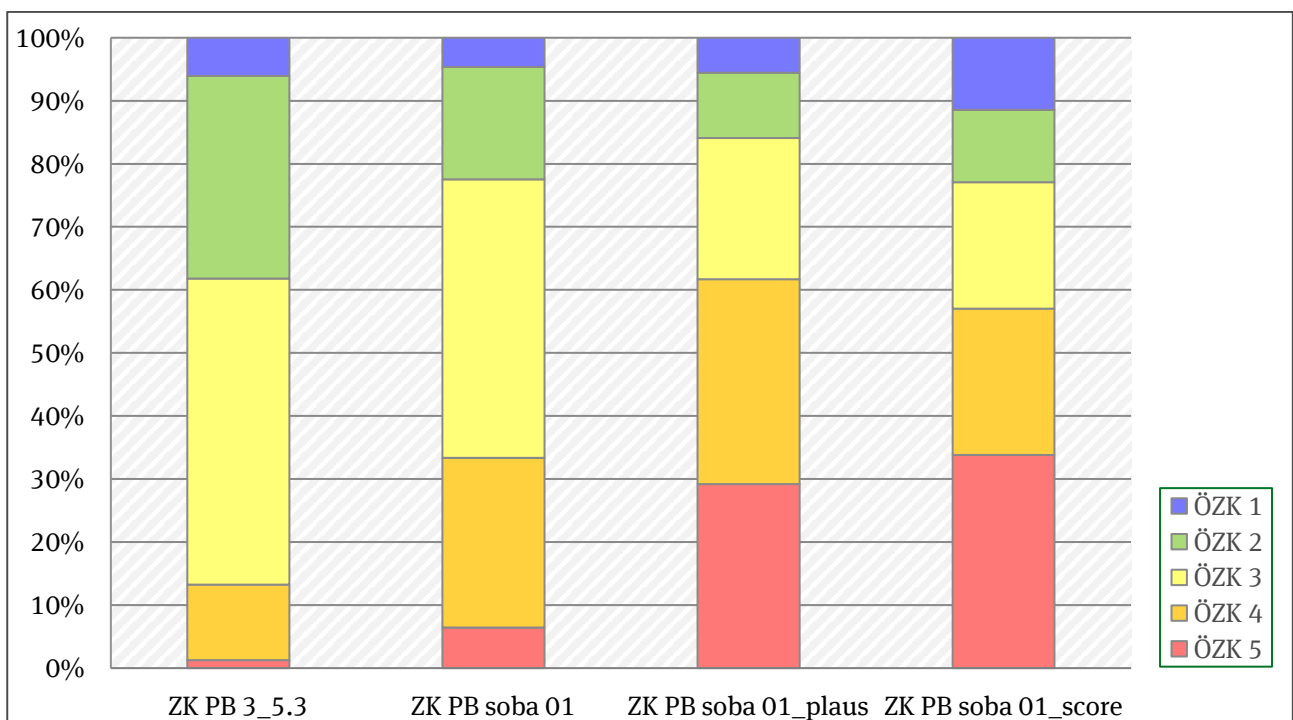
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Allein durch die Anwendung der überarbeiteten Indikation kommt es bei den Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 zu deutlich schlechteren Bewertungen. Besonders auffällig sind Abnahmen der Anteile von Bewertungen mit Zustandsklasse 2 und Zunahme von Bewertungen mit ZK 4 und 5 (Tabelle 71, Abbildung 59). Die Anwendung des Plausibilisierungsverfahrens führt nochmals zu deutlich verschlechterten Bewertungen. Über 60 % aller Probestellen werden nun den Klassen 4 und 5 zugeordnet. Von den restlichen 40 % werden ca. 20 % mit ZK 3 bewertet, der restliche Anteil verteilt sich auf die Klassen 1 und 2. Durch das Score-Verfahren sinkt der Anteil der schlechten Bewertungen mit ZK 4 nur geringfügig, derjenige mit ZK 5 steigt weiter. Verschiebungen betreffen vor allem höhere Anteile in ZK 1 und ZK 2 und geringere Anteile in ZK 3 (im Vergleich zum Plausibilisierungsverfahren).

Tabelle 71: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB soba 01.

ÖZK	PB 3_5.3	PB soba 01_5.3	PB soba 01_plaus	PB soba 01_score
Klasse 1	86	66	79	163
Klasse 2	457	254	148	164
Klasse 3	690	630	319	286
Klasse 4	170	384	464	331
Klasse 5	18	92	416	482
Gesamt	1421	1426	1426	1426

Abbildung 59: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB soba 01.

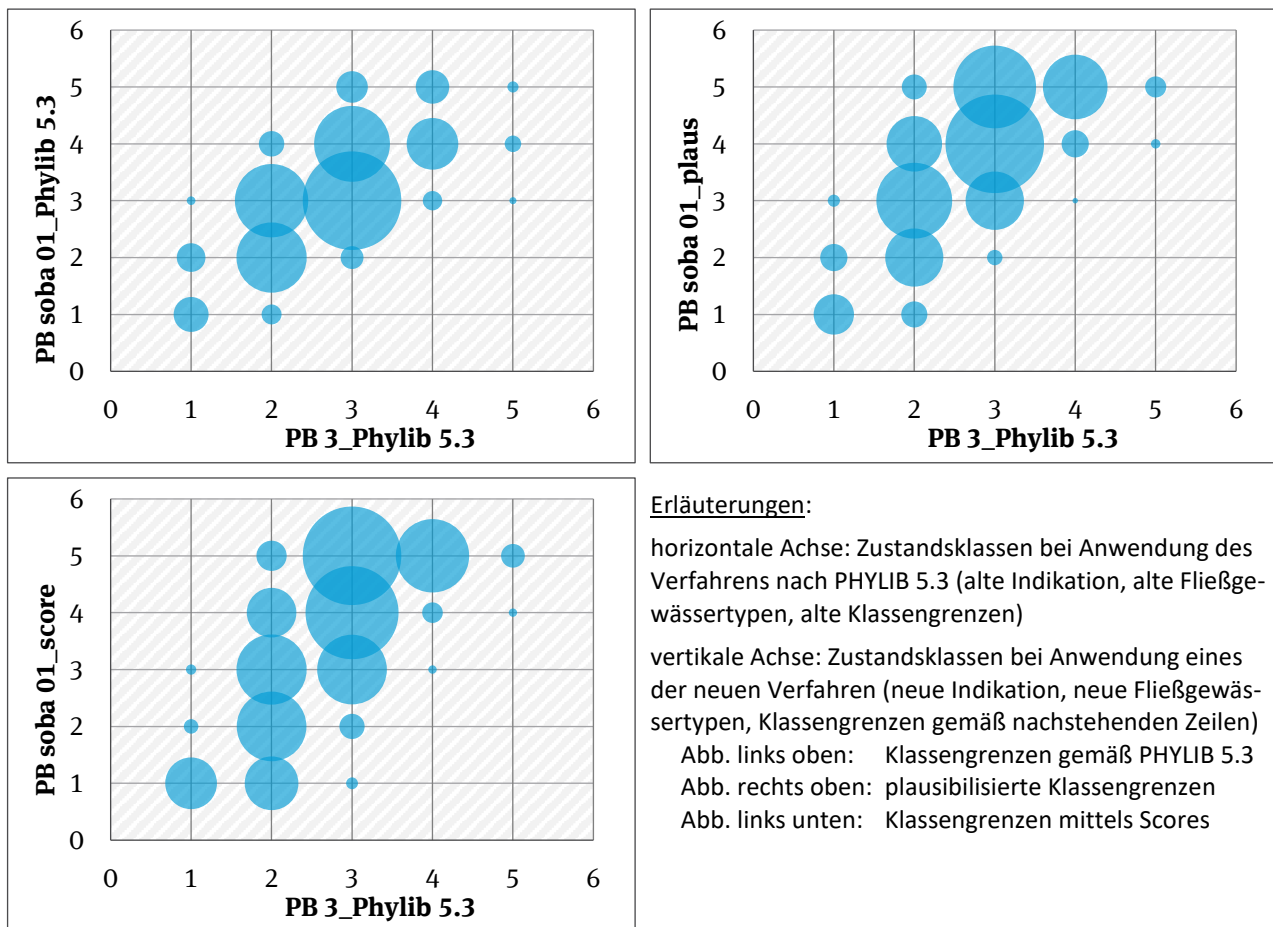


Die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 3) und neuer Indikatorwerte (PB soba 01) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios zeigt Abbildung 60.

Allen Verfahren ist gemeinsam, dass es nur selten zu verbesserten Bewertungen innerhalb der Zustandsklassen kommt. Verschlechterungen um bis zu drei Klassen sind vor allem hinsichtlich der Zustandsklassen 2 und 3 auffällig. Unterschiede zeigen sich eher in der Ausprägung der Differenzierung. Bei der Indikation nach PHYLIB 5.3 (PB 3) und nach dem überarbeiteten Verfahren (PB soba 01) verschlechtern sich die Befunde in den meisten Fällen maximal um eine Klasse. Mit Anwendung des Plausibilisierungs- sowie des Score-Verfahrens ist die Differenzierung stärker ausgeprägt. So kommt es, ausgehend von Zustandsklasse 2, mit diesen Verfahren zu veränderten Bewertungen in Richtung zu alle anderen Zustandsklassen. Dies trifft beim Score-Verfahren auch für ZK 3 zu.

Schon die NMDS-Analyse dieses Fließgewässertyps kam zu keinem abschließenden Urteil, da sich keine Umweltparameter mit den Gruppierungen der Arten korrelieren ließen (Rolaufts et al. 20202: Anhang 4, NMDS-Analysen). Auch eine Plausibilisierung durch Experten scheiterte an unterschiedlichen Aspekten.

Abbildung 60: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB soba 01.



Insgesamt erscheinen sowohl die Bewertungen durch das Plausibilisierungsverfahren als auch durch das Score-Verfahren zu streng. Häufig erscheinen die Bewertungen anhand der alten Indexgrenzen am plausibelsten. Folgende Schwierigkeiten spielen hierbei eine Rolle: Die grundsätzliche Einstufung orientiert sich am Leitbild von Gewässern der Grundgebirge und des Buntsandsteins mit Weichwassercharakteristik, deren Algenflora aus azidophilen und oligo- bis oligo-mesotraphenten Arten besteht. Viele der diesem Fließgewässertyp zugerechneten Probestellen sind aber durch eine extrem vielfältige Flora in einer Mischung von Arten mit sehr unterschiedlichen Ansprüchen hinsichtlich der pH-Verhältnisse und Trophie gekennzeichnet. In diesen Fällen sind Abgrenzungen schwer zu treffen. Außerdem werden in diesem Typ zahlreiche Gewässer berücksichtigt, die in Gebieten mit metamorphem Gestein vorkommen. Hier besitzen Kalkadern deutliche Anteile und ermöglichen Charakterarten karbonatischer Gewässer einen Lebensraum, der dann negativ bewertet wird. Ähnliches gilt für Probestellen, die aus Übergangsregionen stammen. Es ist daher oft schwer zu entscheiden, ob es sich um eine „Karbonatisierung“ der Gewässer durch Eutrophierung oder Verbau handelt oder um natürliche Gegebenheiten am Standort. Besonders schwer einzuschätzen sind Probestellen mit einer verarmten Flora. Vermutlich werden auch landschaftliche Unterschiede innerhalb dieses Typs nicht ausreichend differenziert. Für eine sichere Festlegung von Klassengrenzen ist daher eine Abstimmung mit den Bewertungen der anderen Komponenten erforderlich. Vermutlich ist es auch notwendig, verschiedene silikatische Typen zu differenzieren.

