

Handbuch zur Wasseraufbereitung in Schwimmbädern und Eliminierung von Chlorreaktionsprodukten



Keine Augenschmerzen und sauberes, klares Wasser - so sollte jeder Pool sein, ein sicherer Ort zum spielen und üben.

Vorteile von AFM

- 80% tieferer Chlorverbrauch
- Kontrolle von Kryptosporidien
- Reduziert die Anzahl an Bakterien
- Filtriert Feststoffe bis zu 1 Mikrometer
- Tiefer Gehalt an THMs
- Reduziert oder eliminiert Trichloramin
- Tiefere Unterhaltskosten
- 100% umweltverträglich

Anwendungsgebiete für AFM

- Trinkwasser
- Dritte Reinigungsstufe bei der Abwasseraufbereitung
- Industrieabwässer und Grauwasserrückführung
- Schwimmbäder
- Entsalzung
- Kühltürme
- Öffentliche Aquarien

BEHNCKE GmbH

Michael-Haslbeck Str. 13
D-85640 Putzbrunn
Fon: +49 (0) 89 456917-0
Fax: +49 (0) 89 4685-11
info@behncke.com
www.behncke.com

Dryden Aqua Ltd

Dr. Howard Dryden
Butlerfield | Bonnyrigg
Edinburgh EH19 3KQ
Scotland UK
Fon: +44 (0) 18758 22 222
Fax: +44 (0) 18748 22 229
www.AFM.eu

AFM ist ein eingetragenes
Warenzeichen und patentgeschützt



Wasserfiltration in Schwimmbädern und Whirlpools

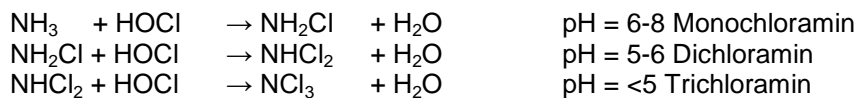
In den vergangenen Jahren gab es viele Untersuchungen über Trichloramin und dessen möglichen Auswirkung als Vorläufer von Asthma bei Kindern oder Angestellten in Schwimmbädern, Whirlpools und Sportzentren. Bisher wurde aber nichts oder nur wenig publiziert, warum Trichloramin entsteht und wie dessen Produktion vermindert werden kann.

Neben Trichloramin spielen auch THMs (u.a. Chloroform) als krebserregende Chemikalie eine bedeutende Rolle. Sie haben die Fähigkeit, via Lunge rasch in den Blutkreislauf zu gelangen. Deshalb wird vorgeschlagen, eine UV-Desinfektion und Ozon einzusetzen, um dieses Problem zu lösen.

Schwimmen ist etwas Erfreuliches, solange die Wasserqualität und die Luftqualität über der Wasseroberfläche nicht gesundheitsschädlich sind. Dieser Artikel befasst sich mit der Entstehung von Chlorreaktionsprodukten und erstmals mit dem Mechanismus der Produktion und stellt eine mögliche Lösung des Problems vor. In der Tat ist dieser Ansatz wegweisend für die gesamte Schwimmbadindustrie.

Trichloramin und Bakterien

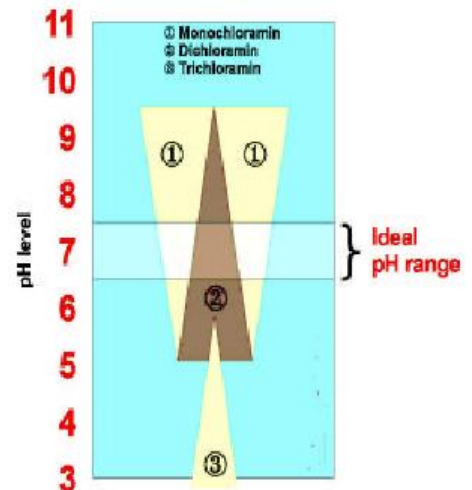
Chloramine entstehen durch eine Reaktion im Wasser zwischen Chlor und Ammoniak (NH₃) und ähnlichen Verbindungen wie Harnstoff ((NH₂)₂CO). Die deutsche DIN Norm 19643 beschreibt die Bildung von Chloraminen als eine pH-Wert abhängige Funktion basierend auf folgenden Reaktionsgleichungen:



Die Höhe des Gehalts an gebundenem Chlor entspricht ungefähr 1.4 Mal dem Gehalt an DPD2 (Monochloramin und Dichloramin). Falls der Gehalt an gebundenem Chlor tiefer liegt als die Messwerte von DPD3, man kein Trichloramin riechen kann und die Badegäste keine schmerzenden Augen haben, so deutet dies auf einen hohen Gehalt an organischen Stoffen wie Tenside im Wasser hin. Jede Zugabe von Tensiden ins Wasser wird einen Einfluss haben, auch wenn es nur 5 ml in einem 50 m grossen Schwimmbad sind. Deshalb sollte man die Koagulation und Flockung stets überprüfen und gegebenenfalls verbessern.

Der zweite Grund für einen hohen Gehalt an gebundenem Chlor kann eintreten, wenn zu hohe Konzentrationen von freiem Chlor verwendet werden. Das Chlor wird organische Stoffe im Filterbett oxidieren, was wiederum hohe Werte an DPD3 hervorruft. Deswegen ist es dringend notwendig, Chlor oder ein anderes Oxidationsmittel erst nach dem Filter beizugeben. Die Lösung dafür ist es, den Ort der Zugabe zu ändern, den Chlorgehalt zu reduzieren und die Rückspülleitung und Häufigkeit zu verbessern.

