



Bewertung von Seen mit Hilfe chemisch-physikalischer Parameter

- Seetypspezifische Hintergrund- und Orientierungswerte für Gesamtphosphor

Seenbewertung gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie

- Stand 12. Januar 2010 -

Erstellt im Rahmen der LAWA-Projekte Nr. O5.05/O3.06/O7.08 und O9.08
und des Länderfinanzierungsprogramms "Wasser, Boden und Abfall" 2006-2009.

Bearbeiter:

Dipl. Biol. Ursula Riedmüller, LBH, Freiburg

Dipl. Biol. Eberhard Hoehn, LBH, Freiburg

Dr. Ute Mischke, IGB Berlin

Fachliche Begleitung:

LAWA-Expertenkreis "Seen" unter Leitung von **Dr. Jochen Schaumburg** (Bayerisches Landesamt für Umwelt) und **Gudrun Plambeck** (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein).

Inhalt:

1	Typisierung von Seen in Deutschland hinsichtlich Trophie des Pelagials und Phytoplankton.....	2
2	Hintergrund- und Orientierungswerte für Gesamtphosphor im Referenzzustand und im guten ökologischen Zustand.....	3
3	Mögliche Gründe für das individuelle Abweichen von Seen von den typspezifischen Gesamtphosphor-Wertebereichen	5
4	Literatur.....	6

1 Typisierung von Seen in Deutschland hinsichtlich Trophie des Pelagials und der Biokomponente Phytoplankton

Die Referenztrophie von Seen ist von zahlreichen Faktoren wie z.B. der Seetiefe, dem Volumen des Seewasserkörpers, der Einzugsgebietsgröße und der Zuflüsse abhängig. Um bei der Ermittlung der Referenztrophie den einzelnen Seen gerecht zu werden und angemessene Sanierungsziele zu formulieren, ist eine ausreichend differenzierte Typologie notwendig. Nicht für alle zu bewertenden Seen liegen verlässliche Angaben z.B. über Einzugsgebietsgröße oder die Zuflüsse vor. In Seenketten, Altarmen oder nur episodisch angebundenen Altwässern größerer Flüsse stellen die bestehenden Typisierungskriterien möglicherweise keine sinnvollen Größen dar.

Tabelle 1: Seetypeneinteilung nach LAWA (MATHES *et al.* 2002), Phytoplankton (PP)-Subtypen nach MISCHKE *et al.* (2008) sowie PP-Mittelgebirgstypen nach HOEHN *et al.* (2009).

PP See- Subtyp	Typisierungskriterien nach MATHES <i>et al.</i> (2002), MISCHKE <i>et al.</i> (2008), HOEHN <i>et al.</i> (2009)					Hilfsgrößen für die Typisierung	
	Öko- region	Kalkgehalt	Schich- tung	VQ-Kriterium (VQ in m ² /m ³) und mittlere Tiefe	Wasser- aufenthaltszeit nach MATHES <i>et al.</i> (2002)	Wasseraufenthaltszeit nach SCHÖNFELDER (2006)	mittlere Tiefe (m) (Typisierungskriterium der europäischen Inter- kalibration)
1	Alpen	kalkreich	polym.	alle VQ, Voralpenseen			(≤ 3 m) nicht alle Seen des Typs 1 sind sehr flach
2+3	Alpen	kalkreich	gesch.	alle VQ, Voralpenseen			3-15 m
4	Alpen	kalkreich	gesch.	alle VQ, Alpenseen			> 15 m
5	MG	kalkreich	gesch.	VQ > 1,5			
6.1	MG	kalkreich	polym.	alle VQ			
6.2	MG	kalkarm	polym.	alle VQ			
7	MG	kalkreich	gesch.	VQ ≤ 1,5			
8	MG	kalkarm	gesch.	VQ > 1,5			
8.5	MG	kalkarm	gesch.	alle VQ	durch Huminstofffärbung geprägte Seen der Typen 8 und 9 Vorläufige Kriterien: SAK 254 nm > 5 und/oder Biozönose durch fakultativ heterotrophe – mixotrophe - Phytoplanktontaxa dominiert, z.B. <i>Gymnodinium uberrimum</i>		
9	MG	kalkarm	gesch.	VQ ≤ 1,5			
10.1	TL	kalkreich	gesch.	VQ > 1,5 und < 15		1-10 a	
10.2	TL	kalkreich	gesch.	VQ > 15		0,1-1 a	
13	TL	kalkreich	gesch.	VQ ≤ 1,5		1-10 a und 10-100 a	
11.1	TL	kalkreich	polym.	VQ > 1,5	> 30 d	1-10 a	
11.2	TL	kalkreich	polym.	VQ > 1,5 und mittlere Tiefe ≤ 3 m	> 30 d	0,1-1 a	
12	TL	kalkreich	polym.	VQ > 1,5, mittlere Tiefe größer oder kleiner 3 m	3-30 d	3-30 d	
14	TL	kalkreich	polym.	VQ ≤ 1,5	> 30 d	> 10 a	

