

Dietmar Mehl, Tim G. Hoffmann, Marc Schneider, Matthias Knüppel, Wibke Baumgarten und Henning Giese

Konzeptstudie für den Schaalsee (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern).

II. Phosphorretention, Gesamtbilanz, Reduktionsziele, Maßnahmen

Concept study of lake Schaalsee (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Western Pomerania).
II. Phosphorus retention, total balance, reduction targets, measures

Inhaltlich anschließend an den Beitrag von MEHL et al. (2016) werden in diesem Beitrag weitere Ergebnisse einer Konzeptstudie zur Verbesserung des ökologischen Zustandes des Schaalsees vorgestellt. Schwerpunkte der Studie bilden die Analyse der Belastung des Sees mit Gesamt-Phosphor (P) und die Ableitung geeigneter P-Minderungsmaßnahmen. Im Fokus dieses Artikels stehen die Abschätzung der landschaftlichen Gesamt-P-Retention, die Analyse des Gesamt-P-Austrages aus dem See (P-Export), eine Gesamt-P-Bilanz, die Zieldefinition (P-Reduktionsziele) sowie die Maßnahmenableitung und -auswahl.

Die Reduktions-/Sanierungszielstellungen in Bezug auf Gesamt-P werden am Bewirtschaftungsziel „guter Zustand“ der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) für den Schaalsee ausgerichtet, was auch auf naturschutzfachliche und -rechtliche Erfordernisse des Schutzes und der Verbesserung nährstoffsensibler Lebensräume abgestimmt ist. Zur Identifikation und Priorisierung geeigneter Maßnahmen einer P-Belastungsminderung wurde ein durch einen Algorithmus gestütztes Vorgehen gewählt, das ausführlich vorgestellt wird. Im Ausblick wird auf die bereits laufenden regionalen Aktivitäten zur Konzeptumsetzung hingewiesen.

Schlagwörter: Maßnahmen, Phosphorretention, Reduktionsziele, See, WRRL

Linked to the contents of the paper by MEHL et al. (2016), this paper deals with further results of a concept study designed to improve the ecological condition of lake Schaalsee. Main topics of the study are the analysis of the lake's pollution with total Phosphorus (P) and the deduction of useful P-minimising measures. The paper focuses on the estimation of the landscaped P-retention, the analysis of the total-P-output from the lake (P-export), total-P-balance, definition of goals (P-reduction goals) as well as deduction and selection of actions. The goals for reducing and stabilising total-P are aimed at complying with the WFD-target "good status" of lake Schaalsee. In the process, nature conservation efforts and the respective provisions are complied with while striving for an improvement of nutrient sensitive habitats. In order to identify and prioritise useful measures to minimise P-pollution, an algorithm-based approach has been chosen, which will be explained in detail. The outlook refers to ongoing regional activities to implement the concept.

Keywords: Lake, measures, reduction targets, retention of phosphorus, WFD

1 Ein- bzw. Überleitung

Im Auftrag des Gewässerentwicklungsverbandes Schaalsee-Delvenau wurde eine durch EU-, Bundes- und Landesmittel geförderte und auf Maßnahmen zielende Konzeptstudie zur Verbesserung des ökologischen Zustandes des Schaalsees erarbeitet (BIOTA 2015). Der Beitrag schließt an den ersten Beitrag von MEHL et al. (2016) an, wo bereits neben einer thematischen Einführung eine Charakterisierung des Untersuchungs- bzw. Einzugsgebietes (EZG), die Vorstellung der verwendeten Grundlagendaten und der Ergebnisse eines Messprogramms zu Gesamt-Phosphor-(P)-Frachten in Zuflüssen und Dränabläufen sowie die Darstellung der Analyse des mittleren jährlichen Gesamt-P-Austrages im Einzugsgebiet nach Quellen und des mittleren jährlichen Gesamt-P-Eintrages in den See nach Eintragspfaden erfolgten.

Im Folgenden sollen vorgestellt werden:

1. Abschätzungen zur P-Retention (Gesamt-P)
2. Zusammenführung aller Teilergebnisse von P-Austrag (EZG), P-Eintrag (See), P-Retention (EZG), P-Export (See) zu einer Gesamtbilanz (Gesamt-P)

3. Ableitung der Reduktions-/Sanierungszielstellungen
4. Maßnahmenidentifikation, -priorisierung und -planung

2 Phosphor-Retention

Aus der summarischen Gegenüberstellung der mittleren Jahreswerte (Gesamt-P) von P-Austrag (Summe über alle Quellen im Schaalsee-EZG) und P-Eintrag (Eintragssumme in den Schaalsee) kann auf die Größenordnung der mittleren Gesamt-P-Retention im oberirdischen Gewässersystem und im Untergrund (Boden, tieferer Untergrund und Grundwasser) geschlossen werden (MEHL et al. 2016):

$$7.479 \text{ kg P *a}^{-1} \text{ (P-Austrag)} - 3.681 \text{ kg P *a}^{-1} \text{ (P-Eintrag)} = 3.798 \text{ kg P *a}^{-1} \text{ (P-Retention)}$$

Damit beträgt die mittlere landschaftliche Retention ca. 50 % des Gesamt-P-Austrags im Einzugsgebiet. Einzelne P-Quellen sind als Direkteinträge wirksam; sie unterliegen praktisch keiner Retention. Insofern ist die nähere Betrachtung der Retention nur für den Grundwasserpfad und den Pfad oberirdische Gewässer möglich

und sinnvoll. Eine entsprechende Abschätzung wird in Tabelle 1 vorgenommen (Verortung der Gewässer und Messstellen in Abb. 1).

In DWA (2012) wird orientierend ein Mittelwert der P-Retention in Bächen und Flüssen in Höhe von 50 % ± 10 % angegeben. Für das Schaalseegebiet wurde die mittlere Retention von Gesamt-P für den Eintragspfad oberirdische Gewässer mit ca. 64 % für den Messzeitraum abgeschätzt (Tab. 1). Damit liegen die ermittelten Werte leicht höher als die Literaturangaben. Dies ist aber aus folgenden Gründen plausibel:

- die Fließgeschwindigkeiten der Fließgewässer im Schaalseegebiet und ihre Transportleistung für Phosphor sind tieflandspezifisch vergleichsweise gering
- im Gewässersystem sind zahlreiche Standgewässer und Moore (Stoffsenken) integriert

Die Ergebnisse zur P-Retention für den Eintragspfad oberirdische Gewässer zeigen auch, dass eine große räumliche Heterogenität besteht. Sehr bedeutsam ist u.a. die festgestellte, sehr geringe Retention im vergleichsweise großen EZG des Goldenseebachs, die vor allem durch den Verlust der Senkenfunktion des Goldensees erklärt werden kann. Dieser See belastet den Schaalsee offensichtlich zusätzlich durch ein hohes P-Rücklösungspotenzial des Sediments (IHU 2009, GIG 2011). Der Goldensee ist mit einer mittleren Tiefe von knapp über 4 m ein flacher See. Dabei besitzt er eine Seefläche von 102 ha (IHU 2009). Das P-Rücklösungspotenzial unterhalb von 5 m Wassertiefe (ca. 37 ha Sedimentoberfläche, mittlere P-Rücklösung: 11,6 mg m⁻² d⁻¹) wurde bei IHU (2009) mit 1.562 kg P * a⁻¹ ermittelt. Der resultierende Gesamt-P-Export des Goldensees Richtung Schaalsee, berechnet über den Gesamt-P-Jahresmittelwert des Epilimnions und die theoretische Wassererneuerungszeit, wurde bei IHU (2009) letztlich mit 440 kg P * a⁻¹ abgeschätzt.

