



Sanierungskonzept Bordesolmer See

Juli 2010

Ansprechpartner:

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume

Abteilung Gewässer, Dezernat Seen

Gudrun Plambeck, 04347/704429

Gudrun.plambeck@llur.landsh.de

Inhalt

| | | |
|-----|---|----|
| 0 | Charakteristische Daten | 5 |
| 1 | Einleitung | 7 |
| 2 | Istzustand des Gewässers | 7 |
| 2.1 | Ökologischer Zustand gemäß WRRL | 7 |
| 2.2 | Zustand gemäß Badegewässer-Richtlinie | 11 |
| 3 | Sanierungsziel..... | 11 |
| 4 | Darstellung der Belastungssituation | 11 |
| 4.1 | Die wichtigsten Belastungsfaktoren..... | 11 |
| 4.2 | Auswertung der Analysenergebnisse des Fördervereins..... | 15 |
| 5 | Maßnahmen | 17 |
| 5.1 | Maßnahmen im Bereich der Abwasserbeseitigung..... | 17 |
| 5.2 | Maßnahmen im landwirtschaftlich genutzten Bereich | 19 |
| 5.3 | Maßnahmen im Siedlungsbereich | 21 |
| 5.4 | Sonstige Maßnahmen | 22 |
| 6 | Wirkung der Maßnahmen | 22 |
| 6.1 | Wirkung der Maßnahmen im Abwasser-Bereich..... | 22 |
| 6.2 | Wirkung der Maßnahmen im landwirtschaftlich genutzten Bereich | 24 |
| 6.3 | Wirkung der Maßnahmen im Siedlungsbereich | 24 |
| 6.4 | Wirkung der sonstige Maßnahmen..... | 24 |
| 7 | Wirkung/Kosten/Umsetzbarkeit | 26 |
| 8 | Weiteres Vorgehen..... | 26 |
| 9 | Literatur..... | 27 |

0 Charakteristische Daten

| | |
|--|--------------------------------|
| Topographische Karte (1 : 25.000): | 1826 |
| Flusssystem: | Eider |
| Kreis: | Rendsburg-Eckernförde |
| Gemeinde: | Bordesholm |
| Eigentümer: | Land |
| Pächter: | Angelverein |
| Größe des oberirdischen Einzugsgebietes (km ²): | 13,88 |
| Seefläche (km ²): | 0,71 |
| Seevolumen Mio.(m ³) bei 32,6 m ü.NN: | 2,32 |
| Maximale Tiefe (m): | 8 |
| Mittlere Tiefe (m): | 3,3 |
| Uferlänge (km): | 4,9 |
| Theoretische Wasseraufenthaltszeit (a): (bei einem geschätzten Abfluss von 10 l/(s·km ²)) | 0,5 |
| Umgebungsarealfaktor (m ² /m ²): | 19,6 |
| Umgebungsvolumenfaktor (m ² /m ³): | 6,0 |
| Uferentwicklung: | 1,6 |
| Hypolimnion/Epilimnion (m ³ /m ³): | - |
| Mischungsverhalten: | schwache, instabile Schichtung |
| Seetyp | 11 |

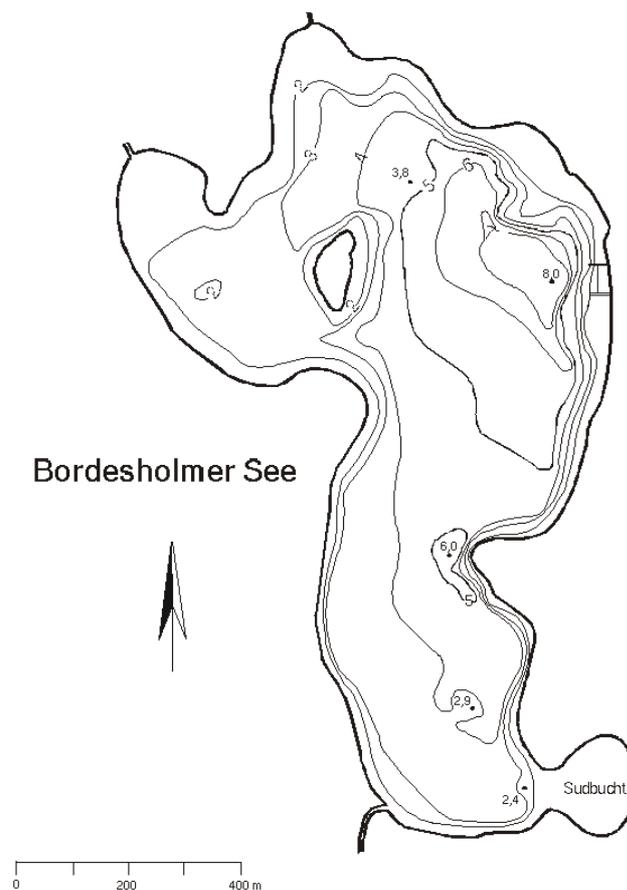


Abbildung 1: Tiefenplan des Bordesholmer Sees

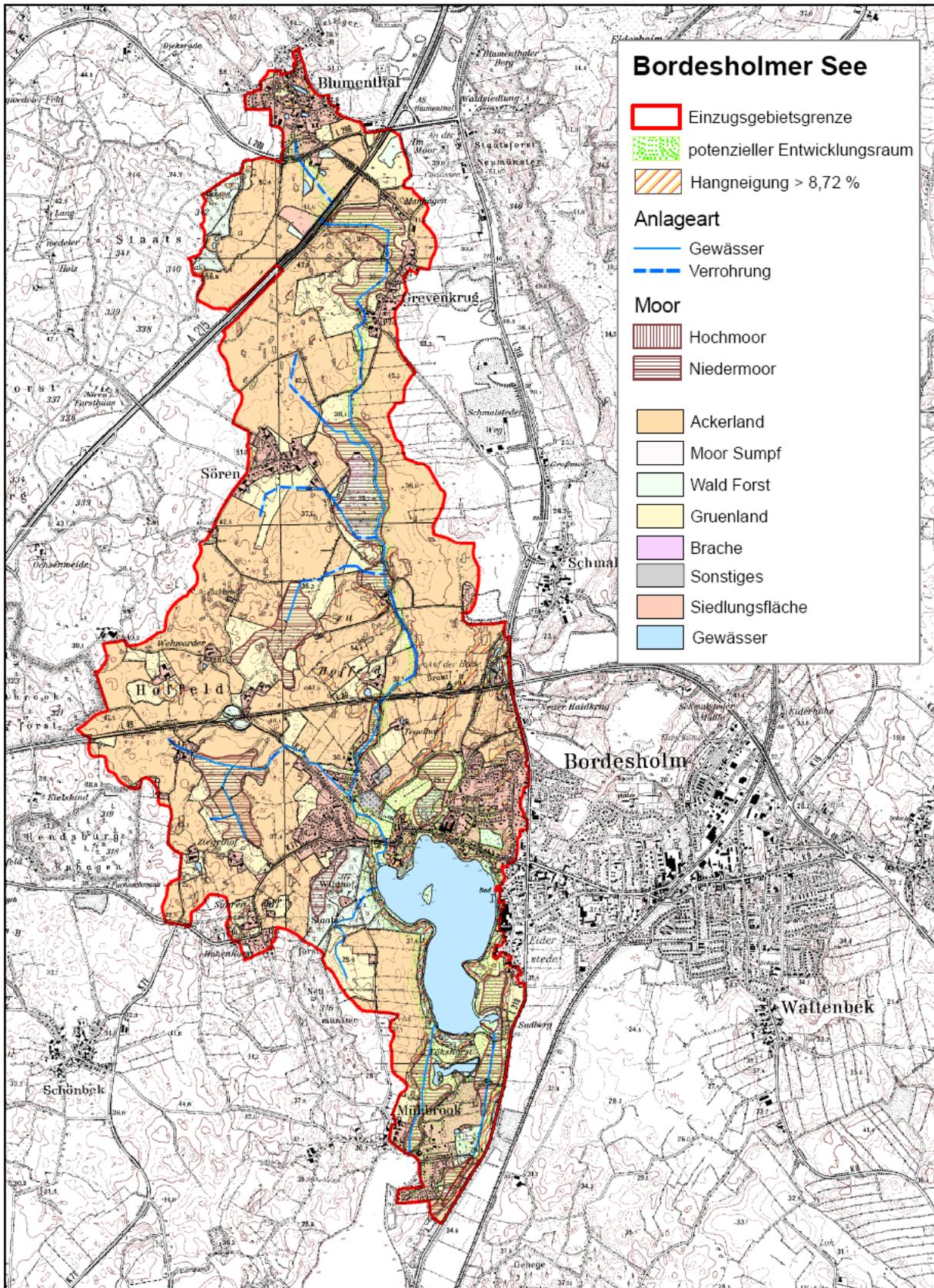


Abbildung 2: Das Einzugsgebiet des Sees

1 Einleitung

Der Bordesholmer See liegt am westlichen Ortsrand von Bordesholm im Naturraum Moränengebiet der Oberen Eider. Der Hauptzufluss ist der Kalbach, der mit seinen ca. 10 km² Einzugsgebiet 70 % des Gesamteinzugsgebietes entwässert. Der Ablauf des Sees, der Stintgraben, wird über ein Wehr reguliert und mündet in die Eider.

Untersuchungen des Landesamtes 1998 und 2006 haben gezeigt, dass dieser See sehr viel nährstoffreicher ist als es den Umweltzielen der Wasserrahmenrichtlinie entspricht. Übermäßiges Algenwachstum, geringe Sichttiefen und Sauerstoffmangel in der Tiefe sind u.a. die Folge.

Das Regenerationspotential des Bordesholmer See ist aufgrund seiner geringen mittleren Tiefe, seines großen Einzugsgebietes und seiner hohen Phosphorbelastung niedrig. Der Zustand des Sees hat sich jedoch auch aufgrund der hohen Investitionen im Abwasserbereich in den letzten 20 Jahren verbessert. Deshalb und aufgrund des hohen Engagements vor Ort wurde der See 2008 als Vorranggewässer ausgewählt. Es soll daher nun geprüft werden, welche Maßnahmen zur weiteren Regeneration des Sees umsetzbar sind.

2 Istzustand des Gewässers

2.1 Ökologischer Zustand gemäß WRRL

Der Bordesholmer See bildet aufgrund seiner geringen Tiefe im Sommer keine stabile thermische Schichtung aus (siehe Abbildung 3). Nur zurzeit der Juli-Probenahme war 2006 ein schwacher Temperatur-Gradient zu erkennen. Die Folge war **Sauerstoffmangel** ab 4 m Wassertiefe durch Zehrungsprozesse im Tiefenwasser. Wie häufig sich das Wasser einschichten kann, ist abhängig von der Lufttemperatur und den Windverhältnissen und kann daher von Jahr zu Jahr sehr stark variieren.

Der See ist sehr nährstoffreich (schwach polytroph). Die Frühjahreskonzentration von **Gesamtphosphor** lag mit 0,2 mg/l P sehr hoch (siehe Abbildung 4). Grund dafür war vermutlich die lange Eisbedeckung im Frühjahr und die damit verbundene Nährstoffrücklösung aus dem Sediment. In der darauf folgenden Vegetationsperiode schwankte die Gesamt-P-Konzentration an der Oberfläche zwischen 0,09 und 0,15 mg/l P weiterhin auf einem hohen Niveau. Im Juli wurde in der Tiefe während einer kurzfristigen thermischen Schichtungsphase knapp 0,6 mg/l P gemessen, ein Hinweis auf eine mäßige interne P-Freisetzung aus dem Sediment im Sommer.

