

Rechnergestützte Simulation einer Badesaison in Naturfreibädern

Ein neues Instrumentarium zur Auslegung und Überwachung

Naturfreibäder unterscheiden sich in vielfältiger Weise von konventionellen Schwimmbädern. Die Biologie im Schwimmbecken der Naturfreibäder ist mit ihrer Vielzahl von Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Lebewesen ein wesentlicher Bestandteil des Reinigungskonzepts.

In desinfizierten Bädern ist diese Biologie nicht vorhanden. Für eine sichere Auslegung von Naturfreibädern ist es deshalb notwendig, die chemisch-physikalischen Abläufe im Wasser und die Entwicklung der beteiligten Organismen abschätzen zu können.

Deshalb wurde innerhalb eines durch das Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit geförderten Forschungsvorhabens von der Polyplan GmbH Bremen, der KLS-Hamburg und der Universität Hannover ein Programm entwickelt, mit dem sich die grundlegenden Zusammenhänge

und Parameter in Naturfreibädern darstellen lassen. Mit diesem Instrument kann schon im Planungsprozess überprüft werden, ob die am Schreibtisch konzipierten Naturfreibäder in der Lage sind, die hygienischen und chemisch physikalischen Anforderungen entsprechend der technischen Regel-

werke zu erfüllen. Die Ergebnisse und das Programm, dessen Zielgruppe Planer, Betreiber und Behörden sind, sollen in diesem Artikel näher vorgestellt werden.

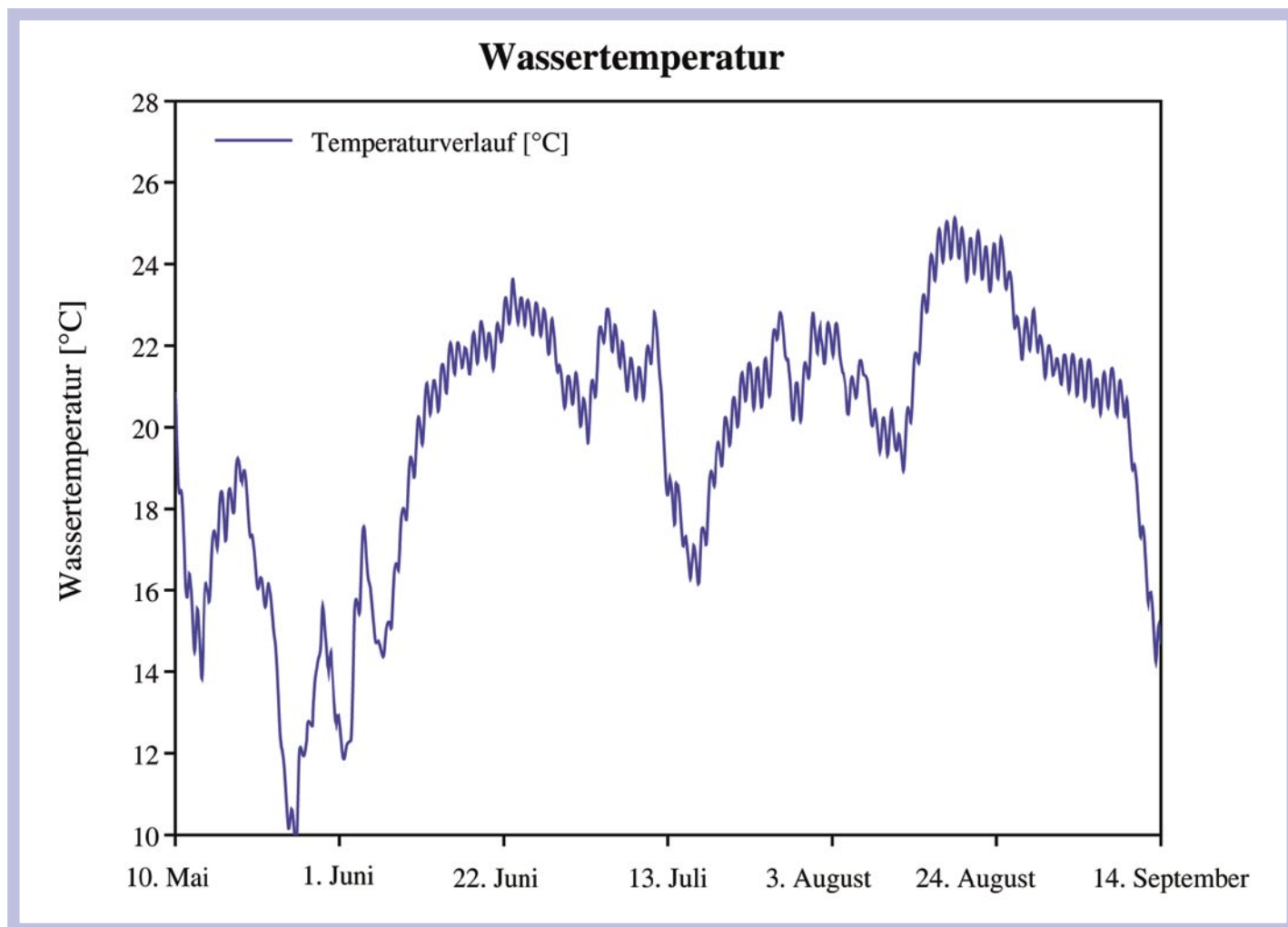
Simulationsansatz

Wechselnde Wetterverhältnisse und Besucherzahlen führen im Ökosystem Schwimmteich häufig zu einem sehr dynamischen Wechsel der Verhältnisse. Dabei stehen die kaum sichtbaren Kleinstlebewesen wie Bakterien, das tierische Zooplankton und das pflanzliche Phytoplankton in einem ständigen Wechselspiel mit ihrer Umgebung. Dadurch entsteht ein Komplex, der für ein Naturfreibad bisher nur unzureichend modelliert ist. Dafür wurden die wesentlichen ökologischen Zusammenhänge in mathematische Gleichungen überführt und in das Simulationsprogramm »Aquasim« der Firma EAWAG eingearbeitet, welches die numerische Integration durchführt.

Um trotz der gegebenen Vielschichtigkeit eine zuverlässige Aussage treffen zu können, wird von einer »Worst Case-Situation« (schlimmste denkbare



Bei schönem Wetter und einem hohen Badegastaufkommen sind die Anforderungen an die Filter am größten.



Simulation einer Badesaison im Freibad Altenautal, Wassertemperatur, Brunkhorst und Flohrea

Situation, Anm. d. Redaktion) ausgegangen. Dabei werden die Filtersysteme durch die Simulation einer extrem warmen Badesaison überprüft, was gleichermaßen einen großen Besucherandrang als auch günstige Lebensbedingungen für Algen und Keime erwarten lässt. Somit stellen die Kurven Maximalwerte dar, die nur in Ausnahmesituationen erreicht werden.

Für die Simulation einer Badesaison muss der Anwender lediglich die wichtigsten Grunddaten eines Naturbades wie die Beckenflächen und Beckenvolumen, die erwartete Gesamtbadegastzahl pro Saison sowie die Morphologie und hydraulische Belastbarkeit der Filterflächen verändern. Weitere Parameter können zwar optional verändert werden, sind aber insgesamt möglichst universell gehalten. Dieses Vorgehensweise hat sich mittlerweile in der Praxis bewährt und ist schon mehrfach eingesetzt worden. Beispielhaft wird in dieser Veröffentlichung auf die Grafiken zur Simulation vom Freibad Altenautal in Lichtenau eingegangen.

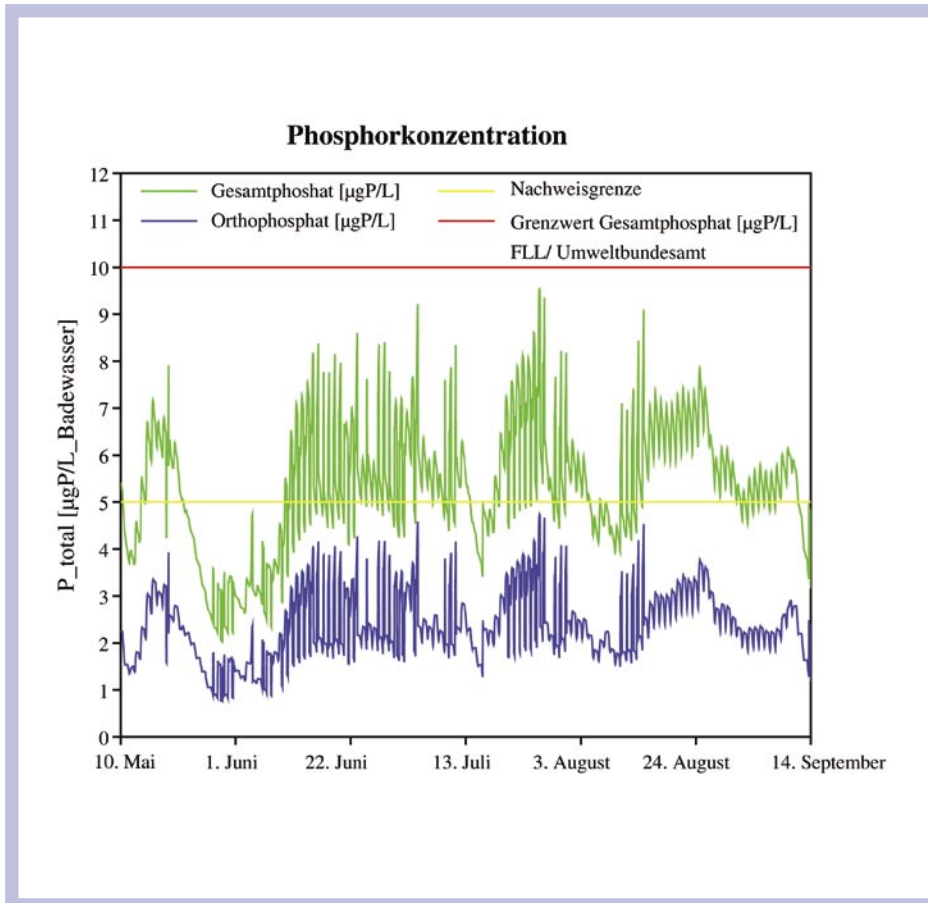
Modellierung und Auswertung der Ergebnisse

Um eine aussagekräftige Simulation eines Ökosystems zu entwickeln, müssen eine Reihe von Faktoren berücksichtigt werden. Die wichtigsten Prozesse und Parameter im Ökosystem Naturfreibad sowie deren Einarbeitung in die Modellierung werden im folgenden kurz dargestellt.

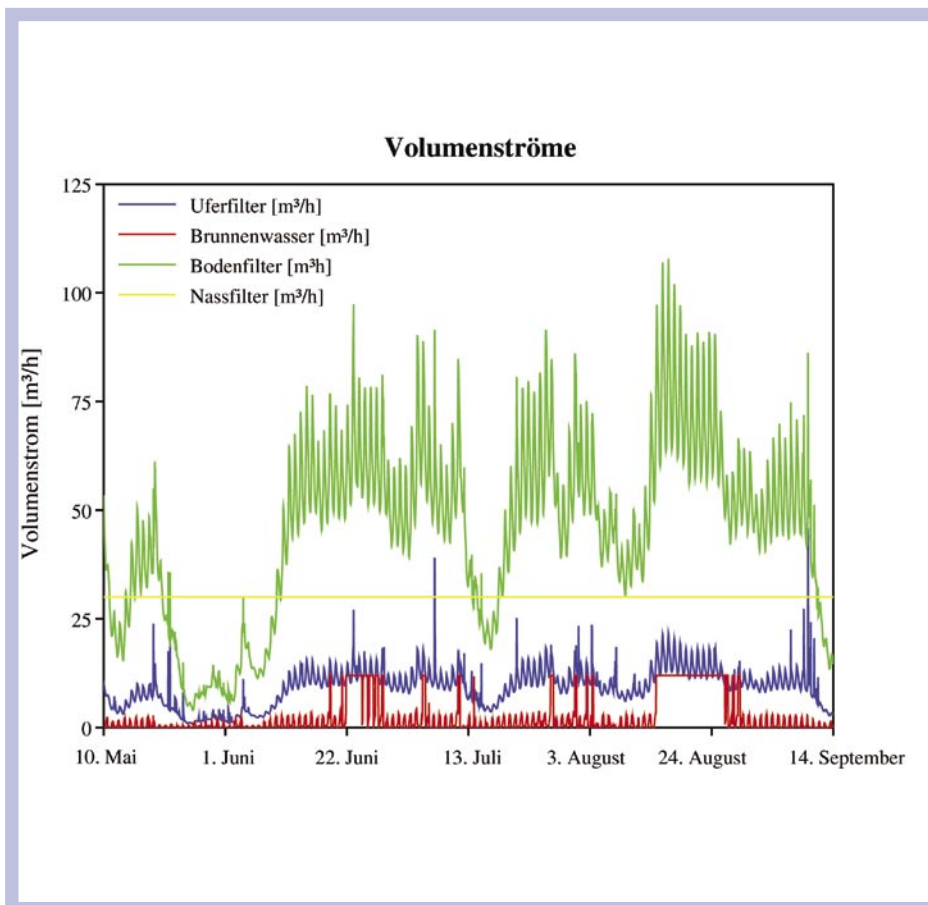
Für alle biologischen und chemischen Prozesse besitzt die Wassertemperatur eine entscheidende Bedeutung. Diese wechselt insbesondere mit den meteorologischen Bedingungen, die sich in Abhängigkeit von Ort und Zeit sehr unterschiedlich gestalten. Um eine »Worst Case-Situation« vorzugeben, basieren die Wetterdaten aus den in Freiburg gemessenen Werten während des Rekordsommers 2003. Anhand dieser meteorologischen Daten berechnet sich der Wärmeaustausch durch Verdunstung, Konvektion, Wärmeleitung und Strahlung mit der Umgebung. In Abbildung 1 ist der berechnete Temperaturverlauf für eine Badesaison zu erkennen.

Auffällig sind die insgesamt hohen Wassertemperaturen, die insbesondere während der Hitzeperiode Anfang August trotz Zufuhr von Kühlwasser nur wenig verringert werden konnten. Erhöht sich die Temperatur aber nur geringfügig, steigen beispielsweise die Wachstums- und Vermehrungsraten des Phytoplanktons (pflanzliche Kleinstlebewesen) schon deutlich an. Deshalb sollte laut einer Empfehlung des Umweltbundesamtes eine Wassertemperatur von 23 °C nicht längerfristig überschritten werden.

Das Phytoplankton ist für den Menschen in der Regel zwar nicht gesundheitsschädlich, aus optisch-ästhetischen Gründen in Naturfreibädern aber unerwünscht. Aus Sicherheitsgründen sollte eine Sichttiefe von 2 Meter eingehalten werden. Aus diesem Grunde werden die Lebensbedingungen für die pflanzlichen Planktonarten bewusst verschlechtert. Beispielsweise ist es sinnvoll, die Selbstreinigungskraft des Bades durch Zooplanktonpopulation, die sich hauptsächlich von den Phy-



Simulation einer Badesaison im Freibad Altenautal, Phosphor, Brunkhorst und Flohre (Simulationslauf für die Gesamt- und Orthophosphatkonzentration)



Simulation einer Badesaison im Freibad Altenautal, Volumenströme, Brunkhorst und Flohre (beispielhafter Konzentrationsverlauf von Enterokokken)

toplanktonarten ernähren, zu erhöhen. Neben Temperatur und Zooplanktonfraß werden für die Modellierung auch die Einflüsse der Intensität der Sonnenstrahlung und der Phosphorkonzentration auf das Phytoplankton berücksichtigt. Das Sonnenlicht regelt die Photosynthese und damit die Biomassenzunahme des Planktons. Phosphor übernimmt eine Initialfunktion, weil es bei den hohen Produktionsraten im Sommer meist den wachstumsbegrenzenden Nährstoff darstellt.

Der Grenzwert nach FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.) und UBA (Umweltbundesamt), der bei je 10 µg/l Gesamtphosphor liegt, wird während der gesamten Badesaison nicht überschritten. Sogar während der Schönwetterperioden, bei denen sehr viel Phosphor durch Badende eingetragen wird, steigt die Gesamtkonzentration nicht übermäßig an. Ursächlich ist die Steuerung der Filtersysteme, bei der die Filterleistung direkt an Temperatur und Trübung gekoppelt, um dem System bei stärkeren Belastungen auch mehr Nährstoffe zu entziehen.

Neben den Filtervolumenströmen integriert die Berechnung auch die Zugabe von Kühlwasser während der Hitzeperioden, den Ausgleich von Verdunstungsverlusten, Regen und gegebenenfalls auch Versickerungen. Auffällig ist insbesondere die Hitzeperiode Anfang August, in der sehr viel Kühlwasser zugegeben werden muss. Die starken Ausreißer im Kurvenverlauf resultieren aus Regenereignissen, bei denen sich die Abflussmenge in den Vorfluter plötzlich erhöht. Die Kenntnis der hydraulischen Verteilung der Wassermenge ist Grundvoraussetzung für die numerische Modellierung, weil durch diese sowohl der Stoff- als auch der Energietransport des Bades entscheidend verändert werden.

Aus hygienischer Sicht relevant sind insbesondere die Konzentrationen der krankheitserregenden Bakterien. Der Eintrag von Keimen und Phosphor durch Badegäste, sowie die Eliminationsrate im Filter basieren auf durchgeführten Eintrags- und Eliminationsversuche. Dabei wurden Probanden ausgewählt, die nacheinander in eine mit Badewasser gefüllte Kunststofftonne stiegen. Anschließend wurden die Einträge an Phosphor und der hygienisch relevanten Indikatorkeime (Escherichia coli und Enterokokken) gemessen. Insbesondere bei den Hygi-

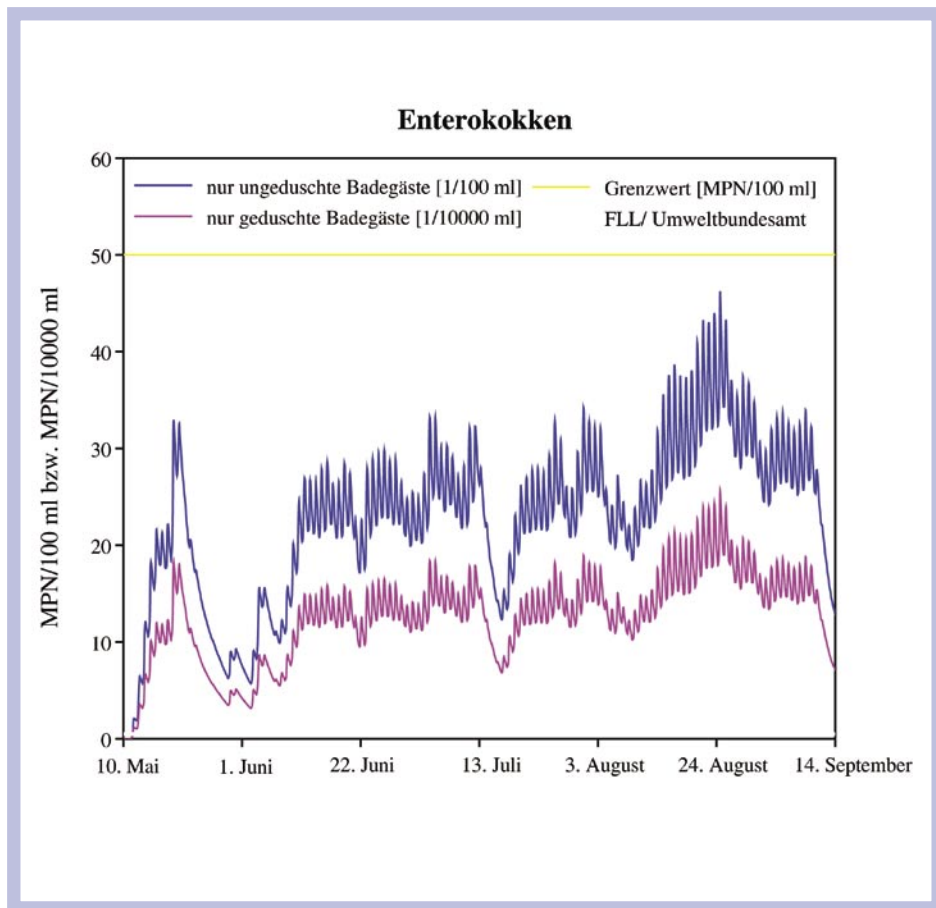
enebakterien spielt eine hohe Effizienz der Filter die entscheidende Rolle, um die geforderten Grenzwerte einzuhalten und das Gesundheitsrisiko zu minimieren. Die erhaltenen Simulationsergebnisse zeigen aber ebenso wie das Monitoringprogramm der Bäder Kirchdorf und Lauenstein, dass die aktuellen Grenzwerte eingehalten werden.

Enterokokken dienen in erster Linie als Indikatorkeim für menschliche Verunreinigungen, können aber auch selbst Infektionen auslösen. Insbesondere während der Schönwetterperiode erhöht sich die Konzentration infolge des vermehrten Eintrags durch Badegäste stark. Die Konzentration der blauen Kurve mit den höheren Werten würde dabei nur eintreten, wenn alle Badegäste ungeduscht das Bad benutzen. In der Realität liegen die Werte folglich in Abhängigkeit des Verhaltens der Badenden niedriger. Interessant ist der große Unterschied des Keimeintrags zwischen einem gewaschenen und einem ungewaschenen Schwimmer, was in der unterschiedlichen Dimensionierung der Achsen deutlich wird. Trotzdem können die Grenzwerte nach FLL und UBA (50xx/100ml) in Bezug auf die Enterokokken aber zu jeder Zeit eingehalten werden. Ebenso werden die Anforderungen im Bezug auf coliforme Keime erfüllt.

Bei den Keimkonzentrationen, die maßgeblich durch den Eintrag von den Badenden bestimmt werden, gelangen stark frequentierte Bäder allerdings während der Schönwetterperioden an ihre Belastungsgrenze. In diesen Fällen ist der Volldurchmischungsansatz, bei dem das Wasser über das gesamte Volumen verteilt wird, zu überprüfen. Dann ist es aus verfahrenstechnischer Sicht günstiger, das stärker belastete Oberflächenwasser abzuziehen, bevor die Keime im Wasservolumen verdünnt und die Filter unnötig mit mehr Wasser beschickt werden müssen. Denn im Gegensatz zu den konventionell betriebenen Bädern ist der Volldurchmischungsansatz nicht notwendig, weil kein Chlor im Becken verteilt werden muss.

Bedeutung für die Praxis

Durch die geleistete Forschungsarbeit steht ein neues Instrument zur Verfügung, mit dem Naturfreibäder noch effektiver und sicherer geplant werden können, weil die Simulation eine schnelle und zuverlässige Überprüfung



Simulation einer Badesaison im Freibad Altenautal, Enterokokken, Brunkhorst und Flohre

verschiedener Konzepte zulässt. Neben dem sicheren Betrieb bestehender Bäder stellen Simulationen damit eine weitere Möglichkeit dar, um die Funktionalität von Naturfreibädern zu verdeutlichen. Das Programm wendet sich aber nicht nur an planende Ingenieure, sondern auch an Behörden und Gutachter, um Planungsleistungen und Reinigungskonzepte für Naturfreibäder zu überprüfen.

Um Aussagen über die Prognosegenauigkeit stellen zu können, wurde das Programm zudem anhand der in Kirchdorf und Lauenstein erhobenen Realdaten der Saison 2003 überprüft. Dabei zeigt sich, dass es gelungen ist, Maximalwerte für die untersuchten Bäder darzustellen. Ebenso wie bei dem Monitoringprogramm weisen die Freibäder selbst bei Höchstbelastungen noch konstant gute Wasserqualitäten auf. Die Abläufe variieren aber gerade mit den meteorologischen Verhältnissen sehr stark, so dass sich immer zeitliche und räumliche Unterschiede ergeben werden. Deshalb bieten die Kurven keine exakte Darstellung einer einzelnen Badesaison, sondern repräsentieren lediglich eine mögliche Entwicklung der Verhältnisse im Wasser.

Die Vereinfachung komplexer Sachverhalte führt zwar zu keinem deckungsgleichen Ergebnis mit den tatsächlich vor Ort gemessenen Daten, lässt aber tendenzielle Aussagen über die Entwicklung zu. Die Ergebnisse können dabei in der Größenordnung durch das Monitoringprogramm bestätigt werden. Die »Worst Case-Modellierung« erlaubt Vorhersagen für einen besonders warmen Sommer, an dem sich die Dimensionierung der Anlagen orientieren kann. Somit erfolgt eine Kontrolle, ob die geplante Reinigungsleistung selbst bei Maximalanforderungen noch die Einhaltung der aktuellen Grenzwerte garantiert.

Eine ständige Verbesserung und Kontrolle des Programms ist nötig, um die neuesten Erkenntnisse in die Programmgestaltung einfließen zu lassen. Beispielsweise sollte eine ständige Verifikation der erhaltenen Daten mit realen Messwerten unterschiedlichster Anlagentypen stattfinden, um die Aussagekraft und Glaubwürdigkeit der Ergebnisse zu verbessern.

Mario Brunkhorst und Sebastian Flohre