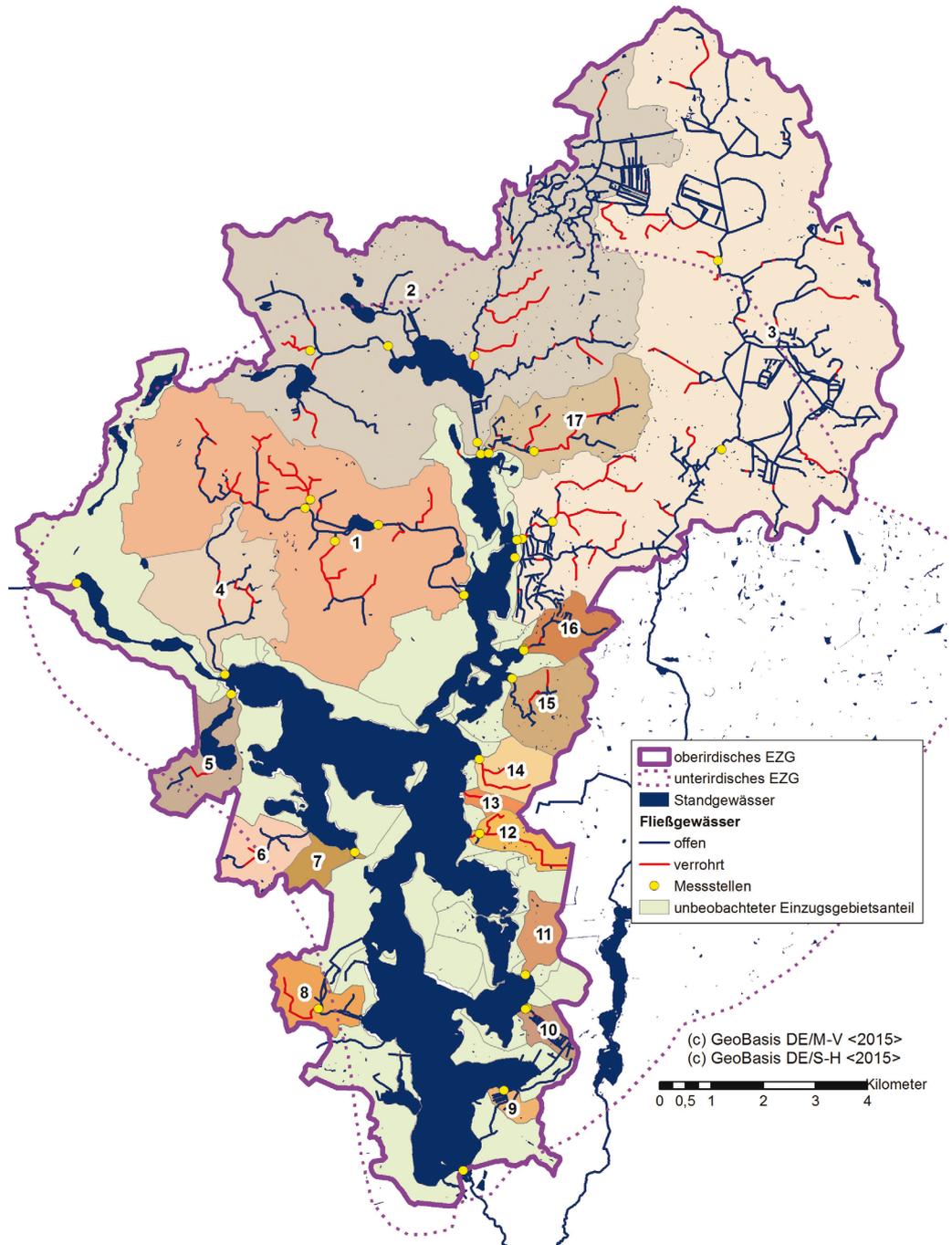


Abbildung 1

Verortung der herangezogenen Gewässermessstellen (GIG 2011, BIOTA 2015) zur Abschätzung der Retention in Tabelle 1

Location of the hydrological measuring points (GIG 2011, BIOTA 2015) for estimation of retention in Table 1

Die mittlere Retention von Gesamt-P für den Grundwasserpfad wurde für den Betrachtungszeitraum mit ca. 56 % berechnet (Tab. 1). Von gleicher Größenordnung gingen bereits BEHRENDT et al. (1999) im Modell MONERIS aus (50 % P-Retention im Grundwasser).

3 Phosphor-Gesamtbilanz

Da auch ein bedeutsamer Austrag von Gesamt-P aus dem Schaalsee relevant ist, war dieser als P-Export zu erfassen. Hier wurde

Tabelle 1
Abschätzung der Gesamt-P-Retention aus der Gegenüberstellung von P-Austrag und P-Eintrag
Estimation of total-P-retention by comparison of P-output and P-input

	Nr.	Name/Bezeichnung	EZG	P-Austrag (EZG)	P-Retention		P-Eintrag (See)	Datengrundlage P-Eintrag
			km ²	kg *a ⁻¹	kg *a ⁻¹	%	kg *a ⁻¹	
Oberirdische EZG (ohne Seefläche)	1	Kittlitzer Bach	20,3	474	374	79	100	Messung
	2	Goldenseebach	33,9	872	297	34	575	Messung
	3	Kneeser Bek	44,8	803	707	88	96	Messung
	4	Krukenbek	4,94	13	3	24	10	Messung
	5	Ablauf Seedorfer Küchensee	2,40	29	17	59	12	Messung
	6	Graben am Zuckerhut	1,76	76	46	60	30	Berechnung
	7	Graben Gut Großzecher	0,820	8	6	77	2	Messung
	8	Graben bei Marienstedt	1,74	27	-	-	41	Messung
	9	Graben Badestelle Schaliss	1,37	6	3	60	2	Berechnung
	10	Wiesengraben nördlich Schaliss	0,425	2	-	-	4	Messung
	11	Kranichhofwiesen	0,430	2	1	60	1	Berechnung
	12	Sammler Süd	1,20	12	-	-	25	Messung
	13	Sammler Mitte	0,363	3	2	60	1	Berechnung
	14	Sammler Nord	1,30	173	171	99	2	Messung
	15	Graben nördlich Hakendorf	2,37	20	11	55	9	Messung
	16	Graben nördlich Bernstorf	1,41	11	4	34	8	Messung
	17	Graben durch Dutzow	4,28	36	30	81	7	Messung
		Restliches oberirdisches Einzugsgebiet	32,4	388	233	60	155	Berechnung
		Oberirdisches Einzugsgebiet (ohne Seefläche)	156	2.955	1.905	64	1.079	Summe/Mittelwert
Unterirdisches EZG		Unterirdisches Einzugsgebiet (ohne Seefläche)	190	3.463	1.947	56	1.516	Berechnung, Messung und Modellierung

in allen Pfaden des P-Exportes aus dem Schaalsee den Angaben nach GIG (2011) gefolgt (Tab. 2). Danach liegt der P-Export bei 1.991 kg P *a⁻¹, wovon ca. 73 % (1.462 kg P *a⁻¹) durch den Abfluss über den Schaalseekanal realisiert werden. Der übrige P-Export vollzieht sich zurzeit nahezu vollständig über den Grundwasserabstrom (419 kg P *a⁻¹ bzw. 21 %).

