

Ph-Wert

In jedem Wasser sind die gelösten Basen (Laugen), Salze und Säuren in elektrisch geladenen Teilchen -genannt Ionen- ganz oder teilweise gespalten (dissoziiert). Basen spalten in wässriger Lösung negativ geladene OH-Ionen (Ahydroxyl-Ionen) und Säuren positiv geladene H⁺-Ionen (Wasserstoffionen) ab. Jedes Wasser, auch chemisch reines, enthält immer eine kleine Menge beider Ionenarten. Bei gleicher Anzahl von Hydroxyl- und Wasserstoffionen ist das Wasser neutral. Enthält ein Wasser mehr Hydroxyl-Ionen, z.B. durch gelöste Salze, reagiert das Wasser alkalisch. Überwiegt jedoch die Anzahl der Wasserstoff-Ionen, z.B. durch vorhandene Kohlensäure, so reagiert das Wasser sauer. Um angeben zu können wie stark alkalisch oder wie stark sauer eine wässrige Lösung ist, hat man den pH-Wert eingeführt. Dabei bedeutet jede pH-Einheit eine Zehnerpotenz der Wasserstoff-Ionen-Konzentration, wobei pH 0 die höchste, pH 14 die niedrigste Wasserstoff-Ionen-Konzentration anzeigt.

Wasserhärte

Da unser Süßwasser immer -mal mehr, mal weniger- gelöste Salze beinhaltet, hauptsächlich Calcium und Magnesiumsalze -teilweise auch Alkali- und Schwermetallsalze- unterscheidet man zwischen: Karbonathärte (KH) und Nichtkarbonathärte (NKH) = Gesamthärte (GH)

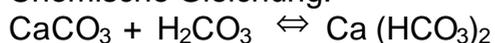
Die Wasserhärte wird gemessen in °DH

1°DH = 10 mg CaO/l Wasser

Karbonathärte

Die Karbonathärte wird auch temporäre oder vorübergehende Härte genannt. Sie beruht auf den gelösten Salzen der Kohlensäure von Calcium und Magnesium, den Bikarbonaten. Wie entsteht die Karbonathärte? Regenwasser ist wie destilliertes Wasser fast chemisch rein. Es nimmt aber aus der Luft begierig Kohlendioxid (Formel CO₂) auf. Im Wasser bildet CO₂ Kohlensäure (Formel H₂CO₃); deshalb haben destilliertes Wasser und Regenwasser einen sauren pH-Wert, das je nach Kohlensäuregehalt bis ca. pH 5,5 herunterreichen kann. Dieses kohlensäurehaltige Regenwasser löst nun aus dem Gestein des Bodens Calcium und Magnesium in Form von löslichen Bikarbonaten heraus. Aus den in Wasser unlöslichen Karbonaten haben sich durch die im Regenwasser reichlich vorhandene Kohlensäure lösliche Bikarbonate gebildet.

Chemische Gleichung:



Die Gleichung beschreibt das so genannte Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht. Es beherrscht dann, wenn gerade soviel Kohlensäure im Wasser vorhanden ist, dass die Karbonathärtebildner als Bikarbonate in Lösung gehalten werden. Die beiden nach rechts bzw. links zeigenden Pfeile bedeuten, dass sich je nach den Bedingungen das Gleichgewicht nach links oder nach rechts verschieben kann. Enthält das Wasser viel Kohlensäure, so geht vorhandenes Calciumcarbonat in lösliches Bikarbonat über, entweicht umgekehrt Kohlensäure als gasförmiges Kohlendioxid aus dem Wasser, so spaltet aus dem Bikarbonat ein Teil der Kohlensäure ab und es entsteht unlösliches Karbonat, das ausfällt. Aufgrund der

Tatsache, dass die Karbonathärtebildner als unlösliche Karbonate aus dem Wasser ausfallen können, nennt man die Karbonathärte auch vorübergehende Härte. Kohlensäure entweicht dann aus dem Wasser, wenn sich dessen Temperatur erhöht, da mit zunehmender Temperatur das Lösevermögen des Wassers für Gase abnimmt. Das gleiche gilt auch für gelöstes Chlor. So kann, in einem mit Wasser hoher Karbonathärte gefülltes Schwimmbecken, bei starker Sonneneinstrahlung durch den Temperaturanstieg des Wassers schon nach wenigen Tagen eine Trübung eintreten, die aus unlöslichem Calcium- oder Magnesiumkarbonat besteht.

Zusammenfassung:

Karbonathärte beruht auf gelöstem Ca und Mg-Bikarbonat

= vorübergehender Härte

= fällt aus als unlösliche Karbonate bei Temperaturanstieg

= bildet Ablagerungen in Becken, Filtern, Wärmeaustauschern usw.

Nichtkarbonathärte

Die Nichtkarbonathärte, auch permanente oder bleibende Härte genannt, beruht auf den in Wasser gelösten Salzen, die keine Karbonate sind, sondern Salze anderer Säuren, vor allem der Schwefelsäure (Formel: H_2SO_4). Die Salze der Schwefelsäure nennt man Sulfate, in der chemischen Formel erkennbar an dem Rest SO_4 . Man spricht deshalb auch von der Sulfat oder Gips Härte. Die Nichtkarbonathärte tritt in Gegenden mit gipshaltigen Gesteinen auf. Bleibende Härte bedeutet, dass die sie bindenden Salze unter normalen Einflüssen auf das Wasser (Temperaturanstieg, Belüftung, geringfügige pH-Änderung) in Lösung bleiben. Sie spielt deshalb für Schwimmbeckenwasser keine so große Rolle wie die Karbonathärte, da sie nicht wie diese unmittelbar zur Trübung führen kann.

Zusammenfassung:

Nichtkarbonathärte beruht auf nicht gelöstem Calcium- und Magnesiumsulfat

= bleibende Härte, permanente Härte

= fällt bei Temperaturanstieg nicht aus

= bildet keine Ablagerungen

Gesamthärte

Die Gesamthärte ist die Summe von Karbonat- und Nichtkarbonathärte gemessen in °dH.

Einteilung der Wasserhärte:

0-4 °dH = sehr weich

4-8 °dH = weich

8-12 °dH = mittelhart

12-18 °dH = ziemlich hart

18-30 °dH = hart

> 30 °dH = sehr hart

Zusammenfassung der Gesamthärte (GH):

Härte des Wassers bedingt durch die gelösten Salze von:

Calcium und Magnesium mit Kohlensäure

= Karbonate

= Karbonathärte
= KH

Calcium und Magnesium mit Schwefelsäure
= Sulfate
= Nichtkarbonate
= NKH

pH-Wert des Wassers in Abhängigkeit von der Härte

Weiches Wasser

Der pH-Wert im Regenwasser wird durch die Wasserstoffionen der gelösten Säure bestimmt. In den Gegenden in denen das Gestein keine wasserlöslichen Bestandteile enthält, nimmt das Wasser keine oder nur sehr geringe Mengen an Salzen und damit Härtebildnern auf. Die frei gelöste Kohlensäure des Regenwassers bestimmt den pH-Wert, der unter 7 liegt.

Hartes Wasser

Karbonathartes Wasser enthält gelöst mehr oder minder große Mengen an Calcium- und Magnesiumbikarbonaten neben der freien Kohlensäure vom Regenwasser. Die alkalische Reaktion der gelösten Bikarbonate überwiegt jedoch die saure Reaktion der freien Kohlensäure. Dadurch liegt der pH-Wert über 7. Mit steigender Wassertemperatur entweicht freie Kohlensäure, ein Teil der Bikarbonate wandelt sich in lösliche Carbonate um. Der pH-Wert liegt bei erhöhter Temperatur höher, weil mit Entweichen der Kohlensäure die Wasserstoff-Ionen-Konzentration geringer geworden ist und die alkalische Reaktion der noch vorhandenen Bikarbonate bestimmend ist für den pH-Wert.

Eisen und Manganhaltiges Wasser

In einigen Gegenden enthält das Wasser unter anderem Eisen und verschiedentlich auch Mangan. Beide Metalle sind in diesen Wässern zunächst in Form von Bikarbonaten gelöst, wobei die Metalle hier in einer zweiwertigen, farblosen Verbindung vorliegen. Bei Zutritt von Oxidationsmitteln zu eisen- oder manganhaltigem Wasser, zB. Sauerstoff aus der Luft oder im Schwimmbad auch Chlor, werden die niederwertigen Stufen der Metalle zu höherwertigen Stufen oxidiert. Das zweiwertige Eisen wird zu dreiwertigem Eisen. Die höherwertigen Stufen von Eisen und Mangan sind aber nicht immer farblos. Dreiwertiges Eisen ist gelb und vierwertiges Mangan ist braun. Außerdem sind Eisen und Mangan in der höherwertigen Form nicht mehr löslich, es entstehen flockige Niederschläge von rotbraunem Eisenhydroxid bzw. von schwarzbraunem Manganhydroxid. Bei eisen- und manganhaltigem Wasser kann es vorkommen, dass schon kurz nach der Beckenfüllung Wasserverfärbungen und massive Trübungen auftreten. In einem blau gestrichenen Becken wirkt der rotbraune Eisenniederschlag schmutzig-grün und unappetitlich. Mangan kann das Wasser fast schwarz färben. Es sieht dann aus wie Tinte. In solchen Fällen besteht kein Grund, das Becken abzulassen und neu zu füllen. Die Niederschläge von Eisen und Mangan sind in der Regel filtrierbar und es ist nur eine Frage von einigen Tagen, bei laufender Filteranlage diese Ausfällung zu

entfernen. Folgende Sofortmaßnahmen werden bei eisen- und manganhaltigem Wasser empfohlen:

Hochchlorung, um alles Eisen und Mangan zu oxidieren

Anhebung des meist niedrigen pH-Wertes. Hierdurch fallen die Hydroxide vollständig aus.

Unterstützung der Ausfällung der Hydroxide durch Zugabe von Flockungsmittel direkt in das Becken oder ggf. auch anscharfen des Filters.

Schon geringe Mengen von Eisen können das Wasser grün färben, ohne dass das Eisen als Hydroxid ausfällt. Besonders bei Vorhandensein stählerner Anlagenteile und Korrosion derselben ist die möglich.

Aufbereitung von Schwimmbadwasser

Vorraussetzung der Schwimmbad-Wasserbehandlung

Durch den Badebetrieb und aus der Umgebung des Schwimmbeckens werden ständig Verunreinigungen in das Wasser eingetragen. Eine gleich bleibend gute Wasserqualität lässt sich daher nur durch eine Reihe von mechanischen und chemischen Verfahrensschritten erreichen, die unter dem Begriff Wasseraufbereitung zusammengefasst sind. Das Wasser wird in einem Kreislauf geführt mit dem Ziel, Belastungsstoffe ständig auszutragen und den Gehalt an Mikroorganismen durch einen ständigen Mindestgehalt an Desinfektionmitteln zu begrenzen. Das Wasser in einem Schwimmbecken soll stets sauber, klar und hygienisch einwandfrei sein. Die hygienische Beschaffenheit des Wassers öffentlicher Bäder ist gesetzlich vorgeschrieben. In § 11 Absatz 2 des so genannten Bundesseuchengesetzes heißt es: „Schwimm- oder Badebeckenwasser in öffentlichen Bädern oder Gewerbebetrieben muss so beschaffen sein, dass durch seinen Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit durch Krankheitserreger nicht zu besorgen ist“ und weiter heißt es „...Schwimm- und Badebecken einschließlich ihrer Wasseraufbereitungsanlagen unterliegen insoweit der Überwachung durch das Gesundheitsamt.“ Als wesentliche Richtlinie gilt die DIN 19643 „Aufbereitung und Desinfektion von Schwimm- und Badebeckenwasser“, in der die Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit sowie anerkannte Verfahren zur Aufbereitung und Desinfektion im einzelnen beschrieben sind.

Die Chemische Wasseraufbereitung

Regulierung des pH-Wertes

Um bei zu niedrigem pH-Wert Korrosion an Metallen und Angriffe auf Fugen zu vermeiden, ist der pH-Wert unbedingt anzuheben (Idealwert 7,0-7,4).

Bei zu hohem pH-Wert treten Hautunverträglichkeiten, Augenreizungen, Kalkausfällungen, Abnahme der Desinfektionswirkung und Vorschaltung der Flockung auf.

Die Flockung

Der Verfahrensschritt Flockung geht der Filterung unmittelbar voraus. Mit Filterung mittels Sandfilter kann nur ein Teil der Trübungsstoffe, die sogenannten grobdispersen Trübstoffe mit einer Teilchengröße von 10^{-1} - 10^{-4} cm (1 mm bis ein zehntausendstel Millimeter) entfernt werden. Kleinere Teilchen mit einer

Teilchengröße 10^{-5} - 10^{-7} cm (bis Zehnmillionstel Zentimeter) bezeichnet man als kolloiddispers, noch kleinere Teilchen ab 10^{-8} cm (ein Hundertmillionstel Zentimeter) bezeichnet man als molekulardispers oder echt gelöste Teilchen. Zu den grobdispersen Teilchen gehören zB. Sand und Schlammartikel, zu den kolloiddispersen Teilchen die großen Moleküle (Makromoleküle) von Eiweiß oder Fett in feiner Verteilung. Echt gelöste Teilchen sind schließlich alle gelösten niedermolekularen Stoffe wie Salze, Säuren, Basen, aber zB. auch Stoffe wie Aminosäuren oder Harnstoff. Kolloiddispers und echt gelöste Teilchen werden in einem Sandfilter nicht zurückgehalten. Ziel der Aufbereitung von Schwimmbeckenwasser ist es aber, die in das Becken eingetragenen Verunreinigungen möglichst vollständig aus dem Wasser wieder herauszuholen, um eine gleich bleibend gute Wasserqualität zu erhalten. Daher ist es notwendig, auch die Verunreinigungen aus dem Wasser zu entfernen, die mit einer alleinigen Sandfiltration nicht zurückgehalten werden können. Mit Hilfe der Flockung ist es möglich, die kolloiddispersen und sogar einen Teil der echt gelösten Verunreinigungen filtrierbar zu machen. Kurz: Flocken heißt, nicht filtrierbare Verunreinigungen filtrierbar zu machen.

Der Flockungsvorgang

Bestimmte chemische Verbindungen, insbesondere Salze von Aluminium und Eisen, haben die Eigenschaft, sich nach dem Auflösen in Wasser in unlösliche Verbindungen, Hydroxide umzuwandeln und hierbei flockenartige voluminöse Niederschläge zu bilden. Bereits während der Bildung der Flocken werden aus dem Wasser feinst verteilte Stoffe aufgenommen und in die Flocke eingelagert. Auch die fertige Flocke vermag noch weitere Verunreinigungen an ihrer Oberfläche aufzunehmen. Hierbei spielt die elektrostatische Anziehung eine Rolle. Die kolloiddispersen organischen Verbindungen, zB. Eiweißstoffe, sind vorwiegend negativ geladen, die Flocken der Flockungsmittel positiv. Die vom Flockungsmittel gebildeten Flocken sind groß, dass sie in einem Sandfilter zurückgehalten werden. Für die Wasseraufbereitung macht man sich die Flockenbildung in der Weise zunutze, dass man ständig eine geringe Menge Flockmittel vor dem Sandfilter zudosiert. Die Flocken bilden sich auf der Umwälzstrecke vor dem Filter aus, nehmen feinst verteilte Verunreinigungen auf und machen diese so noch vor dem Filter filtrierbar. Als Flockmittel diente früher vorwiegend Aluminiumsulfat, in einigen Fällen auch Eisensalze (Eisen-III-Chlorid oder -Sulfat) und in speziellen Fällen, bei weichem Wasser, auch Natriumaluminat. Aluminiumsulfat hat den Nachteil, dass es bei der Auflösung stark sauer reagiert und nur in einem engen pH-Wert-Bereich von 6,8-7,2, Flocken bildet, die ziemlich fein sind. Liegt der pH-Wert unter 6,8 oder über 7,2 flokkt Aluminiumsulfat nicht vollständig aus, der gelöste Teil geht durch den Filter und erzeugt erst im Becken Flocken. Die Folge sind entweder Trübungen im Becken oder zumindest sichtbare flockige Ablagerungen am Beckenboden. Eisensalze haben zwar den Vorteil, auch bei höheren pH-Werten zu flokken, sind aber aggressive Verbindungen, die zu Korrosion an Metallteilen führen und beim Verschütten schwer entfernbare braune Flecken bilden. Kommen auch nur geringe Mengen an Eisensalzen ins Beckenwasser, verfärbt es sich grün.

In zunehmendem Maße werden heute vorhydrolysierte Aluminiumchloride, so genannte Aluminiumhydroxide, als Flockmittel verwendet. In diesen Verbindungen liegt ein Teil schon als Aluminiumhydroxid, dem Stoff, aus dem die Flocken bestehen, vor. Je höher der Hydroxidanteil und je geringer damit der

Chloritanteil, desto günstiger ist das Flockungsverhalten und die pH-Toleranz. Mit dem Aluminiumhydroxidchlorid von Nüscofloc flüssig ist auch bei pH 7,6 noch eine einwandfreie Flockung möglich. Grundsätzlich wird jedoch empfohlen, den pH-Wert des Schwimmbeckenwassers im Bereich von 7,0 bis maximal 7,4 zu halten. Flockmittel vom Typ Aluminiumhydroxidchlorid, speziell Nüscofluc flüssig, bilden besonders voluminöse Flocken, die ein wesentlich besseres Schmutzaufnahmevermögen haben als die Flocken von Aluminiumsulfat. Man kommt daher mit wesentlich geringeren Zugabemengen aus.

Die Dosierung des Flockmittels vor dem Filter erfolgt mit Membran- oder Kolbendosierpumpen. Wichtig ist nicht nur die richtige Positionierung der Impfstelle vor dem Filter, sondern auch die Gestaltung der Impfdüse. Auch eine möglichst stoßfreie Dosierung, wie sie mit Hilfe eines Pulsationsdämpfers erreicht wird, verbessert den Flockungsvorgang wesentlich. Zur Ausbildung der Flocke ist auch kinetische Energie in Form turbulenter Strömung erforderlich. Daher hat es sich in gewissen Fällen bewährt, das Flockmittel unmittelbar vor der Pumpe zu dosieren. Die schon genannten Aluminiumhydroxidchloride, liegen in Handelsformen als Lösungen und als Pulver vor.

Die Desinfektion

Eingangs wurde bereits das so genannte Bundesseuchengesetz erwähnt, demzufolge Schwimmbeckenwasser öffentlicher Bäder so beschaffen sein muss, dass eine Gesundheitsgefährdung der Badenden, insbesondere durch Krankheitserreger nicht zu befürchten ist. Betrachten wir ein Schwimmbecken, in dem sich gleichzeitig zahlreiche Badende aufhalten. Während alle Badenden völlig gesund und würden keine krankheitserregenden Keime abgeben, bestünde keine Infektionsgefahr. Es muss aber immer damit gerechnet werden, dass unter den Badenden Personen sind, die krankheitserregende (pathogene) Keime an das Wasser abgeben, sei es, dass die Betroffenen krank sind oder auch nur pathogene Keime als „Dauerausscheider“ in das Wasser bringen. Es muss verhindert werden, dass die Badenden im Becken pathogene Keime in größeren Mengen aufnehmen und sich infizieren. Daher muss dafür gesorgt werden, dass an das Wasser abgegebene Keime - ob pathogen oder nicht - möglichst rasch abgetötet werden. Dies ist nur möglich, wenn ständig im Wasser ein entsprechendes Keimtötungspotential vorhanden ist, anders gesagt, wenn sich ständig im Wasser ein ausreichender Gehalt an möglichst rasch wirksamem Desinfektionsmittel befindet.

Die Notwendigkeit der Desinfektion des Schwimmbeckenwassers hat man schon zu Beginn dieses Jahrhunderts erkannt. Desinfizieren heißt: Einen Gegenstand oder ein Medium in den Zustand versetzen, dass von ihm keine Infektionsgefahr ausgeht. Bald hat man festgestellt, dass Chlor wie es auch zur Entkeimung von Trinkwasser verwendet wird, als Desinfektionsmittel für Schwimmbadwasser am besten geeignet ist. Auch heute noch wird das Wasser praktisch aller öffentlicher Bäder mit Chlor desinfiziert. Die Anforderung an die bakteriologische Beschaffenheit des Schwimmbadwassers entsprechen denen des Trinkwassers, bzw. gehen im Hinblick auf spezifische Keime sogar noch darüber hinaus. Ein wichtiges Kriterium für die Wirksamkeit eines Desinfektionsmittels ist die Keimtötungsgeschwindigkeit, da die von den Badenden ans Wasser abgegebenen Keime, pro Person bis zu 1 Milliarde, so schnell wie möglich bereits in der Umgebung des Badenden abgetötet werden sollen. Laut zZt. gültiger DIN 19643 wurde die Keimtötungsgeschwindigkeit auf 3 Zehnerpotenzen E. coli in 30 Sekunden festgelegt. Die Anforderung soll jedoch erhöht werden auf 4 Zehnerpotenzen (innerhalb 30 Sekunden) Pseudomonas

aeruginosa, einem schwerer abzutötenden Keim als E. coli. Es hat sich gezeigt, dass Chlor diese Anforderung erfüllt.

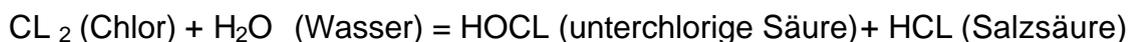
Die Oxidation

Chlor bzw. die im Wasser gelöste unterchlorige Säure hat neben der desinfizierenden auch eine oxidierende Wirkung. Unter Oxidation versteht man einen der Verbrennung vergleichbaren Vorgang. Chlor kann unterchlorige Stoffe durch Oxidationsreaktionen zu anorganischen Stoffen abbauen (Anmerkung: Organische Stoffe sind Stoffe, die die belebende Natur erzeugt, zB. Eiweiß, Zucker, Fett. Anorganische Stoffe sind Stoffe der unbelebten Natur, zB. Mineralien, Salze, aber auch Gase wie Kohlendioxid, Stickstoff). Man spricht bei einer solchen Umwandlung von organischen in anorganische Stoffe von „Mineralisierung“. Die Oxidationswirkung von Chlor auf organische Stoffe ist neben der keimtötenden Wirkung für die Aufbereitung von Schwimmbeckenwasser von großer Bedeutung. Organische Verunreinigungen, die die Badenden unvermeidbar in das Schwimmbeckenwasser eintragen, sind zu einem Nährstoff für Mikroorganismen wie Bakterien und Algen, können zum anderen aber auch die Ursache von Trübungen des Wassers sein. Kolloidale organische Stoffe können außerdem Mikroorganismen als Schutzkolloid dienen und so die Desinfektionswirkung von Chlor stark hemmen. Nach Möglichkeit sollten durch eine optimale Flockung und Filterung solche Verunreinigungen aus dem Wasser entfernt werden. Dies gelingt jedoch nicht vollständig, vor allem hinsichtlich der echt gelösten organischen Stoffe. Mit Chlor gelingt es, den größten Teil dieser oxidierbaren Verunreinigungen abzubauen. Dies geschieht vor allem in der so genannten Reaktionsstrecke, d.h. dem Teil des Umwälzkreislaufes nach der Chlorzugabe und vor Eintritt in das Becken. In dieser Strecke befindet sich das so genannte Beinwasser, das Wasser hinter dem Filterablauf (Filtrat) nach Zudosierung des Chlors. In der DIN 19643 steht für die maximale Konzentration an Chlor im Beinwasser „nach Bedarf“. Die Konzentrationen an Chlor sind hier weit höher als im Beckenwasser erforderlich und nach DIN 19643 erlaubt.

Chlor als Desinfektionsmittel

Was ist Chlor und wie wird es zur Desinfektion des Wassers angewandt? Chlor ist ein chemisches Element, das frei in der Natur nicht vorkommt. Man gewinnt Chlor durch Elektrolyse aus Kochsalz (Natriumchlorid). Chlor ist ein gelbgrünes, giftiges, die Schleimhäute und Atemorgane stark reizendes Gas. In der chemischen Industrie spielt Chlor als Zwischenprodukt für viele chemische Umsetzungen eine wichtige Rolle, da Chlor mit vielen chemischen Verbindungen leicht reagiert und die daraus entstehenden Chlorverbindungen wiederum als Ausgangsprodukte für weitere Reaktionen in mehrstufigen Synthesen dienen. Nur ein kleiner Teil des durch Elektrolyse hergestellten Chlors wird komprimiert und in Stahlflaschen abgefüllt, in denen Chlorgas verflüssigt unter einem Druck von ca. 40 bar vorliegt. Beim Öffnen der Flasche entweicht es wieder als Chlorgas. Der Umgang mit Chlorgas erfordert größte Vorsichtsmaßnahmen und Sicherheitsvorkehrungen. Als Richtlinie für den Umgang mit Chlor dient in der Bundesrepublik die Unfallverhütungsvorschrift (UVV) „Chlorung von Wasser“ des GUV (Gemeindeunfallversicherungsverbandes). Der Raum, in dem die Chlorgasflaschen stehen, muss völlig separat sein, einen Notausgang ins Freie haben und über eine Sprinkleranlage verfügen, um eventuell ausgetretenes Chlorgas im Notfall mit Wasser abzufangen. Weiterhin ist erforderlich,

dass die Personen, die mit Chlor umgehen, gründlich geschult sind. Beim Hantieren im Chlorgasraum ist das Tragen eines Atemschutzgerätes vorgeschrieben. Durch mangelhafte Wartung und Missachtung der Sicherheitsvorschriften kommt es immer wieder zu Chlorgasunfällen. Wenn es auch sehr selten zu tödlichen Unfällen kommt, so hinterlassen Chlorgasvergiftungen meist nachhaltige Schädigungen der Atemorgane. Chlorgas ist daher nur in größeren Kommunalbädern einsetzbar. Die Zugabe von Chlorgas zum Schwimmbadwasser geschieht über eine spezielle Injektorvorrichtung nach dem so genannten Venturi-Prinzip. Das hierfür benötigte „Treibwasser“ (mit hoher Geschwindigkeit an der Saugdüse fließendes Wasser) wird bei den meisten Anlagen direkt dem Schwimmbeckenwasser entnommen. Besser ist es, Trinkwasser aus dem Versorgungsnetz zu verwenden, wegen der potentiellen Gefahr der Bildung von Haloformen, auf die im folgenden noch eingegangen wird. Chlorgas reagiert mit Wasser unter Bildung von unterchloriger Säure und Salzsäure.



Abhängigkeit des Chlorwertes vom pH-Wert

Die unterchlorige Säure ist die chemische Verbindung, von der die desinfizierende und oxidierende Wirkung ausgeht. In Abhängigkeit vom pH-Wert spaltet sich die unterchlorige Säure (HOCl) in Wasserstoff-Ionen (H⁺-Ionen) und Hypochlorit-Ionen (OCl⁻-Ionen). Je höher der pH-Wert, desto mehr ist von der unterchlorigen Säure (HOCl) in Hypochlorit-Ionen (OCl⁻) und Wasserstoff-Ionen (H⁺) gespalten (dissoziiert).

Die folgende Tabelle zeigt in Abhängigkeit vom pH-Wert den Anteil HOCl und ihren Spaltprodukten:

pH-Wert	Anteil HOCl (%)	Anteil (OCl ⁻ + H ⁺) (%)
6,0	96,8	3,2
7,0	75,2	24,8
7,5	49,0	51,0
8,0	23,2	76,8
9,0	2,9	97,1

Die Tabelle zeigt, wie stark der Gehalt an unterchloriger Säure vom pH-Wert des Wassers abhängig ist. Das bei höheren pH-Werten entstehende Hypochlorit hat eine weit geringere desinfizierende und oxidierende Wirkung als die ungespaltene (undissoziierte) unterchlorige Säure. Im Interesse einer guten Desinfektionswirkung wäre es daher erstrebenswert, ein Schwimmbadwasser mit einem möglichst niedrigen pH-Wert zu haben. Niedriger pH-Wert heißt jedoch andererseits erhöhte Korrosionsgefahr an Metallteilen und stärkerer Angriff auf Fliesenfugen in gefliesten Becken. Außerdem nimmt bei niedrigen pH-Werten unter 7,0 in Gegenwart von Chlor der Angriff auf Haut und Schleimhäute zu.

Der beste Kompromiss ist ein pH-Wert im Bereich von 7,0 bis maximal 7,4.

Im Teil 1 wurde schon auf die Bedeutung der Einhaltung des pH-Wertes im Schwimmbadwasser hingewiesen. Die DIN 19643 schreibt für die Regulierung des pH-Wertes geeignete Mess- und Regelanlagen vor.

Bei Verwendung von Chlorgas entsteht neben unterchloriger Säure Salzsäure. Diese Salzsäure hat selbst keine desinfizierende oder oxidierende Wirkung. In karbonathartem alkalischem Wasser wirkt sie pH-Wert-senkend, da sie alkalisch rea-

gierende Bikarbonate in neutrale Nichtkarbonate umwandelt. Hier ist daher die Salzsäure ein durchaus erwünschtes Nebenprodukt.

In weichem Wasser, das praktisch keine Bikarbonate enthält, sieht es anders aus. Hier sind keine alkalisch reagierenden Verbindungen vorhanden. Der Zusatz von auch nur wenig Salzsäure, die

eine starke Säure ist, führt rasch zu einem starken Absinken des pH-Wertes. Es sind Fälle bekannt, wo die Verwendung von Chlorgas in weichem Wasser in kürzester Zeit zu einem Absinken des pH-Wertes auf pH 3 geführt hat. Ganz wesentlich ist hier die so genannte Pufferwirkung. Puffersubstanzen sind Salze starker Säuren und schwacher Basen oder umgekehrt, starker Basen und schwacher Säuren.

Beispiel: Natriumkarbonat, auch doppeltkohlensäures Natron genannt, das man bei Sodbrennen zur Neutralisation überschüssiger Magensäure einnimmt. Auch Calciumbikarbonat ist eine Puffersubstanz. Puffersubstanzen haben die Eigenschaft, überschüssige Wasserstoff-Ionen bzw. Hydroxyl-Ionen zu binden und somit den pH-Wert einer wässrigen Lösung zu stabilisieren. Karbonathartes Wasser, das Calciumbikarbonat in größerer Menge gelöst enthält, hat daher eine Pufferwirkung. Setzt man karbonhartem Wasser eine starke Säure, zB. Salzsäure zu, so bleibt der pH-Wert weitgehend stabil, weil das Bikarbonat die Wasserstoff-Ionen der Salzsäure abfängt. In weichem Wasser, ohne Puffersubstanzen, fällt der pH-Wert hingegen bei Zusatz von auch nur wenig Salzsäure stark ab.

Im Fall von weichem Wasser wird hinter die Impfstelle von Chlorgas ein Filter mit Marmorkies („Marmorurm“) zum Abfangen der überschüssigen Salzsäure geschaltet. Häufig wird bei weichem Wasser zur pH-Stabilisierung auf den Filtersand eine Schicht von dolomitischem Kies aus Calcium- und Magnesiumoxid und -carbonat aufgebracht, um überschüssige freie Kohlensäure zu neutralisieren und gleichzeitig das Wasser aufzuhärten. Nachteil dieses Verfahrens ist die völlig ungesteuerte pH-Regulierung im Falle von Schwimmbadwasser. In der Trinkwasseraufbereitung hingegen hat sich dieses Verfahren bestens bewährt. Eine gezielte Dosierung einer Lösung alkalischer Puffersubstanzen ist zur Stabilisierung des pH-Wertes von Schwimmbeckenwasser die bessere Lösung.

Chlorungsmittel

Neben dem schon beschriebenen Chlorgas eignen sich auch andere chlorabspaltende Verbindungen zur Desinfektion von Schwimmbadwasser:

Chlorbleichlauge

Chlorbleichlauge entsteht, wenn Chlorgas in verdünnte Natronlauge oder Sodalösung eingeleitet wird. Wie der Name Lauge schon sagt, handelt es sich hierbei um stark alkalische Lösungen, in denen das Chlor als Salz der unterchlorigen Säure als Natriumhypochlorit, vorliegt. Solche Natriumhypochloritlösungen enthalten maximal 18 % aktives Chlor, meist durchschnittlich 15 % aktives Chlor. Der Aktivchlorgehalt in Chlorbleichlauge nimmt sehr schnell ab, besonders bei Lagerung unter Lichtzutritt oder bei höheren Temperaturen. Man muss damit rechnen, dass bei ungünstiger Lagerung Chlorbleichlauge bereits nach 4 Wochen fast kein Aktivchlor mehr enthält. Außerdem enthält Chlorbleichlauge verfahrensbedingt relativ hohe Anteile an nicht wirksamen, aber für den Menschen giftigem Chlorat (ca. 1-3 %). Auch sonst können je nach Herstellungsverfahren mehr oder minder große Mengen an giftigen Schwermetallen in der Chlorbleichlauge enthalten sein, insbesondere Blei, Cadmium, Arsen und Quecksilber. Neben der geringen Lagerstabilität ist der

Hauptnachteil der Chlorbleichlauge ihre hohe Alkalität, d. h. bei Zusatz zum Wasser steigt zwangsläufig der pH-Wert an. Damit verbunden sind verringerte Desinfektionswirkung und in hartem Wasser erhöhte Tendenz zum Ausfall von Härtebildnern, besonders an der Injektionsstelle. Nur durch entsprechend erhöhtem Zusatz an Säure lässt sich bei Verwendung von Chlorbleichlauge dieser pH-Anstieg ausgleichen.

Calciumhypochlorit

Calciumhypochlorit, das Calciumsalz der unterchlorigen Säure, entsteht durch Einleiten von Chlor in Kalkmilch (Calciumhydroxidlösung). Calciumhypochlorit lässt sich hieraus in fester, Pulver- oder Granulatform gewinnen. Der Chlorgehalt beträgt max. 70 %. Calciumhypochlorit weist jedoch ebenfalls eine Reihe von Nachteilen auf. Zwangsläufig enthält es einen beträchtlichen Teil an Nebenprodukten, zB. Calciumoxid und Calciumkarbonat, beides unwirksame und in Wasser unlösliche Verbindungen; außerdem größere Mengen an ebenfalls unwirksamen Chloriden und vor allem auch nennenswerte Mengen an Chlorat.

Nachteile von Calciumhypochlorit sind zum einen die internen, in Wasser unlöslichen Bestandteile, ferner die Tatsache, dass besonders in hartem Wasser durch weiteren Zusatz von Calcium die Härte weiter erhöht wird und damit die Tendenz zu Kalkausfall und schließlich die Alkalität. Auch Calciumhypochlorit erhöht den pH-Wert, wenn auch nicht so stark wie Chlorbleichlauge.

Calciumhypochlorit hat zwar gegenüber Chlorbleichlauge den Vorteil, dass es einen fast 5 mal so hohen Chlorgehalt hat und als Granulat nur ein geringes Lagervolumen einnimmt, aber schon bei Zutritt von geringen Mengen an oxidierbaren Verunreinigungen zB. Schmieröl, Staub, Papier, Holzwolle oder dergleichen und Zutritt von Feuchtigkeit kann es zu einer Reaktion kommen, die zur Selbstentzündung führt.

Dann brennt Calciumhypochlorit explosionsartig ab.

Stabilisierte Chlorverbindungen

Die Nachteile der beschriebenen chlorabspaltenden Verbindungen haben dazu veranlasst, neue chlorabspaltende Verbindungen zu entwickeln, die diese Nachteile nicht haben. Möglichst hoher Chlorgehalt, gute rückstandsfreie Löslichkeit, Kalkfreiheit, keine pH-verändernde Wirkung und Sicherheit in Transport und Lagerung waren die Ziele. Solche Produkte wurden in erster Linie für Reinigungsmittel und in der Textilindustrie gebraucht. Vor 30 Jahren entstanden so chlorabspaltende Verbindungen, die wir als stabilisierte Chlorprodukte bezeichnen. Diese, manchmal nicht korrekt als organische Chlorprodukte bezeichneten Chlorungsmittel erfüllen alle oben genannten Forderungen und eignen sich daher in idealer Weise zur Desinfektion von Schwimmbadwasser. Die stabilisierten Chlorverbindungen bestehen aus einer Trägerbindung, der Isocyanursäure, an die das Chlor angelagert ist. In Wasser wird das Chlor von der Isocyanursäure ausschließlich als unterchlorige Säure abgespalten und liegt damit sofort in der für die Desinfektion und Oxidation von Verunreinigungen benötigten aktiven Form vor. Ein chemisches Gleichgewicht zwischen unterchloriger Säure und Isocyanursäure bewirkt, dass auf die unterchlorige Säure eine stabilisierende Wirkung ausgeübt wird. Unterchlorige Säure ist eine sehr instabile Verbindung, die vor allem durch die Ultraviolettstrahlen des Sonnenlichts, aber auch bei Wassererwärmung, relativ leicht zerfällt. Die Folge ist eine schlechte Ausnützung des gelösten aktiven Chlors in Wasser.

Der Stabilisierungseffekt der stabilisierten Chlorverbindungen bewirkt jedoch, dass bei Sonneneinstrahlung oder Erwärmung ein weit geringerer Teil an unterchloriger Säure ungenutzt zerfällt. Somit ist es möglich, in Freibecken, in denen mit herkömmlichen Chlorungsmitteln (Chlorgas, Chlorbleichlauge oder Calciumhypochlorit) bis zum Beckenablauf kein ausreichender Chlorgehalt eingehalten werden konnte, mit Hilfe der stabilisierten Chlorprodukte den angestrebten Chlorgehalt an allen Stellen des Beckens zu erreichen. Auch die Verwendung des Stabilisators in Kombination mit den herkömmlichen Chlorungsmitteln führt zu dem gleichen Effekt.

Ein wesentlicher Vorteil der stabilisierten Chlorprodukte aber ist die gefahrlose Handhabung und Lagerung. Damit ist es möglich, auch in kleinen öffentlichen Bädern in Schulen, Hotels und Wohnanlagen, wo ungeschultes Personal mit der Wartung des Bades betraut ist, einwandfrei das Wasser zu desinfizieren.

Bestimmte Sicherheitsratschläge sind auch beim Umgang mit stabilisierten Chlorprodukten zu beachten: Kühl und trocken lagern, konzentriert nicht mit anderen Chemikalien mischen, insbesondere nicht mit brennbaren Stoffen oder anderen Chlorprodukten.

Stabilisierte Chlorprodukte gibt es in Form von Granulat und Tabletten. Man kennt zum einen schnelllösliche, stabilisierte Chlorverbindungen mit ca. 50-55% aktivem Chlor. Die Tablettenform hat den Vorteil, dass man bequem und genau dosieren kann. Für die langsamlöslichen Langzeit-Tabletten wurden spezielle Dosieranlagen entwickelt, in denen die Tabletten von Wasser umströmt langsam aufgelöst werden. Das chlorhaltige Wasser wird ständig dem Becken zugeführt.

Chlor – Chlordioxid Verfahren

Chlordioxid (ClO_2) wird nur in Kombination mit Chlor für die Desinfektion von Schwimmbeckenwasser eingesetzt. Als Vorteil dieses Verfahrens wird genannt, dass es nicht zur Bildung von gebundenem Chlor kommt. Ausgangsstoffe für die Bereitung einer Chlor-Chlordioxid-Lösung sind elementares Chlor und Natriumchlorit-Lösung (NaClO_2 -Lösung). Natriumchlorit ist das Natriumsalz der chlorigen Säure.

Chlor und Natriumchlorit werden im Verhältnis 10:1 in besonderen Apparaturen zur Reaktion gebracht. Hierbei entsteht neben der im Überschuss vorhandenen unterchlorigen Säure Chlordioxid in wässriger Lösung. Chlordioxid darf wegen der Gefahr einer Rückbildung von Chlorit nicht bei gleichzeitigem Einsatz von Ozon als Oxidationsmittel oder bei Vorhandensein eines Aktivkohlefilters angewandt werden. Der Gehalt an bei diesem Verfahren zwangsläufig vorhandenem Chlorit (ClO_2) darf den Wert von 0,1 mg/l nicht übersteigen (Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit nach DIN 19 643, Tabelle 2).

Ozon- Verfahren

Ozon, O_3 , ein Gas, dessen Moleküle aus 3 Sauerstoffatomen bestehen, ist ein extrem starkes Oxidationsmittel. Wegen seiner Giftigkeit wird es nur innerhalb der Aufbereitungsstrecke eingesetzt. Nach der Sandfilterung wird das Ozon, das aus Luftsauerstoff in einer speziellen Ozon Erzeugungsanlage hergestellt wird, in einer Menge von ca. 1 g/m³ dem Wasser zugesetzt. Nach intensiver Vermischung muss eine Reaktionszeit des Ozons von mindestens 2 Minuten sichergestellt sein. Danach muss das Ozon in einem speziellen Aktiv-Kohlefilter entfernt werden. Gleichzeitig wird hierbei auch das noch vorhandene freie Chlor aus dem Wasser entfernt. Nach dem Aktiv-Kohle-Filter darf die Restmenge an Ozon maximal 0,05 mg/L betragen.

Vor dem Eintritt in das Becken muss dem Wasser soviel Chlor zugesetzt werden, dass der Gehalt an freiem Chlor im Becken mindestens 0,2 mg/l an allen Stellen beträgt. Das Ozonverfahren ist wesentlich aufwendiger und teurer. Sein Vorteil ist der praktisch vollständige Abbau organischer Verunreinigung in der Aufbereitung. Damit ist die Gefahr der Bildung von gebundenem Chlor und Trihalomethanen stark verringert.

Die Bildung von chlororganischen Verbindungen

Neben der bereits beschriebenen oxidierenden Wirkung von unterchloriger Säure auf organische Verunreinigungen kann es, wenn auch in geringem Umfang, zu direkten Reaktionen von Chlor mit vorwiegend niedermolekularen organischen Verbindungen kommen. Reaktionsprodukte sind chlororganische Verbindungen mit einer Chlor-Kohlenstoffbindung (C-Cl-Bindung). Hauptvertreter dieser Verbindungen ist das Chloroform (Trichlormethan, CHCl_3); in bromidhaltigem Wasser entsteht daneben auch Bromoform Tribrommethan, CHBr_3). Daher bezeichnet man diese Nebenprodukte insgesamt auch als Trihalomethane (Abkürzung THM). Die Trihalomethane sind in höheren Konzentrationen toxische und potentiell cancerogene (krebserregende) Stoffe. Aufgrund ihrer hohen Dampfflüchtigkeit entweichen sie aus dem Wasser und reichern sich in der Atmosphäre unmittelbar über dem Wasserspiegel an, da sie schwerer sind als Luft. Dort können sie von Schwimmern eingeatmet werden und über die Lunge ins Blut gelangen. Diskutiert wird außerdem eine direkte Resorption durch die Haut aus dem Schwimmbeckenwasser. Ganz vermeiden lässt sich die Bildung dieser Verbindungen bei der Chlorung von Wasser nicht. Im Trinkwasser hat man den Gehalt im Jahresmittel in der Bundesrepublik auf 25 ppb (parts per billion = Mikrogramm pro Liter oder ein milliardstel Gramm pro Liter begrenzt). Die Bestrebungen gehen dahin, den Gehalt an THM's im Schwimmbeckenwasser auf 10 ppb zu begrenzen. Dies gelingt nur durch Begrenzung des Gehalts an organischen Verunreinigungen im Wasser durch möglichst gute Aufbereitung und Begrenzung des Gehalts an Chlor im Wasser. Wie schon bei der Injektion von Chlorgas erwähnt, ist dies eine besonders kritische Stelle im Kreislauf. Wenn hier als Treibwasser belastetes Beckenwasser verwendet wird, ist das Bildungspotential von THM's erhöht. Daher sollte als Treibwasser möglichst gering organisch verunreinigtes Wasser verwendet werden, zB. Trinkwasser. Häufig ist aber bereits das Trinkwasser höher organisch belastet bzw. enthält durch die Chlorung schon THM's. In solchen Fällen wird diskutiert, vor dem Filter außer dem Flockungsmittel pulverförmige Aktivkohle in einer Menge bis zu 5 g pro umgewälzten Kubikmeter zu dosieren. Im Falle von Ozonanlagen hat sich herausgestellt, dass durch den oxidativen Abbau der vorhandenen organischen Verunreinigungen mit Ozon der Gehalt an THM's unter dem Grenzwert von 10 ppb gehalten werden kann. Die Diskussion um THM's im Schwimmbeckenwasser ist noch in vollem Gang. Gefährdet sind in erster Linie Trainingschwimmer, die sich täglich mehrere Stunden im Schwimmbecken aufhalten.

Nachweisverfahren

Welche Konzentration an Chlor im Schwimmbadwasser ist für eine einwandfreie Desinfektion und den ständigen Abbau oxidierbarer Verunreinigungen notwendig? Hier ist es notwendig, einige wichtige Begriffe der Chlorung festzuhalten. Man unterscheidet zwischen freiem und gebundenem Chlor. Unter freiem Chlor versteht man die im Wasser vorhandene unterchlorige Säure und ihre Salze, die Hypochlorite.

Gebundenes Chlor entsteht, wenn freies Chlor mit stickstoffhaltigen Verbindungen im Wasser reagiert. Solche stickstoffhaltigen Verbindungen sind z.B. Harnstoff, den die Badenden unfreiwillig über die Haut und auch durch Urin an das Badewasser abgeben, daneben Eiweißbestandteile von der Haut, aus dem Speichel und aus sonst in das Wasser gelangten Verunreinigungen. Harnstoff baut sich im Wasser ab zu Ammoniak, der in Wasser gelöst als Ammonium-Ionen vorliegt. Mit Ammonium und Harnstoff reagiert Chlor zu Chloraminen. Diese Chloramine haben einen charakteristischen, stechenden Geruch und reizen sehr stark die Schleimhäute, insbesondere die Augenbindehaut. Die Chloramine sind die Ursache für den typischen „Chlorgeruch“ in öffentlichen Bädern. Diese unerwünschten Chlorverbindungen, das sog. gebundene Chlor, können teils durch Flockung aus dem Wasser entfernt werden oder aber durch Erhöhung des Gehaltes an freiem Chlor im Wasser. Denn: mit Hilfe eines ausreichenden Chlorüberschusses lassen sich die Chloramine vollständig abbauen. **Ein Schwimmbadwasser, das nach „Chlor“ riecht, enthält nicht zuviel, sondern zuwenig Chlor.** So paradox das klingt: Nur in einem zu schwach gechlortem Wasser können sich die riechenden und schleimhautreizenden Chloramine bilden. Beispielsweise riecht ein frisch gefülltes, sauberes Wasser enthaltendes Schwimmbad auch dann nicht nach Chlor, wenn sehr hohe Konzentrationen an freiem Chlor darin enthalten sind. Auch mehrere Milligramm freies Chlor pro Liter werden in sauberem Wasser geruchlich nicht wahrgenommen. Wird jedoch das Wasser mit stickstoffhaltigen Verunreinigungen angereichert und bilden sich Chloramine, riecht das Wasser „nach Chlor“. Sorgt man jedoch rechtzeitig für den nötigen Chlorüberschuss, können sich keine Chloramine bilden und das Wasser bleibt frei von Geruch und reizt nicht die Augen. Es ist daher besser, grundsätzlich etwas höhere Chlormengen zu dosieren, um die Bildung von Chloraminen zu verhindern. Bei einwandfreier Chlordosierung ist der Gehalt an gebundenem Chlor äußerst gering. Für eine zuverlässige Desinfektionswirkung soll die Mindestkonzentration an freiem Chlor an allen Stellen des Beckens, insbesondere auch am Ablauf, 0,3 mg freies Chlor/Liter betragen. Es wird aber empfohlen, den Mindestchlorgehalt auf 0,5 mg/l zu halten, einmal um eine größere Sicherheit in der Desinfektion zu haben, zum anderen, um die Bildungen von gebundenem Chlor besser zu verhindern. Der Gehalt an gebundenem Chlor soll 0,3 mg/l nicht überschreiten. Nachweis von Chlor: Freies und gebundenes Chlor lassen sich mit Reagenzien durch eine charakteristische Farbreaktion messen. Der Chemiker nennt diese Meßmethode Kolorimetrie (Messung einer Färbung). Die Auswertung dieser Färbung erfolgt dann entweder durch Vergleich mit einer Farbscheibe oder in einem Photometer. Die DPD-Methode (DPD = Diethyl-para-Phenylendiamin) erlaubt die Unterscheidung von freiem und gebundenem Chlor, indem man zunächst durch Zugabe von DPD-Reagenz (Reagenztablette 1) zu einer Wasserprobe das freie Chlor mißt und dann durch Zugabe eines weiteren Reagenz (Reagenztablette 3) das Gesamtchlor erhält. Es entsteht bei Vorhandensein von freiem Chlor eine Rotfärbung, die sich bei Vorhandensein von gebundenem Chlor nach Zugabe von Reagenz 3 noch weiter verstärkt.

Die Differenz aus Gesamtchlor minus freiem Chlor ergibt das gebundene Chlor.

Beispiel:

Nach Zugabe von Reagenz 1 erhalten wir eine Färbung entsprechend dem Wert auf der Farbskala von 0,4 mg/l = freies Chlor.

Nach Zugabe von Reagenz 3 erhöht sich die Farbstärke auf einen Wert von 0,7 mg/l (= Gesamtchlor).

Somit ist der Betrag um 0,3 mg/l entsprechend dem Gehalt an gebundenem Chlor angestiegen.

Ein wichtiger Hinweis:

Es empfiehlt sich grundsätzlich für den Chlornachweis zwei Küvetten zu benutzen: eine Küvette ausschließlich für die Bestimmung von freiem Chlor mit DPD-Reagenz 1 und eine zweite Küvette für die Bestimmung des Gesamtchlors mit den Reagenzien 1 und 3.

Grund:

Wird die Küvette nach der Bestimmung von Gesamtchlor mit den Reagenzien 1 und 3 nicht gründlich gespült, können Spuren von Reagenz 3 bei der nächsten Messung einen zu hohen Wert an freiem Chlor vortäuschen.

Personenbezogenen Belastung

Ein Maß hierfür ist der Austrag an oxidierbaren Verunreinigungen, die man mit Hilfe des Kaliumpermanganatverbrauchs (KMnO_4 -Verbrauch) im Wasser bestimmen kann. Man bestimmt den Kaliumpermanganatverbrauch (KMnO_4 -Verbrauch) am Beckenablauf und am Beckenzulauf und erhält so die Differenz des Gehaltes an oxidierbaren Stoffen (sogenanntes Delta-Ox) vor und nach der Aufbereitung. Praktische Untersuchungen haben ergeben, dass jeder Badende Verunreinigungen entsprechend einem KMnO_4 -Verbrauch von ca. 4 g in das Wasser bringt. Messungen haben ergeben, dass bei optimaler Betriebsweise die Verfahrenskombination Flockung, Filterung, Chlorung oxidierbare Verunreinigungen entsprechend ca. 2g/m^3 aus dem Wasser entfernt. Aus diesen Zahlen ergibt sich, dass pro Badegast 2 Kubikmeter Wasser aufbereitet werden müssen, um die von ihm eingetragenen Verunreinigungen aus dem Beckenwasser zu entfernen. Geht man von dieser Aufbereitungsleistung als gegebener Größe aus, ergibt sich zwangsläufig, dass die Zahl der Personen, welche das Bad benutzen, begrenzt werden muss, soll nicht der Gehalt an oxidierbaren Verunreinigungen im Wasser ansteigen. Besucherzahl und Aufbereitungsleistung stehen daher in unmittelbarem Zusammenhang. Berechnet man die Zahl der Personen je aufbereiteten Kubikmeter Wasser, ergibt sich 1 Person pro $2\text{ m}^3 = 0,5$. Diesen Wert 0,5 bezeichnet man als so genannten b-Wert, eine Bemessungsgröße für die Berechnung des Volumenstroms (Menge an aufzubereitendem Wasser).

Da die Badegäste das Bad nur eine begrenzte Zeit nutzen, in der Regel etwa eine Stunde, geht man von einer stündlichen Besucherbelastung des Bades aus und errechnet daraus die stündlich aufzubereitende Menge an Schwimmbeckenwasser. Hierzu kommt die Nutzungsart des Beckens, Schwimmer- oder Nichtschwimmerbecken. Man geht davon aus, dass jedem Schwimmer $4,5\text{ m}^2$ Wasserfläche zur Verfügung stehen sollten, jedem Nichtschwimmer $2,7\text{ m}^2$. Ein reines Schwimmbecken (Wassertiefe größer als 1,35 m) mit den Abmessungen $10 \times 25\text{ m} = 250\text{ m}^2$ dürfte daher von 55 Badegästen pro Stunde ($250/4,5$) benutzt werden. Für diese 55 Badegäste müssen jedoch stündlich 110 m^3 Wasser aufbereitet werden, d.h. der Volumenstrom ist 110 m^3 . Der Inhalt dieses Beckens bei einer durchschnittlichen Wassertiefe von 1,8 m beträgt 450 m^3 . Bei einem Volumenstrom von $110\text{ m}^3/\text{Std.}$ wird das Becken in 4 Stunden einmal umgewälzt.

Im Falle eines Nichtschwimmerbeckens sollen jedem Benutzer $2,7\text{ m}^2$ zur Verfügung stehen. Bei einer Beckengröße von $10 \times 25\text{ m} = 250\text{ m}^2$ ergibt dies eine stündliche Besucherzahl von 92 ($250/2,7$). Die stündliche Aufbereitungsleistung muss demzufolge 180 m^3 betragen. Bei einer Wassertiefe von 1,35 m hat das Becken einen Inhalt von 337 m^3 . Bei dem Volumenstrom von $180\text{ m}^3/\text{Std.}$ wird das Becken in ca. 2 Std. einmal umgewälzt.

Frischwasserzufuhr

Wie schon eingangs gesagt, gehört zur Verfahrenskombination Flockung, Filterung, Chlorung eigentlich der vierte Verfahrensschritt Verdünnung, da mit Hilfe der erstgenannten Kombination die Verunreinigungen nicht vollständig entfernt werden können (echt gelöste nicht oxidierbare Stoffe, Salze etc.). Daher ist es notwendig, einen Teil des benutzten Beckenwassers durch frisches Füllwasser zu ersetzen. Anhand von Untersuchungen hat sich ergeben, dass pro Badegast mindestens 30 Liter des Beckeninhalts durch Frischwasser ersetzt werden müssen. In der Praxis ist die Frischwassermenge jedoch höher und beträgt etwa das Doppelte (50-60 Liter). Frischwasserersatz heißt „Beckenwasser ablassen und Frischwasser zuführen“. Im Falle der Filterrückspülung ist dies gewährleistet, bei manchen automatisch geregelten Frischwasserzuspeisungen zum Beckenkreislauf kann die Frischwasserzufuhr nur dann stattfinden, wenn zuvor die entsprechende Menge an Beckenwasser abgelassen wurde.

Algenverhütung

Bisher war von Verunreinigungen des Wassers die Rede, die vor allem durch die Badenden eingetragen werden und die durch die Verfahrensschritte Flockung, Filterung, Chlorung entfernt werden. Eine Sonderstellung nehmen Algen als Verunreinigung des Schwimmbades ein. Algen sind ein- oder mehrzellige Pflanzen und haben die Eigenschaft, aus anorganischen Stoffen Wasser, Kohlendioxid und Stickstoff, organische Stoffe, vorwiegend Kohlenhydrate und in kleineren Mengen auch Eiweiß und Fett aufzubauen. Die meisten Bakterien und Pilze hingegen brauchen organische Stoffe zum Leben. Daher ist es wichtig, den Gehalt an organischen Stoffen im Beckenwasser möglichst gering zu halten. Algen verbreiten sich durch Sporen oder ihre trockene so genannte Überdauerungsform mit dem Staub der Luft überall hin. So gelangen sie leicht in Freibecken und sogar auch in Hallenbecken. Als Produzent von organischen Stoffen im Wasser sind Algen im Schwimmbad eine primäre Quelle organischer Verschmutzung. Sie vermehren sich sehr rasch, oft innerhalb von wenigen Stunden und überziehen Beckenwände, Treppen und Boden mit einem glitschigen Film, der eine Unfallgefahr darstellt. Die entstehenden grünen Beläge bieten außerdem einen hässlichen Anblick. Von Unfallgefahr und ästhetischer Beeinträchtigung abgesehen, sind abgestorbene Algen ein Nährboden für Bakterien und Pilze. Aus den genannten Gründen ist es notwendig, Algenwachstum im Schwimmbecken zu verhindern. Mit der Chlorung allein ist dies meist nicht möglich, da Algen sich an Chlor gewöhnen und resistent werden. Besonders an schlecht durchströmten Stellen des Beckens ist dies der Fall, in Fugen, Ecken, an Treppen und Leitern und an Rinnen. Früher verwendete man zur Algenbekämpfung Kupfersulfat, das eine Reihe von Nachteilen hat. Es wirkt in geringen Konzentrationen nicht zuverlässig gegen alle Algenarten. In karbonathartem Wasser fällt Kupfer sehr schnell als Karbonat aus und lagert sich ab. Bei Überkonzentration von Kupfersulfat kommt es leicht zur Verfärbung von Haaren und Badebekleidung. Schließlich hat Kupfer als relativ edles Metall die Eigenschaft, sich aus Salzen metallisch auf unedleren Materialien wie Eisen oder Aluminium abzulagern und dort galvanische Elemente zu bilden, die zur Lokalkorrosion (Lochfraß) führen können. Als zuverlässige Mittel gegen Algenwachstum haben sich bestimmte chemische Verbindungen, die quaternären Ammoniumverbindungen erwiesen. Entwicklungen der Chemie führten zu den modernen

Algenbekämpfungsmitteln. Schon ein sehr geringer Gehalt an zB. Alginol S im Wasser verhindert das Aufkommen von Algenwachstum. Der Grundsatz vorzubeugen statt zu heilen, ist in der Algenverhütung besonders wichtig. Es ist sicherer und leichter, Algenwachstum zu verhindern, indem man ständig für einen Mindestgehalt an Alginol S (5 ml/m^3) sorgt, als aufkommendes Wachstum zu beseitigen. Für die Beseitigung vorhandener Algen benötigt man sehr viel höhere Konzentrationen an Algizid (2030 ml/m^3).

Wenn jedoch in einem Becken einmal lokal Algenwachstum auftritt, meist durch vorübergehende Unterkonzentration an schlecht umströmten Stellen, ist es am besten, hier mit einem langsamlöslichen Chlorgranulat dagegen anzugehen. Alginol 90 T Granulat wird direkt auf die veralgten Flächen gestreut. Die extrem hohe Chlorkonzentration in der Umgebung des Granulats sorgt für vollständige Zerstörung des Bewuchses.

Vorteil: Die Flächen sind wieder sauber.

In öffentlichen Bädern, besonders in Freibecken, kann schon mit sehr geringen Konzentrationen an Alginol S für Algenfreiheit gesorgt werden, weil Alginol S zusammen mit Chlor seine so genannte synergetische Wirkung hat. Synergetisch heißt, dass die Wirkung zweier Mittel stärker ist als die Summe der Wirkungen jedes Mittels für sich allein. Umgekehrt wird auf diese Weise auch Chlor eingespart, weil Veralgungen, die ohne Verwendung von Algizid auftreten, sehr viel Chlor zehren.

Überwinterung von Freischwimmerbecken

Heute ist es vielfach üblich, Freibecken den Winter über in gefülltem Zustand zu lassen. Die Gründe sind hauptsächlich der Schutz des Beckens gegen Beschädigungen durch aufsteigendes Grundwasser im Frühjahr und Schutz der Beckenoberfläche gegen mechanische Beschädigung während des Winters. Während der Badesaison und auch während der Überwinterung bilden sich im Falle von hartem Wasser jedoch relativ starke und bei der Reinigung schwer zu entfernende Kalkkrusten auf den Beckenwänden. Häufig ist daher im Frühjahr eine mühsame Grundreinigung mit hohen Konzentrationen an stark sauren Reinigern erforderlich. Außerdem bilden sich während der Überwinterung Beläge von Schmutz und Algenwuchs an den Wänden, die besonders fest haften, wenn sich gleichzeitig Kalkbeläge bilden. Mit speziellen Überwinterungsmitteln die ein festes Haften von Kalkbelägen und Schmutz verhindern sowie das Algenwachstum hemmen, kann man sich die Frühjahrsreinigung wesentlich erleichtern. Das Überwinterungsmittel wird nach Schließung des Bades und nach Abstellen der Umwälzanlage dem Becken direkt zugegeben, in Konzentrationen von ca. $30\text{-}50 \text{ g/m}^3$.

Die physikalische Wasseraufbereitung – Beckenhydraulik

Die Beckenhydraulik (= Durchströmung eines Schwimmbeckens) ist ein wesentlicher Bestandteil des Badewasserkreislaufes. Mit ihrer Hilfe muss sichergestellt sein, dass das Becken vom aufbereiteten Wasser zusammen mit dem eingemischten Desinfektionsmittel schnell und in allen Bereichen gleichmäßig durchströmt wird. Vorhandene Belastungstoffe sollen möglichst rasch und vollständig aus dem Becken ausgetragen und der Aufbereitungsanlage zugeführt werden. Ist die Beckendurchströmung unzureichend, zB. durch Totzonen oder Wasserwalzen, wird das Desinfektionsmittel nicht gleichmäßig verteilt und Belastungstoffe werden nur in ungenügendem Maße ausgetragen. Heute werden vor allem Vertikaldurchströmungs-Systeme mit Überlaufrinne installiert. Im Falle der oft noch

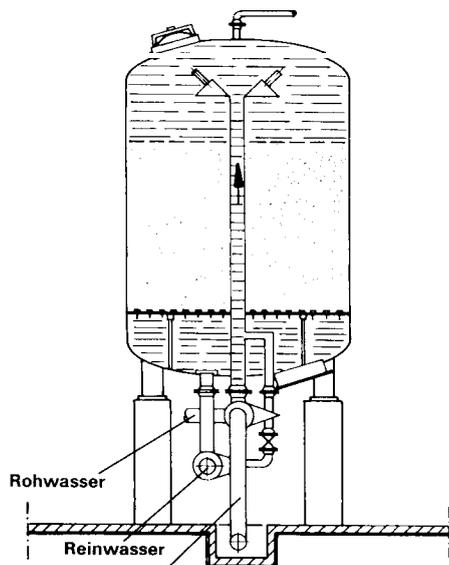
vorhandenen Horizontaldurchströmung wird das aufbereitete Wasser seitlich horizontal zugeführt. Im Becken wird der gesamte Volumenstrom (die gesamte umgewälzte Wassermenge) in 2 Teilströme geteilt. Ein Teilstrom fließt zur kontinuierlichen Reinigung der Wasseroberfläche über die Beckenoberkante mit angesetzter Überlaufrinne. Der andere Teil des Volumenstroms wird zur Beseitigung von Sinkstoffen über den Beckenboden abgezogen. Der über die Rinne abgezogene Teilstrom sollte mindestens 50% des Volumenstroms betragen. Die Vertikaldurchströmung ist für alle Beckenformen geeignet. Hier wird das aufbereitete Beckenwasser von gleichmäßig im Beckenboden verteilten Düsen dem Becken zugeführt und zu 100% über die Beckenoberkante zur Aufbereitungsanlage zurückgeleitet.

Filterung

Der mechanische Verfahrensschritt Filterung dient der mechanischen Reinigung des Schwimmbeckenwassers. Grobe Verunreinigungen wie Haare, Knöpfe usw. werden im so genannten Haar- und Fasernfänger bereits vor der Pumpe zurückgehalten, um eine Beschädigung der Pumpe zu vermeiden.

Geschlossene Sandfilter

Die heute verbreitetste Form des Filters ist der geschlossene Sandfilter (s. Abb.).



In einem druckfesten Behälter befindet sich das so genannte Filterbett, das aus einer 1,2 m hohen Schicht Quarzsand mit einer Körnung von 0,7-1,2 mm besteht. Das Filterbett ruht auf einem Boden mit Düsen, durch die das filtrierte Wasser, das Filtrat nach Passage des Filterbetts abläuft.

Die obere Schicht des Filterbettes wirkt wie ein Sieb, das die groben Partikel zurückhält. Beim Sickersen des Wassers durch das Filterbett setzen sich feinere Partikel zwischen den Sandkörnern ab bzw. werden auf deren Oberfläche angelagert (adsorbiert). Für diesen Vorgang spielt die Fließgeschwindigkeit des Wassers im Filterbett eine wichtige Rolle. Je niedriger die Fließgeschwindigkeit, desto besser die Filterwirkung. Nach neuesten Erkenntnissen sollte die Fließgeschwindigkeit in einem Sandfilter 30 m pro Stunde nicht überschreiten. In Mehrschichtfiltern besteht das

Filterbett aus mehreren Schichten von Sand mit unterschiedlicher Korngröße sowie einer Auflage von körniger Koks- oder Anthrazitkohle bestimmter Beschaffenheit (z.B. Hydro-Anthrazit). Die Kohle hat ein besonders gutes Adsorptionsvermögen für Verunreinigungen. Für geschlossene Sandfilter dient die DIN 19605. Die Einhaltung der maximalen Fließgeschwindigkeit bedingt die Auswahl der Pumpen mit der entsprechenden Förderleistung. Die Pumpen dürfen daher im Verhältnis zum Filterquerschnitt eine nicht zu hohe Förderleistung haben. 30 m Fließgeschwindigkeit pro Stunde bedeutet, dass pro Quadratmeter Filterfläche stündlich 30 Kubikmeter durch das Filterbett fließen. Daher darf die Pumpe bei 1 m² Filterfläche nicht mehr als 30 m³ pro Stunde fördern.

Rückspülen des Filters

Für eine einwandfreie Funktion des Filters ist regelmäßige Reinigung des Filterbettes mit Hilfe des so genannten Rückspülvorganges von entscheidender Bedeutung. Beim Rückspülen wird die Fließrichtung des Filters umgekehrt, d.h., das Spülwasser wird durch den Düsenboden mit erhöhter Fließgeschwindigkeit, minimal 50m/Stunde nach oben gedrückt, um die im Filterbett angesammelten Verunreinigungen abzuwaschen und herauszuspülen. Hierbei müssen die Sandkörner in Bewegung geraten. Man spricht von einer „Fluidisierung“ des Filterbettes. Dieser Vorgang wird durch gleichzeitiges Einblasen von Pressluft durch den Düsenboden unterstützt. Die DIN 19643 gibt genaue Empfehlungen, wie ein Spülvorgang programmiert sein soll. Der Verbrauch an Spülwasser - hierfür wird Beckenwasser benutzt - beträgt bei einem ordnungsgemäßen Spülvorgang ca. 6 m³/m² Filterfläche. Mindestens einmal pro Woche soll ein Filter rückgespült werden, unabhängig von dem Verschmutzungsgrad, um ein nachhaltiges Verkeimen des Filterbettes zu verhindern; denn: mit dem im Filter zurückgehaltenen Schmutz geraten auch Keime in das Filterbett. Ist die Filterspülung unzureichend, kommt es zu Verbackungen durch Schmutz oder auch Kalkkrustenbildung im Filterbett. Ganze Teile des Filterbettes können nicht mehr durchströmt werden. Es kommt zur Bildung von „Kanälen“ mit stark erhöhter Fließgeschwindigkeit. Die Filterwirkung ist drastisch verringert. Derartige Verbackungen des Filterbettes lassen sich in einem nicht zu stark fortgeschrittenen Stadium mit speziellen Filterreinigern entfernen, z.B. BKonzentrat Rapid. Ein solcher Reiniger löst vorhandene Kalk- und Schmutzkrusten auf und entkeimt gleichzeitig das Filterbett. Hierzu muss die Reinigerlösung über längere Zeit, am besten über Nacht, im Filter bleiben. Anschließend ist ein besonders gründliches Rückspülen erforderlich. Eine solche Filterreinigung empfiehlt sich als vorbeugende Maßnahme in Abständen von ca. 3 Monaten, besonders, wenn das Beckenwasser einen höheren Härtegrad aufweist, da dann die Gefahr von Kalkablagerungen erhöht ist.

Anschwemmfilter

Eine weitere, seltener vorkommende Filterart sind die Anschwemmfilter. In einem Behälter befinden sich auf Rahmen gespannte Textilgewebe, auf die außen eine Schicht von Kieselgur „angeschwemmt“ wird. Diese Schicht von Kieselgurteilchen mit einer enorm großen inneren Oberfläche nehmen sowohl grobe als auch feine und feinste Trübungspartikel auf. Ist die Schicht voll beladen, erkennbar am Ansteigen des Filterdrucks, wird die schmutz beladene Schicht abgeschwemmt und beseitigt. Für Anschwemmfilter gilt die DIN 19624.