#### 4.3.14 Silikatisch geprägte Flüsse des Mittelgebirges – PB soba 02

##### A) Beschreibung des PoD-Typs

Der PoD-Typ PB soba 02 behandelt einzig die grobmaterialreichen Flüsse der Mittelgebirge silikatischer Prägung (LAWA-Typ 9). Für die Analyse waren Daten von 419 Probestellen vorhanden. Im alten PHYLIB-Verfahren 5.3 wurde er gemeinsam mit den anderen silikatisch geprägten Mittelgebirgsgewässern im PoD-Typ PB 3 behandelt. Im Leitbild sind die Gewässer des Typs 9 ebenfalls durch niedrige Werte der Leitfähigkeit und des pH gekennzeichnet (Weichwasser). Den benthischen Algen stehen als Substrate vor allem Schotter und Steine zur Verfügung. Es ist jedoch auch Kies vorhanden, der durch die großen Abflussschwankungen im Jahresverlauf und Extremabflüsse sicher häufig verlagert wird. In strömungsberuhigten Bereichen ist Feinsediment vorhanden, das epipsammischen und epipelischen Arten Raum gibt. Durch die kleinräumige Verteilung der Habitate ist zu erwarten, dass auch in diesem Fließgewässertyp eine größere Artenvielfalt herrschen sollte. Wie für die Diatomeen angemerkt, ist zu vermuten, dass oligotraphente und oligo-mesotraphente Arten zurücktreten und Ubiquisten und trophietolerante Arten zunehmen und Meso-Eutrophie herrscht (Pottgiesser 2018).

In den NMDS-Analysen für diesen Typ zeigte sich, dass Taxa typischer Weichwasserstandorte an den untersuchten Probestellen nur vereinzelt vorkamen. Nur zum Teil sind azidophile Arten signifikant. Viele tolerante Taxa mit circumneutralem Vorkommen, die Meso-Eutrophie bzw. Eutrophie indizieren, prägen die Algenflora. Daneben kommen auch Charakterarten karbonatischer Gewässer vor. Sie stammen vermutlich aus Übergangsgewässern. Insofern entsprechen die vorliegenden Daten nicht in allen Belangen dem Leitbild. Typisch ist allerdings, dass epilithische Wuchsformen vorherrschen und auch mikrophytische Taxa zahlreich vertreten sind.

##### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Nach Überarbeitung der Indikation stehen im Vergleich mit dem PoD Typ PB 10 fast gleich viele Indikatoren zur Verfügung (Tabelle 72). Das zeigt, dass die Algenflora dieser Gewässer auch schon mit dem alten PHYLIB-Verfahren gut erfasst wurde. Allerdings hat es Veränderungen bei den Anzahlen der Indikatoren der einzelnen Algenklassen gegeben. Durch die stärkere Berücksichtigung der Euglenophyceae hat sich ihre Anzahl als Indikatoren mehr als verdreifacht.

Tabelle 72: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB soba 02.

Klasse	PB 3	entfallen	neu	PB soba 02
Cyanobacteria	53	14	11	50
Bangiophyceae	1	0	0	1
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	13	2	3	14
Phaeophyceae	1	0	0	1
Chrysophyceae	2	2	0	0
Trebouxiophyceae	2	2	0	0
Tribophyceae	4	0	3	7
Chlorophyceae	21	6	3	18
Ulvophyceae	8	1	2	9
Klebsormidiophyceae	3	2	0	1
Desmidiaceae	41	20	16	37
Zygnematophyceae	3	1	0	2
Euglenophyceae	4	1	10	13
<b>Gesamt</b>	<b>156</b>	<b>51</b>	<b>48</b>	<b>153</b>

Entscheidender für die Bewertungen aber sind die Veränderungen bei der Zuweisung der Taxa zu den Bewertungskategorien, bei der es entscheidende Veränderungen gegeben hat (Tabelle 73). Einstufungen als typspezifische Indikatoren der Kategorien A und B haben stark abgenommen, während die Anzahlen für Indikatoren der Störzeiger der Kategorien C und D deutlich zugenommen haben. Dabei werden im Unterschied zum alten PHYLIB-Verfahren nun sehr viele Taxa je nach Abundanz unterschiedlich eingestuft.

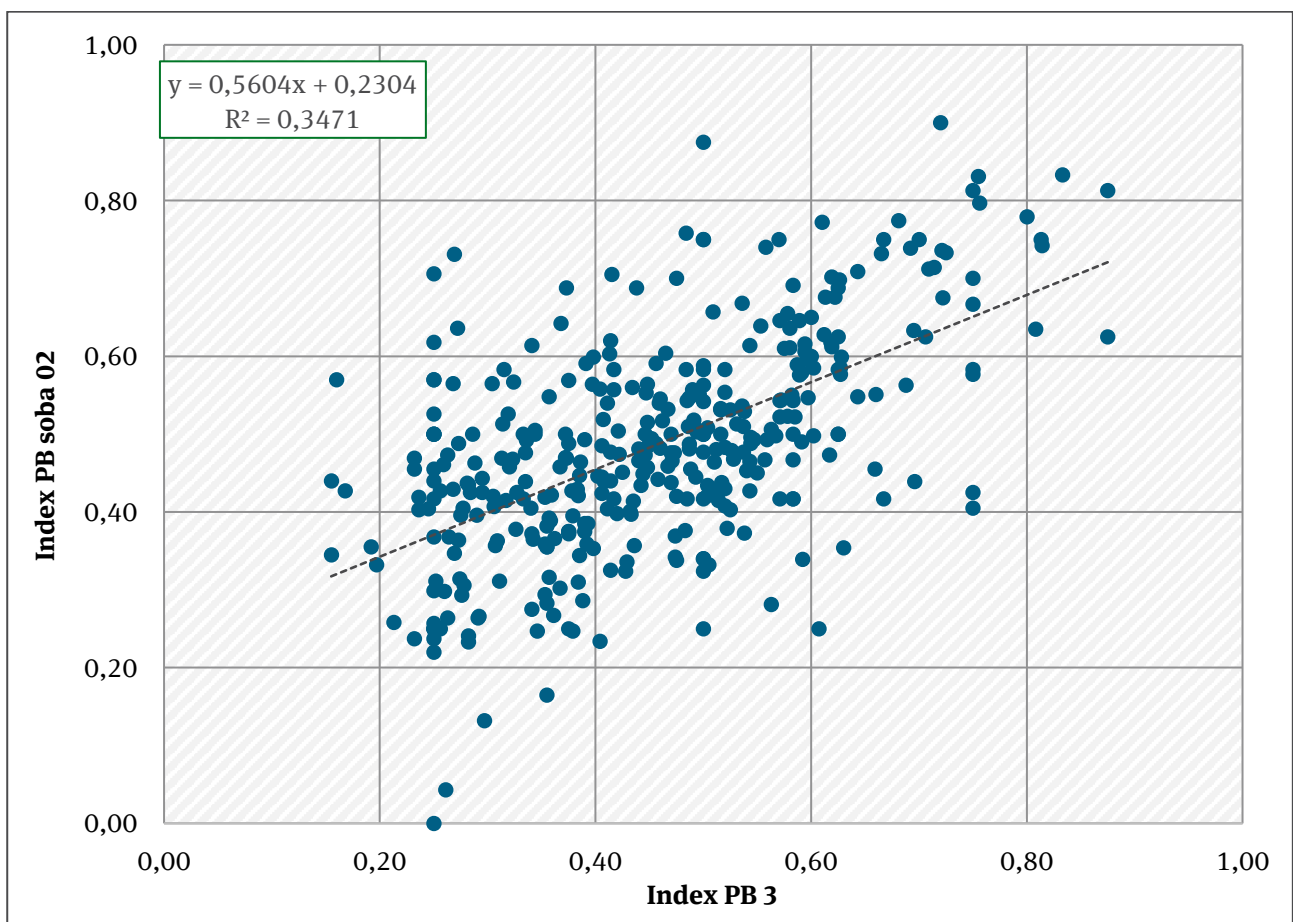
Tabelle 73: Taxazahl in den Indikationskategorien – soba 02 im Vergleich zu PB 3.

Kategorie	PB 3	PB soba 02
A	40	20
B	51	46
B/C	2	3
C	56	48
C/D	0	16
D	7	20
Gesamt	156	153

C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Von den insgesamt 419 untersuchten Probestellen konnten 374 Probestellen (89 %) mit PHYLIB 5.3 und 376 Stellen (90 %) mit Hilfe der neuen Indikation gesichert bewertet werden.

Abbildung 61: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 3) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PB soba 02) – Fußnote wie Abbildung 53.





Wie schon die starken Änderungen bei den Indikationskategorien vermuten lassen, unterscheiden sich die Bewertungen nach dem alten PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3. Das zeigt auch die Regressionsanalyse (Abbildung 61) mit einem Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) von 0,35.

Wie aus dem Boxplot (Abbildung 62) ersichtlich, scheint eine Auftrennung in die unterschiedlichen Zustandsklassen durch die Mediane im Plausibilisierungsverfahren zunächst gut erkennbar. Allerdings überlappen sich die Indexwerte wie für den PoD-Typ PB soba 01 für alle Zustandsklassen. Eine einfache Trennung der unterschiedlichen Zustandsklassen mit Hilfe des Plausibilisierungsverfahrens ist schwer möglich. Für einen Vergleich der Indexgrenzen zwischen PHYLIB 5.3 und denen des Plausibilisierungsverfahrens siehe Tabelle 74. Demnach fallen die die Indexgrenzen für die Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für die Klassen 3 bis 5 deutlich strenger aus.

Abbildung 62: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB soba 02.

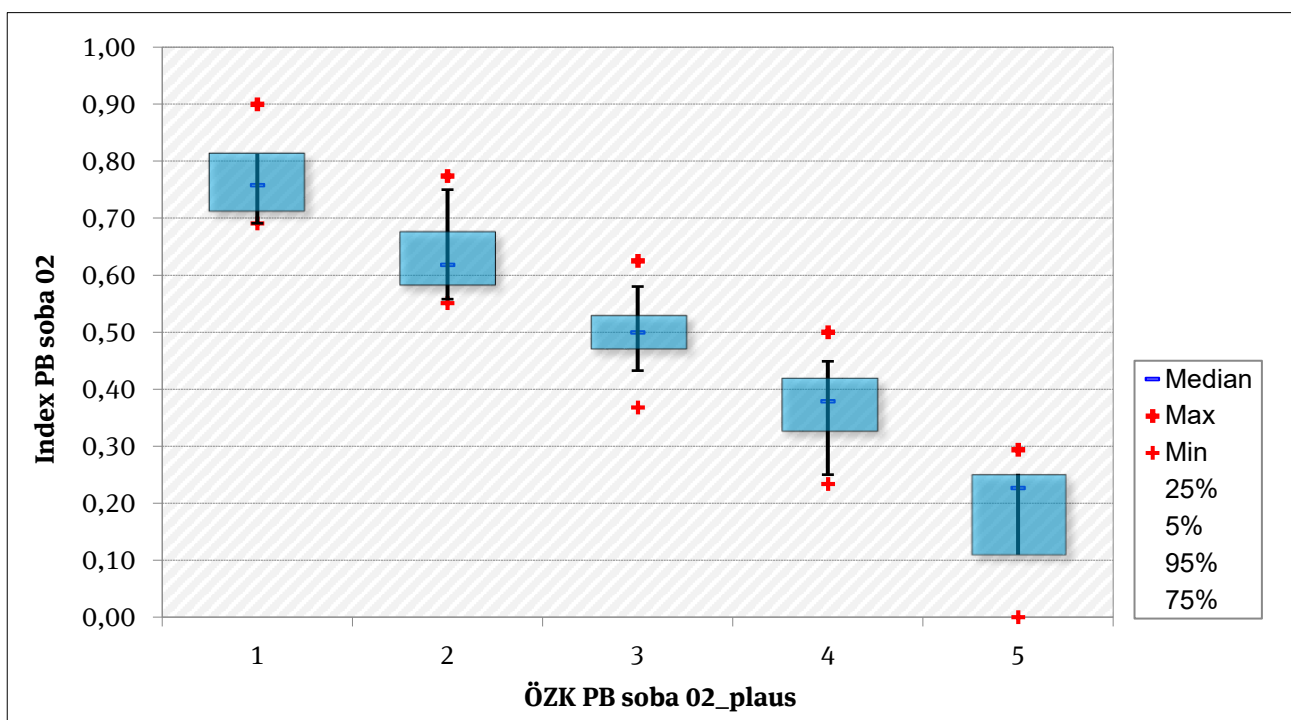


Tabelle 74: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB soba 02 im Vergleich zu PB 3.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB soba 02	Indexgrenzen PB 3
Klasse 1	0.69	0.77	0.90	0.76	19	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.80$
Klasse 2	0.55	0.63	0.77	0.62	77	$0.75 \geq x \geq 0.57$	$0.79 \geq x \geq 0.55$
Klasse 3	0.37	0.50	0.63	0.50	129	$0.56 \geq x \geq 0.47$	$0.54 \geq x \geq 0.30$
Klasse 4	0.23	0.37	0.50	0.38	141	$0.46 \geq x \geq 0.35$	$0.29 \geq x \geq 0.20$
Klasse 5	0.00	0.18	0.29	0.23	10	$0.34 \geq x \geq 0.00$	$0.19 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

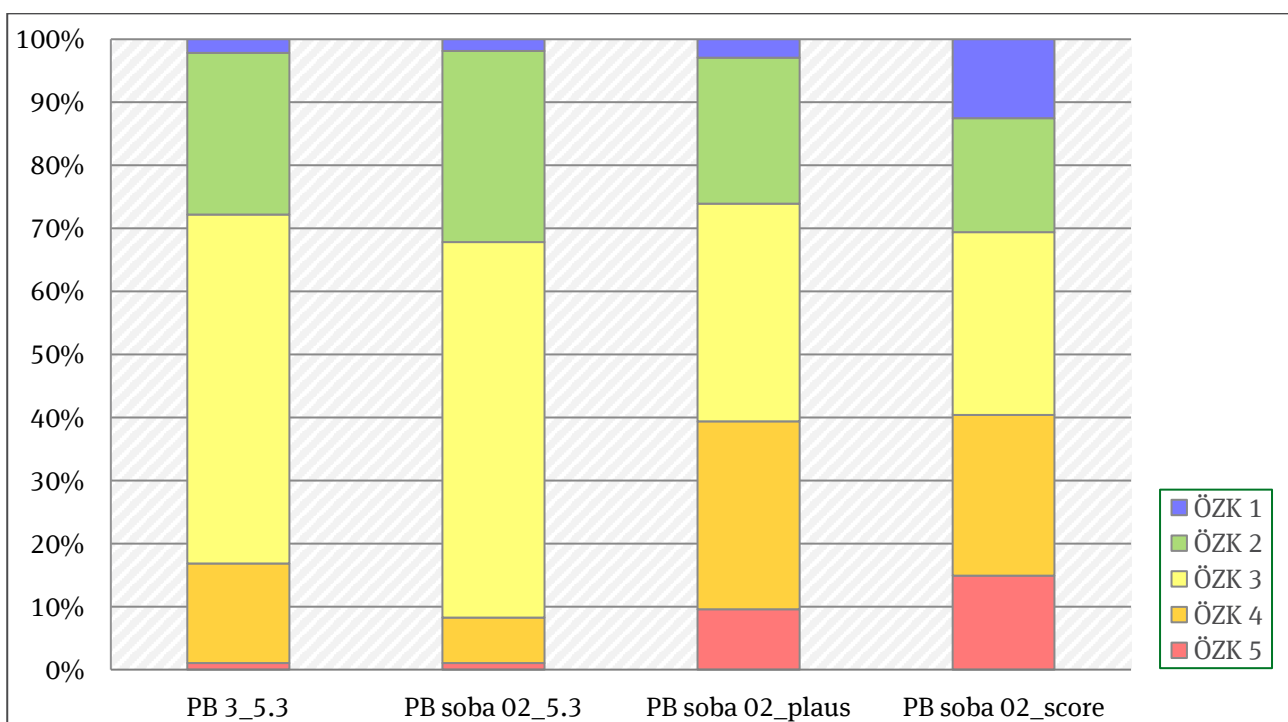
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

Trotz der starken Veränderungen hinsichtlich der Indikation der Taxa haben sich die Bewertungen bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 wenig verändert (Tabelle 75, Abbildung 63). Während die Anzahlen der sehr guten und sehr schlechten Bewertungen ähnlich bzw. gleichbleiben, gibt es größere Anteile an Bewertungen mit den Zustandsklassen 2 und 3 zulasten derer mit ZK 4. Durch Anwendung des Plausibilisierungsverfahrens verändert sich dies deutlich, und es kommt zu einer gleichmäßigeren Verteilung der Probestellen auf die Zustandsklassen. Dabei nehmen die Anteile der Probestellen mit ZK 1, 4 und 5 zu, während die Anteile in den Zustandsklassen 2 und 3 abnehmen. Ein ähnliches Ergebnis zeigt das Score-Verfahren. Allerdings werden hier die extremen Bewertungen (ZK 1 und ZK 5) noch wesentlich stärker betont.

Tabelle 75: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB soba 02.

ÖZK	PB 3_5.3	PB soba 02_5.3	PB soba 02_plaus	PB soba 02_score
Klasse 1	8	7	11	47
Klasse 2	96	114	87	68
Klasse 3	207	224	130	109
Klasse 4	59	27	112	96
Klasse 5	4	4	36	56
Gesamt	374	376	376	376

Abbildung 63: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB soba 02.

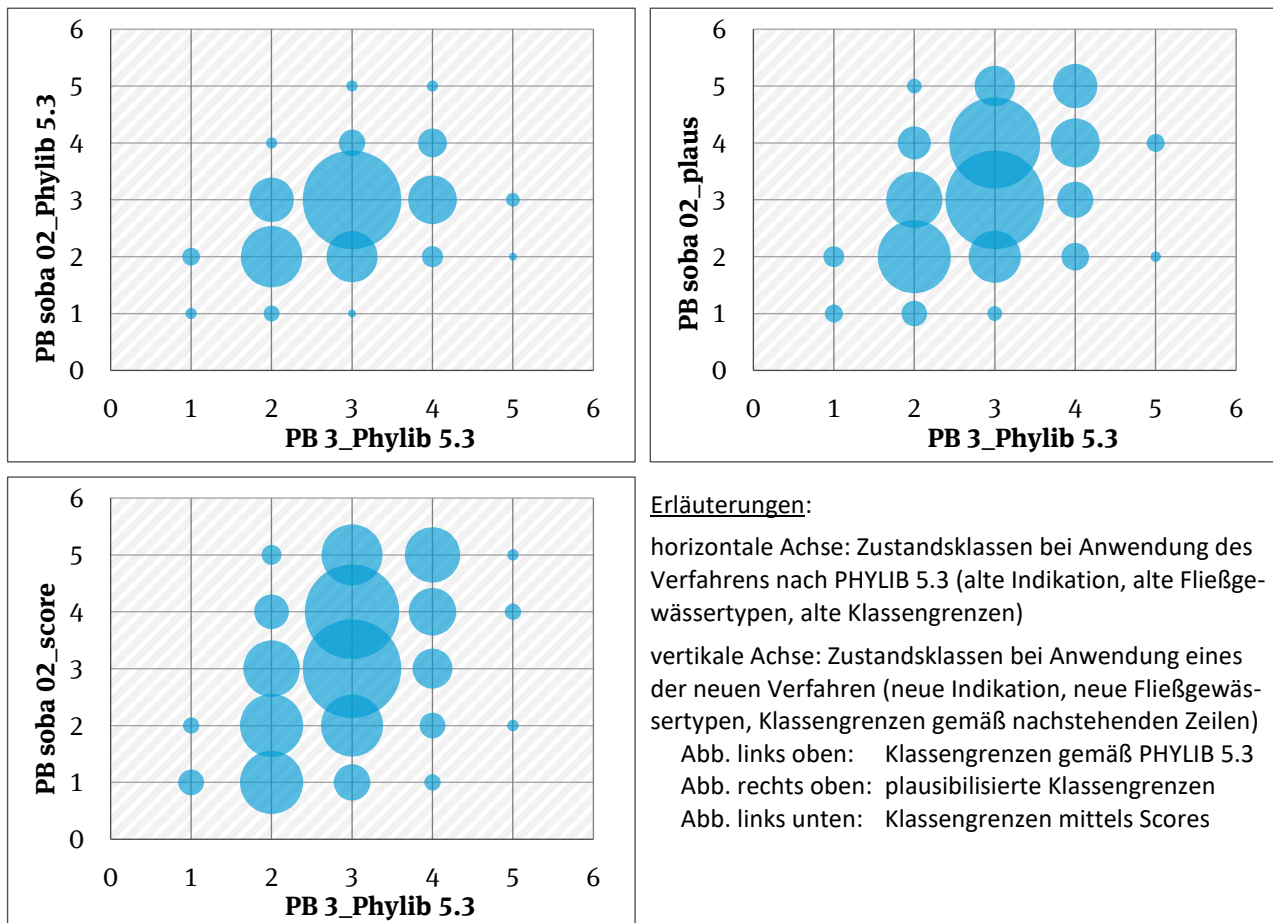


Die starken Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 3) und neuer Indikatorwerte (PB soba 02) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios wird auch aus Abbildung 64 deutlich.

Für alle Zustandsklassen gibt es bei Anwendung der verschiedenen Verfahren starke Veränderungen. Diese führen bei Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3 vor allem zu Verschlechterungen in

den Zustandsklassen 1 und 2, während viele Bewertungen mit ZK 3 stabil bleiben oder sich sogar verbessern. Verbesserungen sind vor allem für die bisher mit ZK 4 und 5 bewerteten Probestellen festzustellen. Verbesserungen für einen Teil der Probestellen in den unterschiedlichen Zustandsklassen werden sowohl mit dem Plausibilisierungsverfahren als auch, sogar noch ausgeprägter, mit dem Score-Verfahren erreicht. Allerdings kommt es innerhalb der Zustandsklassen in beiden Verfahren auch zu Verschlechterungen, oft um mehrere Zustandsklassen.

Abbildung 64: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB soba 02.



Bei der Plausibilisierung durch Experteneinschätzung erscheinen sowohl die Einstufungen mit dem Plausibilisierungsverfahren als auch die mit dem Score-Verfahren gerechtfertigt, da bei den schlecht bewerteten Probestellen häufig Massenentwicklungen eutraphenter Arten vorkamen. Schwieriger ist die Einschätzung von Probestellen, an denen eine durchaus vielfältige Flora mit typunspezifischen, eutraphenten Arten in nicht zu hoher Abundanz zu finden war.

### 4.3.15 Silikatisch geprägte Bäche und Flüsse des Norddeutschen Tieflandes – PB soba 03

#### A) Beschreibung des PoD-Typs

Im PoD-Typ PB soba 03 werden alle silikatisch bzw. organisch geprägten oder basenarmen Gewässer des Norddeutschen Tieflandes zusammengefasst (Tabelle 76). Hierzu werden auch eigentlich Ökoregion-unabhängige Fließgewässertypen (LAWA-Typen 11, 12 und 19) gerechnet. Insgesamt handelt es sich dabei um 403 Probestellen. Diese Gewässer wurden bisher im PHYLIB-Verfahren 5.3 mit PoD-Typ PB 9 bewertet. In diesem Typ bisher nicht berücksichtigt waren silikatisch geprägte Tieflandflüsse und die organisch geprägten, kleinen Niederungsfließgewässer.

Tabelle 76: Anzahl der im Datensatz vertretenen Probestellen für die FG-Typen des Alpenvorlandes.

Fließgewässertyp	Typbeschreibung	Probenahmen (Anzahl)
11	Basenarme, feinmaterialreiche Bäche des Norddeutschen Tieflandes	43
12	Basenarme, feinmaterialreiche Flüsse des Norddeutschen Tieflandes	3
14	Silikatische sandgeprägte Tieflandbäche	197
16	Silikatische kiesgeprägte Tieflandbäche	125
17	Silikatische kiesgeprägte Tieflandflüsse	18
19	Basenarme organisch geprägte, kleine Niederungsfließgewässer des Norddeutschen Tieflandes	11

Im Leitbild sind die Gewässer des PB-Typs PB soba 03 basenarm und weisen niedrige Werte der Leitfähigkeit und des pH auf. Die Gewässer sind strukturell sehr unterschiedlich. Teilweise sind sie durch Moore im Einzugsgebiet beeinflusst und das Wasser ist durch Huminstoffe der Moore braun gefärbt. Die Gewässersohle besteht vor allem aus Feinsubstraten wie Sand, Ton oder Lehm. Es ist daher zu erwarten, dass epipsammische und epipelische Arten dominieren. In unterschiedlichen Anteilen ist je nach Gewässertyp auch Grobsubstrat wie Kies oder Steine vorhanden, das epilithischen Arten Anheftungsmöglichkeiten bietet. Allerdings gibt es in den Bächen des Jungglazials Findlinge, so dass auch hier diese Taxa größeren Raum finden. Eine wichtige Rolle spielt organisches Material wie Totholz, Wurzeln, Wasserpflanzen und Falllaub. Wie für die Diatomeen beschrieben, treten Charakterarten mäßig bis stark saurer Gewässer nur vereinzelt auf, und die im Referenzzustand zu erwartende Trophie ist in den verschiedenen Gewässertypen sehr unterschiedlich. Sie reicht von Oligotrophie bis zur Eutrophie (Pottgiesser 2018).

Wie die NMDS-Analysen der Gemeinschaften dieser Fließgewässertypen ergaben (Rolauuffs et al. 2020: Anhang 4), sind im Allgemeinen für die Algen des PoD Taxa typischer Weichwasserstandorte weniger auffällig. In vielen Gewässern herrschte eher eine Flora aus circumneutralen oder alkaliphilen Taxa vor. Fädige, tolerante Blau- und Rotalgen sind zu finden, und auf dem organischen Material entwickelt sich häufig eine typspezifische mikrophytische Flora von Desmidiaceen und Euglenophyceae. In Gewässern mit größeren Anteilen an Hartsubstrat treten bei höherer Trophie vermehrt epilithische, grüne Fadenalgen und krustenbildende Algen auf. Vor allem die Gewässer des LAWA-Typs 14 sind extrem artenreich. Im Allgemeinen herrschen meso-eutraphente bis eutraphente Taxa vor.

#### B) Vergleich der Indikation von PHYLIB 5.3 und der überarbeiteten Indikation

Durch die Überarbeitung der Indikationslisten steht in diesem PoD-Typ nun das Dreifache an Indikatoren zur Verfügung (Tabelle 77). Starke Zunahmen der Anzahlen von Indikatoren sind in mehreren Algenklassen festzustellen. Wesentlich besser erfasst sind nun die unterschiedlichen Klassen der grünen Algen und die Klasse der Blaualgen. Vor allem aber wird deutlich, dass eine mikrophytische Algenflora

aus Euglenophyceae und Desmidiaceen diese Gewässer prägt. Dabei betreffen die Zunahmen Indikatoren aller Bewertungskategorien (Tabelle 78). Der Schwerpunkt liegt durch den Einbezug der Euglenophyceae zwar bei den Störzeigern, aber auch bei den typspezifischen Taxa hat es einen großen Zuwachs an Indikatoren gegeben.

Tabelle 77: Veränderung der Anzahl indikativer Taxa in den Algenklassen – PB soba 03.

Klasse	PB 9	entfallen	neu	PB soba 03
Cyanobacteria	11	2	40	49
Bangiophyceae	0	0	1	1
Compsopogonaceae	0	0	0	0
Florideophyceae	7	1	2	8
Phaeophyceae	0	0	1	1
Chrysophyceae	0	0	0	0
Trebouxiophyceae	0	0	2	2
Tribophyceae	3	0	4	7
Chlorophyceae	4	0	18	22
Ulvophyceae	6	0	3	9
Klebsormidiophyceae	1	1	1	1
Desmidiaceae	17	4	25	38
Zygnematophyceae	3	1	0	2
Euglenophyceae	1	0	18	19
<b>Gesamt</b>	<b>53</b>	<b>9</b>	<b>115</b>	<b>159</b>

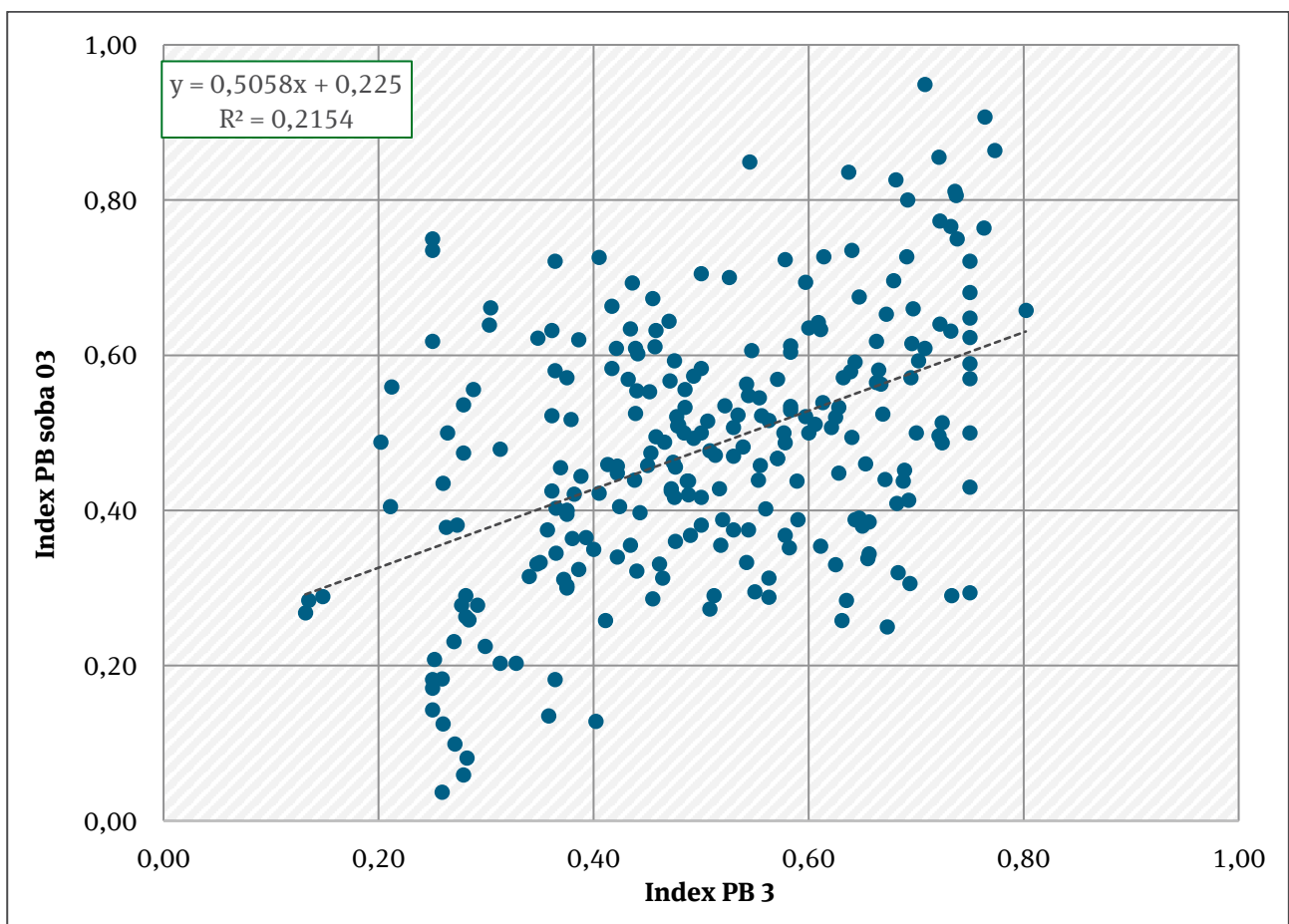
Tabelle 78: Taxazahl in den Indikationskategorien – PB soba 03 im Vergleich zu PB 9.

Kategorie	PB 9	PB soba 03
A	5	27
B	22	32
B/C	3	3
C	20	56
C/D	0	15
D	3	25
<b>Gesamt</b>	<b>53</b>	<b>158</b>

### C) Vergleich der unterschiedlichen Indexgrenzen

Von den insgesamt 403 untersuchten Probestellen konnten 259 Probestellen (64 %) mit PHYLIB 5.3 und 298 Stellen (74 %) mit Hilfe der neuen Indikation gesichert bewertet werden. Damit erhöht sich der Anteil der gesicherten Bewertungen deutlich. Durch die deutlichen Veränderungen unterscheiden sich die Bewertungen nach dem alten PHYLIB-Verfahren 5.3 und der überarbeiteten Indikation unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3. Die geringe Vergleichbarkeit der Bewertungen zeigt die Regressionsanalyse (Abbildung 65) mit einem Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) von lediglich 0,21.

Abbildung 65: Regressionsanalyse der Indexwerte unter Verwendung der ursprünglichen (PB 3) und überarbeiteten Taxa-Einstufungen (PBb soba 03).



Berechnung erfolgte auf Grundlage der Klassengrenzen von PHYLIB 5.3

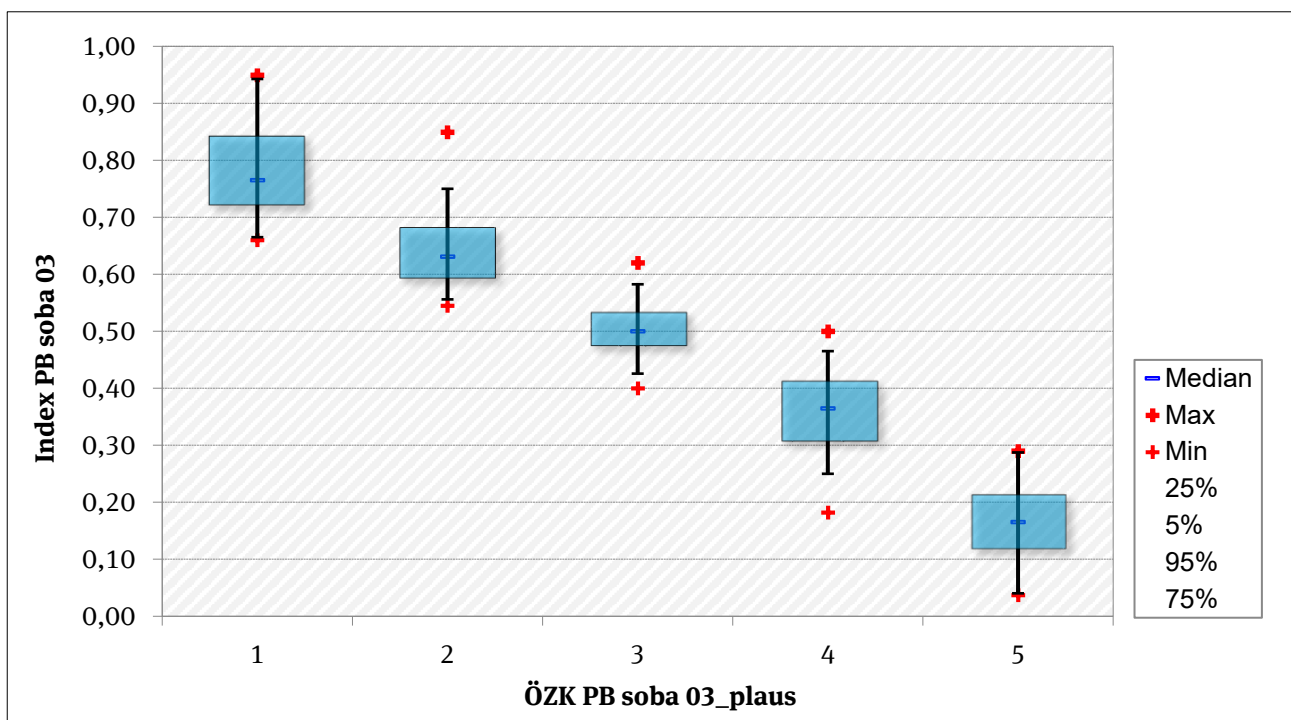
Eine Auftrennung in die unterschiedlichen Zustandsklassen durch die Mediane im Plausibilisierungsverfahren scheint zunächst gut erkennbar (siehe Tabelle 79). Allerdings gibt es deutlich Überlappungen bei den Indexwerten zwischen den als plausibel eingeschätzten Zustandsklassen. Der Vergleich der Indexgrenzen zwischen PHYLIB 5.3 mit denen des Plausibilisierungsverfahrens zeigt, dass mit dem Plausibilisierungsverfahren vor allem die Grenzen für die schlechten Bewertungen strenger gefasst sind.

Tabelle 79: Statistische Grunddaten und nach dem Plausibilisierungsverfahren abgeleitete Indexgrenzen – PB soba 03 im Vergleich zu PB 3.

ÖZK	Min	MW	Max	MD	N	Indexgrenzen PB soba 03	Indexgrenzen PB 3
Klasse 1	0.66	0.78	0.95	0.77	22	$1.00 \geq x \geq 0.76$	$1.00 \geq x \geq 0.80$
Klasse 2	0.55	0.64	0.85	0.63	67	$0.75 \geq x \geq 0.58$	$0.79 \geq x \geq 0.55$
Klasse 3	0.40	0.51	0.62	0.50	84	$0.57 \geq x \geq 0.44$	$0.54 \geq x \geq 0.30$
Klasse 4	0.18	0.36	0.50	0.37	103	$0.43 \geq x \geq 0.28$	$0.29 \geq x \geq 0.20$
Klasse 5	0.04	0.16	0.29	0.17	22	$0.27 \geq x \geq 0.00$	$0.19 \geq x \geq 0.00$

Min = Minimum, MW = Mittelwert, Max = Maximum, MD = Median, N = Anzahl Probestellen

Abbildung 66: Boxplot zur Verteilung der Indexwerte in den Zustandsklassen nach dem Plausibilisierungsverfahren für PoD-Typ PB soba 03.



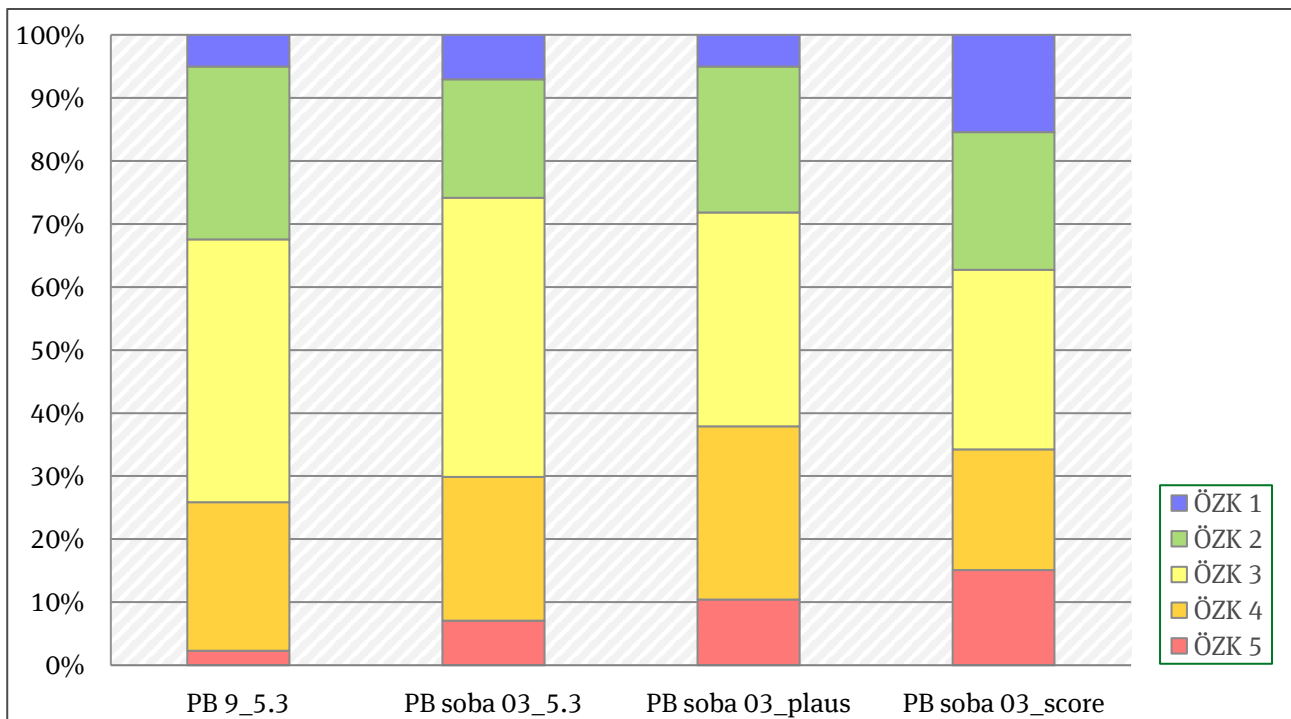
D) Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren

In diesem PoD-Typ haben sich trotz der starken Veränderungen hinsichtlich der Indikation der Taxa die Bewertungen bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 wenig verändert (Tabelle 80, Abbildung 67). Insgesamt kommt es zu etwas strengeren Bewertungen, da zwar einige sehr gute Bewertungen auftreten, aber auch deutlich mehr mit einer Zustandsklasse 5 erfolgen. Bei Anwendung des Plausibilisierungsverfahrens kommt es zu etwas mehr guten Bewertungen, allerdings nimmt auch die Anzahl der schlechten Bewertungen deutlich zu. Das Score-Verfahren bringt ein ähnliches Ergebnis, bei dem allerdings die extremen Bewertungen mit ZK 1 und ZK 5 wesentlich häufiger vorkommen.

Tabelle 80: Anzahl der Probestellen in den Ökologischen Zustandsklassen bei Anwendung der verschiedenen Verfahren und Indexgrenzen – PB soba 03.

ÖZK	PB 9_5.3	PB soba 03_5.3	PB soba 03_plaus	PB soba 03_score
Klasse 1	13	21	15	46
Klasse 2	71	56	69	65
Klasse 3	108	132	101	85
Klasse 4	61	68	82	57
Klasse 5	6	21	31	45
Gesamt	259	298	298	298

Abbildung 67: Verteilung der Zustandsklassen in den unterschiedlichen Verfahren für PoD-Typ PB soba 03.

