

Bewertung ökologischer Zustand

Die benthischen Diatomeen stellen neben den Makrophyten und dem Phytobenthos ohne Diatomeen (PoD) eine von drei Teilkomponenten der Gesamtkomponente „Makrophyten und Phytobenthos (M&P)“ dar. Die Bewertung des ökologischen Zustandes erfolgt zunächst separat für jede der untersuchten Teilkomponenten und wird anschließend zu einer Gesamtbewertung M&P gemäß PHYLIB verrechnet.

Grundlage des PHYLIB-Verfahrens ist die Kenntnis der Gesellschaftszusammensetzung der verschiedenen biozönotischen Gewässertypen im natürlichen Zustand bei fehlender anthropogener Belastung, der sogenannten Referenzgesellschaft. Die Bewertung der ökologischen Qualität erfolgt durch Vergleich der vorhandenen Gesellschaft mit der jeweiligen Referenzgesellschaft bzw. durch den Grad der Abweichung von dieser. Dadurch wird eine gewässertypspezifische Bewertung möglich, die die unterschiedlichen Referenzbedingungen von Fließgewässertypen berücksichtigt.

Die Bewertung des ökologischen Zustands durch Diatomeen erfolgt durch die Berechnung von vier Modulen, die die gesellschaftsbestimmenden Faktoren abbilden:

- **Modul „Trophie- und Saprobienindex“**
- **Modul „Artenzusammensetzung und Abundanzen“**
- **Modul „Halobienindex“**
- **Modul „Versauerungszeiger“** (relevant nur in versauerungssensiblen Gewässertypen)

Ableitung des Diatomeentyps

Zur Bewertung des ökologischen Zustandes einer Gewässerstelle ist die Kenntnis des zugehörigen Diatomeentyps (D) erforderlich. Auf der Grundlage der ausgewiesenen LAWA-Typen kann dieser anhand von Bestimmungsschlüsseln in der „Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Fließgewässern zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos (PHYLIB)“ abgeleitet werden (Tab. 1).

Tab. 1: Bestimmungsschlüssel zur Diatomeen-Typfindung auf der Grundlage der LAWA-Fließgewässertypologie am Beispiel der Ökoregion Mittelgebirge.

LAWA-Typ 5 exclusive Subtyp 5.2 (Vulkanite)	→ D 5
LAWA-Typ 5.1	→ D 5
LAWA-Typ 11 und Ökoregion Mittelgebirge	→ D 5
LAWA-Subtyp 5.2	→ D 6
LAWA-Typ 9	→ D 7

LAWA-Typ 6	→ D 8.1
LAWA-Typ 19 und Ökoregion Mittelgebirge	→ D 8.1
LAWA-Typ 9.1 und Löss-, Keuper- und Kreideregionen excl. Muschelkalk, Jura-, Malm-, Lias-, Dogger- und andere Kalkregionen	→ D 8.2
LAWA-Typ 7	→ D 9.1
LAWA-Typ 9.1 und Muschelkalk-, Jura-, Malm-, Lias-, Dogger- und andere Kalkregionen exclusive Löss-, Keuper- und Kreideregionen	→ D 9.2
LAWA-Typ 9.2	→ D 10.1
LAWA-Typ 10	→ D 10.2

Bewertungsmodul „Trophie- und Saprobienindex“

Zur Indikation der trophischen Situation wird der Trophie-Index herangezogen. Dieser berechnet sich aus den artspezifischen Trophiewerten und -gewichtungen sowie den prozentualen Häufigkeiten der in der Probe erfassten Taxa.

Berechnung des Trophie-Index nach Rott et al. (1999)

$$TI = \frac{\sum_{i=1}^n TW_i * G_i * H_i}{\sum_{i=1}^n G_i * H_i}$$

- TI = Trophie-Index
- TW_i = Trophiewert der Art i
- G_i = Indikationsgewicht der Art i
- H_i = Häufigkeit der Art i in Prozent

Da die Trophie der verschiedenen Diatomeentypen im sehr guten ökologischen Zustand stark differiert – so sind zum Beispiel silikatische Mittelgebirgsbäche oligotroph, kalkreiche Bäche im Tiefland hingegen meso-eutroph – sind für jeden Diatomeentyp spezifische Bewertungsgrenzen definiert. Die typspezifische Zuordnung der Trophie-Indizes zu den ökologischen Zustandsklassen, ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: Indexgrenzen für die Zuordnung der Ökologischen Zustandsklassen im Bewertungsmodul "Trophie- und Saprobienindex" nach Schaumburg et al. (2011): 1 = sehr guter ökologischer Zustand, 2 = guter ökologischer Zustand, 3 = mäßiger ökologischer Zustand, 4 = unbefriedigender ökologischer Zustand, 5 = schlechter ökologischer Zustand.