Einen hohen Gehalt an gebundenem Chlor, der Geschmack von Trichloramin, sowie Augenreizungen bei Badegästen sind Anzeichen dafür, dass es ein Problem mit dem Wasserkreislauf gibt. Es wird im System entweder eine tote Zone mit vielen Bakterien und einem tiefen pH-Wert geben oder ein hoher Bakteriengehalt im Biofilm. Die wahrscheinlichste Quelle von Bakterien und Biofilmen sind der Sand im Sandfilter, Aktivkohlenfilter oder eine Todezone im Rohrsystem oder Wasserkreislauf.



Gemäss den Reaktionsgleichungen entsteht Trichloramin erst bei pH-Werten von unter 5,0. In einem ordentlich aufbereiteten Schwimmbad liegt der pH-Wert aber zwischen 6,8 und 7,6. Warum kann sich denn trotzdem Di- und Trichloramin bilden? Trichloramin kann sich sicherlich nicht direkt im Wasser bilden, da der pH-Wert zu hoch ist. Aber jede Oberfläche welche im Kontakt mit dem Schwimmbadwasser steht hat einen dünnen Biofilm, in welchem ein saurer pH-Wert herrscht. Trichloramin wird in diesem sauren Biofilm gebildet. Je dicker dieser Biofilm, desto höher ist die Bildung von Trichloramin.

Die mit Abstand größte Oberfläche in einer Whirlpool- oder Schwimmbadaufbereitung hat der Sandfilter. Jeder Kubikmeter Sand weist eine Oberfläche von ca. 3'000m² auf. Seit vielen Jahren ist bekannt, dass Sand ein ausgezeichneter Nährboden für das Wachstum von Bakterien ist. Frisch gefüllter Sand wird innerhalb von nur wenigen Tagen von einer Vielzahl von Bakterien befallen. Die Bakterien scheiden dabei ein so genanntes „Alginate“, eine Art Schleim, aus um sich gegen die oxidierende Wirkung von Chlor zu schützen. Diese „Anbindung“ kann schon innerhalb von nur 30 Sekunden eintreten. Der in den meisten Schwimmbädern und Whirlpools verwendete Chlorgehalt reicht nicht aus, um das Wachstum dieser durch Alginate geschützten Bakterien auf dem Sand oder auf anderen Oberflächen zu beeinträchtigen.

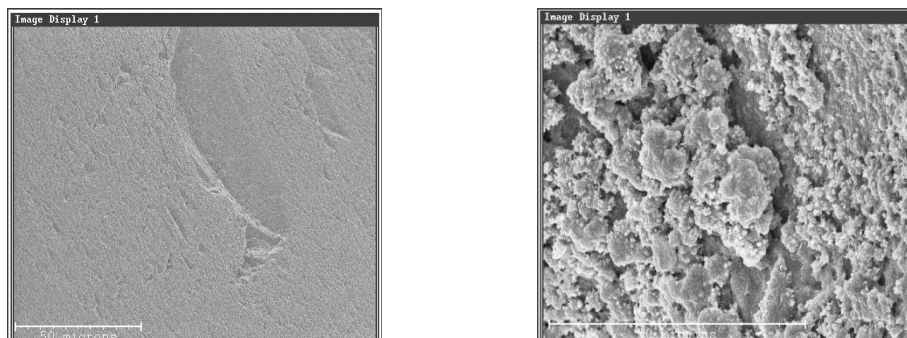


Abb 1. Frischer Sand ohne Bakterien (links) sowie Sand, der nach wenigen Tagen bereits eine fast vollständige Verkeimung durch Bakterien zeigt (rechts).

Abb. 1 zeigt, wie reiner Sand bereits nach wenigen Tagen fast vollständig von Bakterien befallen ist. Diese Bakterien-schicht entsteht sowohl auf Sand als auch auf anderen Oberflächen im Schwimmbad. Mit fortschreitender Entwicklung wird der Biofilm dicker und stabiler. Das führt letztendlich dazu, dass die von den Bakterien ausgeschiedenen Alginat die Sandkörner miteinander verkleben lässt. Es bilden sich Kanäle durch die Sandschicht und dies führt zu einer schlechten Filtration. Dieser Prozess benötigt in der Regel etwa ein bis zwei Jahre. In stark belasteten Systemen wie Whirlpools, wo den Bakterien viel organisches Material als Nahrungsquelle zur Verfügung steht, kann dies bereits schon nach einigen Monaten eintreten.

Die Ausfällung und das Verkleben des Sandes führen zu einer Kanalbildung im Filterbett. Dies kann in jedem Filter auftreten. Dieser Leim bezeichnet man gerne als Körperfett. Diese Bezeichnung ist aber falsch, weil dieses Material bakterielle Biomasse und von Bakterien ausgeschiedene polysaccharide Alginat sind. Dies ist deshalb relevant, weil der Sandfilter der einzige Mechanismus ist, welcher die Ausbreitung von Kryptosporidien unterbinden kann. Weist der Sandfilter aber Kanäle durch das Filterbett auf, so können die Kryptosporidien den Filter ungehindert passieren.