Auf der Grundlage aller bereits bei MEHL et al. (2016) sowie den oben stehenden Abschätzungen kann eine Gesamtbilanz (Gesamt-P) für den Schaalsee bzw. das Einzugsgebiet des

Schaalsees aufgestellt werden (Abb. 2). Nach dieser Bilanz ist von einem Gesamt-P-Eintrag in den See in Höhe von 3.681 kg P *a⁻¹ bei einem Gesamt-P-Export aus dem See in Höhe von 1.991 kg P *a⁻¹ auszugehen. Damit beträgt die Restgröße (Verbleib im See) 1.690 kg P *a⁻¹.

4 Reduktions-/Sanierungszielstellungen

Nach den Kriterien der WRRL ist der Schaalsee gegenwärtig in seinen zentralen Seeteilen als mäßig eingestuft (LLUR 2014), wofür die anthropogen erhöhte P-Belastung (Trophiestufe) maßgebend ist. Rechtlich sind die Reduktions-/Sanierungszielstellungen in Bezug auf Gesamt-P daher am WRRL-Bewirtschaftungsziel „guter Zustand“ für den Schaalsee auszurichten, das im Bewirtschaftungsplan der Flussgebietseinheit Elbe für den 2. Bewirtschaftungszeitraum gemäß Art. 13 WRRL bzw. § 83

Tabelle 2
Mittlerer jährlicher Gesamt-P-Export aus dem Schaalsee (Daten aus GIG 2011)
Average annual total-P-export from lake Schaalsee (data from GIG 2011)

Export-Pfad	Teilsystem	Mittlerer Abfluss (Tm ³ *a ⁻¹)	Fracht (kg P *a ⁻¹)
Oberflächengewässer	Schaalseekanal	21.923	1.462
	Schaale	350	16
Grundwasserabstrom	Grundwasserstockwerk 1	0	-
	Grundwasserstockwerk 2	1.746	270
	Grundwasserstockwerk 3	1.511	149
Sonstige	Fischerei	-	94
		Summe	1.991

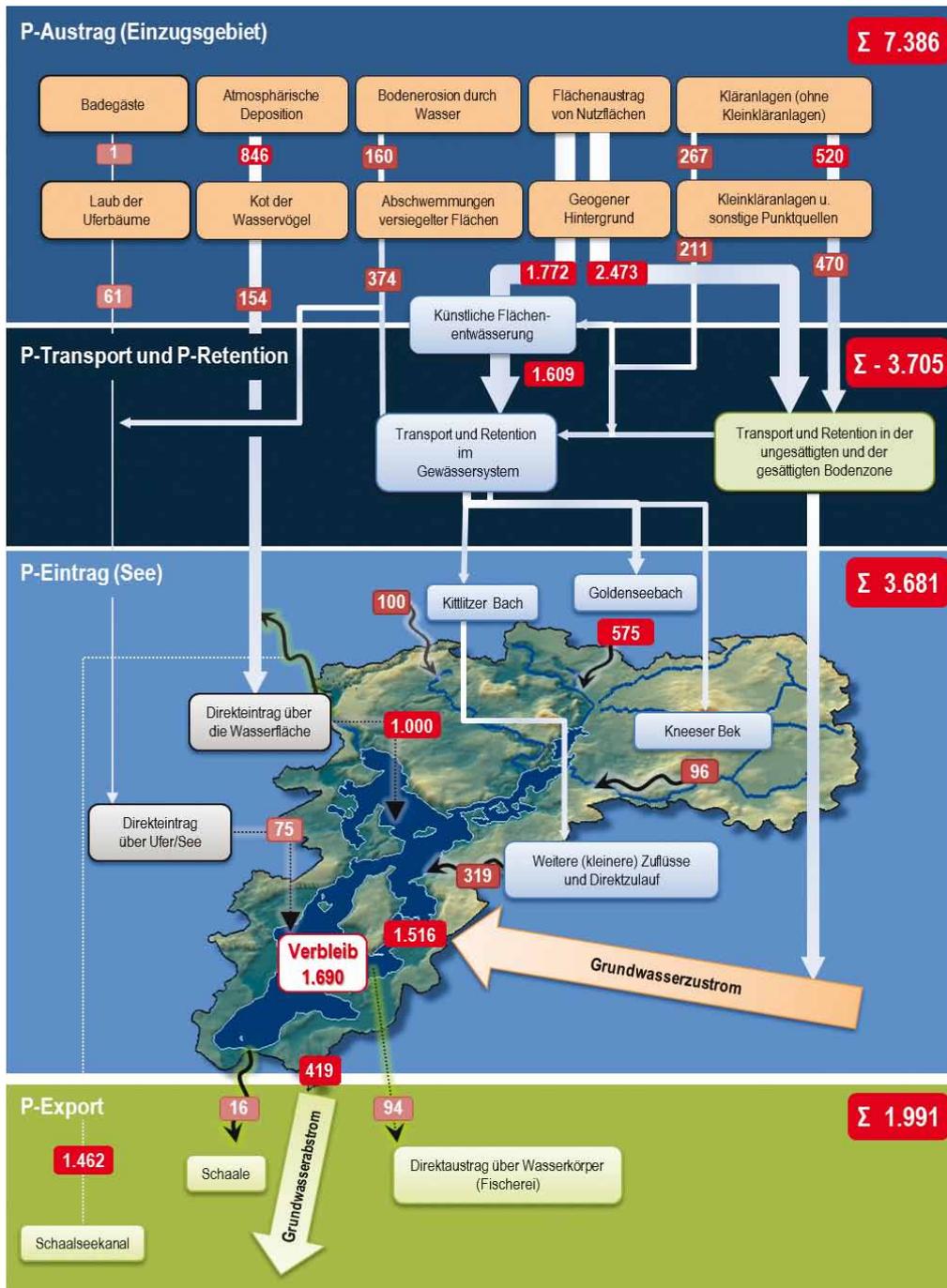


Abbildung 2
 Gesamtbilanz (Gesamt-P) bzw. Schema des Phosphorstoffflusses für den Schaalsee bzw. das Einzugsgebiet des Schaalsees; mittlere jährliche Frachten (Angaben in kg P *a⁻¹)
 Phosphorus total balance/Scheme of phosphorus material flow of lake Schaalsee and its catchment area; average annual loads (in kg P *a⁻¹)

Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2009) festgeschrieben ist (MELUR 2014).

Die zu hohe Nährstoff- und insbesondere P-Belastung bildet aber auch eine reale Gefährdung für nährstoffsensible Lebensräume und folglich für Arten im naturschutzfachlich sensiblen Schaalsee. Hier greifen die gesetzlichen Anforderungen von Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie 1992), Vogelschutz-Richtlinie (VSchRL 2009) und Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG 2009).

Insbesondere die Natura-2000-Gebietsfestsetzungen „Schaalseegebiet“ (EU-Vogelschutzgebiet Nr. DE2331491) sowie „Schaalsee mit angrenzenden Wäldern und Seen“ (FFH-Gebiet Nr. DE2331394) führen zu unmittelbaren Handlungsaufträgen. So betont z.B. der Managementplan für das FFH-Gebiet „Schaalsee“ (AfBR Schaalsee 2011) explizit die sich aus der Gebietsanalyse ergebenden Erhaltungsziele. Neben dem Erhalt der vorkommenden Lebensraumtypen und Habitatelemente der Arten des Anhangs II der FFH-Richtlinie sowie der relevanten Arten der VSchRL richten sich diese in erster Linie auf die Stabilisierung und Sicherung des Wasserstandes (als Grundlage für Feuchtgebiete) sowie eine Vermeidung einer zusätzlichen Eutrophierung zahlreicher Lebensraumtypen.