gesch. = geschichtet, polym. = polymiktisch, VQ = Volumenquotient (Einzugsgebiet/Seevolumen in m²/m³), a = Jahr, IC = europäische Interkalibration)

In Tabelle 1 sind sowohl die Kriterien der LAWA-Typisierung nach MATHES *et al.* (2002) als auch zusätzliche Unterscheidungen für die Phytoplanktonbewertung nach HOEHN *et al.* (2009) und MISCHKE *et al.* (2008) sowie Hilfskriterien zusammengestellt. In Grenzfällen oder z.B. bei unbekannter Einzugsgebietsgröße (→ kein VQ berechenbar) kann die zusätzliche Anwendung der Hilfskriterien 'mittlere Tiefe' oder 'Wasseraufenthaltszeit' zu einer passenden Typeinstufung führen.

Zur Bewertung von Seen mit Phytoplankton wurden insbesondere bei den Tieflandseen weitere Subtypen gebildet. Bei den polymiktischen Seen des Typs 11 werden der weniger flache Typ 11.1 und der sehr flache Typ 11.2 unterschieden (s. Tabelle 1), da in letzterem die Trophie im Referenzzustand deutlich höher liegen kann. Im geschichteten Typ 10 wird nochmals nach kleinerem und größerem VQ unterschieden, da aus den großen Einzugsgebieten eine deutlich höhere Nährstoffbelastung eingetragen werden kann.

MISCHKE *et al.* (2008 und 2009) und HOEHN *et al.* (2009) ermittelten auf Basis von Trophieklassifizierung (u.a. mit LAWA-Index 1999, 2001, 2003) sowie Referenzseen im ökoregionalen Bezug im In- und Ausland und Expertenmeinung in den Bundesländern für alle Seesubtypen eine Referenz-trophie. Die Lage der Referenz-trophie im Trophiespektrum wird mit dem LAWA-Index bzw. in dessen Skala ausgedrückt (s. Tabelle 2 und Tabelle 3).

Die Vorstellungen über die seetypspezifische Referenz-trophie wurden anhand des Phytoplanktons und der Freiwasser- (Pelagial-) Parameter abgeleitet und gelten umgekehrt auch nur für den pelagische Zone eines Sees.

Tabelle 2: Skala und Wertebereiche des LAWA-Index (1999), trophische Zuordnung und Abkürzungen. Der mesotrophe Status wird nach MISCHKE *et al.* (2008) abweichend von LAWA (1999) für die Phytoplanktonbewertung in die zwei Unterklassen mesotroph 1 und mesotroph 2 geteilt.