	Ökologische Zustandsklassen				
	1	2	3	4	5
	Trophie-Index nach Rott et al. (1999)				
Diatomeen-Typen der Alpen und des Alpenvorlandes					
D 1.1	0,30 - 1,64	1,65 - 2,24	2,25 - 2,84	2,85 - 3,24	> 3,24
D 1.2	0,30 - 1,84	1,85 - 2,94	2,95 - 3,00	3,01 - 3,24	> 3,24
D 2	0,30 - 1,04	1,05 - 1,94	1,95 - 3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 3	0,30 - 1,84	1,85 - 2,64	2,65 - 3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 4	0,30 - 1,34	1,35 - 2,54	2,55 - 2,84	2,85 - 3,24	> 3,24
Diatomeen-Typen der Mittelgebirge					
D 5	0,30 - 1,84	1,85 - 2,64	2,65 - 3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 6	0,30 - 2,24	2,25 - 2,84	2,85 - 3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 7	0,30 - 2,24	2,25 - 2,84	2,85 - 3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 8.1	0,30 - 2,64	2,65 - 2,94	2,95 - 3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 8.2	0,30 - 2,64	2,65 - 2,94	2,95 - 3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 9.1	0,30 - 0,84	0,85 - 1,74	1,75 - 3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
D 9.2	0,30 - 1,54	1,55 - 2,04	2,05 - 3,34	3,35 - 3,54	> 3,54
D 10.1	0,30 - 2,24	2,25 - 2,74	2,75 - 3,04	3,05 - 3,34	> 3,34
D 10.2	0,30 - 2,34	2,35 - 2,84	2,85 - 3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
Diatomeen-Typen des Norddeutschen Tieflandes					
D 11	0,30 - 1,64	1,65 - 2,44	2,45 - 2,94	2,95 - 3,34	> 3,34

D 12	0,30 - 2,24	2,25 - 2,64	2,65 - 3,14	3,15 - 3,34	> 3,34
	Saprobienindex nach Rott et al. (1997)				
D 13	1,00 - 1,64	1,65 - 1,84	1,85 - 2,04	2,05- 3,04	> 3,04

In den großen Flüssen und Strömen des Tieflandes, die im ungestörten Zustand naturgemäß eine höhere Trophie aufweisen, ist der Trophie-Index aufgrund der geringen für die Bewertung zur Verfügung stehenden Spanne nicht mehr ausreichend. Im Diatomeentyp 13 wird daher zur Bewertung der weiter reichende Saprobienindex herangezogen.

Berechnung des Saprobienindex nach Rott et al. (1997)

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^n SW_i * G_i * H_i}{\sum_{i=1}^n G_i * H_i}$$

- SI = Saprobienindex
- SW_i = Saprobiewert der Art i
- G_i = Indikationsgewicht der Art i
- H_i = Häufigkeit der Art i in Prozent

Bewertungsmodul „Artenzusammensetzung und Abundanzen“

Im Referenzzustand weisen die verschiedenen Diatomeentypen jeweils charakteristische Diatomeengesellschaften auf. Für jeden Diatomeentyp sind spezifische Referenzarten auf der Grundlage ihrer geochemischen Präferenz und Sensibilität gegenüber stofflichen Belastungen definiert, die bei sehr guten ökologischen Qualitäten zu erwarten sind. Die Bewertung erfolgt anhand der Summenhäufigkeiten dieser Indikatorarten, die den Grad der Natürlichkeit bzw. der Abweichung von dieser beschreiben. In den Fließgewässern der Mittelgebirge und des Norddeutschen Tieflandes wird bei Massenvorkommen bestimmter Arten die Referenzartensumme abgestuft (Tab. 3).

Tab. 3: Zustandsklassen im Modul „Artenzusammensetzung und Abundanzen“.

Summenhäufigkeit der Referenzarten in %	Ökologischer Zustand
76 - 100	sehr gut
51 - 75	gut
25 - 50	mäßig
1 - 25	unbefriedigend

0	schlecht
---	----------

Modul „Versauerungszeiger“

In versauerungssensiblen silikatisch geprägten Bächen und kleinen Flüssen geht zusätzlich die anthropogene Versauerung in die Bewertung ein. Dazu wird von der PHYLIB-Software in jeder Probe aus versauerungsgefährdeten Gewässertypen die prozentuale Summenhäufigkeit charakteristischer Versauerungsindikatoren berechnet. Überschreitet diese einen Wert von 10 % erfolgt eine Abstufung der anhand des DIFG ermittelten ökologischen Qualität (Tab. 4). Wurden neben den Diatomeen auch andere der Teilkomponenten (Makrophyten und/oder PoD) untersucht und bewertet, erfolgt diese Abstufung erst nach Verschneidung aller Teilbewertungen.