Sieben Teilseen des Schaalsees sind nach Oberflächen-gewässerverordnung (OGewV 2011) dem Seentyp 13 (Tiefland, kalkreich, relativ kleines EZG, geschichtet) und zwei Teilseen dem Seentyp 10 (Tiefland, kalkreich, relativ großes EZG, geschichtet) zuzuordnen. Der Gesamt-Schaalsee wird nach den überwiegenden Merkmalen zum Seentyp 13 gezählt. In der Referenz, d.h. einem nicht oder nur sehr geringfügig belasteten Zustand, würde der Schaalsee, je nach Teilsee, einen oligo- bis mesotrophen Zustand aufweisen.

Eine aktuelle Trophiebewertung für den Schaalsee wurde nach der Bewertungsmethodik

„Vergleich Referenz-Zustand und Ist-Zustand“ (LAWA 1999) vorgenommen. Hiernach lassen sich die Teilseen des Schaalsees in drei Gruppen aufteilen (GIG 2011):

1. die drei tiefen, großen Teilbecken Rethwiesentief, Zarrentiner Becken und Nordwestschaalsee: mesotropher Zustand
2. die drei kleineren, im Osten gelegenen Randbecken Lassahner See, Borgsee und Techiner See: grundsätzlich mesotropher Zustand; aber in einzelnen Jahren Ausreißer mit höherer Trophiebewertung

3. die drei kleineren, im Norden gelegenen Randbecken Dutzoer See, Niendorfer Binnensee und Bernstorfer See: jährliches Schwanken zwischen mesotrophem und eutrophen Zustand (stets für alle drei Teilseen grundsätzlich gleiches Verhalten).

GIG (2011) gibt einen mittleren jährlichen Gesamt-P-Eintrag in den Schaalsee in Höhe von maximal $2.300 \text{ kg P *a}^{-1}$ als Ziel für einen „sicheren“ mesotrophen Zustand an, was nach Einordnung mittels Vollenweider-Modell plausibel ist.

Ermittlung der zu erwartenden Trophiestufe eines Sees in Abhängigkeit von der P-Flächenbelastung nach VOLLENWEIDER (1976):

- mittlere Tiefe des Schaalsees: $15,7 \text{ m}$
- mittlere Verweilzeit (GIG 2011): 9 a
- Seefläche: 24 km^2
- Verhältnis mittlere Tiefe/mittlere Verweilzeit: $1,74 \text{ m/a}$
- Ist-Zustand: P-Flächenbelastung: $3.681 \text{ kg P *a}^{-1}$ auf 24 km^2 Seefläche = $0,15 \text{ g *m}^{-2}$; Trophiestufe nach VOLLENWEIDER (1976): Übergangsbereich mesotroph/eutroph
- Ziel-Zustand: P-Flächenbelastung: $2.300 \text{ kg P *a}^{-1}$ auf 24 km^2 Seefläche = $0,096 \text{ g *m}^{-2}$; Trophiestufe nach VOLLENWEIDER (1976): „sicher“ mesotroph.

Deshalb wurden in Abstimmung mit der projektbegleitenden Arbeitsgruppe im Rahmen der Konzeptstudie folgende Reduktionsnotwendigkeiten für den Gesamt-P-Eintrag in den Schaalsee nach groben zeitlichen Handlungsebenen abgeleitet:

- zur Erreichung eines verbesserten Zwischenzustands (Nahziel; ca. bis zum Jahr 2021, 3. WRRL-Bewirtschaftungszeitraum): $3.681 \text{ kg P *a}^{-1} - 2.800 \text{ kg P *a}^{-1} = 881 \text{ kg P *a}^{-1}$ (Reduktionsziel 1)
- zur Erreichung eines „sicheren“ mesotrophen Zustands (Fernziel, ca. bis zum Jahr 2027, 4. WRRL-Bewirtschaftungszeitraum): $3.681 \text{ kg P *a}^{-1} - 2.300 \text{ kg P *a}^{-1} = 1.381 \text{ kg P *a}^{-1}$ (Reduktionsziel 2).

5 Maßnahmenidentifikation, -priorisierung und -planung

Entsprechend der Aufgabenstellung der Konzeptstudie wurden im Hinblick auf die stufenweisen Reduktionsziele 1 und 2 Maßnahmen entwickelt. Dabei sollte prinzipiell die vollständige Bandbreite der realisierbaren, strategisch, wirtschaftlich und technisch sinnvollen Maßnahmen aufgezeigt werden, wobei vor allem die Nachhaltigkeit entsprechender Maßnahmen im Fokus steht (Abb. 3).

Als Maßnahmenfelder waren grundsätzlich zu prüfen:

- Reduzierung der punktuellen Einträge (Schmutzwasser, Regenwasser)
- Flächenhafte Maßnahmen zwecks Nährstoffrückhalt und Verringerung der Nährstoffeinträge in die Gewässer (ggf. einschließlich landwirtschaftlicher Beratung) unter Berücksichtigung der Flächen in öffentlicher Hand und der vorhandenen Niederungsgebiete, insbesondere Maßnahmen zur Re-Etablierung landschaftlicher Retention durch Wiedervernässung von Feuchtgebieten (TREPEL 2004, TONDESKI et al. 2005, HOFFMANN et al. 2011, HIRT & MAHNKOPF 2012)
- Stoffrückhalt durch technische Maßnahmen wie Filtersysteme, künstliche Feuchtgebiete, Dränteiche etc. (DWA 2012, HOLSTEN et al. 2012, MEHL & KÄSTNER 2012)

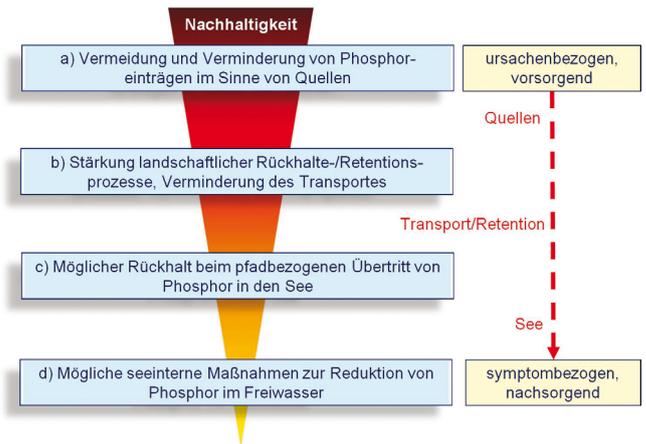


Abbildung 3
Nachhaltigkeit der Maßnahmen einer P-Reduktion für einen See
Sustainability of P-reduction measures of a lake

- Reduzierung der Phosphoreinträge aus dem Grundwasser in den Schaalsee (MEINIKMANN et al. 2015)
- Maßnahmen der Seenrestaurierung (DWA 2006, HUPFER et al. 2013), insbesondere in hydrologisch „vorgeschalteten“ Seen
- Strategische Maßnahmen, z.B. Aufklärungskampagnen, die sich an Landwirte und weitere Emittenten wenden.