PTSI/LAWA-Index)	Trophieklasse	Abkürzung
< 1,5	oligotroph	ol
> 1,5 – 2,0	mesotroph 1	meso 1
> 2,0 – 2,5	mesotroph 2	meso 2
> 2,5 – 3,0	eutroph 1	eu 1
> 3,0 – 3,5	eutroph 2	eu 2
> 3,5 – 4,0	polytroph 1	poly 1
> 4,0 – 4,5	polytroph 2	poly 2
> 4,5	hypertroph	hyper

2 Hintergrund- und Orientierungswerte für Gesamtphosphor im Referenzzustand und im guten ökologischen Zustand

Auf Basis des Bewertungsverfahrens sowie auf den in den Projekten entstandenen Seendatenbanken (HOEHN *et al.* 2009, MISCHKE *et al.* 2009) wurden die Referenzzustände und entsprechende Klassengrenzen des Gesamtphosphors abgeleitet. Die Übergangsbereiche des Gesamtphosphors sind aus den Phytoplankton- und Trophiedaten der Seen in den Subtypen abgeleitet. Die Vorstellungen über Referenzzustände in den Seentypen und deren TP-Konzentrationen sind immer noch in der Diskussion und verändern sich fortlaufend unter Berücksichtigung von

- neuen Seendaten und paläolimnologischen Erkenntnissen
- Veränderungen in der Seentypologie
- Auswertungen und Plausibilisierung auf Länderebene sowie entsprechende Anregungen aus den Bundesländern
- Vorstellungen und Erkenntnisse in den europäischen Nachbarstaaten.

Darüber hinaus besteht ein Erweiterungsbedarf für die Hintergrund- und Orientierungswerte für die in der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU 2000) genannten physikalisch-chemischen Parameter Sichttiefe, Temperaturverhältnisse, Sauerstoffhaushalt, Salzgehalt, Versauerungszustand und Nährstoffverhältnisse insbesondere Stickstoff.

Die in Tabelle 3 aufgeführten "Grenzbereiche" beziehen sich auf die Kenngröße "Gesamtphosphor in der Vegetationsperiode" (Saisonmittelwert) – je nach Höhenlage und Witterung März/April bis Oktober/November. Für die Einstufung sollten mindestens 3, besser 6 oder mehr plausible Messwerte in repräsentativer zeitlicher Verteilung vorliegen. Auf "Grenzwerte" wurde beim Gesamtphosphor bewusst verzichtet, da die angegebenen Übergangsbereiche den beobachteten Auslenkungen in den Seen der Seetypgruppen gerechter werden.

Tabelle 3: Für den jeweiligen See-Subtyp spezifische Klassen-Grenzbereiche des Referenzzustands oder sehr guten und des guten ökologischen Zustands für den Parameter Gesamtphosphor als Mittelwert der Vegetationsperiode von (März)/April bis Oktober/(November).

Ökoregion	LAWA Seetyp (MATHES <i>et al.</i> 2002)	PP-See- Subtypen oder Typgruppen	Maximaler Trophiestatus im Referenzzustand bzw. LAWA-Index	Grenzbereiche Gesamtphosphor – Saisonmittel (µg/L)	
				Obergrenze Referenz- zustand bzw. sehr gut/gut- Grenze	gut/mäßig- Grenze
Voralpen	1	1 (in Test, nur 4 Seen in DB)	mesotroph 1 1,75	(10-15)	(20-30)
Voralpen	2, 3	2+3	mesotroph 1 1,75	10-15	20-30
Alpen	4	4	(sehr) oligotroph 1,25	6-8	9-12
Mittelgebirge	5, 7	5+7	mesotroph 1 1,75	9-12	18-25
Mittelgebirge	6	6.1	mesotroph 2 2,5	25-35	45-65
Mittelgebirge	6	6.2	mesotroph 2 2,25	20-35	40-60
Mittelgebirge	8, 9	8+9 +8.5***	oligotroph 1,5	8-10	14-18
Tiefland	10	10.1	mesotroph 1 2,0	20-35	35-45
Tiefland	10	10.2	mesotroph 2 2,25	25-40	40-55
Tiefland	11	11.1	mesotroph 2 2,5	25-45	45-65
Tiefland	11	11.2*	eutroph 1 2,75	30-45	45-70
Tiefland	12	12**	eutroph 2 3,25	40-60	60-90
Tiefland	13	13	mesotroph 1 1,75	15-25	25-35
Tiefland	14	14	mesotroph 2 2,25	20-35	40-60

*Im sehr flachen Seetyp 11.2 (IC-Typ LCB 2) können im Referenzzustand und in weitgehend unbelasteten Seen Phosphorrücklösungsprozesse zu einem Ausscheren der Konzentrationen aus den beschriebenen Regelbereichen führen.

