

# **PHOSPHORBILANZIERUNG VON FISCHTEICHEN – DER EINFLUSS DER TEICHWIRTSCHAFT AUF DIE WASSERQUALITÄT DES WEIßENSTÄDTER SEES**

Dipl.-Geoökologin Hannaleena Meier, Dr. Marion Mertens, Prof. Dr. Bernd Huwe, Universität Bayreuth

## **Zusammenfassung**

Seit Oktober 2001 wird im Weißenstädter Becken/Fichtelgebirge das Projekt „Wasser-verbundet“ durchgeführt. Mehrere Kooperationspartner, darunter das Bayreuther Institut für terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK), versuchen die Qualität des Grundwassers zu verbessern und die Eutrophierung des Weißenstädter Sees zu verringern. Dabei wird unter anderem nach Möglichkeiten geforscht, den Phosphoreintrag in die Gewässer zu verringern. Der Schwerpunkt liegt auf der Rolle der 187 Fischteiche im Einzugsgebiet des Sees. Es wird untersucht, ob sie tendenziell positive Phosphorbilanzen aufweisen, also Phosphor zurückhalten, oder im Gegenteil eine Quelle für diesen Nährstoff sind. Die Fischteiche teilen sich im Wesentlichen in drei Typen auf: Forellen-, Karpfen- und Angelteiche. Diese unterscheiden sich nur teilweise in ihrer Phosphorbilanz. Während die untersuchten Angelteiche Phosphor zurückhalten, schließen die Bilanzen der Forellen- und Karpfenteiche etwa mit Null ab. Stellvertretend für das gesamte Teichsystem wurde eine nordwestlich des Weißenstädter Sees gelegene Teichkette untersucht. In Bezug auf die Nährstoff-Beinflussung des Sees zeichnet sich dort ein positives Bild ab: Im Mittel halten die Teiche in ihrer Gesamtheit Phosphor zurück und wirken so gewässerreinigend bzw. nicht gewässereutrophierend auf die Zuflüsse in den Weißenstädter See und den See selbst. Der Haupt-Phosphoreintrag in die untersuchten Gewässer erfolgt durch Oberflächenerosion, die vor allem durch Starkniederschläge und bei Hochwasser über die Ufer tretende Gewässer verursacht wird. Die Teiche halten einen Großteil des eingeschwemmten Phosphors zurück und entlasten so die Vorfluter. Beim herbstlichen Abfischen und Ablassen der Teiche wird mehr Phosphor freigesetzt und in den Weißenstädter See eingetragen als zu anderen Zeiten. Ein großer Teil davon bleibt jedoch im Grabensystem zurück. Demzufolge ist zwar ein Phosphoreintrag in den See durch die Abfischung vorhanden, fällt aber vor allem gegenüber dem Phosphoreintrag durch Hochwässer kaum ins Gewicht. Dem Phosphoreintrag aus den Teichen in den See bei Niedrigwasserabfluss und bei der Abfischung steht eine weit höhere Phosphorretention bei höheren Abflüssen und Hochwasserereignissen gegenüber. Insgesamt leisten die extensiv bewirtschafteten Teiche im Weißenstädter Becken einen Beitrag zur Verminderung der Phosphoreinträge in den Weißenstädter See.

## **Untersuchungsgebiet**

Phosphor ist der limitierende Faktor für das Algenwachstum und spielt deshalb eine besondere Rolle bei der Eutrophierung von Seen und Fließgewässern. Häufig werden Fischteiche für den Phosphoreintrag in Gewässer verantwortlich gemacht. Deshalb wurde eine Phosphorbilanz für die im Einzugsgebiet des Weißenstädter Sees gelegenen Teiche erarbeitet, um deren Beitrag zur Eutrophierung des Sees quantitativ einschätzen zu können (siehe HARTMANN ET AL 2002).

Das Untersuchungsgebiet liegt im Fichtelgebirge im Nordosten Bayerns. Die Teiche liegen im Weißenstädter Becken, ca. 30 km nordöstlich von Bayreuth. Das Weißenstädter Becken ist hufeisenförmig von Höhenrücken begrenzt und nach Osten geöffnet. Die höchsten Erhebungen sind der Waldstein (877 m ü. NN) im Norden, der Schneeberg (1051 m ü. NN) im Süden und der Rudolfstein (866 m ü. NN) im Südosten (MERTENS 2001). Der Weißenstädter See ist ein polymiktischer, 50 ha großer und etwa 2 m tiefer Weichwassersee. Die 187 Teiche, die in ihn entwässern, umfassen eine Wasserfläche von rund 21 ha, das entspricht etwa 40% der Seeoberfläche.