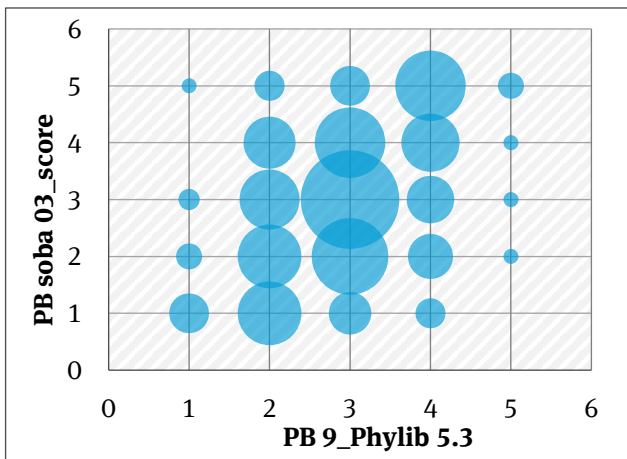
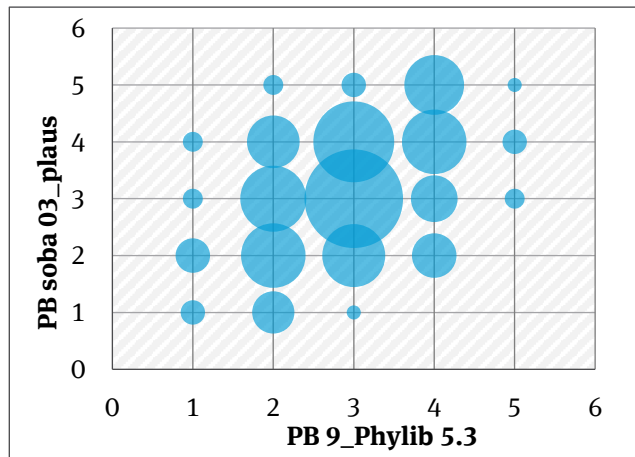
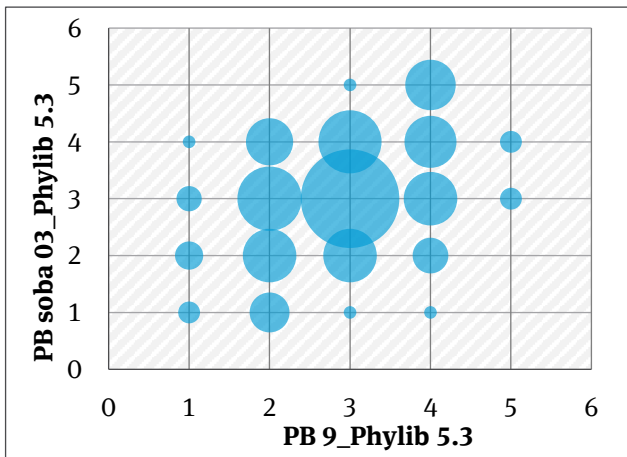


Aus Abbildung 68 wird deutlich, wie stark die Verschiebungen in der Zuordnung der Befunde zu den fünf ökologischen Zustandsklassen unter Verwendung alter (PB 3) und neuer Indikatorwerte (PB soba 01) für die drei in diesem Bericht diskutierten Szenarios sind. Starke Änderungen gibt es bei Anwendung der verschiedenen Verfahren für alle Zustandsklassen. Diese führen vor allem zu Verschlechterungen in den Zustandsklassen 1 und 2, während viele Bewertungen mit ZK 3 relativ stabil bleiben, obwohl es auch hier teils höhere, teils niedrigere Bewertungen gibt. In den Zustandsklassen 4 und 5 kommt es insgesamt eher zu besseren Bewertungen. Auffällig ist, dass Zustandsklasse 5 in der überarbeiteten Indikation fast ausschließlich von ehemals mit ZK 4 bewerteten Probestellen stammen. Mit dem Plausibilisierungsverfahren differenzieren sich die Bewertungen vor allem für die Zustandsklassen 2 und 3 noch stärker. Bei der Bewertung mittels Score-Verfahren differenzieren sich die Bewertungen ebenfalls erheblich.

Bei der Plausibilisierung durch Experteneinschätzung erscheinen die Einstufungen mit der überarbeiteten Indikation im Allgemeinen gerechtfertigt. Welches der hier dargestellten Verfahren zur Grenzziehung zwischen den Zustandsklassen besser geeignet ist, lässt sich allerdings nicht abschließend sagen, denn in vielen Fällen kommen sie zu demselben Ergebnis. Grundsätzlich ist die Plausibilisierung leichter zu treffen, wenn bei den schlecht bewerteten Probestellen Massenentwicklungen eutrophanter Arten vorkamen. Schwieriger ist die Einschätzung, wenn nur geringe Abundanzen ausgebildet wurden. Dann fehlt es noch an Sicherheit bei der Definition eines genauen Leitbildes für diese Gewässer bezüglich der benthischen Algen des PoD. Dies ist sicher auch darin begründet, dass die silikatischen, organisch geprägten Tieflandtypen noch zu wenig differenziert betrachtet wurden. Hier ist daher weitere Forschungsarbeit notwendig. Eine Abstimmung mit den Ergebnissen der anderen Komponenten wird sicher hilfreich sein.



Abbildung 68: Häufigkeit der Ökologischen Zustandsklassen in Abhängigkeit von der angewendeten Zustandsklassifizierung für PoD-Typ PB soba 03.



**Erläuterungen:**

horizontale Achse: Zustandsklassen bei Anwendung des Verfahrens nach PHYLIB 5.3 (alte Indikation, alte Fließgewässertypen, alte Klassengrenzen)

vertikale Achse: Zustandsklassen bei Anwendung eines der neuen Verfahren (neue Indikation, neue Fließgewässertypen, Klassengrenzen gemäß nachstehenden Zeilen)

Abb. links oben: Klassengrenzen gemäß PHYLIB 5.3

Abb. rechts oben: plausibilisierte Klassengrenzen

Abb. links unten: Klassengrenzen mittels Scores

## 4.4 Diskussion

### 4.4.1 Allgemein

Die Überarbeitung hat für die meisten PoD-Typen zu einer höheren Zahl indikativer Taxa geführt. Einzige Ausnahmen bildeten die karbonatisch löss-lehmgeprägten Bäche des Norddeutschen Tieflandes (PB kbr 11). Bei fünf der fünfzehn PoD-Typen blieb die Anzahl der Indikatoren konstant bzw. nahm leicht zu (PB kbr 02, PB kbr 05, PB kbr 08, PB kbr 12, PB soba 02). Mehr oder weniger deutliche Zunahmen bzgl. der Anzahl an Indikatoren hat es bei allen anderen PoD-Typen gegeben (PB kbr 01, PB kbr 03, PB kbr 04, PB kbr 06, PB kbr 07, PB kbr 09, PB kbr 10, PB kbr 12, PB soba 01, PB soba 03). Für die karbonatischen, sandgeprägten großen Gewässer des Norddeutschen Tieflandes (PB kbr 12) hat sich die Anzahl an Indikatoren mehr als verdoppelt, wobei dieser PoD-Typ zwei im alten PHYLIB-Verfahren 5.3 getrennte Typen (PB 10 und PB 12) zusammenfasst. Eine Verdreifachung und damit die stärkste Zunahme an Indikatoren ergab sich für den PoD-Typ der silikatisch geprägten Bäche und Flüsse des Norddeutschen Tieflands (PB soba 03). Insgesamt hat also die stärkere Untergliederung der PoD-Typen nach Überarbeitung nicht zu verminderten Anzahlen der Indikatoren geführt, sondern die intensive Untersuchung des PoD in vielen Fließgewässertypen hat meist deutliche Zunahmen im Pool der Indikatoren ergeben.

### 4.4.2 Algenklassen

Betrachtet man die Veränderungen für die verschiedenen Algenklassen, so wird deutlich, dass einige Klassen mit der neuen Indikation weniger stark berücksichtigt werden. Besonders ausgeprägt ist das bei den Compsopogonaceae. Die Gattung *Compsopogon* war im alten PHYLIB-Verfahren 5.3 im alten PoD-Typ PB 10 indikativ. Als Neophyt wurde das Taxon nun aus der Indikation genommen. Dies hat Auswirkungen auf vier der neuen PoD-Typen (PB kbr 08, PB kbr 09, PB kbr 11 und PB kbr 12). Auch Chryso- und Trebouxiophyceae finden nun keine bzw. weniger Berücksichtigung. Dieses ist vor allem auf die stärkere Differenzierung der PoD-Typen und die genauere Analyse ihres Arteninventars zurückzuführen. Die stärkste Veränderung hinsichtlich der Aufnahme neuer Indikatoren gab es bei den Euglenophyceae. Diese mikrophytischen Algen fanden im alten PHYLIB-Verfahren 5.3 wenig Beachtung. Die meisten Arten dieser Klasse kommen in nährstoffreichen Kleingewässern vor, die organisch belastet sind. Deshalb werden sie in vielen PoD-Typen als Störzeiger angesehen, aber ein Vorkommen in einigen natürlicherweise hohe Trophie aufweisende Fließgewässertypen mit etwas organischer Belastung ist auch zu tolerieren. Deutliche Zunahmen an Indikatoren betreffen Cyanobacteria, Florideo-, Tribo-, Chloro-, Ulvophyceae und Desmidiaceae. Insgesamt wird klar, dass durch das intensive Monitoring auch die Kenntnis der Zusammensetzung der Algenflora des PoD in den Fließgewässertypen wesentlich erweitert wurde.

Wesentlichen Einfluss auf Veränderungen der Bewertungen mit dem PHYLIB-Verfahren hat die Anzahl der zur Verfügung stehenden Taxa und ihre Zuordnung zu den unterschiedlichen Bewertungskategorien von typspezifischen Taxa (Kategorien A und B) sowie von Störzeigern (Kategorien C und D).

### 4.4.3 PoD-Typen

Für die unterschiedlichen PoD-Typen ergeben sich die im Folgenden dargestellten Veränderungen im Vergleich zu den PoD-Typen im alten PHYLIB-Verfahren 5.3. Für die Alpengewässer (PB kbr 01) reduziert sich die Anzahl der typspezifischen Zeiger der Kategorien A und B, während die Zahlen der Störzeiger deutlich zugenommen haben. Vor allem in der Kategorie D hat sich die Anzahl der Indikatoren fast versechsfacht. Ähnlich verhält es sich bei den Voralpengewässern (PB kbr 02) und den silikatisch geprägten Mittelgebirgsgewässern. Im PoD-Typ PB soba 01 bleibt die Anzahl der Indikatoren der Kategorie C gleich. Allerdings kommen viele Indikatoren hinzu, die bei größerer Abundanz zwischen der Kategorie C und D wechseln, und die Zahl der Indikatoren der Kategorie D verfünffacht sich. In fast allen karbonatisch geprägten Mittelgebirgsgewässern nimmt die Anzahl der Indikatoren der Kategorie D

ebenfalls deutlich zu. Besonders ausgeprägt ist dies bei den Flüssen (PB kbr 04) und am geringsten in den feinmaterialreichen Bächen und Flüssen der Keuper- sowie Löss- und Kalkregionen (PB kbr 07). Zusätzlich gibt es in einigen PoD-Typen auch deutliche Zunahmen bei den typspezifischen Indikatoren (PB kbr 03, PB kbr 04, PB kbr 06, PB kbr 07). Auffällig ist die Verdreifachung der Indikatoren der Kategorie A im PoD-Typ der feinmaterialreichen Bäche (PB kbr 06). Etwas anders ist die Situation bei den Tieflandgewässern. In den karbonatisch geprägten PoD-Typen nimmt die Anzahl der Störzeiger ebenfalls zu, aber es gibt zusätzlich in vielen PoD-Typen auch Zunahmen in der Anzahl der typspezifischen Indikatoren. So liegen im PoD-Typ PB kbr 09 der sand- bzw. lehmgeprägten Bäche und Flüsse und in den kiesgeprägten Bächen und Flüssen (PB kbr 10) nun deutlich mehr Taxa in den Kategorien A vor. Ein anderer Trend zeigt sich bei den basenreichen, organisch geprägten Bächen und Flüssen sowie den kleinen Niedrigungsgewässern (PB kbr 08). Hier gibt es Zunahmen in fast allen Indikationskategorien und es wird der Abundanz mehr Beachtung geschenkt, da viele Indikatoren je nach Vorkommen unterschiedlichen Kategorien zugerechnet werden. Ein ähnliches Vorgehen gilt für die löss-lehmgeprägten Bäche (PB kbr 11). Die sandgeprägten großen Gewässer (PB kbr 12) wurden nach dem alten PHYLIB-Verfahren 5.3 sowohl dem Typ PB 10 als auch dem PB 12 zugerechnet. Im Vergleich zum Typ PB 10 gibt es nun mehr typspezifische Indikatoren, und im Vergleich zum PoD-Typ 12 gibt es deutliche Zuwächse bei allen Indikationskategorien. Bei den silikatisch geprägten Mittelgebirgsgewässern (PB soba 01 und PB soba 02) sind starke Zunahmen vor allem der Störzeiger der Kategorie D festzustellen. Auch wird ein erheblicher Anteil nun je nach Abundanz der Kategorie C bzw. D zugeordnet. Unterschiedlich ist das Bild für die silikatisch geprägten Tieflandgewässer (PB soba 03). Hier gibt es große Zuwächse von Indikatoren in den Kategorien A, C und D.

Insgesamt ist festzustellen, dass in fast allen PoD-Typen nun deutlich mehr Indikatoren für eine Bewertung zur Verfügung stehen. Stark verändert haben sich die Anteile von Zeigern für die unterschiedlichen Indikationskategorien. Beides zeigt, dass die Überarbeitung auch wesentlich zur genaueren Kenntnis der Algenflora des PoD beigetragen hat. Tendenziell scheint das Verhältnis zwischen Typ- und Störzeigern für die unterschiedlichen PoD-Typen mit der neuen Indikation ausgewogener zu sein.

#### 4.4.4 Graphische Analysen

Ein Vergleich der Bewertungsergebnisse des alten PHYLIB-Verfahrens 5.3 mit Ergebnissen durch die überarbeitete Indikation wird durch Regressionsberechnungen unter Anwendung der Klassengrenzen aus PHYLIB 5.3 deutlich. Dabei wird ein maximales Bestimmtheitsmaß von 0,69 für die silikatisch geprägten Bäche des Mittelgebirges (PB soba 01) erreicht. Hohe Werte ( $\geq 60$ ) ergeben sich auch für die karbonatisch geprägten PoD-Typen PB kbr\_03, PB kbr\_04, PB kbr\_06, PB kbr\_07, PB kbr\_09. Dabei handelt es sich ausschließlich um Bäche und Flüsse mit unterschiedlichen Substraten. Diese liegen vor allem im Mittelgebirge, nur der PoD-Typ PB kbr 09 befindet sich im Norddeutschen Tiefland. Für diese PoD-Typen besteht also ein deutlicher Zusammenhang beider Bewertungen. Dabei handelt es sich mit Ausnahme des PoD-Typs PB kbr 09 um Mittelgebirgsgewässer, die zum Teil aufgrund ihrer Substratvielfalt Algen des PoD gute Entwicklungsmöglichkeiten bieten. Dies ist allerdings nicht für die feinmaterialreichen Gewässer der PoD-Typen PB kbr 07 und PB kbr 09 der Fall. Die Bäche und Flüsse der Keuper- sowie Löss- und Kalkregionen des PoD-Typs PB kbr 07 sind sehr artenarm, und eine Bewertung erfolgt vor allem über die Abundanz der Taxa. Nur schwache Zusammenhänge zwischen beiden Bewertungen ergeben sich für die PoD-Typen PB kbr 11, PB kbr 08, PB kbr 02 und PB kbr 05 mit Bestimmtheitsmaßen zwischen 0,40 und 0,55. Dabei handelt es sich um Bäche, Flüsse und Ströme des Alpenvorlandes, der Mittelgebirge und des Norddeutschen Tieflands. Teils sind es unterschiedliche Fließgewässertypen, die aus Datenmangel zusammengefasst wurden, teils handelt es sich um mit dem alten PHYLIB-Verfahren nicht gut untersuchte Gewässer. Bestimmtheitsmaße kleiner als 0,4 bestehen für die karbonatisch geprägten PoD-Typen PB kbr 01, PB kbr 10 und PB kbr 12 sowie die silikatisch geprägten Typen PB soba 02 und PB soba 03. Diese Gewässer befinden sich im Voralpenland, in den Mittelgebirgen und im Norddeutschen Tiefland. Zusammenhänge zwischen den Bewertungen nach

PHYLIB 5.3 und nach neuer Indikation bestehen hier kaum. In diesen PoD-Typen wurden die Bewertungen offenbar grundsätzlich verändert.

Die Graphiken zu den Änderungen der Bewertungen innerhalb der Zustandsklassen zeigen in der Mehrzahl Verschiebungen um zwei oder drei Zustandsklassen bei Anwendung der überarbeiteten Indikation unter Beibehaltung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3. In den PoD-Typen PB kbr 10, PB soba 02 und PB soba 03 treten sogar Veränderungen um vier Zustandsklassen auf. Ein einheitlicher Trend für alle PoD-Typen bezüglich der neuen im Vergleich mit der alten Bewertung aus PHYLIB 5.3 ist mit der neuen Indikation nicht festzustellen.

Insgesamt zeigt sich allerdings eine Tendenz zu strengerer Bewertung von grobmaterialreichen Fließgewässertypen wie z. B. Alpen (PB kbr 01), Alpenvorland (PB kbr 02), die karbonatisch geprägten, grobmaterialreichen Flüsse und Ströme des Mittelgebirges (PB kbr 04, PB kbr 05), die silikatisch geprägten Bäche und Flüsse des Mittelgebirges (PB soba 01, PB soba 02) und die karbonatisch geprägten Bäche und Flüsse des Norddeutschen Tieflandes (PB kbr 10). Allerdings scheinen auch einige feinmaterialreiche PoD-Typen strenger bewertet zu werden, dies betrifft die karbonatisch, sand- bzw. lehmgeprägte Bäche und Flüsse des Norddeutschen Tieflandes (PB kbr 09) und die silikatisch geprägten Bäche und Flüsse des Norddeutschen Tieflands (PB soba 03). Damit werden einige karbonatisch geprägte PoD-Typen nun auch bei Anwendung der Indexgrenzen von PHYLIB 5.3 strenger beurteilt. Diese standen bisher in der Kritik, zu milde bewertet worden zu sein.

Die meisten feinmaterialreichen PoD-Typen werden dagegen tendenziell milder bewertet. Hierzu gehören die karbonatisch geprägten, feinmaterialreichen Bäche des Mittelgebirges (PB kbr 06) und die karbonatisch geprägten durch Löss bzw. Lehm charakterisierten Bäche bzw. die sandgeprägten großen Gewässer des Norddeutschen Tieflands (PB kbr 11, PB kbr 12). Diese Gewässer zeigen auch im naturnahen Zustand häufig erhöhte Trophie bzw. Saprobie. Die Algenflora weist oft Vorkommen eher toleranter Taxa auf, die erst durch erhöhte Abundanz Störungen indizieren. Auch eine mikrophytische Algenflora ist für diese Gewässer charakteristisch. Es bestehen aber Unsicherheiten, inwieweit ihr Vorkommen gewichtet werden sollte. Eine typspezifische Algenflora ist hier nicht immer klar zu definieren.

#### 4.4.5 Plausibilisierungsverfahren

Im bisherigen PHYLIB-Verfahren 5.3 wurden Indexgrenzen für jeden einzelnen PoD-Typ durch Expertise der Bundesländer festgelegt. Um die bereits vorher vorliegenden Kenntnisse zur Autökologie der Indikatoren einzubeziehen, wurde im Rahmen dieses Projektes versucht, ein Verfahren zur Festlegung der Indexgrenzen zu entwickeln, das sich einerseits an den Beschreibungen der Ökologischen Zustandsklassen nach WRRL orientiert und andererseits die Einstufungen der Indikatortaxa in die Bewertungskategorien berücksichtigt. Dieses Vorgehen wird im vorliegenden Bericht als „Plausibilisierungsverfahren“ bezeichnet. Ebenso wie im PHYLIB-Verfahren 5.3 kommt es mit diesem Verfahren zu einer Vielzahl verschiedener nicht direkt vergleichbarer Indexgrenzen für die unterschiedlichen PoD-Typen. Es wäre daher sinnvoll, solche Indexgrenzen in einem zweiten Schritt, ähnlich wie bei den Makrophyten vorgeschlagen, zu normieren (van de Weyer & Stelzer 2018). Dies war aber nicht Teil des hier dargestellten Auftrags. Auch erscheint dies zum jetzigen Stand der Arbeiten nicht sinnvoll, da noch keine allgemein anerkannten Indexgrenzen vorliegen. Die Verschiebungen der Bewertungen innerhalb der Zustandsklassen sind bei Anwendung des Plausibilisierungsverfahrens deutlich ausgeprägter als bei Anwendung der alten Indexgrenzen des PHYLIB-Verfahrens 5.3. Wie die Graphiken zu den Verschiebungen innerhalb der Zustandsklassen zeigen ändern sich die Bewertungen in der Mehrzahl der Fälle um bis zu vier Zustandsklassen. Nur in einigen Fällen verändern sich die Bewertungen um bis zu drei Zustandsklassen (PB kbr 05, PB kbr 06, PB kbr 08, PB kbr 12) bzw. zwei Zustandsklassen. Insgesamt kommt es mit dem Plausibilisierungsverfahren in vielen PoD-Typen zu wesentlich strengeren Bewertungen. Die Bewertungen wirken aber auch differenzierter. In manchen PoD-Typen betreffen die strengeren Bewertungen nicht das gesamte Bewertungsspektrum, sondern es werden

eher Bewertungen mit Zustandsklassen von 4 oder 5 differenziert. Noch strenger bewertet als nur mit Anwendung der neuen Indikation werden bei Anwendung des Verfahrens die Alpen- und Voralpengewässer (PB kbr 01, PB kbr 02) und die silikatisch geprägten Mittelgebirgsbäche (PB soba 01). Eine ähnliche oder sogar mildere Bewertung im Vergleich zur neuen Indikation wird für die PoD-Typen PB kbr 07 bzw. PB kbr 08 erreicht. Beide Typen betreffen feinmaterialreiche Gewässer, deren typspezifische Algenflora noch nicht sicher bekannt ist.

#### 4.4.6 Score-Verfahren

Der dritte Versuch, Indexgrenzen festzulegen, bezieht sich auf das bei der Qualitätskomponente des Makrozoobenthos angewandte Vorgehen. Es führt direkt über die Feststellung von Ankerpunkten zu einheitlichen Klassengrenzen. Dieses Vorgehen wird hier als „Score-Verfahren“ bezeichnet. Bei Anwendung dieses Verfahrens verschieben sich die Bewertungen innerhalb der Zustandsklassen am stärksten, und die Verteilungen der Bewertungen weichen in den meisten Fällen von denen der anderen Verfahren deutlich ab. Dabei kommt es durch die gleichmäßige Aufteilung des Indexbereiches auf alle Zustandsklassen zwischen den Ankerpunkten oft zu überproportionalen Anteilen bei den sehr guten bzw. sehr schlechten Bewertungen. Diese Vorgehensweise ist sicher plausibel, wenn im Datenpool die gesamte Spanne der Zustandsklassen abgedeckt wird. Im Idealfall kämen Proben der unterschiedlichen Zustände sogar in ähnlich hoher Anzahl vor, also einerseits Proben von Stellen im Referenzzustand und andererseits Proben von Stellen mit extremer Degradation. Das ist aber im Datensatz des normalen Monitorings, wie er hier zur Verfügung stand, nicht der Fall. Wie bereits erwähnt, zeigt sich dies schon an vielen Regressionsanalysen, bei denen keine oder nur wenige Datenpunkte (Indexwerte) in Skalen-Bereichen oberhalb 0,8 bzw. unterhalb 0,2 vorkommen. Die Bewertungen mit dem Score-Verfahren werden durch die Experteneinschätzung daher häufig nicht in ihrer Gesamtheit als plausibel empfunden. In einigen PoD-Typen scheinen sie aber durchaus für die schlechten Zustandsklassen angemessen zu sein (PB kbr 08, PB kbr 10, PB kbr 11, PB kbr 12).

Allerdings gelingt eine plausible Entscheidung über geeignete Indexgrenzen auch für die anderen Verfahren nicht durchgängig. Bewertungen mit Hilfe des Plausibilisierungsverfahren erscheinen durch Experteneinschätzung durchaus für die PoD-Typen PB kbr 03, PB kbr 04 und PB soba 03 gerechtfertigt sinnvoll und mit großen Unsicherheiten auch für die PoD-Typen PB kbr 02, PB kbr 06 und PB soba 02. Nicht schlüssig erscheinen die Bewertungen der silikatisch geprägten Mittelgebirgsbäche (PB soba 01) und der Alpengewässer (PB kbr 01). Sie werden als viel zu streng empfunden. Auch für die PoD-Typen PB kbr 07 und PB kbr 09 bleiben die Experteneinschätzungen sehr unsicher, und manchmal erscheinen auch die Indexgrenzen aus dem PHYLIB-Verfahren 5.3 gerechtfertigt (Bsp. PB br 05). Die Schwierigkeiten einer Einschätzung beruhen teils auf Unsicherheiten, ein konkretes Leitbild für den Referenzzustand mit Blick auf das Vorkommen und die angemessenen Abundanzen der Taxa des PoD klar zu definieren.

#### 4.4.7 Fazit

Am Beispiel der silikatisch geprägten Mittelgebirgsbäche wird deutlich, dass sich die Bewertung wohl zu sehr auf das geologisch durch silikatisches Gestein geprägte Leitbild von Weichwasserstandorten ausrichtet, so dass die Spannweite der vorhandenen silikatisch geprägten Gewässertypen nicht ausreichend berücksichtigt wird. Grundsätzlich besteht das Problem, dass unsere Landschaft durch anthropogene Veränderungen inzwischen sehr einheitlich belastet ist. Die gesamte Spanne zwischen sehr guten bzw. sehr schlechten ökologischen Zuständen wird daher im normalen Monitoring kaum erfasst. Dies erschwert die Setzung von Indexgrenzen erheblich.

Schwierig ist es auch, ein Leitbild für Fließgewässertypen zu generieren, bei denen Trophie und Saprobie im Grundzustand bereits relativ hoch sind. In vielen dieser Gewässertypen ist der Einbezug der mikrophytischer Taxa besonders wichtig. Allerdings bestehen auch Probleme, diese Lebensgemein-

schaft hinsichtlich ihrer Typspezifität genau genug einzuschätzen. Hier besteht ein deutlicher Forschungsbedarf. Dies gilt auch für andere Belastungen, wie z. B. Verockerung. Weiterhin ist es schwierig, die Auswirkungen strukturelle Defizite auf die Algengemeinschaften des PoD in ihrem Ausmaß zu definieren. So gibt es bisher für das PoD keine klare Angabe von Gründen einer Verödung, die in eine Bewertung einfließen kann. Auch hier besteht Klärungsbedarf. Viele dieser Beeinträchtigungen sind aber nur im Zusammenhang mit der Kenntnis der Standortbedingungen erfassbar. Es ist daher notwendig, die Bewertung in Zusammenarbeit mit den Experten vor Ort abzustimmen.

Das Prinzip der Indikation durch Organismen beruht auf der Erkennung unterschiedlicher Toleranzen und Präferenzen im Hinblick auf Überleben, Wachstum und Reproduktion. Die Organismen der verschiedenen Teilkomponenten decken unterschiedliche Spannen ökologischer Zustände ab. Daher ist der Abgleich mit den Bewertungen der anderen Teilkomponenten für die Setzung der Indexgrenzen besonders wichtig. Insofern liegen die Schwierigkeiten, die gesamte Spanne der ökologischen Zustände zu erfassen, nicht nur an äußeren Bedingungen, sondern auch an den Organismen selbst. Es ist daher von Vorteil, dass an den Bewertungen mehrere Komponenten beteiligt sind, die aufgrund unterschiedlicher Ansprüche zu abweichenden Bewertungen führen. Erst so lassen sich Defizite genauer erkennen und beschreiben.

Abschließen ist festzuhalten, dass in diesem Bericht aus oben genannten Gründen leider noch kein einheitliches Verfahren für die Festsetzung von plausiblen Indexgrenzen vorgestellt werden kann. Insgesamt aber bilden die Überlegungen und Vorschläge wichtige Grundlagen für die Festlegung von Indexgrenzen in Zusammenarbeit mit den Bundesländern bzw. nach Prüfung durch die Bundesländer.

## Danksagung

Ein großer Dank geht an alle Bearbeiter, die im Feld und im Labor durch Sammlung und Bestimmung der Algen des PoD die enorme Fülle an Daten innerhalb der letzten Jahre bereitgestellt und damit den Grundstein für die Weiterentwicklung des Verfahrens geleistet haben.

Bedanken möchte ich mich auch bei Dr. Peter Rolauffs vom Fachbereich Biologie, Arbeitsgruppe Aquatische Ökologie der Universität Duisburg/Essen, der Unterstützung bei der Bereitstellung der Datengrundlage geleistet hat.

Dr. Andreas Müller (Chromgrün) hat durch die Entwicklung einer Testversion (Phylib 6.0) die Auswertung der Daten überhaupt erst ermöglicht. Danke für seine professionelle Unterstützung und immerwährende Bereitschaft zu schneller Umsetzung bei Änderungsvorschlägen.

Anregungen, Diskussionsbeiträge und ganz praktische Unterstützung habe ich von Frau Dr. Lydia King, Frau Dr. Julia Foerster (LANUV NRW) und Herrn Dr. Markus Paul (BfUL Sachsen) erhalten. Sie haben mir mit ihrem Fachwissen bei der Berichtserstellung sehr geholfen. Für diese außerordentliche Unterstützung gebührt ihnen ein ganz besonders herzlicher Dank.

## 5 Literatur

### Kapitel 3 (Diatomeen)

---

European Union (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. PE-CONS 3639/1/00, REV 1, ENV 221, CODEC 513, pp. 1-152.

Hofmann, G., Lange-Bertalot, H. & M. Werum (2011): Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa. A.R.G. Gantner Verlag K.G., 1-908.

Pfister, P., Hofmann, G. & G. Ehrensperger (1999): Fließgewässer-Phytobenthos. Überarbeitung des Trophie- und Saprobie-Bewertungssystems nach Rott et al. 1999, 1997. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft der Republik Österreich, Wien, 1-132.

Rott, E., Pfister, P., van Dam, H., Pipp, E., Pall, K., Binder, N. & K. Ortler (1999): Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 2: Trophieindikation und autökologische Anmerkungen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft der Republik Österreich, Wasserwirtschaftskataster, Wien, 1-73.

Rott, E., Hofmann, G., Pall, K., Pfister, P. & E. Pipp (1997): Indikationslisten für Aufwuchsalgen. Teil 1: Saprobienle Indikation und autökologische Anmerkungen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft der Republik Österreich, Wasserwirtschaftskataster, Wien, 1-248.

Schaumburg, J., Schmedtje, U., Schranz, C., Köpf, B., Schneider, S., Meilinger, P., Stelzer, D., Hofmann, G., Gutowski, A. & J. Foerster (2005): Bewertungsverfahren Makrophyten und Phytobenthos. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Informationsbericht Heft 1/05, 1-245.

Schaumburg, J., Schranz, C., Stelzer, D., Vogel, A. & A. Gutowski (2012): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Fließgewässern zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos. Stand Januar 2012. Bayerisches Landesamt für Umwelt, 1-195.

### Kapitel 4 (Phytobenthos ohne Diatomeen)

---

Foerster, J., Knappe, J. & Gutowski, A. (2018): Rote Liste und Gesamtartenliste der limnischen Braunalgen (Phaeophyceae) und Rotalgen (Rhodophyta) Deutschlands. Naturschutz und Biologische Vielfalt 70: 535-564.

Kelly, M., Juggins, S., Guthrie, R., Pritchard, S., Jamieson, J., Rippey, B., Hirst, H. & M. Yallop (2008): Assessment of ecological status in U.K. rivers using diatoms. – *Freshwater Biology* 53: 403-422.

Kusber, W.-H. & A. Gutowski. (2018): Rote Liste und Gesamtartenliste der Zieralgen (Desmidiaceae) Deutschlands. Naturschutz und Biologische Vielfalt 70: 711-778.

Linne von Berg, K.-H. (2018): Rote Liste und Gesamtartenliste der Schlauchalgen (Xanthophyceae: Vaucheriaceae) Deutschlands. Naturschutz und Biologische Vielfalt 70: 567-598.

Pfister, P., Hofmann, G. & G. Ehrensperger (2016): Überarbeitung des Trophie- und Saprobie-Bewertungssystems nach Rott et al. 1997 bzw. 1999 (Fließgewässer-Phytobenthos). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abt. IV/3, Innsbruck.

Pottgiesser, T. (2018): Zweite Überarbeitung der Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen. – FE-Vorhaben des Umweltbundesamtes „Gewässeratlas mit Steckbriefen“ (FKZ 3714 24 221 0). Link: [https://www.gewaesser-bewertung.de/files/steckbriefe\\_fliessgewaessertypen\\_dez2018.pdf](https://www.gewaesser-bewertung.de/files/steckbriefe_fliessgewaessertypen_dez2018.pdf)

Rott, E., Pfister, P., Van Dam, H., Pipp, E., Pall, K., Binder, N. & K. Ortler (1999): Indikationslisten für Aufwuchsalgen in österreichischen Fließgewässern, Teil 2: Trophieindikation sowie geochemische Präferenz, taxonomische und toxikologische Anmerkungen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 248 S.

Rolauffs, P., Hering, D., Mischke, U., Gutowski, A., Hofmann, G., Halle, M. & R. Vogl (2020): Weiterentwicklung der biologischen Bewertungsverfahren zur EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) unter besonderer Berücksichtigung der großen Flüsse. – Abschlussbericht. – Auftraggeber Umweltbundesamt, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, (FZK 3714 22 211 0, FB 000086) Texte 23/2020, Link: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/weiterentwicklung-bewertungsverfahren-eg-wrri>

Schaumburg, J., Schranz, C., Stelzer, D., Vogel, A. & A. Gutowski (2012): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Fließgewässern zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos -Phylib. Stand Januar 2012. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München, 195 S., Link: [https://www.gewaesser-bewertung-berechnung.de/files/downloads/phylib/Verfahrensanleitung\\_Phylib.pdf](https://www.gewaesser-bewertung-berechnung.de/files/downloads/phylib/Verfahrensanleitung_Phylib.pdf)

Van de Weyer, K. & D. Stelzer (2018): Weitere Arbeiten zur Aktualisierung des Bewertungsverfahrens der PHYLIB-Teilkomponente Makrophyten Projekt Nr. 01.17. - Auftraggeber Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).