



Herausgeber:



Arbeitsgemeinschaft Badeseen & Schwimmteiche

ABS Arbeitsgemeinschaft Badeseen und Schwimmteiche
Überseetor 14
28217 Bremen
www.abs-naturbad.de



Polyplan-Kreikenbaum Gruppe GmbH
Überseetor 14
28217 Bremen
www.polyplan-umwelt.de
info@polyplan-kreikenbaum.eu



ASA Spezial Enzyme GmbH
Am Exer 19 C
38302 Wolfenbüttel
www.asa-enzyme.de
service@asa-enzyme.de



KLS Gewässerschutz GmbH
Neue Große Bergstraße 20
22767 Hamburg
www.kls-gewaesserschutz.de
naturbad@kls-gewaesserschutz.de



Wasserwerkstatt Bamberg
Laurenzistr. 4
96049 Bamberg
www.wasserwerkstatt.com
info@wasserwerkstatt.com

NEUIGKEITEN RUND UMS NATURBAD

SILICIUM & KIESELALGEN IM NATURFREIBAD [S.1]

Neue Erkenntnisse aus der Forschung

NATURFREIBAD MIT BLICK AUF DEN MONT-BLANC [S.2]

Badvorstellung: The Biotope of Combloux

IDEENWERKSTATT – ZUKUNFT DER NATURFREIBÄDER [S.3]

Ein Blick in die Zukunft - Ideenwerkstatt ABS Tagung 2022

PSEUDOMONAS AERUGINOSA IN BADEGEWÄSSERN [S.7]

Quantitative Bestimmung in Badegewässern

FLUCH UND SEGEN DER BIOFILME [S.9]

Biofilm - ein ganz besonderer Lebensraum

NÄHRSTOFFFÄLLUNG FÜR DEN BÄDERBETRIEB [S.12]

Studie zur Reduktion von Phosphor

FUNKBASIERTE DATENÜBERTRAGUNG [S.13]

Datenübertragung via LoRaWAN

FOLIENAUFWUCHS IN EINEM NATURFREIBAD [S.15]

Untersuchung während des laufenden Badebetriebes



Editorial

Naturbadinfo Editorial

*Liebe Leser*innen*

die Erinnerungen an die Einschränkungen des Badebetriebes durch die Pandemie waren gerade am verblassen, da ereilte die Badbetreiber im vergangenen Jahr die nächste Hiobsbotschaft. Aufgrund der Gasknappheit wurden Beckenwassertemperaturen in Hallenbädern reduziert, um so einen Beitrag zu Energieeinsparungen zu leisten. Mittlerweile hat sich die Situation wieder stabilisiert, aber nachdem uns Covid zeigte, wie abhängig wir von unserer natürlichen Umwelt für ein gesundes Leben sind, so zeigte uns die Gaskrise die Abhängigkeit von natürlichen Ressourcen. Noch haben wir andere Lieferketten gefunden, aber die Gasressourcen sind endlich. Beiden Krisen sind wir direkt „vor der eignen Haustür“ in den Bädern begegnet. Und beide Krisen haben deutlich gemacht, dass der Mensch immer wieder Wege finden muss, wie er mit den Bedingungen, die die Natur vorgibt, leben kann. Kurzfristig kann der Mensch diese zu den eigenen Gunsten modifizieren, langfristig ist jedoch immer eine Anpassung erforderlich.

Den Weg der Anpassung an natürliche Prozesse und Gegebenheiten geht die Naturbadbranche seit über 20 Jahren. In der letzten Ausgabe wurden bereits Konzepte zur Energie- und CO₂-Neutralität im Bau vorgestellt. In dieser stellen wir die Ergebnisse einer Ideenwerkstatt zur Zukunft von Naturfreibädern vor. Außerdem widmen sich einige Artikel einem tieferen Verständnis der biologischen Prozesse in Naturfreibädern. Je besser unser Verständnis hier wird, umso besser können wir die Planung und den Betrieb von Naturbädern optimieren und uns hiermit ein Stück weiter an natürliche Prozesse anpassen. Dies ist der Beitrag unsere Branche an ein nachhaltiges Leben im Einklang mit den natürlichen Bedingungen.

Wir wünschen ihnen für dieses Jahr viel Freude in den Bädern, sei es als Mitarbeiter*in oder als Gast! Sollte ihnen etwas auffallen, dass Verbesserungswürdig ist, freuen wir uns von Ihnen zu hören!

Schönen Gruß,
Nina Röttgers, Hannes Kurzreuther, Janne Baden, Leon Müller, Stefan Bruns [Polyplan-Kreikenbaum], Inga Eydeler, Dr. Antje Kakuschke, Dr. Stefanie Hirch, Dr. Jürgen Spieker [KLS Gewässerschutz]

im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Badeseen und Schwimmteiche (ABS)



Naturbad Biologie

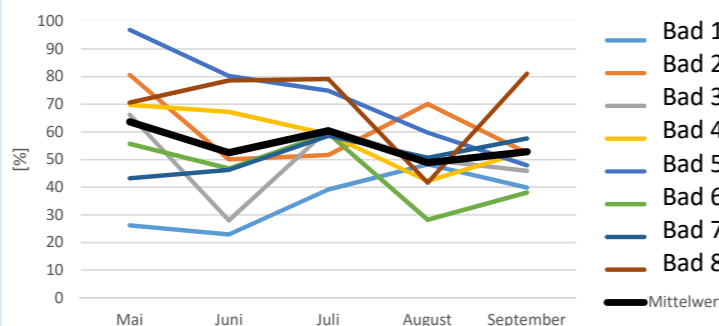
Silicium & Kieselalgen im Naturfreibad

Neue Erkenntnisse aus der Forschung

Kieselalgen sind ein fester Bestandteil der Algengemeinschaften, die in Naturfreibädern wachsen. Sie kommen im Freiwasser und in den Biofilmen der Beckenwände vor. Zum Wachsen benötigen Kieselalgen Silicium.

In der Vergangenheit wurde häufig vermutet, dass Kieselalgen aufgrund ihrer harten Zellhüllen, die sie aus Silicium bilden, besonders stark an den Beckenwänden anhaften. Dies wurde als Erklärungsmodell für den hartnäckig zu reinigenden Biofilm herangezogen. Im Sommer 2022 wurden nun erstmals in einem Naturfreibad in der Schweiz Biofilmuntersuchungen durchgeführt (vgl. „Untersuchung des Folienaufwuchses in einem Naturfreibad mit biotechnologischer Wasseraufbereitung während des laufenden Betriebes“). **Hierbei stellte sich heraus, dass trotz hoher Silicium-Werte, die für die Kieselalgen elementar sind, im Biofilm kaum Kieselalgen vorhanden waren. Statt der Kieselalgen scheinen hier vielmehr Kalkablagerungen für den hohen Reinigungsaufwand verantwortlich zu sein**, die durch biogene Entkalkung unterschiedlicher Algenarten verursacht werden. Biogene Entkalkung entsteht durch die Photosynthese-Aktivität der Algen. Diese verbrauchen CO₂, wodurch das Gleichgewicht von Calciumhydrogencarbonat und Kohlensäure im Wasser verschoben wird. In der Folge wird dann Calciumcarbonat ausgefällt.

Parallel zu den Biofilmuntersuchungen wurden die **Phytoplankton-Analysen von 8 Bädern** aus den Jahren 2010 – 2021 ausgewertet. Die folgende Abbildung zeigt: Monatsmittelwerte des Anteils der Kieselalgen am Phytoplanktongesamtbiotivolumen aus 8 öffentlichen Naturfreibädern (2010-2021); Gesamtmittelwert: 56%



Hierbei zeigte sich, dass im Durchschnitt 56% aller Algen, die im Freiwasser vorkamen, Kieselalgen waren. Ein Vergleich mit den vorliegenden Silicium-Werten der Bäder zeigte, dass nirgendwo die naturbadspezifische Wachstumslimitierungsgrenze von 0,065mg/l Silicium unterschritten wurde.

Eine Begrenzung wäre durch die Verwendung von Eisengranulaten oder flüssigem Eisen möglich, da Silicium sich an Eisen bindet. Da Kieselalgen jedoch im Biofilm der Beckenwände keine spezielle Bedeutung für die Reinigung hat und da Kieselalgen im Freiwasser nicht störender wirken als andere Algen, ist dies für den Regelbetrieb nicht erforderlich. Ausnahmen können Kieselalgen betreffen, die aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften selektiv beseitigt werden sollen. Ein Anwendungsfall wären z.B. Kieselalgen gewesen, die in einem Bad 2019 und 2020 in einem Bodenfilter gewachsen sind und so das Reinwasser belastet haben. Hier hatte damals jedoch auch die Zugabe von Bakterien und eine Neubepflanzung des Filters Erfolg gezeigt. Somit ist die Silicium-Limitierung durch Eisen nun ein weiteres Werkzeug, mit dem zukünftigen Problem mit Kieselalgen adressiert werden können. [PK]

Aktuelles aus dem Bäderbetrieb

Naturfreibad mit Blick auf den Mont-Blanc

Badvorstellung: The Biotope of Combloux

2002 wurde in der Gemeinde Combloux, das erste Freibad in Frankreich mit vollbiologischer Wassereinigung eröffnet. Nach 20 erfolgreichen Betriebsjahren fand 2022 eine vollständige Neugestaltung und Vergrößerung statt, so dass das Bad mit Blick auf den Mont-Blanc den Besucher*innen nun wieder zur Verfügung steht. Das Bad ist nicht nur im Hinblick auf seine Lage speziell, sondern weist auch in der Betriebsführung einige Besonderheiten auf. **Die Gemeinde Combloux konnte als erste in Frankreich für ein öffentliches Freibad mit biologischer Wasseraufbereitung gewonnen werden.** Basierend auf Referenzen aus Deutschland, Österreich und der Schweiz konnten die Landschaftsarchitekten von Greenconcept seinerzeit die Ausgestaltung des Bades - für dessen Betrieb eine behördliche Sondergenehmigung erforderlich war - übernehmen. Die Planung stützte sich dabei auf das damals in der Schweiz vertretene Bioteich®-System. Nach diesem Verfahren erfolgte die Wassereinigung durch einen mit Helo- und Hydrophyten bepflanzten 1160 m² großen Flachwasserbereich in der Peripherie des Badebereichs. Ferner wurde das Wasser durch einen ca. 500 m² großen Nassfilter gereinigt, bevor es über einen Wasserfall aus mehreren Metern Höhe über verschiedene Kaskaden wieder dem Becken zugeführt wurde. Das Bad mit einem 540 m² großen Einstiegsbereich (Wassertiefe 0,00-1,80 m) und einem 1,80 m tiefen und

835 m² großen Schwimmerbecken, war damals von den Gesundheitsbehörden für 700 Badegäste pro Tag zugelassen. Nach fast 20 Jahren Betrieb bestand auf Seiten der Gemeinde der Wunsch, das Bad neu zu gestalten und dabei zu vergrößern. **Zusätzlich sollten die 2019 in Frankreich geänderten gesetzlichen Bestimmungen für öffentliche Bäder mit biologischer Wasseraufbereitung erfüllt werden.** Ende 2019 wurde hierfür im Rahmen einer öffentlichen Ausschreibung das Ingenieurbüro SINBIO, (www.sinbio.fr) in Zusammenarbeit mit Polyplan-Kreikenbaum Gruppe GmbH und den Landschaftsarchitekten Willem Den Hengst et associés, mit der Renovierung des Bades beauftragt.

Die Neugestaltung erweiterte sowohl Frei- als auch Badeflächen, so dass das Bad nun für 900 Badegäste zugelassen ist. Neben der Größe des Bades wurde auch die Wasseraufbereitung entsprechend der aktuellen Bedarfe angepasst. Diese umfasst nun:

- Eine 441m² große hydrobotanische mit emersenen Hydrophyten bepflanzte Anlage mit einem Volumen von 485 m³ (Beckentiefe 1 m – 1,40 m). Die Tiefe und das Volumen der Hydrobotanik können sich im Betrieb erhöhen, da dieses Becken auch als Schwallbehälter genutzt wird
- Ein 435 m² großer, unbepflanzter Neptunfilter (beregneter Bodenfilter)
- Ein 437 m² großer, mit Schilf bepflanzter Nassfilter
- Zwei Trommelfilter, die jeweils auf einen Volumenstrom von 120 m³/h pro Stunde ausgelegt sind.

Damit können insgesamt bis zu 525 m³ Reinwasser pro Stunde bereitgestellt werden. Die Bauzeit für das Vorhaben lag bei 10 Monaten und die Eröffnung konnte am 18. Juli 2022 erfolgen.