Je dicker der Biofilm wird, desto tiefer sinkt der pH-Wert innerhalb dieses Biofilms, was wiederum zu einer verstärkten Bildung von Di- und Trichloramin führt. Es besteht eine positive Korrelation zwischen der Beckenbelastung, der Menge an organischem Material, der Grösse des Biofilms und der Bildung von Trichloramin. Gute Hygiene, die richtige Ausstattung und Auslegung der Wasseraufbereitung sowie die Betriebsweise; alle diese Faktoren spielen eine wichtige Rolle. Die durch Bakterien gebildete Biomasse im Sandfilter kann bis zu 5% des gesamten Sandgewichts ausmachen.

Die *Health Protection Agency 2004* berichtete, dass bei 88 Anlagen und 23 Whirlpools Legionellen festgestellt wurden. Sechzehn davon haben die üblichen mikrobiologischen Parameter nicht überschritten. Bakterien können also in grossen Mengen vorkommen, auch wenn mikrobiologische Tests und Sicherheitsprüfungen befriedigend ausfallen.

Chlor zeigt nur eine geringe Wirkung solange Bakterien durch Biofilm geschützt sind. Chlor kann diejenigen Bakterien oxidieren, welche aus dem Filter gespült werden. Nach dem Rückspülen des Filters können etwa für eine Stunde lebensfähige Bakterien ins Schwimmbad gelangen. Gelegentlich können Filter auch instabil werden, was einen hohen Ausstoss von Bakterien zur Folge hat. Dies zeigt sich in der Trübung des Wassers. In Abhängigkeit der Belastung des Filters kann dies alle paar Wochen oder Monate geschehen. Chlor kann die meisten Bakterien im Wasser innert 30 Sekunden abtöten. Bei Bakterienflocken einer Grösse von 50 bis 100 Mikrometer dauert es deutlich länger, diese zu oxidieren.

Viele Probleme in der Wasserqualität kann auf den im Sand gebildeten Biofilm zurückgeführt werden. Ein richtig ausgelegter Sandfilter, mit dem entsprechenden Spülprozess und der richtigen Anwendung wird gut funktionieren. Trotzdem stellt der Sand immer ein gewisses Risiko dar, weil Sand ein hervorragender Lebensraum für Bakterien ist. Bei Dryden Aqua benutzen wir fluidisierte Sandbette als biologische Filter (Kultivierung von erwünschten Bakterien) in der Aufbereitung von Abwasser. Daher können wir kategorisch feststellen, dass selbst die gründlichste Rückspülung von Sand nicht alle Bakterien entfernt und somit ein Sandfilter immer auch eine Quelle für die Produktion von Trichloramin ist.

AFM, ein Aktives Filter Medium

Als Alternative zu Sand entwickelte Dryden Aqua **AFM** (Active Filter Media = Aktives Filtermaterial). Das Material wirkt der Entwicklung von Bakterienkolonien aktiv entgegen, so dass die durchschnittliche Verkeimung eine Millionen Mal geringer ist als bei einem vergleichbaren Sandfilter. Der Einsatz von AFM bewirkt einen enormen Unterschied in der Wasserqualität und bei der Bildung von Trichloramin. **Das ist aber noch lange nicht alles.**

Flockung und Nahrung für Bakterien

Bakterien wachsen in Wasser, welches mehr als 25°C warm ist, mit einer enormen Geschwindigkeit. Die Population verdoppelt sich etwa alle 60 Minuten. Das bedeutet, dass ein einzelnes Bakterium innerhalb von 24 Stunden auf 8 Millionen anwachsen kann, und nach 48 Stunden eine Biomasse von 140 kg entstehen könnte. Offensichtlich passiert dies bei Schwimmbädern nicht, da das Wachstum durch die knappe Nahrungsversorgung limitiert ist. Es erklärt jedoch, warum in Bädern mit hohen Besucherzahlen sowie in Whirlpools bereits nach einigen Monaten Probleme mit den Sandfiltern auftreten können.

Wenn das Nahrungsangebot reduziert wird, kann das Bakterienwachstum verlangsamt werden. Daher ist es wichtig, dass sich Besucher vor dem Baden gründlich duschen. In einigen Ländern sollte auch das Leitungswasser gefiltert werden, um Phosphate und organische Bestandteile zu entfernen. Auf keinen Fall sollten Tenside oder Detergentien ins Schwimmbad gelangen.

Die Leistung des Filters sollte so gut wie möglich optimiert werden, um ein Maximum an organischem Material zu entfernen. Dies kann durch effiziente Koagulation und Flockung erreicht werden. Dadurch können feinste Feststoffe und sogar gelöste Stoffe ausfiltriert werden. In Schwimmbädern wird dabei ein PAC-Flockmittel oder ein entsprechendes Equivalent verwendet. Ein gezielter Einsatz von Koagulation und Flockung reduziert die Nährstoffe für Bakterien. Dies verlangsamt die Vermehrung der Bakterien und verringert die Bildung von Trichloramin.

NoPhos – Kontrolle der Nährstoffe

Es können nie alle Bakterien entfernt werden, unabhängig von der Art des Filtermediums und/oder der Wirksamkeit der Rückspülung. Es ist auch bekannt, dass bei der uns üblichen Konzentration, Chlor nicht in der Lage ist, die durch Biofilm geschützten Bakterien – im Sand, in den Leitungsrohren oder an den Fliesen - zu oxidieren.

Bei Dryden Aqua sind wir Biologen: Seit vielen Jahren kontrollieren wir Bakterienkulturen in Aquarien und Fischfarmen, nicht indem wir versuchen die Bakterien abzutöten, sondern durch den Entzug ihrer Nahrungsgrundlage. Wenn diese Nährstoffe dem Wasser entzogen werden, hört Wachstum der Bakterien auf.

Dryden Aqua hat ein Produkt namens NoPhos entwickelt. Dies entzieht dem Wasser Phosphat und Spurenminerale und verwandelt diese in einen unlöslichen Niederschlag, der dann vom Filter ausfiltriert wird. Die Ladung von NoPhos ist positiv und die Ladung von AFM negativ. Dies ist der Grund, warum diese Produkte so gut miteinander funktionieren. Durch den Einsatz von NoPhos wird nicht nur das Wachstum der Algen gestoppt, sondern auch die Wachstumsrate der Bakterien verlangsamt. Es ist also wichtig, dass mit Hilfe von NoPhos dem Wasser sämtliches Phosphat entzogen wird.

Die Kombination von AFM zur Vermeidung des Biofilms im Filter, einem Flockungsmittel zum Entzug Nahrungsquelle und Nophos für den Entzug der Nährstoffe, bewirkt, dass Bakterienkulturen nahezu verschwinden. Durch die Reduktion der Bakterien wird der saure Biofilm verhindert und somit letztendlich die Bildung von Trichloramin unterbunden oder mindestens stark reduziert.

Chlordioxid hat zu einem bestimmten Grad dieselbe Wirkung wie NoPhos. Es ist nicht ein so starkes Oxidationsmittel wie Hypochlorit. Weil Chlordioxid gasförmig und fettlöslich ist, wird es in den Biofilm diffundieren und die Bakterien von innen her abtöten. Hypochlorit ist nicht fettlöslich und muss die Bakterien von aussen her abtöten. Dies funktioniert für einzelne Bakterien hervorragend. Jedoch wenn man ganze Bakterienkolonien oder einen Biofilm auf einer Oberfläche vorfindet, schützt das Alginat die Bakterien vor einer Oxidation. Tatsächlich könnte man für die Verwendung von Hypochlorit werben, um beispielsweise Pseudomonas zu bekämpfen. Dies sind Bakterien, welche ungeheure Mengen an oligosacchariden Alginaten produzieren können. Das Alginat hat eine beschützende Funktion für eine Vielzahl von anderen Organismen und Bakterien.

Chlordioxid ist sehr effektiv gegen Biofilme und könnte eine nützliche Rolle für die Schwimmbadindustrie spielen. Jedoch würde das Problem auftreten, dass Chlordioxid fettlöslich ist und dadurch durch die Haut der Badegäste diffundieren kann und dadurch direkt in den Blutkreislauf gelangt – dies wäre gesundheitsgefährdend. In Trinkwasser spielt dies keine Rolle, weil das Chlordioxid mit anderen organischen Stoffen im Darm verbunden ist. Chlordioxid wird unabhängig von dessen Form in die Haut eindringen, wenn es auch in der Lage ist, Bakterien abzutöten. Es konnte keinen Bericht gefunden werden, welche diese Aussage unterstreicht, erwidert oder das Risiko einschätzt. Wie dem auch sei, die chemischen Eigenschaften und das biologische Potential von Chlordioxid können nicht verändert werden.

Der erste Schritt ist demnach, mithilfe von NoPhos so viele Bakterien wie möglich zu entfernen. Die Aufbereitung eines Schwimmbads nach dem hier vorgestellten Muster verbessert erheblich die Qualität des Wassers. Der Chlorverbrauch wird reduziert und der Chemiehaushalt des Wassers wird stabiler. Insgesamt lässt sich die Anlage besser steuern und verwalten.

Optimierung der Filterleistung

Obwohl dank AFM die Verkeimung innerhalb des Filterbetts reduziert wird, können Bakterien auch auf Feststoffen wachsen, welche sich auf oder im Filterbett befinden. Daher ist es wichtig, dass die Filter regelmässig rückgespült werden, auch wenn der **Differenzdruckunterschied** eine Rückspülung noch nicht als erforderlich erscheinen lässt. Bereits nach nur einer Woche wird die Wasserqualität durch die zurückgehaltenen Stoffe beeinträchtigt. Deshalb sollten die Filter einmal pro Woche rückgespült werden, keinesfalls aber weniger als alle zwei Wochen.

Die Filtrationsleistung aller Filter, sei es AFM, Sand oder andere Filtermaterialien, verhält sich umgekehrt-proportional mit der Filtrationsgeschwindigkeit. Je langsamer der Durchfluss, desto besser die Filtrationsleistung. Die ideale Filtrationsgeschwindigkeit bei Schwimmbädern (Umwälzung m^3/h / Filterfläche m^2 = Filtergeschwindigkeit m/h) würde bei 15 m/h und tiefer liegen. Es ist aber genauso wichtig, sicher zu stellen, dass alle angesammelten Feststoffe durch die Rückspülung entfernt werden. Alle im Filter verbleibenden Feststoffe dienen Bakterien als Nährstoffe und steigern den Gehalt an Trichloramin.

Eine gute Rückspülung sieht wie folgt aus: Rückspülung des Filters mit Luft (Spülgeschwindigkeit 70 und 90 m/h) während ca. 5 Minuten. Die eigentliche Rückspülung (Wasserspülung) sollte mit einer Rate erfolgen, die das Filterbett um mindestens 15% ausdehnt - fluidisiert. Bei der Nutzung von AFM oder Sand werden dafür Spülgeschwindigkeiten von 40 bis 45 m/h benötigt.

Leider werden in Europa nur in wenigen Schwimmbädern die Filter nach diesem Prozess rückgespült. Dies ist bedauerlich, da es einen enormen Einfluss auf die Wasserqualität hat.

Filterkonfiguration: Horizontal oder Vertikal?

Quarzsand oder AFM werden in horizontalen und vertikalen Filtern verwendet. Horizontale Filter bieten den Vorteil, preislich interessanter zu sein im Bezug auf die Oberfläche des Filterbetts. In den meisten Fällen können horizontale Filter übereinander gestapelt werden, um die Raumgrösse optimal zu nutzen.



Allerdings ist die Filterbetthöhe nicht überall gleich hoch im Filter. Die Distanz, welche das Wasser beim Durchlaufen des Filters zurücklegt, ist bei den Rändern länger als in der Mitte. Das Wasser wird die Strecke mit dem geringsten Widerstand auswählen. Dies führt dazu, dass mehr Wasser durch die Mitte strömt als durch den äusseren Bereich. Ebenfall bei einer Rückspülung wird mehr Wasser durch die Mitte geströmt. Organische Stoffe an den Rändern werden von Bakterien gefressen.

Die Bakterien sondern ein Alginat ab, welches den Sand an den Rändern miteinander verkleben lässt. Von aussen gesehen scheint der Filter zu funktionieren, jedoch wird nur ein kleiner Teil des Filterbetts durchströmt und das Wasser durch die Mitte gepresst.

Beim Öffnen der Filterhaube sollte das Filtermedium überall ungefähr gleich hoch sein, nicht verklumpt und keine Löcher aufweisen. Falls aber eines davon auftritt, so ist dies ein Anzeichen dafür, dass der Filter nicht funktioniert.

Die meisten horizontalen Filter weisen nach sechsmonatigem Gebrauch bereits Kanäle durch das Filterbett auf. Deshalb wird angeraten, nur vertikale Filter für Sand oder AFM zu verwenden. Bei Anlagen mit horizontalen Sandfiltern können beim Wechsel auf AFM große Veränderungen festgestellt werden, weil das AFM nicht zur Verklumpung und Kanalbildung tendiert und dadurch die Möglichkeit grösser ist, in einem horizontalen Filter zu funktionieren.

Vertikale Filter beanspruchen mehr Platz und sind in der Regel teurer, doch für eine gute Wasserqualität und einen tieferen Verbrauch an Chlorreaktionsprodukten sollten nur vertikale Filter verwendet werden.

Bei Dryden Aqua wurden eigene Filter entwickelt, welche die Anforderungen der DIN erfüllen.

Kieselgur und Perilit

Kieselgur besitzt hervorragende Eigenschaften der mechanischen Filtration von Wasser, jedoch ist dessen Staub aufgrund der freien Kieselsäure stark toxisch. Man stuft Kieselgur als ungefähr gleich giftig ein wie Asbest. Perilit ist ein hergestelltes Produkt mit ähnlichen Eigenschaften wie Kieselgur, jedoch ohne freie Kieselsäure, wodurch der Staub nicht mehr so gefährlich ist. Dennoch ist jeder feine Staub gefährlich und auch bei der Verwendung von Perilit müssen stets Vorsichtsmassnahmen getroffen werden.

Kieselgur und Perilit wirken als mechanische Filter und werden die meisten Partikel bis zu einer Grösse von einem Mikrometer ausfiltrieren. Jedoch werden gelöste organische Stoffe nicht dem Wasser entzogen. Zur Oxidation von gelösten Bestandteilen werden bis zu 90 % des Chlors oder eines anderen Oxidationsmittel verbraucht. Deshalb können bei einem System mit Kieselgur oder Perilit zwei Szenarien eintreten:

1. Das System verbraucht zur Oxidation der organischen Stoffe grosse Mengen an Chlor und produziert dadurch eine hohe Konzentration an Chlorreaktionsprodukten.
2. Falls zuwenig Chlor zur Verfügung steht dienen nicht oxidierte organische Stoffe Bakterien als Nahrung. Dadurch steigt die Menge an Biofilm und Bakterien enorm.

Bei der Filtration mit Sand oder AFM werden Partikel einer Grösse von 15 bis 5 Mikrometer ausfiltriert. Zusätzlich verwendet man zur Flockung und Koagulation PAC-Produkte oder NoPhos. Mit guter Flockung und Koagulation werden kleinste Partikel bis zu einem Mikrometer dem Wasser entzogen. Zusätzlich werden dadurch grosse Mengen an organischen Stoffen in der Lösung direkt dem Wasser entzogen, wodurch der Verbrauch an Desinfektionsmitteln und die Bildung von Reaktionsprodukten um 80 %, teilweise sogar bis 90 % sinken.

Koagulation und Flockung können in einem System mit Kieselgur und Perilit nicht angewendet werden, weil ansonsten der Filter verstopfen würde. Deshalb wird empfohlen, dass Koagulation und Flockung nur bei Filtersystemen mit qualitativ guten Filtermedien eingesetzt werden.

UV-Strahlung in Schwimmbädern

UV-Strahler sind effizient für die Reduktion von kombiniertem Chlor und zur Abtötung von Bakterien. In öffentlichen Schwimmbädern wird freies Chlor die meisten Bakterien innert 30 Sekunden abtöten. Eine zusätzliche Desinfektion ist in öffentlichen Anlagen notwendig, um eine gegenseitige Ansteckung von Krankheiten unter den Badegästen zu verhindern. Demnach hat eine UV-Entkeimung primär die Funktion einer Kontrolle der Wasserqualität und nicht die Desinfektion.

Der Prozess funktioniert, weil die verwendete Wellenlänge von 254nm Proteine, wie beispielsweise die DNA von Bakterien, zerhackt. UV- Niederdruckstrahler haben eine Wellenlänge von ungefähr 254 Nanometer, jedoch werden häufiger Mitteldruckstrahler mit einem grösseren Lichtspektrum verwendet.

UV-Strahlung produziert seine Serie von stark reaktionsfähigen, freien Radikalen, welche die organischen Stoffe und Chloramine aufoxidieren. Bei einer Wellenlänge von über 254 Nanometer werden Chloramine aufgebrochen. Dadurch verstärkt sich die Intensität des UV-Lichtes und die Wellenlänge verkürzt sich. Dies führt dazu, dass organisches Material verkleinert wird und bei einer Wellenlänge von unter 200 Nanometer wird Chlor zu Chlorid reduziert. Die Verwendung eines UV-Strahlers erhöht demnach den Chlorverbrauch. Im Vergleich zu einen typischen Schwimmbad kann sich der Verbrauch an Chemikalien sogar verdoppeln.

Ein UV-Strahler wird die totale Konzentration von krebserregenden Chlorreaktionsprodukten reduzieren. Deshalb wird diese Technologie in der Wasseraufbereitung verwendet. Während der totale Gehalt an Desinfektionsnebenprodukte sinkt, steigt nach dem UV-Strahler der Gehalt an gasförmigen Nebenprodukten wie THMs. Weil in Schwimmbädern das Wasser von den Badegästen nicht getrunken, sondern die Luft über der Wasseroberfläche eingeatmet wird, ist der Gehalt an unerwünschten Reaktionsprodukten in der Luft viel wichtiger. Die höchste Konzentration von THMs findet man unmittelbar über der Wasseroberfläche. Dies trifft auch bei Aussenbecken und öffentlichen Schwimmbädern mit guter Belüftung ein. Die Universität von Montpellier berichtete 2005, dass „ die zusätzliche Entstehung von Chloroform und Bromdichlormethan den Anstieg von Aktivchlor und den radikalen Mechanismus durch UV-Strahlung erklären könnte.“

Ole Bisted vom Danish Technological Institute Depatement for Swimming Pool Technology berichtetet, dass im Zusammenhang mit UV-Licht immer auch ein Aktivkohlefilter verwendet werden sollte, um den Gehalt an THMs und gelösten organischen Stoffen zu reduzieren. Beim Gebrauch von Aktivkohle filtert man stets auch Chlor aus dem Wasser und im Aktivkohlefilter entsteht ein Biofilm, in welchem Trichloramin gebildet wird. Die einzige Möglichkeit, Aktivkohle zu verwenden wäre, wenn man das Filtermaterial jede bis jede zweite Woche wechseln würde, was sehr unpraktisch wäre. Man könnte dem System auch einfach pulverisierte Aktivkohle begeben, was aber leicht schief gehen kann.

UV-Strahlung wurde als umweltfreundliche Methode zur Desinfektion des Schwimmbadwassers angepriesen. Chlor ist effektiv für dessen Aufgabe und zusammen mit UV steigt der Verbrauch an Chlor. UV erhöht zudem den Gehalt an Trichloramin und dem krebserregenden THMs. Der Autor dieses Berichtes rät deshalb, UV-Strahler keinesfalls in öffentlichen Schwimmbädern einzusetzen. Es ist gefährlich und stellt ein Gesundheitsrisiko für die Besucher dar.

Ozon

Die Verwendung von Ozon ist gemäss der DIN in öffentlichen Schwimmbädern obligatorisch. Ozon hat insofern dieselbe Aufgabe wie UV-Strahler, die organischen Moleküle in kleinere Moleküle aufzuspalten. Zudem schreibt der DIN vor, nach der Anwendung von Ozon einen Aktivkohlefilter einzusetzen, um das THM-Problem zu beseitigen. Aktivkohle jedoch absorbiert freies Chlor und bildet Chloride. Dies führt zu einem erhöhten Verbrauch an Chlor, teilweise steigt er sogar bis zu 500 %. Zusätzlich entzieht Aktivkohle dem Wasser organische Stoffe, welche einen idealen Lebensraum für Bakterienkolonien bilden, was wiederum zu einer Bildung von Trichloramingas führt.

In Deutschland und anderen europäischen Schwimmbädern mit einem System von Ozon und Aktivkohle wird man einen hohen Gehalt an Trichloramin in der Atmosphäre vorfinden. Dies zeigt sich an der exzessiven Korrosion am Belüftungssystem und Bauteilen aus rostfreiem Stahl und Stahl an der Konstruktion. Jedes Jahr kommt es mindestens einmal in Europa vor, dass ein Dach einstürzt, weil die Träger von Trichloramin stark angegriffen wurden.

Bereits tiefe Konzentrationen von Trichloramin begünstigen Lungeninfektionen, greifen bei Kindern einen Schutzfilm in der Lunge an und führen dadurch zu allergischen Reaktionen, woraus sich später Asthma entwickeln kann. Es ist unwahrscheinlich, dass die Gefahr für die öffentliche Gesundheit durch Trichloramin erduldet wird, wie dies beispielsweise Jahrzehnte lang beim Rauchen oder Asbest der Fall war. Auf jeden Fall sollte nicht ein System vorgeschlagen werden, welches ein giftiges Gas produziert. Zwar wurden Systeme mit Ozon in vielen Ländern Europas empfohlen und von der DIN vorgeschrieben, jedoch ruft diese Technologie bedeutende Schäden der Lunge hervor.

Chlorfreie Methoden

Man wird immer Chlor benötigen oder ein schnell wirkendes Desinfektionsmittel, welches ein grosses Spektrum abdeckt, um die Übertragung von Erregern zwischen den Badegästen im Schwimmbad zu verhindern. Gemäss der deutschen DIN muss das Desinfektionsmittel in der Lage sein, alle Bakterien innert 30 Sekunden abzutöten. Alternative Desinfektionsmittel, beispielsweise mit Kupfer, benötigen mehr als 90 Minuten, um dasselbe Resultat zu erzeugen. Chlor ist immer noch das beste und effektivste Desinfektionsmittel und wird es auch noch einige Jahre bleiben, bis eine Alternative gefunden wurde, die genauso gut funktioniert. Bis man jedoch eine Alternative gefunden hat, sollte man nur Chlor in öffentlichen Schwimmbädern benutzen und alles daran gesetzt werden, den Chlorverbrauch zu reduzieren und die Produktion von Reaktionsprodukten einzudämmen.

Schlussfolgerung

Dryden Aqua stellt zwar UV- und Ozonsysteme her, jedoch sollten UV- und Ozonsysteme in öffentlichen Schwimmbädern und Whirlpools mit Chlor nicht erlaubt sein, denn sie erhöhen den Bedarf an Chlor und produzieren viel mehr Trichloramin und THMs.

Sand sollte in einem öffentlichen Schwimmbad nicht verwendet werden, weil es das Wachstum von Bakterienkolonien fördert und der dadurch auftretende tiefe pH-Wert die Produktion von Trichloramin ermöglicht.

Die wegweisende Lösung für die Schwimmbadindustrie ist es, den Sand in allen öffentlichen und privaten Schwimmbädern durch AFM zu ersetzen und gute Flockung und Koagulation zu verwenden. NoPhos hilft zudem, die Bildung von Trichloramin und Biofilmen zu unterbinden.

Die Leistung von jedem Filter verhält sich umgekehrt proportional zur Fliessgeschwindigkeit des Wassers. Konkret bedeutet dies, je langsamer die Geschwindigkeit, umso besser die Leistung. Wenn ein System mit AFM betrieben wird, sinkt der Bedarf an Chemikalien um mindestens 80 %. Zudem wird die Entstehung von THMs um 80 % eingedämmt und die Produktion von Trichloramin annähernd gestoppt.

Kritiker argumentieren, dass wir nicht die vollständige Auswirkung von Trichloramin und THMs auf die Gesundheit kennen und man deshalb nichts unternehmen soll, bis alle Untersuchungen abgeschlossen sind. Wahrscheinlich werden diese Untersuchungen nie ganz abgeschlossen sein. Wir wissen, dass Trichloramin giftig ist und bei Kindern Lungenschäden hervorrufen kann. Wir wissen zudem, dass THMs krebserregend sind. Dies sind Tatsachen. Fundiert auf Untersuchungen der *European Commission* wissen wir auch, dass AFM eine deutliche Verbesserung bringt und die Konzentration dieser Chlorreaktionsprodukten im Wasser und Atmosphäre reduziert. Wir haben uns inzwischen die Informationen und das Wissen angeeignet, um Gutes zu tun für unsere Lebensqualität und Umgebung. Lass uns also hoffen, dass wir nicht 20 Jahre für dessen Realisierung warten müssen.

AFM im Schwimmbad

Equipment:

- Es sollten keine Tenside in Schwimmbadnähe verwendet werden und sie dürfen auf keinen Fall in das Schwimmbad gelangen. Tenside sind Inhaltsstoffe von den meisten Seifen und Reinigungsmittel.
- Es ist unbedingt darauf zu achten, dass alle Badebesucher vor dem Betreten des Wassers gründlich Duschen, jedoch ohne Seife oder Shampoo.
- Umwälzrate bei einem öffentlichen Schwimmbad ungefähr 4 Stunden
- Lern- oder Trainingsbecken 1 bis 2 Stunden
- Filtergeschwindigkeit unter 15 m/h
- Rückspülgeschwindigkeit über 45 m/h
- Dosierung des Flockungsmittels 5 bis 1.0 ml pro Kubikmeter gefiltertes Wasser pro Stunde. Bei einer Filtrationsgeschwindigkeit von 100 m³/h wären dies 50 bis 100 ml pro Stunde
- NoPhos 2 kg in 25 Liter Wasser auflösen und 0.5 bis 1,0 ml pro Kubikmeter Wasser pro Stunde

Chemische Parameter

- Gehalt an freiem Chlor 0.5 bis 1.5 mg/l
- Gehalt an gebundenem Chlor sollte immer unter 0.5 mg/l sein, meistens unter 0.05 mg/l
- pH 6.8 bis 7.6
- Total gelöste Festkörper 200 bis 1000 mg/l
- Kalzium als CaCO₃ 50 bis 200 mg/l
- Alkalinität als CaCO₃ 50 bis 200 mg/l
- Sulfat so wenig wie möglich
- Trübung < 0.1 NTU

Wichtige Informationen

Wasseranalyse

Die gewöhnlichen kolorimetrischen Chloranalysen werden als zuverlässig angesehen, jedoch zeigen sie oftmals einen viel zu hohen oder tiefen Gehalt an als wirklich im Wasser vorhanden ist. Normalerweise lösen sich Tabletten nicht vollständig in der Wasserprobe auf und zeigen dadurch eine zu hohen Wert an. Flüssige Mittel oder nicht komprimiertes Pulver sind im Normalfall genauer als Tabletten.

