

# Praxisorientierte Forschung zur Verbesserung der Betriebssicherheit von Schwimm- und Badeteichanlagen

## Ergebnisse aus dem Arbeitskreis für Badeseen und Schwimmteiche

Kommunale Schwimm- und Badeteichanlagen sind mittlerweile ein fester Bestandteil der Bäderinfrastruktur in der Bundesrepublik Deutschland. Dies wird deutlich, wenn man die über 60 Anlagen betrachtet, die zum Teil schon seit vielen Jahren in Betrieb sind. Weitere Anlagen sind derzeit in der Planung, und die Entwicklung macht weder bei der Gestaltung noch bei der technischen Ausstattung halt.

Mit den »Empfehlungen für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von öffentlichen Schwimm- und Badeteichanlagen« der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V. (FLL), ist seit Ende 2003 ein Regelwerk vorhanden, das den Handlungsrahmen für Planer, Betreiber und ausführende Firmen darstellt. In der täglichen Planungspraxis zeigt sich, dass mit Er-

scheinen dieser Empfehlung die Rechtsunsicherheit der vergangenen Jahre zu einem Großteil beseitigt werden konnte. Es zeigt sich aber auch, dass vor allem in technischen Detailfragen weiterer Klärungsbedarf besteht und dass für eine gesicherte Auslegung der Anlagen wichtige Basisdaten nicht vorliegen. Neben technischen Fragestellungen fehlen aber auch noch spezifische Kenntnisse, die mit der besonderen ge-

wässerökologischen Situation in Naturbädern begründet werden können. Bisher wurden Erkenntnisse aus anderen ähnlich gelagerten wissenschaftlichen Fragestellungen herangezogen, um in Analogieschlüssen zu Lösungen zu gelangen, die dann in den Schwimm- und Badeteichanlagen angewendet werden. Insbesondere die technischen Standards aus dem Bereich der Pflanzenkläranlagen und Erkenntnisse aus der Gewässerökologie (Limnologie) werden immer wieder angeführt. In Anbetracht dieser Situation und der stetig fortschreitenden technischen Weiterentwicklung müssen dringend Programme entwickelt werden, die sich mit diesen Fragestellungen beschäftigen und die sowohl den Planern als auch den Betreibern von Naturbädern Lösungen aufzeigen. Ziel der weiteren Forschung zu Naturbädern muss die Optimierung der Betriebssicherheit sein.

An diesem Punkt setzt das gemeinsame Forschungsvorhaben des Arbeitskreises für Badeseen und Schwimmteiche\* und des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover an. Das Projekt, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und



Abb. 1: Naturfreibad Kirchdorf

\* ABS: Polyplan GmbH, Bremen und KLS-Gewässerschutz, Hamburg (Projektbeteiligte); weitere Partner sind: Planula, Hamburg, ASA, Braunschweig, Wasserwerkstatt Bamberg



Abb. 2: Neptunfilter im Einsatz

Arbeit finanziell gefördert wird, stellt eine Kooperation verschiedenster wissenschaftlicher Disziplinen dar. Biologen, Limnologen, Umweltverfahrenstechniker und Ingenieure verschiedener Fachrichtungen konnten so ihr Spezialwissen für den Bereich der Schwimm- und Badeteiche zusammenführen.

### Zielsetzung des Forschungsvorhabens

Um die Betriebssicherheit von Schwimm- und Badeteichanlagen zu gewährleisten und zu optimieren, müssen die wesentlichen Grundlagen zu den Funktionen und Prozessen der einzelnen Kompartimente bekannt sein bzw. erhoben werden. Die für eine sinnvolle Auslegung der Anlagen relevanten Parameter sind speziell in den Stoffeinträgen auf der einen Seite und in den Abbauleistungen der Wasseraufbereitung auf der anderen Seite zu suchen. Besonders die Einträge von Nährstoffen (Phosphor- und Stickstoffverbindungen) und Keimen durch Badegäste unter Praxisbedingungen waren bislang noch eine weitgehend unbekannte Größe. Aus diesem Ansatz wurden die folgenden Schwerpunkte für das Forschungsprojekt herausgearbeitet:

1. Erfassung der chemischen, physikalischen, gewässerökologischen und hygienischen Gegebenheiten sowohl im Verlauf der Badesaison als auch im Tagesverlauf.