Besonderheiten

Füllwasser: Das zur Befüllung zur Verfügung stehende Leitungswasser ist extrem weich bzw. aggressiv. Mit einer Gesamthärte < 5°dH und einer Karbonathärte von < 2,5, teilweise sogar < 1 °dH ist es nach FLL ungeeignet für den Einsatz. Um dieses Wasser abzupuffern, wurde ausschließlich kalkhaltiges Filtermaterial verwendet. Dies hatte zur Folge, dass sich Härte und Säurekapazität des Wassers zwar verbesserten, es zunächst aber durch Kalkausfällungen zu einer starken Eintrübung des Wassers und damit Verzögerungen bei der Eröffnung kam. Reinigungsleistung: Diese sehr hohen Reinigungsleistungen von 525 m³ Reinwasser pro Stunde (ca. 1/6 des Wasservolumens) ergeben sich nicht aus technischen Gründen, sondern aus den lokalen gesetzlichen Vorgaben, die in Frankreich eine gegenüber der FLL stark erhöhte Umwälzung fordern. Um diese zu realisieren, werden erfolgreich Trommelfilter eingesetzt. Fortsetzung auf S.3

Die erste Saison

Das neu gestaltete Bad wurde 2022 sehr gut von den Badegästen angenommen. Auch aufgrund des warmen Sommerwetters wurden bis Mitte August fast täglich 900 Badegäste gezählt. Insgesamt wurden zwischen dem 18. Juli und dem 11. September 25.000 Badegäste erfasst, was zu Einnahmen von 145.000 € führte.

Die zweimal wöchentlich erfolgten **Beprobungen zur Analyse der Hygieneparameter zeigten eine den französischen Grenzwerten konforme Wasserqualität** für *E. coli*, Enterokokken und *Pseudomonas aeruginosa*. Berücksichtigt man die strengeren deutschen Grenzwerte, wären zwei Werte der Enterokokken und einer der *Pseudomonas aeruginosa* als leichte Überschreitung gewertet worden.

Probleme bereitete allerdings die Analyse der pathogenen Staphylokokken, die in Deutschland nicht analysiert werden. Der Grenzwert liegt hierfür in Frankreich bei 20 CFU/100ml und wurde bei hoher Besucherzahl regelmäßig überschritten. An heißen Tagen mit hoher Besucherzahl schienen die Werte im Tagesverlauf anzusteigen, während die Besucherzahlen des Vortags keinerlei Einfluss auf die Analysewerte hatten. Die Staphylokokken scheinen zwischen den Öffnungszeiten gut von der Filterbiologie abgebaut zu werden. Dies zeigte sich auch an den Analysen des Reinwassers in dem

Wenn die Badegäste sich vor dem Bad nicht gründlich duschen (und vorzugsweise mit Seife waschen), werden diese Staphylokokken in das Badewasser getragen. Diese Hypothese wurde durch die Analyse des im Fußbecken aufgefangenen Duschwassers bestärkt, welches extrem hohe Konzentrationen von pathogenen Staphylokokken nachwies. **Es ist daher davon auszugehen, dass der erhöhte Eintrag in Combloux sich durch eine Verbesserung des Duschverhaltens der Badegäste reduzieren lässt.** Dies wird eine der großen Aufgaben für eine erfolgreiche Saison 2023, die im Juni startet. [D. Esser, N. Röttgers]

Quelle: <https://www.combloux.com/en/discover/unmissable/Combloux-biotope-water-body/>

Tagungen und Kongresse

Ideenwerkstatt – Ein Blick in die Zukunft der Naturfreibäder

Ideenwerkstatt ABS Tagung September 2022

Zum Abschluss der ABS-Tagung in Tessin am 27.09.2022 wurden im Rahmen einer Ideenwerkstatt aktuelle Themen rund um Naturfreibäder behandelt. Obwohl die Ideenwerkstatt am Ende der Veranstaltung stattfand, setzte die Auseinander-

die spezifischen Auswirkungen und Herausforderungen erarbeitet. Die Ergebnisse lassen sich grob in drei Kategorien einteilen:

- Auswirkungen und Herausforderungen auf und für die Besucher
- Auswirkungen und Herausforderungen auf und für die Infrastruktur des Naturfreibades
- Auswirkungen auf das Wasser und Herausforderungen an die Wasserqualität

Dabei gibt es viele Überschneidungen zwischen den Themenbereichen. Etwa zwischen den Themenbereichen Klimawandel, Energie und technische Innovation.

Klimawandel

Der Klimawandel wird nicht nur unsere Umwelt, sondern auch unser Verhalten und damit auch unsere Freizeitaktivitäten beeinflussen. Der Trend zu höheren Temperaturen wird sich auch in der Nutzung von Naturfreibädern bemerkbar machen. Während sich die Summe der Niederschläge wohl nicht verändern soll, ist mit einer anderen Verteilung hin zu längeren Trockenzeiten und einzelnen Starkregenereignissen zu rechnen.

Grundsätzlich wird erwartet, dass durch die höheren Temperaturen mit steigenden Besucherzahlen zu rechnen ist. Möglicherweise geht dies mit einer Änderung der Zusammensetzung und der Er-

Möglicherweise sind helle Farben von Vorteil, die aber hinsichtlich der Pflege eine große Herausforderung darstellen. Inwieweit sich über die Farbe der Oberflächen unter Wasser Änderungen des Aufwuchses und der Biofilme steuern lassen, ist noch nicht erforscht (s. dazu auch in dieser Naturbad Info: „Fluch und Segen der Biofilme – ein ganz besonderer Lebensraum“). Bei Starkregenereignissen fällt innerhalb kurzer Zeit eine sehr große Menge an Wasser an. Meist wird versucht, das Wasser abzuleiten. Besser wären die Rückhaltung und effektive Versickerung bzw. Speicherung des Wassers, möglicherweise als Füllwasser oder zur Beregnung und Bewässerung umgebender Grünflächen. Gerade in Trockenzeiten kann dies sehr wichtig werden.

Im derzeit gültigen Regelwerk (FLL 2011) ist eine Temperaturobergrenze von 25°C vorgesehen, die über einen begrenzten Zeitraum (5 Tage) überschritten werden darf (nicht höher als 28°C). Aus gewässerökologischen Gesichtspunkten darf die Wassertemperatur 30°C nicht überschreiten, weil dann die Leistungsfähigkeit der Biozöosen (Lebensgemeinschaften), die für die Wasserreinigung verantwortlich sind, stark abnimmt. Damit kann sich auch die Wasserqualität verändern (zum Schlechten) und möglicherweise treten neue Algen- und Tierarten auf, deren Rolle im Gesamtsystem nicht absehbar ist.



Naturfreibad Combloux mit Blick auf den Mont-Blanc - Foto: D. Esser



Naturfreibad Combloux - Foto: D. Esser



Ideenwerkstatt ABS Tagung 2022 Titelseite - Quelle: KLS



Ideenwerkstatt ABS Tagung 2022 Themen - Quelle: KLS

keinerlei Grenzwertüberschreitungen festgestellt wurden. Bei hohen Besucher*innenzahlen mit entsprechenden Einträgen scheint die Umwälz- und Reinigungsleistung allerdings im laufenden Betrieb nicht auszureichen, um den Eintrag im Beckenwasser hinreichend zu reduzieren.

Nach verschiedenen wissenschaftlichen Berichten sind bis zu 50 % der Bevölkerung gesunde Überträger von pathogenen Staphylokokken, die nicht nur in den Schleimhäuten des Mund- und Rachenraumes, sondern auch auf der Haut und insbesondere unter den Achselhöhlen zu finden sind.

setzung mit den gesetzten Themen eine erfreulich kreative Energie bei den Teilnehmern frei. Der Moderator der Ideenwerkstatt, Dr. Jürgen Spicker von KLS Gewässerschutz, hatte **6 Themen vorgegeben, die von den Teilnehmern mit Inhalten gefüllt wurden.** Nach einer kurzen fachlichen Einführung in jedes Thema wurden auf jeweils einer Seite der Präsentation die Diskussionsbeiträge gesammelt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Themen dargestellt.

Zu jedem Thema wurden in den Beiträgen der Teilnehmer und der anschließenden Diskussion

wartungshaltung der Besucher einher. Eine Änderung der Zusammensetzung der Besucher könnte sich dadurch ergeben, dass auch Teile der Bevölkerung, die bisher noch nicht (oder schon lange nicht mehr) in einem öffentlichen Bad gewesen sind, den „Lebensraum Naturfreibad“ für sich entdecken. Damit geht einher, dass sich vermutlich die Verteilung der Flächen hin zu einer vermehrten Anzahl an Schattenplätzen und Beschattung allgemein verändern wird. Durch die Farbe der Folie bzw. der Beckenwände und des Beckenbodens kann auch die Erwärmung des Wassers gesteuert werden.

Energie

Klimawandel und Energieerzeugung bzw. Energieverbrauch stehen in einem engen Zusammenhang, da der Klimawandel nachweislich auch durch das Verbrennen fossiler Energien verursacht bzw. beschleunigt wird. Aktuell belasten hohe Preise für die Energie die Betreiber von Naturfreibädern zusätzlich. Energieeinsparung und der effiziente Einsatz der benötigten Energie sind daher große Herausforderungen. Mit Energie sollte so sparsam wie möglich umgegangen werden.

Fortsetzung auf S.5

Am Besten wäre es natürlich, wenn bereits jeder einzelne Besucher dies praktizieren würde. Über Hinweise zum sparsamen Umgang mit Energie können in einem Naturfreibad möglicherweise auch Besucher animiert werden, zu Hause ebenfalls sparsam mit Energie (und Wasser) umzugehen. Im Naturfreibad selbst sollten alle Möglichkeiten ausgeschöpft werden, um Sonnenenergie zu nutzen. Dazu sollte die Photovoltaik ausgebaut werden und auch die Duschen mit in das Konzept einbezogen werden.

Bei der Neufassung des Regelwerkes für Naturfreibäder sollte dies ebenfalls eine große Rolle spielen. Das Wasser selbst könnte auch als Energieträger eingesetzt werden, indem nachts (oder tagsüber bei zu hohen Temperaturen) der Wärmeüberschuss energetisch genutzt wird.

Technische Innovation

Ist die Entwicklung der Naturfreibäder schon am Ende angelangt? Die bestehenden öffentlichen Naturfreibäder weisen eine hohe Betriebssicherheit auf. Das in vielen Bädern durchgeführte gewässerökologische Qualitätsmanagement (s. Naturbad Info 01/2021) und der Einsatz der Software DANA 2.0 (s. Naturbad Info 2022) haben dazu einen großen Beitrag geleistet und viele technische Vorgaben sind im bestehenden Regelwerk (FLL) beschrieben. Grundsätzlich gilt: die gewässerbiologischen Reinigungsprozesse über Biofilme (in Filterkörpern) und freie (gute) Bakterien, Phytoplankton (Schwebalgen) sowie Zooplankton (tierische Schweborganismen im Wasser) im Wasser sind das wesentliche Merkmal eines Naturfreibades.

Technische Prozesse steuern und regeln die Gewässerbiologie in unterschiedlichem Maße durch die Beschickung der Aufbereitungssysteme. Zukünftige technische Innovationen werden sich daher mit den Anforderungen auseinandersetzen müssen, die vom Klimawandel und der Energieverfügbarkeit gestellt werden.

Technische Innovationen wurden hauptsächlich in den Bereichen Energieeinsparung und Wassernutzung diskutiert. So wurde für die Ausweitung der Solarenergie und den sinnvollen Umgang mit Wasser plädiert. Grundsätzlich sollten auch die Pumpen in den Filter- und Aufbereitungssystemen möglichst energiesparend betrieben werden.

Der Bereich der alternativen Baumaterialien wurde nicht näher erläutert. In diesem Bereich besteht aber sicher noch ein großes Potential.

Können Badegäste während des Aufenthaltes zur Energiegewinnung beitragen? Auch hierbei sind der Phantasie keine Grenzen gesetzt.

Nährstoffrückhaltung

Die Menge der Nährstoffe im Wasser eines Naturfreibades ist entscheidend für die Wasserqualität. Da eine hohe Sichttiefe und eine geringe Biomasse an Phytoplankton (Schwebalgen) und anderen Algen wie z.B. Fadenalgen und Algenbeläge angestrebt werden (s. FLL), wird eine Konzentration an Phosphor von unter 0,01 mg/L gefordert. Phosphor als produktionslimitierender Nährstoff ist dabei von größerer Bedeutung als Stickstoff (in Form von Nitrat und Ammonium). Phosphor, der einmal ins System gelangt ist, kann nur durch Reinigungsarbeiten (Entnahme von Biomasse) aus dem Wasser entfernt werden. Vorher wird jedoch ein großer Teil des Phosphors im System durch die Aktivität der Algen und des Zooplanktons sowie in den Aufbereitungssystemen immobilisiert.

Das Redfield-Verhältnis gibt die Relation der Nährstoffe Phosphor (P), Stickstoff (N) und Kohlenstoff (C) in marinem Phytoplankton (Schwebalgen) an. Man geht davon aus, dass bei diesem Verhältnis auch im Süßwasser eine optimale Verteilung der Nährstoffe vorliegt. Ob dies wirklich so ist, wurde für Naturfreibäder noch nicht wissenschaftlich untersucht. Bei den zukünftigen Herausforderungen durch den Klimawandel und dessen möglichen Auswirkungen auf die Wasserqualität wäre dies ein interessantes Thema der zukünftigen Forschung. Grundsätzlich sollte der Eintrag von Nährstoffen aus der Umgebung so beschränkt werden, dass im Bad selbst keine Probleme auftauchen können. Die Lenkung der Besucher zum Wasser hin muss bereits planerisch gelöst werden. Auch die Einträge durch die Besucher (Schweiß, Hautpflegeprodukte) müssen berücksichtigt und minimiert werden

Kunst im Bad

Naturfreibäder werden von einer großen Anzahl an Besuchern frequentiert. Die meisten Besucher verbringen eine lange Zeit im Bad, die mit Baden, Spielen und Entspannen verbracht wird. Kunst (und Kultur) im Bad könnte eine weitere Nutzungsmöglichkeit sein, mit der auch Besuchergruppen mobilisiert werden können, die bisher nur wenig Zugang zum Naturfreibad hatten.

In Frankreich werden z.B. Konzerte in Naturfreibädern veranstaltet. Das zeigt, dass eine weitergehende kulturelle Nutzung eines Bades grundsätzlich möglich ist. Neben der Förderung der Bäder als zusätzliche Kunstplattform, wurden auch naturbadspezifische Attraktionen genannt. Zum Beispiel die Anlage eines „limnologischen Fensters in der Hydrobotanik“ also eines Sichtfensters, durch das Besucher wie in einem Aquarium die Unterwasserwelt eines Naturfreibades erkunden können.

Um den Besuchern die für die Wasserreinigung wichtigen Organismen zeigen zu können, wäre auch eine spezielle (Wander-)Ausstellung mit aussagekräftigen Fotos und Beschreibungen der Organismen des Phyto- und Zoo-planktons machbar.

Mikroplastik

Gibt es Risiken durch Mikroplastik in Naturfreibädern? Diese Frage kann noch nicht beantwortet werden. Grundsätzlich wird die zunehmende Verbreitung von Mikroplastik in der Umwelt jedoch als problematisch angesehen. Dabei bestehen immer noch Unsicherheiten bei der Analytik und vorher bereits bei der Probenahme. Neben den Besuchern, die über die Badekleidung und evtl. auch über Hautschutzprodukte Mikroplastik in das Wasser von Naturfreibädern eintragen, kann Mikroplastik auch über Baumaterialien, wie z.B. Stege, ins Wasser gelangen. Ob und wie sich Mikroplastik im System Naturfreibad verhält sollte geklärt werden.

Fazit

In einer sehr engagierten Veranstaltung während der ABS-Tagung in Tessin wurden in 6 Themenbereichen Ideen für die weitere Entwicklung von Naturfreibädern gesammelt. Dabei diskutierten die Teilnehmer die Themen Klimawandel, Energie, technische Innovationen, Nährstoffrückhaltung, Kunst im Bad und den Einfluss von Mikroplastik hinsichtlich der Auswirkungen und der Herausforderungen im zukünftigen Betrieb von Naturfreibädern. Die Zukunft wird zeigen, ob und wie viele der Ideen in die Praxis übernommen werden können. Jeder Betreiber und das zuständige Personal in den Bädern können aber für sich und lokal im eigenen Bad anfangen, einige der Ideen umzusetzen. Auch in die zukünftige Entwicklung der Regelwerke werden viele dieser Ideen eingehen und so möglicherweise in die Praxis umgesetzt werden. [PK]

Klimawandel

Auswirkungen und Herausforderungen		
Besucher	Infrastruktur	Wasser
höhere Besucherzahlen	Verteilung der Flächen	Veränderung der Wasserqualität
Änderung der Zusammensetzung der Besucher	Folienfarbe	Wasserknappheit, Wasserverfügbarkeit
Änderung der Erwartungshaltung der Besucher	Schattenplätze, Beschattung	Wasserherkunft
	Speicherkapazitäten schaffen (Stichwort Sponge City; Schwammstadt)	Koppelung von Schwimmteichen mit Reinigung von Niederschlagswasser in Städten
		erhöhtes Wachstum Algen
		vermehrtes Aufkommen von Parasiten, Kriebelmücken etc.

Energie

Auswirkungen und Herausforderungen		
Besucher	Infrastruktur	Wasser
Energieeffizienz und Voreinsparung	Photovoltaik ausweiten auf allen möglichen Plätzen	Einsatz von Wärmepumpen (auch zur Kühlung von Wasser)
	Energie-Einspar-Konzepte	
	Anpassung der Regelwerke	
	Solarenergie für z.B. Duschen	

Technische Innovation

Auswirkungen und Herausforderungen		
Besucher	Infrastruktur	Wasser
Alternative Energiegewinnung durch Badegäste	Ausweitung Solaranlagen	Wassernachnutzung
	Kombination Erwärmung und Kühlung	Energiesparender Schnellfilter
	Alternative Baumaterialien	
	Indoor Hallenbäder	

Nährstoffrückhaltung

Auswirkungen und Herausforderungen		
Besucher	Infrastruktur	Wasser
Eintragspfad Besucher (Schweiß, Hautpflegeprodukte)	Eintragspfade von Freiflächen beachten	Redfield-Verhältnis für Naturbäder überprüfen

Kunst im Bad

Auswirkungen und Herausforderungen		
Besucher	Infrastruktur	Wasser
Bildungsauftrag	Bäder auch als Kunstplattform	Ausstellung von z.B. Planktonorganismen und anderen Wasserorganismen
Konzept Kunst und Kundenkommunikation, Öffentlichkeitsarbeit	Limnologisches Fenster in Hydrobotanik	
Aufnahme der Kunst in Bädern in Datenbank	Förderung von Kunst am Bau	
In Frankreich: Theater und Konzerte im Bad		

Mikroplastik

Auswirkungen und Herausforderungen		
Besucher	Infrastruktur	Wasser
Eintragspfade	Zunehmend Plastikmaterialien im Bau (Stege)	Erhebung von Studien in Naturfreibädern
		Ev. Monitoring über Zooplankton möglich
		Auswirkung von Mikroplastik auf Biofilme (Filteranlagen)

Naturbad Biologie

***Pseudomonas aeruginosa* in Badegewässern**

Quantitative Bestimmung von *Pseudomonas aeruginosa* in Badegewässern

Einleitung

Pseudomonas aeruginosa ist ein ubiquitär verbreitetes Bakterium, das auch in nährstoffarmen Wässern wie Trinkwasser und Schwimmbädern vorkommt. *Ps. aeruginosa* hat einen geringen Nährstoffbedarf und ist in der Lage die unterschiedlichsten Substrate zu verwerten [1, 2].

Neben aliphatischen Kohlenwasserstoffen wie Paraffin werden auch Xenobiotika, wie z.B. Pestizide und andere toxische Stoffe abgebaut.

Da *Ps. aeruginosa* besonders für immunsupprimierte Menschen pathogen sein kann, wurde er als ein Indikatorkeim für die Wasserqualität in Schwimmbädern mit einem Höchstwert von 10 Keimen pro 100 ml ausgewählt [3].

Die bisherige Nachweismethode nach DIN EN 16266 hat den Nachteil, dass die in Badegewässern vorhandene Begleitflora den Test massiv stören, die Auswertung erschweren und daher oft zu hohe Keimzahlen gemessen werden [4]. Die Empfehlung des Umweltbundesamtes (UBA) von 2008, den Test bei 42°C durchzuführen, führte zu besseren Ergebnissen, löste jedoch nicht das Problem der störenden Begleitflora [5].

Eine in den letzten Jahren zunehmend eingesetzte Methode zum Nachweis von speziellen Mikroorganismenarten beruht auf dem Prinzip der Gensondentechnik [6]. Grundlage dieser Technologie ist die in den letzten Jahren gewonnene Erkenntnis, dass viele Bakterienarten eine charakteristische spezifische Gensequenz aufweisen. Gene bestehen aus DNA, die die Informationen für die Bildung aller Proteine eines Lebewesens enthält. Diese Information entsteht durch die Gensequenz, die wiederum durch die unterschiedlich lange Abfolge von vier verschiedenen „Buchstaben“, den Nukleotidbasen, gebildet wird. Das Genom von *Ps. aeruginosa* enthält z.B. 6,3 Mio. dieser Nukleotidbasen, die die Information für 5.570 Gene tragen [7]. Für die artspezifischen Teile der Gensequenz können nun Poly- oder Oligonukleotide synthetisiert werden (sog. komplementäre Sequenzen), die sich ausschließlich an genau diesen Stellen des Genoms anlagern. Diese Gensonden können dann noch mit Farbstoffen gekoppelt werden, damit sie sichtbar und quantitativ messbar werden. Im Jahr 2003 wurde ein Gensondentest für *Ps. aeruginosa* vorgestellt, der bisher jedoch in Badegewässern nicht eingesetzt wurde [8].

Ein Vergleich des Ablaufschemata von Gensondentests und der Methode nach DIN EN 16266 zeigte, dass der Gensondentest hinsichtlich Handhabung und Zeitbedarf Vorteile gegenüber der herkömmlichen Methode aufweist: So werden für den Gensondentest sechs Verfahrensschritte mit einem Zeitbedarf von nur insgesamt 26 h benötigt, während die herkömmliche Methode sieben Schritte beinhaltet, die zwischen 112 und 208 h dauern [9]. Daher wurde ASA vom ABS damit beauftragt, den Gensondentest im Bereich der Naturschwimmbäder anzuwenden und mit der derzeit eingesetzten Nachweismethode auf Cetrimid-Agar nach DIN EN 16266 zu vergleichen.

Untersuchungen im Laborbereich

Bereits 2013 wurden umfangreiche Untersuchungen im Laborbereich mit standardisierten Bakteriensuspensionen durchgeführt. Hierzu wurden Reinkulturen des Stammes *Ps. aeruginosa* PAO 1 (DSMZ 22644) mit verschiedenen Keimzahlen hergestellt und diese mit jeweils 1.000 K/ml *Ps. putida* sowie der Bakterienmischkultur ASA T beimpft. Die so präparierten Bakteriensuspensionen wurden mit der DIN EN 16266 (mit Inkubation bei 30° und 42°C) und dem Gensondentest auf den Gehalt an *Ps. aeruginosa* untersucht.

Zusammenfassend konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden, die auch publiziert wurden [9]:

- Die mit der DIN-Methode ermittelten Keimzahlen für *Ps. aeruginosa* lagen in Gegenwart anderer Bakterien im Vergleich zur Gensondenmethode fast immer höher, teilweise mehr als doppelt so hoch. Unabhängig von der Nachweismethode zeigte sich bei der Untersuchung von Gewässerproben, dass die Probenvorbehandlung im Labor einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Grund hierfür ist wahrscheinlich die Eigenschaft der *Ps. aeruginosa*-Zellen zu aggregieren oder in Biofilmen zu wachsen [10]. So konnten die Messwertschwankungen innerhalb einer Probe durch eine einfache Probenvorbehandlung (30 min rühren) deutlich reduziert werden (bis zu < 5 %).

- Da *Ps. aeruginosa* unter geringen Nährstoffgehalten in Biofilmen wächst, scheint eine homogene Verteilung in Badeteichen eher zweifelhaft. Somit sind aus Badegewässern entnommene Proben nur begrenzt bzw. selten repräsentativ hinsichtlich dieses Keimes.

- Aspekte wie Ort und Zeitpunkt der Probenahme, z. B. kurz nach einem zufälligen Abreißen von Biofilmenteilchen, können die gemessene Keimzahl maßgeblich beeinflussen und so die Bedeutung der gemessenen Werte hinsichtlich der Schwimmbadhygiene in Frage stellen bzw. relativieren.

Vergleich der Nachweismethoden durch umfangreiche Feldversuche

Um die im Laborbereich gewonnenen Erkenntnisse sowie den Testvergleich auf eine breitere Datenbasis zu stellen, wurden während der Badesaison 2015 folgende acht Naturbäder für Feldversuche ausgewählt:

- OSIR Skalka, Swietochowice, Polen
- Sigtuna kommun, Märsta, Schweden
- Naturfreibad Herrenberg
- Stadionbad Bremen
- AQWA Walldorf
- Naturbad im Staden, Idar-Oberstein
- Naturbad Riehen, Schweiz
- Freibad Froschloch, Dortmund.

Die Probenahme erfolgte durch die jeweiligen Untersuchungsämter bzw. -labore oder Betreiber.

Die Proben wurden in Kühlboxen mit Kühlelementen und 24 h-Service versandt. Die Proben wurden bis zur Verarbeitung auf Eis gelagert. Auf Grund eventueller Inhomogenitäten wurde eine Probenvorbehandlung in Form von mind. 30 min mischen (Magnetrührer) vorgenommen. Die Bestimmung von *Ps. Aeruginosa* erfolgte durch den Gensondentest [8] sowie gemäß DIN EN 16266 (mit UBA-Empfehlung 2008).

Ergebnisse

Die ursprüngliche Annahme, dass die Gensondenmethode geringere Keimzahlen detektiert, konnte durch die Daten aus allen acht Bädern nicht bestätigt werden. Grund hierfür ist sicherlich, dass das Verhältnis zwischen Fremdkeimen und *Ps. aeruginosa* in den Laborversuchen deutlich höher war als in den meisten Proben aus den Feldversuchen. Beispielhaft zeigt sich dies an den Werten aus *Naturbad a* (Abbildung 1, Tabelle 1).

Somit scheint die Methode DIN EN 16266 bei starker Begleitflora störanfälliger zu sein. Die Ursache hierfür könnte sein, dass die *Ps. aeruginosa*-Zellen von der Begleitflora überwachsen und so nicht detektiert werden.

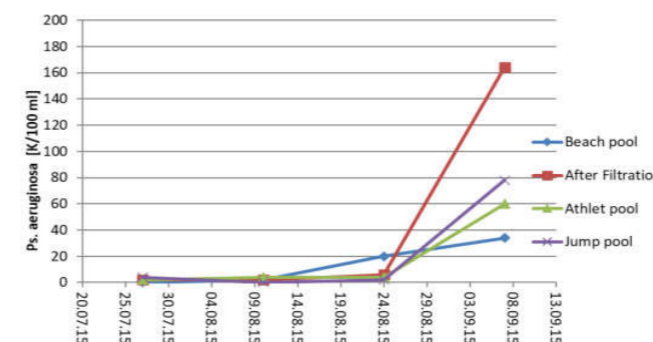


Abbildung 1: Messwerte *Ps. aeruginosa* (Gensonde) Naturbad a (06-09/2015)

Tabelle 1: Ergebnisse Naturbad a

ASA Probe Nr.	Probenahmeort bzw. -bezeichnung	Datum	<i>Ps. aeruginosa</i> [K/100 ml]	
			DIN EN 16266	Gensondentest
12	Strand 23/6 (Beachpool)	26.06.15	27	17
13	Hopp 23/6 (Jumpool)	26.06.15	46	30
14	Pumphus 23/6 (After filtration)	26.06.15	70	35
15	Motion 23/6 (Athlet pool)	26.06.15	19	11
53	Beachpool 1	27.07.15	0	0
54	After Filtration 2	27.07.15	0	2
55	Athletpool 3	27.07.15	0	2
56	Jumpool 4	27.07.15	2	4
86	Beachpool 1	10.08.15	0	2
87	After Filtration 2	10.08.15	0	2
88	Athletpool 3	10.08.15	8	4
89	Jumpool 4	10.08.15	2	0
116	Beach Pool 1	24.08.15	0	20
117	After Filtration 2	24.08.15	0	6
118	Swimming Pool 3	24.08.15	4	4
119	Jumping Pool 4	24.08.15	0	2
172	After filtration 1	07.09.15	50	164
173	Beach pool 2	07.09.15	10	34
174	Jump pool 3	07.09.15	18	78
175	Athlet pool 4	07.09.15	40	60

Weiterhin ergaben die Ergebnisse, dass es wichtig ist, die Proben schnellstmöglich zu vermessen: Die Ergebnisse der Proben aus *Naturbad b* zeigen, dass bei einer Lagerung über 24 Stunden die Keimzahl trotz Kühlung abnimmt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Ergebnisse Naturbad b

ASA Probe Nr.	Probenahmeort	Datum	<i>Ps. aeruginosa</i> [K/100 ml]	
			nach Lagerzeit	
			2 Tage	6 Tage
23	Reinwasser 1	07.07.15	42	3
24	Reinwasser 2	07.07.15	80	0
25	Beckenwasser 3	07.07.15	64	0
26	Beckenwasser 4	07.07.15	70	0

Ein gegenläufiger Effekt der Lagerzeiten wurde mit Proben aus *Naturbad c* festgestellt: Hier nahmen die Keimzahlwerte nach mehrtägiger Lagerung teilweise um mehr als das Zehnfache zu (Tabelle3). Grund hierfür ist wahrscheinlich die Eigenschaft der *Ps. aeruginosa*-Zellen zu aggregieren oder in Biofilmen zu wachsen, die sich bei der Lagerung lösen. Dies ist wahrscheinlich auch der Grund dafür, dass bei der ersten Analyse (nach Erhalt der Probe) Doppelwerte teilweise nicht ausgewertet werden konnten.

Unabhängig von der Ergebnisinterpretation erweist sich die Biofilmbildung durch *Ps. aeruginosa* auch hier wieder als Problem für die Gewinnung von repräsentativen und homogenen Proben. Damit stellt sich erneut die Frage nach der Sinnhaftigkeit der Auswahl dieser Bakterienart als Leitkeim zur Beurteilung der Hygiene von Badegewässern.

Tabelle 3: Ergebnisse Naturfreibad c

ASA Probe Nr.	Probenahmeort	Datum	Ps. aeruginosa [K/100 ml]	
			nach Lagerzeit	
			1 Tag	6 Tage
124	P1	25.08.15	3	80
125	P2	25.08.15	10	1.000
129	P6	25.08.15	0	10
130	P7	25.08.15	26	20
135	P16	25.08.15	0	30
136	P17	25.08.15	30	1.460
137	P22	25.08.15	>400	1.800
138	P23	25.08.15	>400	1.500
145	P3	26.08.15	6	100
149	P7	26.08.15	>400	13.700
150	P8	26.08.15	20	550
153	P11	26.08.15	0	1.285
154	P16	26.08.15	70	670
155	P17	26.08.15	>400	600
156	P20	26.08.15	6	100

Zusammenfassung

Der Gensonden-Test im Vergleich zur Methode DIN EN 16266 wird geringer durch die bakterielle Begleitflora beeinflusst. In Gewässerproben mit geringer Keimzahl liefern beide Testmethoden ähnliche Ergebnisse. Auch unter kontrollierten kühlen Transport- und Lagerbedingungen ist eine schnellstmögliche Vermessung der Gewässerproben unbedingt notwendig.

Die Eigenschaft der Ps. aeruginosa-Zellen, zu aggregieren oder in Biofilmen zu wachsen, erschwert die Entnahme von repräsentativen und homogenen Proben aus Badegewässern.

Die Eignung von Ps. aeruginosa als Leitkeim zur Beurteilung der Schwimmbadhygiene scheint damit fraglich. [ASA]

Dr. Arno Cordes, Petra Hoferichter, ASA Spezialenzyme

Literatur: 1. Wingender, Hamsch, Schneider.: Mikrobiologisch-hygienische Aspekte des Vorkommens von Ps. aeruginosa im Trinkwasser. energie-wasser-praxis 60 (2009) 60-66.

2. Schoenen: Wachstumsbedingungen von Ps. aeruginosa (...) in Trinkwasserversorgungssystemen - Gfw-Wasser Abwasser (2009) 1012-1015

3. Hygienische Anforderungen an Kleinbadeteiche - Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 46 (2003) 527-529

4. Heinemeyer, Luden: Probleme bei der Anwendung der DIN EN 12 780 zum Nachweis von Ps. aeruginosa (...) - Gesundheitschutz 52 (2009) 345-351

5. Empfehlung der Schwimm- und Badebeckenwasserkommission: Hinweise für die Überwachung von Kleinbadeteichen zur Bestimmung von P. aeruginosa Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 52 (2009) 370

6. Schleifer, Ludwig, Amann: Gensonden und ihre Anwendung in der Mikrobiologie. Naturwissenschaften 79 (1992) 213-219

7. Stover, et al: Complete genome sequence of Pseudomonas aeruginosa PAO1 - Nature. 406(6799) (2000) 959-964

8. Snaidr: Gensonden zum schnellen und spezifischen Nachweis von Pseudomonas aeruginosa. GIT Labor-Fachzeitschrift. 3 (2003) 2-3

9. Cordes, Hoferichter: Quantitative Bestimmung von Pseudomonas aeruginosa (...) - AB Archiv des Badewesens 6 (2014) 360-366

10. Hummel, Umweltbundesamt: P. aeruginosa im Badewasser Nordbayerische Trinkwassertage 26. - 27.09.2012

Naturbad Biologie

Fluch und Segen der Biofilme – ein ganz besonderer Lebensraum

Biofilm: Bildung, Organismen und chemische Prozesse

Biofilme sind in allen natürlichen und künstlichen Biotopen zu finden, in denen wässrige oder feuchte Lebensbedingungen mit einem ausreichenden Angebot an Nährstoffen ein Wachstum von Mikroorganismen ermöglichen. In den Beckenbereichen von Naturfreibädern bilden sie sich daher u.a. an Wänden, Treppen oder Rutschen. In den Filterbereichen, wo sie sich um die Granulate/Steine der Filtermaterialien bilden, spielen sie eine entscheidende Rolle bei den Reinigungsprozessen. Die folgenden Erläuterungen sollen einen kleinen Einblick in die Komplexität dieser außergewöhnlichen Lebensräume geben.

Biofilme besitzen keineswegs eine einheitliche Struktur, sondern weisen Kanäle, Fäden und wassergefüllte Poren auf, die eine inhomogene Verteilung der Mikroorganismen bedingen. Zudem ändert sich das Volumen eines Biofilms infolge von Anlagerung und Abschwemmung der Mikroorganismen, aber auch durch deren Wachstum und Absterben. Die Organismen werden innerhalb des Biofilms aktiv und passiv verschoben, wodurch deren räumliche Verteilung ebenfalls stark variiert (Abbildung 1).

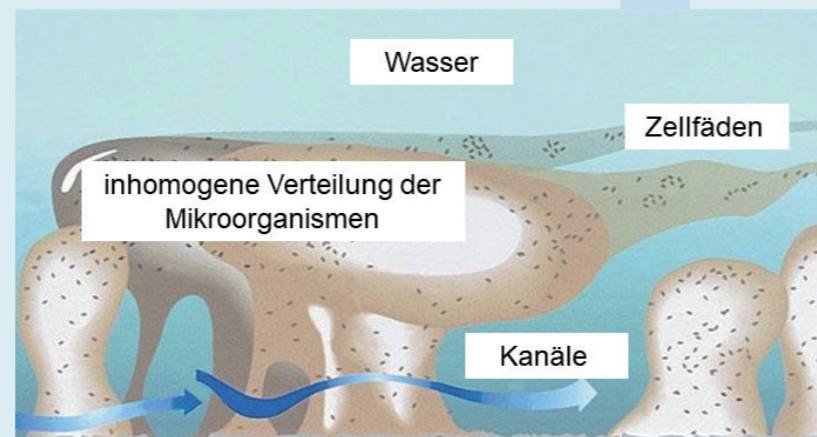


Abbildung 1: Schema eines Biofilms mit Poren, Kanälen und Zellfäden (Quelle: Center for Biofilm Engineering, Montana State University, Abbildung modifiziert).

Biofilmbildung

Die Entstehung eines Biofilms beginnt mit einer **Adsorptionsphase**, bei der organische Substanzen einer wässrigen Umgebung an einer Oberfläche festheften und eine Nahrungsgrundlage für Organismen bilden. Planktische Zellen des umgebenden Mediums wie beispielsweise Bakterien werden dadurch angelockt und heften sich an. Dieser Prozess ist in der Anfangsphase noch reversibel. In der sich anschließenden **Entwicklungsphase** scheiden

insbesondere Bakterienzellen polymere Substanzen ab, wodurch sie sich irreversibel anheften um Ausspülungen zu verhindern und beginnen anschließend mit der Zellteilung und Vermehrung. In der **Wachstumsphase** nimmt die Zellteilung und Polymer-Produktion weiter zu, wodurch der Biofilm ein deutliches Dickenwachstum erfährt. In der folgenden **Plateauphase** halten sich Biofilmwachstum und Abtrag im Gleichgewicht. Die letzte Phase ist die **Dispersionsphase**, in der sich die Bakterien wieder ablösen, da die Nährstoffe aufgebraucht sind oder die Lebensbedingungen sich verschlechtern haben.

Organismen in Biofilmen

Die Zusammensetzung der Organismen in einem Biofilm ist sehr variabel und hängt maßgeblich vom Licht und von den Nährstoffen des umgebenden Mediums ab. Entsprechend werden Biofilme unter Lichtabschluss, wie sie beispielsweise in Filtern und Sedimenten vorkommen, von heterotrophen Organismen, insbesondere Bakterien besiedelt. Autotrophe Biofilme auf lichtbeeinflussten und sonnenbeschiene Substraten werden von Organismen dominiert, die zur Photosynthese befähigt sind. Diese Biofilme sind in Naturbädern insbesondere auf Steinen und Folien zu finden.

Eine wichtige Gruppe von Organismen, die in einem Biofilm leben und ihn stark prägen, sind **Bakterien**. Wie bereits angedeutet, sind einige

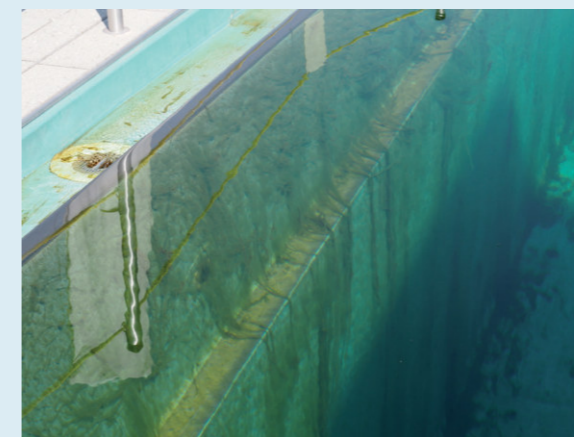


Abbildung 2: Fadenalgen an Beckenwänden und auf Steinen in einem Naturbad (Fotos: A. Kakuschke, KLS).

Bakterienarten in der Lage, eine Schleimschicht aus extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) zu bilden. Diese Schicht besteht vor allem aus Polysacchariden, einer Vielzahl von Proteinen, Lipiden, Phospholipiden, Glycoproteinen, Glycolipiden, extrazellulärer DNA, Lipopolysacchariden und bis zu 97 % aus Wasser. Diese Substanzen bedingen in einem Freibad die glitschigen Beläge an Beckenwänden und auf Böden, die die Rutsch- und Unfallgefahr erhöhen. Andererseits sind sie, z.B. im Filter,

die Nahrungsgrundlage vieler Organismen und ermöglichen so die Besiedelung und Bildung des komplexen Biofilms.

Die Zusammensetzung der Bakteriengesellschaft in einem Biofilm ist sehr variabel. Einerseits sind sehr nützliche Bakterien, die u.a. den gewünschten Selbstreinigungsprozess im Naturbad bedingen, eine wichtige Komponente. Beispiele dafür sind *Nitrosomonas* und *Nitrobacter*, die bei der Nitrifikation, einem Teil des Stickstoffkreislaufes, beim Abbau von organischen Substanzen das Ammonium in Nitrit und anschließend in Nitrat umwandeln. Ein stabiler Biofilm in den Filtern eines Naturbades ist daher eine Grundlage für das Funktionieren des Selbstreinigungsprozesses der Anlage.

Andererseits finden sich in Biofilmen auch für den Menschen pathogene Keime. Beispiele dafür sind Legionellen-Bakterien, *Pseudomonas* oder *Staphylococcus*. In Naturbädern wird daher im Rahmen des Gesundheitsmonitorings der Keim *Pseudomonas aeruginosa* als Hygieneparameter herangezogen, da dieser beim Menschen Wundinfektionen und Infektionen u.a. an Augen und Ohren auslösen kann. Nicht selten steigen die Keimzahlen im Beckenwasser vorübergehend an, wenn durch Reinigungsmaßnahmen die Bakterien aus dem Biofilm freigesetzt werden.

Biofilme sind aber nicht nur der Lebensraum für Bakterien. Es nutzen je nach Lage und Nährstoffan-

gebot des Biofilms auch **Algen, Pilze und diverse Einzeller** wie beispielsweise **Amöben oder Ciliaten** diesen Lebensraum. Biofilme bilden daher eine wesentliche Komponente im Nahrungsgefüge.

Algen sind charakteristisch für autotrophe insbesondere sonnenbeschiene Biofilme. In Naturbädern finden sich daher oft fädige Grün- und Jochalgen auf den Folien der Beckenwände oder auf Steinen (Abbildung 2, siehe auch KLS-Artikel „Ungebetene Badegäste“ in Naturbad Info 2020).

Zudem findet man auch häufig Kiesel- und Blaualgen in und an Biofilmen. Zwei KLS-Polyplan-Pilotstudien erbrachten dazu neue Erkenntnisse.

Pilotstudie 1: In einem Naturbad kam es im Frühsommer zu einer Verminderung der Sichttiefe. Daher wurde die Algenzusammensetzung des Becken- und Reinwassers mikroskopisch analysiert. Interessanterweise war die Algenbiomasse im Reinwasser höher als im Beckenwasser, was darauf hindeutete, dass es im Filter zu einem Wachstum von Algen gekommen ist. Es wurden insbesondere Grün- und Kieselalgen gefunden. Eine Art-Analyse der dominierenden pennaten Kieselalge ergab *Nitzschia palea* (KÜTZING) W.SMITH 1856 (Abbildung 3). Diese Art hat eine benthische Lebensweise. Das bedeutet, sie lebt an Substraten, ist also Biofilm-assoziiert. Interessanterweise ist diese Art bei Lichtmangel zu einem heterotrophen Stoffwechsel in der Lage und kann sich daher offensichtlich auch in Filteranlagen von Bädern vermehren.

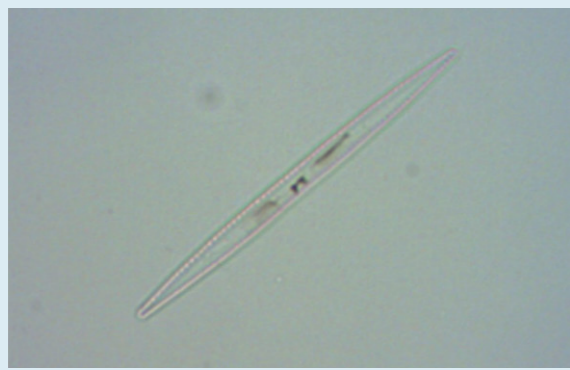


Abbildung 3: Benthische Kieselalge *Nitzschia palea* aus Naturbad Filter - Foto: A. Kakuschke, KLS

Pilotstudie 2: In einer weiteren gemeinsamen Studie wurde erstmals der Folienaufwuchs in einem Naturfreibad im Laufe einer Badesaison qualitativ und quantitativ untersucht. Details zu dieser Studie sind dem entsprechenden Artikel in der vorliegenden Naturbadinfo zu entnehmen. Allen Algen ist gemein, dass sie Sauerstoff produzieren, also ein aerobes Milieu erzeugen und Kohlendioxid verbrauchen. Letzteres verursacht eine Zunahme des pH-Wertes. Diese Verschiebung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes verursacht unschöne Kalkausfällungen an den Beckenwänden und erhöht damit den Reinigungsaufwand.

Biochemische Prozesse im Biofilm

In Biofilmen laufen eine Vielzahl von chemischen, biologischen und physikalischen Prozessen auf engstem Raum ab.

Literatur: Flemming et al. (2016) Biofilms: An emergent form of bacterial life. Nature Reviews Microbiology. Volume 14, pp 563-575.

Im Oberflächenbereich an der Grenzschicht zum wässrigen Medium laufen insbesondere **aerobe Prozesse** ab, wie beispielsweise:

- die Oxidation von Eisen: Fe²⁺ zu Fe³⁺
- die Oxidation von Ammonium zu Nitrat: NH₄⁺ zu NO₃⁻ (über NO₂⁻)
- die Oxidation von Mangan: Mn²⁺ zu Mn⁴⁺
- die Oxidation von organischen Kohlenstoffverbindungen zu CO₂ und Wasser
- die Oxidation von Schwefelwasserstoff zu Sulfat: H₂S zu S bzw. SO₄²⁻

Im Basisbereich, wo weniger Austauschprozesse stattfinden, laufen eher **anaerobe Prozesse** ab. Beispiele dafür sind:

- die Reduktion von Nitrat zu Stickstoff: NO₃⁻ zu N₂ (auch zu NO₂⁻ und NH₄⁺)
- die Reduktion von Eisen: Fe³⁺ zu Fe²⁺
- die Reduktion von Mangan: Mn⁴⁺ zu Mn²⁺
- die Reduktion von Sulfaten: SO₃²⁻ u. SO₄²⁻ zu SO₂⁻

Über die Dicke des Biofilmes bilden sich entsprechende biochemische Gradienten, die für unterschiedlichste Ansprüche von Mikroorganismen einen Lebensraum bilden. Die Mikroorganismen werden durch den Biofilm nicht nur vor Ausschwemmung, sondern auch vor Bioziden und anderen toxischen Substanzen geschützt. Die Stoffe werden in der Schleimschicht gebunden, in die die Mikroorganismen eingebettet sind, und gelangen daher nicht in die Zellen. Des Weiteren bietet der Biofilm Raum für das Zusammenwirken verschiedener Mikroorganismen und der damit verbundenen biochemischen Stoffwechselvorgänge.

Fluch und Segen

Zusammenfassend kann gesagt werden: **Biofilme erfüllen wichtige Aufgaben in Schwimmteichen, Naturbädern und Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung.** Dazu zählen die Aufnahme und Festlegung von Nährstoffen (z.B. Phosphaten), die Aufnahme und Verstoffwechslung von organischen Stoffen, die Umsetzung von Stickstoffverbindungen oder der Schutz der Mikroorganismen. Sie sind maßgeblich an der Wasserreinigung beteiligt und bilden eine wichtige Grundlage im Nahrungsnetz und für die Artendiversität. Ihr Fluch liegt bei den glitschigen Belägen oder Kalkausscheidungen, die neben einer erhöhten Rutsch- und Unfallgefahr ein unschönes Aussehen bewirken. **Daher führen Biofilme zu einem erhöhten Pflegeaufwand in den Beckenbereichen,** jedoch sollten deren Entwicklung im Filterbereich möglichst ungestört bleiben. [KLS]

Naturbad Biologie

Nährstofffällung für den Bäderbetrieb

Studie zur Reduktion von Phosphor

Phosphorreduktion ist einer der zentralen Steuerungsmechanismen im Betrieb von Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung und die **Phosphorkonzentration einer der Auslegungsparameter gemäß FLL Richtlinie.** Liegt der Nährstoff in zu hoher Konzentration vor, so verbessern sich die Bedingungen für Algenwachstum mit den entsprechenden negativen Auswirkungen auf den Bäderbetrieb. Die Haupteintragspfade stellen hier die Badegäste selbst (74 mg Pges/Badegast) sowie das Füllwasser dar. Während die durch Badegäste verursachten Einträge über die biologische Wasseraufbereitung abgebaut werden, liegen häufig relevante **Konzentrationen im Füllwasser vor, die eine zusätzliche Behandlung erfordern.** Der Einsatz von Adsorbentien und Eisen(III)-chlorid hat sich in der Vergangenheit bewährt. Verschiedene Hersteller vermarkten aktuell **Lanthan als Alternative für die Reduktion von Phosphor in Gewässern.** Hierbei werden jedoch für gewöhnlich höhere Ausgangskonzentrationen angesetzt, als die, die in Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung vorliegen. Somit lassen sich die Herstellerangaben nicht ohne Weiteres auf den Einsatz in Bädern übertragen. Im Rahmen einer Studienarbeit im FG Siedlungswasserwirtschaft der TU Berlin wurden der **Einsatz von Eisen(III)-chlorid und Lanthan in Hinblick auf die ortho-Phosphat Konzentrationen mittels Jar-tests verglichen.** Hierfür wurde unter anderem Füllwasser und Beckenwasser aus dem Naturfreibad Premnitz verwendet. Die Versuche wurden im Sommer 2022 durchgeführt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist nebenstehend abgebildet.

Während es durch die Zugabe von Lanthan zu keinen nennenswerten Auswirkungen auf den pH-Wert gekommen ist, lässt sich bei der Zugabe von Eisen(III)-Chlorid ein deutliches Abfallen des pH-Wertes feststellen. Insbesondere ab einer Dosierung > 200µg/l sinkt der pH-Wert drastisch auf unter 4 ab. Dies dürfte mit Ursache für das erneute Ansteigen der Portho Konzentration sein. Auffällig ist, dass für beide Fällungsmittel ein

Optimum der Nährstoffreduktion bei einer Zugabe zwischen 50-150 µg/l vorliegt. In Hinblick auf die durchgeführten Versuche zeichnet sich dahingehend **kein deutlicher Vorteil für eins der beiden Fällmittel ab.** Beide müssen stöchiometrisch deutlich überdosiert werden, um den gewünschten Effekt – die Reduktion von Phosphor – zu erzielen. Da das Absinken des pH-Wertes bei Einsatz von Fe(III)-Cl nur punktuell und temporär erfolgt, stellt dies in den meisten Betriebsabläufen keine Schwierigkeit dar. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht stellt das Lanthan für die in Bädern typischen Pgesamt-Konzentrationen die teurere Alternative dar. In wie weit es dennoch eine **Alternative als Fällmittel** darstellt ist standortspezifisch zu betrachten.

D. Ladwig, N. Röttgers, T. Guggenberger

Die vollständige Studienarbeit kann über das FG Siedlungswasserwirtschaft TU Berlin, Hr. Tom Guggenberger bezogen werden.