Alle betrachteten Maßnahmen waren aus dem Blickwinkel der Priorität einschließlich der Bedeutung für die Zielerreichung und der Kostenrelationen zu betrachten. Von daher wurde folgende Reihenfolge der Maßnahmenauswahl und -planung gewählt:

1. Ausarbeitung aller sachgerechten Maßnahmen in Form von Maßnahmensteckbriefen

Alle prinzipiell sachgerechten Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphorbelastung des Schaalsees wurden räumlich und inhaltlich konkretisiert und in Form von insgesamt 36 Steckbriefen zuzüglich Kartendarstellung dokumentiert. Die Steckbriefe reflektieren u.a. folgende Aspekte:

- Gesamt-P-Austrag (bezogen auf die relevante Quelle)
- Abgeschätztes Reduktionspotenzial und entsprechender Gesamt-P-Reduktionsbeitrag
- Kostenschätzung (Bau/Realisierung, Planung, Verfahrenskosten, Abschreibungsdauer, Betriebskosten)
- Spezifische Kosten je kg Gesamt-P-Reduktionsbeitrag ($\text{€ *a}^{-1} \text{ *kg}^{-1} \text{ P}$), quasi als normierter Vergleichsmaßstab
- Lage im Untersuchungsgebiet (Kartendarstellung)

2. Maßnahmenbewertung zur Auswahl/Identifikation und Priorisierung

Nachdem alle Einzelmaßnahmen abgeleitet und zusammengestellt waren, wurden diese einer systematischen Bewertung nach ausgewählten Kriterien unterzogen, um letztlich die Priorität jeder Maßnahme ableiten zu können:

- (A) Ansatz der Maßnahme: grundsätzliche Einschätzung, ob eine Maßnahme auf eine Vermeidung (Ansatz an der Quelle bzw. der Ursache), einen Rückhalt (Optimierung der landschaftlichen Retention oder technischer Rückhalt) oder auf eine Eliminierung (vor allem Maßnahmen im Sinne der Seenrestaurierung) von Gesamt-P ausgerichtet ist.

- (B) Räumliche Entfernung einer Maßnahme zum See bzw. zum Hauptgewässernetz (Maßnahmenzonen): vereinfachte Berücksichtigung der Raum-Zeit-Strukturen landschaftlicher/hydrologischer Prozesse im Sinne der Wirksamkeit einer Maßnahme.
- (C) Minderungspotenzial (Wirksamkeit): Bewertung des Reduktionswertes im Sinne der angestrebten P-Belastungsreduktion in $\text{kg P} \cdot \text{a}^{-1}$.
- (D) Zeitliche Wirksamkeit: Wie schnell wird sich eine Maßnahme voraussichtlich umsetzen lassen und tatsächlich wirksam werden?
- (E) Technische/organisatorische Machbarkeit: Wie einfach oder schwer lässt sich eine Maßnahme angesichts wahrscheinlicher Randbedingungen umsetzen (Genehmigungsfähigkeit, Eigentumsverhältnisse, Planungsaufwand, Aufwand für notwendige Fachgutachten, technischer, technologischer Anspruch usw.).
- (F) Spezifische Kosten: Kosten je kg Gesamt-P-Reduktionsbeitrag ($\text{€} \cdot \text{kg}^{-1} \text{P} \cdot \text{a}^{-1}$); eine hohe Effizienz ist dann gegeben, wenn die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme groß ist, d.h. eine hohe Nutzen-Kosten-Relation erreicht wird, was wiederum ein möglichst niedriger Kostenwert ausdrückt.

Die einzelnen Kriterien wurden quantitativ oder qualitativ abgestuft, mit Punkten von 1 bis 3 bzw. 1 bis 5 bewertet und abschließend zu einer einfachen Gesamtbewertung durch Addition (Punktsomme) zusammengeführt, wobei das Kriterium (F) doppelt gewichtet wurde, um die hohe Bedeutung der Wirtschaftlichkeit adäquat zu berücksichtigen (Tab. 3).

Die mit diesem Ansatz durchgeführte Maßnahmenbewertung umfasste insgesamt 72 Einzelmaßnahmen. Tabelle 4 zeigt exemplarisch mehrere Maßnahmen mit sehr hoher Punktbewertung und damit zugleich sehr hoher Priorität. Die Maßnahmen mit der höchsten Priorität beziehen sich generell auf den Eintragspfad oberirdische Gewässer. Maßnahmen zur Reduktion der Belastung im Grundwasser sind angesichts der Kriterien erwartungsgemäß geringer priorisiert. Zu den wichtigsten Maßnahmen mit hoher Priorität gehören:

- Maßnahmen der P-Fällung in kommunalen Kläranlagen
- Wiedervernässung von Moorstandorten (für die

- Moore rund um den Schaalsee in Kombination mit einer Seewasserspiegelanhebung)
- Modifizierung von Gewässerunterhaltungsmaßnahmen zur Erhöhung des P-Rückhalts
- Anlage künstlicher oder Reaktivierung natürlicher Feuchtgebiete unterhalb von Dränsystemen, z.B. Dränenteiche
- Renaturierung von Vorflutgewässern an und unterhalb von Schwerpunkten: Strukturverbesserung mit natürlichem Sedimentrückhalt, Gewinnung Überflutungsraum etc.

3. Vorplanung ausgewählter (baulicher) Maßnahmen

Im Rahmen der Konzeptstudie wurden ausgewählte Maßnahmen bereits bis zu einem Vorplanungsniveau entwickelt. Ausgewählt wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber insgesamt 6 Maßnahmen (Tab. 5), die

- eine hohe erreichte Punktzahl im Bewertungsverfahren,
- ein grundsätzlich hohes P-Reduktionspotenzial,
- einen hohen Synergieeffekt mit anderen Zielen des Umweltschutzes,
- eine geringe Überlagerung von Wirkungsbereichen der Maßnahmen,
- eine bereits möglichst gegebene Verfügbarkeit von Flächen durch öffentliches Eigentum oder Eigentum von Naturschutzinstitutionen und

Tabelle 3 Bewertungskriterien der P-Belastungs-Minderungsmaßnahmen, Einzel- und Gesamtpunktebewertung <i>Assessment criteria of the measures to reduce P-pollution, single point and overall assessment</i>		
(A) Maßnahmenansatz		Punkte
Sonstige Maßnahmen (auf Eliminierung von P ausgerichtet, insbesondere Seenrestaurierung)		1
Rückhaltemaßnahmen (Optimierung der landschaftlichen Retention oder technischer Rückhalt)		2
Maßnahmenansatz an der Quelle bzw. der Ursache		3
(B) Räumliche Entfernung zum Schaalsee (nach Maßnahmenzonen)		
	Maßnahmenzone 3 (>4 km)	1
	Maßnahmenzone 2 (1-4 km)	2
	Maßnahmenzone 1 (0-1 km)	3
(C) Minderungspotenzial/Reduktionswert ($\text{kg P} \cdot \text{a}^{-1}$)		
	<10	1
	<25	2
	<50	3
	<100	4
	≥ 100	5
(D) Zeitliche Wirksamkeit		
	langfristig	1
	mittelfristig	2
	sofort/kurzfristig	3
(E) Technische/organisatorische Machbarkeit		
	gering (schwierig)	1
	mittel	2
	hoch (einfach)	3
(F) Spezifische Kosten ($\text{€} \cdot \text{kg}^{-1} \text{P} \cdot \text{a}^{-1}$)		
	<21	1
	<51	2
	<101	3
	<501	4
	≥ 501	5
Gesamtbewertung (Punktsomme) = (A) + (B) + (C) + (D) + (E) + 2 (F)		

- einen erhöhten (vor allem technischen) Planungsaufwand aufweisen.

Bevorzugt wurden dabei länderübergreifende Maßnahmen einbezogen, da die bestehenden Arbeitskontakte sofort weiter genutzt werden konnten.