## **Vorgehen bei der Bilanzierung**

In der Bilanzierung werden Quellen und Senken von Phosphor miteinander verrechnet. Daraus lässt sich ableiten, ob Teiche Phosphor zurückhalten oder an den Vorfluter abgeben. Phosphorquellen in Teichen sind oberirdische Zuflüsse, das Grundwasser, Auswaschungen aus dem Gewässergrund bzw. Rücklösung aus dem Sediment, das Fisch- und evtl. Vogelfutter, Falllaub von Gehölzen der Uferzone und die Atmosphäre (nasse und trockene Deposition). Senken dagegen sind oberirdische Abflüsse, die Sedimentation partikulär gebundenen Phosphors oder die Adsorption des Phosphats an Sedimente, die Aufnahme von Phosphor durch Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen und die Entnahme von Pflanzenmaterial und Fisch. Um die Phosphorbilanzen erstellen zu können, wurden monatlich und bei Hochwasserereignissen Messungen in der Teichkette gemacht. Daneben wurden an drei Terminen im Juni, Juli und August 2002 einzelne Teiche durchgemessen und Mitte Juni

Sedimentproben genommen. Zusätzlich wurden Befragungen der Teichwirte bzw. der Bewirtschafter der Teiche durchgeführt.

### Messpunkte

Für eine Gesamtposphorbilanz wurde die Teichkette nordwestlich des Weißenstädter Sees ausgewählt (siehe Abb. 1). Die Phosphorbilanzen der anderen Teichketten sind aus der Untersuchung dieser Teichkette ableitbar. Die untersuchte Teichkette umfasst 73 Teiche (44,8 % der gesamten Teich-Fläche). Sie wird von oben durch einen großen Zufluss, den Gänsbach, gespeist. Hinzu kommen ein kleiner Waldbach und einige Quellen. Das Wasser, das die Teichkette durchfließt, gelangt über zwei Abflussgräben in den Weißenstädter See. Im Einzugsgebiet der Teiche liegen lediglich eine kleine Ackerfläche und wenige extensiv bewirtschaftete Wiesen. Keiner der Gräben durchfließt Siedlungsgebiet. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass der Nährstoffeintrag aus der Landwirtschaft vernachlässigbar ist. Es sind keine Abwassereinleitungen vorhanden.



Abb. 1: Die nordwestlich des Weißenstädter Sees gelegene Teichkette (8: Zulaufgraben 1, 9: Zulaufgraben 2, 13: Gänsbach, W: Waldbach)

Um die Auswirkung der Bewirtschaftungsweise auf die Phosphorbilanz der Teiche abschätzen zu können, wurden zusätzlich neun Fischteiche einzeln beprobt. Darunter sind vier Karpfenteiche, zwei Angelteiche und drei Forellenteiche. Außer einem Forellenteich (F3) liegen alle in der nordwestlich des Weißenstädter Sees gelegenen Teichkette. Es wurden soweit möglich Teiche ausgewählt, die typisch für das gesamte Untersuchungsgebiet sind.

### Befragungen

Insgesamt gibt es im Weißenstädter Becken 187 Teiche. 68 % der Teiche sind über die Befragung der Bewirtschafter erfasst worden. Telefonisch und in persönlichen Gesprächen wurden die Teichwirte nach Besatz und Besatzdichte, Futtermittel, Futtermenge und Fütterungszeit, Düngung und Kalkung, Zufluss, Abfluss und Quellen, dem Vorgehen bei der Abfischung des Teichs und nach eigenen Messdaten erfragt. Wichtig waren auch Angaben zum Vorhandensein von Muscheln und Krebsen und sonstige Informationen über die Teiche.

Die meisten Ergebnisse der Befragungen konnten im Verlauf der Messungen und Kartierungen anhand eigener Beobachtungen bestätigt oder relativiert werden. In Abb. 2 ist dargestellt, wie sich die verschiedenen Teicharten im Gebiet aufteilen.



Abb. 2: Anteil der verschiedenen Teichklassen im Weißenstädter Becken

Die übliche Einteilung der Teiche in fünf Bewirtschaftungsintensitäts-Klassen ist im Weißenstädter Becken aus verschiedenen Gründen nicht möglich. Deshalb muss in diesem Fall eine Einteilung in zwei Ertragsklassen, nämlich A für ertragreiche und B für ertragsarme Teiche (nach PROSKE 1997b), genügen.

Die Teiche im Weißenstädter Becken können aufgrund des langen Winters erst relativ spät (April/Mai) besetzt werden. Das basenarme Zulaufwasser, das durch die Bäche in die Teiche eingespeist wird, wirkt sich ungünstig auf die Bewirtschaftung der Teiche aus. Deshalb wird beinahe durchgehend regelmäßig gekalkt. Die Teiche werden nicht gewerblich, sondern als Freizeitbetrieb geführt, so dass man davon ausgehen kann, dass alle Teiche im Untersuchungsgebiet in Ertragsklasse B einzustufen sind. Exakte Besatzdichten wurden zwar ermittelt, konnten aber nicht in Intensitätsstufen umgerechnet werden, da sich die Teiche überwiegend durch einen Mischbesatz aller Altersklassen auszeichnen, wobei auch hier die genaue Anzahl der Fische der jeweiligen Altersklassen nicht bekannt war. In Karpfenteichen wird hauptsächlich mit Getreide und Brot zugefüttert. Nur in zwei Fällen wird rein mit Pelletfutter gefüttert, sonst wird Pelletfutter als Zufütterung verwendet. In den Mischteichen ist jede Kombination von Futtermitteln vorhanden. In den Angelteichen wird kein Futter zugegeben, die Raubfische fressen zugesetzte Futterfische. Forellen erhalten ausschließlich Pelletfutter. Die Futtermengen bezogen auf die Teichflächen sind unterschiedlich. Wegen der verschiedenen Fütterungs- und Futtermittelarten und des überwiegenden Mischbesatzes der Teiche mit mehreren Altersklassen sind sie nur schwer vergleichbar. Allgemein lässt sich feststellen, dass die Fische wenig intensiv gefüttert werden. Besonders die Karpfen ernähren sich zu einem großen Teil aus dem Teich selbst.

