

Lovibond® Water Testing

Tintometer® Group



Das Schwimmbad & der Hot-Whirl Pool



Ausgabe 2012

Inhaltsverzeichnis	Seite
Die Grundzüge der Schwimmbeckenwasseraufbereitung	6
Beckendurchströmung (Beckenhydraulik)	8
Volumenstrom	8
Füllwasser	10
Salze: Chloride, Sulfate, Nitrate, Calcium	10
Verfahrenskombination	11
Adsorption an Pulver-Aktivkohle	11
UV-Bestrahlung	12
Flockung	13
Filtration, Ultra-Filtration	14
Dolomitisches Filtermaterial	14
Filtration über Aktivkornkohle (DIN 19643-5)	15
Filterrückspülung	15
Warmsprudelbecken (WSB)	16
Planung anhand der Mindestanforderungen	16
Die Aufbereitungsanlage eines Warmsprudelbeckens	17
Füllwasserzusatz	17
Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit	17
Chemische und mikrobiologische Parameter im Schwimmbadwasser	18
Legionellen	19
Desinfektion und Oxidation	20
Trihalogenmethane (THM)	22
AOX	23
pH-Wert	23
Säurekapazität $K_{S4,3}$	25
Wasserhärte	26
Langelier-Index, Water Balance System	26
Die Chemikalien	27
Chlorgas	27
Elektrolyseverfahren	27
Natriumhypochlorit (anorganisches Chlorprodukt)	28
Calciumhypochlorit (anorganisches Chlorprodukt)	28
Chlor-Chlordioxid	29
Ozonung - Chlorung	29
Brom	30
Chlorierte Isocyanurate (organische Chlorprodukte)	30
Iod, Silber und UV-Strahlen	31
"Sauerstoff" = Peroxide, Persulfate, u.a.	31
Biguanide (PHMB)	32
Algizide: Quats, Kupfer	32
Die Untersuchungsmethoden	34
Kolorimetrische Verfahren	34
Photometrische Verfahren	35
Titrimetrische Verfahren	35
Elektrochemische Verfahren	36
Reagenzien	36
Reagenzlösung	36
Reagenztabletten	36
Reagenzpulver	37
Teststreifen	37
Probennahme	37
Analyseverfahren	38
Ammonium	38
Harnstoff	38
Brom	38

Chlor	39
Chlor, Chlordioxid, Brom und Ozon	41
Chlorit	42
Cyanursäure	42
Gesamthärte, Calciumhärte, Chloride, Säurekapazität $K_{s4,3}$	42
Ozon	43
pH-Wert Messung mit Phenolred	44
pH-Messung mit Glaselektroden	44
Phosphat	45
Säurebedarf	45
Kontinuierliche Messverfahren	45
Die Redox-Spannung	45
Amperometrische Chlormessung	46
Anhang (Auszug DIN Grenzwerte)	47
Das private Schwimmbad	48
Auswertung der Messergebnisse	48
Water Balance - Wasserkonditionierung	53
Augenscheinliche Probleme	54
Verfärbtes Wasser	54
Trübes Wasser	54
Schaumbildung	54
Algenwachstum	55
Ablagerungen	56
Chemische Grundlagen in Stichpunkten	57
Aktivchlor (wirksames Chlor)	57
Calciumhypochlorit $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	57
Chloramine	58
Chlor/Chlordioxid-Verfahren	59
Chlogas (Cl_2)	59
Chlorung	59
Cyanursäure	59
Desinfektion	59
Dichloramin	59
DPD-Verfahren	60
DPD Chlorbestimmung (mögliche Fehlerquellen)	61
Elektrolyse	62
Entkeimung	62
Fehlerquellen bei photometrischen Messungen	62
Freies Chlor (HOCl)	63
Gebundenes Chlor	63
Gesamtchlor	63
Harnstoff	63
Kaliumpermanganat-Verbrauch	63
Kalk-Kohlensäure Gleichgewicht	63
Keimtötungsgeschwindigkeit	64
Knickpunkt-Chlorung	64
Monochloramin	64
Natriumhypochlorit (NaClO)	65
Organische Chlor-Präparate	65
Redoxspannung	65
Sterilisation	66
Stickstofftrichlorid	66
Trihalogenmethane	66
Trichloramin	66
Unterchlorige Säure	67
Problemanalyse	68
Verbandstätigkeit	71

Die Grundzüge der Schwimmbeckenwasseraufbereitung

Die moderne Schwimmbeckenwasseraufbereitung mit ihren vielfältigen Aufbereitungsverfahren und den daraus resultierenden Untersuchungsmethoden lassen sich in durchaus verständlicher Form darstellen:

Als erstes haben wir das Schwimmbecken mit dem darin befindlichen Wasser. Die Badenden tragen in das Wasser Mikroorganismen und Schmutzstoffe ein, aber auch die Umwelt "verschmutzt" das Wasser, vor allem in Freibädern durch Staub, Vogelkot und Algensporen. Nun gilt es, diesen äußeren Schmutzeintrag so wirkungsvoll zu beseitigen, dass eine gute, gleichbleibende Beschaffenheit des Beckenwassers in Bezug auf Hygiene und Ästhetik zu jeder Zeit, also auch bei Hochbetrieb, gewährleistet ist. Eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, darf nicht zu befürchten sein. Die Schwimmbeckenwasseraufbereitung und alle flankierenden Maßnahmen konzentrieren sich also auf die Aufgabe, ein Gleichgewicht zwischen "Verschmutzung" und "Reinigung" so aufrecht zu erhalten, dass die allgemein anerkannten Forderungen hinsichtlich der hygienischen und chemischen Beschaffenheit des Wassers stets erfüllt werden. Die erforderlichen Maßnahmen zur Verwirklichung dieser Forderungen setzen sich wie folgt zusammen:



Beckendurchströmung (Beckenhydraulik)

Zu- und Abläufe eines Schwimmbeckens müssen schon von der Planung und Konstruktion her so angeordnet sein, dass das aufbereitete und desinfizierte Wasser gleichmäßig alle Bereiche des Beckens erreicht (keine "toten Ecken") und gleichzeitig das "abgebadete" Wasser möglichst auf kürzestem Wege abgezogen wird. Die klassische Längsdurchströmung ist heute von zwei Systemen weitgehend verdrängt worden: die horizontale und die vertikale Durchströmung.

Bei der horizontalen Durchströmung tritt das aufbereitete Wasser aus längsseitig angeordneten Düsen ein. Bei der Vertikaldurchströmung tritt hingegen das Wasser aus zahlreichen gleichmäßig über den Beckenboden verteilten Düsen ein. In beiden Fällen wird das Wasser vollständig, also zu 100%, über die Überlaufrinne wieder der Aufbereitungsanlage zugeführt.

Unbestrittener Vorteil der Überlaufrinne ist der Oberflächenreinigungseffekt: Die von der Verschmutzung unmittelbar betroffene Beckenwasseroberfläche und die darunter liegenden Wasserschichten werden auf kürzestem Wege der Aufbereitungsanlage zugeführt.

Da allerdings eine Sedimentation (Absetzen von Schwebstoffen) im Schwimmbecken unvermeidbar ist, muss als Maßnahme der zusätzlichen Wasserpflege eine tägliche Absaugung der Sedimente durch Bodenreinigungsgeräte erfolgen.

Die DIN 19 643 für die Aufbereitung und Desinfektion von Schwimm- und Badebeckenwasser fordert, dass 100% des Volumenstroms ständig über die Überlaufrinne geführt werden (Ausnahme: Wellenbecken). Dabei ist besonders darauf zu achten, dass der gleichmäßige und kontinuierliche Wasserüberlauf auf der gesamten Länge der Rinne sichergestellt ist. Die Ableitung des Wassers am Beckenrand in die Rinne ist so zu gestalten, dass ein freier Wasserüberfall vermieden wird. Überlaufrinnen sind wöchentlich mindestens einmal zu reinigen. (Rinne auf Schmutzwasserkanalisation umschalten)

Die Beckenumgebung (Fliesen) darf nur dann über die Überlaufrinne entwässert werden, wenn für diese Zeit ein direkter Abfluss zur Schmutzwasser-Kanalisation sichergestellt ist.

Volumenstrom

Genauso wichtig wie eine optimale Beckendurchströmung anzustreben, ist es, ständig aufbereitetes Wasser in ausreichender Menge zur Verfügung zu stellen. Begnügte man sich früher mit der Faustregel, nach der innerhalb von 8 bis 10 Stunden (rein rechnerisch!) der gesamte Beckeninhalt umzuwälzen war, so kommt heute einer von Beckenart und Nutzung abhängigen Berechnung des Förderstromes größte Bedeutung zu. Die bereits erwähnte DIN-Norm gibt präzise Auskunft:

$$\text{Stündlicher Volumenstrom (m}^3/\text{h)} = Q = \frac{A \cdot n}{a \cdot k}$$

mit A = Wasserfläche des Beckens in m^2

a = Wasserfläche je Person in m^2

n = Personen-Frequenz in $1/\text{h}$

k = Belastbarkeitsfaktor in $1/\text{m}^3$

Die Berechnungsformel ist natürlich für die technische Auslegung eines noch zu bauenden Schwimmbades von Bedeutung und soll daher an dieser Stelle nicht näher an Hand von Berechnungsbeispielen erläutert werden.

Als Grundzahl lässt sich jedoch leicht merken: je Badenden sind 2 m^3 aufbereitetes Wasser zur Verfügung zu stellen, damit die durch ihn und durch die Umwelt eingebrachten Verschmutzungsstoffe vollständig durch die Aufbereitungsanlage entfernt werden können. Als Messzahl für die Verschmutzung mit wasserlöslichen Stoffen wie z.B. Harnstoff dient die Oxidierbarkeit des Wassers (Kaliumpermanganatverbrauch, mg/l KMnO_4). Man rechnet mit einer Standardverschmutzung von 4 g KMnO_4 pro Person, eine Aufbereitungsanlage hält jedoch nur 2 g KMnO_4 je m^3 umgewälzten Wasser zurück, pro Badegast sind also 2 m^3 Wasser aufzubereiten.



Diese Zahl ergibt sich aus der personenbezogenen Belastung für verschiedene Verfahrenskombinationen. Steht eine Aufbereitungsanlage mit integrierter Ozonstufe und Aktivkohlefiltration zur Verfügung, so genügt es, je Badenden $1,67 \text{ m}^3$ Wasser aufzubereiten.

Es ist jedoch falsch anzunehmen, dass mit abnehmender Besucherzahl der Förderstrom gedrosselt und über Nacht (Besucherzahl = 0) ganz abgestellt werden könnte: stehendes Wasser ist ungesundes Wasser, da die Desinfektionswirkung des Chlors rasch nachlässt und somit eine Vermehrung von Keimen und Algenwuchs begünstigt. Die Aufbereitungsanlage sollte also 24 Stunden am Tag in Betrieb sein, auch wenn das Bad einen Tag schließt. Das gilt insbesondere für Freibäder, denn der nicht unerhebliche Schmutzeintrag durch die Umwelt (Staub, Algensporen, Vogelkot etc.) kümmert sich wenig um die Öffnungszeiten!

Füllwasser

Selbst die wirksamste Schwimmbeckenwasser-Aufbereitungsanlage kann nicht verhindern, dass sich das im Kreislauf geführte Schwimmbeckenwasser während des Betriebes mit Störstoffen, meistens Salze, anreichert (siehe Tabelle), da sich diese wegen ihrer Wasserlöslichkeit den Flockungs- und Filtrationsmaßnahmen entziehen. Es ist daher unumgänglich, pro Badegast und Tag mindestens 30 Liter Füllwasser gegen Beckenwasser auszutauschen und diese Menge gegebenenfalls dann zu erhöhen, wenn die Anforderungen an das Schwimmbeckenwasser anderweitig nicht eingehalten werden können.

Die geforderte Füllwasserzugabe ergibt sich zum Teil zwangsläufig durch die Notwendigkeit der regelmäßigen Rückspülung der Filteranlagen mit Beckenwasser.

Tabelle: Die Anreicherung des Schwimmbeckenwassers mit Salzen, ihre Herkunft und mögliche Störung

Salze	Herkunft
<ul style="list-style-type: none"> • Chloride Korrosion an metallischen Werkstoffen ab ca. 150 mg/l Cl^-. (bei Meerwasserschwimmbekken ohne Belang, da konzeptionell auf Korrosionsbeständigkeit der Werkstoffe geachtet werden muss) 	<ul style="list-style-type: none"> • Alle chlorhaltigen Desinfektionsmittel. • Eisen-III-Chlorid-Hexahydrat, Alu-Chlorid-Hexahydrat, Aluhydroxidchlorid und Eisenchloridsulfat-Lösung (Flockung), • Salzsäure (pH-Regulierung)
<ul style="list-style-type: none"> • Sulfate Korrosion von Betonteilen ab ca. 150 mg/l SO_4^{2-} 	<ul style="list-style-type: none"> • Alu-sulfate (Flockung) • Schwefelsäure (pH-Regulierung) • Natriumhydrogensulfat (pH-Regulierung)
<ul style="list-style-type: none"> • Nitrate max. Konzentration im Beckenwasser 20mg/l NO_3^- über dem Wert des Füllwassers 	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidativer Abbau von Harnstoff und anderen stickstoffhaltigen Verunreinigungen wie z.B. Ammonium
<ul style="list-style-type: none"> • Calcium Eintrübung des Wassers und Kalkablagerungen, Verklebung des Filters 	<ul style="list-style-type: none"> • Dolomitisches Filtermaterial • Calciumhypochlorit • Auslaugung mörtelhaltiger Fliesenverfugungen und Beckenauskleidungen

Bei dem Begriff "Füllwasser" wird zwischen primärem und sekundärem Füllwasser unterschieden. Primäres Füllwasser ist das Wasser, welches dem Bad direkt zugeführt wird, also in der Regel Wasser aus der kommunalen Trinkwasserversorgung. Sekundäres Füllwasser ist speziell zur Verwendung als Füllwasser gewonnenes

Betriebswasser, also in der Regel aufbereitetes Spülwasser der Filteranlagen von Schwimm- und Badebeckenwasser. Sekundäres Füllwasser muss die Anforderungen an Betriebswasser Typ 1, nach DIN 19645 erfüllen.

Primäres Füllwasser muss seuchen- und allgemein - hygienische Trinkwassereigenschaften aufweisen. Eine Aufbereitung des zur Füllung verwendeten Wassers in einer getrennten Anlage ist besonders zu erwägen bei:

- erhöhter Konzentration an Huminstoffen
- erhöhter Konzentration an organisch gebundenem Kohlenstoff (DOC)
- Überschreiten folgender Werte:
 - Arsen 0,01 mg/l
 - Eisen 0,10 mg/l
 - Mangan 0,05 mg/l
 - Ammonium 2,00 mg/l

Verfahrenskombinationen

Die Liste besteht aus folgenden Verfahrenskombinationen:

Flockung - Filtration - Chlorung

Flockung - Mehrschichtfiltration mit adsorptiver Kohle - Chlorung

Adsorption an Pulver-Aktivkohle - Flockung - Filtration - Chlorung

Flockung - Filtration - Adsorption an Kornaktivkohle - Chlorung

Flockung - Filtration - UV-Bestrahlung - Chlorung

Flockung - Mehrschichtfiltration mit adsorptiver Kohle - UV-Bestrahlung - Chlorung

Weitere Verfahrenskombinationen sind in Abhängigkeit des Anwendungsfalles realisierbar. DIN 19643 :2011-05 "Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser" besteht aus:

- Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- Teil 2: Verfahrenskombinationen mit Festbett- und Anschwemmfiltern
- Teil 3: Verfahrenskombinationen mit Ozonung
- Teil 4: Verfahrenskombinationen mit Ultrafiltration

Adsorption an Pulver-Aktivkohle

Pulver-Aktivkohle wird proportional zum Volumenstrom der Aufbereitungsanlage dosiert. Das Pulver kann unmittelbar in Benetzungseinrichtungen dosiert und in den Volumenstrom der Anlage gepumpt werden oder als Aktivkohle-Wasser-Suspension angesetzt und als solche dosiert werden. Eine solche Suspension muss ständig umgewälzt und zur Vermeidung der Verkeimung mit Säure auf pH-Werte unter $\text{pH} = 2$ gehalten werden.

Bei einem Füllwasser mit geringem Trihalogenmethan-Bildungspotential kann auf die Dosierung von Pulveraktivkohle bei Filtern nach DIN 19 605 verzichtet werden. Dennoch sind die Vorkehrungen für eine Nachrüstung für den Fall zu treffen, dass die Werte für gebundenes Chlor und Trihalogenmethane nicht eingehalten werden.

Eingesetzt werden Pulverkohlen zur Wasseraufbereitung nach DIN 19 603.

Die Mindestzugabe an Pulver-Aktivkohle beträgt $0,5 \text{ g/m}^3$ bis 3 g/m^3 ; bei Verwendung der Verfahrenskombination für Warmsprudelbecken (mit eigener Aufbereitungsanlage) : 3 g/m^3 .