**Flussseen mit hoher Retentionsleistung (z.B. am Beginn einer Seenkette) können sehr hohe Trophiezustände im Referenzzustand aufweisen, welche z.T. weit in den eutrophen Status hineinreichen. Die Gesamtphosphorkonzentrationen können in diesen Seen zwischen 40 und rund 100 µg/L im Sommermittel liegen.

***In stark durch Huminstoffe geprägten Seen können höhere TP-Werte insbesondere durch degradierte Moore im Einzugsgebiet auftreten.

3 Mögliche Gründe für das individuelle Abweichen von Seen von den typspezifischen Gesamtphosphor-Wertebereichen

Die in der Tabelle 3 genannten Wertebereiche beziehen sich auf einen Großteil der Seen in den Teilstichproben der See-Subtypen. In den im Referenzzustand oligo- bis schwach mesotrophen See-Subtypen wie z.B. die Alpenseen Typ 4 oder der Tieflandtyp 13 (vgl. den maximalen Trophiestatus im Referenzzustand in Tabelle 3) sind die TP-Grenzbereiche der sehr gut/gut-Grenze relativ eng gefasst. In diesen Trophiebereichen besteht in der Regel eine enge Kopplung und zuverlässige Korrelation zwischen TP und realisierter Planktonbiomasse. Ab TP-Konzentrationen von rund 30 µg/L im Saisonmittel nimmt die Streuung stark zu und die Seen können z.T. unerwartet hohe Biomassen ausbilden. Hieraus ergeben sich die weiteren Grenzbereiche bei im Grundzustand eutrophen See-Subtypen und bei den gut/mäßig-Grenzen.

In einigen Fällen können spezielle Bedingungen eine ausgeprägte Individualität eines Sees verursachen. Abweichungen können z.B. bei folgenden Seen auftreten:

- Durch Makrophyten dominierte oder beeinflusste Seen, deren Phytoplanktongesellschaft durch eine hohe Präsenz von Makrophyten gehemmt wird und welche dementsprechend geringe Phytoplanktonbiomassen bei vergleichsweise hohen Gesamtphosphorwerten aufweisen.
- Seen, die aufgrund von Eutrophierungsprozessen in der Vergangenheit nährstoffbelastete Sedimente und entsprechende Rücklösungsprozesse aufweisen.
- Seen, die aufgrund ihrer Lage in Seenketten eine höhere Retentionsleistung vollbringen und natürlicherweise höhere Sedimentbelastungen aufweisen, welche schichtungs- und witterungsbedingt remobilisiert werden können. Dies trifft z.B. auf Flach- und Flusseen zu, welche sich am Beginn einer Seenkette befinden (vgl. SCHÖNFELDER 2004) sowie auf Altarme größerer Ströme.
- Seen, deren Schichtungsverhalten labil ist und die witterungsbedingt z.B. bereits im Sommer durchmischen und auf diese Weise eine sedimentbürtige Nährstoffhöhung in der Wassersäule erleiden. In diesem Fall liegt ein möglicherweise nur temporärer Seetypwechsel vor und eine differenziertere Betrachtung wird notwendig. Ähnliche Vorgänge treten auch in Talsperren bei Stauzielabsenkungen auf. Oft treten nach einer vorzeitigen sommerlichen Durchmischung bei guter Witterung im Herbst nochmals Biomassemaxima auf, welche in ihrer Höhe mit der Frühjahrsblüte vergleichbar sind.
- Seen, deren Verweilzeit und Zuflusswassermengen sich z.B. innerhalb eines Jahres stark verändern und einen schwankenden Einzugsgebietseinfluss sowie stark schwankende Retentionszeiträume und -raten besitzen.
- Wasserkörper, deren typologische Einstufung sich nur auf ein Teilbecken des Sees bezieht und die Repräsentativität des Messpunktes deshalb möglicherweise nur zum Teil gegeben ist.
- In der jüngeren Vergangenheit sanierte Seen, deren Nährstoffbelastung stark zurückgegangen ist und deren Phytoplanktonbiozönose jedoch noch auf vergleichsweise hohem Trophieniveau verharrt und z.B. durch für das Zooplankton schlecht fressbare Algen bestimmt wird.
- Stark huminstoffgeprägte Seen, in deren Einzugsgebiet degradierte Mooregebiete liegen, welche einen erhöhten Phosphoraustrag verursachen können.
- Seen, deren Nahrungsnetze durch einen hohen Weißfischanteil und eine durch übermäßigen Fraß beeinflusste Zooplanktonbesiedlung gekennzeichnet sind und dadurch überdurchschnittliche Algenbiomassen im Verhältnis zur Phosphorkonzentration aufweisen können. Darüber hinaus kann aufgrund veränderter Selektionsbedingungen die Zusammensetzung der Algengesellschaft verändert sein. Solche Seen können unter Umständen den guten ökologischen Zustand für die Phytoplanktonbewertung nicht erreichen, obwohl die TP-Konzentrationen die Orientierungswerte des guten Zustands einhalten.

4 Literatur

- HOEHN, E., RIEDMÜLLER, U., LEBMANN, D. & NIXDORF, B. (2009): Ökologische Bewertung von künstlichen und erheblich veränderten Seen sowie Mittelgebirgsseen anhand der biologischen Komponente Phytoplankton nach den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Bewertungsmodul für Mittelgebirgsseen und Verfahrensanpassungen für Baggerseen, pH-neutrale Tagebauseen, Talsperren und Sondertypen im Tiefland. Endbericht LAWA-Projekt-Nr.: O 3.06. 96 S. Download über www.gewaesserfragen.de.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (1999): Gewässerbewertung - Stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien. Kulturbuchverlag Berlin. 74 S.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2001): Gewässerbewertung - Stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für die Trophieklassifikation von Talsperren. Kulturbuchverlag Berlin. 43 S.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2003): Gewässerbewertung - Stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von Baggerseen nach trophischen Kriterien. Kulturbuchverlag Berlin. 27 S.
- MATHES, J., G. PLAMBECK & J. SCHAUMBURG (2002). Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. In: NIXDORF, B. & R. DENEKE (Hrsg.), Ansätze und Probleme bei der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. BTU Cottbus *Aktuelle Reihe* 5/02: 15-24.
- MISCHKE, U., RIEDMÜLLER, U., HOEHN, E. & NIXDORF, B. (2008): Praxistest Phytoplankton in Seen. Endbericht zum LAWA-Projekt (O 5.05). Berlin, Freiburg, Bad Saarow im Februar 2008. Gewässerreport 10, BTU Cottbus *Aktuelle Reihe* 2/08: 7-146.
- MISCHKE, U., RIEDMÜLLER, U., HOEHN, E. & NIXDORF, B. (2009): Abschlussbericht zum Feinabstimmungsprojekt zum deutschen Bewertungsverfahren für Phytoplankton in Seen zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. LAWA O 9.08, 06.05.2009 IGB Berlin. 79 S.
- SCHÖNFELDER, I. (2004): Paläolimnologische Leitbildkonstruktion und biozönotisch basierte Bewertungsansätze für Flusseen am Beispiel der Diatomeen. Abschlussbericht im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel. 54 S. zzgl. Anhang.
- SCHÖNFELDER, J. (2006): Arbeitspapier "Referenzzustände der diatomeenbasierten Seetypen Norddeutschlands nach trophischen Kriterien" (Jörg Schönfelder, 2006). 1 S.