Alleine das Gesamt-P-Reduktionspotenzial der vorgeplanten Maßnahmen (Tab. 5) beträgt mehr als 400 kg P *a⁻¹. Ergänzt um Reduktionsbeiträge durch P-Fällung an zwei kommunalen Kläranlagen von ca. 200 kg P *a⁻¹ wäre bei vollständiger Umsetzung und Wirksamkeit dieses ersten Maßnahmenpaketes rechnerisch eine maximale P-Reduktion von 600 kg P *a⁻¹ erreichbar. Allerdings sind dabei noch die Retentionseffekte zu berücksichtigen, so dass die kurzfristige Eintragsminderung, unmittelbar auf den Schaalsee bezogen, geringer zu veranschlagen ist. Bei Ansatz der abgeschätzten mittleren P-Retentionen von 56 % (Grundwasserpfad) und 64 % (Pfad oberirdische Gewässer) lässt sich der P-Minderungsbeitrag zu ca. 250 kg P *a⁻¹ bis 300 kg P *a⁻¹ abschätzen, was damit bereits fast 10 % des aktuellen P-Eintrages in den Schaalsee entspricht. Das zeigt auch, dass insgesamt Maßnahmen in größerem Umfang erforderlich sind, um die gesteckten Reduktionsziele zu erreichen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Arbeit basiert auf den Ergebnissen einer Konzeptstudie zur Verbesserung des ökologischen Zustandes des Schaalsees (BIOTA 2015). Aufbauend auf den Grundlagen und Ergebnissen im Beitrag von MEHL et al. (2016) werden hier die Abschätzung der landschaftlichen Gesamt-P-Retention, die Analyse des Gesamt-P-

Tabelle 4
Einzel- und Gesamtpunktebewertung für die hoch prioritären Maßnahmen zur P-Belastungsminderung (Auswahl)
Single point and overall assessment for high-priority measures to reduce P-pollution (selection)

Maßnahme	(A)		(B)		(C)		(D)		(E)		(F)		Gesamt Pkt.
	P-Maßnahmenansatz	Pkt.	Entfernung (Maßnahmenzone)	Pkt.	Gesamt P-Austrag (kg P *a ⁻¹)	Minderungs-potenzial (%)	Reduktionswert (kg P *a ⁻¹)	Pkt.	Zeitliche Wirksamkeit Pkt.	Technische/organisatorische Machbarkeit Pkt.	Spezifische Kosten (€ * kg ⁻¹ P * a ⁻¹)	Pkt. (2 x)	
P-Fällung in der Kläranlage Kneese	Quelle	3	2	2	76	80	61	4	3	3	20	5	25
P-Fällung in der Kläranlage Mustin	Quelle	3	2	2	173	80	138	5	3	3	24	4	24
Seespiegelanhebungen im Schaalsee zur Wiedervernässung von randlichen Mooren	Quelle	3	1	3	75	100	75	4	1	3	13	5	24
Modifizierung von Gewässerunterhaltungsmaßnahmen zur Erhöhung des Rückhalts	Retention	2	2	2	2.280	3	68	4	2	3	0	5	23
Anlage künstlicher oder Reaktivierung natürlicher Feuchtgebiete unterhalb von Dränsystemen, z.B. Dränenteiche	Retention	3	1	3	388	45	176	5	3	2	90	3	22
Etablierung von Uferandstreifen und Begrünung von Abflussbahnen (Bodenerosion)	Retention	3	1	3	3	60	2	1	3	3	36	4	21
Renaturierung von Vorflutgewässern an und unterhalb von Schwerpunkten: Strukturverbesserung mit natürlichem Sedimentrückhalt, Gewinnung Überflutungsraum etc.	Retention	2	1	3	1.416	30	425	5	2	2	87	3	20
Einbau von Aktivfilterbetten mit Filtergranulat in bestehenden Hauptgräben (Graben-EZG ca. a 50 ha)	Retention	2	1	3	388	60	233	5	3	2	389	2	19

Tabelle 5
In der Konzeptstudie zur Vorplanung entwickelte Maßnahmen
Measures developed during concept study for preliminary planning

Maßnahmenbezeichnung	Zielstellung(en)	Abgeschätztes Reduktionspotenzial
Seespiegelanhebung Schaalsee	Seespiegelanhebung im Schaalsee durch Veränderung der Stauziele (Erhöhung Sommer-Stauziel); dadurch Erhöhung der Grundwasserstände in den Mooren rund um den Schaalsee und Verminderung der Torfzersetzung	39 kg P * a ⁻¹
Drängebiet zwischen Lassahn und Hakendorf	Anlage von Dränteichen oder Reaktivierung von Feuchtgebieten unterhalb von Drängebieten, Begrünung von Abflussbahnen in erosionsgefährdeten Bereichen	70 kg P * a ⁻¹
Untere Kneeser Bek	Renaturierung des Vorflutgewässers; Modifizierung von Gewässerunterhaltungsmaßnahmen zur Erhöhung des P-Rückhaltes	55 kg P * a ⁻¹
Unterer Goldenseebach	Modifizierung von Gewässerunterhaltungsmaßnahmen zur Erhöhung des P-Rückhaltes	29 kg P * a ⁻¹
Drängebiet am Zuckerhut	Anlage von Dränteichen oder Reaktivierung von Feuchtgebieten unterhalb von Drängebieten	29 kg P * a ⁻¹
Mühlenmoor	Verhinderung der fortschreitenden Torfzersetzung durch Wiedervernässung, Anlage von Dränteichen oder Reaktivierung von Feuchtgebieten unterhalb von Drängebieten	200 kg P * a ⁻¹

stand“ für den Schaalsee auszurichten, zum anderen insbesondere an Schutz- und Verbesserungszielen für nährstoffsensible Lebensräume der FFH-Managementplanung. Insofern greifen für die Zustandsverbesserung des Schaalsees wasser- und naturschutzrechtliche Zielstellungen. Auf der Basis trophischer Klassifizierung und limnologischer Bewertung wurden nach WRRL-Fristen zeitlich gestaffelte P-Gesamt-Reduktionswerte abgeleitet. Zur Erreichung eines sicheren mesotrophen Zustands muss der Gesamt-P-Eintrag in den See letztlich dauerhaft um fast 1.400 kg P * a⁻¹ reduziert werden.

Für die Identifikation und Priorisierung sachgerechter Maßnahmen zur P-Belastungsminderung wurde ein

Austrages aus dem See (P-Export), eine Gesamt-P-Bilanz, Ausführungen zur Zieldefinition (P-Reduktionsziele) sowie zur Maßnahmenableitung und -auswahl vorgestellt.

Die mittlere Gesamt-P-Retention im EZG des Schaalsees konnte wie folgt zu ca. 50 % abgeschätzt werden:
7.479 kg P * a⁻¹ (P-Austrag) – 3.681 kg P * a⁻¹ (P-Eintrag) = 3.798 kg P * a⁻¹ (P-Retention).

Die mittlere Retention von Gesamt-P für den Eintragspfad oberirdische Gewässer beträgt ca. 64 %, die mittlere Retention von Gesamt-P für den Eintragspfad Grundwasser ca. 56 %. Alle Werte sind im Vergleich mit Literaturangaben (DWA 2012) plausibel. Die relativ hohe P-Retention beim Eintragspfad oberirdische Gewässer ist auf die Spezifika des Tieflandgewässersystems rückführbar. Eine Differenzierung der P-Retention nach Teil-EZG zeigt zudem große räumliche Unterschiede, was teilweise räumliche P-Belastungsunterschiede für den Schaalsee erklären kann.