Die Zugabe von Pulver-Aktivkohle darf während der Schließungszeit des Bades unterbrochen werden, wenn die Werte der Hygienehilfsparameter eingehalten werden.

Nach der Zugabe von Pulver-Aktivkohle wird dem Wasser unter Verwendung einer Dosieranlage Flockungsmittel kontinuierlich und gleichmäßig zugesetzt.

UV-Bestrahlung

Mittels einer UV-Bestrahlungsanlage kann der Gehalt an gebundenem Chlor reduziert werden. Das Filtrat wird mit Mitteldruckstrahlen behandelt, wobei darauf zu achten ist, dass Emissionen unter 200 nm ausgeschlossen werden, um die Bildung unerwünschter Nebenprodukte zu vermeiden. Wichtig ist zu wissen, dass durch die UV-Bestrahlung keine Reduzierung der Trihalogenmethane erfolgt.

Flockung

In das Beckenwasser gelangen nicht nur sichtbare Verschmutzstoffe, wie z.B. Haare, sondern auch solche, die sich im Wasser für das Auge unsichtbar verteilen (sogenannte Kolloide), z.B. Bakterien, Keime, Körperfette einschließlich Kosmetika etc. Diese feinsten Verschmutzungsstoffe, die nicht mit wasserlöslichen Stoffen, wie z.B. Harnstoff verwechselt werden sollten, können auch durch hochwirksame Filter nur unvollständig zurückgehalten werden. Setzt man jedoch dem Wasser vor der Filtration sogenannte Flockungsmittel zu, so werden viele dieser feinstverteilten Störstoffe entstabilisiert (elektrisch entladen), in die sich bildenden Flocken eingebunden, und letztlich zusammen mit diesen im Filterbett zurückgehalten. Wichtig ist, dass das Flockungsmittel dem abgebadeten Wasser ständig zudosiert wird, denn nur im Augenblick der Zusammenmischung des Flockungsmittels mit dem Wasser finden die entscheidenden Entstabilisierungsvorgänge statt. Bereits gebildete und auf dem Filterbett befindliche Flocken verbessern zwar das Filtrationsergebnis, lassen jedoch die "unangeflockten", d.h. nicht entladenen Kolloide, passieren. Folgende Flockungsmittel werden gemäß DIN 19 643 dosiert:

- Aluminiumsulfat (E DIN EN 878)
- Eisen (III)-chlorid Hexahydrat (E DIN EN 888)
- Natriumaluminat (E DIN EN 882)
- Eisen (III)-chloridsulfat (E DIN EN 891)
- Aluminiumchlorid Hexahydrat (E DIN EN 881)
- Eisen (III)-sulfat (E DIN EN 890)
- Aluminiumhydroxidchlorid (E DIN EN 881)
- Aluminiumhydroxidchloridsulfat (E DIN EN 881)

Während die eisenhaltigen Flockungsmittel vom pH-Wert des Schwimmbeckenwassers (6,5 - 7,6) so gut wie unabhängig wirken, sollte für die aluminiumhaltigen Mittel der pH-Wert des Wassers zwischen 6,5 und 7,2 liegen, mit Ausnahmen des Aluminiumhydroxidchlorid, das bis zum pH-Wert von 7,4 eingesetzt werden kann.

Die Dosiermenge richtet sich nach dem Verschmutzungsgrad des Wassers, mindestens jedoch 0,05 g/m³ als Aluminium bzw. 0,1 g/m³ als Eisen (m³ im Kreislauf geführten Wassers). Für die Dosierung eignen sich erfahrungsgemäß 2 - 5%ige Lösungen. Die Dosierung der Flockungsmittel muss kontinuierlich erfolgen. Die Dosiermengen fertig eingestellter Lösungen sind den Anwendungshinweisen der Lieferanten zu entnehmen.

Bei nicht sachgerechter Anwendung der Flockungsmittel, z.B. schlechte Vermischung der Dosierlösung mit dem Beckenwasser, zu hohe Filtergeschwindigkeit, ungünstiger pH-Wertbereich, zu niedrige Filterschichthöhe, schlecht gewartete Filteranlage etc., kann es zu einer Nachflockung im Beckenwasser kommen, die sich durch Opaleszenz (bei eisenhaltigen Mitteln: Grünfärbung des Wassers) und schlimmstenfalls durch eine starke Eintrübung des Wassers zu erkennen gibt.

Filtration

Die Filtration dient zur mechanischen Reinigung des Schwimmbeckenwassers: Alle sichtbaren und fast sichtbaren Verschmutzstoffe einschließlich der durch Flockungsmittelzusatz gebildeten Flocken mit den darin eingeschlossenen kolloidalen Teilchen werden auf der Filterbettoberfläche und zum Teil auch in der Tiefe des Filterbettes selbst zurückgehalten.

An Schwimmbeckenwasserfilter sind bestimmte Anforderungen zu stellen, auf deren Einhaltung der Betreiber eines Schwimmbades im eigenen Interesse achten sollte. Die DIN-Norm sieht nur Filter vor, die der DIN-Norm 19 605 entsprechen. Weiterhin sollte nur Filtersand gemäß 19 623 eingesetzt werden. In Einschichtfiltern sollte die Filterschicht (ohne Stüttschichten) mindestens 0,9 m in offenen und 1,2 m in geschlossenen Schnellfiltern betragen. Die maximal zulässigen Filtergeschwindigkeiten liegen bei 12 m/h (offene Schnellfilter) bzw. 30 m/h (geschlossene Schnellfilter). Für Meerwasser gilt: 12 m/h (offene Schnellfilter) bzw. 20 m/h (geschlossene Schnellfilter)! Für Filter mit anderen Filtermaterialien in Kombination mit Sand (Anthrazitkohle, Filterkokose, Bims/Lava) betragen die maximalen Filtergeschwindigkeiten 15 m/h für offene und 30 m/h für geschlossene Schnellfilter.

Ultra-Filtration

Eine Ultra-Filtrationsanlage besteht aus einer Anzahl von Membranmodulen, die in einer oder mehreren Straßen angeordnet sind. Vor die UF-Anlage ist ein für die mechanische Vorreinigung geeigneter Schutzfilter zu installieren. Filter dieser Bauart zeichnen sich durch ihre kompakte Bauweise (ca. 50% weniger Platzbedarf) aus. Hauptaufgabe der Ultra-Filtration ist es, Partikel, z.B. Bakterien, Parasiten, Viren etc. zurückzuhalten. Das Virenrückhaltevermögen des Membranmodultyps muss $\geq 99,99\%$ betragen. Der Nachweis muss mit MS2 Coliphagen erfolgen.

Weitere Planungsvorgaben und Qualitätsanforderungen an UF-Anlagen sind in der DIN 19643-4:2011-05 (Entwurf) festgelegt.

Dolomitische Filtermaterial nach DIN 19 621

Dolomitische Filtermaterial ($\text{MgO} \cdot \text{CaCO}_3$) reagiert alkalisch und dient zur Aufrechterhaltung des pH-Wertes im Beckenwasser, wenn sehr weiche bis mittelharte Füllwässer (in der Regel bis 9° dH Karbonathärte = Säurekapazität $3,2 \text{ mmol/l}$) mit Chlorgas desinfiziert und mit sauren Flockungsmitteln behandelt werden. Während des Betriebes reichert sich das Beckenwasser mit Calcium- und Magnesiumhydrogencarbonaten (Aufhärtung) an, die zur Stabilisierung des pH-Wertes beitragen. Da ständig Füllwasser nachgefüllt wird, kommt es nach einiger Zeit zu einem Gleichgewicht bezüglich der Aufhärtung und des pH-Wertes. Gleichzeitig verbraucht sich das dolomitische Filtermaterial, spätestens wenn 10 % der Erstfüllung verbraucht sind, ist bis zur Sollhöhe nachzufüllen.

Die erforderlichen Filterschichthöhen sind abhängig von der Filterkonstruktion, der Filtergeschwindigkeit, dem Förderstrom, der eingesetzten Körnung usw., in der Regel zwischen 20 und 40 cm. Es ist empfehlenswert, sich vor Neufüllung mit dem Filtermaterialhersteller in Verbindung zu setzen.

Ein Vorteil der pH-Wertstabilisierung mit dolomitischem Filtermaterial liegt in dessen zusätzlicher Fähigkeit, Eisen und Mangan aus dem Wasser zu filtrieren.

Oft werden Füllwässer herangezogen, die aus Selbstversorger-Brunnen stammen und nicht weiter aufbereitet (enteisent und entmangant) werden. Wenn sich beim Einsatz von dolomitischem Filtermaterial ein "Gleichgewichts"-pH-Wert von 7,5 ergibt, sollten nur eisenhaltige Flockungsmittel angewendet werden (siehe Seite 13).

Filtration über Aktivkornkohle

Durch die Filtration mit Aktivkornkohlefiltern werden Chlor-Stickstoff-Verbindungen, halogenorganische Verbindungen (THM, AOX) und organische Verbindungen weitgehend entfernt. Zur Filtration werden geschlossene Festbettfilter nach DIN 19605 eingesetzt. Es wird Aktivkornkohle aus Steinkohle verwendet, Aktivkornkohlen aus anderen Rohstoffen müssen sich im Versuch als tauglich erweisen. Durch Spülung (zweimal pro Woche) unterliegt die Aktivkornkohleschicht einem ständigen Verlust. Aus diesem Grund ist die Schichthöhe regelmäßig zu kontrollieren. Aktivkornkohle ist nachzufüllen, wenn die Schichthöhe um 10 cm abgenommen hat. Aktivkornkohlefilter werden nach einer Lockerung des Filterbetts mit Luft nur mit Wasser gespült. Eine gleichzeitige Luft-Wasser-Spülung ist nicht ratsam. Die Spülung mit chlorhaltigem Filtrat aus dem Flockungsfilter (Chlorkonzentration etwa 1 mg/l) ist mindestens einmal monatlich erforderlich. Ein gesonderter Spülwasserspeicher ist vorzusehen.

Filterrückspülung

Durch Umkehr der Fließrichtung werden die angesammelten Schmutzstoffe aus dem Filter gespült und in die Kanalisation geleitet. Diese Rückspülung sollte unabhängig vom Beladungszustand des Filters spätestens nach einwöchiger Betriebsdauer durchgeführt werden, wenn nicht der Filterwiderstandsanstieg schon früher die Notwendigkeit einer Rückspülung anzeigt. Die Rückspülung ist gemäß den Betriebsanweisungen des Herstellers durchzuführen. Besonders wichtig ist die Einhaltung der vorgeschriebenen Spülwassergeschwindigkeit und der Spüldauer. Nur dann ist sichergestellt, dass die angesammelten Schmutzteilchen weitestgehend aus dem Filter entfernt werden und somit die Entstehung von Schlammnestern unterbunden bleibt, die oft genug Ursache für eine starke Verkeimung des Reinwassers sind. Weiterhin soll hier ein Aspekt angesprochen werden, der leider oft übersehen wird:

Ein Filter hält nur die sichtbaren Schmutzstoffe zurück; so lange diese nicht durch die Rückspülung entfernt werden, befinden sie sich noch im Wasserkreislauf, zwar unsichtbar für den Badenden, nicht aber für das Chlor, welches die im Filter angereicherten Schmutzstoffe wie z.B. Haare und Schuppen aufzulösen vermag und somit zur Bildung der unerwünschten Chloramine (gebundenes Chlor) beiträgt.

Allein der Gedanke an den sich im Filter anreichernden "Dreck", durch den das an sich klare Beckenwasser ständig hindurchgepresst wird, mag manchen am Betreten eines Schwimmbades hindern, auch wenn das Wasser noch so klar ist.

Hot-Whirl-Pool, Spa, Jacuzzi, Warmsprudelbecken (WSB)

Neben den klassischen Schwimmbecken sind in den letzten Jahren sog. Warmsprudelbecken (WSB) populär geworden. Unter einem Warmsprudelbecken versteht man ein kontinuierlich durchströmtes Wasserbecken, in dem für den Aufenthalt von Menschen vorgesehenen Teilen warmes Wasser (etwa 37°C) durch Eintragung von Luft sprudelt und in dem sich eine Person oder mehrere Personen gleichzeitig oder in zeitlicher Folge aufhalten.

Durch die Norm DIN 19 643-1:1997-04 ist die Aufbereitung und Desinfektion von Wasser für Warmsprudelbecken geregelt, ausgenommen sind Einfamilienanlagen.

Bei der Erstellung der DIN ist man, soweit es möglich war, von der "Schwimmbad-DIN" 19 643 ausgegangen. Aus dieser Tatsache lässt sich ableiten, dass viel des bisher Gesagten auch für Warmsprudelbecken gilt.



Planung anhand der Mindestanforderungen

Bei der Auswahl bzw. Neuanschaffung eines Warmsprudelbeckens ist jeder schon heute gut beraten, wenn er sich mit den Anforderungen für die technische Auslegung gemäß der DIN 19 643 vertraut macht. Dies gilt insbesondere für die gewerbliche Nutzung von Warmsprudelbecken, aber auch privaten Interessenten kann man nur raten, sich an oben zitierter Norm zu orientieren.

Diese Norm hat zwar weder den Stellenwert eines Gesetzes, noch geht sie bisher in die Verwaltungsvorschriften ein, sie stellt lediglich den derzeitigen Stand des Wissens und der Technik dar.

Trotzdem ist jedem zu empfehlen, sich daran zu orientieren, da spätere Umbauten oder hohe Ausfallzeiten jeden Betreiber eines Warmsprudelbeckens teuer zu stehen kommen.

Grundsätzlich gilt, dass pro Person und Sitzplatz ein Beckenvolumen von mindestens 400 Litern vorzusehen ist. Die Mindestgröße eines Warmsprudelbeckens beträgt 1.600 l.

Die Aufbereitungsanlage eines Warmsprudelbeckens

Neben den üblichen Filtern und der kontinuierlichen Flockung kommt für Warmsprudelbecken die Notwendigkeit eines Wasserspeichers hinzu. Dieser muss mindestens das zweifache Volumen des Beckenvolumens haben. Selbstverständlich ist in diesem Zusammenhang die Forderung, dass das Füllwasser für das Becken und den Wasserspeicher Trinkwasserqualität haben soll.

Die Verwendung von Aufbereitungsmitteln zur Desinfektion, pH-Regulierung und Flockung ist weitestgehend identisch mit denen der Schwimmbadwasseraufbereitung. Grenzwerte für Warmsprudelbecken sind auf Seite 47 gelistet.

Füllwasserzusatz

Bei Warmsprudelbecken mit einer Aufbereitungsanlage entfällt der Füllwasserzusatz, da die Anlagen täglich entleert werden müssen.

Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit

Die Reinwasserprobe muss unmittelbar vor Eintritt in das Becken vorgenommen werden. Die Beckenwasserprobe muss im oberflächennahen Bereich, in der Regel 50 cm vom Beckenrand entfernt, genommen werden. Zu den täglich festzuhaltenden Daten für das Betriebsbuch gehören der Messwert des pH-Wertes, des freien Chlores, des gebundenen Chlores und der Messwert der Säurekapazität $K_{S4,3}$.

Die Bestimmungen der differenzierten Chlorgehalte sind jeweils zu Badebetriebsbeginn, Mitte der täglichen Betriebszeit und Badebetriebsende durchzuführen.

Der Messwert der Redox-Spannung ist wie in Schwimmbädern festzuhalten.

Chemische und mikrobiologische Parameter im Schwimmbadwasser

Die moderne Schwimmbeckenwasseraufbereitung mit ihren einzelnen Verfahrensstufen ist ohne eine Kontrolle des Aufbereitungsergebnisses undenkbar. Nur die aktuelle Kenntnis des Ist-Zustandes ermöglicht es dem Schwimmmeister bzw. dem Schwimmbadbetreiber, nach Vergleich mit dem Soll-Zustand (Anforderungen an das Beckenwasser), in die Funktion der einzelnen Verfahrensstufen so einzugreifen, dass auch bei Spitzenbelastung eine gute Beschaffenheit des Beckenwassers hinsichtlich Hygiene und Sicherheit aufrecht erhalten bleibt. Automatische Regelsysteme können zwar den Schwimmmeister bei der Routinekontrolle entlasten, aber niemals ersetzen. Nur er kann entscheiden, ob z.B. ein zu erwartender Besucherandrang ein vorsorgliches Hochfahren des Chlorgehaltes rechtfertigt oder ob aus gleichem Grund eine Filterspülung vorverlegt werden sollte.

Die mikrobiologischen Anforderungen an das Beckenwasser, sollen eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger auf ein Minimum reduzieren.

Der Nachweis dieser Erreger ist im Rahmen der routinemäßigen Überwachung kaum möglich.

In der DIN 19 643-1:1997-04, Absatz 5,3 werden folgende mikrobiologische Parameter aufgeführt:

Koliforme Keime sind ein typischer Indikator für fäkale Verunreinigungen im Badebeckenwasser (insbesondere *Escherichia coli* = *E. coli*).

Pseudomonas aeruginosa sind Bakterien, die sind optimal bei einer Temperatur von ca. 20-42°C vermehren. Sie haben die Fähigkeit, eine schleimartige Schutzschicht zu bilden, was sie besonders resistent gegen Desinfektionsmittel, wie Chlor, macht.

Das Vorhandensein dieser Erreger weist auf mangelnde Hygiene und Desinfektion des Badewassers hin. Es können durch diese Bakterien Hautinfektionen, Außenohrinfektionen und Harnwegsinfektionen hervorgerufen werden.

Legionellen

Legionella (Legionella Pneumophila) sind Bakterien, die sich im Wasser bei Temperaturen von 35-55° außerordentlich schnell vermehren und auch bei Wassertemperaturen von bis 60° überlebensfähig sind. Diese Bakterien rufen bei Menschen schwere Erkrankungen hervor, wenn sie z.B. über Aerosole (vernebelte Wassertröpfchen) aufgenommen werden. Bei der Krankheit handelt es sich um die sogenannte Legionärs-Krankheit und um das sogenannte Pontiakfieber.

Das Bundesgesundheitsamt hat deshalb zur Bekämpfung von Legionellen folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- Entfernen von Perlatoren und Duschköpfen, um die Aerolisierung zu verringern
- Erhöhung der Wassertemperatur in warmwasserleitenden Systemen auf 70°C
- Einbau von UV-Anlagen in warmwasserleitende Systeme, da Legionellen außerordentlich UV empfindlich sind
- Bestehende Niedertemperatursysteme in noch nicht klar definierten Intervallen mit freiem Chlor aus Natriumhypochlorit oder Calciumhypochlorit zu behandeln (Zusatz 50-100 mg/l freies Chlor).

Die Verbreitung dieser Erreger erfolgt hauptsächlich über aerosolbildende Einbauten in Schwimmbädern, wie z.B. Wasserpilze, Wasserkanonen oder aber auch Duschköpfe.

Gemäß DIN 19 643-1:1997-04 dürfen Legionellen im Reinwasser und Beckenwasser nicht nachweisbar sein.



Desinfektion und Oxidation

Die Desinfektion dient in erster Linie zur raschen Abtötung aller in das Beckenwasser gelangenden Erreger übertragbarer Krankheiten, so dass für den Badenden kein Infektionsrisiko entsteht. Für die Wirksamkeit der Desinfektion ist eine Keimtötung (*Pseudomonas aeruginosa*) von 4 Zehnerpotenzen innerhalb 30 Sekunden zugrunde gelegt (entspricht 99,9%). Die Keimtötungsgeschwindigkeit kann über die Messung des Redoxpotentials erfasst werden. Bei einwandfreier Wasserbeschaffenheit genügen schon 0,2 mg/l freies Chlor, um ein für obige Keimtötungsgeschwindigkeit erforderliches Redoxpotential von 700 mV aufrecht zu erhalten. Das Redoxpotential misst man zwischen einer Bezugs- (Kalomel oder Silber) und einer Platin- oder Goldelektrode, die an geeigneter Stelle in das Wasser getaucht wird. Die Messung des Redoxpotentials ist nicht ganz unproblematisch (die Elektroden sind schmutzempfindlich und müssen regelmäßig gereinigt und kalibriert werden) und kann daher weder die Messung des Gehaltes an Desinfektionsmitteln ersetzen noch zur allgemeinen Steuerung der Desinfektionsmitteldosierung herangezogen werden. Gemäß DIN-Norm 19 643 gehört die kontinuierliche Messung des Redoxpotentials zu den Pflichten des Schwimmbadbetreibers.

Da in öffentlichen Bädern ausschließlich oxidierend wirkende Desinfektionsmittel (Chlor, Chlordioxid und Ozon) eingesetzt werden, kommt es gleichzeitig zu einem Abbau der wasserlöslichen organischen Verschmutzungsstoffe wie z.B. Harnstoff, Schweiß- und Speichelbestandteile etc., die sich wegen ihrer Wasserlöslichkeit durch Filtration und Flockung nicht aus dem Wasser entfernen lassen. Ozon scheidet wegen seiner höheren Giftigkeit als alleiniges Desinfektionsmittel aus und wird daher nur als zusätzliches Desinfektions- und Oxidationsmittel innerhalb der Aufbereitungsstrecke eingesetzt. Die der Ozonstufe nachgeschaltete Filtration beseitigt u.a. das überschüssige Ozon auf einen Restgehalt, der unter der höchstzulässigen Konzentration von 0,05 mg/l Ozon (O_3) am Ablauf des Sorptionsfilters liegen muss. Allen anderen Desinfektionsverfahren ist gemeinsam, dass die Desinfektionsmittellösung dem filtrierten Beckenwasser, also unmittelbar nach dem Filter, zudosiert wird. Bis zum Eintritt des Wassers in das Becken tritt im allgemeinen eine ausreichende Vermischung ein, so dass Belästigungen der Badenden durch Geruch und Geschmack des Desinfektionsmittels ausgeschlossen werden.

Die desinfizierende Wirkung der Chlorprodukte im Wasser geht von der freien unterchlorigen Säure $HClO$ aus, die sich jedoch in Abhängigkeit vom pH-Wert in Hypochlorit (ClO^-) — und Wasserstoff- (H^+) -ionen spaltet (dissoziiert). Die Tabelle zeigt, dass mit zunehmendem pH-Wert der Anteil an freier unterchloriger Säure abnimmt (vgl. auch Seite 67).

pH-Wert	Anteil HClO (%)	Anteil (ClO ⁻ + 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

Diesem Umstand trägt man in einigen europäischen Ländern Rechnung, d.h. je höher der pH-Wert des Beckenwassers, je höher der geforderte Gehalt an freiem Chlor. Die DIN 19 643 fordert in allen Bereiche des Beckens einen Gehalt von mindestens 0,3 mg/l freiem Chlor, unabhängig vom pH-Wert innerhalb des Bereiches 6,5 - 7,6. Es ist wichtig zu wissen, dass die Untersuchungsmethode für freies Chlor (siehe Seite 39 ff, 57) stets die Summe von unterchloriger Säure HClO und Hypochlorit ClO⁻ angibt, also pH-Wert unabhängig ist.



In Hallenbädern genügt erfahrungsgemäß ein Zusatz von 0,2 g (Nachtbetrieb) bis 0,5 g (Stoßbetrieb) Chlor je m³ umgewälzten Wassers, um den geforderten Restchlorgehalt (freies Chlor) bis zum Beckenablauf im Wasser aufrecht zu erhalten. In Freibädern kann die erforderliche Dosiermenge ein Vielfaches von diesem Wert betragen, denn das Chlor wird ja nicht nur durch die Verschmutzungsstoffe "aufgezehrt", sondern auch in erheblichem Maße durch die Sonnenstrahlen.

Trihalogenmethane (THM)

Wie bereits beschrieben, reagiert freies Chlor mit den ins Beckenwasser eingetragenen organischen Verunreinigungen zu gebundenem Chlor. Eine weitere chemische Reaktion aller zur Desinfektion dienenden Halogene (Chlor oder Brom) ist die Bildung von Trihalogenmethan.

Durch den Badegast selbst werden organische Verbindungen, die Trihalogenmethane bilden können, eingetragen; sie können allerdings auch aus dem Füllwasser, aus für den Umwälzkreislauf ungeeigneten Kunststoffen und sogar aus organischen Reinigungs- und Desinfektionsmitteln stammen.

Die gebildeten Trihalogenmethane gasen an der Wasseroberfläche aus und werden so vom Badenden eingeatmet.

Die Analyse der THM's erfolgt gemäß DIN 38 047 Teil 4 gaschromatographisch und ist somit im Rahmen der betriebseigenen Überwachung von Schwimm- und Badebeckenwasser routinemäßig nicht zu bewältigen.

Die DIN 19 643-1:1997-04 schreibt als oberen Wert der Trihalogenmethane, berechnet als Chloroform im Beckenwasser, 0,02 mg/l vor. Bei Freibädern dürfen höhere Werte an Trihalogenmethanen auftreten, wenn zur Einhaltung der mikrobiologischen Anforderungen höhere Werte an freiem Chlor notwendig werden.

Bestehende Anlagen, die der DIN-Anforderung nicht entsprechen, sollten innerhalb von 5 Jahren nach Erscheinen der Norm nach oder umgerüstet werden.

Zur Verringerung der Trihalogenmethankonzentration im Beckenwasser wurden die gängigen Verfahrenskombinationen um die Komponente Adsorption an Pulver-Aktivkohle (siehe Seite 11) erweitert.

Anlagen mit Ozonstufen können die Vorläufersubstanzen der THM-Bildung oxidieren und durch Adsorption eliminieren, bevor sie in der Desinfektionsstufe (Chlorung) zu Trihalogenmethanen reagieren.

AOX (Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene)

Der **AOX** (Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene) (das **X** wird in der Chemie allgemein als Abkürzung für ein beliebiges Halogen verwendet) ist ein Gruppenparameter der chemischen Analytik, der vornehmlich zur Beurteilung von Wasser und Klärschlamm eingesetzt wird. Dabei wird die Summe der an Aktivkohle adsorbierbaren organischen Halogene bestimmt. Diese umfassen Chlor-, Brom- und Iodverbindungen. Da bei den organisch gebundenen Halogenen die chlorhaltigen Verbindungen in der Regel deutlich überwiegen, wurde als Einheit für *AOX mg Cl/l* verwendet.

Die Bestimmungsmethode für AOX ist in der DIN EN ISO 9562 (vormals DIN EN 1485 bzw. DIN 38409-H14) festgelegt. Die organisch gebundenen Halogene in der Probe werden entweder durch Ausschütteln in der Gegenwart von Aktivkohle (Schüttelverfahren) oder mittels Durchspülen der Probe durch ein mit Aktivkohle gefülltes Glasrohr (Säulenverfahren) an die Aktivkohle gebunden (adsorbiert).

Die Bestimmung der AOX ist im Rahmen einer betriebseigenen Überwachung von Schwimm- und Badebeckenwasser nicht vorgesehen.

pH-Wert

Der pH-Wert¹⁾ ist ein Maß für die Stärke der sauren bzw. basischen Wirkung einer wässrigen Lösung. Der Begriff leitet sich von **p**ondus **H**ydrogenii oder **p**otentia **H**ydrogenii aus dem Lateinischen (pondus = Gewicht ; potentia = Kraft ; hydrogenium = Wasserstoff) ab.

- pH < (kleiner) 7 entspricht einer Lösung mit saurer Wirkung
- pH = (gleich) 7 entspricht einer neutralen Lösung
- pH > (größer) 7 entspricht einer alkalischen Lösung (basische Wirkung)

Der pH-Wert einer Lösung kann mit unterschiedlichen Methoden ermittelt werden:

Galvanometrie:

Auf diesem Prinzip beruhen die meisten handelsüblichen Handmessgeräte mit Elektroden (pH-Meter) bzw. Online-Messgeräte in der Aufbereitungsstrecke.

Kolorimetrie:

Bestimmung anhand der Farbreaktion eines Indikatorfarbstoffes.

Auf diesem Prinzip basieren die handelsüblichen Comparatoren unter Verwendung von Farbscheiben.

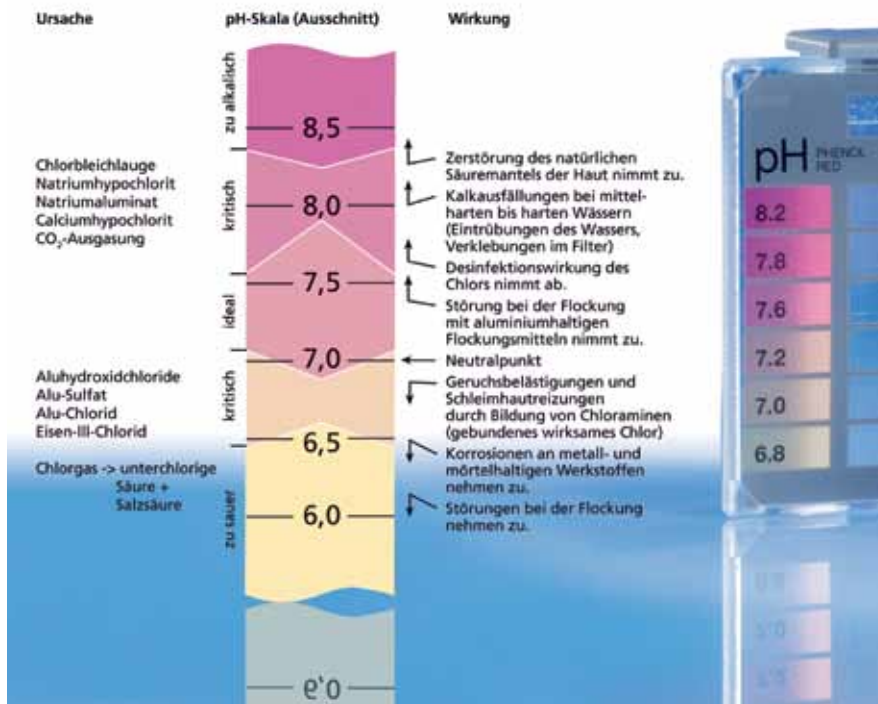
Präziser kann die Farbreaktion mit einem Photometer gemessen und ausgewertet werden.

¹⁾ Als logarithmische Größe ist er durch den mit -1 multiplizierten Zehnerlogarithmus der Oxoniumionenkonzentration (CH_3O^+) (Oxoniumionenaktivität) definiert.
 $\text{pH} = -\log(\text{CH}_3\text{O}^+)$.

Die sorgfältige Einhaltung des pH-Wertes des Beckenwassers im Bereich 6,5 - 7,6 ist unerlässlich, um einerseits die verschiedenen Aufbereitungsmaßnahmen optimal durchführen zu können und andererseits das Wohlbefinden der Badenden nicht zu beeinträchtigen. Weiterhin gilt es, pH-bedingte Korrosionen und Kalkabscheidungen zu vermeiden. Die Zusammenhänge erläutert die Grafik.

Generell kann gesagt werden, dass Wasser mit einer Säurekapazität von $0,7 \text{ mol/m}^3$ über eine ausreichende Pufferkapazität verfügt, um pH-Wert hebende oder senkende Einflüsse durch Flockungs- und Desinfektionsmittelzusätze aufzufangen, eine normale Betriebsweise und täglicher Füllwasserzusatz gemäß DIN 19 643 (mindestens 30 Liter pro Badegast und Tag) vorausgesetzt.

Ursachen und Wirkungen von pH-Werten:



Für die pH-Werteinstellungen eignen sich

a) zur Anhebung

- Natronlauge (Natriumhydroxid) nach E DIN EN 816 vorwiegend für mittelharte bis harte Füllwasser
- Natriumkarbonat (Soda) nach E DIN EN 897, vorwiegend bei extrem abgefallenen pH-Werten
- Dolomitisches Filtermaterial dient zwar zur pH-Wertanhebung, kann jedoch nicht wie die obigen Chemikalien bei Bedarf dosiert werden. Es wird nahezu ausschließlich beim Vorliegen bestimmter Voraussetzungen als 20 - 40 cm hohe Schicht auf die Sandschicht des Filters aufgebracht und muss in regelmäßigen Abständen nachgefüllt werden. (Siehe gesonderten Hinweis zum Dolomitischen Filtermaterial)

b) zur Senkung

- Natriumhydrogensulfat (NaHSO_4), ältere Bezeichnung: Natriumbisulfat.
- Schwefelsäure (H_2SO_4) nach E DIN EN 899. Vorsicht: beim Vermischen mit Wasser tritt starke Erwärmung auf, daher stets die Schwefelsäure langsam in das Wasser geben und durch Rühren gut vermischen, niemals umgekehrt!
- Salzsäure (HCl) nach E DIN EN 939, preiswerte pH-Senkungschemikalie, bei regelmäßiger Anwendung ist mit einer nicht unerheblichen Chloridanreicherung zu rechnen, die Metallkorrosion fördern kann. Technische Salzsäure sollte wegen ihres Eisengehaltes nicht verwendet werden, das Eisen würde sich durch Eintrübung und Verfärbung des Beckenwassers störend bemerkbar machen.
- Kohlenstoffdioxid (CO_2) nach E DIN EN 936 kann über entsprechende Dosierapparate dem Schwimmbeckenwasser zudosiert werden (vgl. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, S. 64).

Wichtig: pH-Werteinstellungen sollten möglichst kontinuierlich durchgeführt werden (Dosierpumpe) und nicht durch direkte Zugabe der jeweiligen Chemikalie zum Schwimmbeckenwasser erfolgen.

Säurekapazität $K_{\text{S4,3}}$ (DIN 38 409-7): m-Alkalinität, Gesamtalkalinität, Hydrogenkarbonathärte sind identische Begriffe

Die Säurekapazität wird im wesentlichen durch die Konzentration der im Wasser gelösten Hydrogenkarbonationen festgelegt (HCO_3^-). Hydrogenkarbonate reagieren mit Säuren zu Kohlensäure, welche ihrerseits zu Wasser und CO_2 zerfällt. Laugen reagieren mit Hydrogenkarbonaten zu Wasser und Karbonat-Ionen. Somit bleibt der pH-Wert des Wassers bei Zugabe von Säure oder Laugen solange stabil, wie Hydrogenkarbonat-Ionen vorhanden sind.

Aus diesem Grund ist ein Mindestwert der Säurekapazität für alle Schwimm- oder Badebecken (außer Warmsprudelbecken) von $K_{\text{S4,3}} = 0,7 \text{ mol/m}^3$ empfohlen (DIN 19 643-2: 1997-04).

Sollte die Säurekapazität des Füllwassers zu niedrig sein, wird dem Rohwasser unter Verwendung einer Dosieranlage eine wässrige Lösung von Natriumkarbonat nach E DIN EN 897 oder Natriumhydrogenkarbonat nach E DIN EN 898 zugesetzt. Nach vollständiger Einmischung der zugesetzten Stoffe wird die Säurekapazität bestimmt und die Prüfung auf Einhaltung der Mindestwerte durchgeführt. Wässer mit einer niedrigen Säurekapazität zeigen starke pH-Wertschwankungen und das Einstellen des gewünschten pH-Wertes durch Säuren oder Laugendosierung ist schwierig. Auf der anderen Seite ist bei einer großen Säurekapazität die Einstellung des gewünschten pH-Wertes ebenfalls schwierig, da das Wasser "überpuffert" ist. Andererseits hat die Säurekapazität einen erheblichen Einfluss auf Korrosionserscheinungen (niedrige Säurekapazität) und Kalkausfällungen (hohe Säurekapazität).

Wasserhärte

Die Wasserhärte wird durch das Vorhandensein von Magnesium- und Calcium-Ionen bestimmt. Unter dem Begriff Gesamthärte versteht man die Summe aus Calcium- und Magnesiumsalzen. Ferner unterscheidet man zwischen temporärer und permanenter Härte. Die temporäre Härte resultiert aus dem Vorhandensein von Calciumhydrogenkarbonat (bzw. Magnesiumhydrogenkarbonat). Sie wird deshalb temporäre Härte genannt, da bei dem Abbau bzw. Zerfall von Hydrogenkarbonaten daraus die wasserunlöslichen Karbonate entstehen. Da die temporäre Härte somit in direktem Zusammenhang mit der Säurekapazität eines Wassers steht, ergibt sich bei hoher Säurekapazität die zunehmende Wahrscheinlichkeit von Kalkausfällungen im Schwimmbadewasser.

Speziell im Schwimmbadewasser ist folgende Tatsache sehr wesentlich:

Die temporäre Härte und die Säurekapazität des Wassers werden von ein und derselben Verbindung, nämlich Calciumhydrogenkarbonat, verursacht. Die permanente Härte wird durch andere Calcium- und Magnesiumsalze (Sulfate und Chloride) hervorgerufen. Die permanente Härte hat keinen Einfluss auf mögliche Kalkausfällungen, es sei denn, sie tritt in einer hohen Konzentration auf. Zu hohe Konzentrationen an Calcium- und Magnesium-Ionen (hartes Wasser) können nur durch einen erhöhten Zusatz von Füllwasser reduziert werden.

Langelier-Index, Water Balance System

Wie aus den vorangegangenen Kapiteln ersichtlich geworden ist, stehen die Begriffe pH-Wert, Säurekapazität und Härte in wechselseitiger Beziehung. Diese wechselseitige Beziehung wird als Langelier Sättigungsindex (SI) in einer mathematischen Gleichung beschrieben, und das Ergebnis lässt Rückschlüsse auf den Zustand des Wassers zu. Um den Ist-Zustand des Wassers beurteilen zu können, werden folgende Parameter bestimmt:

pH-Wert, Säurekapazität (Gesamtalkalität), Calciumhärte, gesamt gelöste Stoffe und Temperatur.

Das Verfahren der Wasserkonditionierung mittels Langelier Sättigungsindex ist in Deutschland nicht besonders populär, wird jedoch in vielen Ländern, manchmal auch in vereinfachter Form (Water Balance System = Bestimmung von pH-Wert, Säurekapazität und Calciumhärte, siehe Seiten 51/52) erfolgreich angewendet.

Die Chemikalien

Chlorgas

Elementares Chlor (Cl_2) kommt unter Druck in flüssiger Form (Stahlfässer, Stahlzylinder) in den Handel. Bei der Entnahme bewirkt die Druckminderung eine Vergasung des Chlors, das sich dann im Wasser löst. Hierbei bildet sich die bereits erwähnte unterchlorige Säure HClO (auch Hypochlorige Säure genannt) und Salzsäure HCl . Bei der weit verbreiteten "indirekten Chlorung" wird eine Chlorklösung mit etwa 3 g/l Chlor hergestellt und dem filtrierten Wasser zudosiert. Bei diesem Verfahren werden also gleich zwei Säuren dem Beckenwasser zugeführt, so dass bei weichen Wässern (Karbonathärte unter 9°dH entspricht 3,2 mmol/l Säurekapazität) in der Regel Maßnahmen zur pH-Wertstabilisierung erforderlich werden (siehe Seite 25). Chlorgas für die Desinfektion von Schwimmbeckenwasser sollte den Anforderungen der EDIN EN 937 (Chlor zur Wasseraufbereitung) entsprechen.

Für den Umgang mit flüssigem Chlor sind nicht nur die Betriebsanweisung des Herstellers der Chlorgasanlage zu beachten, sondern auch die einschlägigen Vorschriften zur Unfallverhütung strikt einzuhalten. Die Chlorgasgeräte müssen der DIN 19606 entsprechen, diese beinhaltet die wesentlichen Bestandteile einer Chlorgasanlage, den Betrieb und die Aufstellung.

Elektrolyseverfahren

Eine Alternative zur Verwendung von Chlorgas stellt das Elektrolyseverfahren dar. Hierbei wird Natriumchlorid durch Gleichstrom zu Chlorgas umgesetzt. Ohne näher auf den Mechanismus einzugehen, gilt, dass bei der Elektrolyse an der positiven Elektrode Chlor und an der negativen Elektrode Natronlauge und Wasserstoff entstehen (siehe Seite 62).

Auf Grund der räumlichen Nähe der beiden Elektroden verbindet sich das Chlorgas mit der Natronlauge und es entsteht Natriumhypochlorit.

Arbeitet die Elektrolyseanlage nicht mit im Schwimmbadewasser vorhandenem Natriumchlorid (Meerwasser oder Sole), sondern mit einer Dosierlösung (NaCl oder HCl), so sollte diese mit vollentsalztem Wasser (Verhinderung von Kalkablagerungen an den Elektroden) als 3 - 5%ige Natriumchloridlösung angesetzt werden. Da nur ungefähr 20 % des vorhandenen Natriumchlorids bei der Elektrolyse umgesetzt werden, gelangt ein erheblicher Anteil nicht umgesetzter Chloride in das Schwimmbeckenwasser und trägt zur Chloridanreicherung bei.

Elektroanalyseanlagen bedürfen einer regelmäßigen Wartung.

Die Elektroden haben eine begrenzte Lebensdauer und müssen entsprechend den Herstellerangaben periodisch ausgetauscht werden. Auch während der Betriebszeit eines Elektrodenpaares kommt es zu Ablagerungen von Kalk. Eine regelmäßige Reinigung der Elektroden mit Salzsäure ist deshalb notwendig. Wird diese nicht durchgeführt, kommt es zu Fehlfunktionen der Anlage. Nähere Einzelheiten zum Betrieb und zur Pflege der Anlage entnimmt man der Bedienungsanleitung des Herstellers.

Für Elektrolyseverfahren gelten die gleichen Grenzwerte und Analyse-notwendigkeiten wie für alle anderen Aufbereitungsverfahren unter Verwendung von Chlor- bzw. Chlorverbindungen.

Natriumhypochlorit (anorganisches Chlorprodukt)

Das Natriumhypochloritverfahren stellt die wohl älteste Chlormethode dar. In den Handel gelangt Natriumhypochlorit (**NaClO**) - auch Chlorbleichlauge oder Natriumhypochloritlauge genannt - in Form einer alkalischen, ätzenden Lösung. Gemäß der E DIN EN 901 enthält Natriumhypochloritlauge 150 g/l Chlor und etwa 12 g/l Natronlauge. Da diese oft nach Gewicht gehandelt wird und ihre Dichte etwa 1,2 g/ml beträgt, entspricht eine Natriumhypochloritlösung mit 12,5 % Chlor der Norm. In der Regel wird die handelsübliche Natriumhypochloritlösung vor der Zugabe zum Beckenwasser im Verhältnis 1:3 mit Füllwasser verdünnt. Über das genaue Verdünnungsverhältnis geben die Betriebsanleitungen Auskunft. Wegen ihrer Alkalität (pH-Wert ca. 11) kann es schon bei mittelhartem Wässern zu Verstopfungen an der Impfstelle kommen, die aus Kalkausfällungen resultieren. Die Impfstelle ist daher in regelmäßigen Abständen zu warten. Weiterhin erhöht die Alkalität der Natriumhypochloritlösung den pH-Wert des Schwimmbeckenwassers, der durch Säuredosierung auszugleichen ist. In keinem Fall darf jedoch Säure zum pH-Wertausgleich direkt der unverdünnten oder verdünnten Natriumhypochloritlösung zugegeben werden: es entsteht sofort giftiges Chlorgas! Auch darf sie nicht mit anderen Lösungen, gleich welcher Art und Herkunft, vermischt werden, sondern stets nur mit Wasser!

Natriumhypochloritlösungen sind nicht besonders lagerstabil, das Chlor (Hypochlorit) zersetzt sich durch die Einwirkung von Licht, Wärme und vor allem durch Schwermetallspuren. Im allgemeinen rechnet man mit einem Chlorverlust von 1g/l pro Tag bei ca. 20°C, daher sollten die Bezugsmengen dem zu erwartenden Bedarf eines Monats angepasst werden. Natürlich ist fabrikfrische Ware zu bevorzugen, die dann möglichst kühl in dunklen Räumen gelagert werden sollte.

Calciumhypochlorit (anorganisches Chlorprodukt)

Das handelsübliche Calciumhypochlorit (**Ca(ClO)₂**) enthält gemäß E DIN EN 900 mindestens 65 % Chlor, also bedeutend mehr als Natriumhypochloritlösungen. Andere Bestandteile sind Calciumcarbonat, Calciumhydroxid, Natriumchlorid und Kristallwasser. Letzteres kann zwischen 5 und 10% liegen und dient zur Stabilisierung des Calciumhypochlorits gegen hitzebedingten Zerfall. In fester Form (überlicherweise als Granulat oder Tabletten, Pulver ist weniger empfehlenswert) ist es über Jahre beständig und sollte daher als Notreserve in keinem Bad fehlen (kühl und trocken lagern!). Es eignet sich aber auch für fällig werdende Stoßchlorierungen: man kann das Granulat nach oder vor dem Badebetrieb direkt auf die Wasseroberfläche streuen.

Für die Dosierung als Lösung empfiehlt es sich, eine 1-2%ige Lösung herzustellen, die dann etwa 6,5 bis 13 g wirksames Chlor je Liter enthält. Höher konzentrierte Lösungen sind wie Natriumhypochloritlösungen weniger beständig und der dann höhere Trübstoffgehalt (bedingt durch den Anteil des wasserunlöslichen Calciumcarbonates) kann die Dosierpumpe verstopfen. Calciumhypochlorit reagiert alkalisch, d.h. bei fortgesetzter Anwendung kommt es zu einem pH-Wertanstieg im Schwimmbeckenwasser, besonders wenn dieses weich bis mittelhart ist.

Calciumhypochlorit und dessen wässrige Lösungen dürfen mit keinen anderen Chemikalien (andere Chlorprodukte, pH-Senker etc.) vermischt werden!

Chlor-Chlordioxid

Gegenüber der alleinigen Anwendung von Chlor (Chlorgas, Natrium- oder Calciumhypochlorit) hat das Chlor-Chlordioxid-Verfahren den Vorteil, dass es bei gleicher Wirkung in weitaus geringerem Maße geruchlich wahrnehmbar ist. Chlordioxid ClO_2 wird an Ort und Stelle durch eine Reaktion von Chlorgas bzw. unterchloriger Säure mit einer wässrigen Natriumchlorit-Lösung (NaClO_2) in besonderen Apparaturen erzeugt, wobei Chlor stets im Überschuss vorhanden sein muss (Mischungsverhältnis Chlor : Natriumchlorit = 10 : 1). Der Chlorüberschuss ist erforderlich, um eine Rückbildung von Natriumchlorit aus Chlordioxid zu unterbinden. Gemäß den Anforderungen der DIN 19 643: 1984-04 soll der Chloritgehalt im Beckenwasser 0,1 mg/l nicht überschreiten.

Die handelsüblichen Natriumchlorit-Lösungen enthalten etwa 300 g NaClO_2 pro Liter.

Ozonung-Chlorung

Ozon (O_3), eine aktive Form des Sauerstoffes (O_2), ist ein starkes Oxidationsmittel. Wegen seiner Giftigkeit (ca. 10 mal größer als die von Chlor) wird es nur innerhalb der Aufbereitungsstrecke eingesetzt, d.h. nach der erforderlichen Kontaktzeit mit dem aufzubereitenden Wasser durch Aktivkohlefiltration (Sorptionsfiltration) wieder aus diesem entfernt. Am Ablauf des Sorptionsfilters dürfen maximal 0,05 mg/l Ozon gemessen werden.

Die Verwendung von Ozon als Desinfektionsmittel in der Aufbereitungsstrecke ersetzt nicht die Zugabe eines Desinfektionsmittels für das Badebeckenwasser, wie z.B. Chlor. Lediglich die Chlorzehrung im Beckenwasser wird durch die zusätzliche Verwendung von Ozon verringert.

Vorteile der Ozonierung sind:

- Wirksame Abtötung von Keimen
- Oxidation wasserlöslicher, organischer Verschmutzungsstoffe, wie z.B. Harnstoff
- Geringere Menge an Trihalogenmethanen (vgl. Seite 22)
- Niedrigere Chlorzehrung im Beckenwasser
- Keine störenden Rückstände

Gasförmiges Ozon ist wie seine wässrige Lösung (max. 25 mg/l O_3) sehr unbeständig und muss daher am Orte seines Einsatzes erzeugt werden. Der Einsatz von Ozon bedingt erhebliche Investitionen für den Ozonerzeuger mit den erforderlichen Zusatzeinrichtungen, wie z.B. Lufttrockner, Ozonwäscher, Aktivkohlefilter etc.. Ozonerzeugungsanlagen für die Wasseraufbereitung sind genormt (DIN 19 627).

Neben den bisher genannten Desinfektionsmitteln finden gerade im privaten Schwimmbadbereich noch weitere Desinfektionsmittel Verwendung, die hier ergänzend erwähnt sind. Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da der private Schwimmbadbereich keinen Vorgaben durch den Gesetzgeber in Deutschland unterliegt und die Art der Wasseraufbereitung somit in das Ermessen des Betreibers gestellt ist.

Es sei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass der Einsatz dieser Desinfektionsmittel in öffentlichen Bädern durch die DIN 19643 nicht vorgesehen ist.

Brom

Elementares Brom (Br_2) ist wie Chlor ein Halogen und somit prinzipiell zur Desinfektion von Schwimmbeckenwasser geeignet. Vorteil des Broms: Anders als die Chloramine (gebundenes Chlor) sind die entsprechenden Bromamine geruchlos, reizen die Schleimhäute nicht und verfügen über eine unverminderte Desinfektionskraft. Nachteilig ist hingegen die grundsätzliche geringere Oxidationswirkung, der höhere Preis und die ätzende Wirkung des elementaren Broms (bei versehentlichem Hautkontakt mit flüssigem Brom entstehen schwer heilbare Wunden!).

Wesentlich sicherer in der Anwendung sind die sogenannten Brom-Sticks, in denen sowohl Brom als auch Chlor enthalten sind (chemischer Name: 1-Bromo-3-chloro-5,5-dimethylhydantoin). Brom-Sticks werden vorwiegend in Privatbädern eingesetzt. In Frankreich, Österreich und England sind sie auch für die Wasserdesinfektion in öffentlichen Bädern zugelassen, allerdings mit gewissen Einschränkungen.

Chlorierte Isocyanurate (organische Chlorprodukte)

(Natriumdichlorisocyanurat, Trichlorisocyanursäure)

Natriumdichlorisocyanurat (schnelllöslich) und Trichlorisocyanursäure (langsamlöslich) sind in Tabletten- und Granulatform erhältlich.

Vorteil: hoher Gehalt an wirksamen Chlor (56-90%), Beständigkeit, leichte und sichere Handhabung. Nachteil: die organische Trägersubstanz (Isocyanursäure) beeinflusst bei höherer Konzentration (ab ca. 40 mg/l) die Keimtötungsgeschwindigkeit des Chlors, so dass zum Ausgleich höhere Chlorgehalte (0,6-1,2 mg/l, gemessen mit DPD-Tablette No.1) im Beckenwasser aufrecht erhalten werden müssen. (Vgl. b-Wert-Gutachten zur Verwendung von Trichlorisocyanursäure.) Bei genügender Füllwasserzufuhr wird normalerweise eine Konzentration der Isocyanursäure von 30-40 mg/l nicht überschritten.

Wesentlich ist in diesem Zusammenhang, dass durch die Anwesenheit von Isocyanursäure ein neuer Begriff zu prägen ist, das "gesamt verfügbare Chlor". Darunter versteht man die Summe aus freiem Chlor und das an die Cyanursäure gekoppelte Chlor (Chlordepot). Mit der DPD-Tablette No. 1 wird dieses "gesamt verfügbare Chlor" bestimmt. Um auf den tatsächlichen Gehalt an "freiem Chlor" zu kommen, muss man die Cyanursäurekonzentration im Wasser kennen. Bei einer Cyanursäurekonzentration von 30 mg/l beträgt zum Beispiel der Anteil freies Chlor am "gesamt verfügbaren Chlor" nur noch 43%-47%; bei einer Cyanursäurekonzentration von 70 mg/l sind es sogar nur noch 19%-37%.

Cyanursäurekonzentration	30 mg/l	50 mg/l	70 mg/l	90 mg/l	100 mg/l	130 mg/l
Anteil "freies Chlor" am "gesamten verfügb. Chlor" (bei pH 7,5 ; t = 25°C)	ca. 45%	ca. 33%	ca. 28%	14%	12 %	10 %

Prozentangaben: Mittelwerte aus unterschiedlichen Literaturstellen

Diese wichtige Tatsache muss man berücksichtigen, wenn man die bakteriologische Wirksamkeit des "gesamt verfügbaren Chlors" diskutiert.

Aus dem variablen Verhältnis von "gesamt verfügbarem Chlor" zu "freiem Chlor" ergibt sich die Notwendigkeit, die Cyanursäurekonzentration regelmäßig zu überwachen.

Iod, Silber

Iod gehört wie Chlor und Brom zur Gruppe der Halogene, ist aber den letzteren wegen der wesentlich geringeren Oxidationskraft unterlegen. Darüber hinaus verleiht Iod dem Beckenwasser eine unansehnliche Braunfärbung, das u. U. die Sicherheitsanforderungen (einwandfreie Sicht über den ganzen Beckenboden) nicht gewährleistet sind.

Silber verfügt über keine Oxidationswirkung und tötet Mikroorganismen nur sehr langsam ab. Verschiedene handelsübliche Zubereitungen enthalten geringe Mengen von Silber (u.a. Silberverbindungen) zur unterstützenden Wirkung.

"Sauerstoff" = Peroxide, Persulfate, u.a.

Sauerstoffabspaltende Verbindungen, wie z.B. Wasserstoffperoxid oder Persulfat, werden als Oxidations- bzw. Desinfektionsmittel eingesetzt. Oxidierend bzw. desinfizierend wirkt hierbei jedoch nicht Sauerstoff (O_2 molekular), wie ihn unsere Atemluft enthält, sondern ein Sauerstoffradikal. Da dieses Sauerstoffradikal sehr schnell zu molekularem Sauerstoff rekombiniert, also den Sauerstoff unserer Atemluft bildet, besteht die Desinfektions- bzw. Oxidationswirkung nur kurz nach Zusatz des Mittels. Der Begriff "Sauerstoffmethode" ist also etwas irreführend, da auch hierbei, wie bei allen anderen Desinfektionsverfahren, dem Wasser eine Chemikalie zugesetzt wird, und nicht etwa nur Sauerstoff. Eine Depotwirkung ist nur eingeschränkt vorhanden; deshalb wird dieses Verfahren in öffentlichen Bädern nicht eingesetzt.

In Privatbädern empfiehlt sich wegen der eingeschränkten Depotwirkung neben dem Einsatz der "Sauerstoffmethode" in regelmäßigen Zyklen die Verwendung eines Algizides zur Algenvermeidung oder von Chlor zur Erlangung der Depotwirkung.

Die Dosierung des Sauerstoffabspalters sollte vor Benutzung des Bades entsprechend der Herstellerangaben erfolgen.

Besonders berücksichtigt werden muss die Tatsache, dass bei der parallelen Verwendung von Wasserstoffperoxid oder Persulfaten die Chloranalytik mit dem DPD Verfahren die Summe der beiden Oxidationsmittel als Ergebnis ausweist. Insbesondere kann bei Verwendung der DPD No. 3 Tablette zur Messung des Gesamtchlors ein wesentlich höherer Wert erhalten werden. Dieser Wert ist dann nicht nur auf die Anwesenheit von gebundenem Chlor zurückzuführen, sondern auch auf die sauerstoffabspaltende Verbindung, die auf Grund ihrer Kinetik (Reaktionsgeschwindigkeit) in der vorgegebenen Zeitspanne nicht mit DPD No. 1 reagiert hatte. Lediglich bei der Verwendung von Monopersulfat kann durch einen zusätzlichen Analyseschritt (Verwendung der MPS Out Tablette) eine Differenzierung zwischen Chlor und Monopersulfat vorgenommen werden.

Biguanide (PHMB)

Verschiedene polymere Hexamethylenbiguanide werden als Desinfektionsmittel für Schwimmbadwasser angeboten. Von ihrem Wirkungsspektrum herstellen sie nur teilweise einen Ersatz für Chlor dar, da mit Biguaniden gewisse Algenbildungen nur schwer kontrollierbar sind. Ferner sind Biguanide keine Oxidationsmittel, so dass der Abbau von organischen Verunreinigungen (Urin, Schweiß) nicht erfolgt.

Biguanide sind im Wasser sehr beständig, müssen aber auf Grund des Wasser-austausches regelmäßig nachdosiert werden.

Auch bei diesem Verfahren muss die Konzentration des Biguanides im Wasser regelmäßig kontrolliert werden, da zu geringe Mengen eine nicht ausreichende Desinfektionswirkung bedingen, zu große Mengen können Augenreizungen und/oder Geschmacksprobleme hervorrufen.

Biguanide vertragen sich nicht mit Chlor-, Brom-, Kupfer- und Silberverbindungen. Sie sollten deshalb immer nur dann dosiert werden, wenn sichergestellt ist, dass das Schwimmbadwasser frei von den o.g. Verbindungen ist und nie parallel mit diesen Verbindungen verwendet werden. Die genaue Verwendung, die vorbereitenden Arbeiten zur Verwendung und den empfohlenen Konzentrationsbereich entnimmt man am besten aus der Informationsschrift des jeweiligen Herstellers.

Die meisten Hersteller empfehlen zusätzlich zu den Biguaniden die Verwendung von Wasserstoffperoxid zum oxidativen Abbau von wasserlöslichen Verschmutzungen und zur Algenprophylaxe.

Algizide: Quats (QAC), Kupfer

Beim Betrieb von Freibädern kann es trotz Aufrechterhaltung eines Restchlorgehaltes von mindestens 0,3 mg/l freiem Chlor zu einer Veralgung des Wassers kommen, insbesondere bei schwüler Witterung und nach Gewitterregen. Zur Vorbeugung gegen den Algenbefall und auch zur Beseitigung von vorhandenem Algenwuchs eignen sich sogenannte Quats (quaternäre Ammoniumverbindungen), die bereits in sehr geringer Konzentration wirksam werden (1-4 mg/l Wirksubstanz). In der Regel zeichnen sich Quats durch ihre Oberflächenaktivität aus und begünstigen bei höherer Anwendungskonzentration die Schaumbildung des Beckenwassers. Neuzeitliche Quats sind zum Teil schaumarm eingestellt oder gar schaumfrei. Wichtig: mindestens 12 Stunden vor dem Zusatz von Quats sollte

eine Stoßchlorung mit mindestens 5 g/m^3 (entspricht 5 mg/l) Chlor durchgeführt werden. Quats ersetzen nicht die Chlorung, sind aber chlorverträglich, so dass bei ihrer Anwendung die übliche Chlorung nicht unterbrochen werden muss.

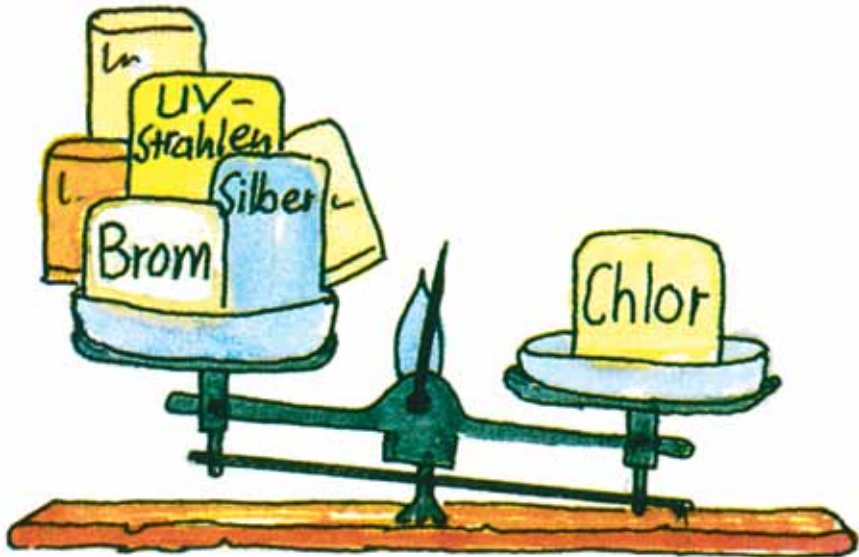
Die Quats haben das früher gebräuchliche Algizid Kupfersulfat (Kupfervitriol) wegen dessen nachteiliger Eigenschaften verdrängt. Zum einen kann Kupfersulfat die Haare der Badenden verfärben, andererseits beobachtet man häufig nur schwer entfernbare Flecken an den Schwimmbadwänden. Hohe Konzentrationen führen zu einer Grünfärbung des Wassers.

Resümée

“... bei sachgemäßer Handhabung stellt die Chlorung nach wie vor ein für die Aufbereitung und Desinfektion ausgezeichnetes Verfahren dar, das sicher nicht ohne weiteres zu ersetzen ist und das vielleicht auch nicht um jeden Preis ersetzt werden muss...”

Zitat:

Dr. D. Eichelsdörfer et al: Archiv des Badewesens 29,9-13 (1976)



Die Untersuchungsmethoden

Gemäß DIN 19 643 sind u.a. folgende Untersuchungen täglich durchzuführen und unter anderem in das Betriebstagebuch einzutragen (Grenzwerte siehe Seite 47):

- Chlor (freies und gebundenes)¹⁾: im Beckenwasser bei Betriebsbeginn und Betriebsende sowie in der Mitte der Betriebszeit.
- pH-Wert¹⁾: im Beckenablauf, jeweils vor und nach dem Badebetrieb.
- Säurekapazität $K_{s,4,3}$ des Rohwassers: wöchentlich

Diese Messungen sind also unerlässlich für den sicheren Betrieb eines Schwimmbades und werden in der Regel auch von der zuständigen Aufsichtsbehörde zu ermitteln, z.B. bakteriologische Werte (Koloniezahl, E. coli etc.), chemische Werte (u.a. Kaliumpermanganatverbrauch (Seite 63), Nitrit, Nitrat etc.) und physikalische Werte (Färbung, absetzbare Stoffe).

Die folgenden Messungen dienen zur Kontrolle der Betriebssicherheit, sie geben dem Schwimmbadbetreiber wertvolle Hinweise auf den Zustand des Wassers und bilden die Grundlage für wesentliche Entscheidungen bezüglich der Betriebsweise der gesamten Anlage (siehe Seite 41):

Gesamthärte, Calcium-Härte, Chloride, Sulfate.

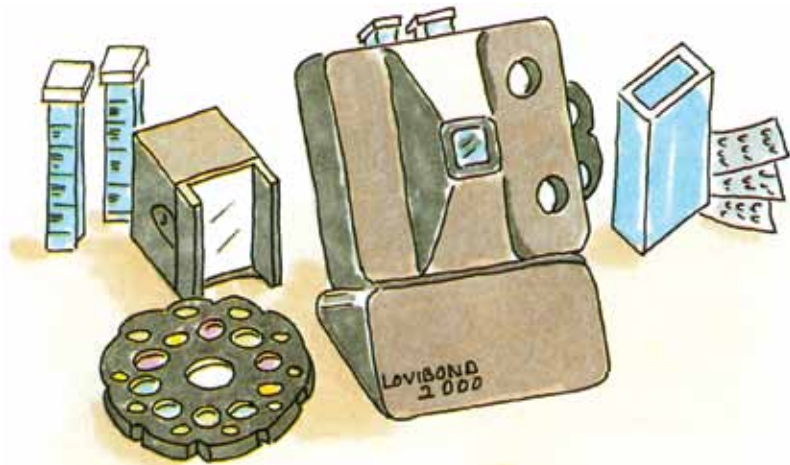
Für die Untersuchung von Beckenwasser eignen sich kolorimetrische, photometrische, titrimetrische und elektrochemische Verfahren. Von diesen haben sich in der Praxis die kolorimetrischen und photometrischen Verfahren bestens bewährt. Sie zeichnet sich durch leichte und sichere Handhabung bei hoher Genauigkeit aus. Auch bei der Trink-, Brauch- und Abwasseraufbereitung werden kolorimetrische und photometrische Verfahren eingesetzt.

Kolorimetrische Verfahren

Der besondere Vorteil des Lovibond® 2000 Comparator-Systems liegt in dessen universeller Anwendungsmöglichkeit: mit einem einzigen Gerät, dem Lovibond® 2000 Comparator, können nach dem Baukastenprinzip alle notwendigen Routineuntersuchungen durchgeführt werden. Die "Chemie" der kolorimetrischen Lovibond®-Bestimmungsmethoden beschränkt sich in vielen Fällen auf die Zugabe speziell entwickelter Tabletten zur Wasserprobe. Die Tabletten enthalten alle erforderlichen Komponenten in abgestimmter Menge und sind zur einfachen und sicheren Handhabung einzeln in Folien verpackt (siehe Seite 36).

Das kolorimetrische Verfahren beruht auf dem optischen Vergleich der Farbe bzw. der Farbtiefe, die in der Wasserprobe nach Zugabe der entsprechenden Indikatortablette entsteht, mit Farbstandards (Farbscheibe). Als Lichtquelle genügt Tageslicht. Für den Einsatz in Hallenbädern empfiehlt sich jedoch, wegen der dort wechselnden Lichtverhältnisse (Tageslicht-Kunstlicht) eine Lovibond®-Tageslichtleuchte zu verwenden, die gleichmäßige Lichtverhältnisse unabhängig vom Ort der Messung garantiert.

¹⁾ Bei automatisierter Messung und Regelung des freien Chlors und des pH-Werts kann die Häufigkeit der Messungen auf einmal täglich zu Betriebsbeginn reduziert werden.



Die erforderliche Genauigkeit der Messergebnisse kann nur bei Verwendung hochwertiger Farbscheiben sichergestellt werden. Ausschließlich Farbstandards aus Glas sind licht- und chemikalienbeständig sowie hoch kratzfest. Lovibond®-Farbstandards bestehen aus „durch und durch“ gefärbten und plan geschliffenen Gläsern.

Kontinuierliche Farbkeile (Farbverläufe) können mit Glas nicht realisiert werden. Eine Alternative stellen hier Farbscheiben aus Kunststoff dar, welche unter Umständen jedoch nur bedingt lichtecht sind. Richtige Lagerung(dunkel) und Beachtung des Verfallsdatums sind Grundanforderungen an Kunststofffarbscheiben.

Photometrische Verfahren

Durch den Einsatz moderner Technologie ist es mittlerweile möglich, photometrische Verfahren zur Routineanalyse im Schwimmbadbereich einzusetzen.

Ein gutes Beispiel dafür sind die Lovibond® Photometer-Systeme, die durch die Verwendung moderner Technik schnelle, sichere und präzise Messergebnisse liefern.

Die Lovibond® Photometer sind sowohl für den mobilen Einsatz als auch für das Labor geeignet.

Titrimetrische Verfahren

Unter "Titration" versteht man folgende Vorgehensweise: Einem abgemessenen Probevolumen wird zuerst ein Indikatorsystem (Farbstoff) zugesetzt, welches eine Färbung in der Probe hervorruft. Danach wird sukzessive eine Maßlösung (Titer) zugesetzt, bis ein Farbumschlag zu einer anderen Farbe (z.B. von Gelb nach Blau) beobachtet wird. Anhand der verbrauchten Titermenge kann dann die Konzentration in der Probelösung berechnet werden.

Eine vereinfachte Vorgehensweise bei der titrimetrischen Bestimmung bieten die Lovibond® MINIKITS. In den MINIKITS werden Indikator und Maßlösung durch Reagenztabletten ersetzt und das Analyseergebnis einfach aus dem Tablettenzählfaktor (Anzahl der Tabletten bis zum oben beschriebenen Farbumschlag) berechnet.

Titrimetrische Bestimmungsverfahren (MINIKITS) sind unter anderem für die Bestimmung der Säurekapazität und der Wasserhärte verfügbar.

Elektrochemische Verfahren

Grundlage einer jeden elektrochemischen Messung ist das Vorhandensein einer Messzelle (Halbzelle), welche in direkter Abhängigkeit zu der zu bestimmenden Ionenkonzentration steht. Um ein elektrisches Signal (Spannung) messen zu können, benötigt man eine Bezugs elektrode. Taucht man diese beiden Halbzellen in die zu untersuchende Lösung ein und verbindet sie durch ein Voltmeter, kann die Potentialdifferenz zwischen den beiden Elektroden gemessen werden. Man erhält einen Messwert in Volt, welcher durch das entsprechende Messgerät in den Anzeigewert umgerechnet wird (pH-Wert, Redoxspannung).

Reagenzien

Reagenzlösungen

Reagenzlösungen bestehen in der Regel nicht aus einer Zubereitung, sondern aus mehreren Komponenten, die nacheinander der Probe zugesetzt werden müssen. Da sowohl Größe als auch die Anzahl der Tropfen einen entscheidenden Einfluss auf den zu bildenden Farbkomplex haben, muss die Dosierung äußerst akkurat vorgenommen werden. Die Haltbarkeit von Flüssigkeiten ist durch den temporären Kontakt mit Luftsauerstoff beim Öffnen der Flaschen und durch ungeeignete Lagerbedingungen (Sonnenbestrahlung oder höhere Temperaturen) eingeschränkt. Die Haltbarkeit der Lovibond® DPD-Lösungen beläuft sich bei Lagerung der Flaschen in einem Temperaturbereich zwischen 6 und 10°C auf 1 Jahr ab Herstellungsdatum.

Reagenztabletten

Zu den wesentlichen Vorteilen dieser Darreichungsform gehört, dass mit jeder Tablette eine genau definierte Menge der benötigten Zubereitung (Indikator, Puffer, Komplexbildner etc.) dosiert wird. Lovibond®-Tabletten für den differenzierten Nachweis verschiedener Restchlorgehalte sind nach EG-Richtlinien und Gefahrstoffverordnung nicht kennzeichnungspflichtig und unterliegen auch keiner Einschränkung beim Versand. Jahrzehntelange Erfahrung in der Tablettenproduktion und die Tatsache, dass jede Tablette einzeln in einer PE-kaschierten Aluminiumfolie verpackt ist, führten dazu, den Zeitraum für die garantierte Mindesthaltbarkeit der DPD-Tabletten von bisher 5 Jahren auf 10 Jahre ab Herstellungsdatum zu erweitern.

Reagenzpulver

Die am weitesten verbreitete Form dieser Zubereitungen sind die vordosierten Pulverpäckchen (Powder Packs). Das Reagenz ist zwischen 2 Aluminiumfolien eingeschweißt. Somit ist wie bei den Reagenztabletten eine gute Lagerstabilität gegeben. Lediglich die Dosierschwankungen beim Befüllen sowie die undefinierten Restmengen, die im geöffneten Powder Pack zurückbleiben, führen gelegentlich zu größeren Messwertschwankungen.

Teststreifen

Die in der Wasseranalytik angebotenen Teststreifen werden häufig in Plastik- oder Metallröhrchen mit Stopfen oder Schraubverschluss angeboten. Durch das permanente Öffnen dieser Röhrchen reagieren die Teststreifen mit Luftsauerstoff, Luftfeuchtigkeit und ggf. UV-Licht. Eine schnelle Alterung des Reagenzes mit entsprechender Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Farbreaktion ist nicht auszuschließen. Die auf dem Trägermaterial (Teststreifen) aufgebrauchte Chemikalienmenge ist in vielen Fällen zu gering, um die für die chemische Reaktion benötigten optimalen Reaktionsbedingungen zu schaffen. Dies gilt insbesondere für Teststreifen, die durch Schwenken in der Wasserprobe ihr Reagenzsystem an das 10 ml Probenvolumen abgeben sollen, um dann die Probe einer kolorimetrischen oder photometrischen Vermessung zu unterziehen.

Wird die Farbentwicklung auf dem Trägermaterial durchgeführt, so ist bei niedrigen Messwerten die Farbintensität oftmals unzureichend und die Teststreifen beginnen mit den auswertbaren Farben erst bei relativ hohen Messwerten. Das relativ unterschiedliche Farbempfinden der Anwender, die hier die entstandene Färbung auf dem Teststreifen gegen einen Offsetdruck vergleichen müssen, führt oft zu größeren Messfehlern.

Probennahme

Genauso wichtig wie die Auswahl des richtigen Messverfahrens ist die richtige Probennahme. Wasserproben zur Bestimmung von Chlor und pH-Wert, die unmittelbar nach der Probennahme vor Ort zu untersuchen sind, werden direkt vom Zapfhahn (Roh-, Rein- und Füllwasserproben) nach einer angemessenen Ablaufzeit in die Küvetten oder das Messgefäß gefüllt, in denen die Bestimmung durchgeführt wird. Beckenwasser wird als Schöpfprobe aus dem oberflächennahen Bereich (10 - 30 cm unter der Wasseroberfläche und etwa 50 cm vom Beckenrand entfernt) genommen.

Bei der Probenentnahme für die Messung des pH-Wertes ist darauf zu achten, dass die Probe ohne Verlust an Kohlendioxid in das Probegefäß gelangt. Dazu wird die Probe ohne Verwirbelung und Belüftung in die Küvette gefüllt.

Analyseverfahren

Ammonium

Ammonium NH_4^+ gelangt hauptsächlich durch die Badegäste in das Schwimmbeckenwasser und entsteht durch Zersetzung stickstoffhaltiger Verunreinigungen, wie z.B. Harnstoff und Eiweißverbindungen. Durch dessen Fähigkeit, mit freiem Chlor sogenannte Chloramine zu bilden, beeinträchtigt Ammonium die Desinfektionswirkung des Chlores erheblich. Daher ist der Ammoniumgehalt im Beckenwasser möglichst niedrig zu halten.

Für die Kontrolle des Ammoniumgehaltes im Schwimmbeckenwasser hat Lovibond® eine spezielle Farbscheibe für den Bereich 0 bis 0,4 mg/l NH_4^+ entwickelt.

Die Ammoniumbestimmung erfolgt in Küvetten mit einer Schichttiefe von 40 mm mit den Ammonium No. 1 und No. 2-Tabletten.

Harnstoff

Neben Ammonium (NH_4^+) ist Harnstoff ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) einer der wichtigsten Verschmutzungsindikatoren im Schwimmbadewasser. Harnstoff wird in Form von Urin und Schweiß in das Schwimmbadewasser eingetragen.

Die Ammonium- und Harnstoffbelastung lässt sich durch gründliches Duschen der Badegäste im unbedeckten Zustand vor dem Schwimmen am besten verringern.

Die tatsächlich eingebrachte Menge an Harnstoff hängt u. a. von der Körperbewegung (Anstrengung) des Badegastes und seiner Hygiene sowie der Wasser- und Außentemperatur ab.

Enzymatische und bakteriologische Vorgänge zersetzen Harnstoff im Schwimmbadewasser zu Ammonium und Kohlendioxid.

Chlorverbindungen, die als Desinfektionsmittel im Schwimmbadewasser verwendet werden, reagieren mit Ammonium zu Chloraminen und mit Harnstoff zu Chlornharnstoff. Dieses so genannte gebundene Chlor hat, wie bereits ausgeführt, eine reduzierte Keimtötungsgeschwindigkeit und ist verantwortlich für Hautirritationen und den typischen Schwimmbadgeruch.

Die Bestimmung von Harnstoff im Schwimmbadewasser gibt einen schnellen Hinweis auf die Notwendigkeit, mehr Frischwasser zuzusetzen bzw. die Chlordosierung präventiv zu erhöhen - speziell bei außerordentlichen Belastungen des Bades (schönes Wetter - großer Besucherandrang).

Brom

Das DPD-Verfahren eignet sich auch für die Bestimmung des Broms im Wasser. Allerdings ist das entsprechende "gebundene Brom" genauso wirksam wie das freie Brom, so dass auf eine Unterscheidung zwischen beiden Formen verzichtet werden kann. Diese Tatsache nutzt man für die Bestimmung von Brom neben Chlor: durch Zusatz einer speziellen Tablette (DPD-Glycin) wird das freie Chlor in gebundenes übergeführt, die Messung mit der DPD No. 1-Tablette ergibt nun den Gehalt an Brom.

Chlor

(freies, gebundenes und Gesamtchlor nach dem DPD-Verfahren)

Ammoniak (Ammonium) und Harnstoff sind die typischen Verschmutzungsstoffe des Schwimmbeckenwassers. Mit freiem Chlor (unterchlorige Säure und Hypochlorit) verbinden sie sich zu sogenannten Chloraminen, die hauptsächlich Ursache für den bekannten Hallenbadgeruch und für die unangenehmen Augenreizungen sind. Das in den Chloraminen enthaltene Chlor besitzt nur noch eine geringe Desinfektionswirkung und wird deshalb als gebundenes Chlor bezeichnet. Die früher weitverbreitete Chlormessmethode mit o-Tolidin erfasst beide Chlorarten gleichzeitig, das Messergebnis war also wenig aussagekräftig. Darüberhinaus gehört o-Tolidin zu den Stoffen, die als krebserregend gelten und ist deshalb durch verschiedene Runderlässe (z.B. Rd. Erl. des Innenministers NRW vom 03.09.1971 - VIII B3-1.41 -) im öffentlichen Bereich aus dem Verkehr gezogen worden. Erst mit der Einführung des DPD-Verfahrens wurde es möglich, auf einfache, sichere und zuverlässige Art zwischen freiem und gebundenem Chlor im Wasser zu unterscheiden. Die Bestimmung des freien Chlores im Trinkwasser wie im Schwimmbeckenwasser ist auf Grund von Vorschriften ausschließlich nach der DPD-Methode durchzuführen.

Leider hört man noch oft die Meinung, der typische Hallenbadgeruch und Beschwerden der Badenden über gerötete Augen seien auf ein Zuviel an Chlor zurückzuführen.

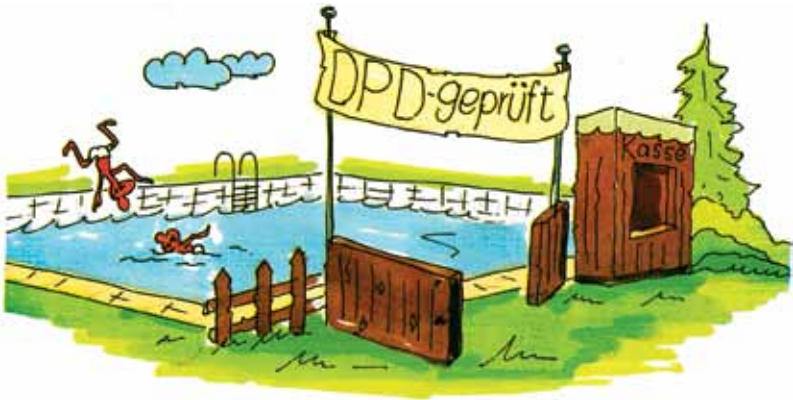
Nein, es ist eher umgekehrt! Nur ein Überschuss an freiem Chlor "vernichtet" das gebundene Chlor! Deshalb ist bei einem Anstieg des Gehaltes an gebundenem Chlor umgehend die Chlordosierung sukzessiv zu erhöhen, gegebenenfalls sogar eine Stoßchlorung (über Nacht) durchführen.

Das Prinzip der DPD-Methode besteht darin, dass das DPD-Reagenz (Diethyl-p-phenylendiamin) zunächst nur das freie Chlor anzeigt. Nach Zusatz einer weiteren Tablette wird dann auch der Anteil an gebundenem Chlor mit angezeigt:

Mit der DPD No.1-Tablette bestimmt man zunächst das **freie Chlor**:

Eine saubere Küvette wird mit dem zu untersuchenden Wasser gespült. Einige Tropfen werden in der Küvette zurückgelassen.

und bei sofortigem Wiederverschluss nach Gebrauch (mit dem farblich gekennzeichneten Deckel) eine Mindesthaltbarkeit von einem Jahr garantiert.



Die DPD No.1-Tablette wird zugegeben und zerfällt bzw. wird mit einem sauberen Rührstab zerdrückt; anschließend wird bis zur 10 ml Marke aufgefüllt, die Küvettendeckel aufgesetzt, die Probe durch Schwenken vermischt und der Wert sofort gemessen.

Mit der sogenannten DPD No.3-Tablette bestimmt man kolorimetrisch oder photometrisch den Gehalt an **Gesamtchlor**:

Nach Ermittlung des Messergebnisses (freies Chlor) wird zu der bereits gefärbten Probe eine DPD No.3-Tablette zugegeben, mit einem sauberen Rührstab zerdrückt, der Deckel aufgesetzt, die Probe durch Schwenken vermischt und das Messergebnis 2 Minuten nach Zugabe der DPD No. 3-Tablette abgelesen (Gesamtchlor).

Zieht man vom Gesamtchlor den Wert für freies Chlor ab, erhält man den Gehalt an **gebundenem Chlor**.

Die DPD No.3-Tablette enthält Kaliumiodid, welches bereits in geringster Konzentration die Bestimmung des Gesamtchlors ermöglicht. Aus diesem Grund ist es unbedingt notwendig, nach der Bestimmung des Gesamtchlors die Küvette, den Deckel und ggf. den Rührstab gründlich zu reinigen.

Wird dieser Verfahrensvorschrift keine Aufmerksamkeit geschenkt, können anhaftende Spuren von Kaliumiodid – DPD No.3 – bei einer anschließenden Messung des freien Chlors in jener Küvette einen zu hohen Gehalt an freiem Chlor vortäuschen, und zwar zu Lasten des Gesamtchlors. Das heißt, man misst unfreiwillig von vornherein das Gesamtchlor und glaubt, es sei freies Chlor.

Ferner ist darauf zu achten, dass die verwendete Küvette (Gleiches gilt natürlich für den Deckel und den Rührstab) chlorzehrungsfrei ist. Manche Haushaltsreiniger und Geschirrspülmittel enthalten reduzierende Stoffe. Diese verursachen eine Chlorzehrung in der Probe und damit zu niedrige Messwerte. Die einfachste Art chlorzehrungsfreie Küvetten zu erhalten, ist, diese bei Nichtnutzung in chlorhaltigem Wasser aufzubewahren. Vor Gebrauch werden diese dann mit der Probe einfach nur mehrfach gespült.

Wird dieser Verfahrensvorschrift keine Aufmerksamkeit geschenkt, können anhaftende Spuren von Reagenz - DPD No.3 - bei einer anschließenden Messung des freien Chlores in ein und derselben Küvette einen zu hohen Gehalt dieser Chlorform vortäuschen, und zwar zu Lasten des Gesamtchlors, d. h. man misst unfreiwillig von vornherein das Gesamt-Chlor und glaubt, es sei freies Chlor.

Alternativ zur Verwendung von Reagenztabletten werden in der DIN 38 408 ausschließlich frisch angesetzte Flüssigreagenzien beschrieben. Trotzdem gibt es immer wieder Nachfrage nach stabilen Reagenziensätzen.

Die Lovibond® -Flüssigreagenzien für die Bestimmung von freiem Chlor besteht aus zwei Komponenten, die tropfenweise der Probe zugesetzt werden.

Analog zur Bestimmung von Gesamtchlor mit Tablette wird bei Verwendung von Flüssigreagenzien eine dritte Komponente in Tropfenform zugegeben.

Für Lovibond® -Flüssigreagenzien wird bei sachgemäßer Lagerung (Kühlschrank) und bei sofortigem Wiederverschluss nach Gebrauch (mit dem farblich gekennzeichneten Deckel) eine Mindesthaltbarkeit von einem Jahr garantiert.

Bestimmung von Chlor, Chlordioxid, Brom und Ozon

Freies Chlor	Gebundenes Chlor	Gesamtchlor	Monochloramin-Dichloramin
DPD No.1-Tablette (Wert direkt ablesen)	DPD No.1-Tablette (freies Chlor = Wert 1) plus DPD No.3-Tablette (Gesamtchlor = Wert 2) Wert 2 minus Wert 1 = Gebundenes Chlor	DPD No.4-Tablette (Wert direkt ablesen) oder DPD No.1 und 3-Tabletten plus	DPD No.1-Tablette (freies Chlor = Wert A) plus DPD No.2-Tablette Ergebnis = Wert B Rechnung: Wert B minus Wert A = Monochloramin DPD No.3 Tablette (Ergebnis = Wert C) Wert C minus Wert B = Dichloramin
Chlor und Chlordioxid	Brom	Ozon	Ozon neben Chlor
neben anderen Formen von Restchlor DPD No.1 und 3 Tablette Glycin-Tabletten Säure-Tabletten Neutralisations-Tabletten	DPD No.1 und 3-Tablette sowie Glycin-Tabletten	DPD No.4-Tablette oder DPD No.1 und 3-Tablette	DPD No.1, 3 oder 4-Tablette sowie Glycin-Tabletten oder Ozon-Tablette

Chlorit

(nur bei Verfahrenskombination mit Chlor-Chlordioxid)

Für die exakte Bestimmung des Chloritgehaltes wird eine erweiterte DPD-Methode angewendet. In der Praxis hat es sich in Privatbädern jedoch als ausreichend erwiesen, den Chloritgehalt über die Bestimmung des gebundenen Chlores zu ermitteln. Bei der erweiterten DPD-Methode wird der Chloritgehalt nach Zusatz einer Säuretablette und einer Neutralisationstablette ermittelt.

Fehlerquellen bei der Chlorbestimmung (siehe Seite 61, 62)

Cyanursäure

Die Cyanursäurekonzentration wird mit einem einfachen Testbesteck bestimmt; der Zusatz einer Lovibond® Cyanursäure-Tablette zu der Wasserprobe erzeugt eine charakterliche Trübung, die durch ein kleines Tauchröhrchen ausgewertet werden kann.

Alternativ kann die Cyanursäurekonzentration auch photometrisch bestimmt werden.

Die Kenntnis der Cyanursäurekonzentration ist wichtig, da durch das DPD-Verfahren in Verbindung mit Cyanursäure nur das gesamte verfügbare Chlor bestimmt wird (siehe Seite 30, 31).

Gesamthärte, Calciumhärte, Chloride, Säurekapazität $K_{54,3}$

Bei diesen Bestimmungen der Härte handelt es sich um titrimetrische Verfahren. Bei einem titrimetrischen Verfahren wird ein geeigneter Indikator durch sukzessive Zugabe eines Titors zu einem definierten Farbumschlag gebracht. Die Menge des zugegebenen Titors steht im direkten Verhältnis zu der gesuchten Konzentration. Mit der Produktreihe Lovibond® **MINIKIT** können in Form von Tablettenzählverfahren die Bestimmungen durchgeführt werden. Zu einem abgemessene Probenvolumen wird eine Reagenztablette gegeben. Die Wasserprobe färbt sich. Es werden weitere Tabletten nacheinander zugegeben, bis ein definierter Farbumschlag beobachtet wird (z.B. von grün nach rot). Aus der Anzahl verbrauchter Tabletten erhält man durch Multiplikation mit einem Faktor das gesuchte Analyseergebnis.

Gesamthärte:	Verwendung von Total Hardness-Tabletten
Calciumhärte:	Verwendung von Calcium Hardness-Tabletten
Chloride:	Verwendung von Chloride-Tabletten
Säurekapazität $K_{54,3}$:	Verwendung von Total Alkalinity-Tabletten

Alternativ zu dem Tablettenzählverfahren steht für einige Verfahren auch ein sogenannter Lovibond® **Speedtest** zur Verfügung. Bei dem Speedtest wird ein graduiertes Röhrchen verwendet. Das Röhrchen wird mit der zu untersuchenden Wasserprobe gespült, einige Tropfen der zu untersuchenden Wasserprobe werden in dem Röhrchen zurückgelassen. In diesen Tropfen wird die entsprechende Reagenztablette gelöst, wodurch sich die Wasserprobe färbt. Es wird sukzessive die zu untersuchende Wasserprobe zugegeben, bis ein definierter Farbumschlag erfolgt. Durch die gegebene Füllhöhe kann das Ergebnis direkt abgelesen werden.

Gesamthärte: T-Hardness Test Tabletten
 Säurebindevermögen $K_{S4,3}$: Alk Test Tabletten
 Calciumhärte: Cal Test Tabletten

Sämtliche Bestimmungen können natürlich auch **photometrisch** durchgeführt werden:

Gesamthärte: Hardcheck P Tabletten
 Calciumhärte: Calcheck Tablette oder Calcio H No.1 / No.2 Tabletten
 Säurekapazität $K_{S4,3}$: Alka-M-Photometer Tabletten
 Chloride: Chloride T1/T2 Tabletten
 Sulfat: Sulfate T Tabletten

Umrechnungstabelle

Säurekapazität $K_{S4,3}$ in mmol/l	CaCO ₃ Calciumcarbonat Faktor	°dH* deutsche Härte Faktor	°fH französische Härte Faktor	°eH englische Härte Faktor
x Faktor = Ergebnis	50	2,8	5,0	3,5

*Karbonathärte (Bezug = Bikarbonat – Anionen)

Beispiel: 2,5 mmol/l x 2,8 = 7,0° deutscher Härte (°dH)

Ozon

(nur bei der Verfahrenskombination mit Chlor)

Für den Nachweis von Ozon (**O₃**) im Schwimmbeckenwasser eignet sich besonders die menschliche Nase: von ihr werden bereits 1 Teil Ozon in 500.000 Teilen Luft sicher wahrgenommen. Ist also der typische Ozongeruch (ähnlich wie in unmittelbarer Nähe einer Höhensonne) in der Schwimmbadhalle bzw. oberhalb der Wasseroberfläche feststellbar, sollte umgehend die Aktiv-Kohlefilterstufe auf Ihre Funktion hin untersucht werden.

Für die Ozonbestimmung in Wasser in Gegenwart von Chlor eignet sich ebenfalls die DPD-Methode. Einmal bestimmt man die Summe von Ozon und Chlor, in einer erneuten Messung nur das Chlor, nachdem durch Zusatz einer Glycintablette das Ozon eliminiert worden ist. Die Differenz beider Messwerte ergibt den Gehalt an Ozon in mg/l O₃.

Alternativ kann Ozon auch mit der "Ozone"-Tablette nachgewiesen werden. Der Indikator Indigotrisulfonat weist eine blaue Färbung auf. Mit zunehmender Ozonkonzentration wird dieses Blau entfärbt. Für eine höhere Nachweisgenauigkeit wird im Comparator ein Probevolumen von 20ml (40 mm Küvetten) verwendet. Auch die photometrische Bestimmung von Ozon mit der "Ozone"-Tablette ist möglich. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass Ozon direkt bestimmt werden kann und Chlor nicht stört.

pH-Messung mit Phenolred

In der Regel sollte der pH-Wert des Schwimmbeckenwassers zwischen 6,5 und dem schwach basischen Wert von 7,6 liegen, ein Bereich, der weitestgehend mit einer Lovibond® Farbscheibe (Bereich 6,8-8,4 mit Phenolrot-Tabletten) oder Lovibond® Photometern erfasst wird.

Wichtig: Hat das zu untersuchende Wasser einen pH-Wert außerhalb dieses Bereiches, zeigt der Comparator stets die Grenzwerte der Farbscheibe an, eben 6,8 oder 8,4. Das kann zu einer falschen Bewertung mit erheblichen Konsequenzen führen. Werden also bei unbekanntem Wässern diese Grenzwerte ermittelt, so empfiehlt es sich, zur Sicherheit mit dem Lovibond® CHECKKIT® -System eine orientierende pH-Wert-Prüfung vorzunehmen. Stellt sich bei dieser Voruntersuchung heraus, dass das Wasser sauer (pH unter 4) oder alkalisch (pH über 10) ist, kann eine totale oder auch teilweise Erneuerung des Schwimmbeckenwassers u. U. vorteilhafter sein als größere Mengen an pH-Regulierungschemikalien portionsweise (!) dem Wasser zuzugeben.

Die Lovibond® Phenolrot-Tabletten enthalten sorgfältig abgestimmte Zusatzstoffe, um den störenden Einfluss von Chlor auf die pH-Wert-Messung auszugleichen. Für die anderen pH-Wertbereiche gibt es eine Vielzahl von Lovibond® -Farbscheiben mit unterschiedlichen Abstufungen.



pH-Messung mit Glaselektroden

Bei einer pH-Elektrode bildet sich an der Glasmembran ein elektrisches Potenzial aus, welches in direkter Abhängigkeit zur H^+ -Ionen-Konzentration steht. Als Bezugs-elektrode dient in den meisten Fällen eine Silber-Silberchlorid-Halbzelle, welche mit der Glaselektrode zu einer sogenannten Einstab-Messkette zusammengebaut ist. Die Bezugs-elektrode ist über ein Diaphragma mit der zu messenden Lösung verbunden. Da die pH-Wert-Messung mit einer Einstab-Messkette temperaturabhängig ist, empfiehlt sich die Verwendung einer automatischen Temperaturkompensation.

Ferner ist darauf zu achten, dass pH-Meter regelmäßig zu kalibrieren sind. Dazu benutzt man sogenannte Pufferlösungen. Je nach Anspruch an die Genauigkeit des pH-Meters wird mit zwei bzw. drei Pufferlösungen (4, 7 und 10) kalibriert.

Phosphat

Für den Phosphatnachweis (Ortho-Phosphat) stehen sowohl kolorimetrische Verfahren (Lovibond®, Comparator System oder Lovibond®, Checkit,) als auch ein photometrisches Verfahren zur Verfügung. Der Messbereich beträgt 0-4 mg/l.

Phosphat (Ortho): Verwendung von "Phosphate No.1/No.2 LR" Tabletten

Säurebedarf

Der pH-Wert der zu untersuchenden Wasserprobe wird unter Verwendung einer Phenolrot Tablette gemessen. Der pH-Wert wird notiert. Zu der gefärbten Lösung gibt man einen Tropfen "Acid Demand Test Solution" hinzu, mischt und prüft nochmals den pH-Wert durch Farbvergleich. Man fährt so fort und zählt die Tropfen bis zum Erreichen des gewünschten pH-Wertes.

Verwendet werden können kolorimetrische Systeme wie das Comparator-System oder der Pooltester in Verbindung mit "Acid Demand Test Solution".

Kontinuierliche Messverfahren

Unter kontinuierlichen Messverfahren versteht man die permanente Erfassung von Analysedaten unter Berücksichtigung der zeitlichen Veränderung.

Die Redox-Spannung

Die Redox-Spannung (**mV**) ist ein Maß für die keimtötende und oxidative Wirkung von Desinfektionsmitteln im Badewasser. Unter dem Begriff Redox-Spannung versteht man eine Spannung, welche man an einer Edelmetall-Elektrode (Platin oder Gold) gegen eine Bezugs-Elektrode (Kalomel/ Hg_2Cl_2 oder Silber (Ag/AgCl)) beim Eintauchen in eine Lösung (Redox-System) misst. (Einheit mV "Milli-Volt"). Redox-Spannungen sind vom pH-Wert abhängig und müssen deshalb immer mit dem pH-Wert zusammen dokumentiert werden.

Die Spannung ist abhängig vom Konzentrationsverhältnis Oxidationsmittel (z.B. freies Chlor) zum Reduktionsmittel (z.B. organische Verunreinigungen).

Die Redox-Spannung ist also ein genaues Maß für die oxidierende bzw. desinfizierende Wirkung des vorhandenen Desinfektionsmittels (Chlor) unter Berücksichtigung der im Moment vorliegenden Verunreinigungen. Derselbe Chlorgehalt kann in einem anderen Wasser eine niedrigere oder eine höhere Redox-Spannung ergeben, je nachdem wie groß der Gehalt an reduzierenden Wasserinhaltsstoffen (Verunreinigungen) ist. Ferner laufen Spannungsänderungen nur langsam ab, deshalb werden Störungen im Betriebsablauf nur verzögert angezeigt.

Die kontinuierlich gemessene und ggf. auf einem Schreiberstreifen registrierte Redox-Spannung eignet sich somit weder für die Steuerung der Chlordosierung noch als Ersatz für die quantitative Erfassung des differenzierten Chlorgehaltes. Es wird für eine eigene Betriebsüberwachung bzw. für die Beobachtung tendenzieller Änderungen der Wasserbeschaffenheit herangezogen.

Amperometrische Chlormessung

Amperometrisch arbeitende Chlormesszellen bestehen aus zwei verschiedenen Metallelektroden im Kontakt mit dem Messwasser. Diese beiden Elektroden bilden ein galvanisches Element, welches, so lange das Wasser kein Chlor (Oxidationsmittel) enthält, nahezu vollständig polarisiert ist und nur einen sehr kleinen Reststrom liefert (von der Wasserbeschaffenheit abhängig), der elektronisch kompensiert werden muss. Ändert sich die Wasserbeschaffenheit, (z.B. der Salzgehalt), so verändert sich auch der Reststrom und die elektrische Kompensation muss kalibriert und justiert werden.

Ist freies Chlor im Wasser vorhanden, so wird die oben erwähnte Polarisation gestört, das Element wird depolarisiert und liefert einen elektrischen Strom, dessen Größe proportional der Konzentration des Oxidationsmittels ist. Durch die Auswahl der für die Elektroden verwendeten Metalle (Platin/Kupfer) sind die Messwerte spezifisch für freies Chlor. Wird der durch die Depolarisation hervorgerufene Strom einem bestimmten Gehalt an freiem Chlor zugeordnet (Justieren des Gerätes), kann der aktuelle Gehalt an freiem Chlor zu jedem Zeitpunkt abgelesen werden. Die Messwerteinstellung und die Kalibrierung und Justierung des Gerätes wird mit Hilfe eines Kolorimeters (Comparator) oder Photometers nach der DPD-Methode vorgenommen (vgl. Seite 39-41). Erste Voraussetzung für eine exakte, kontinuierliche Messung ist jedoch, dass die Nullpunkt-Einstellung korrekt ist. Dafür benötigt man Messwasser, welches über einen Entchlorungsfilter geleitet wurde.

Die Elektroden selbst müssen sauber gehalten werden, da die aktive Elektrodenoberfläche entscheidend für die Interpretation des erhaltenen Depolarisationsstromes ist. Aus diesem Grund werden häufig Elektroden mit einer automatischen Reinigung wie z. B. Zirkulation von Reinigungspartikeln in der Messzelle angeboten. Je nach Herstellerempfehlung sollten die Nullpunkt- und Messbereichseinstellungen sowie die Reinigung der Elektroden als routinemäßige Betriebskontrolle wöchentlich durchgeführt werden.

Neben diesen beiden indirekten Messmethoden hat die kolorimetrische bzw. photometrische Messung der Restchlorgehalte im Schwimmbadwasser größte Bedeutung. Bei den kolorimetrischen bzw. photometrischen Messmethoden handelt es sich um die direkte Erfassung von Einzelmesswerten zur Kontrolle der automatisch arbeitenden Mess- und Regelanlagen.

ANHANG

Anforderungen (Auszug) an Reinwasser und Beckenwasser (E DIN 19643-1: 2011-05)

Parameter	Anwendungsbereich	Einheit	Reinwasser		Beckenwasser	
			unterer Wert	oberer Wert	unterer Wert	oberer Wert
pH-Wert	bei Flockung mit Aluminium- oder Aluminium-Eisen-Produkten		6,5	7,2	6,5	7,2
	bei Flockung mit Eisen-Produkten					
	a) Süßwasser		6,5	7,5	6,5	7,5
	b) Meerwasser		6,5	7,8	6,5	7,8
freie Chlor	allgemein	mg/l	0,3	n.B	0,3	0,6
	Warmsprudelbecken	mg/l	0,7	n.B.	0,7	1,0
	gebundenes Chlor	mg/l	-	0,2*	-	0,2*
Säurekapazität $K_{s4,3}$	bei Flockung mit Produkten der Basizität $\leq 65\%$					
	a) alle Anlagen außer	mmol/m ³			0,7	
	b) Warsprudelbecken mit eigener Aufbereitung	mmol/m ³			0,3	
	bei Flockung mit Produkten der Basizität $> 65\%$ sowie ohne Flockung	mmol/m ³			0,3	

n.B. = nach Bedarf (max. 1,2 mg/l im Beckenwasser)

*gelegentliche Überschreitung von bis zu 20% sind tolerierbar.

Das private Schwimmbad

Auch wenn keine Verpflichtung besteht, sollte der private Schwimmbadbetreiber im Interesse seiner Gesundheit und zur Werterhaltung seiner Anlage, die Aufbereitung seines Schwimmbadewassers durch entsprechende Anlagen technisch sinnvoll gestalten.

Automatisch arbeitende Komponenten bedürfen einer Wartung und ggf. Kalibrierung, was sich für den technisch Uninteressierten am besten in Form eines Wartungsvertrages mit der Liefer- bzw. Montagefirma realisieren lässt.

Darüber hinaus sollten bestimmte Wasserpflegemaßnahmen in bestimmter zeitlicher Abfolge durchgeführt werden:

	Messen	Soll
Täglich	freies Chlor	0,3 - 0,6 mg/l (0,6 - 1,2 mg/l bei bis zu 40 mg/l Cyanursäure)
	gebundenes Chlor	so gut wie nicht vorhanden
	pH-Wert	6,5 - 7,6
Wöchentlich	Cyanursäure Säurekapazität $K_{s4.3}$ *	weniger als 40 mg/l 80 - 120 mg/l $CaCO_3$
Monatlich	Calciumhärte* Chlorid Sulfat	150 - 300 mg/l $CaCO_3$ möglichst weniger als 150 mg/l Cl ⁻ möglichst weniger als 150 mg/l SO_4^{2-}

* Das Messen von Säurekapazität $K_{s4.3}$ (Alkalinität) und Calciumhärte macht nur Sinn, wenn das "Wasserkonditionsprinzip" angewendet wird (siehe Seite 52).

Auswertung der Messergebnisse (Messmethode siehe Seite 38 ff)

Unabhängig von der Art der empfohlenen Dosierung sollte diese in kleine Portionen über die gesamte Wasseroberfläche verteilt erfolgen.

Bei handelsüblichen Aufbereitungsmitteln muss auf jeden Fall die durch den Hersteller angegebene Dosierung verwendet werden.

Chlor frei Ist der Messwert kleiner 0,3 mg/l sollte die Dosierung der Chlorprodukte erhöht werden. Für die Erhöhung des Wertes um 0,1 mg/l werden *alternativ* benötigt:

Calciumhypochlorit (65%) 15 g (Werte für 100.000 l Wasser)

Natriumhypochlorit (12,5%) 80 ml (Werte für 100.000 l Wasser)

Natriumdichloisocyanurat 18 g (Werte für 100.000 l Wasser)

Trichlorisocyanursäure (90%) 11 g (Werte für 100.000 l Wasser)

Ist der Messwert größer als 0,6 mg/l sollte die Dosierung solange gestoppt werden bis der Messwert wieder im akzeptablen Bereich liegt.

Das Schwimmbad sollte in dieser Zeit auf keinen Fall benutzt werden, wenn der Wert über 2 mg/l liegt. In jedem Fall liegt die Nutzung des Schwimmbades in der Eigenverantwortung des Betreibers. Um zu hohe Werte an freiem Chlor schnell abzubauen, eignet sich zur Senkung um 0,5 mg/l freies Chlor alternativ die Menge von:

- Natriumsulfit 90 g (Werte für 100.000 l Wasser)
- Natriumthiosulfat 250 g (Werte für 100.000 l Wasser)

Chlor gebunden

Ist der Messwert größer 0,2 mg/l, wird sich dies aller Wahrscheinlichkeit nach durch den typischen Hallenbadgeruch und/oder gerötete Augen bei Benutzung bemerkbar machen. Ursache für erhöhte Werte an gebundenem Chlor können sein:

- starke organische Belastung
- zu geringer Füllwasserzusatz
- Verunreinigungen am Beckenboden oder in der Überlaufrinne, die nicht regelmäßig entfernt werden
- keine oder unzureichende Flockung (Flockungsmittel entfernen feinste Verschmutzstoffe, die mit freiem Chlor zu gebundenem Chlor reagieren. Die Dosierung sollte kontinuierlich erfolgen, die Dosiermenge fertig eingestellter Lösungen richtet sich nach den Anwendungshinweisen der Lieferanten).
- Filtrerrückspülung nicht oder nicht häufig genug durchgeführt
- zu niedriger Wert an freiem Chlor

Folgende Maßnahmen sind geeignet, den Wert an gebundenem Chlor zu reduzieren. Diese Maßnahmen sollten erst ergriffen werden, wenn alle möglichen Ursachen beseitigt sind.

- Erhöhung des Wertes an freiem Chlor auf mindestens 0,6 mg/l. Durch die regelmäßige Dosierung von ausreichenden Mengen freies Chlor kann der Gehalt an gebundenem Chlor langfristig reduziert werden.
- Stoßchlorung: Dazu wird zuerst der Filter rückgespült, die Überlaufrinnen gereinigt und ggf. der Beckenboden abgesaugt (Entfernen aller wasserunlöslichen Verunreinigungen). Danach wird dem Wasser außerhalb der Badebetriebszeiten, möglichst gleichmäßig verteilt, eine größere Menge Chlor zugesetzt, um den Wert an freiem Chlor spontan zu erhöhen.

Dem Wasser kann *alternativ* zudosiert werden:

- Calciumhypochlorit 750 g (Werte für 100.000 l Wasser)
- Natriumhypochlorit 5 l (Werte für 100.000 l Wasser)

Die Dosierung von großen Mengen Chlor bedingt eine pH-Wert-Verschiebung. Der pH-Wert muss nach der Stoßchlorung gemessen und korrigiert werden. Das Schwimmbecken sollte erst dann wieder benutzt werden, wenn die Werte von freiem Chlor und pH-Wert zwischen Minimal- und Maximalwert liegen.

pH-Wert

Ist der Messwert zwischen pH 6,5 und 7,6, wird empfohlen, die Dosierung des pH-Senkers/Hebers wie bisher beizubehalten. Ist der pH-Wert kleiner 6,5, kann die Bausubstanz und die Aufbereitungsanlage geschädigt werden. Ferner ist eine gesundheitliche Schädigung bei pH-Werten kleiner 5,5 nicht mehr auszuschließen. pH-Werte über 7,6 beeinflussen die Keimtötungsgeschwindigkeit von chlorhaltigen Aufbereitungsmitteln negativ. Die Wahrscheinlichkeit von Kalkausfällungen nimmt zu und das Wasser kann eintrüben. Ferner kann es bei der Verwendung von aluminiumhaltigen Flockungsmitteln zur nicht vollständigen Ausbildung der Flocke in der Aufbereitungsstrecke kommen. Die Flocken bilden sich unter Umständen zeitverzögert erst im Beckenwasser, was ebenfalls zu Eintrübungen führt. Ferner können sich bereits gebildete Flocken wieder auflösen und die an sie gebundenen Kolloide wieder freisetzen.

Fallunterscheidung

1. der pH-Wert des Wassers wird auch automatisch gemessen und geregelt. Da es zu Abweichungen außerhalb der Grenzwerte gekommen ist, sollte die pH-Elektrode kalibriert und justiert werden. Ferner muss die Regelanlage überprüft werden. Bevor der Service eingeschaltet wird, bitte prüfen, ob die Vorratsgefäße für pH-Heber/Senker ausreichenden Füllstand aufweisen.
2. Der pH-Wert des Wassers wird manuell geregelt. Die genaue Menge des pH-Hebers/Senkers kann auf der Basis des pH-Wertes allein nicht ermittelt werden. Es werden folgende zusätzliche Bestimmungen benötigt:
 - Alternative a) Säurebedarf/Basenbedarf
 - Alternative b) Säurekapazität und Calciumhärte

Die Alternative a) Säurebedarf/Basenbedarf ist die direkte Bestimmung der benötigten Menge pH-Heber/Senker mit einem Testkit (vgl. Seite 45) 1 Tropfen Lösung entspricht der Dosierung von:

Natriumhydrogensulfat 400 g (Wert für 100.000 l Wasser)

Es wird empfohlen, max. 500 g Säure zu dosieren. Vor der weiteren Zugabe sollte die Umwälzanlage eingeschaltet werden und 4-6 Stunden laufen, damit sich die Säure im gesamten Becken verteilt. Danach erfolgt eine neue pH-Wert Bestimmung und ggf. eine neue Bestimmung des Säurebedarfs.

Hinweis: Das angegebene Verhältnis Tropfenzahl zu Dosiermenge gilt ausschließlich für Lovibond®,-Acid-Demand Test Solution.

Bei Alternative b) wird durch Bestimmung der Säurekapazität und Calciumhärte durch Anwendung des "Water Balance" (Wasser-konditionierungs-) Prinzip (vergleiche Seite 53) die entsprechende Korrekturmaßnahme abgeleitet.

Cyanursäure In Abhängigkeit von der Cyanursäurekonzentration kann die Wirksamkeit des nach der DPD-Methode gemessenen freien Chlors stark verringert sein. Das führt zu einem schlechteren oxidativen Abbau von Wasserinhaltsstoffen (z.B. höhere Werte an gebundenem Chlor), zu einer verringerten Keimtötungsgeschwindigkeit und ggf. Algenwuchs.

Ist die gemessene Cyanursäurekonzentration kleiner als 40 mg/l, kann die Dosierung des organischen Chlors den Erfordernissen aus der Chlorbestimmung entsprechend durchgeführt werden.

Ist die gemessene Cyanursäurekonzentration größer als 40 mg/l, sollte zuerst der Cyanursäurewert abgesenkt werden. Dazu ist es erforderlich, Schwimmbadewasser gegen Füllwasser auszutauschen.

Ferner wird empfohlen, in Zukunft die kontinuierliche Füllwasserzufuhr zu erhöhen bzw. wenn keine kontinuierliche Füllwasserzufuhr vorhanden ist, häufiger Füllwasser zuzusetzen oder auf kontinuierliche Füllwasserzufuhr umzustellen. Die empfohlene Füllwassermenge liegt bei mindestens 30 l pro Tag und Badbenutzer.

Bevor die Cyanursäurekonzentration nicht gesenkt ist, sollte kein stabilisiertes Chlor mehr zudosiert werden, auch wenn die Chlorbestimmung und die Auswertung dies ergeben hat.

Säurekapazität Die Säurekapazität beschreibt die Fähigkeit des Wassers, den pH-Wert bei Säure- oder Baseneintrag stabil zu halten. Die Säurekapazität wird im wesentlichen durch die Konzentration der im Wasser gelösten Hydrogenkarbonat-Ionen festgelegt. Die Säurekapazität verringert sich durch den Eintrag von Säuren oder Basen genauso wie durch die Dosierung von pH-Wert beeinflussenden Mitteln, wie z.B. Flockungsmitteln oder chlorhaltigen Desinfektionsmitteln. Eine zu hohe Säurekapazität kann zu Trübungen des Beckenwassers führen. Die Säurekapazität kann durch die Dosierung von Säuren verringert werden. In der Regel ist dies jedoch nicht notwendig. Um die Säurekapazität um 10 mg/l CaCO_3 (= Säurekapazität 0,2 mmol/l) zu verringern, wird benötigt:

Natriumhydrogensulfat 1,8 kg (Wert für 100.000 l Wasser)

Eine zu niedrige Säurekapazität macht das Wasser aggressiv. Fugen, Mörtel und Beton werden zerfressen, metallische Werkstoffe werden angegriffen. Ferner wird es schwierig, einen stabilen pH-Wert zu erzielen. Grundsätzlich wird empfohlen, die Säurekapazität auf einen Wert von 80-120 mg/l CaCO_3 (= Säurekapazität 1,6-2,4 mmol/l) einzustellen. Das Füllwasser sollte mindestens eine Säurekapazität von 0,7 mol/m³ (= 2° dH) haben. Um die Säurekapazität um 10 mg/l CaCO_3 (=Säurekapazität 0,2 mmol/l) zu erhöhen wird benötigt:

Natriumhydrogenkarbonat 1,8 kg (Wert für 100.000 l Wasser)

Calciumhärte Die Calciumhärte wird primär durch das Füllwasser bestimmt. Durch Verdunstung erhöht sich die Calciumhärte im Beckenwasser. Die Dosierung von Calciumhypochlorit oder Verwendung von dolomitischem Filtermaterial führt ebenfalls zu einer Erhöhung der Calciumhärte.

Zu hohe Calciumhärten können zu Trübungen des Beckenwassers führen. Die Calciumhärte kann nur durch erhöhten Füllwasserzusatz verringert werden. Zu niedrige Calciumhärten machen das Beckenwasser aggressiv. Fugen, Mörtel und Beton werden zerfressen. Es wird empfohlen, die Calciumhärte auf einen Wert von 200 - 300 mg/l CaCO_3 einzustellen. Um die Calciumhärte um 10 mg/l CaCO_3 zu erhöhen, wird benötigt:

Calciumchlorid (Dihydrat) 1,5 kg (Wert für 100.000 l Wasser)

CaCO₃: Säurekapazität K_{s4,3} und Calciumhärte Sowohl die Säurekapazität als auch die Calciumhärte werden häufig in Einheiten mg/l CaCO_3 angegeben. Dies ist für viele Anwender irreführend, da hier eigentlich Äpfel mit Birnen verglichen werden.

Bei der Bestimmung der Säurekapazität geht es um den theoretischen Verbrauch an Säure bis zum Erreichen des pH-Werts 4,3. In der DIN 19 643 wird als Einheit deshalb die Menge an verbrauchter Säure (in mmol/l) angegeben.

Im angloamerikanischen Bereich spricht man an Stelle der Säurekapazität von Alkalität (Total Alkalinity, m-Alkalinity). Man betrachtet also nicht den Säureverbrauch, sondern die Konzentration an "Alkalisierungsmittel" (Calciumcarbonat), das rein theoretisch im Wasser vorhanden sein muss, um den gleichen Säureverbrauch hervorzurufen.

Anders ist es bei der Calciumhärte. Dort interessiert nicht die alkalische Eigenschaft des Calciumcarbonats, sondern die Konzentration an Calcium²⁺-Ionen. Normiert wird das Ergebnis dann wieder, indem man annimmt, dass alle im Wasser vorhandenen Calciumionen als Calciumcarbonat vorliegen.

Water Balance Wasserkonditionierung Wenn der pH-Wert, die Calciumhärte und die Säurekapazität bestimmt wurden, kann ergänzend zur der Einzelauswertung das Prinzip der Wasserkonditionierung angewendet werden. Das Prinzip der Wasserkonditionierung ist eine vereinfachte Form des Langelier-Indexes.

Water Balance - Wasserkonditionierung

Berechnung:

Der pH-Wert geht direkt in die Berechnung ein. Für Calciumhärte und Säurekapazität entnimmt man die notwendigen Faktoren der folgenden Tabelle. Die Werte sind für ein durchschnittlich beheiztes Schwimmbad ermittelt worden. Bei unbeheizten Schwimmbädern subtrahiert man 0,1 von der in Zeile 4 berechneten Summe, bei stark beheizten Schwimmbecken und Thermalbädern addiert man 0,1 zu der Summe in Zeile 4.

Calciumhärte Säurekapazität (mg/l CaCO ₃)	60	80	100	120	150	200	300	400
Faktor	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2

1. pH-Wert der Probe
2. Calciumhärtefaktor
3. Säurekapazitätsfaktor
4. Summe aus den Zahlen 1, 2 und 3 _____

Der Wert aus Zeile 4 wird mit der folgenden Tabellen verglichen:

Wert aus Zeile 4	Zustand des Wassers	Empfehlung
9,6 bis 10,5	korrosiv	pH-Wert und/oder Säurekapazität anheben
10,6 bis 10,9	akzeptabel	Wasser gelegentlich überprüfen
11,0 bis 11,2	ideal	_____
11,3 bis 11,6	akzeptabel	Wasser gelegentlich überprüfen
11,7 bis 12,6	kesselsteinbildend	pH-Wert und/oder Säurekapazität senken

Wenn aufgrund der Empfehlung Korrekturmaßnahmen notwendig werden, wird zuerst die Calciumhärte korrigiert, und es erfolgt eine neue Berechnung. Danach erfolgt die Korrektur der Säurekapazität.

Nach diesen beiden Korrekturmaßnahmen wird eine erneute Bestimmung von pH-Wert, Calciumhärte und Säurekapazität empfohlen.

Augenscheinliche Probleme

Folgende Probleme können auch ohne eine chemische Analyse erkannt werden:

Verfärbtes Wasser

Die Verfärbungen können schwarz, grau, braun, blau oder rot sein. Mögliche Ursachen sind oxidierende Verunreinigungen metallischer Natur (Kupfer, Eisen oder Mangan).

Eisen und Mangan kommen besonders dann in Betracht, wenn als Füllwasser Brunnenwasser verwendet wird.

Eisen und Kupfer können aus metallischen Einbauten (Rohrleitung, Wärmetauscher) im Wasserkreislauf stammen, wenn das Wasser korrosiv (niedriger pH-Wert) ist oder längere Zeit war.

Blaue bzw. grüne Verfärbung des Wassers kann aus der Verwendung kupferhaltiger Algizide (Algenvernichter) resultieren.

Trübes Wasser

Trübes Wasser kann verschiedene Ursachen haben und resultiert aus der Anwesenheit von wasserunlöslichen Partikeln:

- unzureichende Filtration, fehlende oder zu seltene Filtrerrückspülung
- