



Modellprojekt:

**„Bau, Erprobung und wissenschaftliche Begleitung eines
neuartigen Filterkörpers zur Phosphatadsorption und
Keimelimination am Beispiel des Badesees beim Sommercamp
Otterndorf/Landkreis Cuxhaven“**

**Abschlussbericht über ein innovatives Modellprojekt,
gefördert unter dem Az: 24712-223 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

**von
Herrn Stefan Bruns, Firma Polyplan
Herrn Thomas Rott, Landeshauptstadt Hannover**

September 2010

Bezugsquelle für den Abschlussbericht:

**Landeshauptstadt Hannover
Fachbereich Jugend und Familie
Jugend Ferien-Service, OE 51.51
Ihmepassage 7
30449 Hannover**

Modellprojekt:

**„Bau, Erprobung und wissenschaftliche Begleitung eines
neuartigen Filterkörpers zur Phosphatadsorption und
Keimelimination am Beispiel des Badesees beim Sommercamp
Otterndorf/Landkreis Cuxhaven“**

**Abschlussbericht über ein innovatives Modellprojekt,
gefördert unter dem Az: 24712-223 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt,
Bewilligung vom: 22.06.2007**

**von
Herrn Stefan Bruns, Firma Polyplan
Herrn Thomas Rott, Landeshauptstadt Hannover**

September 2010

10/01		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
AZ	24712	Referat	23	Fördersumme	114.511,00 €
Antragstitel		Bau, Erprobung und wissenschaftliche Begleitung eines neuartigen Filterkörpers zur Phosphatadsorption und Keimelimination am Beispiel des Badesees beim Sommercamp Otterndorf/Landkreis Cuxhaven			
Stichworte		Wasser, Sanierung			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
36 Monate		22.06.2007		21.06.2010	
Projektphase(n)		Zwischenberichte			
Bewilligungsempfänger		Stadt Hannover FB Jugend und Familie, Jugend Ferien-Service Ihmepassage 7 30449 Hannover		Tel 0511-168-45418 Fax 0511-168-44865 Projektleitung Herr Thomas Rott Bearbeiter	
Kooperationspartner		Leibniz Universität Hannover Institut für Biophysik Herrenhäuser Str. 2 30419 Hannover		Polyplan GmbH Ingenieurbüro für Energie- und Umwelttechnik Überseetor 14 28217 Bremen	
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Die Nutzung des im Sommercamp Otterndorf befindlichen Badesees ist zunehmend in Frage gestellt. In den vergangenen Jahren wurden im Gewässer verstärkt Cyanobakterien nachgewiesen. Weiterhin wurden Überschreitungen der imperativen Werte der EU-Badegewässerrichtlinie für den pH-Wert und die Sichttiefe angegeben. Die Problematik ist auf eine erheblich zu hohe Phosphatkonzentration im Gewässer zurückzuführen.</p> <p>Zur Sanierung des Gewässers soll erstmals ein halbsynthetisches Filtermaterial genutzt werden. Dieses wurde von der Firma „Polyplan“ im DBU Modellprojekt „Entwicklung eines synthetischen Filtermaterials zum Einsatz in schnell durchflossenen Bodenfiltern“, AZ 16562 entwickelt. In konventionellen Anlagen zur Adsorption von Phosphaten wurde bislang Oolith eingebracht. Das Material ist nur in Steinbrüchen verfügbar und muss über viele Kilometer zu den Einsatzorten transportiert werden.</p> <p>Im oben beschriebenen Modellprojekt wurde ein Ersatzstoff auf der Basis von herkömmlichem Kies entwickelt. Dieses Material ist überall verfügbar. Zum Einsatz in dem Filter wird der Kies Körnung 2-5 mm mit Eisenpulver-Zement beschichtet. Die Entwicklung und der Einsatz des Ersatzstoffes erfolgten bislang ausschließlich in Laborversuchen. Hier konnte eine hohe Adsorptionsfähigkeit nachgewiesen werden. Das nunmehr beantragte Modellprojekt soll nachweisen, dass ein Einsatz in der Praxis den gleichen Erfolg erzielt.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
Die Vorteile des halbsynthetischen Materials gegenüber herkömmlichen Oolith sind: es ist					

kostengünstiger, es hat eine höhere Adsorptionsleistung, es ersetzt konventionelle Rohstoffe, es besteht eine höhere Verfügbarkeit vor Ort und es fallen keine längeren Transportwege an (Vermeidung von Emissionen).

In diesem F & E Projekt sollen folgende Schritte erprobt werden: Entwicklung des Verfahrens zur Materialherstellung vor Ort, Entwicklung des Verfahrens zur Materialherstellung im großtechnischen Maßstab, praktische Erprobung der Verfahrensschritte und Reinigungsleistung, Optimierung der Anlagenstufe, betriebsbegleitende Auswertung über 36 Monate, um die Leistungsfähigkeit und Praktikabilität des Materials und Verfahrens zu bewerten.

Ergebnisse und Diskussion

Das F & E Projekt konnte wie geplant umgesetzt werden. Das Koatingmaterial wurde entsprechend dem Antrag hergestellt, eingesetzt und erprobt. Der Bau der Anlage wurde nach Bewilligung des vorgezogenen Maßnahmebeginns am 25.04.2007 begonnen. Die Reinigungsstufen wurden dann zeitlich versetzt in Betrieb genommen.

Die Herstellung des halbsynthetischen Filtermaterials vor Ort verlief zunächst nicht optimal, so dass sich nach einem halben Jahr ein Rückstau in dem Filter ergab. Nach einer Analyse der Problemlage konnte dieser jedoch behoben werden, indem zusätzliche Trennkörper eingebaut wurden. Der Vorfall lieferte wichtige Erkenntnisse für die zukünftige Herstellung des Materials. Weitere Probleme bei Einbau oder Betrieb ergaben sich nicht.

Die Abbauleistung im Filter wurde von der Leibniz Universität Hannover über die Laufzeit des Projektes ausgewertet. Sie lag im Schnitt etwas über der Abbauleistung des Referenzfilters. Das Material ist damit ein guter Ersatz für Oolith.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Bodenfilteranlage wurde unter Jugendbildungsaspekten für Veranstaltungen und Präsentationen für Kinder- und Jugendliche sowie Schulklassen und Kindergärten genutzt. Eine Agentur führte im Jahr 2009 für ca. 560 Teilnehmer und Teilnehmerinnen Workshops zu Aufbau, Funktionsweise und Wirkung der Anlage durch. Die Veranstaltungen waren ein voller Erfolg.

Die Daten der wissenschaftlichen Begleitung wurden an der Leibniz Universität Hannover gesammelt und u.a. im Rahmen einer Promotion verwendet.

Die Firma Polyplan hat in einschlägigen Arbeitsgruppen regelmäßig über den Fortgang des Projektes berichtet.

Der Projektträger hat über das Projekt in den zuständigen Aufsichtsgremien der Landeshauptstadt Hannover mehrfach berichtet, u.a. fand am 26.09.2009 mit Mitgliedern des Jugendhilfeausschusses der Landeshauptstadt Hannover und dem Samtgemeindebürgermeister des Landes Hadeln eine Begehung statt.

Weiterhin wird überlegt, die Ergebnisse des Modellprojektes auf einer Tagung gemeinsam mit anderen Modellprojekten dem interessierten Fachpublikum zu präsentieren.

Fazit

Das Forschungsvorhaben war in zweierlei Hinsicht ein Erfolg. Zum einem hat sich das halbsynthetische Filtermaterial hinsichtlich seiner Verwitterungsbeständigkeit und Adsorptionskapazität bewährt. Dieses Material wird in zukünftigen Anlagen zum Einsatz kommen.

Zum anderen hat die Sanierungsmaßnahme insgesamt dazu beigetragen, dass das Sanierungsziel für den Betreiber erreicht wurde.

Insgesamt sind wir der Meinung, dass man Forschung und direkten Nutzen nicht näher zusammenbringen kann wie in diesem Projekt.

Inhaltsverzeichnis:

	Tabellenverzeichnis, Abbildungsverzeichnis, Anlagenverzeichnis	Seite 7
0.	Zusammenfassung	Seite 8
1.	Einleitung	Seite 9
2.	Kooperation	Seite 10
3.	Beschreibung Badesees und Anlagenbau	Seite 11
4.	Betriebserfahrungen mit der 2. Stufe	Seite 15
5.	Modellrechnung zur Auswirkung auf die Wasserqualität	Seite 16
6.	Jugendbildungsaspekte	Seite 19
7.	Fazit	Seite 20

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1	Funktionen der Bauteile	Seite 14
Tabelle 2	Volumenströme	Seite 16
Tabelle 3	Morphometrie und Rentention	Seite 16
Tabelle 4	Gebietsniederschlag	Seite 16
Tabelle 5	Bilanzwerte (2008)	Seite 17

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1	Sommercamp Otterndorf	Seite 9
Abbildung 2	Neptunfilter	Seite 10
Abbildung 3	Badesee und Bodenfilteranlage im Sommercamp	Seite 11
Abbildung 4	Stufe 3, Belüftung, Absetzen und Filtration	Seite 12
Abbildung 5	Stufe 2, Vorbereitung und Aufbau des Testfeldes	Seite 13
Abbildung 6	Stufe 1	Seite 13
Abbildung 7	Halbsynthetisches Filtermaterial	Seite 13
Abbildung 8	Übersichtsaufnahme Bodenfilteranlage	Seite 14
Abbildung 9	Fließschema	Seite 15
Abbildung 10	Über Modellrechnung nachgewiesener Konzentrationsverlauf Pges-P gem. der Daten aus dem Referenzjahr 2008.	Seite 18
Abbildung 11	Ergebnisse der Phosphorbilanz	Seite 18
Abbildung 12	Funktionsmodelle	Seite 19

Anlagen:

Anlage 1	Abschlussbericht der Leibniz Universität Hannover	A 1
Anlage 2	Betriebstagebuch	A 2

0. Zusammenfassung

Das Modellprojekt „Bau, Erprobung und wissenschaftliche Begleitung eines neuartigen Filterkörpers zur Phosphatadsorption und Keimelimination am Beispiel des Badesees beim Sommercamp Otterndorf/Landkreis Cuxhaven“ wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt mit Datum vom 22.06.2007 unter Aktenzeichen 24712-223 bewilligt.

Es diente der praktischen Erprobung eines neuartigen Filtermaterials zum Einsatz in Bodenfiltern für Naturbäder oder Badeseen. Hierzu wurde am Naturbadensee im Sommercamp Otterndorf der Landeshauptstadt Hannover eine Bodenfilteranlage mit parallelen Filterbereichen erstellt. Ein Becken enthielt das neuartige halbsynthetische Filtermaterial. Ein zweites Becken wurde mit herkömmlichen Oolith gefüllt, so dass direkte Vergleichswerte ermittelt werden konnten.

Während der Projektlaufzeit wurden Untersuchungen zu folgende Fragestellungen durchgeführt:

- Entwicklung der zweiten Anlagenstufe,
- Erprobung des kombinierten Verfahrens,
- Entwicklung des Verfahrens zur Materialherstellung vor Ort,
- Entwicklung des Verfahrens zur Materialherstellung im großtechnischen Maßstab,
- Praktische Erprobung der Verfahrensschritte und der Anlagenstufe,
- Betriebsbegleitende Auswertung über 2 Jahre, um die Leistungsfähigkeit und Praktikabilität des Materials und Verfahrens nachzuweisen.

Die Evaluation durch die Leibniz Universität Hannover hat dabei ergeben, dass das neue Material sich im Hinblick auf die Verwitterungsbeständigkeit und Adsorptionskapazität bewährt hat und herkömmliches Naturmaterial (Oolith) übertrifft.

Die Herstellerfirma Polyplan kommt daher zu dem Schluss, dass dieses Material in zukünftigen Anlagen zum Einsatz kommen wird.

Insbesondere durch die Herstellung des Materials vor Ort und damit die Vermeidung längerer Transportwege und den Ersatz konventioneller Rohstoffe werden positive Effekte für die Umwelt erwartet.

Träger des Modellprojektes war die Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Jugend und Familie. Die Anlage wurde von der Firma Polyplan, Bremen, hergestellt. In diesem Rahmen oblag der Herstellerfirma die Entwicklung, Herstellung, Einbau und Erprobung des Filtermaterials. Die wissenschaftliche Evaluation übernahm die Leibniz Universität Hannover.

1. Einleitung

Die Landeshauptstadt Hannover betreibt seit 1963 das Sommercamp Otterndorf. In dieser Kinder- und Jugendhilfeeinrichtung verbringen jährlich bis 8.500 Kinder und Jugendliche ihre Ferien oder Freizeiten. Im Zeltlager werden zahlreiche Spiel-, Sport- und Freizeitaktivitäten vorgehalten. Mittelpunkt der Anlage ist ein ca. 6 ha großer Badesee. Dieser wird zum Baden sowie für zahlreiche Wassersportaktivitäten genutzt. Der See stellt somit das Herz der Anlage da.

Bereits im Jahr 1977 wurden im Zuge der Sanierungsplanung für die benachbarten Otterndorfer Badeseen Untersuchungen zum Nährstoffgehalt und zur Zusammensetzung des Phytoplanktons in den Badeseen durchgeführt. Bereits damals wurde die Problematik von zu hohen Nährstoffkonzentrationen deutlich.



Abbildung 1: Sommercamp Otterndorf

In den letzten Jahren wurden bei Untersuchungen des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes dann zunehmend Cyanobakterien gefunden. Darüber hinaus wurden Überschreitungen der imperativen Werte der EU-Badegewässerrichtlinie für den pH-Wert und die Sichttiefe angegeben. Eine Schließung des Badesees wegen akuter Gesundheitsgefährdung der Badenden stand sowohl in der Saison 2005 als auch 2006 im Raum und konnte nur durch Sondermaßnahmen verhindert werden. Nach diesen Analysen war die Badenutzung des Sees dauerhaft nicht mehr gesichert und damit auch der Bestand des Camps in Frage gestellt.

Vor diesem Hintergrund wurde das Institut KLS (Konzepte Lösungen Sanierung im Gewässerschutz) mit einer Voruntersuchung und einer Machbarkeitsstudie zur Restaurierung des Gewässers beauftragt. Die Studien zu den Möglichkeiten der Seentherapie wurden im Januar 2006 erstellt. Zur Sanierung der Gewässer wurden verschiedene Schritte vorgeschlagen. Wichtigste Maßnahme war der Bau eines Bodenfilters mit anschließender Phosphor-Adsorptionsanlage, welche dem See das Phosphat entzieht. So wird der Nährstoff (Phosphat) für die Algen als Pges-P herausgefiltert und schließlich als PO₄-P im Filtergranulat und in der nachgeschalteten P Adsorptionsanlage adsorbiert.



Abbildung 2: Neptunfilter

Vorgeschlagen wurde der Bau eines externen Filterkörpers der Marke Neptun. Die Anlagen dieses Typs werden sowohl in der Seesanierung als auch in Naturfreibädern eingesetzt. In Deutschland sind derzeit ca. 20 derartige Anlagen in Betrieb. Im Gegensatz zu den mittlerweile konventionellen Anlagen dieses Typs, welche als Filtermaterial Oolith benutzen, sollte die 2. Stufe mit einem halbsynthetischen Filtermaterial (Forschungsergebnis aus dem Vorhaben: „Entwicklung eines Synthetischen Filtermaterials zum Einsatz in schnell durchflossenen Bodenfiltern“; gefördert von der DBU; AZ: 16562) beschickt werden.

Die Vorteile des halbsynthetischen Materials gegenüber herkömmlichen Oolith sind:

- es ist kostengünstiger,
- es hat eine höhere Adsorptionsleistung,
- es besteht eine höhere Verfügbarkeit vor Ort,
- es fallen keine längeren Transportwege an.

2. Kooperation

Für die wissenschaftliche Begleitung des Modellprojektes konnte die Arbeitsgruppe Biotechnologie der Leibniz Universität Hannover gewonnen werden. Die Institute Biophysik und WBBau „Wasser und Umwelt“ waren beteiligt. Ziel war neben einer begleitenden Untersuchung zur adsorptiven Phosphatelimination auch die Eliminationsleistung des Filters hinsichtlich hygienisch relevanter Parameter zu bewerten.

In den ersten beiden Jahren geschah dies im Rahmen einer kontinuierlichen Probenahme, in 2009 wurde demgegenüber ein kurzer Zeitabschnitt sehr intensiv beprobt. Die Daten wurden zusätzlich für die Erstellung einer Promotion genutzt.

Über die Durchführung der wissenschaftlichen Begleitung wurde mit Datum vom 16.07.2007 eine entsprechende Kooperationsvereinbarung geschlossen.

Filteranlagen des beschriebenen Typs werden derzeit ausschließlich von der Firma Polyplan in Bremen erstellt. Diese sammelte bereits Erfahrungen mit dem Bau einer vergleichbaren Anlage am Nachbarsee „Achterndiek“ in Otterndorf. Weiterhin wurde das o.g. DBU Projekt 16562, welches die Grundlagen für dies Modellprojekt lieferte, von der Firma durchgeführt.

Die Zusammenarbeit der Kooperationspartner erwies sich im Projektverlauf als sehr förderlich. Die von der Uni gesammelten Daten halfen die Anlage zu optimieren, Schwachstellen aufzudecken und abzubauen. Gerade im 2. Betriebsjahr konnten einige der gemessenen Werte nicht auf Anrieb erklärt werden. Erst eine gemeinsame Auswertung der Daten ergab schlüssige Ergebnisse, die technische Nachbesserungen an der Anlage ermöglichten. Um die Entwicklung des Badesees aufzuzeigen, wurden die Daten auch dem Gesundheitsamt des Landkreises Cuxhaven zur Verfügung gestellt. Auf Wunsch der Aufsichtsbehörde analysierte die Uni zu Beginn des Projektes zusätzlich die im See vertretenen Spezies vom Phytoplankton.

Die Mitarbeiter des Sommercamps unterstützten sowohl bei Bau und Wartung der Filteranlage als auch bei der Probennahme. Weiterhin wurden die Daten für das Betriebstagebuch erhoben.



Abbildung 3: Badeseesee und Bodenfilteranlage im Sommercamp

Dadurch, dass die Anlage per Modem von Polyplan direkt gesteuert werden kann, konnten kleinere Störungen meist umgehend erledigt werden. Die Fernwartung hat sich als sehr hilfreich erwiesen.

Die Zusammenarbeit wird von allen Beteiligten als sehr vertrauensvoll und erfolgreich angesehen.

3. Beschreibung Badeseesee und Anlagenaufbau

Die Badeseesee auf dem Gelände des Hinrich-Wilhelm-Kopf-Lagers bestehen aus 3 Gewässerbereichen, die im Folgenden mit Becken 1 bis 3, von SO in Richtung NW bezeichnet werden.

Die Becken sind durch Überläufe miteinander verbunden. Es besteht somit eine eingeschränkte hydraulische Verbindung. Die Gewässerqualität entspricht nicht der EU Badewasserqualität. Grund für die schlechte Gewässerqualität ist der hohe

Gehalt an Phosphaten, die zu einer extremen Algenproduktion führen. Die Voruntersuchungen zur Sanierung wurden vom Limnologiebüro KLS durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit dem Bericht 05-059 am 29.09.2005 vorgelegt und dienen als Grundlage für diese Arbeit.

In der Sanierung ist zu bedenken, dass die 3 Becken unterschiedlichen Nutzungsansprüchen unterliegen und somit entsprechende unterschiedliche Wasserqualitäten erzielt werden sollen. Die höchsten Anforderungen werden an das Becken 1, dem Nichtschwimmerbecken gestellt. Hier soll ein attraktives, möglichst klares Wasser bereitgestellt werden. In Becken 2 soll mittelfristig die Badewasserqualität gem. EU Badewasserrichtlinie eingehalten werden. In Becken 3, welches vornehmlich als Seebereich für den Segel und Surfsport genutzt wird, soll die Wassertransparenz nicht zu deutlich steigen, da ansonsten mit einer starken Verkräutung zu rechnen wäre, die den Segelsport erheblich einschränken könnte.

Eine Hauptursache für die hohen Nährstoffgehalte liegt in der Nutzung des Grundwassers als Füllwasser. Dieses Wasser hat extrem hohe Nährstoffkonzentrationen.

Inhalt dieses Berichtteils ist die Auswertung des Einsatzes der Neptunanlage insgesamt und speziell der 2. Filterstufe. Das entsprechende Adsorbermaterial in Stufe 2 entstammt der Entwicklung aus dem Vorhaben: „Entwicklung eines synthetischen Filtermaterials zum Einsatz in schnell durchflossenen Bodenfiltern“; gefördert von der DBU; AZ: 16562. In diesem Vorhaben erfolgte die Materialherstellung, –optimierung und –prüfung im labortechnischen Maßstab. Bei diesem Material handelt es sich um ein Fe-Pulver-Zement beschichtetes Kiesmaterial, Körnung 2/5mm.

Die Anlage besteht aus 3 Anlagenstufen. Die Stufen 1 und 2 sind Filterstufen, die im nicht überstauten Betrieb gefahren werden. Stufe 3 ist eine nachgeschaltete Kombination aus Fällung, Sedimentation und Filtration. Die Anlage wurde in einer Bauzeit von 3 Monaten errichtet und am 12.06.2007 fertig gestellt.



Abbildung 4: Stufe 3, Belüftung, Absetzen und Filtration



Abbildung 5: Stufe 2, Vorbereitung und Aufbau des Testfeldes



Abbildung 6: Stufe 1



**Abbildung 7:
Halbsynthetisches Filterkorn**

BAUGRUPPE	BAUTEIL	FUNKTION
Schacht S1	Pumpe P1.1	Beschickung Bodenfilter, Steuerung anhand der Temperatur
	Pumpe P1.4	Entleerung des Schachtes S1
	Drucksensor	Kontrolle des Unterdrucks in der Ansaugleitung und des Seewasserstandes
	Schwimmerschalter S1 unten	Trockenlaufkontrolle des Schachtes, damit die Pumpe nicht überhitzt
Schacht S2	Pumpe P2.2	Beschickung Nichtschwimmerbecken, Steuerung über den Wasserstand
	Pumpe P2.3	Beschickung Phosphatadsorber, Steuerung über den Wasserstand
	Drucksensor	Messung des Wasserspiegels im Schacht
	Wassertempersensordrucksensor [im Drucksensor integriert]	Zur Leistungsregelung der Steuerung
	Schwimmerschalter S2 unten	Trockenlaufschutz der Pumpen
	Schwimmerschalter S2 oben	Überlaufschutz des Schachtes
Fällmittelbehälter	Fällmittel	Flockungsmittel für den Phosphatadsorber
	Dosierpumpe	Dosierung des Flockungsmittels in die Beschickungsleitung P-Adsorber
Kabelkasten K2	Lufttemperatursensor	Zur Leistungsregelung der Steuerung
	Betriebslampen	Zum Anzeigen der aktuellen Betriebszustände
	Display	Zur Kontrolle und zum Einstellen bestimmter Betriebszustände
P-Adsorber	Ejektoren	Belüftung des zu reinigenden Wassers

Tabelle 1: Funktionen der Bauteile



Abbildung 8: Übersichtsaufnahme Bodenfilteranlage

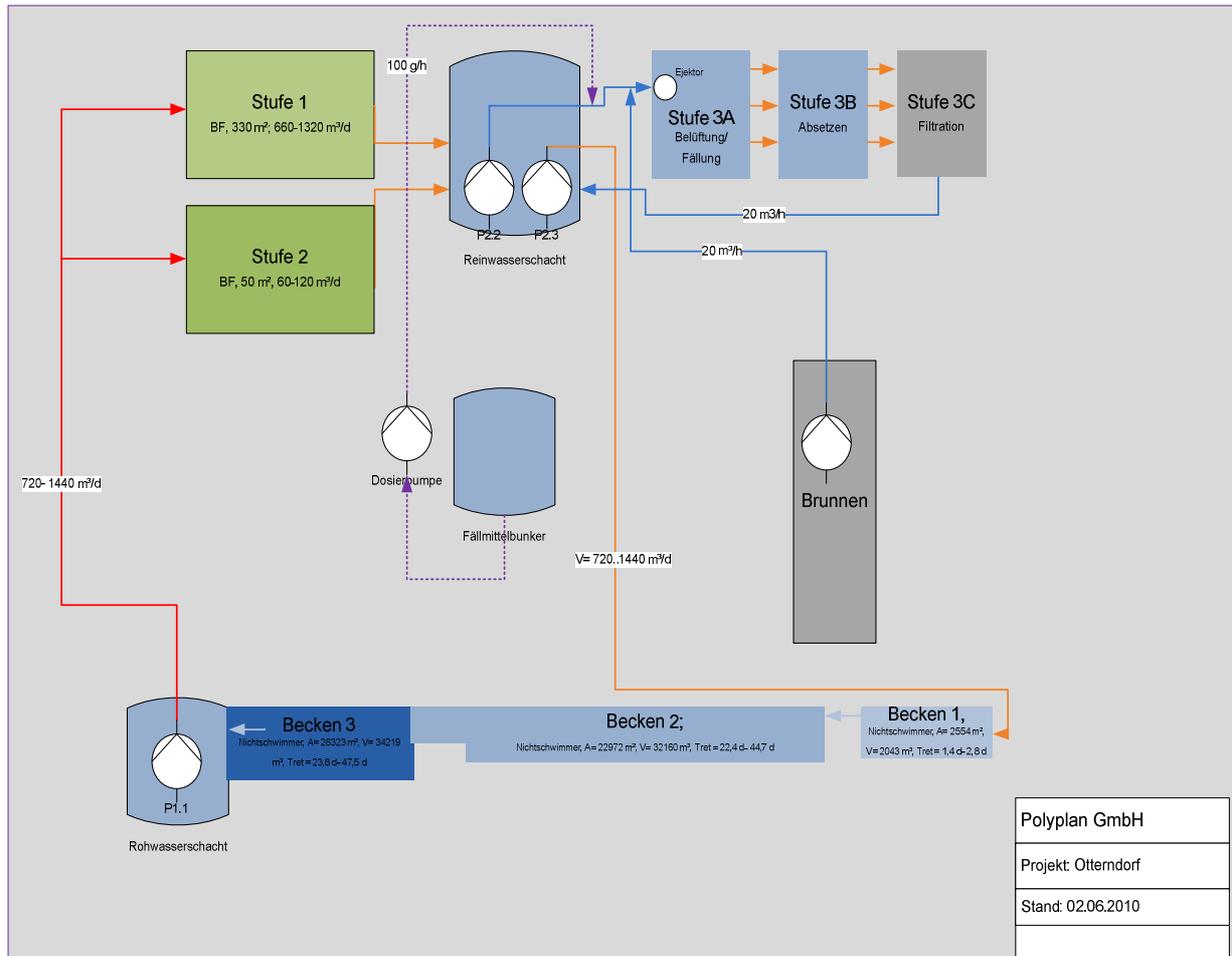


Abbildung 9: Fließschema

4. Betriebserfahrungen mit der 2. Stufe

Die Stufe 2 wurde am 01.07.2007 mit einem Volumenstrom von 12m³/h in Betrieb genommen. Nach einer Betriebszeit von ca. 6 Monaten stellte sich ein bei der Körnung nicht zu erwartender Rückstau des Wassers ein. Die darauf hin durchgeführte Untersuchung zeigt eine starke Versinterung des Filtermaterials im Filterhorizont 0.30cm auf.

Die Untersuchung der Versinterung ergab, dass das weitere Abbinden des Zements mit dem gleichzeitigen Entzug von Calcium durch den Biofilm die Ursache war. Es entstand eine betonähnliche poröse Gesteinsschicht im Filter. Die Volumenerweiterung des Eisens im Zuge der Korrosion verdichtete dann diese Gesteinsschicht, so dass sie hydraulisch undurchlässig wurde.

Nach Feststellung der Ursache wurde der obere Filterbereich aufgebrochen und ein Kieskorn 2/5mm zu 50% mit eingemischt (Trennkorn). Die Kolmation konnte damit abgebaut werden. Die Filterdurchlässigkeit hat sich danach stabil gehalten und liegt in der gleichen Größenordnung wie die des Referenzfilters 1 (2/5 Oolith Schüttung).

Die Abbauleistungen wurden von der Leibniz Universität analysiert. Sie lagen im Mittel bei 41% des Zulaufwertes bezogen auf Pges-P, während sie beim Referenzfilter F2 etwas höher bei ca. 55% lagen. Interessanterweise ist aber der

Rückhalt von gelösten PO₄ deutlich besser ausgefallen. Dies deutet auf eine schnellere chemische Bindung des Korns hin.

Phosphatelimination

Die Füll- und Reinwassermengen wurden protokolliert, um für die limnologische Bewertung der Leibniz Universität Hannover zur Verfügung zu stehen. Pro Jahr wurden ca. 86.970m³ Füllwasser benötigt. Die Reinigungsleistung der Anlagen betragen ca. 217.240m³ Entnahmemenge/ Jahr.

Gesamtvolumenströme im Monitoringzeitraum	Volumen [m ³] seit Juli 2007	
	Volumenstrom [m ³ /a]	
Stufe 1 und 2	434480	217240,0
Stufe 3	58740	29370,0
Brunnen	173940	86970,0

Tabelle 2: Volumenströme

6. Modellrechnung zur Auswirkung auf die Wasserqualität

Anhand der bestehenden Eliminationsleistung wurde eine Nährstoffbilanzrechnung auf Basis von Aquasim durchgeführt. Zugrunde gelegt wurden folgende Seebeckendaten:

Becken	Fläche	Volumen	Volumenstrom max	Volumenstrom min	Tret max	Tred min
	[m ²]	[m ³]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	d	d
1	2554	2043	1440	720	1,4	2,8
2	22972	32160	1440	720	22,3	44,7
3	26323	34219	1440	720	23,8	47,5

Tabelle 3: Morphometrie und Retention

Aus der Wetterstation haben sich monatsweise folgende Gebietsniederschlagsdaten ergeben. Für die Berechnung wurde das Jahr 2008 zugrunde gelegt.

Summe von Rain mm Monat	Jahr		
	2007	2008	Gesamtergebnis
1		54	54
2		25,4	25,4
3		74	74
4		22,7	22,7
5		10,7	10,7
6		35,4	35,4
7		98,7	98,7
8	25,1	114,2	139,3
9	53,5	25,5	79
10	20,4	118,7	139,1
11	65,8		65,8
12	43,5		43,5
Gesamtergebnis	208,3	579,3	787,6

Tabelle 4: Gebietsniederschlag

Input		Month											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
groundwater supply for the lake	Flow [m³/month]	0	0	0	2000	10000	30000	30000	15000	2000	0	0	0
	P-concentration [g/m³]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
rain Lake	Flow [mm/m²/month]	54	25,4	74	22,7	10,7	35,4	98,7	114,2	25,5	118,7	65,8	43,5
	P-concentration [g/m³]	2.800	1.317	3.837	1.177	555	1.835	5.117	5.921	1.322	6.154	3.412	2.255
rain Run-Off Area	Flow [mm/m²/month]	54	25,4	74	22,7	10,7	35,4	98,7	114,2	25,5	118,7	65,8	43,5
	P-concentration [g/m³]	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
external water-treatment	Flow [m³/month]	1.620	762	2.220	681	321	1.062	2.961	3.426	765	3.561	1.974	1.305
	CW Treatment factor	0,30	0,30	0,40	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,30
	P-concentration [g/m³]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	P-concentration behind CW	0,14	0,14	0,12	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,14
Output	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
precipitation of sediment	p-concentration Input	0,0045 g/m³	0,0542 g/m³	0,0465 g/m³	0,0423 g/m³	0,0366 g/m³	0,0411 g/m³	0,0751 g/m³	0,1014 g/m³	0,0966 g/m³	0,0697 g/m³	0,0610 g/m³	0,0560 g/m³
	natural or artificial precipitation-coef. phospl	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	netto-precipitation phosphor [g/m²]	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
deep water release	Flow [m³/month]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Concentration-coef. Phospl	1											
	P-Concentration of the Water-bottom [g/m³]	0,00	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,08	0,10	0,10	0,07	0,06	0,06
external water-treatment	P-Red coef.	0,35											
	Water column per day	0,1	0,5	1	1,5	2,5	2,5	2,9	3,2	3	1,5	0,2	0,2
	Flow [m³/month]	1.140	5.700	11.400	17.100	28.500	28.500	33.060	36.480	34.200	17.100	2.280	2.280
	Flow [m³/h]	2	8	16	24	40	40	46	51	48	24	3	3
	Area immerse	330 m²											
	Area submerse	50 m²											
	total area	380 m²											
charges of phosphor [g P/month]	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
input	groundwater supply for the lake	0,00	0,00	0,00	200,00	1000,00	3000,00	3000,00	1500,00	200,00	0,00	0,00	0,00
	Rain Run-Off Area (incl. Bather)	226,80	106,68	266,40	68,10	32,10	106,20	296,10	342,60	76,50	356,10	236,88	182,70
	rain lake	84,00	39,51	115,10	35,31	16,64	55,06	153,52	177,63	39,66	184,63	102,35	67,66
output	netto-precipitation of sediment	23,55	561,75	482,39	438,97	380,03	425,97	778,42	1051,62	1002,18	722,89	632,05	580,30
	deep water release	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
external water-treatment		1,81	108,07	185,61	253,35	365,56	409,75	868,59	1294,83	1156,83	417,22	48,64	44,66
accounting	g/month	285,43	-523,63	-286,49	-388,91	303,16	2325,54	1802,61	-326,21	-1842,85	-599,37	-341,46	-374,59
p-concentration in the lake without the external water-treatment	g/m³	0,004	-0,008	-0,004	-0,006	0,004	0,034	0,026	-0,005	-0,027	-0,009	-0,005	-0,005
resulting concentration of PT	mg/m³	54,172	46,519	42,331	36,647	41,078	75,066	101,412	96,644	69,711	60,951	55,960	50,486

Tabelle 5: Bilanzwerte (2008)

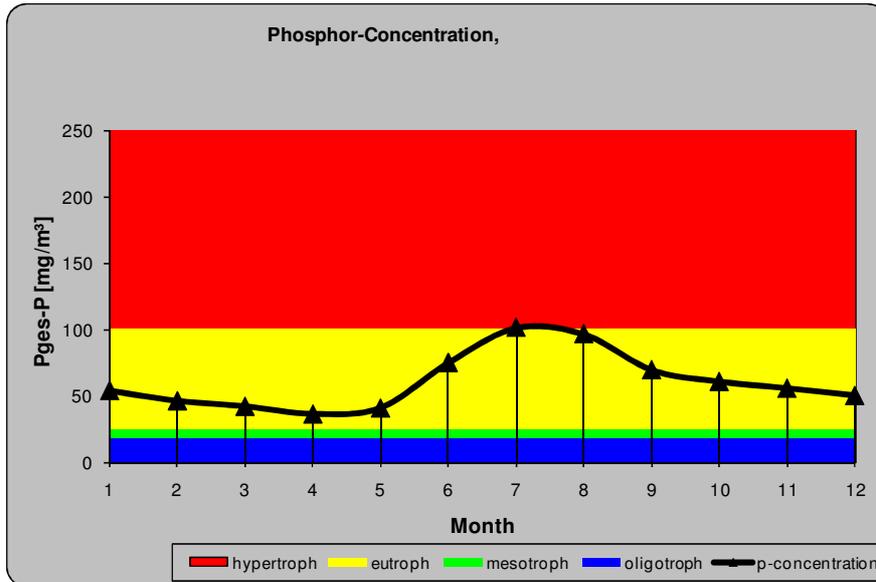


Abbildung 10: Über Modellrechnung nachgewiesener Konzentrationsverlauf Pges-P gem. der Daten aus dem Referenzjahr 2008.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Ergebnisse der Phosphorbilanz unter Einbeziehung der Wasseraufbereitungsanlagen, der Grundwassernachfüllung und sonstiger Ein- und Austräge. Obwohl das Grundwasser vorbehandelt wird, stellt es auch heute noch den wesentlichen Nährstoffeintrag dar.

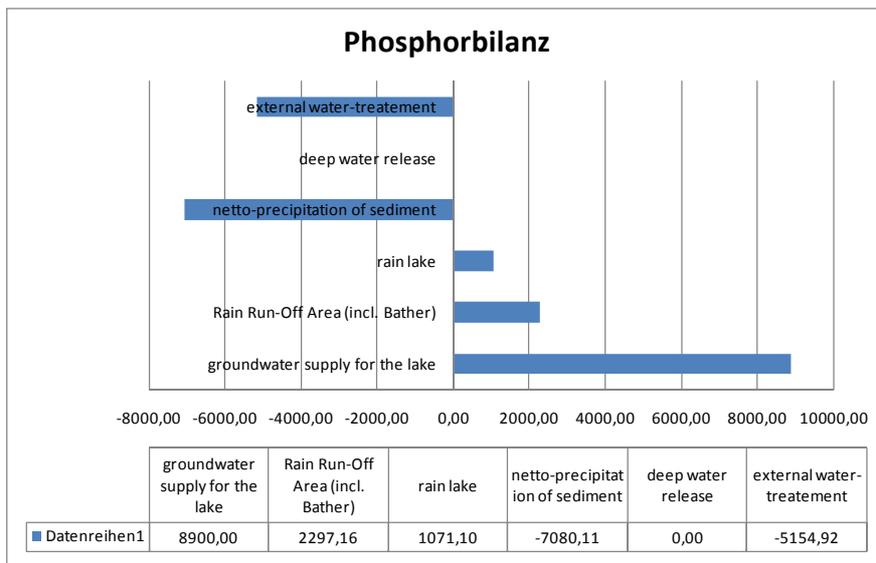


Abbildung 11: Ergebnisse der Phosphorbilanz

6. Jugendbildung

Ein zentrales Anliegen der Einrichtung ist die Förderung der Kinder- und Jugendarbeit. Alle Freizeiten werden daher auch nach pädagogischen Gesichtspunkten ausgerichtet und beinhalten Bildungsaspekte im sozialen und ökologischen Bereich. Ziel war es daher auch, die Bodenfilteranlage zu nutzen, um praxisnah über Gewässerverunreinigung und Gewässerschutz aufzuklären. Hierfür konnte die Agentur „NaturErleben“ gewonnen werden.

Insgesamt wurden 28 Veranstaltungen für unterschiedliche Gästegruppen, aber auch Otterndorfer Schul- und Kindergartengruppen durchgeführt. Damit wurden ca. 560 Kinder und Jugendliche erreicht. Die Veranstaltungen unter dem Titel „Wasser-Erlebnis-Angebot“ waren jeweils für ½ Tag konzipiert und variierten in der Ausgestaltung je nach Besuchergruppe.

Nach spielerischen Begegnungen mit dem Element Wasser wurde an einem Modell der Bodenfilteranlage zunächst deren Funktionsweise erläutert. Im Rahmen einer Besichtigung wurden die Modellbestandteile dann auf der Anlage angeschaut.



Abbildung 12: Funktionsmodelle
Durch Betätigung der Pumpen können die Kinder die Bodenfilteranlage selbst in Betrieb setzen und das Verhalten des Wassers und den Reinigungsprozess in den beiden Filterstufen beobachten.



Den Hauptteil der Veranstaltung nahmen die Analyse von unterschiedlichen Wasserproben und die Bestimmung von Wasserlebewesen ein. Hierzu sammelten die Teilnehmer und Teilnehmerinnen an unterschiedlichen Punkten Wasserproben und analysierten sie mit verschiedenen Hilfsmitteln.

Die Rückmeldungen auf die Veranstaltung waren sehr positiv. Viele Teilnehmer und Teilnehmerinnen führten erstmals praktische Versuche im Freiland durch. Nutzen und Funktionsweise der Anlage konnten so erläutert werden. Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen erfuhren viel über die ökologischen Zusammenhänge und zeigten sich insbesondere an der Tierwelt sehr interessiert. Entscheidend scheint, dass diese umwelpädagogischen Angebote den Prinzipien der Anschaulichkeit und direkten Naturbegegnung verpflichtet waren. Das Fangen und Beobachten von lebenden

Tieren übt eine große Faszination für Kinder aus, zumal wenn sie - aus dem städtischen Umfeld stammend – noch relativ wenig Naturerfahrungen haben.

Diese und andere Führungen werden den Gastgruppen im Camp daher auch zukünftig angeboten werden.

7. Fazit

Das Forschungsvorhaben war in zweierlei Hinsicht ein Erfolg. Zum einem hat sich das halbsynthetische Filtermaterial hinsichtlich seiner Verwitterungsbeständigkeit und Adsorptionskapazität bewährt. Dieses Material wird in zukünftigen Anlagen zum Einsatz kommen.

Zum anderen hat die Sanierungsmaßnahme insgesamt dazu beigetragen, dass das Sanierungsziel für den Betreiber erreicht wurde. Da das aufbereitete Wasser (Reinwasser) in das Nichtschwimmerbecken eintritt, findet hier die höchste Verdünnung statt. Infolge dessen liegt hier auch die höchste Wasserqualität vor. Der See hat bereits 2008 mit einem Switch in den Makrophyten dominierten Klarwassersee reagiert. Dies ist der angestrebte Sanierungszustand, den es zu sichern gilt.

Das Vorhaben hat aber auch noch einmal verdeutlicht, wie wichtig ein Gewässermonitoring ist. In 2007 beispielsweise wurde die Dringlichkeit der Füllwasserminimierung nicht durchgängig beachtet. Dies führte zu einem extrem hohen P-Eintrag, der den P-Austrag über die Wasseraufbereitungsanlagen kompensierte.