Der P-Export aus dem Schaalsee liegt bei 1.991 kg P * a⁻¹, davon ca. drei Viertel mit dem Abfluss über den Schaalseekanal, ein Viertel mit dem Grundwasserabstrom. Nach der Gesamtbilanz (Gesamt-P) für den Schaalsee bzw. das Einzugsgebiet des Schaalsees wird von einem mittleren Gesamt-P-Eintrag in den See in Höhe von 3.681 kg P * a⁻¹ bei einem Gesamt-P-Export aus dem See in Höhe von 1.991 kg P * a⁻¹ ausgegangen. Die Restgröße (Verbleib im See) ergibt sich zu 1.690 kg P * a⁻¹. Dieser Wert liegt ca. 25 % höher als das Bilanzergebnis nach GIG (2011), resultierend aus einer deutlichen Erweiterung der Datenbasis (Messungen in Zuflüssen und Dränabläufen) bei gleichzeitig stärkerer Gewichtung der hydrologischen Variabilität (Abfluss) bei der Frachtberechnung.

Die Reduktions-/Sanierungszielstellungen in Bezug auf Gesamt-P waren zum einen am WRRL-Bewirtschaftungsziel „guter Zu-

durch einen Algorithmus gestütztes Vorgehen gewählt. Alle geeigneten Maßnahmen wurden einer systematischen Bewertung nach ausgewählten Kriterien unterzogen, um letztlich die Priorität jeder Maßnahme ableiten zu können. Der gewählte Algorithmus basiert auf den Kriterien (A) Maßnahmenansatz (Vermeidungsansatz an der Quelle bzw. der Ursache, Rückhaltemaßnahme, Maßnahme zur Eliminierung aus dem See), (B) Maßnahmenzone (Berücksichtigung der Raum-Zeit-Strukturen), (C) Minderungspotenzial (Reduktionswert), (D) Zeitliche Wirksamkeit, (E) Technische/organisatorische Machbarkeit, (F) Spezifische Kosten. Die einzelnen Kriterien wurden quantitativ oder qualitativ abgestuft, mit Punkten von 1 bis 3 bzw. 1 bis 5 bewertet und abschließend zu einer einfachen Gesamtbewertung durch Addition (Punktsomme) zusammengeführt, wobei das Kriterium (F) doppelt gewichtet wurde, um die hohe Bedeutung der Wirtschaftlichkeit adäquat berücksichtigen zu können.

Die mit diesem Ansatz durchgeführte Priorisierung umfasste insgesamt 72 Einzelmaßnahmen. Die Maßnahmen mit der höchsten Priorität stehen im besonderen Fokus. Um für die notwendigen Umsetzungen gute Voraussetzungen zu haben, wurden für 6 Maßnahmen höchster Priorität bereits in der Studie Vorplanungen erarbeitet. Darüber hinaus werden auch andere Maßnahmen konzeptionell und planerisch in der Schaalseeregion weiterverfolgt. Neben Aktivitäten der Unteren Wasserbehörden zur Reduktion der P-Einträge nachgeschalteter P-Fällung bei den kommunalen Kläranlagen sind derzeit bereits eine Machbarkeitsstudie zur Mengenbewirtschaftung des Schaalsees (Prüfung auf Möglichkeiten einer Anhebung des Sommer-Stauziele) sowie Genehmigungsplanungen für drei Dränteiche in planerischer Bearbeitung. Auftraggeber ist jeweils das Biosphärenreservatsamt Schaalsee-Elbe.

Die Ergebnisse der Konzeptstudie werden ferner Eingang finden in das am 1.3.2016 gestartete Verbundforschungsprojekt „Phos-

WaM“ (Phosphor von der Quelle bis ins Meer – Integriertes Phosphor- und Wasserressourcenmanagement für den nachhaltigen Gewässerschutz, Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 033W042C).

Summary

The paper is based on the results of a concept study to improve the ecological condition of lake Schaalsee (BIOTA 2015). Using the basis and results of the paper by MEHL et al. (2016), the estimation of the landscaped P-retention, the analysis of the total-P-output from the lake (P-export), the total-P-balance and definition of goals (P-reduction goals) as well as deduction and selection of actions are introduced.

The average landscaped total-P-retention in the catchment area of lake Schaalsee could be estimated around 50 %:
 $7,497 \text{ kg P } \cdot \text{a}^{-1}$ (P-output) – $3,681 \text{ kg P } \cdot \text{a}^{-1}$ (P-input) =
 $3,798 \text{ kg P } \cdot \text{a}^{-1}$ (P-retention).

The average retention of total-P considering the input path of surface waters could be estimated around 64 %, the average retention of the input path ground water is around 56 %. All results also seem plausible when compared with other papers dealing with the subject (DWA 2012). The relatively high P-retention from the input track “surface waters” can be explained by the specifics of the lowland river system. A differentiation of P-retention according to sub-catchments also shows big spatial differences, which can partly explain geographical differences in pollution of lake Schaalsee.

P-export out of lake Schaalsee amounts to approximately $1,991 \text{ kg P } \cdot \text{a}^{-1}$, three quarters of which via the outlet of the Schaalseekanal and one quarter via groundwater-runoff. Based on the total-P-balance (total-P) of lake Schaalsee/the catchment area of lake Schaalsee, an average total-P-input of $3,681 \text{ kg P } \cdot \text{a}^{-1}$ into the lake and a total-P-export of $1,991 \text{ kg P } \cdot \text{a}^{-1}$ out of the lake are assumed. The remaining amount (retention in the lake) accounts for $1,690 \text{ kg P } \cdot \text{a}^{-1}$. This figure is approximately 25 % higher than the balance result according to GIG (2011), which is a consequence of simultaneously using a larger database (measurements in inlets and drainages) and giving more weight to hydrological variability (drainage) in calculating loads.

The goals for reduction and stabilisation regarding total-P had to be oriented towards complying with the WFD-aim “good status” of lake Schaalsee on the one hand, and on the other hand, towards meeting the necessities of the protection and improvement goals for nutrient sensitive habitats, being part of the FFH management planning. In this respect, hydrological and nature conservation provisions for the improvement of the ecological condition of lake Schaalsee take effect. Based on trophic classification and limnological evaluation, progressive P-total-reduction amounts were deduced according to WFD deadlines. Eventually, the total-P-input into the lake needs to be reduced by nearly $1,400 \text{ kg P } \cdot \text{a}^{-1}$.

In order to identify and prioritise useful measures to minimise P-pollution, an algorithm-based approach has been chosen. All suitable measures were examined systematically according to specific criteria, in order to extrapolate the actual priority of every single action. The chosen algorithm is based on the cri-

teria (A) approach of measure (approach of avoidance at the source/cause, retention measure, measure of elimination from the lake), (B) zone of approach (consideration of spatio-temporal-structures), (C) potential of reduction (reduction value), (D) temporal effectiveness, (E) practical and organisational feasibility, (F) specific costs. Criteria were graded quantitatively or qualitatively and rated by points from 1 to 3 or 1 to 5. In the end, a simple overall evaluation was produced by addition (sum of points). In order to adequately consider the high importance of economic efficiency, the evaluation of criterion F was doubled.

This prioritization approach led to a list of 72 single measures. Special focus is dedicated to the measures having highest priority. In order to create good preconditions for actual implementation, preliminary plannings for 6 top-priority measures have already been developed in the study. Apart from these, other activities are also pursued in the lake Schaalsee region. Next to activities by the lower water authorities to reduce P-inputs at municipal sewage plants, a feasibility study concerning the water use of lake Schaalsee as well as approval-planning for three drainage ponds are also in working progress. Contracting authority in all cases is the Biosphärenreservatsamt Schaalsee-Elbe.

Results of the concept study will also be considered in the joint research project „PhosWaM“ (Phosphor von der Quelle bis ins Meer – Integriertes Phosphor- und Wasserressourcenmanagement für den nachhaltigen Gewässerschutz, Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Förderkennzeichen 033W042C) which started on 1.3.2016.

Danksagung

Für die fachliche und organisatorische Unterstützung sowie die angenehme und konstruktive Zusammenarbeit danken die Autoren den Mitgliedern der projektbegleitenden, länderübergreifenden Arbeitsgruppe, insbesondere Frau Wesseler, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume S-H, den Herren Ahne und Hartnack, Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz S-H, Herrn Dr. Mathes, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz M-V, Herrn Foth, Kreis Herzogtum Lauenburg, sowie Herrn Mund, Gewässerentwicklungsverband Schaalsee-Delvenau. Ein besonderer Dank gilt den beiden Gutachtern im Review-Verfahren für ihre sachdienlichen Hinweise.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Dr. D. Mehl
 Dr. T.G. Hoffmann
 Dipl.-Ing. M. Schneider
 M.Sc. M. Knüppel
 biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH
 Nebelring 15, 18246 Bützow
 dietmar.mehl@institut-biota.de

PD Dr. W. Baumgarten
 Universität Rostock
 Institut für Bodenkunde
 Justus-von-Liebig-Weg 6, 18051 Rostock

Dr.-Ing. H. Giese
 Gewässer- und Landschaftsverband Herzogtum Lauenburg
 Robert-Bosch-Straße 21a, 23909 Ratzeburg

Literaturverzeichnis

- AfBR Schaalsee (2011): Managementplan für das FFH-Gebiet DE 2331-306 Schaalsee (MV). Fassung September 2011. – Amt für das Biosphärenreservat Schaalsee. – www.schaalsee.de/inhalte/download/NeuesVerzeichnis/MMP-Abgabefassung-September.pdf; Abruf am 17.4.2015
- BEHRENDT, H., P. HUBER, M. KORNMILCH, D. OPITZ, O. SCHMOLL, G. SCHOLZ & R. UEBE (1999): Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete in Deutschland. – Umweltbundesamt (UBA), UBA-Texte 75/99, 386 S.
- BIOTA (2015): Konzeptstudie zur Verbesserung des ökologischen Zustandes des Schaalsees. – biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrag des Gewässerentwicklungsverbandes Schaalsee-Delvenau, 153 S.
- BNatSchG (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), zuletzt geändert durch Gesetz vom 7.8.2013 (BGBl. I S. 3154) m.W.v. 15.8.2013.
- DWA (2006): Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie. – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., DWA-Merkblatt 606/2006, 116 S.
- DWA (2012): Reduktion der Stoffeinträge durch Maßnahmen im Drän- und Gewässersystem sowie durch Feuchtgebiete. – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., DWA-Themenheft 2/2012, 86 S.
- FFH-Richtlinie (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Pflanzen und Tiere (Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie). – Abl. EG Nr. L 206 S. 7, zuletzt geänd. durch Akte v. 23.9.2003 (Abl. EG Nr. L 236 S. 33)
- GIG (2011): Studie zur Wasser- und Nährstoffbilanz des Schaalsees. – GIG Gesellschaft für Ingenieurgeologie mbH in Kooperation mit KLS (Dr. Spieker) im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, 262 S.
- HIRT, U & J. MAHNKOPF (2012): Abfluss- und Nährstoffmanagement entwässerter Gebiete. – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 5 (2), 93–94
- HOFFMANN, C.C., B. KRONVANG & J. AUDET (2011): Evaluation of nutrient retention in four restored Danish riparian wetlands. – *Hydrobiologia* 674 (1), 5–24
- HOLSTEN, B., A. BEDNAREK, A. FIER, N. FOHRER, G. HECKRATH, H. HÖPER, C. HUGENSCHMIDT, C. KJÆRGAARD, B. KRAUSE, N. LITZ, A. MATZINGER, D. ORLIKOWSKI, C. PÉRILLON, M. PFANNERSTILL, P. ROUAULT, W. SCHÄFER, M. TREPEL, M. UBRANIAK & M. ZALEWSKI (2012): Potentiale für den Einsatz von Nährstoff-Filterssystemen in Deutschland zur Verringerung der Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer. – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 56 (1), 4–15; DOI: 10.5675/HyWa_2012,1_1
- HUPFER, M., F. GOHR, D. KRAUSE, J. MATHES, J. SPIEKER, S. WANNER & J. LEWANDOWSKI (2013): Vorbereitung und Auswahl von Maßnahmen zur Seentherapie. – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 6 (12), 710–717
- IHU (2009): Limnologisches Gutachten Goldensee. – IHU Geologie und Analytik GmbH im Auftrag des Staatlichen Amtes für Umwelt und Natur Schwerin, 44 S.
- LAWA (1999): Gewässerbewertung – stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Kulturbuch-Verlag, Berlin, 74 S.
- LLUR (2014): Nährstoffe in Gewässern Schleswig-Holsteins: Entwicklung und Bewirtschaftungsziele. – Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume S-H (LLUR), 92 S.
- MEHL, D. & U. KÄSTNER (2012): Anlage eines Feuchtgebietes zum Nährstoffrückhalt als Kombinationslösung Dränwasser/gereinigtes Abwasser am Neuklostersee (Mecklenburg-Vorpommern). – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 5 (12), 660–666
- MEHL, D., T.G. HOFFMANN, M. SCHNEIDER, M. KNÜPPEL, W. BAUMGARTEN & H. GIESE (2016): Ergebnisse einer Konzeptstudie für den Schaalsee (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern). I. Phosphoraustrag (Einzugsgebiet) und Phosphoreintrag (See). – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 60 (5), 303–320; DOI: 10.5675/HyWa_2016,5_2
- MEINIKMANN, K., M. HUPFER & J. LEWANDOWSKI (2015): Phosphorus in groundwater discharge – A potential source for lake eutrophication. – *Journal of Hydrology* 524, 214–226
- MELUR (2014): Erläuterungen zum schleswig-holsteinischen Anteil am Bewirtschaftungsplan für den 2. Bewirtschaftungszeitraum gemäß Art. 13 der Richtlinie 2000/60/EG (§ 83 WHG) der Flussgebietseinheit Elbe. Entwurf. Stand 22.12.2014. – Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MELUR) S-H, 312 S.
- OGewV (2011): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429)
- TONDERSKI, K.S., B. ARHEIMER & C.B. PERS (2005): Modeling the impact of potential wetlands on phosphorus retention in a Swedish catchment. – *AMBIO* 34 (7), 544–551
- TREPEL, M. (2004): Nährstoffrückhalt und Gewässerrenaturierung. – Tagungsband, Fachtagung Nährstoffrückhalt in Fließgewässern und Feuchtgebieten möglich? NNA – Alfred-Töpfer-Akademie für Naturschutz Schneverdingen, 6–9. April 2008
- VOLLENWEIDER, R.A. (1976): Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. – *Mem. 1st. Ital. Idrobiol.* 33, 53–83
- VSchRL (2009): Richtlinie 2009/147/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (kodifizierte Fassung) (Vogelschutzrichtlinie – VSchRL), Amtsblatt der EG Nr. L 20/7 vom 26.1.2010
- WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 15. November 2014 (BGBl. I S. 1724) geändert worden ist
- WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Europäische Wasserrahmenrichtlinie), Amtsblatt der EG Nr. L 327/1 vom 22.12.2000