Insgesamt werden die Teiche im Weißenstädter Becken sehr extensiv bewirtschaftet, sehr kleine Teiche (bis 200 m<sup>2</sup>) weisen dabei tendenziell höhere Intensitätsstufen auf als große.

Die Teiche werden in der Regel jeden Herbst abgefischt. Alle Forellenteiche werden vollständig abgefischt und im folgenden Frühjahr wieder besetzt.

## Messungen

Der pH-Wert, die Leitfähigkeit, die Wassertemperaturen, die Phosphorkonzentration sowie die Abflussmenge wurden monatlich sowie bei Hochwasserereignissen am Gänsbach, dem Hirtenbach, dem Egerzu- und -ablauf des Weißenstädter Sees sowie an den Zulaufgräben in den Weißenstädter See gemessen. Die gleichen Parameter wurden bei den Einzelteichmessungen an Zu- und Abflüssen der jeweiligen Teiche und von zwei Quellen im Einzugsbereich der Teiche erfasst. Ergänzend nahmen Mitarbeiter der HofEnergie+Wasser GmbH an allen Hochwasserereignissen Proben aus der Eger, die gemeinsam mit den eigenen Proben in der Zentralen Analytik/BITÖK analysiert wurden. Am 04.06.2002 wurden am Zufluss und am Abfluss jeweils in Ufernähe und in der Teichmitte der Einzelteiche eine Sedimentprobe (Mischprobe aus den obersten 5 cm) genommen, um die Sedimentationraten von Phosphor besser abschätzen zu können. Schließlich wurden die Messungen durch Daten des Wasserwirtschaftsamtes Bayreuth ergänzt, die die Phosphorkonzentration in den Seezuläufen bei der herbstlichen Abfischung ermittelten.

Die Fehlerrechnungen wurden unter der Annahme des „worst case“ durchgeführt.

## Bilanzierung der Teichkette

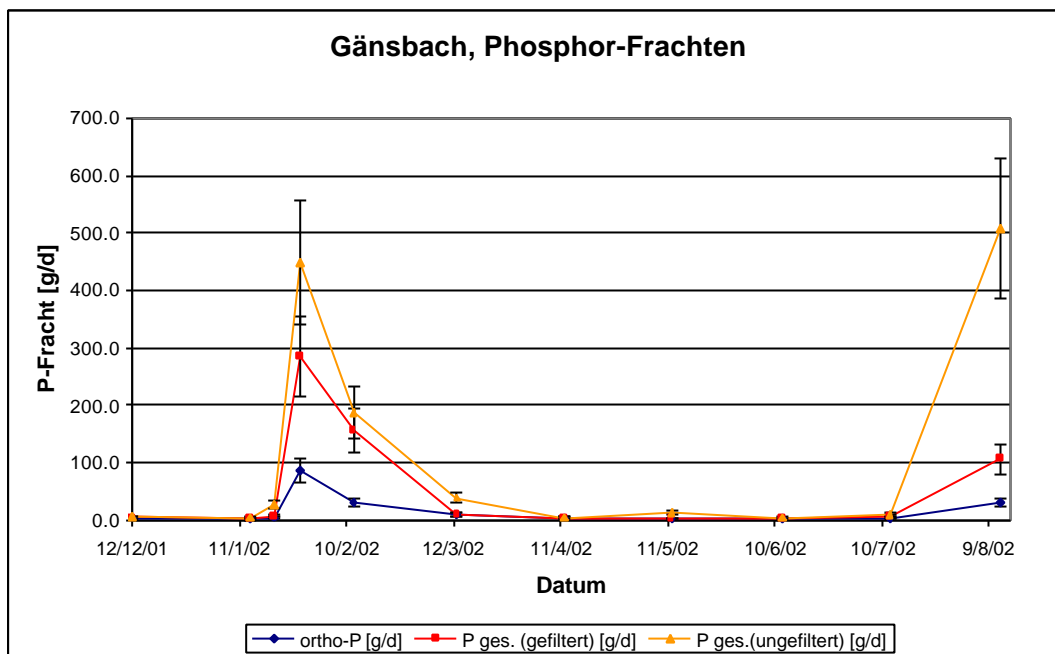


Abb. 3: Phosphorfrachten im Gänsbach

Die Phosphorfracht-Berechnungen werden am Beispiel Gänsbach (vgl. Abb. 3) dargestellt. Die anderen Messpunkte weisen eine sehr ähnliche Dynamik auf. Es gibt einen Grundgehalt an Ortho-Phosphat-P im Bachwasser. Er liegt meist unter der Nachweisgrenze von 4,1 ppb und spielt deshalb nur eine untergeordnete Rolle. Die beiden Hochwasserpeaks im Februar (Schneesmelze) und August (Starkniederschläge) sind stark ausgeprägt und deuten darauf hin, dass der Haupteintrag von Phosphor im Jahresverlauf auf diese Hochwasserereignisse zurückgeht. Der hohe Anteil an partikulär gebundenem Phosphor während der Hochwässer weist darauf hin, dass Erosion die Hauptquelle für Phosphor in den Wasserläufen darstellt.

## Bestimmung der P-Bilanzterme

Um die nordwestlich des Weißenstädter Sees gelegene Teichkette bilanzieren zu können, müssen Phosphoreintrags- und -austragspfade bekannt und durch Phosphor-Frachten bezifferbar sein. Phosphor wird aus dem Gänsbach, einem weiteren kleinen Waldbach und durch Quellen eingetragen. Ihre Frachten sind durch die Messungen bekannt. Hinzu kommt der Phosphoreintrag durch Niederschläge. Da keiner der Teiche mit Bäumen überdeckt sondern bestenfalls von ihnen umrahmt wird, gelten hier die Phosphorgehalte im Freilandniederschlag. Sie belaufen sich nach Messungen des LfW am Lehstenbach/Waldstein zwischen 1988 und 1992 (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT 1994) auf 0,010 +/- 0,011 kg Ortho-Phosphat-P pro Hektar und Jahr. Die trockene Deposition im Freiland beläuft sich nach derselben Quelle auf 0,039 +/- 0,026 kg P/ha\*a. Bezogen auf die gesamte Teichfläche der Nordwestlichen Teichkette ergeben sich daraus Phosphorfrachten von 0,12 +/- 0,10 kg P/a aus dem Niederschlag und 0,36 +/- 0,24 kg P/a aus der trockenen Deposition. 3 % der Teiche werden dicht von Fichten umstanden, weitere 9 % von einzelnen Fichten und 9 % von einzelnen Laubbäumen. In den letzten beiden Fällen beschatten die Bäume nur etwa 1 % der Teichfläche. Daraus ergeben sich 0,11 kg P /ha\*a, die durch Streu in die Teiche gelangen. Der Anteil, der über Pflanzensamen, Pollen oder ähnliches in die Teiche eingetragen wird, kann vernachlässigt werden.

Die bedeutendste Phosphorquelle ist das Fischfutter. Die Phosphorgehalte der verschiedenen Futtermittel wurden ermittelt und in die Bilanzen einberechnet. Die Fütterungssaison beginnt im Allgemeinen Mitte April bis Anfang Mai und endet Mitte bis Ende Oktober mit der Abfischung. Damit erstreckt sich der Fütterungszeitraum über 6 Monate bzw. 26 Wochen. Die Angaben zur Fütterungshäufigkeit und Fütterungsmenge der Teichwirte ergeben damit für alle 187 Teiche im Durchschnitt eine Zugabe von 41,90 kg P/a aus dem Futter. In der nordwestlichen Teichkette wird 10,79 kg P/a verfüttert. Nach Verrechnung der verschiedenen Fehlerquellen ergibt sich eine Ungenauigkeit der Gesamtfuttermenge von  $\pm 30\%$ .

Den Fischteichen wird durch verschiedene Vorgänge Phosphor entzogen. Das Futter, das in den Teich eingebracht wird, wird größtenteils gefressen. Die Fische absorbieren einen Teil des aufgenommenen Phosphors. Bei Regenbogenforellen beläuft sich dieser Anteil nach COLOSO ET AL (2001) auf 60 %. Karpfenartige Fische absorbieren 41 % des aufgenommenen Phosphors (JAHAN ET AL 2000). Der Rest wird wieder ausgeschieden. Die Absorptionsrate für Phosphor von Raubfischen aus gefressenen Futterfischen ist nicht bekannt, kann aber nach

Aussagen von JAHAN ET AL (2000) und COLOSO ET AL (2001) auf etwa 20 % geschätzt werden. Damit wird in der Nordwestlichen Teichkette 5,9 +/- 1,77 kg P/a von dem zugegebenen Phosphor aus dem Futter zurückgehalten. Da die Phosphorabsorption aus dem Futter direkt von der zugegebenen Futtermenge abhängt, wurde hier der gleiche Fehler von 30 % angenommen. Eine weitere Phosphorsenke sind die beiden Abläufe der Teichkette, Zulaufgraben 1 und 2. Diese Werte sind für die einzelnen Messtage bekannt.

Schließlich ist ein großer Teil des Phosphors an Schwebstoffe absorbiert, die sich im Lauf der Zeit im Sediment absetzen. Nach den Berechnungen von KNÖSCHE ET AL 1996 setzt sich pro Jahr etwa 1 mm Sediment auf dem Boden eines eutrophen Teiches ab. Bei der Sedimentmessung ergab sich ein mittlerer Phosphorgehalt von 549 +/- 317,8 mg/kg, mit einem mittleren Fehler von 44 mg/kg Phosphor. Da die Standardabweichung viel höher ist, als der mittlere Fehler der Wiederfindung, wurde sie der Fehlerrechnung zugrunde gelegt. Dem System wird also etwa 4,98 +/- 2,89 kg Phosphor pro Hektar Teichfläche im Jahr durch Sedimentation entzogen.

Vernachlässigt man zunächst den Phosphoreintrag durch die Zuläufe und den Phosphoraustrag aus den Abläufen der Teiche, ergibt sich eine Jahresbilanz von 3,55 +/- 0,81 kg P/a. Der Fehler wurde über die worst-case-Methode ermittelt.

### Phosphorbilanz über Zu- und Abflüsse der Teichkette

Für die Gesamtphosphorfrachten im Gänsbach und in den Zulaufgräben liegen nur einzelne Werte vor, aus denen aufgrund der hochvariablen Abflüsse kein Mittelwert gebildet werden kann. Folgende Tabelle zeigt die Phosphordifferenzen zwischen den Zu- und Abläufen in das Teichsystem:

Datum	Ortho-Phosphat-P [g/d]	Gesamt-Phosphor (filtriert) [g/d]	Gesamt-Phosphor (unfiltriert) [g/d]	Bemerkungen
12.12.2001	- 14,51	- 12,20	-21,53	keine Werte aus Zulaufgraben 2
14.01.2002	2,20	4,92	9,08	keine Werte aus Zulaufgraben 1
21.01.2002	9,82	17,94	63,59	keine Werte aus Zulaufgraben 1
28.01.2002	84,67	139,97	276,48	keine Werte aus Zulaufgraben 2
12.02.2002	52,36	217,73	255,40	
13.03.2002	21,96	33,35	55,92	
12.04.2002	23,35	24,60	139,38	
12.05.2002	4,94	4,50	-9,19	
12.06.2002	4,32	4,89	0,14	
12.07.2002	3,26	9,74	0,38	
12.08.2002	43,71	192,93	1033,11	

Tab. 1: Phosphorbilanzen der Ein- und Ausflüsse in das nordwestlich des Weißenstädter Sees gelegene Teichsystem

Für die Bilanzierung ist vor allem der ungefilterte Gesamt-Phosphor von Bedeutung. Gerade diese Werte schwanken zu stark, als dass aus den Differenzen Mittelwerte gebildet werden können. Die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass sich die Bilanz deutlich verändert, wenn vor allem bei den Hochwasserereignissen im Januar die fehlenden Frachten aus dem jeweils zweiten Zuflussgraben hinzukommen. Deshalb müssen diese Werte aus der Betrachtung ausgenommen werden. Konsequenterweise wird auch die Phosphorbilanz von Dezember 2001 nicht bewertet. Da nicht das ganze Jahr über gefüttert wird und/oder Fische im Teich sind bzw. der Teich überhaupt mit Wasser gefüllt ist, können die oben ermittelte Bilanz für Phosphorein- und -austräge nicht gemittelt, auf einen Tag umgerechnet und zu den Bilanzen der Zu- und Abläufe addiert werden. Vergleicht man jedoch die in Tab.1 aufgelisteten Bilanzen der Gesamtphosphor-Fracht (ungefiltert), erkennt man, dass sie sich in keinem Monat durch Addieren der Phosphorbilanz ohne Zu- und Abläufe von einer negativen zu einer positiven Bilanz verändert.

## Bilanzierung einzelner Teiche

Bezieht man nun die oben erläuterten Werte für Phosphorein- und -austräge auf die jeweiligen Teichflächen der untersuchten Teiche und verrechnet diese mit den Phosphorfrachten in Zu- und Abflüssen, ergeben sich pro Messtag folgende Bilanzen:

	K1	K2	K3	K4
04.06.2002	- 1,00 +/- 0,72	0,16 +/- 0,99	- 1,49 +/- 0,88	- 2,99 +/- 1,32
15.07.2002	- 1,03 +/- 0,73	0,47 +/- 1,09	- 6,13 +/- 1,11	- 3,87 +/- 2,05
15.08.2002	- 1,59 +/- 0,88	- 0,16 +/- 1,35	- 0,44 +/- 1,01	- 3,66 +/- 2,15

Tab. 2: Phosphorbilanzen der Karpfenteiche an den drei Messtagen

	F2	F3	A2	A3
04.06.2002	1,38 +/- 0,68	- 0,59 +/- 0,71	- 8,18 +/- 101,769	- 6,45 +/- 18,418
15.07.2002	2,61 +/- 3,06	- 0,35 +/- 0,60	- 15,48 +/- 66,05	- 2,65 +/- 23,20
15.08.2002	0,51 +/- 0,56	0,20 +/- 0,60	- 20,68 +/- 42,75	8,55 +/- 40,58

Tab. 3: Phosphorbilanzen der Forellen- und Angelteiche an den drei Messtagen

Von F1 konnte keine Bilanz erstellt werden, da die Abflussfracht nicht ermittelt werden konnte.

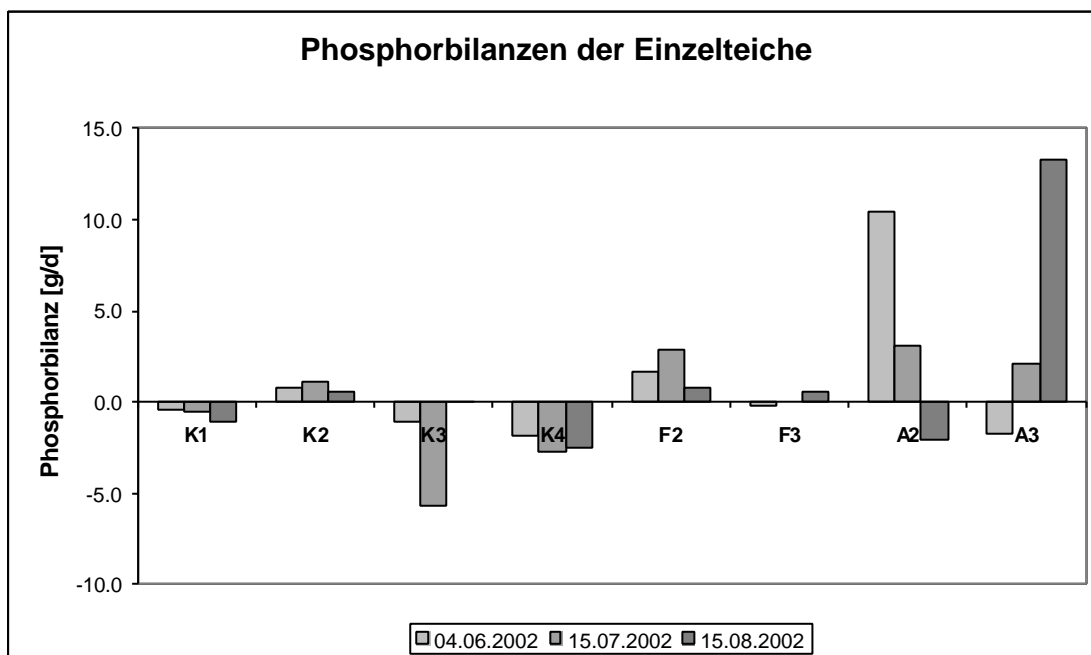


Abb. 4: Phosphorbilanzen der Einzelteiche, Sedimentationsrate von 1 mm/a.

Wie in Abb. 4 erkennbar ist, streuen die Bilanzen der einzelnen Fischteiche um Null, sind aber tendenziell negativ, d.h. es kommt in den Berechnungen mehr Phosphor aus den Teichen heraus, als hinein geht. Da in die Bilanzen der gesamten Teichkette und der einzelnen Teiche alle Phosphoreinträge und Phosphorausträge miteinberechnet werden, sollten sie etwa mit Null abschließen. Für die einzeln bemessenen Karpfen- und Forellenteiche ist dies auch der Fall. Abweichend davon zeigen die beiden Angelteiche Bilanzen, die in zwei Fällen stark von Null abweichen. Der sehr hohe Wert der dritten Messung von A3 ist auf einen sehr hohen Gesamt-Phosphor-Gehalt im Zufluss zurückzuführen, der nicht durch einen im gleichen Maße gestiegenen Abflusswert kompensiert wird. Alle anderen Parameter dieser Messung haben sich gegenüber den anderen Messtagen nicht verändert. Eine Nachmessung der aufbewahrten Probe ergab das gleiche Ergebnis, so dass ein Messfehler ausgeschlossen werden kann. Möglicherweise wurde im Oberlauf des Teichzuflusses Schwebstoff aufgewirbelt, der mitgemessen wurde. Ist dies nicht so, muss der „überschüssige“ Phosphor dem System entzogen worden sein. Aus den vorliegenden Daten können keine Rückschlüsse darauf gezogen werden, ob es sich um eine verstärkte Sedimentation, eine Entnahme von Algen oder ähnliches handelt. Auch bei dem hohen

positiven Wert von A2 konnte keine befriedigende Erklärung gefunden werden. Wahrscheinlich wurde hier die Sedimentationsrate unterschätzt.

Betrachtet man die Bilanz der Fischeiche aus Sicht des Vorfluters, genügt es, die Differenzen von Phosphorzufuhr und -ablauf in und aus den Teichen zu bilden. So kann abgeschätzt werden, ob die Teiche den Vorfluter be- oder entlasten.

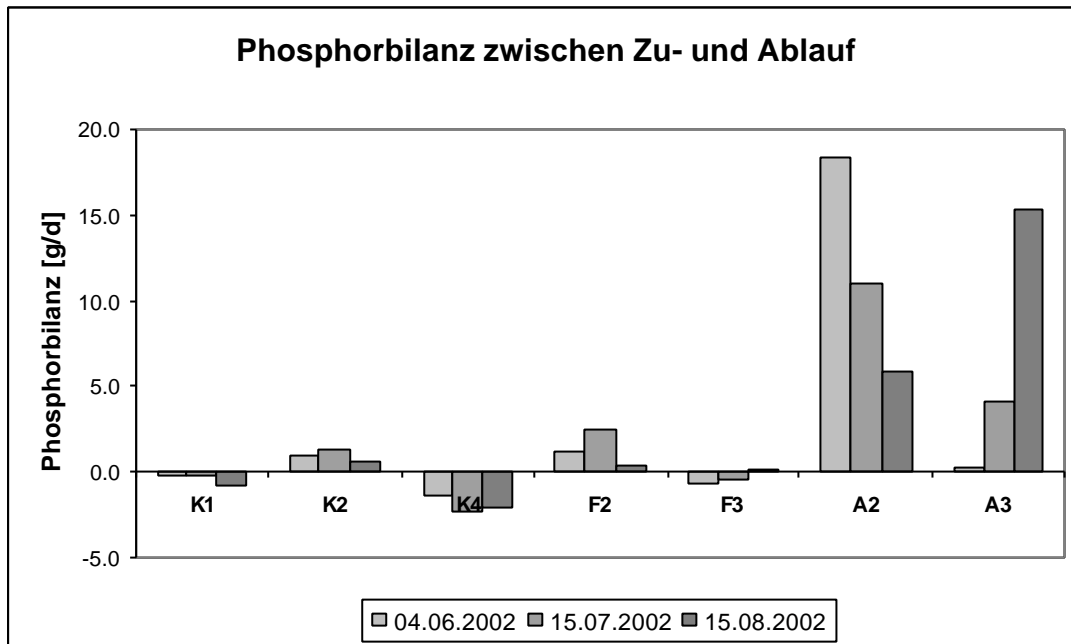


Abb. 5: Phosphorbilanz der bemessenen Teiche zwischen Zu- und Ablauf. Die Quellteiche K3 und F1 wurden aus der Bilanz herausgenommen

Zwischen den Bilanzen der Forellen- und Karpfenteiche bestehen kaum Unterschiede, wohl aber zwischen diesen und den weit größeren Angelteichen (vgl. Abb. 5). Das Mittel der Karpfen- und Forellenteiche ist mit  $-0,087$  g/d leicht negativ, d.h. es wird etwas mehr Phosphor abgegeben als von oben durch den Zufluss in die Teiche gelangt. Dagegen ist die mittlere Phosphorbilanz der Angelteiche mit  $9,133$  deutlich positiv. Das bedeutet, dass die einzelnen Teiche das Gewässer – in diesem Fall zunächst die beiden Bäche und das Grabensystem – kaum bis gar nicht mit Phosphor belasten. Die Angelteiche wirken sogar gewässerreinigend. Mit nur einer Ausnahme (F3) beeinflusst der Zufluss von Phosphor durch Quellen und Bäche die Bilanz weit mehr als das zugegebene Fischfutter. Die Sedimentation spielt vor allem in großen Fischeichen, hier den Angelteichen, eine weitere wichtige Rolle.

### Schlussfolgerungen

1. Während die Bilanzen der Angelteiche deutlich von denen der anderen untersuchten Teiche abweichen, wurde zwischen Forellen- und Karpfenteichen kein merklicher Unterschied festgestellt. Die sehr extensiv genutzten Karpfen- und Forellenteiche im Weißenstädter Becken haben im Bezug auf Phosphor keinen Einfluss auf die Wasserqualität des Vorfluters. Die weitaus größeren und ebenfalls extensiv genutzten Angelteiche wirken dagegen als Phosphorsenken.
2. Der Haupteintrag von Phosphor in den Weißenstädter See erfolgt bei Hochwasser durch partikulär gebundenen Phosphor. Dieser stammt mit hoher Wahrscheinlichkeit aus Oberflächenerosion im Einzugsgebiet der Fließgewässer. In den Teichketten wird ein Großteil des an Schwebstoffe gebundenen Phosphors zurückgehalten. Bei Niedrigwasser hat die Teichkette keine Rückhaltefunktion sondern kann während der Fütterungssaison/Vegetationsperiode sogar als Phosphorquelle wirken.
3. Es zeichnet sich ein positives Bild für die gesamte nordwestlich des Weißenstädter Sees gelegene Teichkette in Bezug auf die Nährstoff-Beinflussung des Sees ab. Die extensiv genutzten Teiche haben bei dem im Gebiet relativ hohen Phosphoreintrag aus den Zuläufen in die Teichkette im Mittel eine deutlich positive Phosphorbilanz. Überträgt man dieses Ergebnis auf alle Teiche im Einzugsgebiet des Sees, heißt das, dass die Teiche Phosphor zurückhalten und so in Bezug auf diesen Nährstoff gewässerreinigend bzw. nicht weiter gewässereutrophierend auf die Zuflüsse in den Weißenstädter See und den See selbst wirken.
4. Die Messungen des Wasserwirtschaftsamts Bayreuth zeigen, dass bei der Abfischung tatsächlich mehr Phosphor aus den Teichen ausgebracht wird als an anderen Tagen. Durch die sorgfältige Abfischung der Teichwirte war der Anstieg der Phosphorwerte allerdings nicht allzu hoch (Anstieg auf im Mittel 200 ppb).

Der Eutrophierungseffekt bei korrekter Abfischung ist deshalb zwar vorhanden, aber weit geringer als der der Hochwässer. Denn während dieser wird über die Eger und den Hirtenbach die gesamte Schwebstofffracht und damit der in ihr gebundene Phosphor ungemindert in den See eingetragen, während das Teichsystem in seiner Gesamtheit sowohl Hochwässer als auch den vermehrten Phosphoraustrag bei der Abfischung abpuffert.

5. Letztendlich kann man feststellen, dass Teiche unter den Bedingungen, die im Weißenstädter Becken vorherrschen, d.h. bei relativ hohen Phosphoreinträgen von oben, sehr extensiver ordnungsgemäßer Bewirtschaftung und vorsichtiger Abfischung, einzeln keinen Einfluss und als Kette sogar einen positiven Einfluss auf die Wasserqualität des Vorfluters in Bezug auf Phosphor haben.

## Literatur

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.) (1994): Auswirkungen des sauren Regens und des Waldsterbens auf das Grundwasser – Materialien, Nr. 40
- Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung (BAGKF) - im Forschungsverbund Produkt und Ernährungsforschung, <http://www.bagkf.de/> (Stand: August 2002)
- COLOSO, H. M., BASANTES, S. P., HEDRIX, H., KING, M. A., FLETCHER, J. W., WEIS, P., FERRARIS, R. P. (2001): Effect of dietary phosphorus and Vitamin D3 on phosphorus levels in effluent from the experimental culture of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) - in: Aquaculture 202 (2001): 145-161
- GERSTBERGER, P., FALGE, E., KALBITZ, K., ALEWELL, C., MANDERSCHIED, B., HELL, U., FOKEN, T., KLEMM, O., WRZESINSKY, T., ILSCHIED, G., MORITZ, K., BITTERSÖHL, J. (2001): Exkursionsführer für die BITÖK-Messflächen am Waldstein (Fichtelgebirge)
- HARTMANN, C., MERTENS, M., FEHN, J., KNIES, K (2002): Nachhaltige Landnutzung im Weißenstädter Becken – Einführung eines integrierten Einzugsgebietsmanagements zum Schutz des Grundwassers und der oberirdischen Gewässer – Zwischenbericht Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Az: 17681)
- JAHAN, P., WATANABE, T., SATOH, S., KIRON, V. (2000): Effect of dietary fishmeal on environmental phosphorus loading from carp culture – in: Fisheries Science 66: 204-210
- KNÖSCHE, R., SCHRECKENBACH, K., PFEIFER, M. & WEIBENBACH, H. (1996): Erste Erfahrungen und Ergebnisse bei der Bearbeitung des Themas „Abwasser aus Fischteichen“ – in: Fischer&Teichwirt, Fachzeitschrift für die Binnenfischerei, 47/1996, 415-417
- MERTENS, M. (2001): Die Anwendung der Fuzzy-Set-Theorie auf die Modellierung von Stickstoffbilanzen im Weißenstädter Becken – in: Bayreuther Forum Ökologie, Band 85
- PROSKE, C. (1997): Bewirtschaftung des Karpfenteiches – in: SCHÄPERCLAUS, W., v. LUKOWICZ, M. (Hrsg.): Lehrbuch der Teichwirtschaft, Parey Buchverlag Berlin, S. 247-267
- PROSKE, C. (1997): Sicherung und Steigerung der Erträge aus der Karpfenteichwirtschaft – in: SCHÄPERCLAUS, W., v. LUKOWICZ, M. (Hrsg.): Lehrbuch der Teichwirtschaft, Parey Buchverlag Berlin, S. 267-305
- SCHRECKENBACH, K., KNÖSCHE, R., RITTERBUSCH, D., PFEIFER, M., WEIBENBACH, H., JANURIK, E., SZABO, P., SCHOPPE, P., THÜRMER, CH. (2001a): Ordnungsgemäße Teichwirtschaft – Auswirkungen guter fachlicher Praxis auf Nährstoffe in Karpfenteichen und Vorflutern – in: Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, Band 7
- Stadtwerke Weißenstadt, Analysen der Trinkwasserquellen 1996, 2001