Tab. 4: Abstufung des ökologischen Zustandes aufgrund von anthropogener Versauerung.

Häufigkeit der Versauerungszeiger	Abstufung um
10 - 25%	1 Qualitätsklasse
26 - 50%	2 Qualitätsklassen
51 - 99%	3 Qualitätsklassen
100%	4 Qualitätsklassen

Modul „Halobienindex“

Zum Nachweis von Versalzungserscheinungen wird von der PHYLIB-Software in allen Proben der Halobienindex berechnet. Dabei werden die prozentualen Häufigkeiten der Arten zunächst in Abundanzwerte umgewandelt und dann der Halobienindex anhand des Verhältnisses von salzliebenden (halophile, mesohalobe und polyhalobe) zu salzmeidenden (haloxene) Arten berechnet (Tab. 5).

Tab. 5: Umwandlung der prozentualen Häufigkeiten in Abundanzwerte.

Prozentuale Häufigkeit	Abundanz
$\leq 1,0 \%$	2
$> 1,0 \%$ und $< 2,5 \%$	3
$> 2,5 \%$ und $< 10,0 \%$	5
$> 10,0 \%$ und $< 25,0 \%$	7

> 25,0 %	9
----------	---

Berechnung des Halobienindex (H) nach Ziemann et al. (1999)

$$H = \frac{\sum h_H - \sum h_x}{\sum h} * 100$$

$\sum h_H$ = Abundanzsumme der halophilen, mesohaloben u. polyhaloben Taxa

$\sum h_x$ = Abundanzsumme der haloxenen Taxa

$\sum h$ = Abundanzsumme aller in der Probe vorhandenen Taxa

Werte um 0 kennzeichnen typische Süßgewässer, negative Indizes salzarme – zumeist elektrolytarme und/oder saure – Gewässer. Werte zwischen +10 und +30 weisen auf einen erhöhten Salzgehalt hin. Bei +30 beginnt der Bereich mäßiger Versalzung, bei +50 die Zone starker Versalzung. Überschreitet der berechnete Halobienindex einen Wert von 15 wird der berechnete ökologische Zustand um eine Qualitätsklasse abgestuft. Bei Vorliegen von Teilbewertungen der Makrophyten und des PoD, wird diese Abstufung erst nach Verschneidung aller drei Teilkomponenten vorgenommen.

Im Rahmen der abschließenden gutachterlichen Expertise ist darauf zu achten, dass das Modul „Halobienindex“ in natürlich salzhaltigen Gewässern (z.B. tide-beeinflusste Fließabschnitte oder natürliche Salzquellen im Einzugsgebiet) als Bestandteil der Bewertung nicht berücksichtigt wird.

Berechnung des Diatomeenindex Fließgewässer (DI_{FG})

Die Gesamtbewertung der Teilkomponente Diatomeen erfolgt durch Verschneiden der Module „Artenzusammensetzung und Abundanz“ und „Trophie-Index und Saprobienindex“ zum Diatomeenindex Fließgewässer (DI_{FG}). Zu diesem Zweck müssen die errechneten Werte der beiden Module zunächst auf eine Wertespanne zwischen 0 und 1 skaliert werden.

Umrechnung Modul „Artenzusammensetzung und Abundanz“

$$M_{ASR} = \frac{\sum_{i=1}^n RA_i}{100}$$

M_{ASR} = Modul „Abundanzsumme Referenzarten“

A_i = Abundanz der Referenzart

n = Gesamtzahl der Referenzarten

Umrechnung Modul „Trophie-Index“ (Diatomeentypen 1 bis 12)

$$M_{TI} = 1 - ((TI - 0,3) / 3,6)$$

M_{Ti} = Modul „Trophie-Index“

TI = berechneter Trophie-Index

Umrechnung des Saprobienindex (Diatomeentyp 13)

$$M_{SI} = 1 - ((SI - 1) / 2,8)$$

M_{Si} = Modul „Saprobienindex“

SI = berechneter Saprobienindex

Zur Berechnung des DI_{FG} wird die Summe der beiden Bewertungsmodule arithmetisch gemittelt.

Berechnung des DI_{FG} für die Diatomeentypen 1 bis 12

$$DI_{FG} = \frac{M_{ASR} + M_{TI}}{2}$$

M_{ASR} = Modul „Abundanzsumme Referenzarten“

TI = berechneter Trophie-Index

Berechnung des DI_{FG} für den Diatomeentyp 13

$$DI_{FG} = \frac{M_{ASR} + M_{SI}}{2}$$

M_{ASR} = Modul „Abundanzsumme Referenzarten“

SI = berechneter Saprobienindex

Ermittlung der ökologischen Zustandsklasse

Der $DIFG$ kann anhand von Tabellen typspezifisch den ökologischen Zustandsklassen zugeordnet werden (Tab. 6).

Tab. 6: Zuordnung des Diatomeenindex zu den ökologischen Zustandsklassen am Beispiel der silikatisch geprägten Bäche und kleinen Flüssen der Mittelgebirge (Diatomeentypen 5, 6 und 7).

Ökologischer Zustand	D 5 FG des Buntsandsteins und Grundgebirges mit EZG < 100 km ²	D 6 FG der Vulkangebiete mit EZG < 100 km ²	D 7 FG des Buntsandsteins und Grundgebirges mit EZG > 100 km ² und < 1000 km ²
sehr gut	1,00 – 0,67	1,00 – 0,61	1,00 – 0,61
gut	0,66 – 0,43	0,60 – 0,40	0,60 – 0,40
mäßig	0,42 – 0,24	0,39 – 0,24	0,39 – 0,24
unbefriedigend	0,23 – 0,08	0,23 – 0,08	0,23 – 0,08
schlecht	0,07 – 0,00	0,07 – 0,00	0,07 – 0,00

Kriterien für eine gesicherte Bewertung

Um Störgrößen auszuschließen, die die Bewertung nachteilig beeinflussen, sind verschiedene Sicherungskriterien implementiert, die von der PHYLIB-Software berechnet werden. Ist eines der Kriterien erfüllt, gilt die Bewertung der Teilkomponente Diatomeen als ungesichert und wird bei der Gesamtbewertung der Komponente, bestehend aus Diatomeen, Makrophyten und PoD, nicht berücksichtigt.

Sicherungskriterium „Bestimmungstiefe“

Um eine hohe Sicherheit der Bewertung zu gewährleisten, darf der Summenanteil nicht bestimmter Formen (non det.), nur auf unzureichendem Gattungsniveau bestimmter (sp., spp.) und unsicher bestimmter Taxa (cf., aff.) maximal 5% betragen. Wird dieser Wert überschritten, gilt die Bewertung als ungesichert.

Sicherungskriterium „Gesamthäufigkeit“

Durch Berechnung der prozentualen Summenhäufigkeit aller im Präparat erfassten Taxa, wird jede Probe auf Vollständigkeit und Eingabefehler der Artenliste überprüft. Ist die Prozentsumme < 98% oder > 102 %, wird die Probe von der Bewertung ausgeschlossen.

Sicherungskriterium „Anteil planktischer Diatomeen“

Im PHYLIB-Verfahren werden ausschließlich benthisch oder überwiegend benthisch lebende Diatomeen erfasst. Um Verfälschungen durch bei der Zählung erfasste planktische Taxa zu vermeiden, wird die Artenliste jeder Probe von der PHYLIB-Software auf Vorkommen von

Planktern hin überprüft. Überschreiten diese einen Anteil von 5 %, wird die Bewertung als ungesichert ausgegeben.

Sicherungskriterium „Anteil aerophiler Arten“

Ein weiteres Ausschlusskriterium stellt eine hohe Zahl aerophiler Diatomeen in der Probe dar, die sich durch Fehler bei der Probenahme, z. B. in der Wellenschlagzone großer Flüsse und Ströme oder bei steigenden Abflüssen durch Beprobung erst kürzlich überfluteter Bereiche ergeben kann. Übersteigt der Anteil aerophiler Taxa den Wert von 5 %, muss von einem starken aerischen Einfluss ausgegangen werden, der die Bewertung beeinflusst oder sogar überlagert. Die Bewertung gilt in diesem Fall als nicht gesichert.

Gutachterliche Expertise

Die Bewertung der ökologischen Qualität durch das PHYLIB-Tool ist abschließend gutachterlich auf ihre Plausibilität hin zu überprüfen. Dabei sind die im Rahmen der Probenahme protokollierten Daten, weitere Gegebenheiten des Gewässerumfeldes sowie natürliche Einflussgrößen zu berücksichtigen.