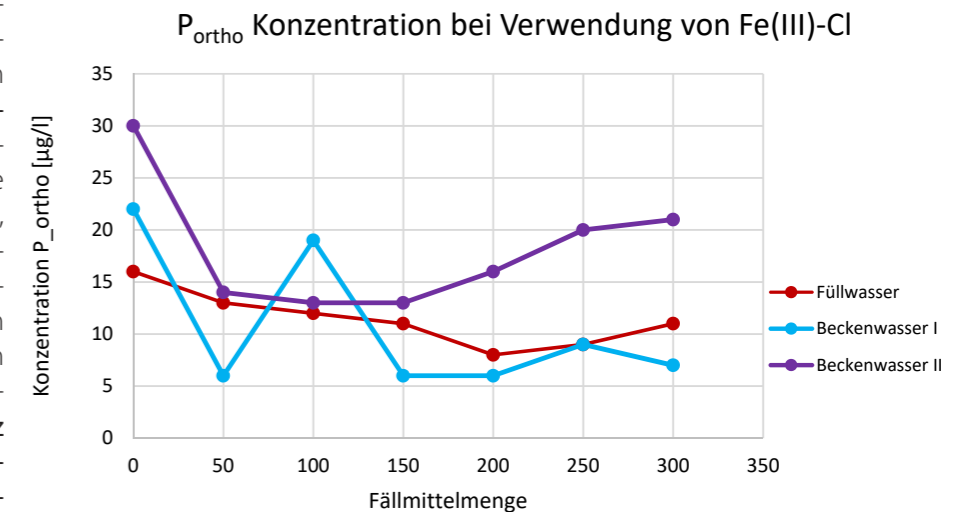


Abbildung 1: Auswertung Einsatz von Fe(III)-Cl als Fällmittel

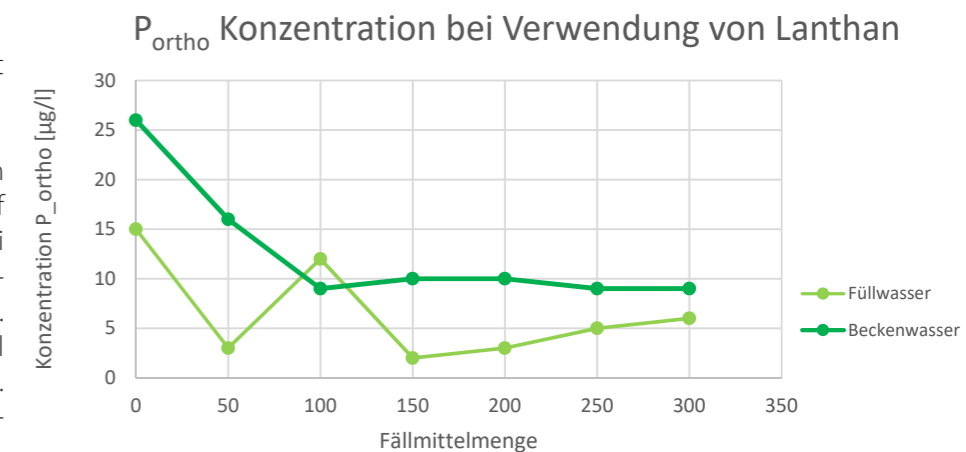


Abbildung 2: Auswertung Einsatz von Lanthan als Fällmittel

Aktuelles aus dem Bäderbetrieb

Funkbasierte Datenübertragung im Bäderbetrieb

Datenübertragung via LoRaWAN

Die sichere und dauerhafte **Verfügbarkeit von Messdaten** der Wasseraufbereitung ist für den (automatisierten) Betrieb von Naturfreibädern und -pools unerlässlich. Hierfür lassen sich die Technologien des sogenannten „Internet of Things“ (IoT) nutzen, die sich nicht nur für die Automatisierung von Industrieprozessen oder den Einsatz in Smart Homes, sondern auch für die Messwertübertragung im Badewesen eignen.

Eine Übertragungstechnologie, die speziell für die Anwendung im IoT entwickelt wurde, ist **LoRa-WAN** (Long Range Wide Area Network). Sie besteht aus mindestens drei Komponenten: einem LoRa-Sensor, einem Gateway und einem Server. Der Sensor sendet die verschlüsselten Daten über den Funkstandard LoRa zu einem Gateway in seiner Umgebung, welches die Daten per LTE oder LAN an den LoRa-Netzwerkserver weiterleitet. Hier können die Daten dekodiert, verarbeitet und für Visualisierung und Monitoring bspw. an die **Datenbank für Naturfreibäder (DANA2.0)** gesendet werden.

Die Verwendung von LoRaWAN bietet einige **Vorteile**: Die Datenübertragung besitzt eine hohe Reichweite von etwa 2 Kilometern in Stadt- und bis zu 10 km in ländlichen Gebieten. Wegen der guten Gebäudedurchdringung können die Sensoren außerdem problemlos in Schächten verbaut werden. Der Wartungsaufwand ist insgesamt gering, die Sensoren funktionieren batteriebetrieben und haben je nach Sendeintervall eine potentielle Lebensdauer von bis zu 10 Jahren. Im Gegensatz zu anderen Übertragungstechnologien hält sich auch der Stromverbrauch in Grenzen – WLAN verbraucht etwa das Dreifache an Strom eines herkömmlichen LoRa-Sensors.

Die Sicherheit bei der Datenübertragung wird über einen jeweils geräte- und applikationsspezifischen Schlüssel sowie einen eindeutigen Schlüssel auf Netzwerkebene gewährleistet.

Bei Polyplan-Kreikenbaum wurden verschiedene **LoRa-Systeme** für unterschiedliche Anwendungszwecke entwickelt.

Ein standardmäßiges **LoRa-Set** besteht aus einem Outdoor-Gateway und fünf Sensoren:

- Lufttemperatur und -feuchtigkeitssensor
- Wasserstand
- Wassertemperatur
- Wasserzähler
- Stromzähler

Je nach **Projektspezifikation** können weitere Sensoren angebunden werden, z.B. pH- und Trübungssensoren oder weitere Drucksensoren, Stromzähler, etc. Siehe Abbildung 1: Funktionsweise der Datenübertragung per LoRa-Set.

Zu Monitoringzwecken können die Messdaten in DANA2.0 dargestellt werden. Siehe Abbildung 2: Datenvisualisierung von Messdaten der LoRa-Sensoren in DANA2.0.

Mittels LoRa lassen sich allerdings nicht nur Messdaten erfassen, sondern auch **Befehle** auf einzelne Geräte übertragen. Dies kann genutzt werden, um bspw. **Anlagenteile** wie Pumpen **aus der Ferne zu schalten**. Hierfür wurde der sogenannte **LoRa-Switch** entwickelt, der wie ein erweitertes Relais funktioniert: er sendet Daten wie die Stromaufnahme eines angeschlossenen Endgerätes an Gateway und Networkserver und kann außerdem über ein Steuerungsdashboard Schaltbefehle erhalten und ausführen. Siehe Abbildung 3: Funktionsweise der Datenübertragung per LoRa-Switch.

Der Switch besitzt **verschiedene Betriebsmodi**: neben einer reinen An- und Ausschaltfunktion kann der er im zyklischen Betrieb schalten, der sich entweder nach Sensordaten aus der Wasseraufbereitung oder einem fest eingestellten Lastparameter richtet. Außerdem besitzt er eine Timerfunktion, mittels der ein Anlagenaggregat innerhalb eines bestimmten Zeitfensters geschaltet werden kann. Kurzfristige Weiterentwicklungen stellen einen vierten Modus zum Schalten beim Über- oder Unterschreiten eines frei wählbaren Grenzwertes zur Verfügung. Außerdem werden die aktuelle Leistung und die kumulierte Energie angezeigt, wodurch praktisch eine live-Überwachung des Verbrauchers möglich ist. Siehe Abbildung 4: LoRa-Switch.

Insgesamt bildet die Verwendung von LoRaWAN damit eine **Alternative oder Ergänzung** zur herkömmlichen **Anlagensteuerung** und einen weiteren Schritt für den zunehmend automatisierten Betrieb der Wasseraufbereitung in Naturschwimmbädern. [PK]



Abbildung 4: LoRa-Switch - Foto: PK

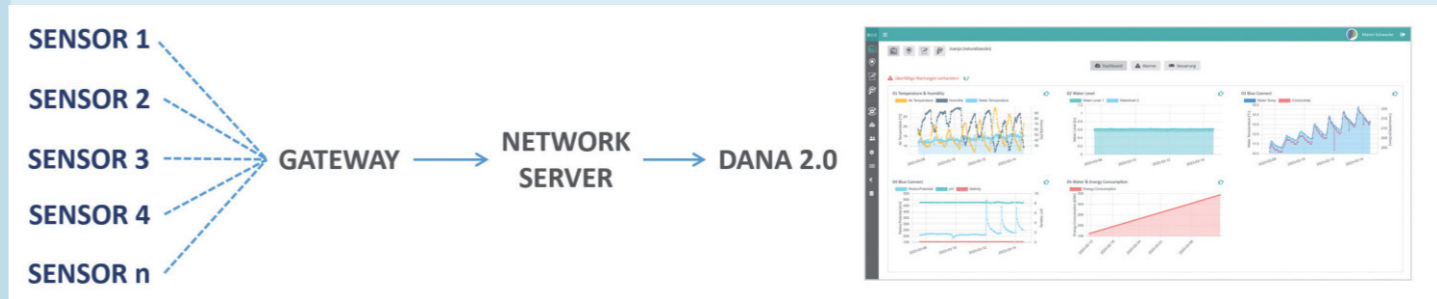


Abbildung 1: Funktionsweise der Datenübertragung per LoRa-Set

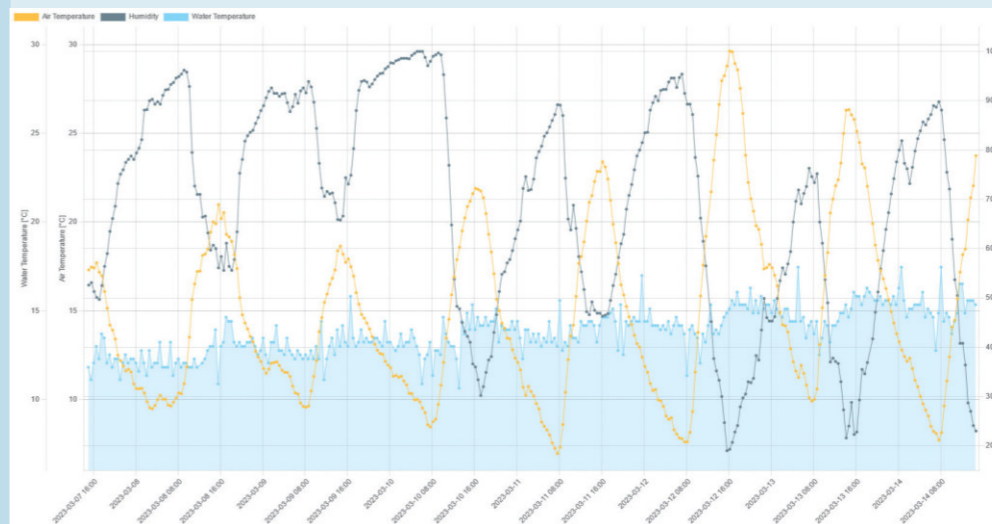


Abbildung 2: Datenvisualisierung von Messdaten der LoRa-Sensoren in DANA2.0

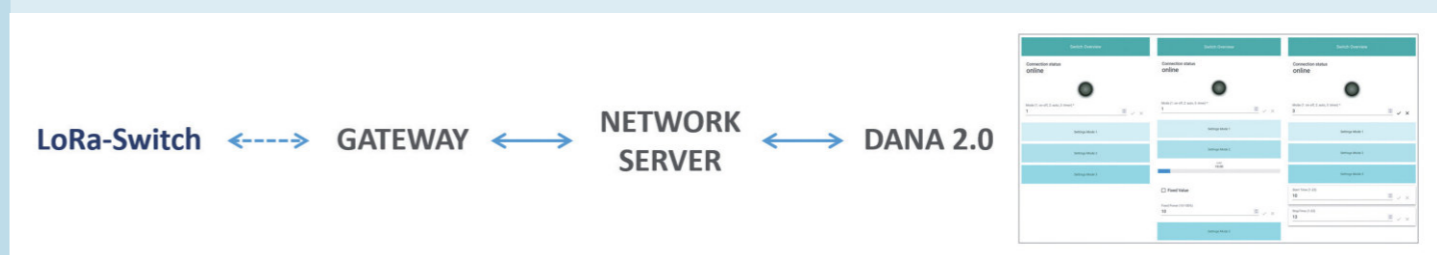


Abbildung 3: Funktionsweise der Datenübertragung per LoRa-Switch

Termine rund ums Naturfreibad

23.03.2023	Schulungstermin neue Datenbank für Naturbäder DANA 2 durch Polyplan-Kreikenbaum. Für weitere Informationen wenden sie sich bitte an Frau Baden (baden@polyplan-kreikenbaum.eu).
29. – 31.03.2023	Zertifikats-Lehrgang „Fachkraft für Schwimmbäder mit biologischer Wasseraufbereitung (DGFNB)“
17.06.2023	Internationaler Tag des Schwimmteiches (IOB)
11. – 12.09.2023	ABS Tagung in Nürnberg mit Bäderbesichtigung. Für weitere Informationen wenden sie sich bitte an Claus Schmitt (WasserWerkstattBamberg)
27. -28.09.2023	12. IOB Kongress in Mechelen, Belgien. Der 12. Internationale Schwimmteich-Kongress findet am 27. und 28. September 2023 in Mechelen, Belgien statt. Das bewährte Konzept des 10. Kongresses in Warschau wird weitestgehend übernommen.
23.11.2023	Lehrgang „Qualifizierter Schwimmteichbauer“ 2023/2024

Naturbad Biologie

Folienaufwuchs in einem Naturfreibad

Untersuchung des Folienaufwuchses in einem Naturfreibad mit biotechnologischer Wasseraufbereitung während des laufenden Betriebes

Veranlassung

In Naturfreibädern, insbesondere wenn die Becken mit Folie oder anderen glatten Oberflächen abgedichtet sind, wird der natürliche biologische Aufwuchs an den Wänden und anderen Oberflächen als störend empfunden.

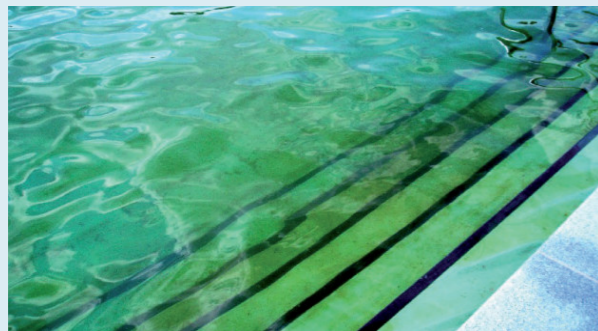


Abbildung 1: Typische braun-grüne Aufwuchsbeläge in Naturfreibad mit Folienabdichtung - Foto: KLS

Braun-grüne Flecken an den Wänden gelten in einem Bad, welches rein optisch eher einem konventionellen, gechlorten Freibad entspricht, als ästhetische und qualitätsmindernde Beeinträchtigung. Darüber hinaus können die Aufwuchs-Biofilme insbesondere auf den glatten Trittsflächen eine hohe Rutschgefahr für den Badegast darstellen. In vielen Bädern kommen noch Kalkablagerungen an den Wänden dazu. Der Reinigungsaufwand ist daher für das Badpersonal insbesondere in Folienbädern sehr hoch. Die Entwicklung technischer Reinigungsgeräte, die dem Badpersonal die Arbeit teilweise abnehmen und erleichtern, schreitet stetig voran. Aber auch die Geräte sind neben dem Kostenfaktor betreuungs- und wartungsintensiv. Es stellt sich daher die Frage, ob es nicht Möglichkeiten gibt, die Entwicklung des Aufwuchses auf andere, naturbadverträgliche Weisen zu unterbinden. Im Rahmen eines durch ABS geförderten Forschungsprojektes (KLS Gewässerschutz GmbH & Polyplan-Kreikenbaum Gruppe GmbH) wurde daher in einem ersten Schritt die **Zusammensetzung eines solchen Folienaufwuchses** in einem Naturfreibad mit hoher Umwälzleistung (Wasseraustausch ca. 4 ml pro Tag) während des laufenden Betriebes in der Badesaison 2022 mikroskopisch untersucht. Für den Aufwuchsversuch wurden zwei Folienstücke an geeigneten Stellen im Bad exponiert. Es wurde Folie verwendet, mit der auch die Becken ausgekleidet sind. Dabei handelte es sich um eine FPO-Folie (Flexibles PolyOlefin). Eine Folie wurde

regelmäßig wie auch im üblichen Betrieb gereinigt (GF = Gereinigte Folie), die zweite Folie wurde nicht gereinigt (NGF = Nicht Gereinigte Folie). Einmal im Monat, von Mai bis September, wurde aus jeder Folie ein Stück rausgeschnitten und in einer Konservierungslösung zur mikroskopischen Analyse an KLS Gewässerschutz geschickt. Der Folienaufwuchs wurde qualitativ und quantitativ ausgewertet.

Folienaufwuchs im Jahresverlauf

Der Folienaufwuchs nahm im Laufe der Saison sowohl auf den nicht gereinigten Folien (NGF) als auch auf den gereinigten Folien (GF) zu. Die folgenden Abbildungen sind Fotobeispiele beider Folien (gereinigt und nicht gereinigt) aus den Monaten Juni und September. Mit bloßem Auge und bei geringer Vergrößerung im Binokular (ca. 10 - 50x) waren **drei verschiedene Beläge** auf den Folien zu erkennen: dunkelbraune Beläge bzw. Krusten, weiße Kalkausfällungen bzw. Krusten und olivgrüne Beläge. Zudem wuchsen fädige Algen (grüne und weiße) auf den Folien auf, die senkrecht nach oben ragten oder in Bündeln der Folie auflagen. Vereinzelt siedelten sich auch Chironomidenlarven (Zuckmückenlarven), Schnecken und Schneckenlaich an.

Folien im Juni 2022

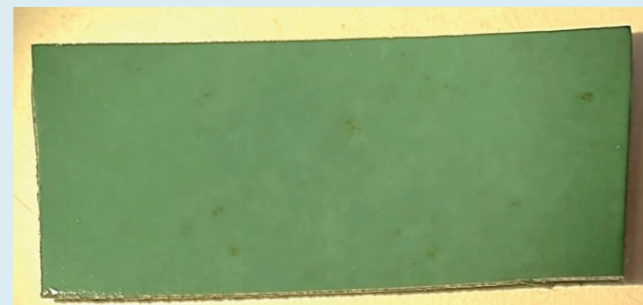


Abbildung 2: 14.06.2022: Folie gereinigt (GF): links: Originalansicht - Alle Fotos: KLS

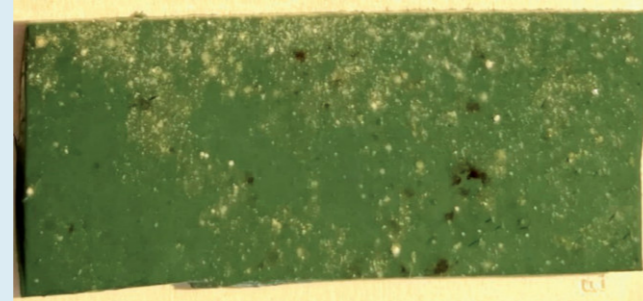


Abbildung 3: 14.06.2022: Folie nicht gereinigt (NGF): links: Originalansicht

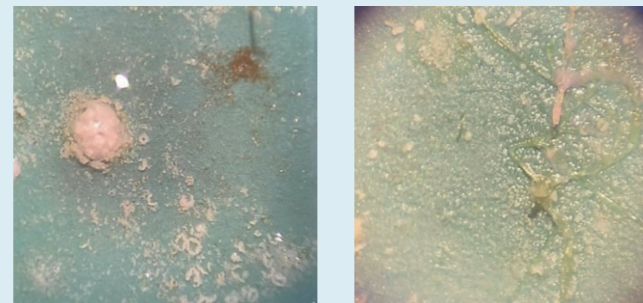


Abbildung 4: 14.06.2022: Folie nicht gereinigt (NGF): Beläge aus Kalkausfällungen, braunen Krusten und grünen (alle drei Lupenansichten ca. 45x Vergrößerung)

Vorkommende Algenarten und Biomassen

In den Aufwuchsproben der gereinigten und nicht gereinigten Folien wurden benthische Arten aus den Gruppen der **Blaualgen, Kieselalgen, Grünalgen, Zier- und Jochalgen sowie Gelbgrünalgen** gefunden (s. Tabelle 1). Hierbei dominierten Algen,

Blaualgen (Cyanophyceae)	Kieselalgen (Bacillariophyceae)	Grünalgen (Chlorophyceae)
unbestimmte Chroococcales (einzeln)	Achnanthes sp.	Lager fädiger Grünalgen, Zellen polygon, in Reihen (vermutlich überwiegend Coleochaete sp.)
Clastidium setigerum	Cocconeis sp.	cf. Klebsormidium sp.
Lager unbestimmter Chroococcales (braun, olivgrün, goldgelb)	Cymbella sp.	cf. Cladophora sp. / Rhizoclonium sp.
Calothrix sp. (grün, olivgrün)	Diatoma sp.	Ulothrix sp.
Blaualgen-Lager mit Fäden (ev. Homoeothrix od. junge Calothrix)	Fragilaria sp., Fragilaria crotonensis	Oedogonium sp.
Komphophonon schmidlei	Gomphonema sp.	Stigeoclonium sp.
Pseudanabaena catenata	Nitzschia intermedia	
Nostoc sp. ("Gelkugeln")	Rhoicosphaenia sp.	
Zieralgen und Jochalgen (Conjugatophyceae)	Gelbgrünalgen (Xanthophyceae)	Unbestimmte
Cosmarium sp.	Tribonema sp.	Spore groß (10 - 15 µm)
Spirogyra sp.		Spore klein (5 - 10 µm)
Zygnema sp.		braune Spore
Mougeotia sp.		

Tabelle 1: Auf den Folien vorgefundene und gezählte Aufwuchsarten bzw. -gruppen. (Anmerkung: Klebsormidium gehört nach neuester Systematik zu den Klebsormidiophyceae und nicht Chlorophyceae)

Folien im September 2022

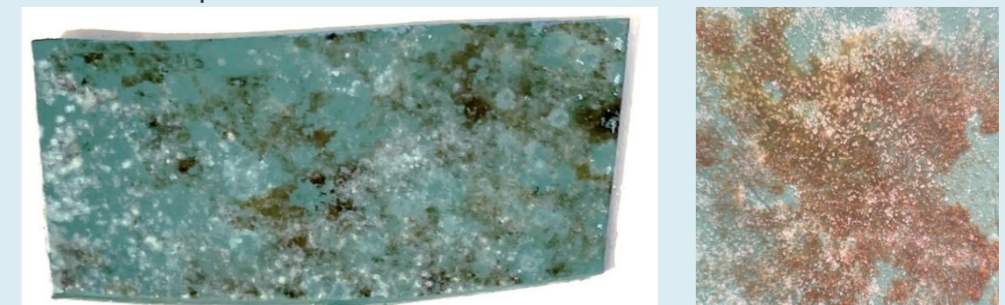


Abbildung 5: 13.09.2022: Folie gereinigt (GF): links: Originalansicht - rechts: Lupenansicht (ca. 35x Vergrößerung). Beläge aus braunen Krusten und Kalkausfällungen

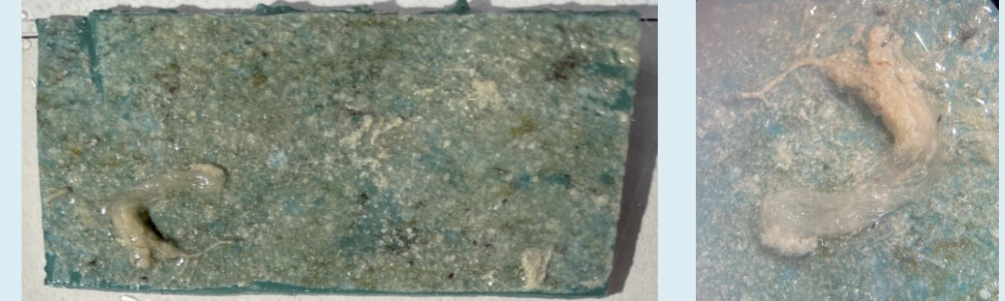
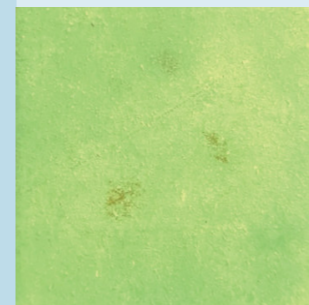
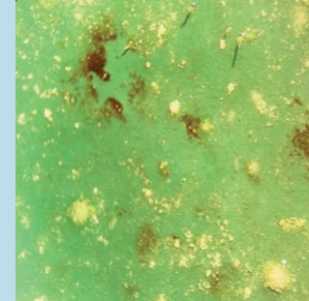


Abbildung 6: 13.09.2022: Folie nicht gereinigt (NGF): links: Originalansicht - rechts: Lupenansicht (ca. 45x Vergrößerung) - Alle Fotos: KLS



rechts: Lupenansicht (ca. 15x Vergrößerung)



rechts: Lupenansicht (ca. 15x Vergrößerung)



Fadenalgen, vereinzelt auch Chironomidenlarven

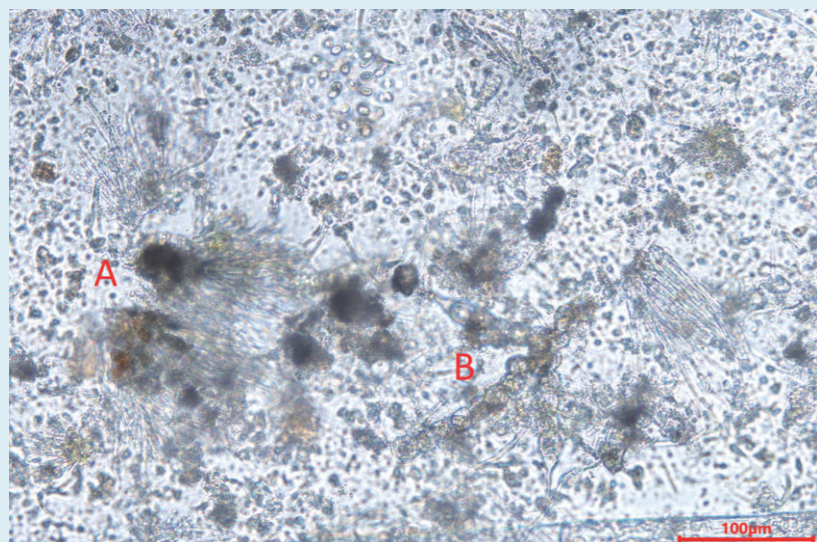


Abbildung 7: „Typisches“ mikroskopisches Bild der Aufwuchsgemeinschaft. Bei den „Haarbüscheln“ (A) handelt es sich um Filament-bildende Blaualgen, die aus Lagern aufwachsen und z.T. mit Kalziumcarbonat inkrustiert sind. Bei der „Zellkette mit ausgezogenen Haaren“ (B) handelt es sich um eine fadenbildende Grünalge, die ebenfalls aus Lagern aufwächst und Kalk einlagern kann. Gereinigte Folie am 13.09.2022, Probe 1:2 verdünnt (lichtmikroskopische Aufnahme, ca. 200-fache Vergrößerung) - Alle Fotos: KLS

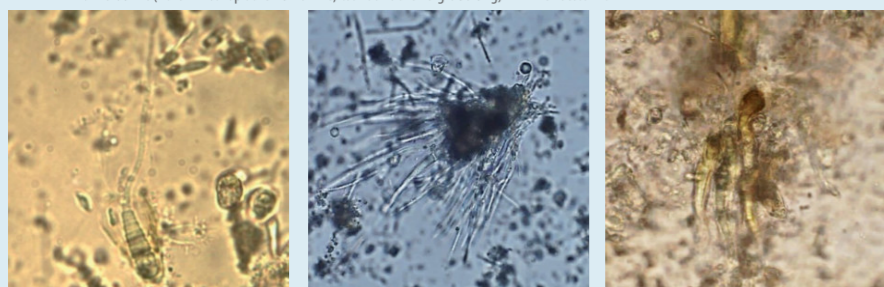


Abbildung 8: Blaualgen der Gattung *Calothrix* kamen ab Juni in jeder Probe der nicht gereinigten Folien vor (links: 14.06.; Mitte: 12.07.; rechts: 13.09.2022; lichtmikroskopische Aufnahmen, ca. 400-fache Vergrößerung)

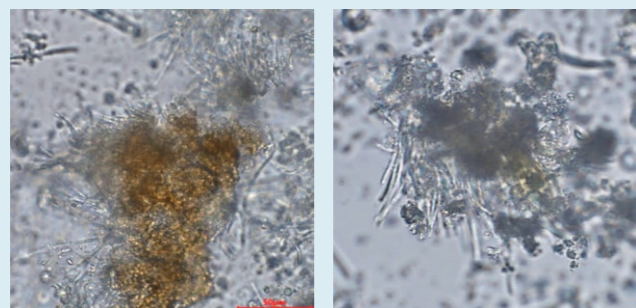


Abbildung 9: Blaualgen, vermutlich *Homoeothrix crustacea*, kamen ab Juni in jeder Probe vor (ca. 400-fache V.)

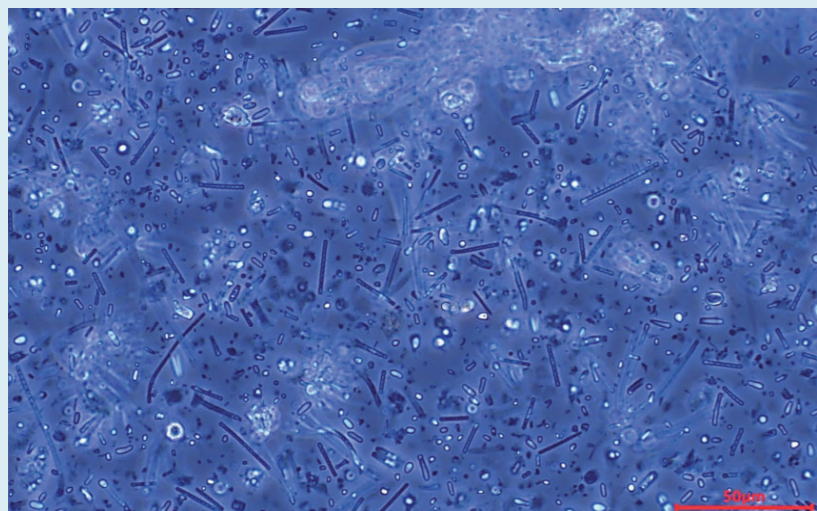


Abbildung 10: Unbestimmte Blaualgen: Hormogonale (Filament-Bildende) und Chroococcale (einzeln, rund-oval) GF, 12.07.2022; (ca. 400-fache Vergrößerung, Phasenkontrast)

Die **Gesamt-Biomasse** bzw. -Biovolumen der Algen war im Mai auf beiden Folien am geringsten und im Juli am höchsten (Abbildung 14). Grundsätzlich war die Besiedlungsdichte auf den nicht gereinigten Folien deutlich höher, ab Juli wies aber auch die gereinigte Folie stärkeren Bewuchs auf. Die optische Einschätzung der Besiedlungsdichte der Folien per bloßem Auge wich von der tatsächlichen, im Mikroskop ermittelten Menge der Biomasse (= Biovolumen) lebender Algen ab. Die Gesamtbiomasse reichte auf der gereinigten Folie (GF) von 0,002 bis 0,17 mm³/cm² und auf der nicht gereinigten Folie (NGF) von 0,06 bis 0,27 mm³/cm². Den größten **Anteil an der Gesamtbiomasse** des benthischen Aufwuchses hatten je nach Monat die **Grünalgen, Zier- und Jochalgen oder die Blaualgen**. Kieselalgen und Gelbgrünalgen kamen nur in geringen Mengen oder gar nicht vor.

Ab Juni fand auf den gereinigten und insbesondere nicht gereinigten Folien eine zunehmende **Kalkausfällung** statt. Die Härte des Becken-, Rein- und Füllwassers im Naturfreibad ist mit Werten zwischen 1,4 und 2,0 mmol/L als „weich“ bis „mittel“ einzustufen. Die starken Kalkausfällungen sind demnach nicht auf eine besonders hohe Härte des Wassers zurückzuführen, sondern vielmehr auf die biogene Entkalkung durch die Aufwuchsalgen.

Die Kalkkristalle kamen einzeln, aber überwiegend als Anhäufungen in und um die Zelllager der Blau- und Grünalgen vor. Die Grünalgengattung *Coleochaete* und die Blaualgenart *Homoeothrix crustacea* sind dafür bekannt, Lager oder Zellwände auszubilden, die stark mit Kalk inkrustiert sind. Ab Juli war die nicht gereinigte Folie nahezu flächendeckend mit weißen Kalkausfällung bedeckt, die an Mächtigkeit zum September hin noch zunahm. Einer groben optischen Einschätzung nach waren am Ende der Saison (September) auf der nicht gereinigten Folie ca. 60-70 % des Belages Kalk, die übrigen 30 – 40 % Bewuchs gewesen.

Viele der vorgefundenen Arten indizieren ein oligotrophes, organisch nicht belastetes Gewässer, was auf das Naturfreibad auch zutrifft. Das Vorkommen strömungsliebender Arten auf den Folien weist zudem auf eine erhöhte Strömung hin. Da die Folien in unmittelbarer Nähe einer Einströmdüse und eines Skimmerabzuges befestigt waren, ist

tatsächlich von einer relativ hohen Strömung in diesem Bereich auszugehen. Die erhöhte Strömung in diesem Bereich fördert vermutlich das Wachstum der benthischen Lebensgemeinschaften bzw. Biofilme („eutrophierende Wirkung der Strömung“). Eine erhöhte Fließgeschwindigkeit führt zu einer Verringerung der an Nährstoffen verarmten Grenzschicht. Damit verbunden ist eine Verkürzung der Diffusionswege und eine verbesserte Versorgung der Organismen mit Nährstoffen. Dieses Phänomen könnte eine Erklärung dafür sein, dass trotz der oligotrophen Verhältnisse im Wasserkörper des Bades, festsitzende Algenbeläge u.a. Biofilme sich ausreichend mit Nahrung versorgen und entsprechend hohe Biomassen ausbilden können.

Blaualgen sind Bakterien, die zur Photosynthese fähig sind, deshalb gehören sie streng genommen nicht zur Gruppe der Algen, sondern zur Gruppe der Cyanobakterien. Cyanobakterien sind in der Lage, unter bestimmten Umständen Toxine zu bilden.

Das häufige Vorkommen von Blaualgen bzw. Cyanobakterien in den benthischen Aufwüchsen im Naturfreibad ist bei den vorhandenen Biomassen von maximal 0,06 mm³/L als unbedenklich zu bewerten. Erst ab Cyanobakterien-Biovolumina >1 mm³/L ist nach den „Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterien-Toxinen“ vom Umweltbundesamt eine „erhöhte Aufmerksamkeit“ gefordert. [KLS]

Literatur: UBA – UMWELTBUNDESAMT (2015): Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterien-Toxinen Bundesgesundheitsblatt 2015 – 58:908-920

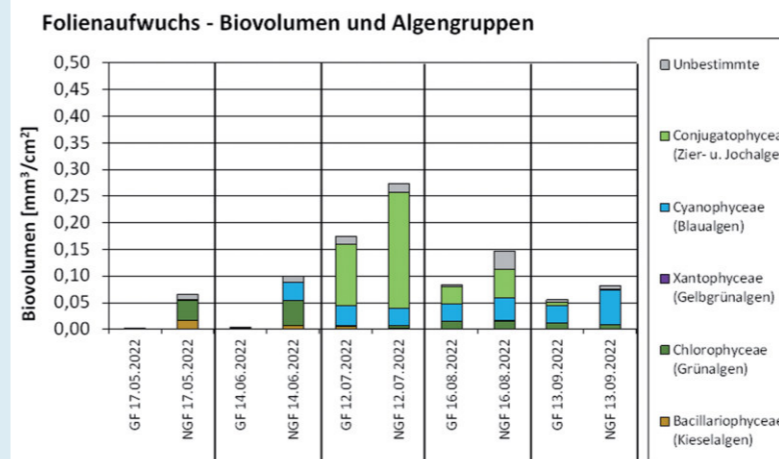


Abbildung 14: Biomassen bzw. Biovolumen (mm³/cm²) benthischer Algen auf der gereinigten (GF) und nicht gereinigten Folie (NGF)



Abbildung 11: Kieselalgen-Kette der Gattung *Diatoma*, umgeben v. zahlreichen chroococcalen & hormogonalen Blaualgen (GF, 12.07.22; ca. 400-fach)

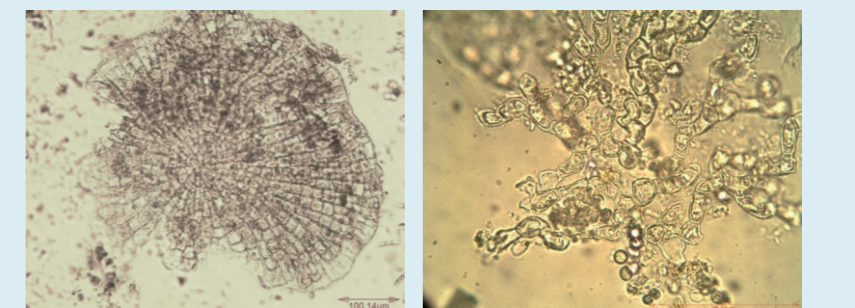


Abbildung 12: Lager der Grünalge *Coleochaete* (links: NGF, 17.05., 125-fache Vergrößerung; rechts: GF, 17.05., ca. 500-fache Vergr.)

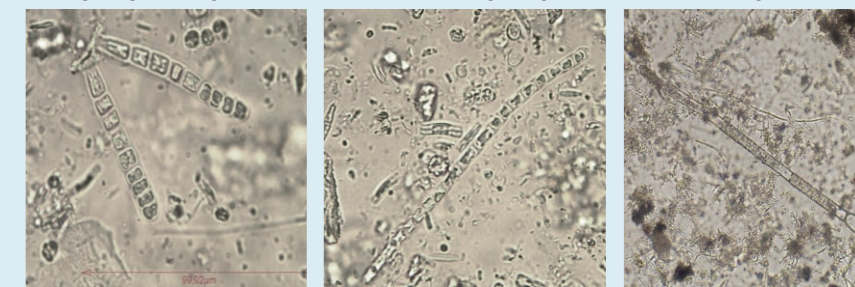


Abbildung 13: Fadenalgen aus verschiedenen Gruppen der Grünalgen: links: *Ulothrix* sp. (NGF 17.05., 500x), Mitte: cf. *Klebsormidium* (NGF 17.05., 500x), rechts: *Oedogonium* sp. (GF 16.08., 200x)

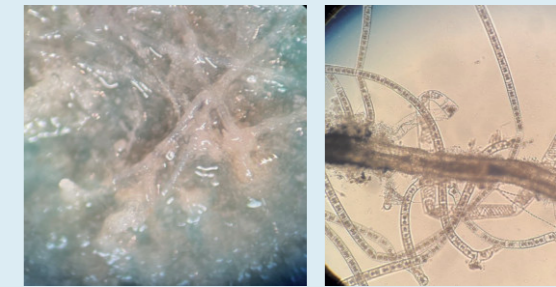


Abb. 14: Fädige Jochalgen: *Spirogyra* sp. & *Zygnema* sp. auf abgestorbenen Fadenalgen der Gattung