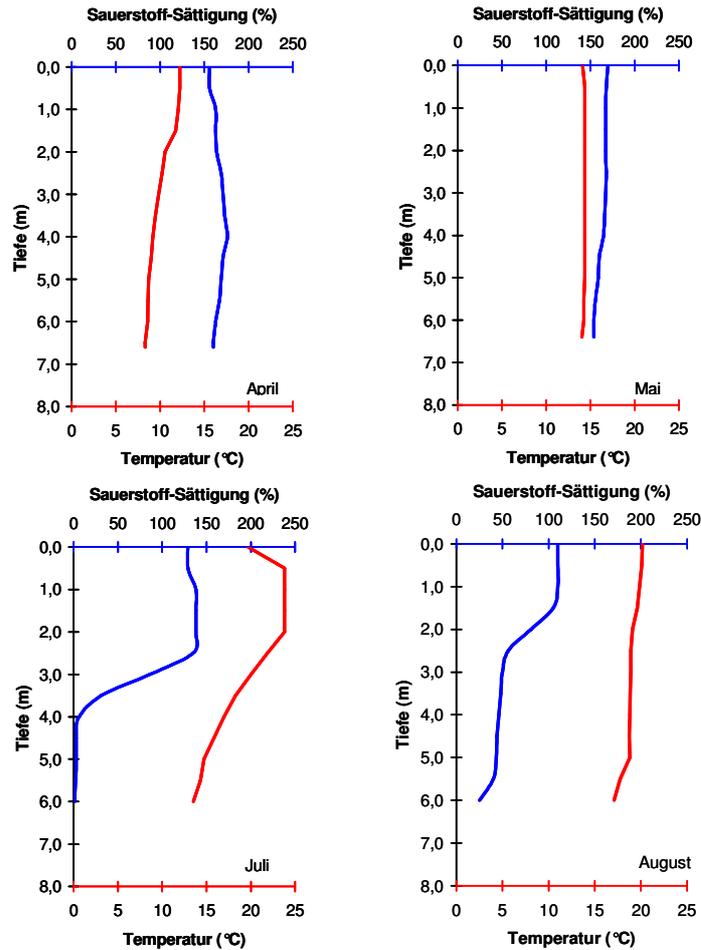


Abbildung 3: Tiefenprofile von Temperatur (°C, rot) und Sauerstoff-Sättigung (% , blau) im Bordscholmer See 2006

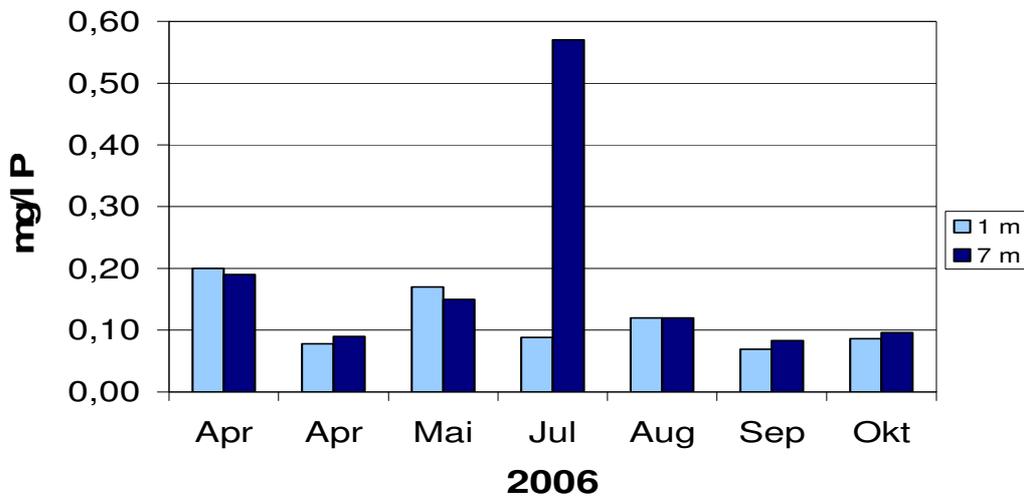


Abbildung 4: Die Gesamt-Phosphor-Konzentration 2006 im Bordscholmer See in zwei Probenahmetiefen (1, 7 m)

Das **Phytoplankton** (Mikroalgen) wurde im Frühjahr charakterisiert durch so genannte Cryptophyceen und in geringerem Maße von Kieselalgen (Bacillariophyceae siehe Abbildung 5). Ab August bis Ende Oktober setzte sich die Blaualge *Microcystis* durch und bildete sehr stabil die bestandsbildende Gattung mit Biovolumina um 5 mm³/l. Die mittlere Chlorophyllkonzentration in der Vegetationsperiode (April bis Oktober) lag mit 49 µg/l im schwach polytrophen Bereich. Anhand des Phytoplanktons wird der Bordscholmer See auf einer fünfstufigen Skala gemäß WRRL mit 4 (unbefriedigend) bewertet (siehe Tabelle 1).

Im Vergleich zu 1998/99, bei denen noch kleine **Zooplankton**-Arten (Cladoceren) dominierten, wurde 2006 eine ganzjährige Dominanz von größeren Filtrierern, den Daphnien, beobachtet, die auf einer Verringerung des Fraßdrucks durch die Friedfische beruhen dürfte. Das durch Grazing (Filtrieren der Algen) der Daphnien verursachte Klarwasserstadium im Mai 2006 zeigt die zumindest teilweise wieder hergestellte Kopplung zwischen Phytoplankton und Zooplankton. Erst ab Juli 2006 kommt es zu einer Entkopplung der trophischen Ebenen mit der Dominanz fraßresistenter Blaualgen (Cyanobakterien). Eine weitere Qualitätsverbesserung und noch stärkere saisonale Kopplung zwischen Zoo- und Phytoplankton kann nur durch eine Bekämpfung der Cyanobakterien durch Verringerung der eutrophierenden Nährstoffkonzentrationen erfolgen.

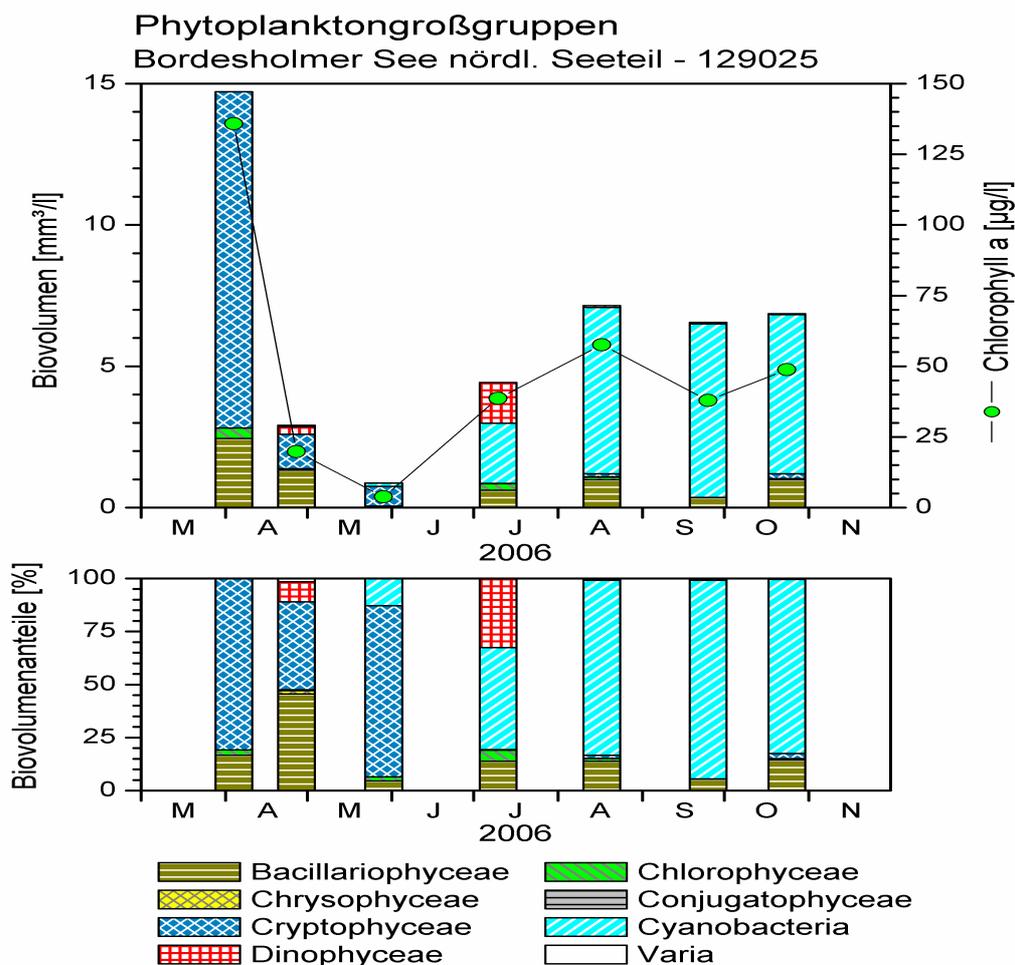


Abbildung 5: Jahreszeitlicher Verlauf der Biovolumina der dominanten Phytoplanktongruppen (mm³/l) und der Chlorophyll a-Konzentration (µg/l) im Bordscholmer See 2006 (ARP 2007)

Tauchblattvegetation trat nur punktuell an wenigen Stellen am Nord- und Ostufer auf (STUHR 2006). Dabei handelte es sich fast ausschließlich um einartige Bestände des Teichfadens (*Zannichellia palustris*), die vom Flachwasser bis in Wassertiefen um 0,7 m ausbreiteten. In einem Fall erreichte die Art auch 1,1 m als maximale Siedlungstiefe, in diesem Bestand trat zudem in vereinzelt Exemplaren das Gewöhnliche Zwerg-Laichkraut (*Potamogeton pusillus*) auf. Sehr auffällig sind am Bordscholmer Sees die an vielen Uferbereichen entwickelten bzw. angetriebenen Massenvorkommen fädiger Grünalgen. Armleuchteralgen fehlen.

Es ist jedoch festzustellen, dass die Unterwasservegetation im Bordscholmer See im Vergleich zwischen 1998 und 2006 eine Verbesserung hinsichtlich Arteninventar und Tiefenausdehnung aufweist. Hierbei ist aber weiterhin das niedrige Niveau zu berücksichtigen, auf dem diese Entwicklung verläuft, da auch der aktuelle Zustand der Gewässervegetation immer noch als „schlecht“ einzustufen ist (siehe Tabelle 1).

Gemäß WRRL ergibt sich 2006 ein schlechter ökologischer Zustand für den Bordscholmer See, da die Ergebnisse der einzelnen Lebensgemeinschaften nach dem „worst case“ Prinzip verrechnet werden (siehe Tabelle 1). Das heißt, die verödete, mit schlecht zu bewertende Unterwasservegetation bestimmt das Gesamtergebnis.

Tabelle 1: Zustandsbewertung des Bordscholmer Sees gemäß WRRL

| Gewässername | Bordscholmer See | |
|--|----------------------|----------|
| QK Phytoplankton | 1-5 | 4 |
| TK Makrophyten | 1-5 | 5 |
| TK Diatomeen | 1-5 | 3 |
| QK Benthische wirbellose Fauna | 2=gut, 3=nicht gut | |
| QK Fische | 2=gut, 3=nicht gut | 2 |
| Wasserhaushalt | 2=gut, 3=nicht gut | 2 |
| Morphologie | 2=gut, 3=nicht gut | 2 |
| Allgem. chem.-phys. Stoffe | 2=gut, 3=nicht gut | 3 |
| Spez. Schadstoffe, MusterVerO, Anhang 4 | 2=gut, 3=nicht gut | 2 |
| ∑ Ökologische Zustandsklasse (ÖZK) | 1-5 (GÖZ), 2/3 (GÖP) | 5 |
| Chemischer Zustand | | |
| Prioritäre Stoffe, vorläufige Liste MusterVerO, Anhang 5 und Liste II RL/464 | G=gut F=nicht gut | G |

2.2 Zustand gemäß Badegewässer-Richtlinie

Am Bordesholmer See befindet sich eine EU-Badestelle, die am Ostufer des Sees gelegen ist. Die hygienische Überwachung gemäß Badegewässer-Richtlinie hat für diese Badeanstalt in den Jahren 2004 bis 2009 einen überwiegend guten bis sehr guten Zustand ergeben.

Dennoch ist zu berücksichtigen, dass sich unter den übermäßig reproduzierenden Blaualgenarten auch mehrere Vertreter mit potenziell toxischer Wirkung befinden, die zu Hautreizungen und beim Verschlucken zu Übelkeit und Durchfall führen können. Die am Bordesholm gefundenen *Microcystis*-Arten (2006) und *Aphanizomenon flos-aquae* (2009) gehören dazu.

2004 2005 2006 2007 2008 2009



3 Sanierungsziel

Das Sanierungsziel ist gemäß WRRL der gute ökologische Zustand. Um dieses Qualitätsziel zu erreichen, muss sich der derzeit schwach polytrophe Trophiezustand mindestens um eine Stufe bis in den stark eutrophen Bereich hinein verbessern. Dieses anspruchsvolle Ziel lässt sich nur erreichen, wenn die Biomasseproduktion im See drastisch gedrosselt wird, so dass sich die derzeitige Chlorophyllkonzentration während der Vegetationsperiode auf weniger als die Hälfte reduziert. Bezüglich der Zusammensetzung der planktischen Algenflora müssen vor allem Blaualgen in ihrer Entwicklung zurückgedrängt werden. Gleichzeitig müsste eine Ausbreitung der Unterwasservegetation stattfinden.

Voraussetzung für die Änderung der Lebensgemeinschaften zum guten ökologischen Zustand ist die Reduzierung der Phosphorkonzentration. Der Mittelwert in der Vegetationsperiode müsste von 0,12 mg/l P auf mindestens 0,06 mg/l P reduziert werden (LAWA 2010). Dieses Reduzierungsziel würde eine Halbierung der Belastung erfordern.

Die WRRL lässt jedoch auch zu, dass unter bestimmten Voraussetzungen die Umweltziele reduziert werden. Mindestziel sollte aber eine merkbare Zurückdrängung der Blaualgen im Sommer sein.

4 Darstellung der Belastungssituation

4.1 Die wichtigsten Belastungsfaktoren

Die Belastungsfaktoren, die im Bordesholmer See die mittelfristige Erreichung des guten ökologischen Zustandes behindern, sind hauptsächlich in der zu hohen Nährstoff-, insbesondere Phosphorbelastung zu suchen. Dabei gelangt der größte Teil der Phosphorfracht diffus über die Fläche in den See (siehe Tabelle 2 und Abbildung 6).

Berechnet wurde der P-Eintrag mit so genannten Exportkoeffizienten aus der Literatur und ist deshalb entsprechend als Abschätzung zu betrachten. 2006/07 wurde der Kalbach hinsichtlich der Abflussmenge und der Phosphor-Konzentration untersucht. Durch Interpolierung

der Einzelfrachten auf ein Jahr ergab sich ein Eintrag von 800 bis 900 kg/a P allein aus dem Kalbach-Einzugsgebiet.

Tabelle 2: Abschätzung der Einträge von Phosphor aus verschiedenen Quellen in den Bordesholmer See

| Flächennutzung | (ha) bzw. Stück | (kg/ha a) P bzw. (kg/GVE a) P | Phosphoreintrag (kg/a) |
|-------------------|--------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Acker | 735 | 0,5 | 368 |
| Grünland | 288 | 0,2 | 58 |
| Großvieheinheiten | 1432 | 0,2 | 286 |
| Wald | 96 | 0,05 | 5 |
| Siedlung | 180 | 0,75 | 135 |
| Gewässer | 74 | | 0 |
| sonstiges | 15 | 0,05 | 1 |
| Summe (ha) | 1388 | | 852 |

| | | | |
|--|----|------|----------|
| Niederschlag auf die Seefläche | 70 | 0,12 | 8 |
|--|----|------|----------|

| Punktquellen | EW | (kg/EW a) P | Phosphoreintrag (kg/a) |
|-----------------|-----|-------------|---------------------------|
| KA Blumenthal | 994 | | 130 |
| KA Sören | 204 | | 106 |
| Hauskläranlagen | 12 | 0,3 | 7 |
| Summe | | | 243 |

| Gesamteintrag in den See | Phosphor |
|--|-------------|
| Summe (kg/a) | 1103 |
| bezogen auf die Seefläche (g/a m ²) | 1,58 |
| Gesamtaustrag aus dem Landeinzugsgebiet (kg/a ha Landfläche) (ohne Niederschlag auf die Seefläche) | 0,80 |
| Großvieheinheiten | 1,4 |

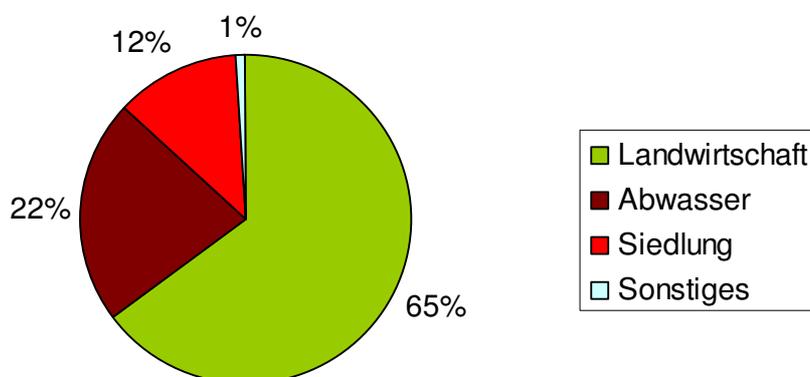


Abbildung 6: Anteile der Phosphorbelastung (%) durch Landwirtschaft, Abwasser bzw. dem Siedlungsbereich aus dem **Gesamteinzugsgebiet** des Bordesholmer Sees

Ein jährlicher Phosphoreintrag aus dem Gesamt-Einzugsgebiet in den Bordesholmer See wird daher mit **1100 kg/a P** bzw. 1,58 g/m² Seefläche P als realistisch eingeschätzt.

Hinzu kommt die Phosphorrücklösung aus dem Sediment (siehe Tabelle 3). Dabei ist anzumerken, dass das Ausmaß der internen Düngung von der Witterung (Temperatur, Wind) abhängig ist und somit von Jahr zu Jahr variieren kann. Gut erkennbar ist 2006 der Konzentrationsanstieg von Phosphor im Wasser durch interne Düngung im Juli. Am Probenahmetag war in 5 m Tiefe kein Sauerstoff mehr vorhanden (siehe Abbildung 5). Die P-Konzentration stieg im Tiefenwasser auf 0,57 mg/l (siehe Abbildung 4), der P-Gehalt in der Wassersäule stieg von 381 auf 518 kg an. Die Abflussspende und somit der Wasseraustausch war zu der Zeit im Bordesholmer See gering (siehe Abbildung 8). Jedoch schon einen Monat später hatte sich der P-Gehalt wieder halbiert. Die Wassersäule war durchmisch, die Sauerstoffsättigung in der Tiefe betrug wieder über 40 %. Die Abflussspende war im August niedrig, so dass davon ausgegangen werden kann, dass nur ein geringer Teil des Phosphors über den Stintgraben abgeflossen war und der Hauptteil durch den Sauerstoffanstieg in der Tiefe wieder in den wasserunlöslichen Phosphor-Eisen-3-Komplex umgewandelt und ausgefallen war.

Auch ist unsicher, wie häufig pro Jahr im Bordesholmer See die Voraussetzung für eine P-Rücklösung gegeben ist. Eine Quantifizierung dieser internen P-Quelle ist daher schwierig. Beim Vergleich der Untersuchungsjahre 1998 und 2006 ist jedoch zu erkennen, dass die Schwankungsbreite des P-Gehalts im Wasser ähnlich hoch war. Tendenziell zeigten sich leicht sinkende P-Gehalte im Bordesholmer See.

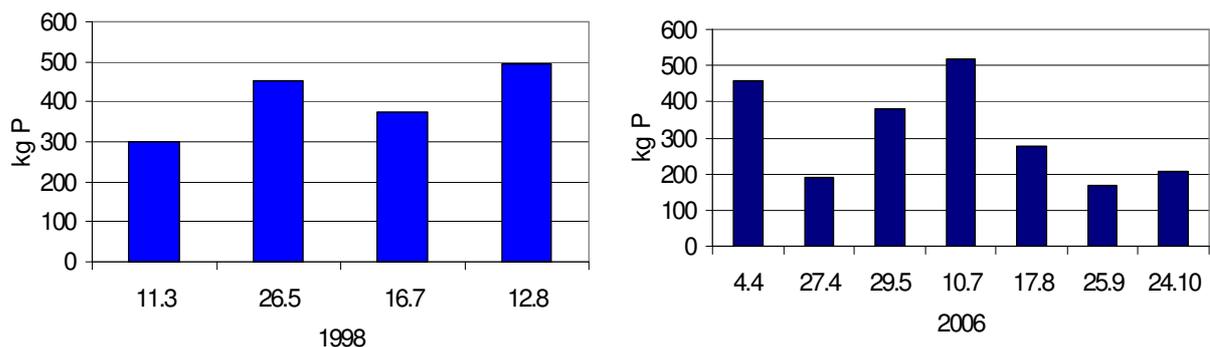


Abbildung 7: Die Entwicklung des Phosphorgehalts (kg P) im Wasserkörper des Bordesholmer Sees 1998 und 2006

Tabelle 3: Der Phosphorgehalt (kg) im Oberflächenwasser und im Tiefenwasser im Bordesholmer See 2006

| Wasserschicht m | m ³ | 4.4.06 kg | 27.4.06 kg | 29.5.06 kg | 10.7.06 kg | 17.8.06 kg | 25.9.06 kg | 24.10.06 kg |
|--------------------|------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 0 bis 3 | 1.668.000 | 334 | 130 | 284 | 147 | 200 | 115 | 143 |
| 4 bis 8 | 652.000 | 124 | 59 | 98 | 372 | 78 | 54 | 63 |
| 0 bis 8 | 2.320.000 | 457 | 189 | 381 | 518 | 278 | 169 | 206 |

Bei einer mittleren Abflussspende von 10 l/s km² und einer P-Konzentration im Oberflächenwasser des Sees von 0,09 mg/l P im Winter und keinem Abfluss im Sommer ergibt sich ein Phosphoraustrag über den Stintgraben von ca. 400 kg/a. Bei einem angenommenen externen Eintrag von 1100 kg/a verbleiben somit rein rechnerisch 700 kg P jährlich im See. Die interne Düngung geht nicht in die Bilanz mit ein, da zwar davon ausgegangen wird, dass die

zeitweise erhöhte P-Konzentration das Algenwachstum fördert, dass der größte Teil des Phosphors jedoch nach Auflösung der kurzfristigen Schichtung wieder ausgefällt wird.

Um den guten ökologischen Zustands des Sees zu erreichen, muss der Mittelwert der Phosphorkonzentration in der Vegetationsperiode fast halbiert werden; daher sollte der P-Eintrag um 500 kg/a reduziert werden.

Schwerpunkte der Belastung:

Der Kalbach entwässert 70 % des Gesamt-Einzugsgebietes des Bordesholmer Sees. Von dort gelangt die Hauptphosphorfracht, 800 bis 900 kg/a P, in den See. Im Mittel betrug die Phosphorkonzentration im Kalbach 2006 bis Mitte 2007 kurz vor der Mündung in den See 0,4 mg/l P (siehe Abbildung 8).

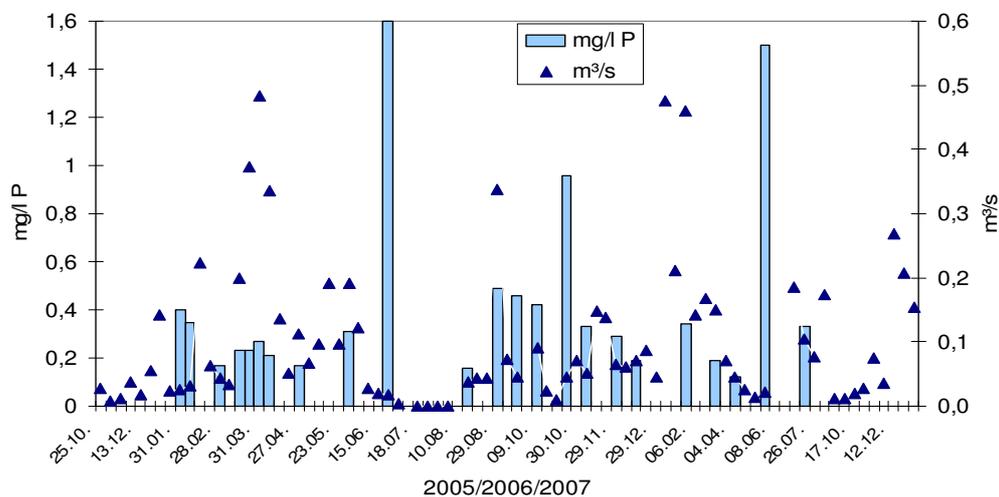


Abbildung 8: Phosphorkonzentrationen (mg/l) und Abflussmengen (m³/s) des Kalbachs 2005 bis 2007

Daher liegt auch der Schwerpunkt der Nährstoffbelastungsquellen im Einzugsgebiet des Kalbachs. Dabei sind folgende Quellen zu trennen:

1) Punktquellen: Das gereinigte Abwasser der Teich-Kläranlagen von Blumenthal und Sören wird in den Kalbach geleitet. Die jährliche P-Fracht liegt bei 236 kg/a (OtterWasser 2010).

2) Diffuse Quellen: 640 ha des 985 ha großen Kalbach-Einzugsgebietes werden ackerbau-lich genutzt. Legt man einen P-Austrag von im Mittel 0,5 kg/ha a P und Großvieheinheiten von 1,4 Stück/ha zugrunde, dann ergibt sich ein Flächenaustrag über die Äcker von 556 kg/a. Hinzu kommen die Austräge aus Grünland, Wald und Siedlung (116 kg/a). Nicht in die Berechnung mit eingehen ungereinigte Hof- und Silageabwässer, die jedoch punktuell eine größere Rolle spielen können.

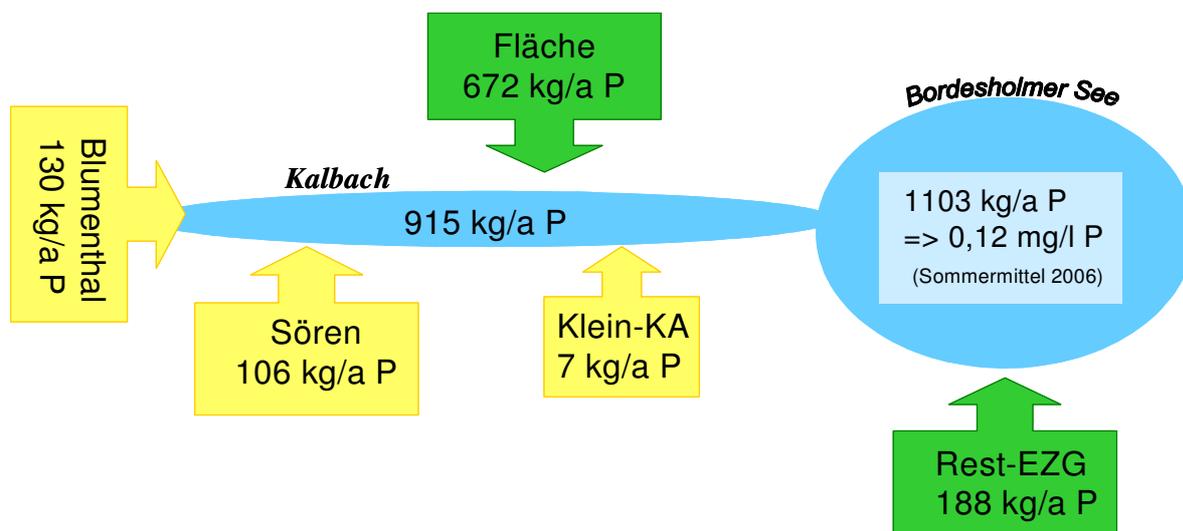


Abbildung 9: Die Eintragspfade des Phosphors in den Bordscholmer See (P-Einträge über die Fläche berechnet mit Exportkoeffizienten siehe Tabelle 2)

Auch der Siedlungsbereich kann bei starken Regenereignissen einen Belastungsschwerpunkt für den Bordscholmer See darstellen. 13 % des Gesamt-Einzugsgebietes sind besiedelt. Bei einem mittleren Exportkoeffizient von 0,75 kg/ha a P (die Auswertung der Ergebnisse des Untersuchungsprogramms zum Regenklärbecken Bordschholm ergaben sogar einen Flächenaustrag von 1,3 kg/ha a P (LANU 2000)) ergibt sich eine jährliche Phosphorfracht von 135 kg/a in den See.

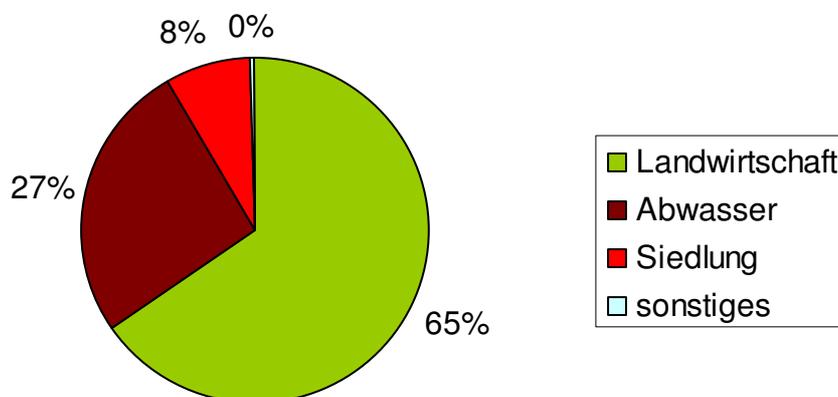


Abbildung 10: Anteile der Phosphorbelastung (%) durch Landwirtschaft, Abwasser bzw. Siedlungsbereich aus dem **Kalbacheinzugsgebiet**.

4.2 Auswertung der Analysenergebnisse des Fördervereins

Der Förderverein Bordscholmer See e.V. beprobt seit 1996 den Kalbach im Längsschnitt. Um zu überprüfen, ob die Analysenergebnisse des Vereins mit den Ergebnissen des LLUR vergleichbar sind, wurde die Phosphat-Konzentrationen des Messzeitraums 2006/07 im

Mündungsbereich des Bachs (Kalbачmündung/Wildhofstraße Verein bzw. Kalbачmündung LLUR, siehe Abbildung 11) gegenübergestellt. Dabei zeigt sich, dass die Phosphat-Konzentrationen des LLUR etwas höher sind als die des Vereins, der Trend der Messwerte jedoch vergleichbar ist (siehe Peak am 20. bzw. 22. Juni).

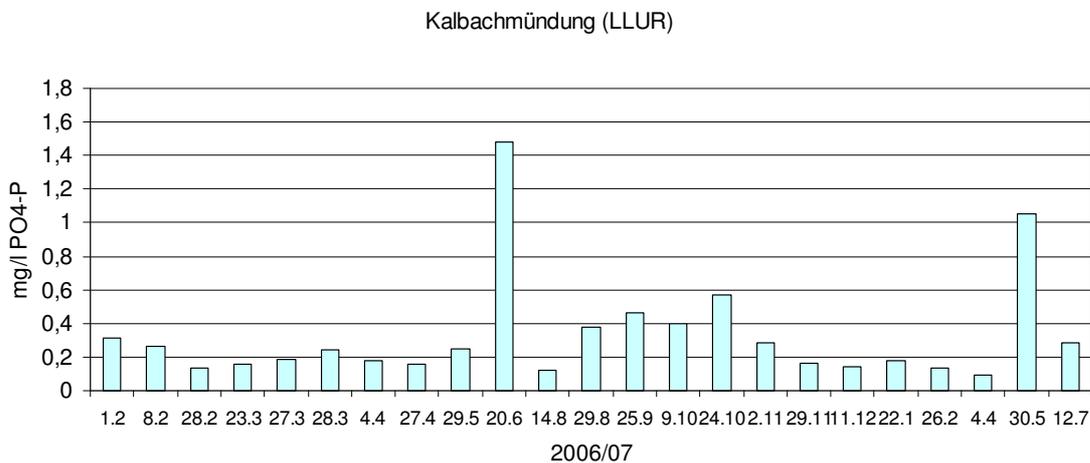
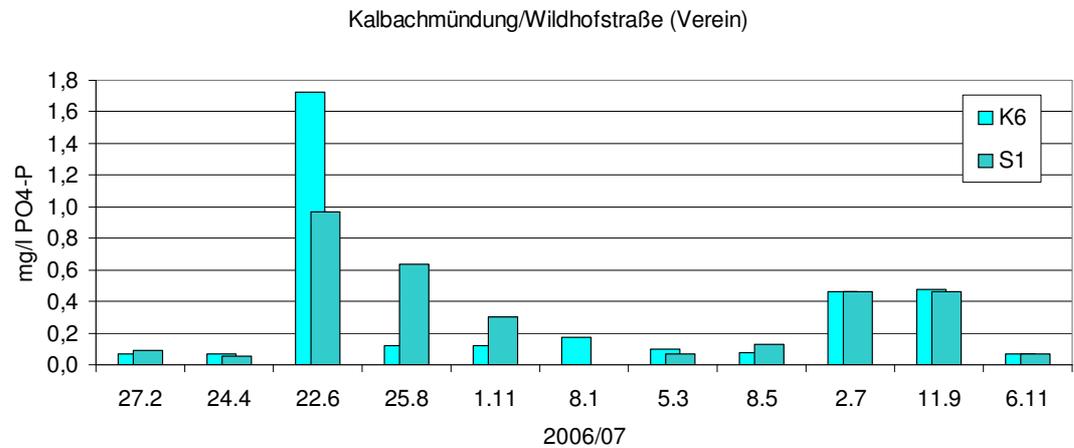


Abbildung 11: Vergleich der Phosphatanalyseergebnisse des Fördervereins und des LLUR 2006/2007

Die Messstellen des Fördervereins entlang des Kalbачs sind so ausgerichtet, dass bestimmte Belastungsschwerpunkte abgebildet werden können (Abbildung 12). So ist K1 hauptsächlich durch die Kläranlage Blumenthal beeinflusst, K2 liegt hinter der Ortlage Grevenkrug. K3 befindet sich im Kiebitzmoorgraben, im Ablaufgraben der Kläranlage Sören, und K4 südlich der L 49. K5 befindet sich im Duvendieksbach und K6 im Mündungsbereich zum Bordesholmer See.

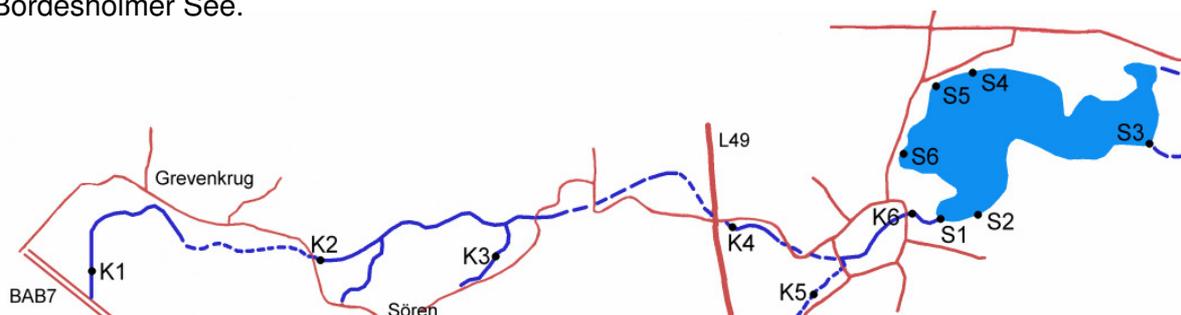


Abbildung 12: Messstellen des Fördervereins entlang des Kalbачs und im Bordesholmer See

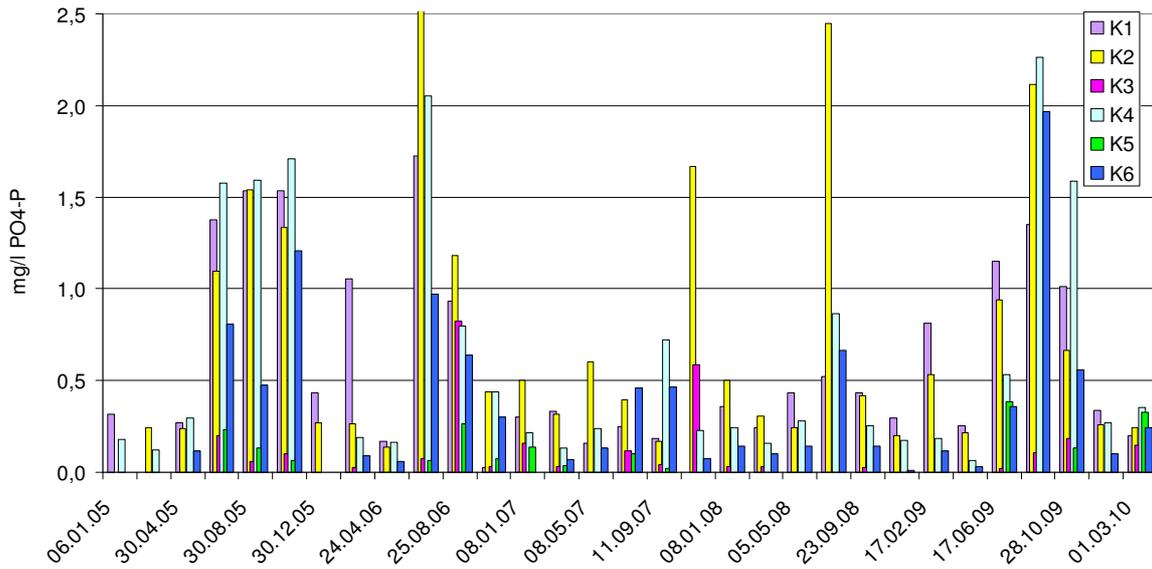


Abbildung 13: Phosphat-P-Konzentrationen des Messzeitraums 2005 bis März 2010 entlang des Kalbachs (Förderverein 2010)

In Abbildung 13 sind die Phosphat-P-Konzentrationen der Kalbachmessstellen in den Untersuchungsjahren 2005 bis März 2010 abgebildet. Auffallend ist, dass bereits im Oberlauf, also an den Messstellen K1 (im Mittel 0,58 mg/l P) und K2 (im Mittel 0,7 mg/l P), erhöhte P-Konzentrationen festgestellt wurden. Die Kläranlage Blumenthal und vor allen Dingen die Ortslage Grevenkrug inklusive der Dränagen der Umgebung sind daher als ein Belastungsschwerpunkt näher zu beleuchten. Die beiden Seitengraben waren eher unauffällig mit mittleren Konzentrationen von 0,09 (K3, KA Sören) bzw. 0,06 mg/l P (K5).

Im Mittellauf, an der Messstelle K4 (Regenwasser der L 49, Dränagen?), lagen die Phosphatkonzentrationen im Mittel genauso hoch wie im Oberlauf (0,58 mg/l P), verringerten sich in Richtung Seemündung jedoch auf 0,34 mg/l P.

Die Frachten können wegen fehlender Abflussmengen nicht ermittelt werden.

5 Maßnahmen

Im folgenden Kapitel werden mögliche Sanierungsmaßnahmen für den Bordesholmer See unter Einbeziehung des Grobkonzeptes für den Kalbach (Wasser- und Bodenverband Obere Eider 2004) und der Vorschläge des Fördervereins Bordesholmer See e.V. diskutiert.

5.1 Maßnahmen im Bereich der Abwasserbeseitigung

Vom LLUR wurde eine Studie in Auftrag gegeben, in der Optimierungsmöglichkeiten für die beiden Teichkläranlagen hinsichtlich der Phosphoreliminierung aufgezeigt wurden.

Die bestehende Abwasserbehandlung entspricht den allgemeinen Emissionsanforderungen. Auf den Kläranlagen Blumenthal und Sören sind aber noch Optimierungsmaßnahmen möglich, mit denen eine Reduzierung des Phosphoreintrages um bis zu 100 kg/a zu erreichen ist.

Umfangreichere technische Nachreinigungsmaßnahmen mit einer P-Fällung bzw. einem Sorptionsfilter gemäß dem Gutachten werden jedoch seitens des MLUR und LLUR als nicht kosteneffizient eingeschätzt. Folgende Vorschläge sollen näher betrachtet werden:

Kläranlage Blumenthal: Belüftete Teichanlage im Mischsystem (Ausbaugröße: 1.270 EW; angeschlossen: 1.294 EW) mit Simultanfällung. Anforderung im Ablauf: 2 mg/l P. Im Mittel wird mit 1,45 mg/l P eingeleitet.

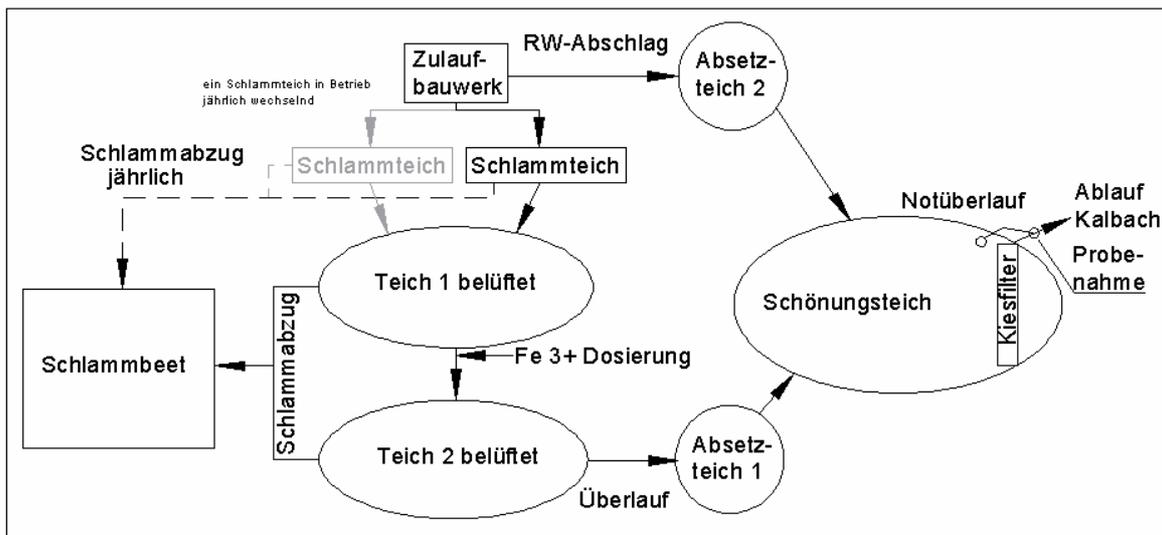


Abbildung 14: Schematischer Aufbau der Kläranlage Blumenthal

Für die Kläranlage Blumenthal wird vorgeschlagen, in einem ersten Schritt zu untersuchen, ob bei dem vorliegenden pH-Wert des Abwassers ein aluminiumhaltiges Fällungsmittel besser geeignet ist als das derzeit Verwendete. Diese Maßnahme wäre einfach umzusetzen und könnte im Ablauf eine Verbesserung bewirken.

Baulich wird empfohlen, den Abschlag des Regenwassers, welches zur Verdünnung des Abwassers beiträgt und eine geringere Reinigungsleistung bewirkt, bis zum höchst möglichen Einstauniveau unter Umgehung des Schlamnteiches in Teich 1 zu leiten und erst anschließend direkt in den Schönungsteich. Somit würde eine größere Abwassermenge behandelt werden. Der Schlammabzug sollte verbessert werden, um P-Rücklösungen zu vermeiden.

Darüber hinaus wird empfohlen, keine weiteren versiegelten Flächen an die Kläranlage anzuschließen bzw. nach und nach versiegelte Flächen von der Kanalisation abzukoppeln. Mit dieser Maßnahme würde weniger Regenwasser zur Kläranlage geleitet.

Kläranlage Sören: Unbelüfteter Abwasserteich im Mischsystem (Ausbaugröße: 200 EW; Anschlussgröße: 204 EW). Anforderung: 10 mg/l P. Tatsächlich wird im Mittel mit 2,33 mg/l P eingeleitet.

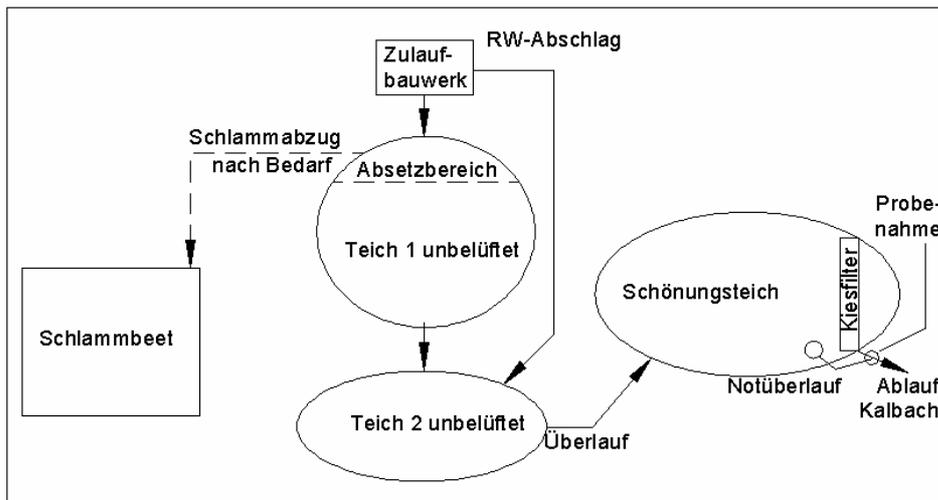


Abbildung 15: Schematischer Aufbau der Kläranlage Sören

In Sören sollte der zurzeit zugesetzte Kiesfilter gewässerschonend gereinigt und wieder in Betrieb genommen bzw. herausgenommen werden, da so das gereinigte Abwasser über den Notüberlauf abfließt und somit im Regenwetterfall das einströmende Volumen nicht aufgestaut wird, sondern direkt zum Abfluss kommt. Die Wiederinbetriebnahme des Filters sollte davon abhängig gemacht werden, ob mittels einer Rückspülung seine Funktion wieder hergestellt und das Rückspülwasser in der Teichanlage behandelt werden kann.

Als Maßnahmen zur P-Reduktion wird empfohlen, eine "ungeregelte Tropfen-Fällung" zu testen. Der optimale Zugabepunkt des Fällmittels (Zulauf der Anlage bzw. Ablauf Teich 1 oder 2) sollte ermittelt werden. Das Verfahren könnte mit vergleichsweise geringem finanziellem Aufwand installiert werden. Ist für die Fällung elektrische Energie erforderlich (zurzeit ist diese auf der Anlage nicht verfügbar), sollte geprüft werden, ob sie mittels regenerativer Verfahren erzeugt werden kann.

5.2 Maßnahmen im landwirtschaftlich genutzten Bereich

Folgendes Kapitel muss im Rahmen einer detaillierten landwirtschaftlichen Aufnahme ergänzt werden.

Schleswig-Holstein gewährt finanzielle Förderungen für Agrarumweltmaßnahmen. Auf diese Weise können landwirtschaftliche Flächen besonders umweltfreundlich bewirtschaftet werden. In Hinblick auf den Gewässerschutz werden die Umstellung auf ökologische Anbauverfahren, Winterbegrünung durch Untersaat oder Zwischenfrucht, verbesserte N-Ausnutzung aus flüssigem Wirtschaftsdünger und Schonstreifen gefördert. Die aktuelle Förderperiode läuft noch bis 2013, so dass neue Verträge ab 2014 angeboten werden können.

Aus dem Programm zur Förderung von Maßnahmen der naturnahen Fließgewässer- und Seenentwicklung sowie Niedermoorvernässung können jedoch auch andere langfristige Maßnahmen zur Reduzierung des Nährstoffeintrages in Oberflächengewässer finanziert werden.

Im Rahmen einer Vorplanung ist anhand vorhandener Unterlagen eine Risikoanalyse im Einzugsgebiets durchzuführen, die mit einer Datenerhebung vor Ort zu ergänzen ist (Befragung der Flächenbewirtschaftler zur detaillierten Bewirtschaftung, Erhebung der Dränagen usw.).

Auf Basis dieser Risikoanalyse sind Vorschläge zu erarbeiten, wie die Phosphateinträge in den See wirksam vermindert werden können. Folgende Punkte sind dabei zu berücksichtigen:

1) Lokalisierung landwirtschaftlich genutzter Flächen im Einzugsgebiet des Sees, deren Boden durch **Abtrag durch Wassererosion** gefährdet ist, anhand vorhandener Bewertungen (auf Grundlage des DGM 5 und der aus der Bodenart abgeleiteten Bodenerodierbarkeit, LLUR Abt. 6) unter Berücksichtigung der Fruchtfolgen und unter dem Aspekt der Bodenbedeckung. Geeignete Maßnahmen kommen dabei nicht nur dem Gewässerschutz, sondern auch dem Bodenschutz zugute.

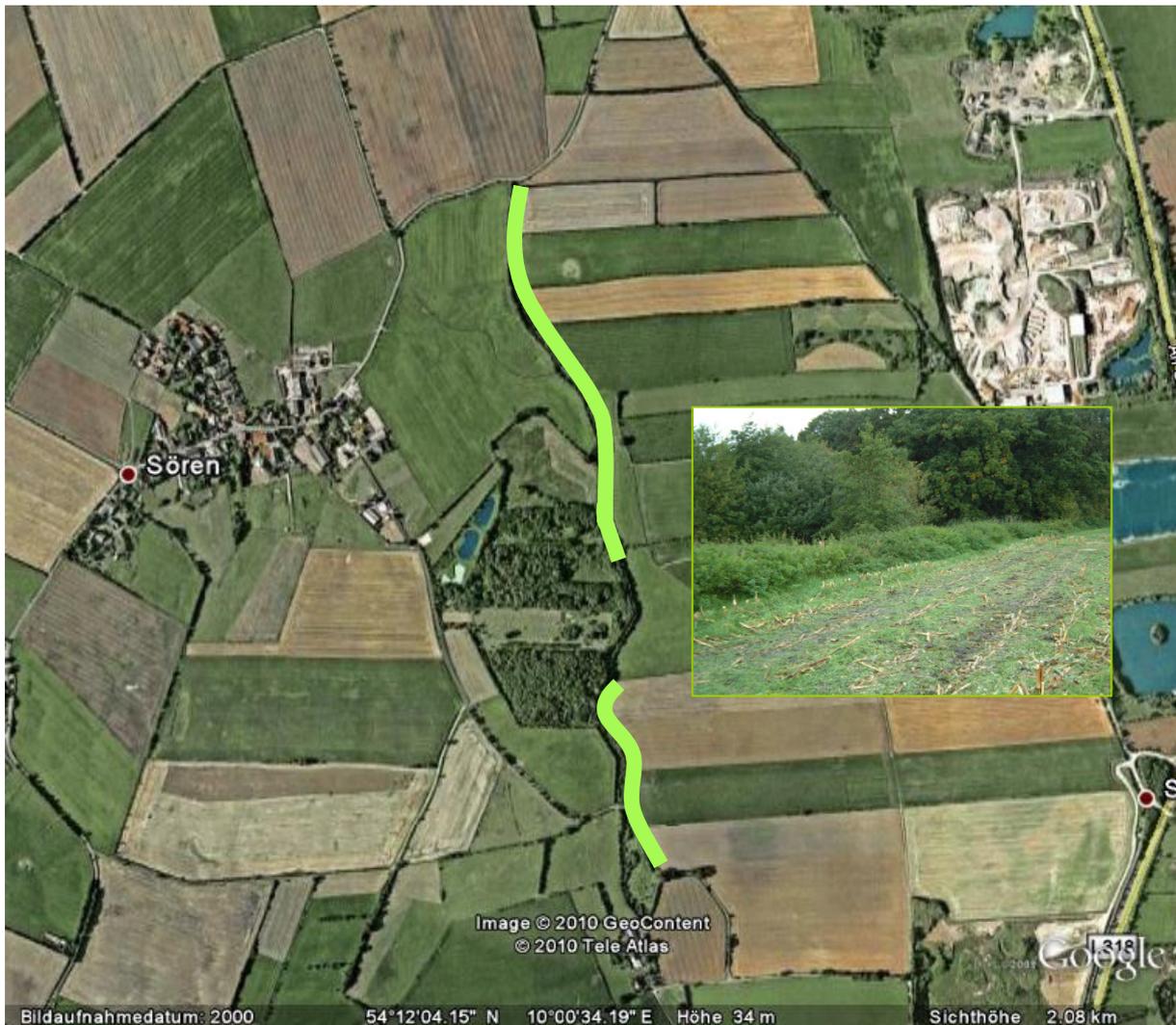


Abbildung 16 : Fehlende Randstreifen am Kalbach bei Ackernutzung

- ⇒ Ermittlung von notwendigen noch fehlenden Gewässerrandstreifen
- ⇒ Erarbeitung von flächenscharfen Maßnahmen zur Minderung der Erosion

z.B. Randstreifen am Beginn des Duvendieksgraben (oder verrohrt??) und am Kalbach zwischen Sören und Grevenkrug (siehe Abbildung)

Einschränkung der Bodenbearbeitung bei Erosionsgefahr, Zwischenfruchtanbau/Untersaaten weiträumig

2) Lokalisierung der **austragsgefährdeten Flächen über Dränagen und Oberflächenabfluss**:

Die Nutzung im Kalbach-Einzugsgebiet ist anhand vorhandener Daten und einem Abgleich im Gelände aufzunehmen und hinsichtlich ihres nutzungsbedingten Phosphataustragspotenzials einzustufen. Dabei hat eine detaillierte Bewertung der landwirtschaftlichen Nutzung im Hinblick auf die Fragestellung zu erfolgen (Einsatz in Menge und Zeit von mineralischem und von Wirtschaftsdünger, Phosphatversorgungsstufe der Böden, Dränagen, Ermittlung von intensiv genutzten Niedermoorflächen, Beweidungsintensität und -Dauer von Grünland, usw.). Das Einleitungskataster der Gemeinde (Amt Bordesholm 2009) und die Beprobungsergebnisse des Fördervereins sind dabei mit zu berücksichtigen.

- ⇒ Erarbeitung von flächenscharfen Maßnahmen zur Verringerung der P-Austrages
 - z.B. Entrohrung der Mündung des Tönsfeldgrabens und Auslaufen über die Niedermoorflächen,
 - Verzicht auf Herbstdüngung/Schlagbezogene Düngeplanung weiträumig,
 - Reduzierung der Düngung bei überversorgten Böden.

3) Lokalisierung von Einleitungen **von nährstoffreichem Oberflächenwasser** (siehe Einleitungskataster des Kalbachs (Amt Bordesholm 2009) und Messergebnisse des Fördervereins (2010, siehe Kapitel 4.2):

Reinigung von Hofentwässerungen; Vermeidung von Einträgen aus Silage z.B. in Grevenkrug

5.3 Maßnahmen im Siedlungsbereich

Regenwassereinleitungen: Durch eine Intensivierung der Straßenreinigung kann der Phosphoraustrag aus besiedelten Flächen reduziert werden. Eine weitere Steigerung des P-Rückhaltes ist nach SOMMER (2007) durch so genannte Straßenablauffilter möglich. Bei Neubauten bzw. Grundsanierungen von Straßen sollte eine dezentrale Versickerung des Regenwassers und somit eine Reinigung durch Bodenfiltration angestrebt werden.

Änderung der gewässernahen Nutzung im Siedlungsbereich: Im Bereich Bordesholm fließt der Kalbach/Waldbach entlang von Gärten. Auch hier können ungenutzte Randstreifen eine Verringerung von Nährstoffeinträgen durch Düngung bzw. Gartenabfällen und durch den Abbruch von Uferkanten bewirken.

5.4 Sonstige Maßnahmen

Sandfang/Sedimentationsbecken: Ein **Sandfang** ist eine becken- oder seeartige Erweiterung und Vertiefung eines Fließgewässers, die ständig durchflossen wird. Genügend große Feststoffpartikel, die schwerer sind als Wasser, können sich hier absetzen und werden nicht weitertransportiert. Ausschlaggebend dafür ist die Verringerung der Fließgeschwindigkeit in solchen Becken. Weiteres dazu siehe Kapitel 6.3.

Überschwemmungsflächen: Das Phosphorretentionsvermögen in Einzugsgebieten kann durch Reaktivierung von Landschaftselementen mit P-Senkenfunktion erhöht werden. Die Schlotfeldwiese könnte ggf. als Überschwemmungsfläche genutzt werden, um die Sedimentation von organischem Material im Kalbach zu erhöhen.

Interne Maßnahmen im See:

Biomanipulation: Bei überdüngten Seen ist häufig eine Überpopulation der so genannten Weißfische (Karpfenartige) ein Problem. Die Untersuchung des Planktons 2006 hat jedoch keinen überhöhten Fraßdruck auf das Zooplankton feststellen können. Eine Veränderung der Fischbewirtschaftung scheint daher nicht nötig.

Interne Phosphorfällung: Eine interne P-Fällung ist in einem See nur dann sinnvoll, wenn der Nährstoffeintrag aus dem Einzugsgebiet nur noch gering ist und die interne Düngung die Hauptbelastung des Sees darstellt. Dieses ist beim Bordscholmer See nicht der Fall (siehe Kapitel 4).

Teilentschlammung: Die Entschlammung eines Sees ist eine kostenintensive Maßnahme, die stark in das Ökosystem des Sees eingreift. Erfahrungen in Mecklenburg-Vorpommern haben gezeigt, dass die Erfolgsaussichten eher gering sind (MATHES, J. & KORCZYNSKI, I 2000, Mathes 2010). Das Verfahren eignet sich allenfalls bei kleinen flachen Gewässern, die im Sediment einen hohen Anteil an leicht abbaubarer organischer Substanz aufweisen (DWA 2006).

Sedimentabdeckung: Gemäß des Merkblattes „Maßnahmen zur Seentherapie“ (DWA 2006) sind nach aktuellem Kenntnisstand die Erfolgsaussichten und die Zweckmäßigkeit einer rein physikalischen Sedimentabdeckung für die Therapie planktondominierter eutropher Seen als gering zu bewerten.

Seespiegelabsenkung: Eine Seespiegelabsenkung und die damit einhergehende Entwässerung der Umgebung ist nicht sinnvoll.

6 Wirkung der Maßnahmen

6.1 Wirkung der Maßnahmen im Abwasser-Bereich

Kläranlage Blumenthal: Im Mittel liegt der Ablaufwert der Kläranlage bei 1,34 mg/l P. Durch die Optimierungsmaßnahmen (aluminiumhaltiges Fällmittel, verbesserter Schlammabzug, Regenwassereinstau über Teich 1) können die P-Konzentrationen geringfügig gesenkt werden.

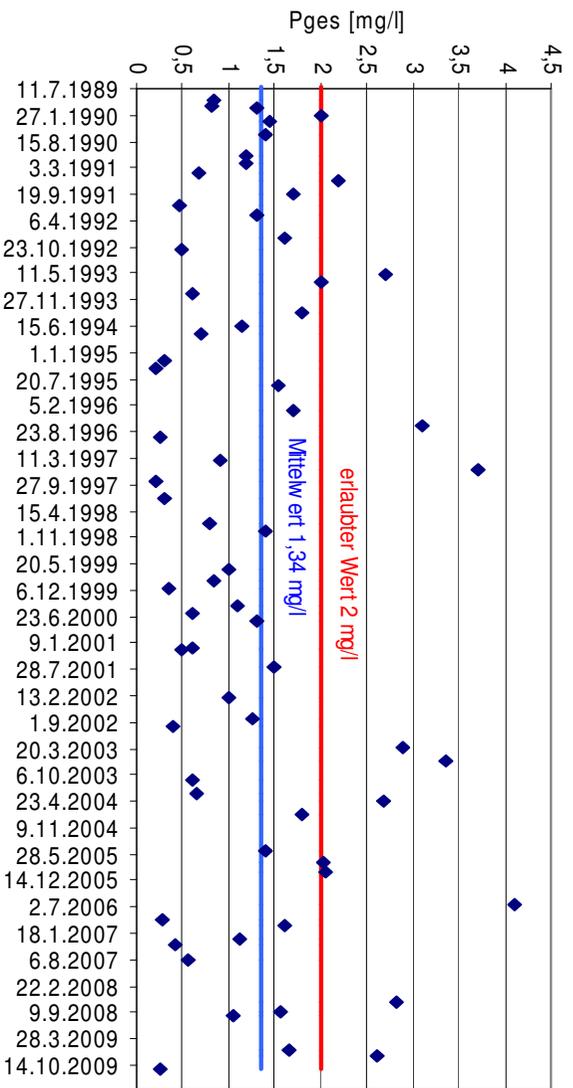


Abbildung 17: P-Gesamt-Messwerte der behördlichen Überwachung 1989 bis 2009 der Kläranlage Blumenthal

Kläranlage Sören: Im Mittel liegt der Ablaufwert der Kläranlage bei 2,33 mg/l P. Durch die Optimierungsmaßnahmen (Ausbau bzw. Wiederinbetriebnahme des Kiesfilters, Tropfenfällung, verbesserter Schlammabzug) können die P-Konzentrationen etwas gesenkt werden.

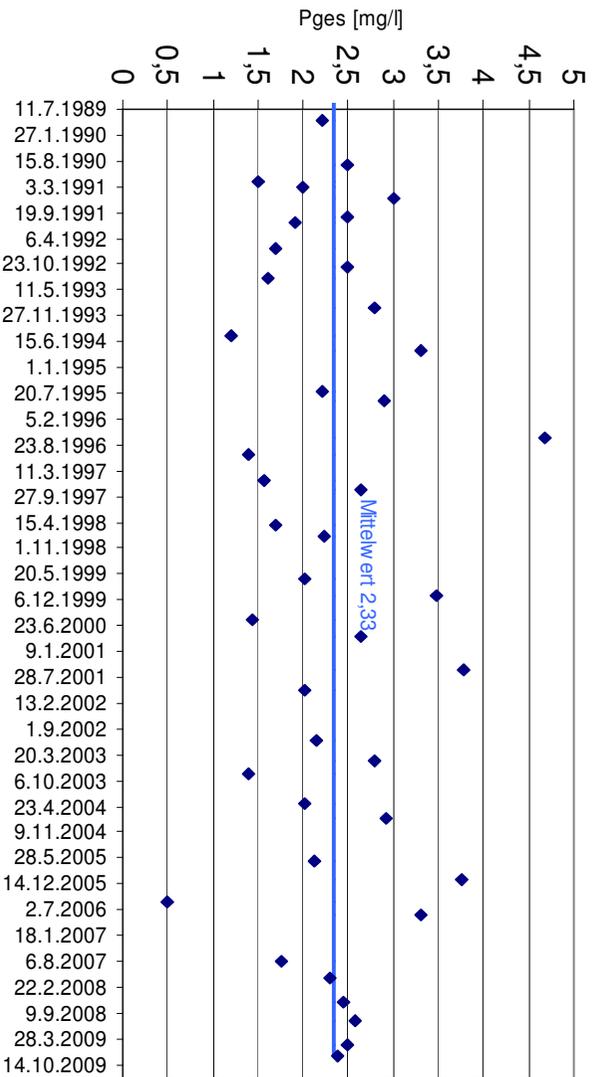


Abbildung 18: P-Gesamt-Überwachungsergebnisse der Kläranlage Sören 1989 bis 2009 (erlaubte Ablaufkonzentration: 10 mg/l P)

Die mit den Maßnahmen an beiden Kläranlagen erreichbare Entlastung lässt sich nur qualitativ abschätzen und wird voraussichtlich unter 50 kg Phosphor jährlich liegen.

6.2 Wirkung der Maßnahmen im landwirtschaftlich genutzten Bereich

Folgende Wirkungen hinsichtlich des Phosphorrückhalts sind bei den verschiedenen landwirtschaftlichen Maßnahmen zu erwarten:

Tabelle 4: Wirkungsabschätzung für verschiedene landwirtschaftliche Maßnahmen an gewässernahen Flächen.

| Maßnahme | Wirkfaktor P kg/ha a |
|----------------------|-------------------------|
| Beratung | 0,05 |
| AUM Winterbegrünung | 1 |
| AUM Schonstreifen | 1 |
| AUM Gülleausbringung | 0,1 |
| AUM Ökolandbau | 0,1 |
| Neuwaldbildung | 1 |
| Vertragsnaturschutz | 1 |

Unter der Annahme, dass entsprechende Maßnahmen auf 100 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche umgesetzt werden, würde der P-Eintrag höchstens um 100 kg/a gesenkt werden.

6.3 Wirkung der Maßnahmen im Siedlungsbereich

Durch eine Intensivierung der Straßenreinigung und ggf. durch eine Änderung der Nutzung (keine Düngung, kein Verbau) des Uferrandstreifens in den angrenzenden Gärten kann der P-Eintrag in den Bordsesholmer See sehr grob geschätzt um ca. 10 kg/a reduziert werden.

Ob so genannte Straßenablauffilter für Bordsesholm infrage kommen, wird zu diesem Zeitpunkt nicht geprüft.

6.4 Wirkung der sonstige Maßnahmen

Sandfang: Mit Hilfe von Absetzbecken und Sandfiltern wird der an Feststoff gebundene Phosphor entnommen. Der gelöste und der an organischen Schwebstoffen gebundene Phosphor werden nicht zurückgehalten, da die Aufenthaltszeiten für dessen Eliminationsvorgänge wie Adsorptions-, Fällungs-, und Kristallisationseffekte in der Regel zu gering sind.

Messungen im Jahr 2006 am Kalbach haben jedoch gezeigt, dass knapp 80 % des Phosphors gelöst als Orthophosphat vorlag (siehe Abbildung 19). Ein technischer Sandfang mag an Regenwasserzuläufen die Sandzufuhr ins Fließgewässer verringern und daher sinnvoll sein. Die Nährstoffbelastung des Bordsesholmer Sees würde jedoch nicht merklich verringert werden.

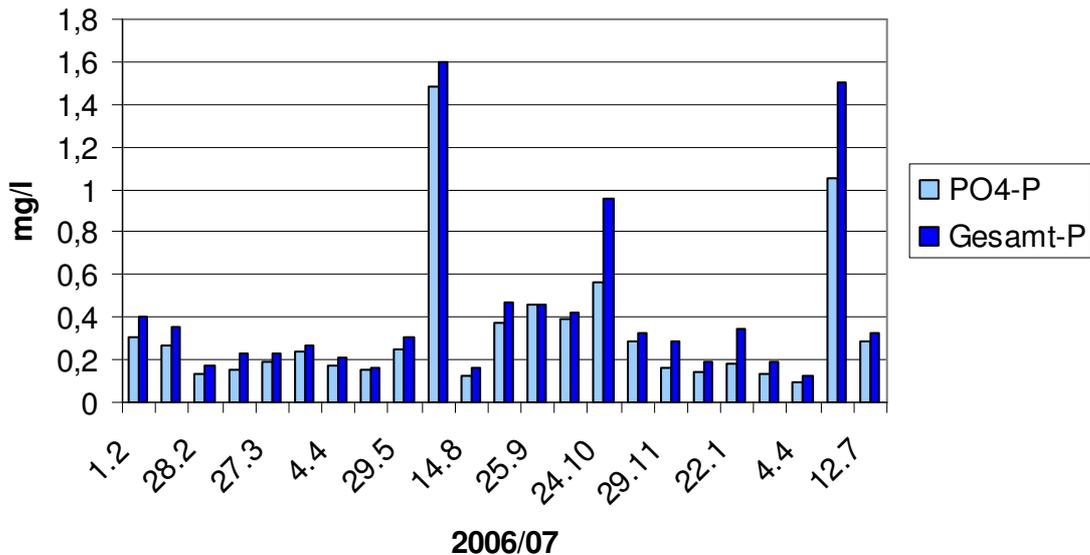


Abbildung 19: Gesamt-Phosphor- und Orthophosphatkonzentrationen im Kalbach 2006 und 2007

Nach TRAUTMANN et al. (pers. Mitteilung) können **Sedimentationsbecken, Retentions-teiche**, u.a. gelöstes Phosphat und abgeschwemmte Feststoffe, bestehend aus überwiegend kleinen Korngrößenfraktionen, nur wenig zurückhalten (ca. 10 %). Überdies kann der Rückhalt des Phosphors durch Rücklösungsprozesse überdeckt werden (TRAUTMANN et al 2006, LIKANEN 2004). Eine regelmäßige Räumung/Unterhaltung ist daher unumgänglich. Weiterhin ist zu bedenken, dass gerade im Winter zur Zeit der Hochwasserereignisse der Rückhalt in der Fläche bzw. in Teichen durch fehlende Vegetation am geringsten ist.

Ein 4000 m² großes Sedimentationsbecken mit einer mittleren Tiefe von ca. 0,45 m und einem Volumen von 1800 m³ würde auf der Pastoratswiese im Nebenschluss des Kalbaches Platz finden. Bei einem Abflussereignis von 0,5 m³/s (siehe Abbildung 8) betrüge die Wasseraufenthaltszeit eine Stunde. Die mittlere Abflussmenge lag in den Untersuchungsjahren Ende 2005 bis 2007 bei 0,1 m³/s. Die mittlere jährliche Aufenthaltszeit würde daher bei dieser Dimensionierung bei 5 Stunden liegen. Das ist sehr wenig. BENDORICCHIO et al. (2000) gehen bei ihren „Design-Kriterien“ von so genannten „constructed wetlands“ von einer erforderlichen Aufenthaltszeit von Tagen aus. BRASKERUD et al. (2005) nehmen das Verhältnis von Sedimentationsbecken und Einzugsgebiet als Dimensionierungsgröße. Nach ihren Angaben muss dieses mindestens 0,05 % betragen. Bei dem 10 km² großen Kalbach-Einzugsgebiet und einer Überschwemmungsfläche von 4000 m² läge das Verhältnis nur bei 0,04 %. Die P-Retention eines Retentionsbeckens auf der Pastoratswiese wird daher entsprechend gering eingeschätzt:

Bei der Annahme einer Retention hinsichtlich Phosphor von 10 % würden jährlich ca. 90 kg P zurückgehalten werden.

Voraussetzung ist jedoch ein bindiger Boden. Bei vorwiegend sandigem Untergrund würde sich das Becken regelmäßig im Winter, zur Zeit der höchsten Abflussereignisse, mit Grundwasser füllen. Das zufließende Kalbachwasser würde zwar verdünnt werden, die Aufenthaltszeit wäre jedoch noch kürzer und die P-Retention somit noch geringer. Eine Untersuchung des Bodens der Pastoratswiese wird vom LLUR zurzeit vorgenommen.

Es ist zu prüfen, ob auch die Schlotfeldwiese zu einer Sedimentationsfläche umgestaltet werden kann.

7 Wirkung/Kosten/Umsetzbarkeit

In Kapitel 6 wurden Maßnahmen in ihrer Wirkung hinsichtlich P-Rückhalt näher beleuchtet. Eine fachliche bzw. wirtschaftliche Einschätzung der Umsetzbarkeit im Einzugsgebiet des Bordesolmer Sees ging in die Betrachtung mit ein. Folgende Maßnahmen stellten sich als sinnvoll heraus:

Tabelle 5: Mögliche Maßnahmen im Einzugsgebiet des Bordesolmer Sees und ihre Wirkung bezüglich Phosphorrückhalt (kg/a P).

| Maßnahme | Wirkung (kg/a P) |
|--|------------------|
| Optimierung der KA Blumenthal und Sören | 40 |
| Intensivierung der Straßenreinigung/Änderung der Gartennutzung | 10 |
| Maßnahmen auf 200 ha landwirtschaftlicher Fläche | 200 |
| Landwirtschaftliche Beratung auf 400 ha | 20 |
| Reinigung von Hofabwässern | ? |
| Sedimentationsbecken Pastoratswiese | 90 |
| Überschwemmungsfläche Schlotfeldwiese | ? |
| Gesamt | 360 |

8 Weiteres Vorgehen

Durch die Optimierungsmaßnahmen an den Kläranlagen können grob geschätzt 40 kg/a P, im Siedlungsbereich 10 kg/a P und durch das Anlegen eines Sedimentationsbeckens höchstens 90 kg/a P zurückgehalten werden. Das Ziel, den P-Eintrag um 500 kg/a P zu reduzieren, kann daher nur erreicht werden, wenn auch die landwirtschaftliche Nutzung mit in die Sanierung des Sees einbezogen wird. Rein rechnerisch müsste die Hälfte der 640 ha Ackerfläche im Kalbach-Einzugsgebiet „extensiviert“ werden. Das ist nicht umsetzbar und auch nicht gewollt.

Mit einer landwirtschaftlichen Beratung, die den Schwerpunkt auf die Optimierung des Düngungs- und Bewirtschaftungsmanagement legt, soll eine Reduzierung von Nährstoffausträgen herbeigeführt werden. Die vom Land geförderten Agrarumweltmaßnahmen werden als ein weiteres geeignetes Instrument zum Schutz des Grundwassers betrachtet. Durch die Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen der naturnahen Fließgewässer- und Seenentwicklung sowie Niedermoorvernässung können langfristige Nutzungsänderungen entschädigt werden.

Voraussetzung für eine merkbare Verbesserung des ökologischen Zustandes des Bordesolmer Sees ist aber die großflächige Umsetzung der Maßnahmen im landwirtschaftlichen Bereich. Dazu kann eine Gewässerschutzberatung für die im Einzugsgebiet des Bordesolmer Sees wirtschaftenden Landwirte angeboten werden, die bei genügendem Interesse der Betroffenen ab 2011 beginnen kann. Die Gewässerschutzberatung für das Einzugsgebiet des Bordesolmer Sees soll von der parallel laufenden Gewässerschutzberatung zur Umsetzung der WRRL (Beratungsgebiet 3) getrennt werden, weil für die Seesanieung eine spezielle einzelbetriebliche Beratung erforderlich ist, die der Intensität der Beratung in Wasser-

schutzgebieten entspricht. Ein Informationsaustausch zwischen beiden Beratungsangeboten und ein konstruktiver Austausch der Beteiligten wird jedoch für erforderlich gehalten. Da eine solche Sonderberatung für Seen in Schleswig-Holstein bisher noch nicht angeboten wurde, hat die Maßnahme einen gewissen Pilotcharakter, der Vorbild für weitere Seesanierungen haben kann.

Voraussetzung für einen Erfolg der Seesanierung ist eine hinreichend große Bereitschaft der im Einzugsgebiet wirtschaftenden Landwirte. Wenn bis Ende September 2010 von den betroffenen Landwirten die Mitwirkung zugesagt wird, kann in diesem Jahr bereits mit den Voruntersuchungen und Betriebsaufnahmen begonnen werden. Wenn dann bis 2011 eine großflächige Akzeptanz für die Umsetzung der landwirtschaftlichen Maßnahmen erreicht werden kann, können auch andere in Kapitel 5 beschriebenen Maßnahmen umgesetzt werden.

Anderenfalls werden allerdings die Bemühungen um eine Sanierung des Sees eingestellt, weil dann keine Aussicht auf eine Verbesserung des Zustands zu erreichen ist.

9. Literatur

Amt Bordesholm 2009: Einleitungskataster Kalbach

ARP, W. (2007): Untersuchung des Phyto- und Zooplanktons schleswig-holsteinischer Seen 2006. Bericht im Auftrag des LLUR.

BENDORICCHIO, G., DAL CIN, L. & PERSSON, J. (2000): Guidelines for free water surface wetland design. EcoSys, Bd. 8: 51-91.

BRASKERUD, B.C., TONDERSKI, K.S., WEDDING, B., BAKKE, R., BLANKENBERG, A.-G.B., ULÉN, B. & KOSKIAHO, J. (2005): Can contracted wetlands reduce the diffuse phosphorus loads to eutrophic water in cold temperate regions? J. Environ.Qual. 34: 2145-2155.

DWA (2006): Merkblatt DWA-M 606, Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie, 112 Seiten.

Förderverein Bordesholm e.V. (2010): Analyseergebnisse der Beprobungen entlang des Kalbachs, pers. Mitteilung.

LANU (2000): Bewertung der Ergebnisse, Untersuchungsprogramm 1999/2000 zum Bau und Betrieb des Regenklärbeckens Bordesholm.

www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/WasserMeer/12_Abwasser/05_Regenwasserbeseitigung/PDF/RegenklaerbeckenBordesholm.templateId=raw.property=publicationFile.pdf

LAWA (2010): Bewertung von Seen mit Hilfe chemisch-physikalischer Parameter, unveröffentlichter Bericht.

LIIKANEN, A., PUUSTINEN, M., KOSKIAHO, J., VÄISÄNEN, T., MARTIKAINEN, P. & HARTIKAINEN, H. (2004): Phosphorus removal in a wetland constructed on former arable land. J. Environ. Qual. 33: 1124-1132.

MATHES, J. & KORCZYNSKI, I. (2000): Das Sanierungs- und Restaurierungsprogramm der Seen in Mecklenburg-Vorpommern. Wasser, Luft und Boden 5: 24 - 27

MATHES, J. (2010): Erfahrungen bei Entschlammung von Seen in Mecklenburg-Vorpommern, pers. Mitteilung.

OTTERWASSER 2010: Optimierung der Kläranlagen Blumenthal und Söhren und Planung eines Bodenfilters unter Berücksichtigung der Reinigungsleistung bezüglich Phosphor und der örtlichen Gegebenheiten zur Sanierung des Bordscholmer Sees; Studie im Auftrag des LLUR.

SOMMER, HARALD (2007): Anlagen zur Behandlung und Filtration von Straßenabflüssen in Gebieten mit Trennsystemen - Neuentwicklungen und Untersuchungen, Dissertation der Universität Hannover. www.sieker.de

STUHR, J. (2006): Monitoring der Qualitätskomponente Makrophyten für die WRRL- und FFH-Richtlinie in schleswig-holsteinischen Seen, 2006. Bericht im Auftrag des LLUR.

TRAUTMANN, A., GELBRECHT, J., BEHRENDT, H., GÜDE, H., LENGSELD, H. (2006): Möglichkeiten der Senkung von Phosphoreinträgen aus Einzugsgebieten von Seen, unveröffentlicht.

Wasser-und Bodenverband Obere Eider 2004: Grobkonzept Kalbach