Die Analyse des freien Chlorgehalts mit DPD1 liefert exakte Werte bei Konzentrationen unter 1 mg/l, jedoch bei Konzentration 1 mg/l sind die Resultate ungenau.

Kombiniertes Chlor ist die Summe von Mono-, Di- und Trichloramin. Der totale Gehalt an kombiniertem Chlor erhält man durch das Abziehen von DPD1 (freies Chlor) von DPD3 (Totale Chlorkonzentration). Die Differenz ist das kombinierte Chlor. DPD2 wird benutzt, um Mono- und Dichloramin zu messen und aus dem Gleichgewicht auf Seite 2 ist zu entnehmen, dass der totale Gehalt an kombiniertem Chlor durch den Wert von Mono- und Dichloramin bestimmt werden können. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Monochloraminkonzentration und der Konzentration von allen Chloraminen. Der Faktor beträgt ungefähr 1.4. Wenn beispielsweise eine Konzentration von Mono- und Dichloramin, gemessen durch DPD2-DPD1 0.1 mg/l ergibt, so errechnet man den totalen Gehalt an kombiniertem Chlor $0.1 \times 1.4 = 0.14$ mg/l.

Wenn man aber den totalen Gehalt an kombiniertem Chlor herausfinden möchte, indem man DPD3 von DPD1 abzieht, so liegt es nahe, dass man einen viel höheren Wert erhält als $1.4 \times (\text{DPD2} - \text{DPD1})$. Der Grund ist, dass das DPD3 auch mit organischen Chloraminen und anderen störenden Chemikalien reagiert. In gewissen Fällen kann die Analyse von kombiniertem Chlor einen Fehler von bis zu 95 % ausmachen.

In Sandfiltersystemen verspeisen Bakterien organisches Material. Sie bilden einen tiefen pH-Wert im Biofilm, was zur Bildung von Di- und Trichloramin (gemäss Gleichung Seite 1) führt. Der Faktor von Monochloramin wäre 2 oder 3, hingegen zu 1.4 in einem schlecht gehaltenen System. Die Reaktion ist nicht umkehrbar, womit der Gehalt an Di- und Trichloramin mit der Zeit steigen. Mit AFM jedoch ist die Konzentration an Bakterien viel tiefer, wodurch man keinen Biofilm mit tiefem pH hat. Dies hat zur Folge, dass beinahe kein Trichloramin produziert wird. In einem System mit AFM beträgt der DPD2-Faktor eher 1.1, jedoch könnte es immer noch einen hohen Gehalt an kombiniertem Chlor vorliegen, aufgrund der organischen Chloraminen. Anstatt die organischen Stoffe zu reduzieren ist es wichtig, gute Koagulation und Flockung mit PAC und NoPhos einzusetzen. Die Dosierung sollte zwischen 0.5 ml und 1.0 ml des PAC und NoPhos pro gefilterter Kubikmeter Wasser pro Stunde. Bei einem Wasserdurchfluss im Filter von 100 Kubikmeter pro Stunden beträgt die Dosierung 50 bis 100 ml pro Stunde. Die Konzentration von NoPhos ist (2kk) pro 23 Liter Wasser.

Auch wenn man durch die Wasseranalyse mit DPD gute Resultate erzielt, so sind die Augen die besten Messgeräte. Das Wasser sollte eine klare, blaue Farbe besitzen, die Augen der Badegäste nicht gereizt werden und man sollte keinen stechenden Chlorgeruch (Trichloramingeruch) riechen.

Kalziumkonzentration

In sanften Wassersystemen, wo Kalziumhypochlorit benutzt wird und man von Sand auf AFM wechselt, so kann der Bedarf an Kalziumhypochlorit um bis zu 80 % sinken. Dies hat zur Folge, dass auch der Kalziumgehalt sinkt, jedoch ist es wichtig, stets einen gewissen Gehalt an Kalzium zu haben. Anderenfalls wird es Probleme geben mit dem Mörtel zwischen den Fliesen. Deshalb sollten Kalziumchloridflocken hinzugefügt werden, um einen stetigen Kalziumgehalt von über 200 mg/l zu gewährleisten.

Dosierung des Koagulationsmittels

Beim Wechsel zu AFM besteht kein Biometabolismus der Bakterien im Filter mehr. Das System arbeitet nun aufgrund der physikalisch-chemischen Adsorption von organischen Stoffen. AFM arbeitet synergetisch mit dem Koagulationsmittel, welches PAC oder NoPhos beinhaltet. Es ist sehr wichtig, dass das Koagulationsmittel zu den Mengen beigefügt wird, wie sie in diesem Bericht vorgeschlagen werden. Unmittelbar nach dessen Zugabe sollte das Wasser einen **statischen Mixer durchlaufen**, um die beste Koagulation zu erzielen.