Insgesamt sind wir der Meinung, dass man Forschung und direkten Nutzen nicht näher zusammenbringen kann wie in diesem Projekt.

Anlage 1 zum Modellprojekt:

**„Bau, Erprobung und wissenschaftliche Begleitung eines
neuartigen Filterkörpers zur Phosphatadsorption und
Keimelimination am Beispiel des Badesees beim Sommercamp
Otterndorf/Landkreis Cuxhaven“**

Sanierung eines Badesees unter Einsatz eines synthetischen Filtermaterials

**Abschlussbericht zur Begleitung des DBU-Vorhabens
Az.: 24712-223 durch die Leibniz Universität Hannover**

Hannover, September 2010

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1	Übersicht der Messphasen	Seite	7
Tabelle 2	Legende zu den Probenahmepunkten	Seite	8
Tabelle 3	Analysierte Parameter nach Probenahmestellen	Seite	10
Tabelle 4	Analysierte Parameter und eingesetzte Methoden	Seite	10
Tabelle 5	Wetterdaten der Wetterstation Otterndorf vom 08.08.2007 bis 14.10.2008	Seite	12
Tabelle 6	Einfluss der Filteranlage und des Wetters auf den Seewasserstand, 2008	Seite	23
Tabelle 7	Bilanzierung der Zu- und Ablaufwassermengen der Filteranlage, 2007 und 2008	Seite	24
Tabelle 8	Phosphorbilanz der Filteranlage	Seite	34
Tabelle 9	Spannweite und Mittelwerte (Median) der gemessenen P-Konzentrationen während der Messphase 21./22.05.2009	Seite	38
Tabelle 10	Fördermenge der Pumpen an Hand der Betriebsstunden 21./22.05.2009	Seite	39
Tabelle 11	Errechnete Frachten (Gesamt-P) während der Messphase 21./22.05.2009	Seite	39

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1	Probenahmepunkte der Filteranlage	Seite	8
Abbildung 2	Probenahmestellen	Seite	9
Abbildung 3	Sichttiefe und Chlorophyll a-Konzentration im Nichtschwimmerbereich, 2007 und 2008	Seite	13
Abbildung 4	Quantitative Einschätzung der am häufigsten beobachteten Phytoplanktongruppen im Nichtschwimmerbereich, 2007 und 2008	Seite	14
Abbildung 5	Coliforme Keime im Nichtschwimmerbereich, 2007 und 2008	Seite	15
Abbildung 6	Gesamtphosphor- (unfiltriert/filtriert) und PO ₄ -P-Konzentration im Nichtschwimmerbereich, 2007 und 2008	Seite	16
Abbildung 7	Sichttiefe und Chlorophyll a-Konzentration im Schwimmerbereich, 2007 und 2008	Seite	17
Abbildung 8	Quantitative Einschätzung der am häufigsten beobachteten Phytoplanktongruppen im Schwimmerbereich, 2007 und 2008	Seite	17
Abbildung 9	Coliforme Keime im Schwimmerbereich, 2007 und 2008	Seite	18
Abbildung 10	Gesamtphosphor- (unfiltriert/filtriert) und PO ₄ -P-Konzentration im Schwimmerbereich, 2007 und 2008	Seite	19
Abbildung 11	Sichttiefe und Chlorophyll a-Konzentration im Segelsportbereich, 2007 und 2008	Seite	20
Abbildung 12	Quantitative Einschätzung der am häufigsten beobachteten Phytoplanktongruppen im Segelsportbereich, 2007 und 2008	Seite	20
Abbildung 13	Coliforme Keime im Segelsportbereich, 2007 und 2008	Seite	21
Abbildung 14	Gesamtphosphor- (unfiltriert/filtriert) und PO ₄ -P-Konzentration im Segelsportbereich, 2007 und 2008	Seite	22
Abbildung 15	Verlauf der Gesamtphosphorkonzentration im Nichtschwimmerbereich am 02.08.2008	Seite	23
Abbildung 16	Chlorophyll a-Rückhaltevermögen des Filters F1, 2007 und 2008	Seite	25
Abbildung 17	Rückhaltevermögen des Filters F1 für Coliforme Keime, 2008	Seite	26
Abbildung 18	Rückhaltevermögen des Filters F1 für Escherichia coli, 2008	Seite	26
Abbildung 19	Gesamtphosphorrückhaltevermögen des Filters F1, 2007 und 2008	Seite	27
Abbildung 20	Rückhaltevermögen des Filters F1 für partikulären Phosphor, 2007 und 2008	Seite	27
Abbildung 21	Rückhaltevermögen des Filters F1 für gelösten Phosphor, 2007 und 2008	Seite	28

Abbildung 22	Rückhaltevermögen des Filters F1 für PO ₄ -P, 2008	Seite 28
Abbildung 23	Chlorophyll a-Rückhaltevermögen des Filters F2, 2007 und 2008	Seite 29
Abbildung 24	Rückhaltevermögen des Filters F2 für Gesamtcoliforme Keime, 2008	Seite 29
Abbildung 25	Rückhaltevermögen des Filters F2 für Escherichia coli, 2008	Seite 30
Abbildung 26	Gesamtposphorrückhaltevermögen des Filters F2, 2007 und 2008	Seite 30
Abbildung 27	Rückhaltevermögen des Filters F2 für partikulären Phosphor, 2007 und 2008	Seite 31
Abbildung 28	Rückhaltevermögen des Filters F2 für gelösten Phosphor, 2007 und 2008	Seite 31
Abbildung 29	Rückhaltevermögen des Filters F2 für PO ₄ -P, 2008	Seite 32
Abbildung 30	Gesamtposphor- (unfiltriert/filtriert) und PO ₄ -P-Konzentration im Brunnenwasser, 2007 und 2008	Seite 32
Abbildung 31	Gesamtposphor- (unfiltriert/filtriert) und PO ₄ -P-Konzentration im Ablauf des Filters F3, 2007 und 2008	Seite 33
Abbildung 32	Konzentration von Gesamt-P und Gesamt-P (gelöst) im Zu- und Ablauf der Filter F 1 und F 2 mit Wirkungsgrad. Tagesgang am 21.05.2009	Seite 37
Abbildung 33	Konzentration von Gesamt-P und Gesamt-P (gelöst) in der Filteranlage F 3 (Zulauf Brunnenwasser, Ablauf Absetzbecken, Ablauf Oolith-Filter). Tagesgänge vom 21./22.05.2009	Seite 38
Abbildung 34	Konzentration von Gesamt-P und Gesamt-P (gelöst) des Brunnenwassers (Überstand) nach 0, 2 und 24 Stunden Absetzzeit im Imhoff-Trichter. Median aus drei Stichproben (30.06. – 02.07.2009) mit Standardabweichung	Seite 41
Abbildung 35	Konzentration von Gesamt-P des Brunnenwassers (Überstand) nach 2 Stunden Absetzzeit im Imhoff-Trichter unter Zugabe steigender Konzentrationen eines kationischen Flockungshilfsmittels (FHM	Seite 42

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	6
2 Material und Methoden	7
2.1 Messphasen	7
2.2 Probenahmestellen	7
2.3 Analytische Methoden	10
3 Ergebnisse	12
3.1 Qualität des Badegewässers 2007/2008	12
3.1.1 Allgemeine Wetterdaten	12
3.1.2 Nichtschwimmerbereich	13
3.1.2.1 Sichttiefe und Phytoplankton	13
3.1.2.2 Mikrobiologische/hygienische Parameter	14
3.1.2.3 Phosphor und Stickstoff	15
3.1.3 Schwimmerbereich	16
3.1.3.1 Sichttiefe und Phytoplankton	16
3.1.3.2 Mikrobiologische/hygienische Parameter	17
3.1.3.3 Phosphor und Stickstoff	18
3.1.4 Segelsportbereich	19
3.1.4.1 Sichttiefe und Phytoplankton	19
3.1.4.2 Mikrobiologische/hygienische Parameter	20
3.1.4.3 Stickstoff und Phosphor	21
3.1.5 Phosphoreintrag durch Badegäste	22
3.1.6 Wasserbilanz des Gewässers	23
3.2 Messungen an der Filteranlage 2007/2008	24
3.2.1 Wasserbilanz	24
3.2.2 Filterkörper F 1 (Oolith)	25
3.2.2.1 Chlorophyll a	25
3.2.2.2 Coliforme Keime	25
3.2.2.3 Phosphor	26
3.2.3 Filterkörper F 2 (Coating-Material)	28
3.2.3.1 Chlorophyll a	28
3.2.3.2 Coliforme Keime	29
3.2.3.3 Phosphor	30
3.2.4 Filterkörper F 3 (Oolith)	32
3.2.4.1 Phosphorgehalt des Speisewassers (Brunnen)	32
3.2.4.2 Ablauf Filter F 3 und Absetzbecken	33

3.2.5 Phosphorbilanz 2007/2008	34
3.3 Bilanzierung der Filteranlage 2009	35
3.3.1 Veranlassung	35
3.3.2 Messergebnisse F 1 und F 2	35
3.3.3 Messergebnisse F 3	37
3.3.4 Überschlägige Berechnung der P-Frachten	39
3.3.5 Optimierungsansatz: Absetzversuche mit Füllwasser (Brunnen)	40
4 Zusammenfassende Bewertung	43
4.1P-Haushalt des Gewässers	43
4.2P-Elimination der Brunnenwasseraufbereitung (F 3)	43
4.3P-Elimination der Filteranlage (F 1 und F 2)	43

1 Einleitung

Die Sanierung des zum Feriencamp Otterndorf der Stadt Hannover gehörenden Badegewässers hinsichtlich erhöhter Phosphorkonzentrationen und der damit verbundenen Einschränkung der Nutzung als Badegewässer wurde durch die Leibniz Universität Hannover über drei Jahre (Juni 2007 – Juni 2010) durch ein Mess- und Auswertungsprogramm begleitet.

Für die Verminderung des Phosphatgehaltes wurde durch die Fa. Polyplan ein externer, kontinuierlich betriebener Filterkörper errichtet, wie er in ähnlicher Bauweise auch für Naturfreibäder (d.h. ohne oxidativ-chemische Wasseraufbereitung mit Chlor oder Ozon) eingesetzt wird.

Neu für den Entwurf der Filteranlage war, dass ein parallel betriebener Filterkörper mit einem bisher großtechnisch noch nicht erprobten Filtermaterial befüllt wurde, das eine verbesserte Fähigkeit zur Phosphatelimination aufweisen sollte. Hierbei handelte es sich um mit Eisenverbindungen beschichtete mineralische Naturmaterialien („Coating-Material“).

Der landschaftsgestalterisch wie auch wirtschaftlich begründete Trend zu „Naturfreibädern“ ohne technisch-oxidative Wasseraufbereitung hat den hygienischen Aspekten neue Aufmerksamkeit verschafft, da die gesundheitliche Unbedenklichkeit der in solchen Badegewässern oft eingesetzten Bodenfiltersysteme kontrovers diskutiert wird. Der Grund für die bestehende Skepsis liegt weniger in der tatsächlich dokumentierten Gesundheitsproblematik, sondern in einem Mangel an systematisch erhobenen Daten. Gesicherte Aussagen über die Keimelimination von Bodenfiltersystemen bedürfen einer begleitenden Untersuchung.

Mit Beginn der Badesaison 2007 sollte der neu zu errichtende Filter regelmäßig hinsichtlich Phosphat- und Keimelimination beprobt werden. Berücksichtigt wurden dabei auch die seitens der zuständigen Gesundheitsbehörde (Landesgesundheitsamt Cuxhaven, Nebenstelle Aurich) durchgeführten Badegewässeruntersuchungen. Die Probenahme durch die Universität Hannover wurde auf diese Intervalle abgestimmt. Dabei wurde sowohl die direkte Eliminationsleistung des Filters als auch die im Gewässer ohnehin durch das Gesundheitsamt kontrollierte Wasserqualität berücksichtigt.

Dieser schriftliche Bericht stellt nur eine Auswahl der wichtigsten Parameter dar. Die vollständigen Datensätze der Beprobungen sind auf dem beiliegenden Datenträger enthalten.

2 Material und Methoden

2.1 Messphasen

Das begleitend zum Vorhaben durchgeführte Messprogramm der Leibniz Universität Hannover umfasste zwei Bereiche:

1. Verfolgung der Qualität des Flachsees als Badegewässer,
2. Vergleich der unterschiedlichen Füllmaterialien der neu gebauten Filteranlage.

Es waren die Zeiträume der Errichtung und der Einarbeitung der Filteranlage zu berücksichtigen. Entsprechend wurde ein Probenahmeprogramm durchgeführt, das im Rahmen der Laufzeit des Vorhabens zum einen zwei Badesaisonen während und nach Errichtung der Filteranlage berücksichtigte, als auch die Möglichkeit gab, während einer detaillierten Messphase die Leistungsfähigkeit der Filter zu überprüfen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht der Messphasen

Jahr	Messphase
2007	14-tägliche Stichproben aus dem Badegewässer und aus der Filteranlage
2008	14-tägliche Stichproben aus dem Badegewässer und aus der Filteranlage
2009	Intensivmessphase an der Filteranlage (48 h-Beprobung) und Bilanzierung

2.2 Probenahmestellen

Abbildung 1 zeigt eine schematische Darstellung der Filteranlage mit den Probenahmestellen (Legende dazu in Tabelle 2).

Die Probenahmestellen direkt am Gewässer (Nichtschwimmer-, Schwimmer- und Segelsportbereich) sowie die Entnahmeschächte für Proben aus der Filteranlage sind fotografisch in Abbildung 2 festgehalten.



B 1 Becken 1 - Kleinkindbereich/Nichtschwimmer



B 2 Becken 2 - Schwimmer (Sprungbrett)



B 3 Becken 3 - Segelsportbereich Westende, Nähe Ansaugstelle Filteranlage



F 1_{Ab} Ablaufschacht Filterkörper 1 (Füllung: Oolith)



F 3_{Zu} Zulauf Filterstufe 3 (Brunnenwasser vor P-Fällung)



F 3_{Ab} Ablauf Filterstufe 3 (Nach 2 Absetzbecken und Oolith-Filter)

Abbildung 2: Probenahmestellen

Tabelle 3: Analytierte Parameter nach Probenahmestelle

	Probenahmestelle							
	Badeteich			Filteranlage				
	B 1	B 2	B 3	F 1-2 _{Zu}	F 1 _{Ab}	F 2 _{Ab}	F 3 _{Zu}	F 3 _{Ab}
NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N	x	x	x	(x)*	(x)*	(x)*	(x)*	(x)*
Elektr. Leitfähigkeit	x	x	x	x	x	x	x	x
O ₂ , Temp.	x	x	x	x	x	x	x	x
pH	x	x	x	x	x	x	x	x
PO ₄ -P, P _{gesamt}	x	x	x	x	x	x	x	x
Chlorophyll a	x	x	x	x	x	x		
Sichttiefe	x	x	x					
Phytoplankton	x	x	x					
Coliforme und <i>E. coli</i>	x	x	x	(x)**	(x)**	(x)**	(x)**	(x)**

(x)* Im Bedarfsfall, falls mineralische N-Verbindungen erhöht im Freiwasser auftreten

(x)** Nach Einarbeitung der Filter, Saison 2008

2.3 Analytische Methoden

Die Untersuchungen wurden mit Standardmethoden entsprechend der jeweiligen DIN bzw. anerkannten Alternativmethoden durchgeführt und sind in Tabelle 4 zusammengefasst:

Tabelle 4: Analytierte Parameter und eingesetzte Methoden

Parameter	Methode
NH ₄ -N, NO ₂ -N, NO ₃ -N	Kolorimetrisch (Merck Spectroquant ®)
PO ₄ -P, P _{gesamt}	Kolorimetrisch > 10 µg/l P (Hach-Lange LCS 349 Phosphat Spur)
Chlorophyll a	DIN 38 412 L 16
Gelöster Sauerstoff Wassertemperatur	WTW Oxi 340i, mit Clark-Elektrode CellOx 325 und Temperaturfühler
pH und Redoxpotential	WTW pH 340i, mit Einstabmessketten
Elektr. Leitfähigkeit	Greisinger GMH 3430
Sichttiefe	Sichtscheibe nach Secchi, Ø 250 mm

Coliforme Keime und <i>E. coli</i>	IDEXX Colilert-18/Quanti-Tray (Alternativmethode zu DIN 38 411 T 6)
Phytoplankton - Artenspektrum - Biovolumen	Schöpfprobe Untersuchung nach UTERMÖHL und LOHMANN (Biovolumen)
Wetterdaten - Wind, Niederschlag, Temperatur, Luftdruck und – feuchtigkeit - Sonnenintensität und UV- Index	Wetterstation DAVIS Vantage Pro 2 Plus mit Datenlogger
Förder- bzw. Beschickungsmengen	Auswertung Betriebsstundenzähler
Anzahl Badegäste	Zählung

3 Ergebnisse

3.1 Qualität des Badegewässers 2007/2008

3.1.1 Allgemeine Wetterdaten

Vor allem der Winter 2007/08 war bei insgesamt durchschnittlichen Niederschlagsmengen deutlich wärmer als das langjährige Mittel, gefolgt von einem warmen sonnenscheinreichen und trockenen Frühjahr (Tabelle 5). Der Sommer, mit Ausnahme des Septembers, war regenreich und von durchschnittlicher Temperatur. Der Herbst begann sehr regenreich. Im Oktober 2008 fiel in den ersten beiden Wochen bereits 25% mehr Niederschlag als das langjährige Mittel (Daten des Deutschen Wetterdienstes, DWD 2008) des gesamten Monats.

Tabelle 5: Wetterdaten der Wetterstation Otterndorf vom 08.08.2007 bis 14.10.2008

Monat/ Jahr	Lufttemperatur						Niederschlag		ET [#]	Sonnenschein	
	Mittel [°C]	Abw. [°C]*	Max [°C]	Min [°C]	Sommer- Tage (T>25°C)	Frosts- Tage (T<0°C)	[l/m ²]	[%]*	[l/m ²]	[h]	[%]*
08/07	18,4	+1,5	27,1	10,5	1	-	34	43	41	185	87
09/07	14,2	-0,1	21,5	7,6	-	-	68	91	74	129	88
10/07	9,8	-0,6	17,0	0,3	-	-	24	31	42	124	118
11/07	5,9	+0,1	13,1	0,4	-	-	83	100	23	56	97
12/07	3,4	+1,4	12,0	-5,7	-	9	78	102	22	24	60
01/08	4,6	+3,5	12,0	-4,5	-	4	77	119	47	18	39
02/08	4,9	+3,4	11,9	-3,3	-	3	37	96	42	104	142
03/08	4,7	+0,9	15,8	-3,6	-	7	87	160	50	110	97
04/08	7,5	+0,5	20,0	-1,6	-	1	33	74	74	190	110
05/08	14,1	+2,3	26,9	3,3	3	-	13	24	124	364	160
06/08	16,2	+1,2	28,1	7,8	5	-	42	60	126	274	121
07/08	16,6	0	30,7	10,3	6	-	124	146	108	226	105
08/08	17,1	+0,2	28,1	10,2	1	-	151	207	78	180	85
09/08	13,9	-0,4	22,4	5,2	-	-	35	46	56	143	102
10/08	11,5	+1,1	17,7	7,3	-	-	96	125	15	74	70

= Evapotranspiration

* = im Vergleich zum langjährigen Mittel 1961-1990 (DWD 2008b)

3.1.2 Nichtschwimmerbereich

3.1.2.1 Sichttiefe und Phytoplankton

Die Chlorophyll a-Konzentration als Indikator für die Phytoplanktonproduktivität war im Jahr 2008 niedriger als 2007 (Abbildung 3). Im Mittel lag der Wert 2008 bei etwa 68 µg/l, 2007 hingegen bei ca. 127 µg/l. Dabei ist vor allem der Rückgang um den Monat Juli 2008 zu beachten, als es eine Phase mit Sichttiefen bis zum Grund gab, was im vorherigen Jahr nicht zu beobachten war. Zeitlich im Zusammenhang stand damit, dass Ende Juni für zwei Tage Wasser aus dem Schwimmerbereich direkt in den Nichtschwimmerbereich gepumpt wurde, mit der Absicht, dem Nichtschwimmerbereich Zooplankton zuzuführen.

Die Chlorophyll a-Konzentration und die Sichttiefe waren grundsätzlich negativ korreliert (nicht dargestellt). Die Sichttiefe lag 2007 im Mittel bei 34 cm, 2008 bei mindestens 61 cm.

Vertreter der Bacillariophyceen (Kieselalgen) waren bei den Probenahmen 2008 meist die häufigste Phytoplanktongruppe (Abbildung 4). Bei den beobachteten Cyanobakterien war nach dem Klarwasserstadium nur noch die Art *Aphanizomenon sp.* nachzuweisen. Die quantitative Einschätzung des Phytoplanktons im Verlauf des Jahres war konform mit den ermittelten Chlorophyll a-Konzentrationen.