2. Der Einfluss von Badegästen auf den Phosphorhaushalt und die hygienische Situation in Schwimm- und Badeteichanlagen.
3. Hydraulische Belastbarkeit von Filteranlagen.
4. Laboruntersuchungen zu den Themenbereichen Phosphor und Keime zur Verifizierung der im Freiland gesammelten Daten.
5. Entwicklung einer rechnergestützten Simulationen zur Planung, Auslegung und Überwachung von Schwimm- und Badeteichanlagen.

**Zu 1:** Um diese Fragen zu beantworten, wurde einerseits ein Vergleich von zwei Schwimm- und Badeteichanlagen durchgeführt. Während der Freibadsaison 2003 wurden daher in den Naturfreibädern Kirchdorf und Lauenstein (beide Niedersachsen) an ausgewählten Zeitpunkten Messkampagnen durchgeführt. Zu beiden Bädern lag bereits umfangreiches Datenmaterial vor, auf das zurückgegriffen werden konnte. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Erfassung der physikalischen Parameter (Temperatur, Sauerstoffgehalt und Sauerstoffsättigung, pH-Wert und Sichttiefe)
- Erfassung der chemischen Parameter (Konzentration der Phosphor- und Stickstoffverbindungen)
- Erfassung der gewässerökologischen Parameter (Chlorophyllkonzentration, Phytoplankton und Zooplankton)
- Erfassung der hygienischen Parameter anhand der Indikatorkeime *Escherichia coli* und Enterokokken.

Die Proben wurden sowohl aus unterschiedlichen Bereichen des Schwimmbeckens, als auch aus den Abläufen der jeweiligen Filteranlagen entnommen. Hierdurch konnten wichtige Erkenntnisse über das Verhalten von Nährstoffen im Tagesverlauf und vor allem über einen gesamten Saisonverlauf gewonnen werden. Diese Ergebnisse sind es-



Abb. 3: Naturerlebnisbad Lauenstein

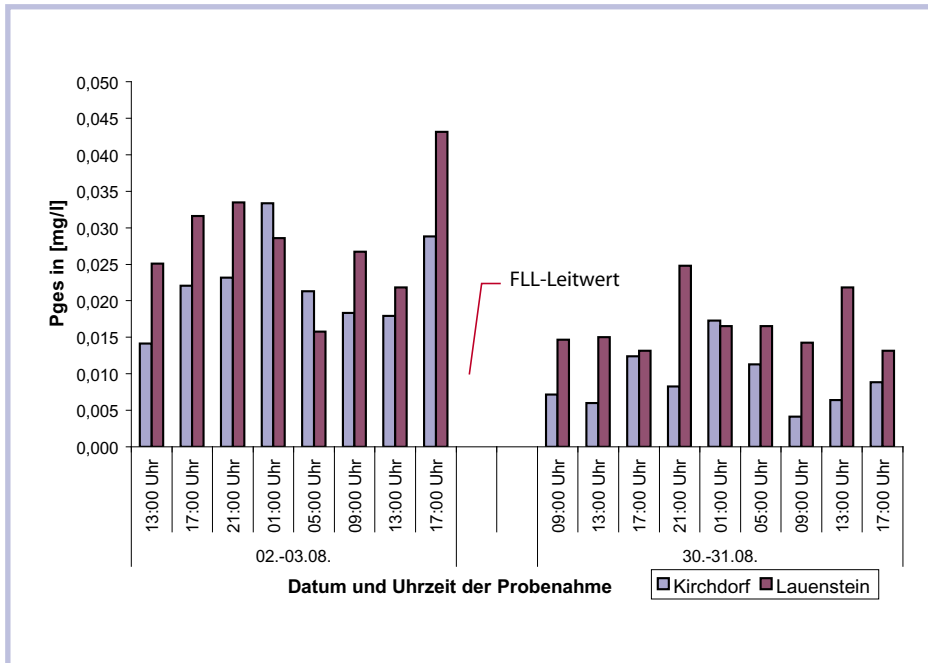


Abb. 4: Gesamtphosphorkonzentration in den oberen Wasserschichten (ca. 30 cm Wassertiefe) des Schwimmbereichs in Kirchdorf und Lauenstein

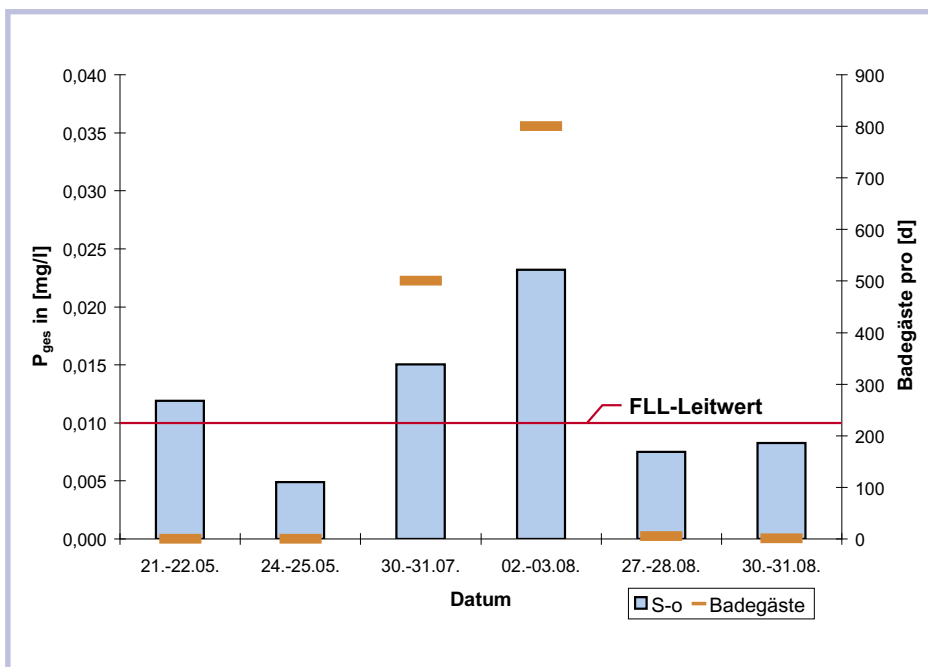


Abb. 5: Gesamtphosphorkonzentrationen und Badegastzahlen während der Messungen in Kirchdorf

sentiell für die Verbesserung der Hydraulik im Schwimmteich und in den Wasseraufbereitungsanlagen.

**Zu 2:** Um den Einfluss der Badegäste zu ermitteln wurden Untersuchungen zur Feststellung des Eintrages der Hauptnährstoffe (Phosphor- und Stickstoffverbindungen) und der hygienisch relevanten Indikatorkeime (*Escherichia coli* und Enterokokken) durchgeführt. Dazu wurden zwei Probandengruppen ausgewählt, die nacheinander für meh-

rere Minuten in eine mit Badewasser gefüllte Kunststofftonne stiegen. Die erste Gruppe hatte an diesem Tag im Unterschied zur zweiten noch nicht geduscht. Ziel dieser Untersuchung war es, den Einfluss der Badegasteinträge auf das Ökosystem Schwimmteich genauer zu quantifizieren, um so gezielte Konzepte für die Eliminierung der Einträge zu erarbeiten.

**Zu 3:** Im Freilandbetrieb wurde die hydraulische Belastbarkeit und somit die

Betriebssicherheit des Filtersystems »Neptun« der Polyplan GmbH untersucht. Im Rahmen des Forschungsprogramms hätte die Untersuchung weiterer Filtersysteme den finanziellen Rahmen gesprengt. Zudem wurde dieses Filter ausgewählt, weil berechnete Systeme dieser Art in den technischen Regelwerken bislang nicht berücksichtigt wurden. Es sollte festgestellt werden, wie hoch die Eliminationsraten in Bezug auf Keime und Nährstoffe in Abhängigkeit der Beschickungsraten tatsächlich sind. Zudem sollte der kritische Durchschlagpunkt ermittelt werden, bei dem Erosionsprozesse an der Kornoberfläche des Filtermaterials auftreten und Biofilmauflösungen ausgewaschen werden.

**Zu 4:** Im Labor wurden Untersuchungen zur Elimination von Indikatorkeimen und Phosphorverbindungen durch gezielte Beschickung von Filtersäulen durchgeführt, um die im Freiland erhobenen Daten zu stützen und eventuell weitere Aussagen zur Optimierung des Filtersystems zu erhalten.

**Zu 5:** Durch die Integration der erhobenen Daten können einerseits die biologischen, chemischen und physikalischen Parameter während einer Badesaison simuliert werden. Andererseits wurde ein Modellierungsprogramm zur hydraulischen Auslegung entwickelt. Beide Anwendungen werden bereits in der Planung eingesetzt.

## Untersuchungen in den Anlagen Kirchdorf und Lauenstein

Das Naturbad in Kirchdorf (zwischen Minden und Sulingen, Niedersachsen) wurde im Mai 2001 eröffnet. Es handelt sich um ein ehemaliges Beckenbad, das nach dem Umbau einen Nutzungsbereich von ca. 3500 m<sup>2</sup> umfasst. Dieser gliedert sich in einen Nichtschwimmbereich mit 1500 m<sup>2</sup> und einen bis zu 3,80 m tiefen und 2000 m<sup>2</sup> großen, Schwimmbereich und Sprungbereich. Das Rohwasser aus dem Nutzungsbereich wird in einer Kombination von drei unterschiedlich gestalteten Filteranlagen aufbereitet:

- Im Uferbereich ist ein horizontal durchströmter Festbettfilter installiert: Das Beckenwasser fließt durch eine Mineralschüttung und wird über Drainageleitungen in einen Sammel- und Pumpenschacht geleitet.

- Als Bodenfilter ist ein »Neptunfilter« angebracht, der in Intervallen mit Wasser aus dem Nutzungsbereich beregnet wird. Das Porenvolumen des Filters ist nicht wassergesättigt und den Tropfkörpersystemen ähnlich.
- Ein Nassfilter nach dem Prinzip eines bepflanzten, vertikal von oben nach unten durchströmten Bodenfilters. Er ist wassergesättigt und wird bis zu einer Höhe von 0,30 cm überstaut.

Alle drei Filteranlagen werden über eine Mess- und Regeltechnik belastungsabhängig mit dem Rohwasser des Nutzungsbereichs beschickt. Als Belastungsindikatoren dienen die Parameter Trübung, Wassertemperatur und Lufttemperatur. Dieses Prinzip der Steuerung wird auch als »Dynamische Leistungsanpassung« bezeichnet.

Das Naturerlebnisbad in Lauenstein (zwischen Hameln und Hildesheim, Niedersachsen) ist bereits seit 1999 in Betrieb. Das Bad besteht aus einem ca. 1600 m<sup>2</sup> großen Nutzungsbereich (ca. 1/4 flacher Nichtschwimmerbereich und 3/4 tiefer Schwimmerbereich) und einem Aufbereitungsbereich als Kombination aus Kiesfilter und Regenerationsteich, der eine Fläche von ca. 1200 m<sup>2</sup> umfasst. Es handelt sich um einen dauerhaft überstauten Kiesfilter, der vertikal von oben nach unten durchströmt wird. Ein Teil des Wassers, das den Filter passiert, wird über einen internen Kreislauf erneut in den Regenerationsteich geleitet. Der andere Teil des Wassers wird durch einen nachgeschalteten Biofeinfilter geführt. Dieser besitzt nur eine sehr geringe Durchlässigkeit für Partikel und soll zudem phosphatbindend wirken.

## Ergebnisse der Untersuchungen

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen und von Daten aus älteren Arbeiten zur Eintragungssituation von Badegästen in Badeseen (SCHULZ 1981) lässt sich ein ungefährender Durchschnittswert für den Eintrag von Nährstoffen (Stickstoff und Phosphor) sowie Keimen bestimmen. Stellvertretend für die über Badegäste möglicherweise eingetragenen hygienisch bedenklichen Keime werden *Escherichia coli* und Enterokokken als Indikatororganismen bestimmt. Eine Erfassung al-

ler hygienisch bedenklichen Keime ist vom Umfang her kaum machbar. Die gemessenen Werte für geduschte und ungeduschte Probanden differieren erheblich. Geht man davon aus, dass sich nur jeder zweite Badegast gründlich abduckt, ergeben sich folgende Einträge pro Person:

Gesamtphosphor:  
ca. 45,6 mg pro Badegast  
Gesamtstickstoff:  
ca. 2.370 mg pro Badegast

*Escherichia coli*:  
ca.  $6 \cdot 10^4$  pro Badegast  
Enterokokken:  
ca.  $4,2 \cdot 10^3$  pro Badegast

Die vorliegenden Untersuchungen zum Eintrag von Badegästen sind die ersten, die unter Praxisbedingungen in Schwimm- und Badeteichanlagen durchgeführt worden sind. Die Ergebnisse stellen eine erste Annäherung an die tatsächliche Situation dar und sind statistisch noch nicht völlig ab-

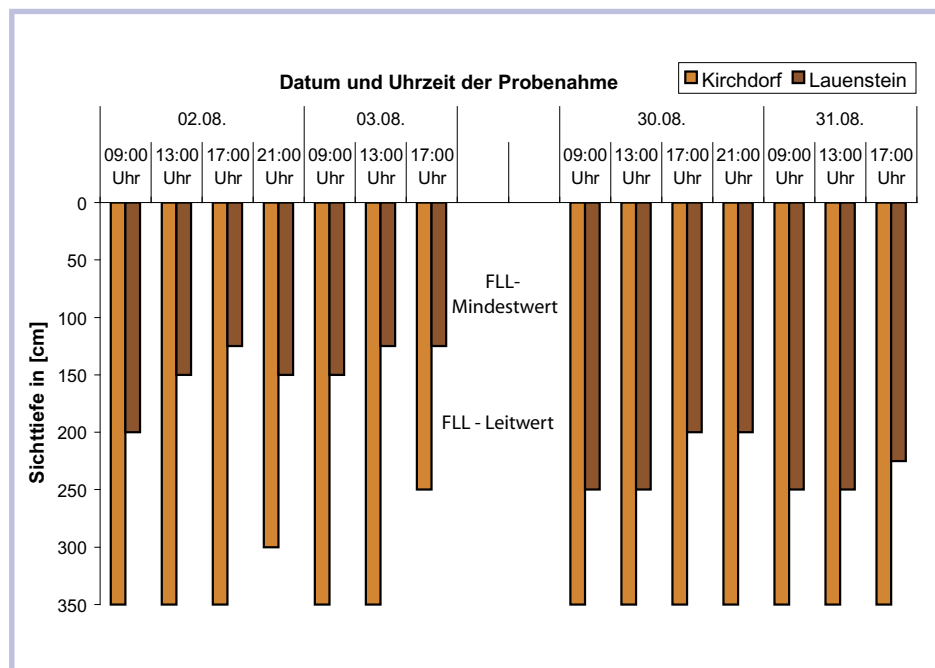


Abb. 6: Sichttiefe in Kirchdorf und Lauenstein bei hohem Badebetrieb Anfang und Ende August

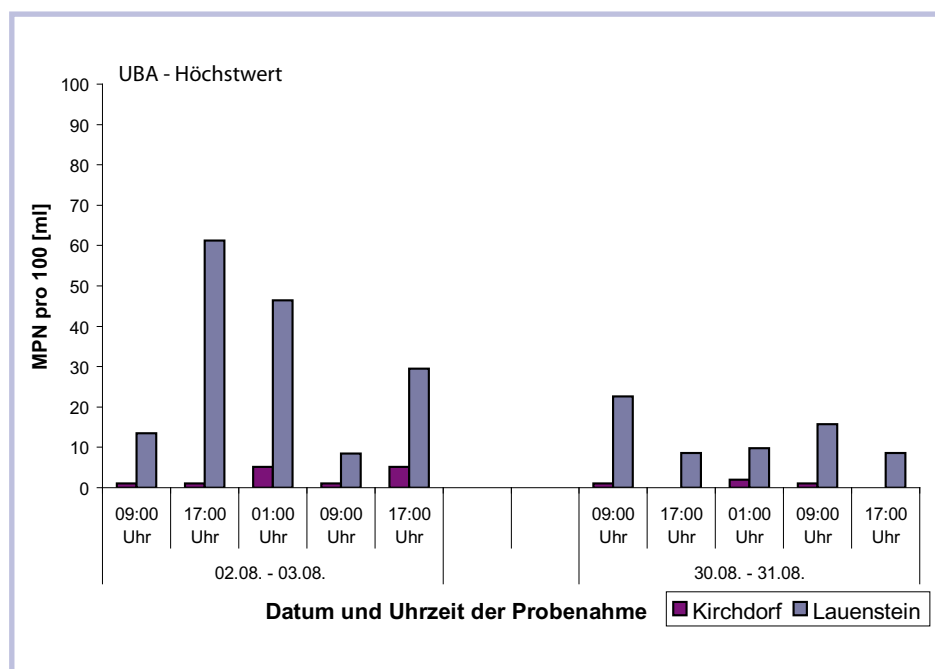


Abb. 7: Konzentrationen an *E. coli* in den oberen Wasserschichten (ca. 30 cm Wassertiefe) des Schwimmerbereichs in Kirchdorf und Lauenstein. Der Höchstwert beträgt nach FLL 100/100 ml.

gesichert. Dennoch lassen sich anhand dieser Daten die Größenordnungen der Nährstoffe und Keime, die in das System Naturfreibad als Belastungsgröße eingehen, näherungsweise ermitteln. Da dieser Eintrag durch Badegäste eine in allen Naturfreibädern gegebene Größe ist, die sich nur minimal reduzieren lässt (zum Beispiel durch mehr Duschmöglichkeiten), müssen die Wege der Nährstoff- und Keimelimination verbessert werden. Dies ist technisch in erster Linie durch den Einsatz von Filteranlagen und einer optimierten Hydraulik zu bewerkstelligen. Über die Keimelimination durch die im Wasser vorhandene Biologie (Zooplankton) liegen zur Zeit noch keine Daten aus Schwimm- und Badeteichanlagen vor.

Der tageszeitliche und saisonale Verlauf der Gesamtposphorkonzentration in den Schwimmbereichen der Naturfreibäder in Kirchdorf und Lauenstein wird in den folgenden Betrachtungen in Auszügen gegenübergestellt.

Der Einfluss durch hohe Besucherzahlen Anfang August führt zu einer generell höheren Gesamtposphorkonzentration im Nutzungsbereich als dies Ende August bei geringen Badegastzahlen der Fall ist. Im Tagesverlauf lässt sich Anfang August erkennen, dass in beiden Bädern die Gesamtposphorkonzentrationen besonders nachmittags und abends steigen. Im Verlauf der Nacht und des folgenden Vormittags sinken die Werte wieder. Ende August ist dieser Tagesverlauf nicht so stark ausgeprägt, und die Konzentrationen liegen insgesamt deutlich unter den Werten der ersten Messungen.

Eine direkte Gegenüberstellung von Besucherzahlen und gemessenen Gesamtposphorkonzentration in Kirchdorf zeigt eine unmittelbare Korrelation beider Größen.

Zum Anfang und zum Ende der Saison, als nur wenige Badegäste die Anlage nutzten, wurden erwartungsgemäß nur geringe Gesamtposphorkonzentrationen (meist unter 0,010 mg/l) gemessen. Sobald jedoch die Badegastzahlen stiegen, waren erhöhte Phosphorkonzentrationen zu verzeichnen.

Die durch den Eintrag erhöhten Phosphorwerte verursachen ein vermehrtes Algenwachstum. Dieses lässt sich über die Messungen des Chlorophyllgehalts im Beckenwasser, aber auch durch Sichttiefenmessung nachweisen. Zur Verdeutlichung werden die Sichttiefen

beider Bäder in Auszügen gegenübergestellt. Beide Bäder besitzen in etwa eine Beckentiefe von 3,5 m.

Auffällig ist, dass in Kirchdorf die Sichttiefe fast zu keinem Zeitpunkt reduziert ist und man immer den Beckenboden sehen kann. In Lauenstein kam es aufgrund von erhöhter Algenbiomasse häufiger zu einer Einschränkung der Sichttiefe.

Auch im Hinblick auf die Hygiene wurden beide Bäder zeitgleich beprobt. Exemplarisch werden die Konzentrationen von *E. coli* in den oberen Wasserschichten (ca. 30 cm) des Schwimmbereichs aufgeführt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das Naturfreibad in Kirchdorf im direkten Vergleich geringere Keimbelastungen aufweist. Die Konzentrationen an Gesamtphosphor und *E. coli* waren stets geringer als in Lauenstein. Beide Bäder unterschreiten aber in der gesamten Saison die vorgegebenen Grenzwerte. Die erhöhten Konzentrationen an Gesamtphosphor im Bad Lauenstein schlagen sich direkt in einer Verminderung der Sichttiefe auf Grund erhöhter Algenpopulationen nieder.

## Schlussfolgerungen

Erklärungen für die Unterschiede zwischen den Bädern sind vermutlich in der grundlegend unterschiedlichen Gesamtkonzeptionierung der Anlagen zu suchen. Die wesentlichen Unterschiede sind:

- Anzahl und der Kombination der Filter (Risikostreuung)
- Filtereffizienz in Bezug auf die Abbauleistungen
- belastungsabhängige Leistungsanpassung (Mess- und Regeltechnik)
- Wasserumwälzraten zwischen Nutzungs- und Aufbereitungsbereich

Letzteres scheint einen besonders großen Einfluss auf die Wasserqualität zu haben. Die Wasserwechselrate bei voller hydraulischer Auslastung der Filter beträgt in Kirchdorf 1,2 Tage, während in Lauenstein annähernd 5 Tage benötigt werden, bis das gesamte Wasser des Nutzungsbereichs einmal die Aufbereitung passiert.

Um geringe Wasseraufenthaltszeiten zu realisieren, müssen die eingesetzten Filteranlagen bei entsprechend hoher hydraulischer Belastung sehr betriebsstabil sein. Die geforderten Abbauleis-

tungen gemäß FLL-Empfehlung müssen eingehalten werden, und es darf zu keinen Erosionsprozessen bzw. Biofilmbelösungen kommen.

Die Betriebssicherheit des Filtersystems »Neptun« wurde bezüglich der hydraulischen Belastung durch einen Freilandversuch (Dauerlastbetrieb) und mit weiteren Laborversuchen zur Ermittlung der Eliminationsleistungen untersucht. Im Freilandversuch waren keine Erosionserscheinungen, Biofilmbelösungen oder markanten Leistungsabfälle zu verzeichnen. In den Laborversuchen wurden Filtersäulen gezielt mit unterschiedlicher Keimkonzentration im Zulauf beschickt. Bei einer Filterschichtdicke von 100 cm konnte eine Eliminationsrate von über 85% selbst bei einer hydraulischen Belastung von über 14 [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*d] nachgewiesen werden.

Diese Ergebnisse zeigen, dass durchaus Filteranlagen konzipiert werden können, die höhere hydraulische Lasten zulassen als derzeit in der FLL-Empfehlung vorgesehen. Es ist dringend erforderlich, auch andere Systeme auf ihre Reinigungsleistung unter Betriebsbedingungen hin zu untersuchen. Die pauschale Übernahme von Erfahrungswerten aus anderen Gebieten der Wasseraufbereitung muss in Frage gestellt werden. Eine Erweiterung und Überarbeitung des FLL-Regelwerks bezüglich einer Systematisierung der Filteranlagen ist dringend anzuraten. Eine alleinige Zuordnung der Verfahren entsprechend den technischen Regelwerken aus dem Bereich der Abwasserbiologie (Abwasserreinigung) und der Trinkwasseraufbereitung ist so nicht zu halten. Da es unmöglich ist, alle Arten von Aufbereitungsanlagen in eine Nomenklatur einzuordnen, wäre es aus Sicht der Forschungsgruppe hingegen sinnvoll, ein standardisiertes Nachweisverfahren über die Effizienz des eingesetzten Filtersystems seitens der Regelwerksausschüsse zu entwickeln.

Zudem wird es notwendig sein, in Abhängigkeit des Aufbereitungssystems eine Vorgabe für die Umwälzraten in Naturfreibädern zu entwickeln, da diese unmittelbar auf die Reproduktionsdynamik der Algen einwirkt. Des Weiteren zeigen die Untersuchungen, dass eine erhöhte Konzentration an Phosphor im Nutzungsbereich (nach FLL 0,01 [mg/l]) nicht zwingend ein massives Algenwachstum nach sich zieht: In beiden Naturfreibädern wurden häufig höhere Werte (0,02 bis 0,04 mg/l Ge-

samtphosphor) gemessen, was nicht zwingend eine höhere Phytoplanktonproduktion zur Folge hatte. Dennoch bleibt die Stellgröße Phosphor ein wesentlicher Parameter zur Beeinflussung der Badewasserqualität.

Es hat sich gezeigt, dass durch die Untersuchung und den Vergleich bestehender Anlagen Vor- und Nachteile sowie die Auswirkungen auf die Betriebssicherheit herausgearbeitet werden können. Alle mit der Konzeption von kommunalen Schwimm- und Badeteichanlagen befassten Planer bemühen sich, die Systeme weiterzuentwickeln, so dass ältere Systeme im Vergleich mit neuen scheinbare Defizite aufweisen. Dies ist jedoch nur dann von Bedeutung, wenn die Betriebssicherheit gefährdet ist. Auf dem Weg zu besseren Lösungen sind daher offene und konstruktive Diskussionen notwendig.

Die Ergebnisse der Forschungs Kooperation haben wesentliche neue Erkenntnisse zu Tage gefördert, aber auch viele neue Fragestellungen aufgeworfen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit erwies sich als äußerst positiv, so dass derzeit im Arbeitskreis Badeseen und Schwimmteiche die Rahmenbedingungen für ein Folgeprojekt erarbeitet werden.

*Ingo Scholz,  
Heiko Frehse und Jürgen Spieker*

#### **Weiterführende Literatur:**

Göring, H., Eydeleer, I. & J. Spieker (2003): Wasserqualität in Natur- und Badeteichanlagen. Stadt + Grün 9/2003. S. 42 - 47.

Scholz, I. (2004): Bewertung von Phosphor in Naturfreibädern, Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover.

Schulz, L. (1981): Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig. B 173, S. 528 - 548.

FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.), 2003: Empfehlungen für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von öffentlichen Schwimm- und Badeteichanlagen, Bonn

UBA (Umweltbundesamt), Empfehlungen des Umweltbundesamtes, Hygienische Anforderungen an Kleinbadeiteiche (Künstliche Schwimm- und Badeteichanlagen), Bundesgesundheitsblatt- Gesundheitsforschung- Gesundheitsschutz, Band 46, Nr. 6, 2003, Springer-Verlag