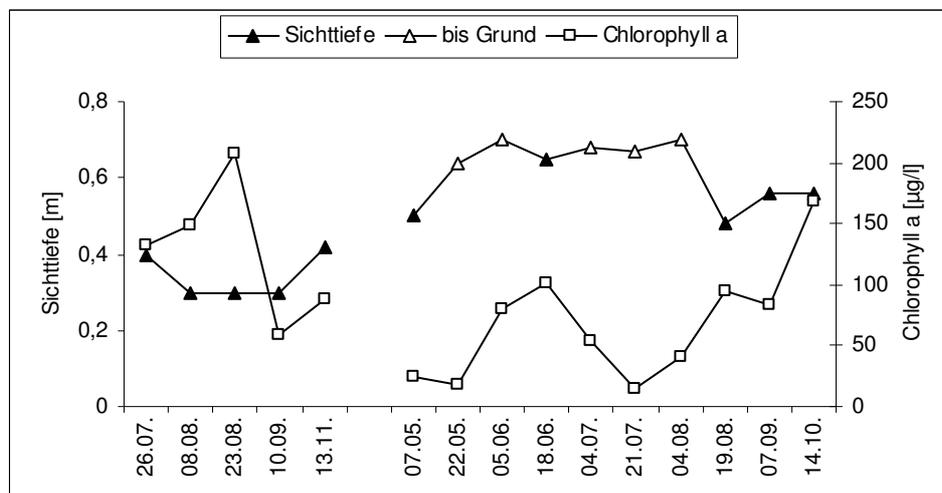


Abbildung 3: Sichttiefe und Chlorophyll a-Konzentration im Nichtschwimmerbereich, 2007 und 2008

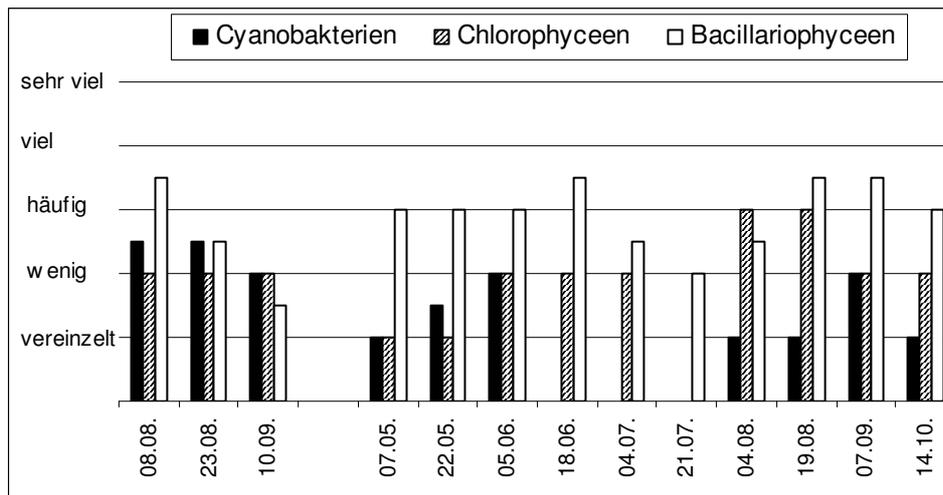


Abbildung 4: Quantitative Einschätzung der am häufigsten beobachteten Phytoplanktongruppen im Nichtschwimmerbereich, 2007 und 2008

3.1.2.2 Mikrobiologische/hygienische Parameter

Die Keimbelastung des Wassers (Abbildung 5) zeigte für 2008 nach Einstufung entsprechend der alten Badegewässerverordnung (Niedersachsen 1999), dass der Grenzwert von 10000 KBE pro 100 ml für Gesamtcoliforme Keime bei fünf aufeinander folgenden Probenahmen von Anfang Juni bis Anfang August meist deutlich überschritten wurde (2007 bei zwei Probenahmen), der Richtwert von 500 KBE pro 100 ml bis auf die Probenahme vom 14.10.2008 (411) sowohl 2008 als auch 2007 stets überschritten wurde.

Für *Escherichia coli* wurde der nach der alten Verordnung anzustrebende Richtwert von 100 KBE pro 100 ml 2007 dreimal und 2008 einmal überschritten. Der Grenzwert von 2000 KBE pro 100 ml wurde in beiden Jahren nie erreicht. Nach der neuen Badegewässerverordnung (Niedersachsen 2008) war für beide Jahre für den Parameter *Escherichia coli* durchgängig eine „Ausgezeichnete Qualität“ zu bescheinigen, da die Werte stets unter dem für diese Einstufung zulässigen Höchstwert von 500 KBE pro 100 ml lagen.

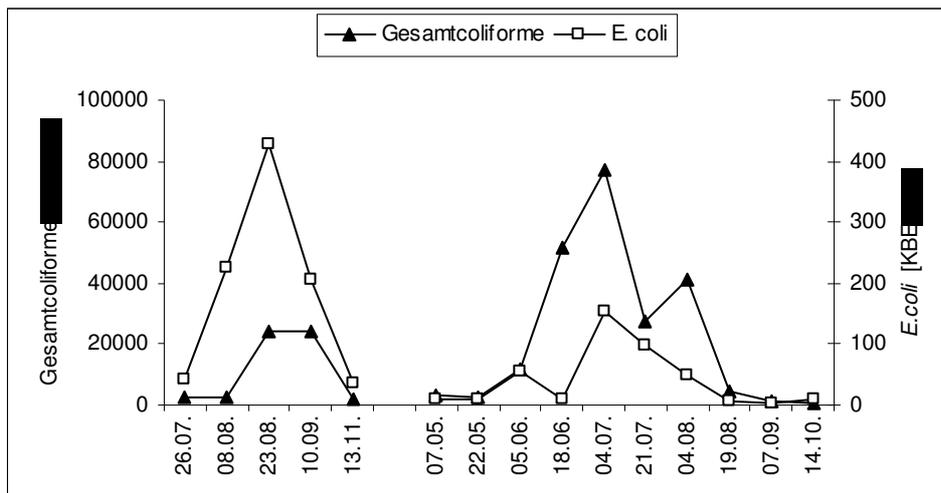


Abbildung 5: Coliforme Keime im Nichtschwimmerbereich, 2007 und 2008

3.1.2.3 Phosphor und Stickstoff

Die Gesamtphosphorkonzentration des Nichtschwimmerbereichs lag 2008 im Mittel mit 154 µg/l niedriger als 2007 mit 356 µg/l (Abbildung 6).

Der Großteil des Gesamtphosphors bestand 2008 zu etwa zwei Dritteln aus partikulärem Phosphor. Der Mittelwert des gelösten Phosphors (entspricht dem Gesamtphosphor der filtrierten Probe) lag dabei bei 56 µg/l, die mittlere Konzentration von PO₄-P bei 40 µg/l, bei den letzten drei Probenahmen ab dem 19.08.2008 sogar unter der Nachweisgrenze von 10 µg/l.

Für den gesamten im Wasser des Nichtschwimmerbereichs (1532 m³) befindlichen Phosphor konnte im Mittel für das Jahr 2007 ein Wert von 0,55 kg und für das Jahr 2008 von 0,24 kg angegeben werden.

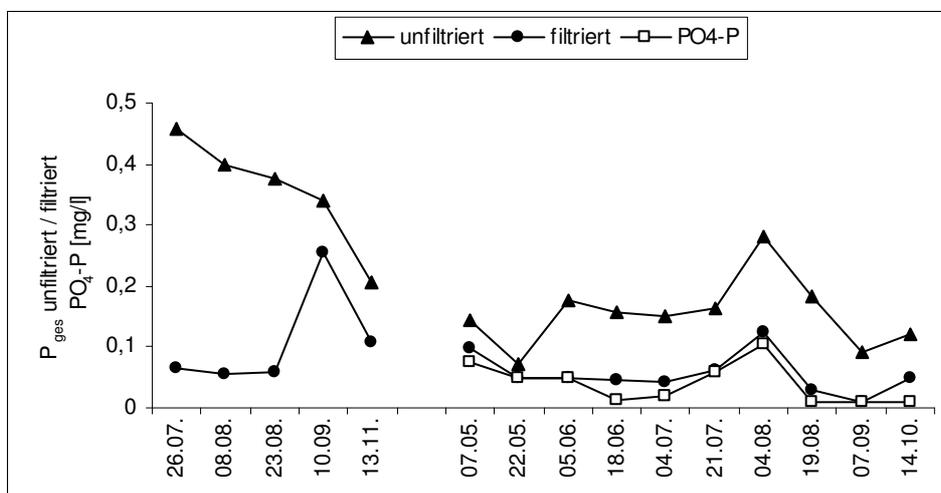


Abbildung 6: Gesamtphosphor- (unfiltriert/filtriert) und PO₄-P-Konzentration im Nichtschwimmerbereich, 2007 und 2008

Zeitweise war in beiden Jahren ein Zusammenhang zwischen einem starken Rückgang der Chlorophyll a-Konzentration (2007: August/September, 2008: Juni/Juli) und einem Anstieg der Konzentrationen von gelöstem Phosphor sowie von Ammonium erkennbar (Klarwasserphase durch Fraßdruck des Zooplanktons, nicht dargestellt).

3.1.3 Schwimmerbereich

3.1.3.1 Sichttiefe und Phytoplankton

Die Chlorophyll a-Konzentration war im Jahr 2008 deutlich niedriger als 2007 (Abbildung 7). Im Mittel lag der Wert 2008 bei etwa 21 µg/l, 2007 hingegen bei ca. 227 µg/l. Dabei ist vor allem der Rückgang in den Monaten Juni und Juli 2008 zu beachten, als es ein ausgeprägtes Klarwasserstadium mit Sichttiefen bis zu 220 cm gab. Die Sichttiefe betrug 2008 im Mittel 118 cm, 2007 nur 32 cm.

Ebenso wie im Nichtschwimmerbereich war auch für den Schwimmerbereich eine recht gute Übereinstimmung der Jahresverläufe der Sauerstoffsättigung und der Chlorophyll a-Konzentration zu beobachten sowie eine negative Korrelation zwischen der Chlorophyll a-Konzentration und der Sichttiefe (nicht dargestellt).

Das Phytoplankton wurde im Sommer 2007 und 2008 jeweils von großen Cyanobakterien dominiert (Abbildung 8). Nach dem Klarwasserstadium 2008 entwickelt die Art *Aphanizomenon sp.* eine solche Dominanz, dass der gesamte Schwimmerbereich mit den Aggregaten dieser Art durchsetzt war und andere Arten nicht oder nur in geringer Anzahl gefunden wurden. Während des Klarwasserstadiums waren vor allem im Juni viele Crustaceen (Krebstiere) der Unterklassen „Cladocera“ (Wasserflöhe) und, im geringeren Ausmaß, Copepoda (Ruderfüßer) erkennbar. Die quantitative Einschätzung des Phytoplanktons im Verlauf des Jahres war konform mit den ermittelten Chlorophyll a-Konzentrationen.

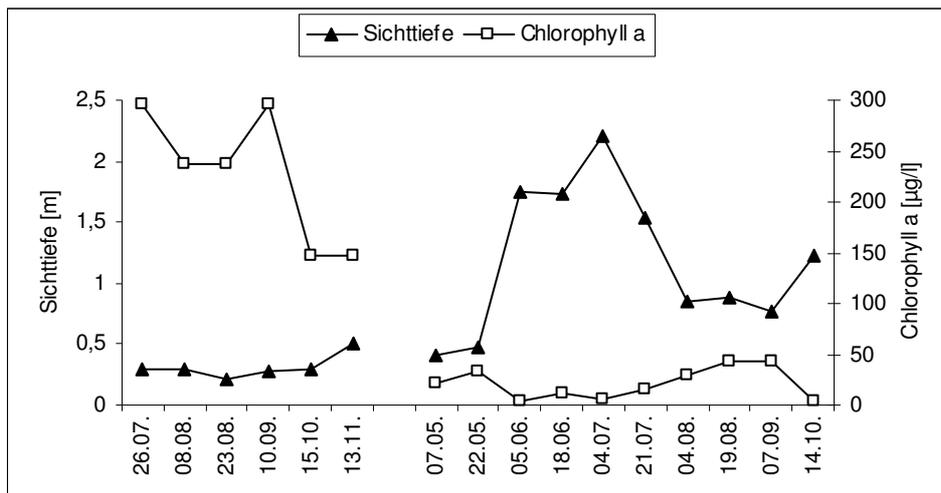


Abbildung 7: Sichttiefe und Chlorophyll a-Konzentration im Schwimmerbereich, 2007 und 2008

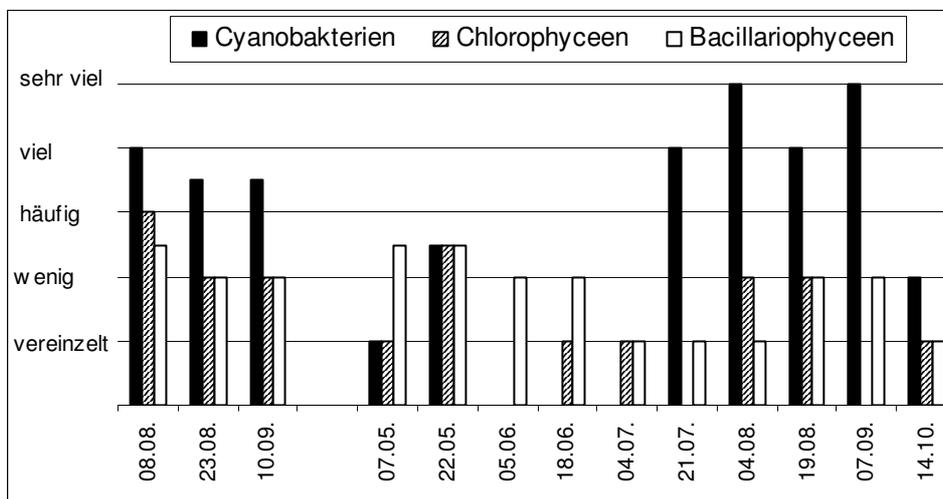


Abbildung 8: Quantitative Einschätzung der am häufigsten beobachteten Phytoplanktongruppen im Schwimmerbereich, 2007 und 2008

3.1.3.2 Mikrobiologische/hygienische Parameter

Die Keimbelastung des Wassers im Schwimmerbereich (Abbildung 9) überschritt den Grenzwert der alten Badegewässerverordnung (Niedersachsen 1999) von 10000 KBE pro 100 ml für Gesamtcoliforme Keime im Jahr 2007 bei zwei Probenahmen leicht, 2008 bei vier Probenahmen zum Teil deutlich. Der Richtwert von 500 KBE pro 100 ml wurde 2007 immer und auch 2008, bis auf die Probenahmen am 07.05. (232) und am 14.10. (106), regelmäßig überschritten.

Aus der gemessenen Belastung mit *Escherichia coli* folgte, dass der anzustrebende Richtwert von 100 KBE pro 100 ml 2007 zweimal und 2008 nie überschritten wurde. Der Grenzwert von 2000 KBE pro 100 ml wurde in beiden Jahren nie erreicht. Nach der neuen

Badegewässerverordnung (Niedersachsen 2008) konnte dem Wasser des Schwimmbereichs für beide Jahre für den Parameter *Escherichia coli* durchgängig eine „Ausgezeichnete Qualität“ bescheinigt werden, da die Werte stets unter dem für diese Einstufung zulässigen Höchstwert von 500 KBE pro 100 ml lagen.

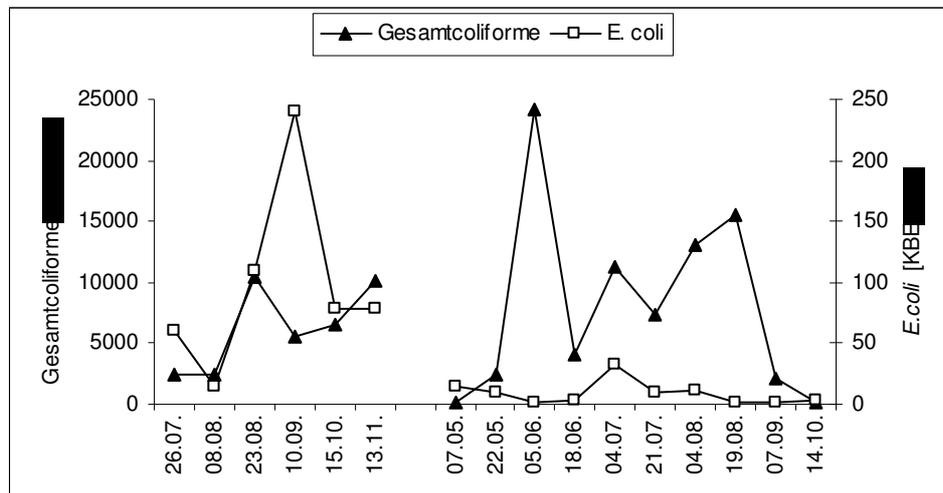


Abbildung 9: Coliforme Keime im Schwimmbereich, 2007 und 2008

3.1.3.3 Phosphor und Stickstoff

Die ermittelten Konzentrationen von Ammonium und Nitrit waren im Jahr 2007 ganzjährig auf einem niedrigen Niveau und überschritten dabei einen Wert von 100 µg/l nicht. Die gemessene Nitratkonzentration lag nach Juli 2007 permanent unter der Nachweisgrenze von 230 µg/l.

Die Gesamtphosphorkonzentration des Schwimmbereichs lag 2008 im Mittel deutlich niedriger als 2007. 2008 wurde ein Mittel von 104 µg/l, im Jahr 2007 280 µg/l im Mittel gemessen (Abbildung 10).

Der Anteil des partikulären Phosphors am Gesamtphosphor war bei den Probenahmen Ende Mai/Anfang Juni sowie Mitte August/September auffällig hoch, hingegen war bei den Probenahmen Mitte Juni/Anfang Juli sowie am 04.08. und 14.10. ein erhöhter Anteil des gelösten Phosphors am Gesamtphosphor festzustellen.

Für den gesamten im Wasser des Schwimmbereichs (32160 m³) befindlichen Phosphor konnte im Mittel für das Jahr 2007 ein Wert von 8,99 kg und für das Jahr 2008 von 3,33 kg angegeben werden.

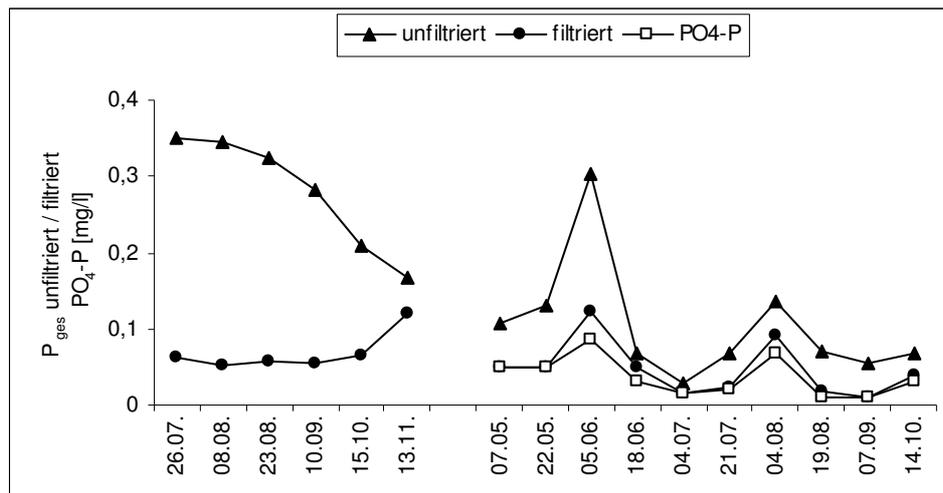


Abbildung 10: Gesamtposphor- (unfiltriert/filtriert) und PO4-P-Konzentration im Schwimmerbereich, 2007 und 2008

3.1.4 Segelsportbereich

3.1.4.1 Sichttiefe und Phytoplankton

Die Chlorophyll a-Konzentration war im Jahr 2008 ebenfalls deutlich niedriger als 2007 (Abbildung 11). Im Mittel lag der Wert 2007 bei ca. 237 µg/l, 2008 hingegen bei etwa 36 µg/l.

Von Juni bis Anfang August 2008 gab es ein Klarwasserstadium mit Sichttiefen bis zum Grund. Die Sichttiefe betrug 2008 im Mittel mindestens 70 cm, 2007 nur 30 cm. Ebenso wie im Nichtschwimmer- und Schwimmerbereich war auch für den Segelsportbereich eine Übereinstimmung der Jahresverläufe der und der Chlorophyll a-Konzentration zu beobachten, sowie eine negative Korrelation zwischen der Chlorophyll a-Konzentration und der Sichttiefe (nicht dargestellt).

Das Phytoplankton wurde im Sommer 2007 und 2008 von großen Cyanobakterien dominiert (Abbildung 12) und dabei zeigte sich im Segelsportbereich dieselbe Jahresdynamik wie im Schwimmerbereich mit einer ausgeprägten Dominanz der Art *Aphanizomenon sp.* im Sommer 2008, so dass auch hier das Wasser mit den Aggregaten dieser Art komplett durchsetzt war und nur wenige andere Arten in geringer Zahl gefunden wurden.

Während des Klarwasserstadiums waren vor allem im Juni viele Crustaceen (Krebstiere) der Unterklassen „Cladocera“ (Wasserflöhe) und, im geringeren Ausmaß, Copepoda (Ruderfüßer) erkennbar. Die quantitative Einschätzung des Phytoplanktons im Verlauf des Jahres war konform mit den ermittelten Chlorophyll a-Konzentrationen.

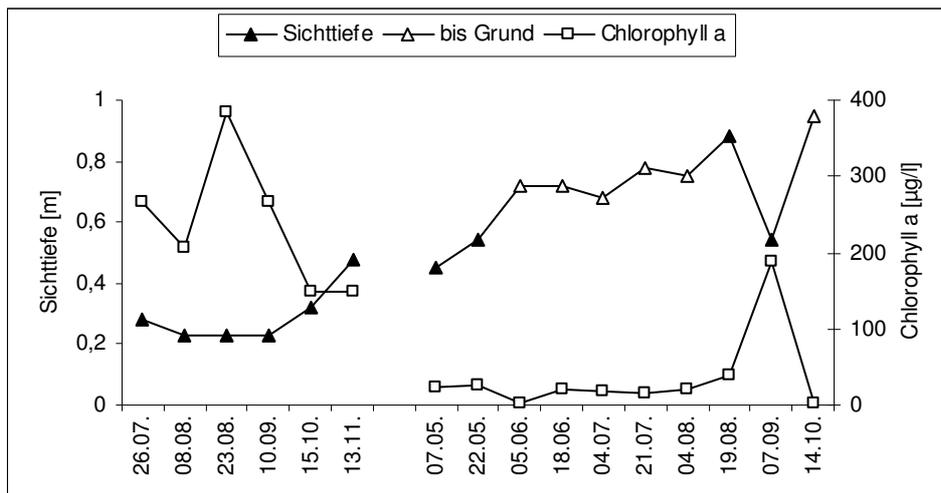


Abbildung 11: Sichttiefe und Chlorophyll a-Konzentration im Segelsportbereich, 2007 und 2008

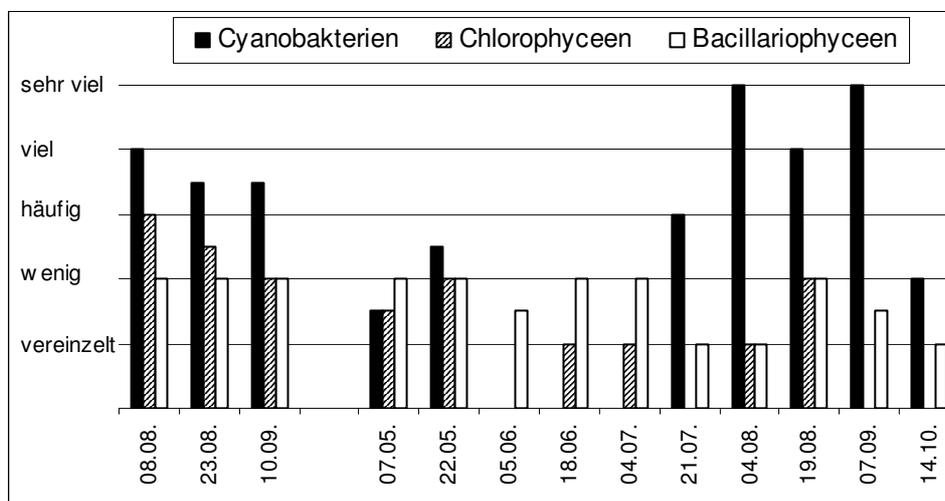


Abbildung 12: Quantitative Einschätzung der am häufigsten beobachteten Phytoplanktongruppen im Segelsportbereich, 2007 und 2008

3.1.4.2 Mikrobiologische/hygienische Parameter

Die Keimbelastung des Wassers im Segelsportbereich überschritt den Grenzwert der alten Badegewässerverordnung (Niedersachsen 1999) von 10000 KBE pro 100 ml für Gesamtcoliforme Keime im Jahr 2007 nicht, 2008 bei vier Probenahmen jedoch zum Teil deutlich. Der Richtwert von 500 KBE pro 100 ml wurde 2007 immer und 2008 regelmäßig überschritten.

Für *Escherichia coli* galt, dass der, ebenfalls nach der alten Verordnung, anzustrebende Richtwert von 100 KBE pro 100 ml 2007 nicht und 2008 einmal überschritten wurde. Der Grenzwert von 2000 KBE pro 100 ml wurde in beiden Jahren nie erreicht.

Wie die beiden anderen Seebereiche konnte das Wasser des Segelsportbereichs nach der neuen Badegewässerverordnung (Land Niedersachsen 2008) in beiden Jahren für den Parameter *Escherichia coli* durchgängig in die Kategorie „Ausgezeichnete Qualität“ eingestuft werden, da die Werte stets unter dem für diese Einstufung zulässigen Höchstwert von 500 KBE pro 100 ml lagen.

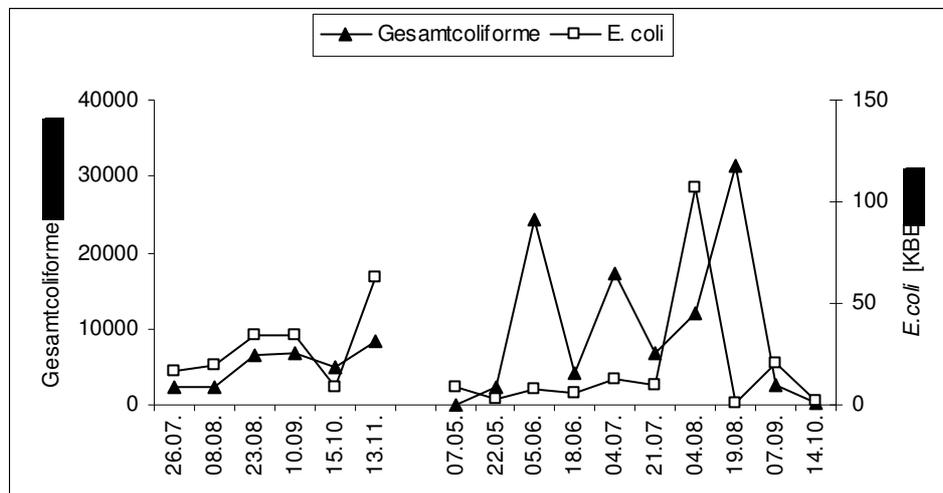


Abbildung 13: Coliforme Keime im Segelsportbereich, 2007 und 2008

3.1.4.3 Stickstoff und Phosphor

Die gemessenen Konzentrationen von Ammonium, Nitrit und Nitrat zeigten im Jahresverlauf ein sehr ähnliches Bild wie im Schwimmbereich (nicht dargestellt).

Die Gesamtposphorkonzentration des Segelsportbereichs lag im Mittel 2008 mit 93 µg/l deutlich niedriger als 2007 mit 288 µg/l (Abbildung 14). Der Jahresverlauf 2007 zeigte wie in den anderen beiden Seebereichen einen kontinuierlichen Rückgang auf niedrigere Werte. Im Jahr 2008 war der Verlauf der Phosphorkonzentrationen ähnlich der des Schwimmbereichs.

Der Mittelwert des gelösten Phosphors lag 2008 bei 44 µg/l, die mittlere Konzentration von PO₄-P bei 31 µg/l. Bei drei Probenahmen lag der Wert unter der Nachweisgrenze von 10 µg/l.

Für den gesamten im Wasser des Segelsportbereichs (1532 m³) befindlichen Phosphor konnte im Mittel für das Jahr 2007 ein Wert von 9,87 kg und für das Jahr 2008 von 3,19 kg angegeben werden.

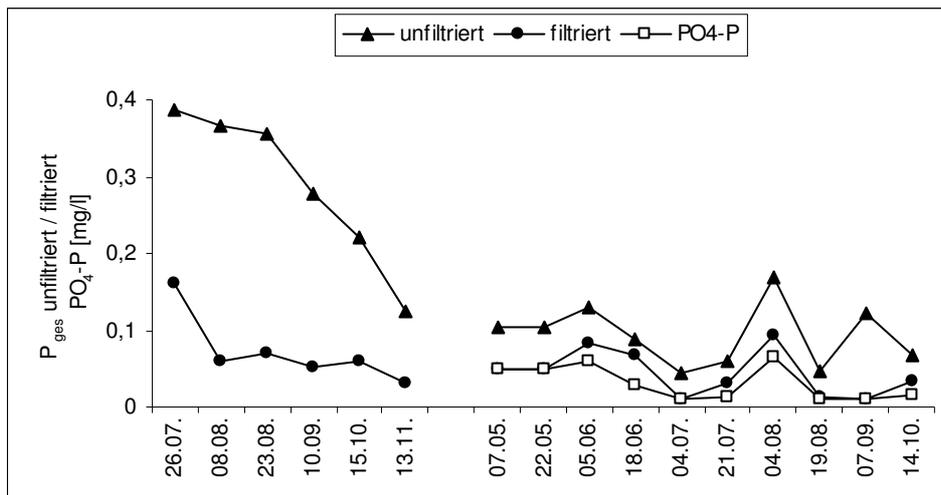


Abbildung 14: Gesamtphosphor- (unfiltriert/filtriert) und PO4-P-Konzentration im Segelsportbereich, 2007 und 2008

3.1.5 Phosphoreintrag durch Badegäste

Zur Abschätzung des Phosphoreintrags durch die Badegäste wurde am 02.08.2008 in regelmäßigen Abständen die Gesamtphosphorkonzentration im Nichtschwimmerbereich bestimmt (Abbildung 15). Von 10 bis 18 Uhr kam es zu einem Anstieg der Gesamtphosphorkonzentration um 5 µg/l. Gezählt wurden 53 Badegäste, womit sich rechnerisch ein Eintrag von 145 mg Phosphor pro Badegast ergibt.

Berücksichtigt man, dass während des gesamten Jahres 2008 etwa 10000 Badende (geschätzt anhand von regelmäßigen Zählungen) das Wasser aufsuchten, beträgt der insgesamt durch die Badegäste in das Wasser eingebrachte Phosphor ca. 1,45 kg.

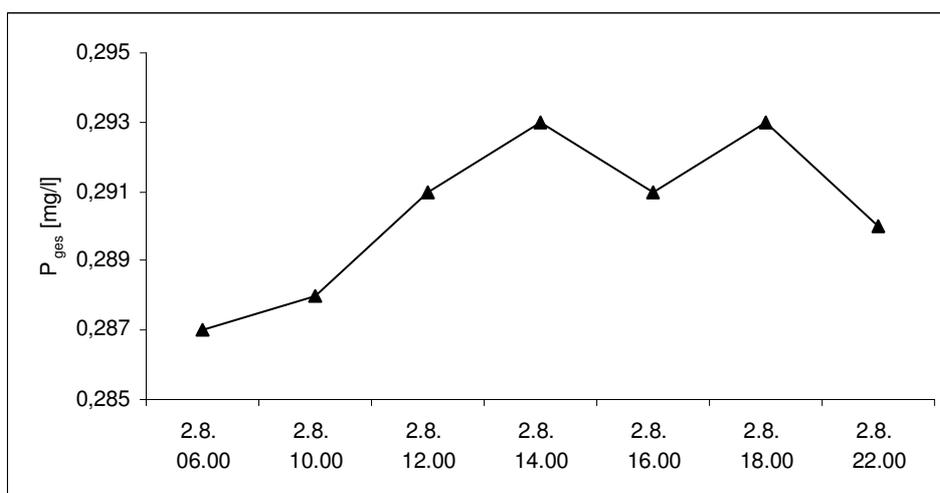


Abbildung 15: Verlauf der Gesamtphosphorkonzentration im Nichtschwimmerbereich am
02.08.2008

3.1.6 Wasserbilanz des Gewässers

Im Jahr 2008 waren Schwankungen des Seewasserstands zu beobachten. Auf Grundlage der Wetterdaten der Wetterstation (Tabelle 5) und der Betriebszeiten der Filteranlage wurden die Einflüsse auf den Wasserstand überschlägig quantifiziert (Tabelle 6).

In der ersten Jahreshälfte bis zum 01.06. sank der Wasserstand des Sees (Schwimmer- und Segelsportbereich) rechnerisch um 19 cm, wozu wetterbedingte Wasserverluste und Verluste durch die Filteranlage etwa zu gleichen Teilen beitrugen. Vom 01.06. bis zum 06.08. wurde aus dem Brunnen Grundwasser über die Filteranlage in den See eingespeist. Infolge dieser Einspeisung und der eher feuchten Witterung im Sommer kam es zu einem rechnerischen Wasserspiegelanstieg von 43 cm. Für das gesamte Jahr konnte somit ein Anstieg von ca. 25 cm berechnet werden.

Tabelle 6: Einfluss der Filteranlage und des Wetters auf den Seewasserstand, 2008

Zeitraum	Filteranlage			Wettereinfluss auf den See			Änderung des Seewasserstands [m]
	Entnahme aus dem See [m ³]	Einspeisung in den See [m ³]	Netto [m ³]	Niederschlag [m ³]	ET* [m ³]	Netto [m ³]	
01.01.-01.06.	42240	37760	- 4480	12807	17473	- 4666	- 0,19
01.06.-14.10.	111440	129440	+18000	23177	19806	+3371	+ 0,43
01.01.-14.10.	153680	167200	+13520	35984	37279	- 1296	+ 0,25

* = Evapotranspiration

3.2 Messungen an der Filteranlage 2007/2008

3.2.1 Wasserbilanz

Anhand der Betriebsstunden und der Fördervolumina der installierten Pumpen wurden die der Anlage zu- und abgeführten Wassermengen berechnet (Tabelle 7): Der Großteil des aus dem Segelsportbereich entnommenen Wassers wurde auf Filter F1 verregnet (2007: ca. 98 %, 2008: ca. 92 %) und nur ein kleiner Teil auf Filter F2.

Weiterhin wurde im Jahr 2007 im Vergleich zu 2008 etwa die dreifache Menge Grundwasser aus dem Brunnen über den Filter F3 in den See eingespeist.

Andererseits wurde im Jahr 2008 über viermal so viel Wasser als Teilstrom aus dem Schacht 2/3 zum Filter F3 gepumpt als 2007, so dass 2008 insgesamt je etwa die gleiche Wassermenge aus dem Brunnen und aus dem Schacht 2/3 auf Filter F3 aufgebracht wurde.

Die Betrachtung der gesamten der Filteranlage zugeführten und abgeführten Wassermengen zeigt, dass eine erhebliche Wassermenge in beiden Jahren als Verlust resultierte. Die dem See entnommene Wassermenge entsprach im Jahr 2007 etwa dem 1,6-fachen des Seevolumens, im Jahr 2008 bis zum 14.10. etwa dem 2,3-fachen.

Tabelle 7: Bilanzierung der Zu- und Ablaufwassermengen der Filteranlage, 2007 und 2008

Wasserweg	Wassermenge [m ³]	
	2008	2007
A) Entnahme Segelsportbereich → Zulauf Filter F1 und F2	153680	104000
davon auf Filter F1	141934	101920
auf Filter F2	11746	2080
Zulauf über die Absetzbecken Ab 3.1 und 3.2 auf Filter F3	69123	107553
B) davon aus dem Brunnen	34740	99690
aus Schacht 2/3	34380	7860
C) Fällmittel	3	3
D) Niederschlag auf die gesamte Filteranlage	313	168

Gesamter Zulauf in die Filteranlage (= A + B + C + D)	188736	203861
Gesamter Ablauf aus der Filteranlage	167200	184800
Gesamtverlust	11,4%	9,3%

3.2.2 Filterkörper F 1 (Oolith)

3.2.2.1 Chlorophyll a

Für Chlorophyll a ergaben sich für beide Jahre ausschließlich positive Wirkungsgrade (Abbildung 16).

Im Mittel wurde dabei eine jeweils signifikante ($\alpha = 0,05$) Eliminationsleistung von 63 % im Jahr 2007 (Zulauf: 254, Ablauf: 95 $\mu\text{g/l}$) und von 80 % im Jahr 2008 (Zulauf: 37, Ablauf: 7 $\mu\text{g/l}$) erzielt.

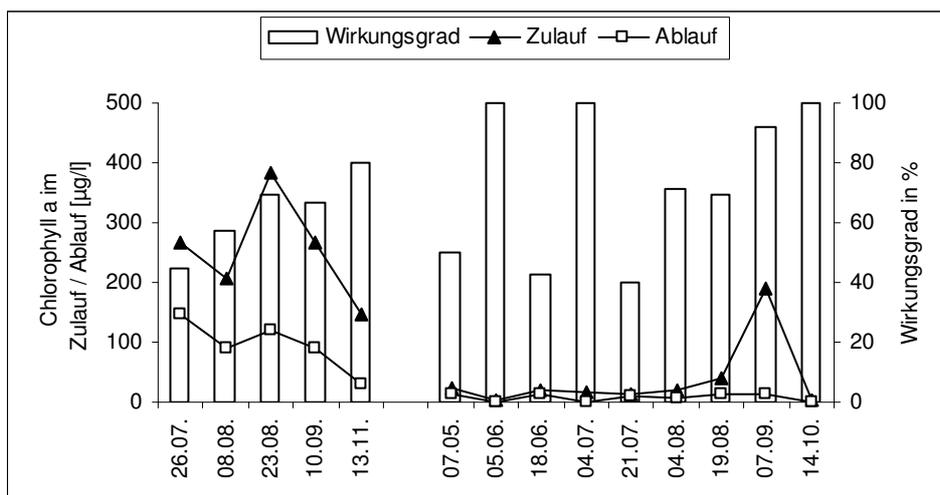


Abbildung 16: Chlorophyll a-Rückhaltevermögen des Filters F1, 2007 und 2008

3.2.2.2 Coliforme Keime

Beim Rückhaltevermögen für Coliforme Keime waren 2008 permanent positive Wirkungsgrade zu verzeichnen (Abbildung 17, Abbildung 18). Für die Gesamtcoliformen Keime hatte der Filter F1 jeweils eine signifikante mittlere Eliminationsleistung von 65 % (Zulauf: 10973, Ablauf: 3882 KBE/100ml), für *Escherichia coli* im Besonderen von 89 % (Zulauf: 20, Ablauf: 2 KBE/100ml).

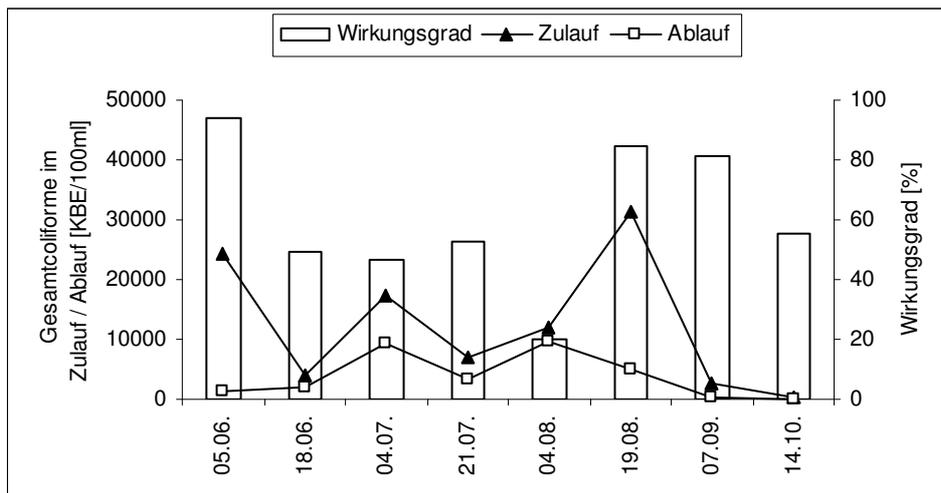


Abbildung 17: Rückhaltevermögen des Filters F1 für Coliforme Keime, 2008

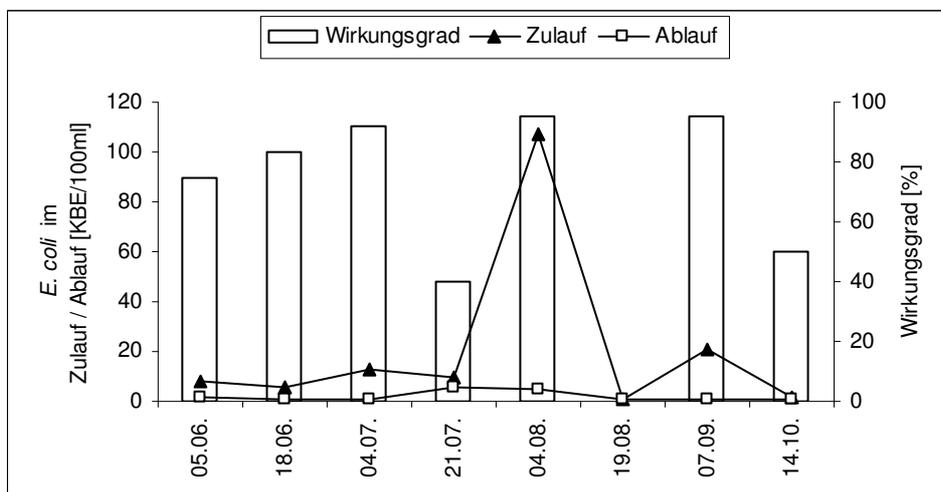


Abbildung 18: Rückhaltevermögen des Filters F1 für Escherichia coli, 2008

3.2.2.3 Phosphor

Für das Gesamtphosphorrückhaltevermögen des Filters F1 ergab sich im Jahr 2007 bei ausschließlich positiven Wirkungsgraden, eine signifikante Elimination von im Mittel 29 % (Abbildung 19).

Bei insgesamt niedrigerer Zulaufkonzentration kam es im Jahr 2008 bei überwiegend negativen Wirkungsgraden mit einem Mittel von -38 % zu einer leichten Phosphorfreisetzung. Dieser Effekt war für die Anzahl der Beprobungen jedoch statistisch nicht signifikant.

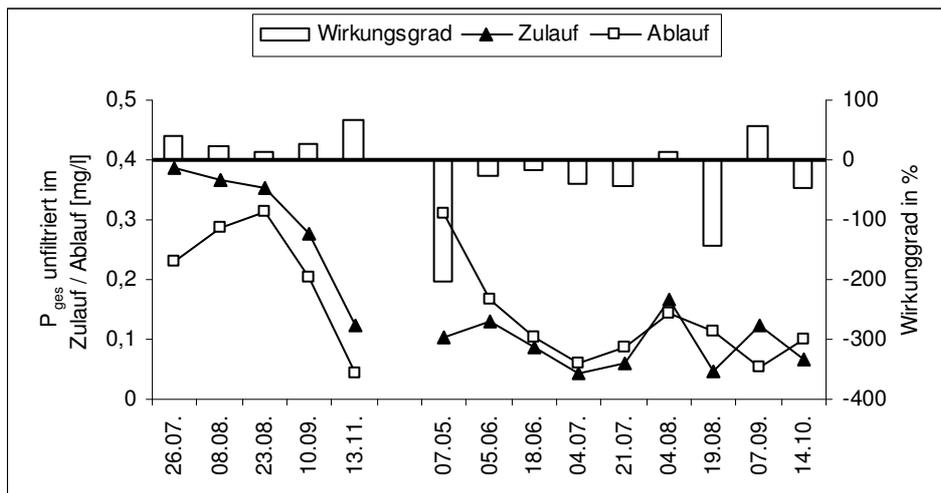


Abbildung 19: Gesamtphosphorrückhaltevermögen des Filters F1, 2007 und 2008

Zur weiteren Differenzierung wurden für die Fraktionen partikulärer Phosphor und gelöster Phosphor ebenfalls die jeweiligen Wirkungsgrade berechnet (Abbildung 20, Abbildung 21). Als wichtiger Teil des gelösten Phosphors wurde der Parameter Orthophosphat (gemessen als PO_4 -P) ebenfalls bestimmt (Abbildung 22).

Für den partikulären Phosphor zeigte sich ein ähnlicher Verlauf im Rückhaltevermögen wie beim Gesamtphosphor. 2007 erfolgte eine signifikante Eliminationsleistung mit ausschließlich positiven Wirkungsgraden von im Mittel 61 %. 2008 gab es sowohl positive als auch negative Wirkungsgrade. Im Mittel ergab sich hier ein nicht signifikanter Wirkungsgrad von -28 %.

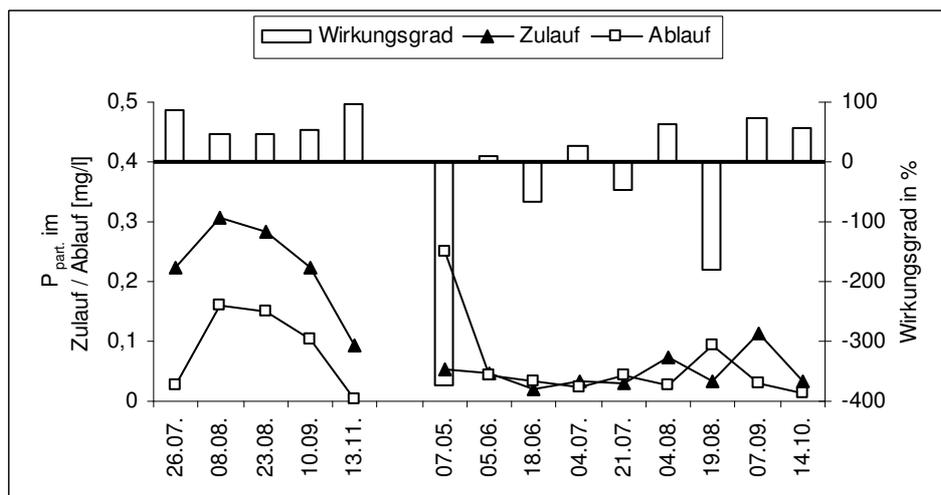


Abbildung 20: Rückhaltevermögen des Filters F1 für partikulären Phosphor, 2007 und 2008

Für den gesamten gelösten Phosphor sowie für den Teil des Orthophosphats konnten ausschließlich negative Wirkungsgrade bestimmt werden, es ergab sich somit eine Freisetzung von $\text{PO}_4\text{-P}$ aus der Fraktion des insgesamt eliminierten Gesamt-P.

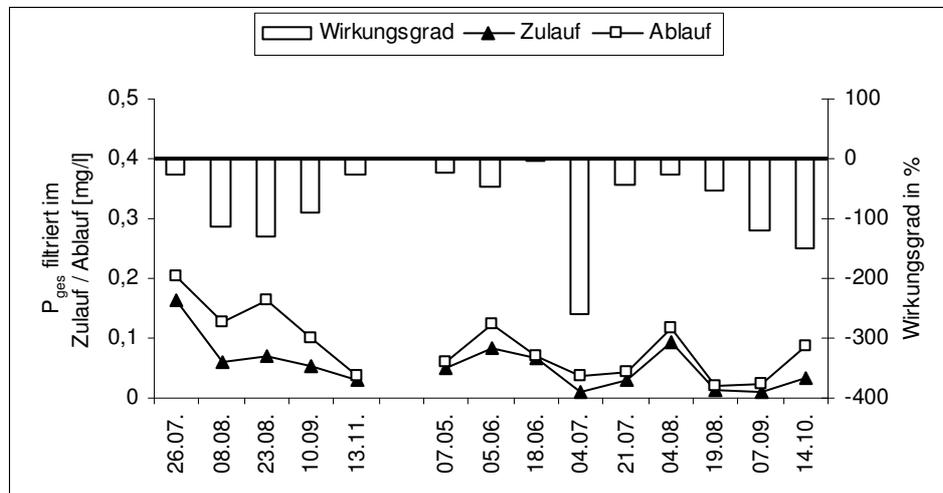


Abbildung 21: Rückhaltevermögen des Filters F1 für gelösten Phosphor, 2007 und 2008

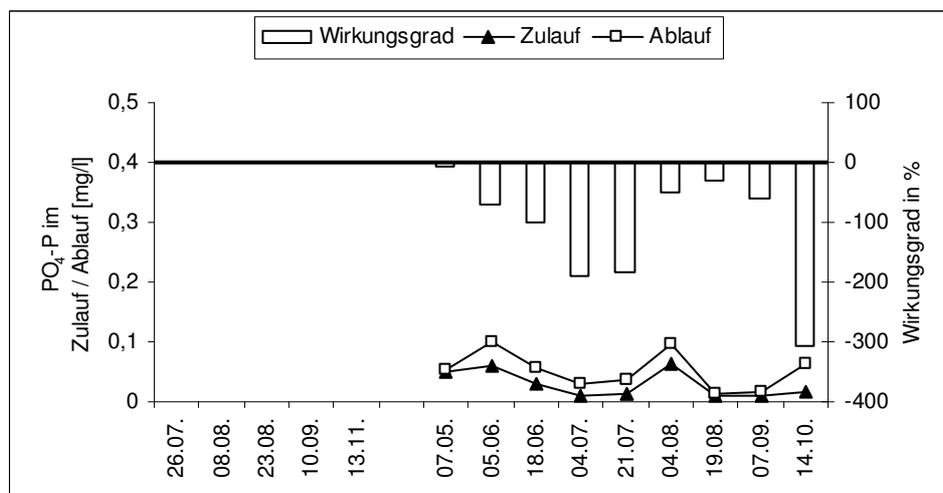


Abbildung 22: Rückhaltevermögen des Filters F1 für $\text{PO}_4\text{-P}$, 2008

3.2.3 Filterkörper F 2 (Coating-Material)

3.2.3.1 Chlorophyll a

Für Chlorophyll a ergaben sich für alle Probenahmen an Filter F 2 ausschließlich positive Wirkungsgrade (Abbildung 23). 2008 wurde im Mittel eine signifikante Eliminationsleistung von 77 % erzielt. 2007 war nur eine Messung durchgeführt worden.

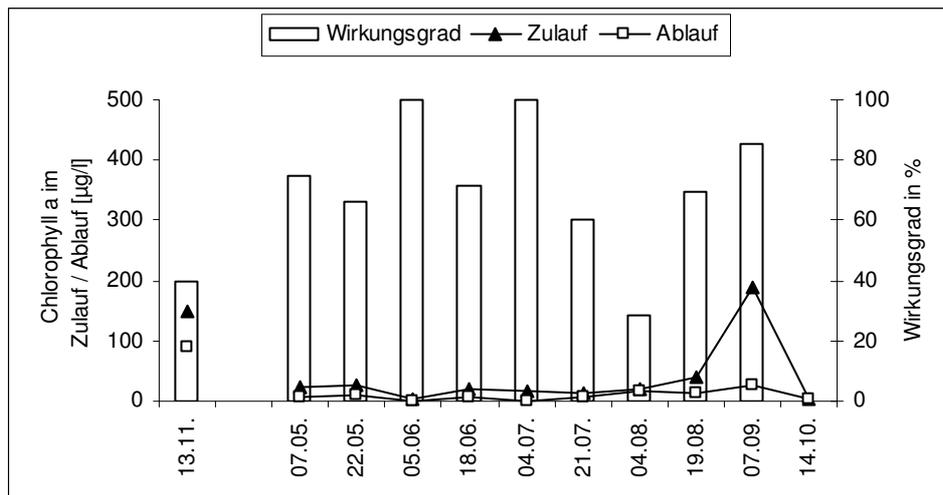


Abbildung 23: Chlorophyll a-Rückhaltevermögen des Filters F2, 2007 und 2008

3.2.3.2 Coliforme Keime

Beim Rückhaltevermögen für Coliforme Keime waren 2008 ebenfalls ausschließlich positive Wirkungsgrade zu verzeichnen (Abbildung 24, Abbildung 25). Für die Gesamcoliformen Keime hatte der Filter F2 im Mittel eine signifikante Eliminationsleistung von 52 %, für *Escherichia coli* von 78 %.

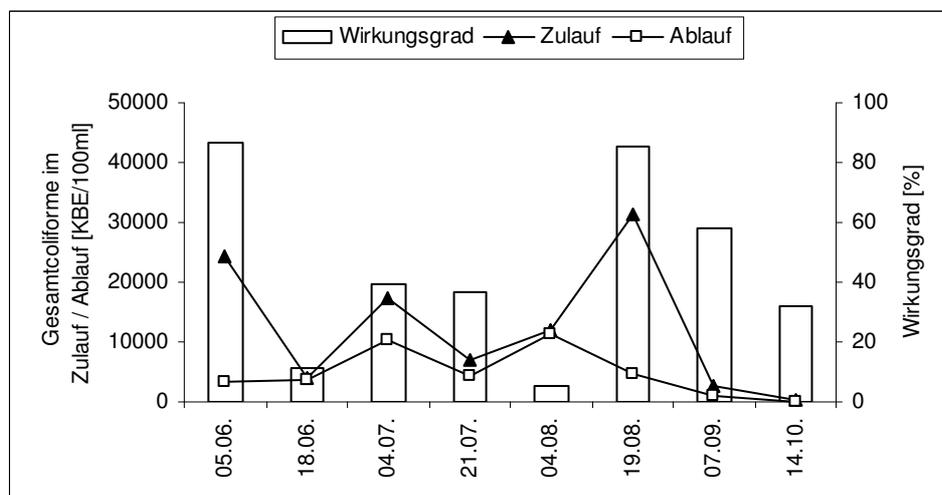


Abbildung 24: Rückhaltevermögen des Filters F2 für Gesamcoliforme Keime, 2008

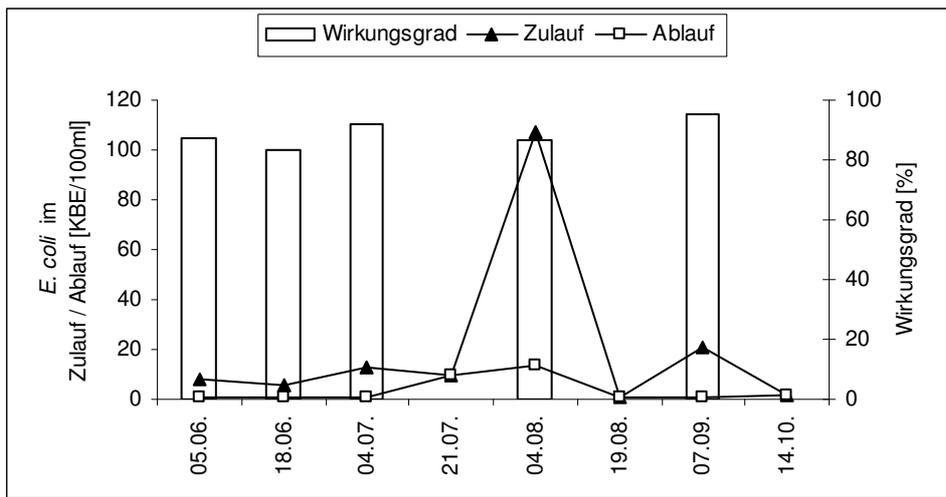


Abbildung 25: Rückhaltevermögen des Filters F2 für Escherichia coli, 2008

3.2.3.3 Phosphor

Für das Gesamtphosphorrückhaltevermögen ergaben sich ebenfalls nur positive Wirkungsgrade (Abbildung 26). Für das Jahr 2008 wurde ein signifikanter mittlerer Gesamtphosphorrückhalt von etwa 38 % ermittelt.

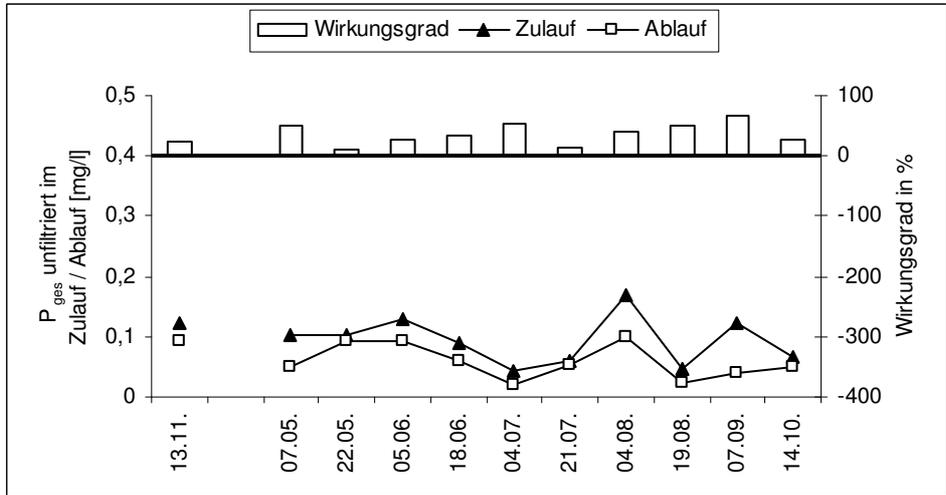


Abbildung 26: Gesamtphosphorrückhaltevermögen des Filters F2, 2007 und 2008

Für den partikulären Phosphor zeigte sich für das Jahr 2008, bis auf zwei Ausnahmen, ein genereller Phosphorrückhalt (Abbildung 27) mit einem signifikanten mittleren Wirkungsgrad von 66 %.

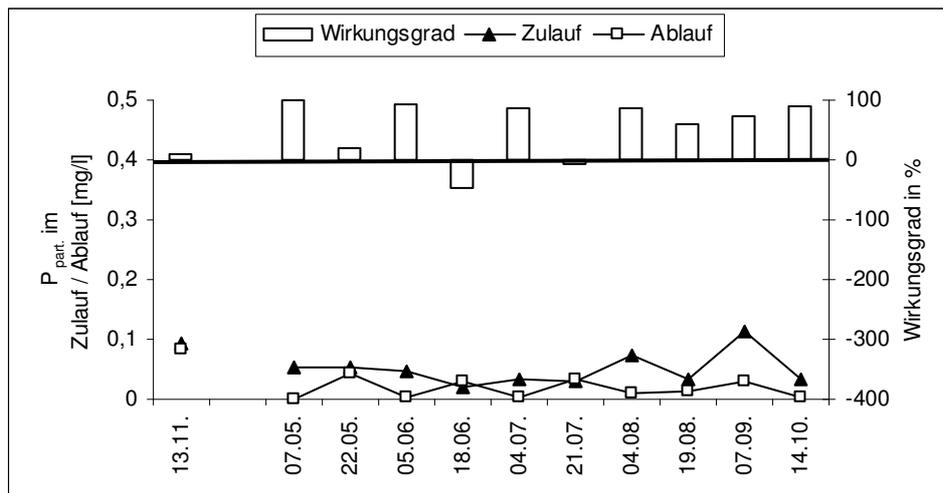


Abbildung 27: Rückhaltevermögen des Filters F2 für partikulären Phosphor, 2007 und 2008

Für den gesamten gelösten Phosphor (Abbildung 28) sowie für den Teil des Orthophosphats (Abbildung 29) konnten sowohl positive als auch negative Wirkungsgrade bestimmt werden.

Für den gesamten gelösten Phosphor ergab sich im Mittel eine nicht signifikante Elimination von 3 µg/l (Wirkungsgrad von 7 %) für das Jahr 2008 und von 20 µg/l (Wirkungsgrad: 67 %) für den 13.11.2007.

Zu beachten ist, dass diese Werte auf einem ohnehin niedrigen Konzentrationsniveau basieren und bereits der Zulauf unter der Bestimmungsgrenze von 10 µg/l lag.

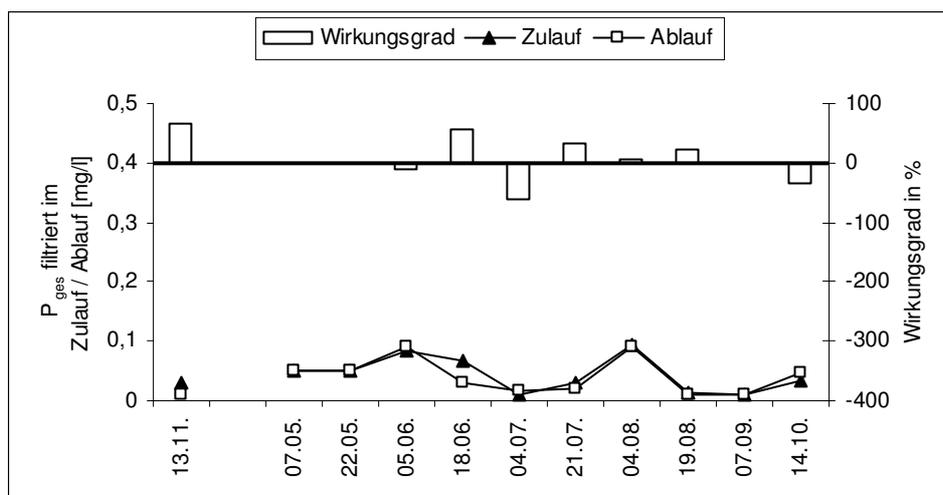


Abbildung 28: Rückhaltevermögen des Filters F2 für gelösten Phosphor, 2007 und 2008

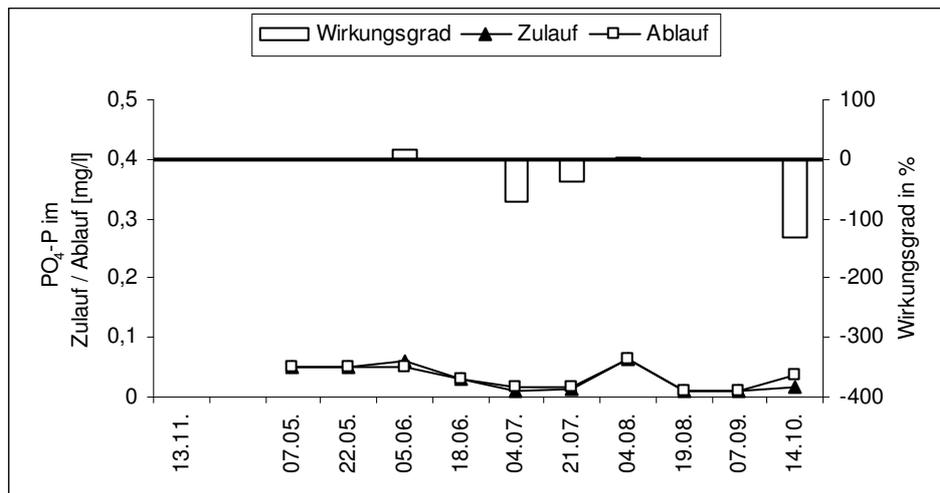


Abbildung 29: Rückhaltevermögen des Filters F2 für PO4-P, 2008

3.2.4 Filterkörper F 3 (Oolith)

3.2.4.1 Phosphorgehalt des Speisewassers (Brunnen)

Das Speisewasser (Grundwasser) aus dem F 3 vorgeschalteten Brunnen wies bei allen Probenahmen 2007 und 2008 erhebliche Phosphorkonzentrationen (als Gesamt-P) auf. Im Mittel konnte 2007 ein Wert von 571 µg/l gemessen werden, im Jahr 2008, bei geringeren Schwankungen, ein Wert von 470 µg/l (Abbildung 30).

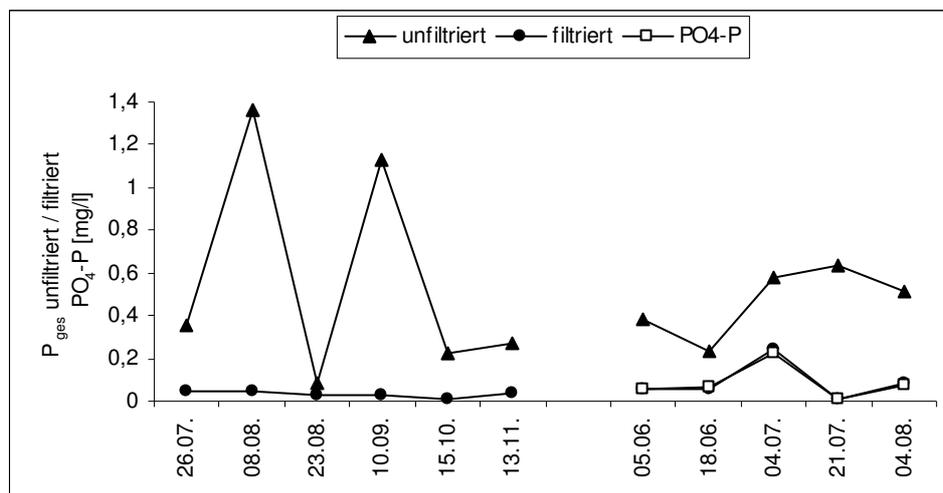


Abbildung 30: Gesamtphosphor- (unfiltriert/filtriert) und PO4-P-Konzentration im Brunnenwasser, 2007 und 2008

Insgesamt lag in der Regel der Großteil des im Brunnenwasser gemessenen Phosphors als partikulärer Phosphor vor.

3.2.4.2 Ablauf Filter F 3 und Absetzbecken

Die Gesamtposphorkonzentration des Filters F 3 war deutlichen Schwankungen unterlegen und bestand zum Großteil aus partikulärem Phosphor (Abbildung 31). Im Jahr 2007 erreichte die Gesamtposphorkonzentration im Mittel einen Wert von 432 $\mu\text{g/l}$ und im Jahr 2008 einen Wert von 508 $\mu\text{g/l}$. Die Konzentration des gelösten Phosphors lag 2007 im Mittel bei 141 $\mu\text{g/l}$ und 2008 bei 103 $\mu\text{g/l}$, wovon im Mittel 91 $\mu\text{g/l}$ als Orthophosphat vorlagen. Auffällig ist eine allgemeine Übereinstimmung der Jahresverläufe der Gesamtposphorkonzentrationen vom Ablauf des Filters F3 und des Brunnenwassers.

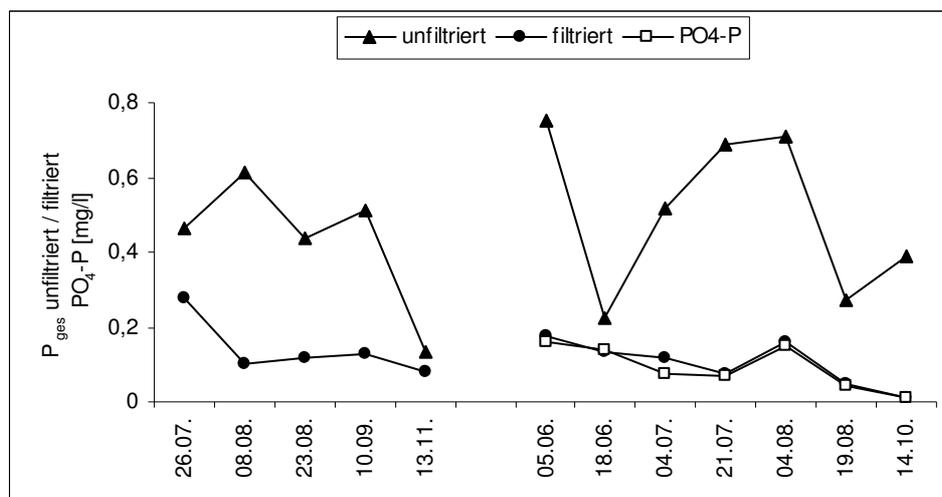


Abbildung 31: Gesamtposphor- (unfiltriert/filtriert) und PO4-P-Konzentration im Ablauf des Filters F3, 2007 und 2008

Im Absetzbecken AB 3.2 des Filters F3 setzte sich während des Jahres 2008 Sediment mit einer Höhe von 10 cm ab, was einem sedimentierten Volumen von 1,73 m^3 entspricht. Im Jahr 2007 hingegen konnte eine Sedimentablagerung von 45 cm mit einem Volumen von 7,79 m^3 ermittelt werden. Am 04.08.2008 wurde eine Probe des Schlammes entnommen und der Gesamtposphorgehalt mittels Persulfataufschluss bestimmt sowie eine Phosphorfraktionierung durchgeführt. Die Phosphorfraktionierung ergab, dass etwa zwei Drittel des gesamten Phosphors vor allem an Eisenhydroxide und Manganoxide gebunden war (BD-Fraktion). Als weitere größere Fraktionen ergaben sich die hauptsächlich an Eisen- und Aluminiumoxide gebundenen und basenlöslichen Phosphate (kalte NaOH-SRP-Fraktion) sowie der vor allem carbonatisch und an Apatit gebundene Phosphor (HCl-Fraktion). Die weiteren Fraktionen wiesen nur geringe Anteile am Gesamtposphorgehalt auf. Die Summe der in den einzelnen Fraktionen ermittelten

Phosphorgehalte (14,29 mg/gTS) wick vom mittels Persulfataufschluss bestimmten Gesamtphosphorgehalt (14,97 mg/gTS) um etwa 5 % ab. Mit dem Wert des Persulfataufschlusses ergibt sich für den Schlamm im Absetzbecken 3.2 ein Gesamtphosphorgehalt von 1,7 mg/cm³.

3.2.5 Phosphorbilanz 2007/2008

Aus den vorliegenden Ergebnissen und Betriebszeiten wurde eine überschlägige Phosphorbilanz für die Filteranlage erstellt werden (Tabelle 8):

Tabelle 8: Phosphorbilanz der Filteranlage

Anlagenteil	Phosphor [kg]	
	2008	2007
Filter F1:		
Zulauf	13,07	29,39
Ablauf	17,98	20,96
A) Netto	+ 4,91	- 8,43
Filter F2:		
Zulauf	1,09	0,26
Ablauf	0,68	0,19
B) Netto	- 0,41	- 0,07
Filter F3:		
Zulauf aus Brunnen	16,32	56,87
aus Schacht 2/3	10,02	2,29
Zulauf gesamt	26,34	59,16
C) Ablauf	35,13	46,50
Netto	+ 8,79	- 12,66
Absetzbecken AB 3.2	- 2,97	- 13,35
Gesamt (= A + B + C)	+ 39,63	+ 38,00

Es zeigte sich, dass der Filter F1 im Jahr 2008 annähernd 5 kg Phosphor mehr abgab als ihm über das Wasser aus dem See zugeführt wurde. 2007 erfolgte hingegen eine Entnahmeleistung von über 8 kg Phosphor.

Der Filter F2 konnte sowohl 2007 als auch 2008 Phosphor aus dem See eliminieren. Aufgrund der deutlich höheren zugeführten Wassermenge konnte im Jahr 2008 entsprechend mehr Phosphor zurückgehalten werden als 2007.

Im Absetzbecken des Filters F3 wurden 2008 annähernd 3 kg Phosphor abgelagert. Dennoch gab der Filter im Jahr 2008 etwa 9 kg Phosphor zusätzlich über den Ablauf ab, als mit dem Wasser aus dem Brunnen und dem Schacht 2/3 aufgebracht wurde. Somit gelangten über den Filter F3 ca. 35 kg Phosphor in den See. Im Jahr 2007 eliminierte der Filter F3 über 12 kg des ihm zugeführten Phosphors. Diese Menge konnte in etwa im Schlamm des Absetzbeckens Ab 3.2 wiedergefunden werden. Insgesamt wurden 2007 über den Filter F3 mehr als 46 kg Phosphor in den See eingebracht.

Für die Gesamtbilanz bedeutet dies, dass über die Filteranlage im Jahr 2007 38 kg und im Jahr 2008 39,6 kg Phosphor in den See gelangten.

3.3 Bilanzierung der Filteranlage 2009

3.3.1 Veranlassung

Zu Beginn der Badesaison 2009 wurde die Filteranlage am Badesee des Hinrich-Wilhelm-Kopf-Lagers der LH Hannover über zwei Tage in engen Abständen beprobt.

Die Probenahme erfolgte nicht wie in der vorangegangenen Badesaison 2008 einmalig als Stichprobe, sondern im Tagesgang mit einem Abstand von zwei Stunden zwischen 8:00 Uhr morgens und 16:00 Uhr bzw. 18:00 Uhr am Nachmittag.

Ziel war eine Absicherung der zuvor stichprobenhaft ermittelten Eliminationsleistungen der Filterkörper über zwei Tagesgänge.

Von besonderem Interesse war eine bessere Auflösung der Ergebnisse für Filter F 3 zur Aufbereitung des zugespeisten Grundwassers.

3.3.2 Messergebnisse F 1 und F 2

Die Filter F 1 und F 2 (Aufbereitung des Seewassers ab Ansaugstelle Segelsportbereich) wurden am 21.05.2009 beprobt. Bei F 1 handelt es sich um einen konventionellen

Filterkörper mit Oolith als Filtermaterial. F 2 enthielt das im technischen Einsatz zu erprobende, neuartige Coating-Material mit erhöhtem Anteil an Eisen in der Beschichtung.

Der Volumenstrom war auf die beiden Filter im Verhältnis 7 : 1 (F 1 : F 2) aufgeteilt.

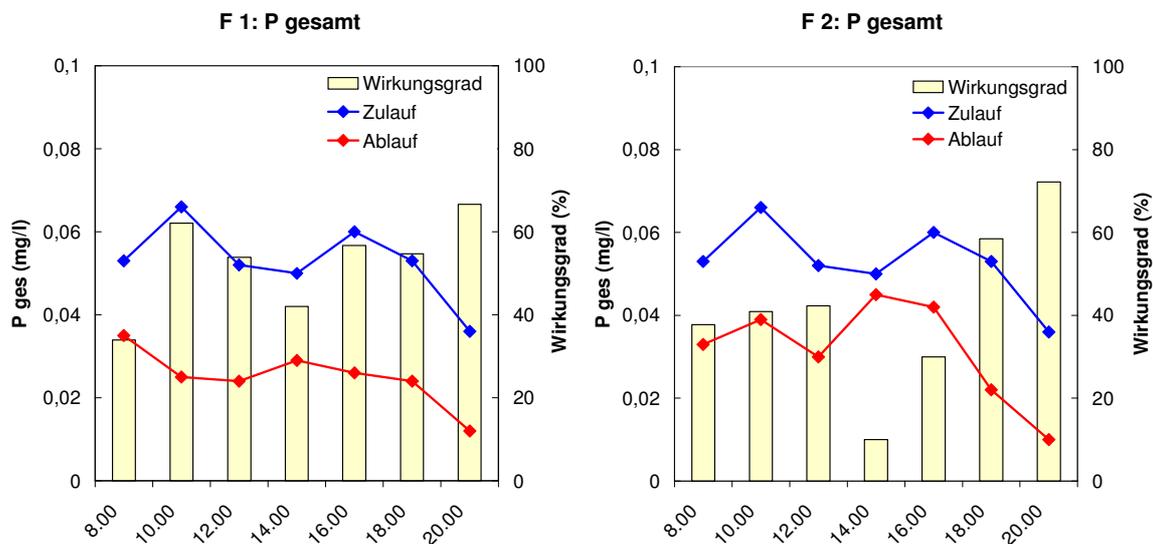
Die Messergebnisse sind grafisch in Abbildung 32 dargestellt.

Die Analysen zeigten folgende Ergebnisse:

- Beide Filter (F 1 und F 2) hatten über den gesamten Tag einen erheblichen Anteil des zugeführten P-Gesamt entnommen;
- der Wirkungsgrad von F 1 lag im Mittel (Median) bei 55 %, bezogen auf P-Gesamt;
- der Wirkungsgrad von F 2 lag im Mittel (Median) bei 41 %, bezogen auf P-Gesamt.

Bezogen auf den gelösten, potenziell sofort bioverfügbaren Phosphor (P-Gelöst) zeigte F 2 ein deutlich besseres Rückhaltevermögen:

- F 1 emittierte im Mittel 23 % mehr P-Gelöst, als zugeführt wurde. Dies zeigt Rücklöseprozesse an, d.h. es wird im Filterkörper ein Teil des zurückgehaltenen, partikulären Phosphors wieder in Lösung gebracht;
- F 2 hatte dagegen eine ausgeglichene Bilanz. Vom zurückgehaltenen P-Gesamt gelangte nichts in gelöster Form zurück ins Gewässer.



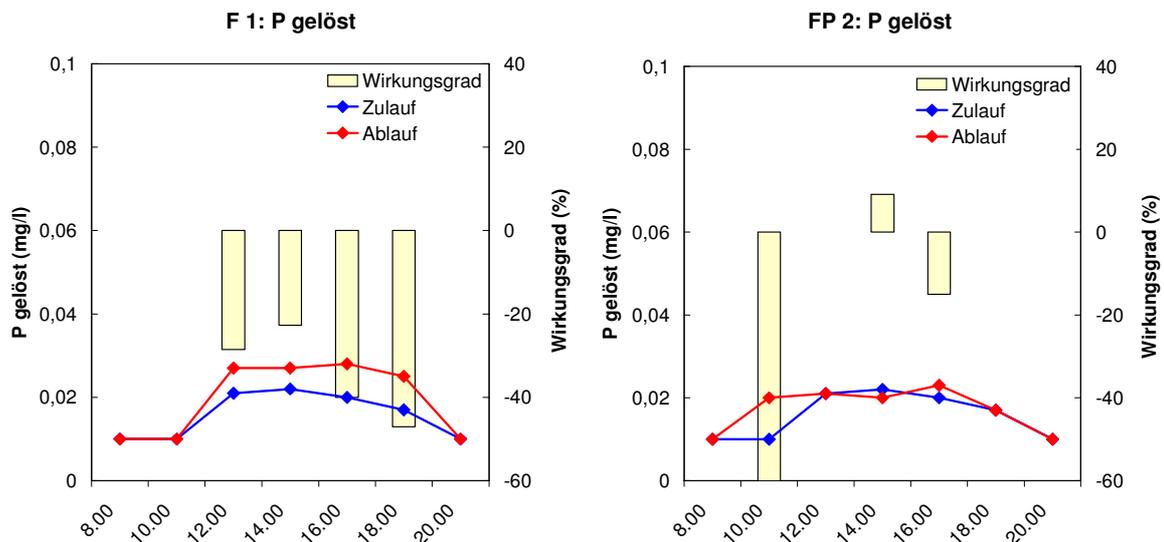


Abbildung 32: Konzentration von Gesamt-P und Gesamt-P (gelöst) im Zu- und Ablauf der Filter F 1 und F 2 mit Wirkungsgrad. Tagesgang am 21.05.2009

3.3.3 Messergebnisse F 3

Filter F 3 bereitet das dem Badesees zugesperte Grundwasser auf. Die Anlage besteht aus einer Fällmitteldosierung mit Fe(III)-Lösung, einem Absetzbecken und einem nachgeschalteten Oolith-Filter.

Auf Grund der in den beiden vorangegangenen Jahren stichprobenhaft festgestellten hohen Konzentrationen an partikulär gebundenem Phosphor erschien die Grundwassereinspeisung als Haupteintragsquelle für P in das Gewässer.

Neben dem geförderten Brunnenwasser und dem Ablauf der Filterstufe von F 3 wurde daher auch der Ablauf des dazwischen liegenden Absetzbeckens beprobt.

Die Probenahme erfolgte hier über zwei Tage (21. und 22.05.2009).

Die Messergebnisse sind grafisch in Abbildung 33 dargestellt.

Die Analysen zeigten folgende Ergebnisse:

- Die P-Gesamt-Konzentration von Brunnenwasser und Ablauf Absetzbeckens war in jeder Probe praktisch identisch. Das Absetzbecken trug somit nicht zur P-Elimination bei.
- Eine deutliche P-Entnahme wurde im Oolith-Filter gemessen (im Mittel 22 % der Zulaufkonzentration aus dem Brunnen).
- Trotz der vergleichsweise hohen absoluten Entnahme (im Mittel > 200 µg/l P) durch F 3 ergaben sich durch die hohe Zulaufkonzentration im Brunnenwasser allerdings noch immer ein für die Nutzung als Füllwasser zu hoher Ablaufwert von im Mittel > 900 µg/l P.

- Insgesamt gesehen nimmt die Belastung mit P Gesamt über die Verfahrensstufen zwar ab, es zeigte sich aber eine leichte Verschiebung hin zur gelösten P-Fraktion. Vom zugeführten Brunnenwasser über das Absetzbecken bis zum Ablauf des Oolith-Filterns nahm die Konzentration an P-gelöst kontinuierlich zu.

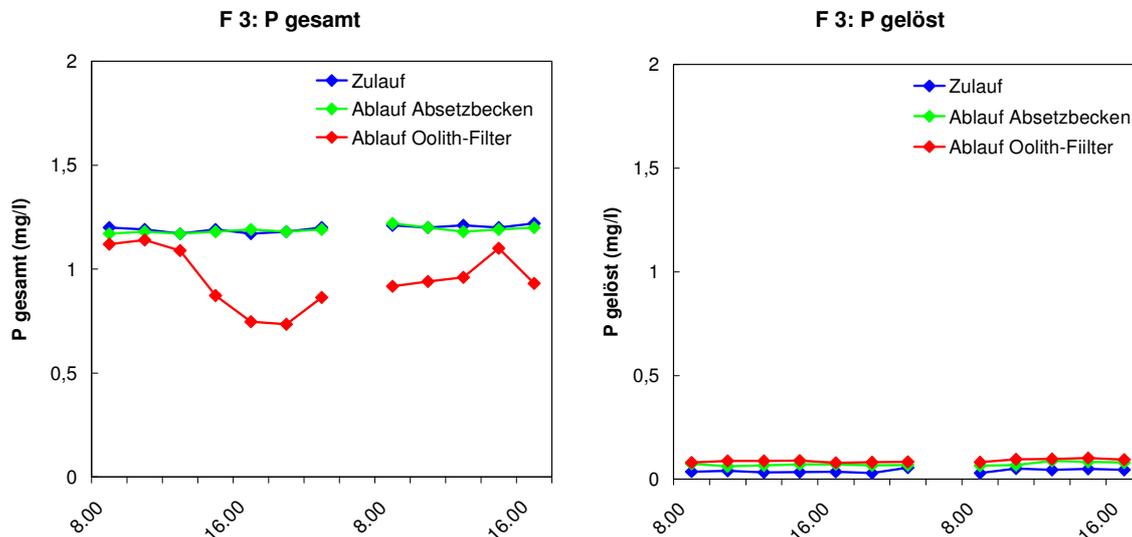


Abbildung 33: Konzentration von Gesamt-P und Gesamt-P (gelöst) in der Filteranlage F 3 (Zulauf Brunnenwasser, Ablauf Absetzbecken, Ablauf Oolith-Filter). Tagesgänge vom 21./22.05.2009

Tabelle 9 fasst die Minimum- und Maximumwerte sowie die Mediane der Messwerte für jede Probenahmestelle zusammen.

Tabelle 9: Spannweite und Mittelwerte (Median) der gemessenen P-Konzentrationen während der Messphase 21./22.05.2009

P-Konzentration			Filter					
			Zulauf ¹⁾		Ablauf ¹⁾		Ablauf	
			F 1 + F 2	F 1	F 2	Zulauf Brunnen	AB	F 3
P gesamt, gelöst								
	Min	mg/l	²⁾	²⁾	²⁾	0,029	0,062	0,081
	Median	mg/l	0,017	0,025	0,020	0,039	0,070	0,088
	Max	mg/l	0,022	0,028	0,023	0,056	0,088	0,102
P gesamt								
	Min	mg/l	0,036	0,012	²⁾	1,17	1,17	0,74
	Median	mg/l	0,053	0,025	0,033	1,20	1,19	0,94
	Max	mg/l	0,066	0,035	0,045	1,22	1,22	1,14

1) Für F 1 und F 2 wurden nur am 21.05.2009 Daten erhoben

2) Nicht bestimmbar, da unterhalb des Messbereichs (< 0,001 mg/l P)

3.3.4 Überschlägige Berechnung der P-Frachten

An Hand der bekannten Pumpenleistung und der abgelesenen Betriebsstunden jeder Pumpe wurde aus dem geometrischen Mittel (Median) und den Minimal- und Maximalwerten der während der Messphase bestimmten P-Konzentrationen die P-Fracht (gesamte zugeführte P-Stoffmenge), die dem Gewässer wieder zugeführt wurde, berechnet.

Es ergibt sich jeweils ein anzunehmender Minimal- und Maximalwert, da die Betriebsstundenzähler jeweils nur volle Stunden anzeigen (Tabelle 10).

Tabelle 10: Fördermenge der Pumpen an Hand der Betriebsstunden 21./22.05.2009

Pumpe		P 11	P 23	Br. P.
Nennleistung	m³/h	80	30	30
Entnahmestelle		Segelsportbereich	Schacht 2/3	Grundwasserbrunnen
Abgabestelle		Filter F 1 und F 2	Filter F 3	Filter F 3
Betriebsstundenzähler				
21.05.2009, 10:00		3699	1772	4960
22.05.2009, 16:00		3710	1772	4990
Betriebsstunden				
Min	h	11	0	30
Max	h	12	0	31
Fördermenge				
Min	m³	880	0	900
Max	m³	960	0	930

Somit ergaben sich aus den aufgezeichneten Pumpenlaufzeiten und den ermittelten Konzentrationen die in Tabelle 11 aufgeführten Frachten.

Tabelle 11: Errechnete Frachten (Gesamt-P) während der Messphase 21./22.05.2009

		P gesamt (g)						
		F 1 zu	F 1 ab	F 2 zu	F 2 ab	Brunnen	3.2 ab	F 3 ab
Minimum								
von		27,7	9,2	4,0	1,1	1.053	1.053	662
bis		30,2	10,1	4,3	1,2	1.088	1.088	684

Median								
	von	40,8	19,3	5,8	3,6	1.080	1.067	842
	bis	44,5	21,0	6,4	4,0	1.116	1.102	871
Maximum								
	von	50,8	27,0	7,3	5,0	1.098	1.098	1.026
	bis	55,4	29,4	7,9	5,4	1.135	1.135	1.060

Aus der vergleichenden Betrachtung der Zu- und Abauffrachten der jeweiligen Filter und aus der sich daraus ergebenden Elimination ist erkennbar, dass während der Messphase

- 1) F 1 und F 2 einen guten Wirkungsgrad bezüglich P Gesamt aufwiesen;
- 2) F 3 in absoluten Mengen mehr P Gesamt zurückhielt als F 1 und F 2. Der prozentuale Wirkungsgrad war jedoch deutlich niedriger als in F 1 und F 2.

Durch die hohe P Gesamt-Konzentration (überwiegend partikulär) des Brunnenwassers, die im Absetzbecken von F 3 praktisch gar nicht und im nachgeschalteten Oolith-Filter von F 3 nicht ausreichend zurückgehalten wurde, ergab sich für den betrachteten Zeitraum ein P-Eintrag aus dem Grundwasser, der die Fracht aus den Filtern F 1 und F 2 erheblich überstieg.

Um den guten Wirkungsgrad der Filteranlage für das Seewasser (F 1 und F 2) nicht zu konterkarieren, empfiehlt sich daher eine Optimierung der Füllwassereinspeisung.

3.3.5 Optimierungsansatz: Absetzversuche mit Füllwasser (Brunnen)

Während der regelmäßigen Beprobung während der Badesaisonen 2007 und 2008 (regelmäßig alle zwei Wochen) und auch während der Intensivmessphase 2009 hatte sich gezeigt, dass der bei weitem überwiegende Eintrag von Phosphor in den Badesee über die Grundwasserzuspelung (Brunnen) erfolgte.

Für eine nachhaltige Sanierung des Gewässers durch P-Elimination ist deshalb eine Verringerung des P-Eintrags aus dem Brunnenwasser Voraussetzung.

Die bis Mitte 2009 installierte Lösung für den Filter F 3 mit Fällmitteldosierung, Oolith-Filter und anschließendem Absetzbecken mit zwei Stunden Aufenthaltszeit ist für die hohe P-Konzentration (überwiegend partikulär) des Brunnenwassers nicht ausreichend.

Ergänzend wurden daher Laborversuche zum Sedimentationsverhalten des partikulären P des Brunnenwassers in Imhoff-Trichtern durchgeführt. Proben des Brunnenwassers von drei aufeinander folgenden Tagen wurden bezüglich der P-Konzentration im Überstand nach 0, 2 und 24 Stunden im Überstand gemessen (Abbildung 34).

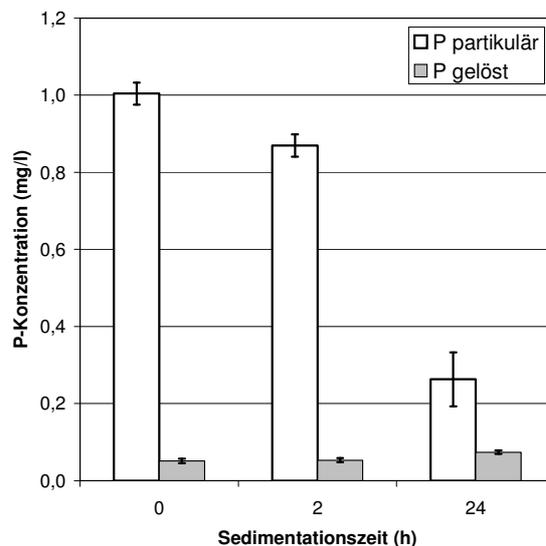


Abbildung 34: Konzentration von Gesamt-P und Gesamt-P (gelöst) des Brunnenwassers (Überstand) nach 0, 2 und 24 Stunden Absetzzeit im Imhoff-Trichter. Median aus drei Stichproben (30.06. – 02.07.2009) mit Standardabweichung

Der Versuch zeigte deutlich, dass

- die aus 2007/2008 gewonnene Annahme plausibel ist, dass es sich bei dem eingetragenen Phosphor aus dem Grundwasser um partikuläre (d.h. grundsätzlich sedimentierbare) Verbindungen handelt;
- mithin die Zugabe von Fällmitteln gar nicht wirksam sein kann;
- Rücklöseprozesse (Re-Mobilisierung von partikulärem P in die gelöste Phase) mit fortschreitender Absetzzeit an Bedeutung gewinnen;
- die hydraulische Aufenthaltszeit von zwei Stunden im Absetzbecken nach F 3 nicht ausreichend ist, um partikulären P nennenswert zu entfernen.

Grundsätzlich lassen sich schwer absetzbare Suspensa durch die Zugabe geeigneter Flockungs- und Flockungshilfsmittel (FM/FHM) besser sedimentieren.

Um zu überprüfen, ob eine Unterstützung bei der Sedimentation durch Zugabe solcher Chemikalien sinnvoll sein kann, wurde mittels eines vorhandenen kationischen Polymers (FHM) ein solcher Flockungsversuch durchgeführt. Die Brunnenwasserprobe vom 30.06.2009 wurde mit verschiedenen Konzentrationen des FHM versetzt, anschließend wurde nach zwei Stunden wie zuvor die P-Konzentration im Überstand gemessen (Abbildung 35).

Die Ergebnisse des Versuchs sind rein qualitativ zu verstehen, eine anwendungstechnische Optimierung müsste im Einzelfall erfolgen.

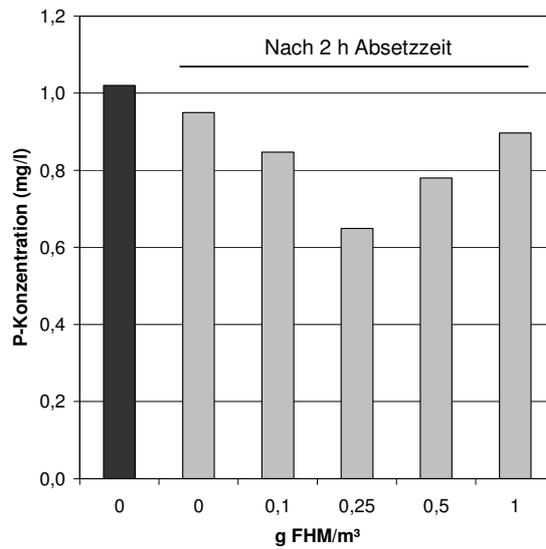


Abbildung 35: Konzentration von Gesamt-P des Brunnenwassers (Überstand) nach 2 Stunden Absetzzeit im Imhoff-Trichter unter Zugabe steigender Konzentrationen eines kationischen Flockungshilfsmittels (FHM)

Bei gegebener Absetzzeit von 2 h ließ sich die P-gesamt-Konzentration des Brunnenwassers durch die Zugabe eines (nicht optimierten) Flockungshilfsmittels um ein Drittel gegenüber dem Referenzwert ohne FHM-Zugabe senken.

4 Zusammenfassende Bewertung

P-Elimination der Filteranlage (F 1 und F 2)

Für die Verminderung des Phosphatgehaltes im See wurde im Rahmen des Projektes eine externe Filteranlage errichtet und betrieben. Hierbei wurde neben einem „bewährten“ natürlichen Filtermaterial („Oolith“) in einem parallel betriebenen Filter ein bisher großtechnisch noch nicht erprobtes Filtermaterial getestet. Hierbei handelte es sich um mit Eisenverbindungen beschichtete mineralische Naturmaterialien („Coating-Material“).

Für den Untersuchungszeitraum können folgende Ergebnisse hinsichtlich des P-Rückhaltes der beiden Materialien festgehalten werden:

Die konventionelle Füllung des Filters F 1 (Oolith) hat zunächst (2007) gebundenes P in Form von Biomasse aus dem Gewässer entnommen. Da organisch gebundener Phosphor nicht weiter eliminiert werden, sondern nach Abbau der Biomasse im Filter nur als Ortho-Phosphat wieder freigesetzt werden kann, war die neutrale Bilanz dieses Filterkörpers zu erwarten (P-Speicherung 2007 vs. P-Freisetzung 2008).

Das „Coating-Material“ im Filterkörper F 2 zeigte hingegen ein signifikant besseres Bindungsvermögen für Ortho-Phosphat. Das aus der filtrierten Biomasse freigesetzte Phosphat wurde besser zurückgehalten als in Filter F 1. Unklar bleibt nach der kurzen Projektlaufzeit die Standzeit dieses Materials: Wie lange bleibt das P-Aufnahmevermögen bestehen?

P-Elimination der Brunnenwasseraufbereitung (F 3)

Der zu Brunnenwasseraufbereitung installierte Filter F 3 bereitet das dem Badesee zugespeiste Grundwasser auf. Die Anlage besteht aus einer Fällmitteldosierung mit Fe(III)-Lösung, einem Absetzbecken und einem nachgeschalteten Oolith-Filter.

Der P-Gehalt des Brunnenwassers liegt oft außergewöhnlich hoch: Die P-Gesamtkonzentrationen liegen oftmals > 1 mg/l, nach allen erhobenen Messdaten erfolgt der wesentliche P-Eintrag in partikulärer Form. Fällmittel können hingegen nur gelöstes Ortho-Phosphat ($\text{PO}_4\text{-P}$) in unlösliche, absetzbare Verbindungen überführen.

Entsprechend ist erklärlich, dass Phosphor im Absetzbecken praktisch gar nicht zurückgehalten wurde. Im nachgeschalteten Oolith-Filter von F 3 erfolgt dann zwar eine deutliche P-Entnahme, allerdings resultiert aus den hohen Zulaufkonzentrationen zum Filter ein für die Nutzung als Füllwasser deutlich zu hoher P-Ablaufwert von F 3.

Betrachtet man entsprechend den P-Haushalt des Gewässers ergibt sich folgendes Bild:

P-Haushalt des Gewässers

Die erhobenen Daten deuten ausnahmslos darauf hin, dass der Trophiezustand des Badesees in Otterndorf maßgeblich durch die Zuspisung von Phosphor aus dem Grundwasser (Brunnenförderung) bestimmt wird.

Aus der Frachtbilanzierung wird deutlich, dass dem gegenüber der P-Eintrag durch Badegäste kaum eine Rolle spielt. Auch die Netto-Entnahme durch die Filteranlage ist vergleichsweise gering. Für eine nachhaltige Sanierung des Gewässers durch P-Elimination ist deshalb eine Verringerung des P-Eintrags aus dem Brunnenwasser die wesentliche Voraussetzung.

Anlage 2 zum Modellprojekt:

„Bau, Erprobung und wissenschaftliche Begleitung eines neuartigen Filterkörpers zur Phosphatadsorption und Keimelimination am Beispiel des Badesees beim Sommercamp Otterndorf/Landkreis Cuxhaven“

Betriebstagebuch

Anlage 2 Abschlussbericht des DBU-Vorhabens Az: 24712-223

Datum	Spalte 1	Wasser-temperatur °C	Luft-temperatur °C	Füllstand Säure mm/cm	Anlagenleistung Neptun %	Betriebsstunden P 21 Neptun h	Betriebsstunden P 22 Reinwasser h	Betriebsstunden P 23 Adsorber h	Betriebsstunden Brunnen h	Pegelstand See/Becken m
29.12.2008		3,8	-0,2	16,5	10	3373	4513	1560	4483	15
30.12.2008		4,8	-6,0	16,5	10	3373	4513	1560	4483	-15
31.12.2008		4,2	-7,0	16,5	10	3373	4513	1560	4483	15
01.01.2009		4,0	-5,0	16,0	10	3373	4513	1560	4483	14
05.01.2009		3,5	-5,0	15,0	10	3378	4515	1565	4483	14
06.01.2009		3,5	-9,0	15,0	10	3378	4515	1565	4483	14
07.01.2009		2,1	0,0	14,5	10	3379	4516	1565	4483	14
08.01.2009		3,6	-0,7	14,5	10	3379	4516	1565	4483	14
12.01.2009		0,4	-1,0	12,0	10	3382	4519	1586	4483	10
13.01.2009		0,4	0,4	12,0	10	3383	4520	1587	4483	10
14.01.2009		1,4	2,6	11,5	10	3385	4522	1580	4483	10
15.01.2009		1,7	3,0	11,0	10	3388	4524	1584	4483	10
19.01.2009		1,9	2,9	9,0	10	3395	4527	1581	4483	11
20.01.2009		2,1	4,8	8,5	10	3396	4528	1582	4483	11
21.01.2009		2,2	6,2	8,0	10	3398	4529	1584	4483	11
22.01.2009		2,4	3,2	7,5	10	3399	4530	1585	4483	11
02.02.2009		3,3	-0,6	0,6	10	3405	4533	1590	4483	10
03.02.2009		3,5	-0,7	0,6	10	3406	4534	1591	4483	10
04.02.2009		3,8	-0,5	0,6	10	3407	4536	1591	4483	10
05.02.2009		3,9	-0,5	0,6	10	3407	4536	1591	4483	10
13.05.2009		16,7	18,5	40,5	47	3644	4714	1751	4849	0
15.05.2009		15,4	15,4	40,0	37	3655	4813	1751	4894	0
18.05.2009		17,0	22,6	40,0	56	3696	4830	1772	4894	0
25.05.2009		19,0	21,0	-	61	3734	4898	1796	4990	0,4
26.05.2009		18,0	19,0	-	60	3740	4898	1796	4990	0,4
28.05.2009		18,6	20,4	86,0	57	3762	4935	1796	5059	0,5
29.05.2009		19,6	19,5	83,0	60	3775	4945	1785	5086	0,3
30.05.2009		21,5	18,8	80,0	60	3781	4956	1805	5086	0
01.06.2009		20,4	28,2	79,5	79	3801	4983	1805	5133	0,2
02.06.2009		18,2	25,4	79,0	65	3811	4998	1805	5154	-0,2
03.06.2009		18,8	21,1	78,5	59	3822	5009	1805	5178	-0,2
04.06.2009		17,0	17,2	78,0	56	3834	5015	1811	5182	-0,6
05.06.2009		16,9	19,5	77,5	52	3840	5023	1820	5182	-0,6
06.06.2009		17,1	19,1	77,5	49	3845	5032	1821	5183	-7
07.06.2009		19,9	14,3	77,5	39	3850	5040	1821	5221	-7
08.06.2009		19,1	16,3	77,0	45	3854	5042	1821	5251	-0,6
09.06.2009		16,2	22,2	77,0	54	3862	5058	1821	5264	-0,4
11.06.2009		19,0	13,9	77,0	32	3875	5071	1829	5272	5
12.06.2009		15,6	16,2	76,5	39	3882	5082	1829	5305	6
14.06.2009		16,2	23,2	76,0	55	3894	5100	1829	5351	4
15.06.2009		16,7	22,3	76,0	55	3902	5111	1829	5374	0,5
16.06.2009		16,5	20,5	75,0	51	3910	5117	1836	5374	0,4
17.06.2009		17,4	20,6	74,5	52	3927	5122	1842	5374	0,2
18.06.2009		18,6	22,1	74,5	62	3927	5130	1854	5374	0,2
19.06.2009		19,4	19,3	74,5	57	3935	5141	1854	5396	0,2
22.06.2009		20,3	24,3	74,0	72	3960	5172	1854	5461	4
23.06.2009		18,2	20,6	73,5	65	3968	5181	1868	5465	4
24.06.2009		19,5	22,3	73,0	63	3979	5189	1870	5470	3
26.06.2009		20,2	21,0	72,0	62	4003	5206	1893	5470	1
27.06.2009		20,7	22,0	72,0	67	4019	5220	1893	5496	1
28.06.2009		20,6	22,7	72,0	63	4024	5232	1893	5520	1
29.06.2009		22,7	27,9	71,5	85	4035	5245	1893	5543	0,2
01.07.2009		24,7	30,4	71,0	97	4054	5264	1889	5579	2
02.07.2009		25,8	31,7	70,5	100	4077	5288	1964	5596	0,2
04.07.2009		25,5	24,7	70,0	85	4103	5316	1964	5596	0,2
08.07.2009		23,8	22,9	69,0	68	4126	5344	1905	5687	0
09.07.2009		22,6	20,0	68,5	58	4128	5348	1907	5702	1
10.07.2009		20,0	17,5	68,0	47	4136	5360	1907	5707	4
11.07.2009		19,8	19,5	68,0	49	4143	5370	1907	5749	6
12.07.2009		19,8	19,0	68,0	48	4152	5382	1907	5774	7
13.07.2009		20,6	25,9	67,5	68	4158	5392	1907	5795	6
14.07.2009		20,9	26,8	67,0	67	4167	5399	1915	5798	4
15.07.2009		23,6	27,3	67,0	75	4181	5408	1928	5798	4
16.07.2009		22,8	26,5	66,5	72	4192	5416	1940	5798	4
17.07.2009		22,7	27,6	66,5	58	4201	5422	1951	5798	4
18.07.2009		21,9	20,6	66,0	59	4210	5431	1958	5798	4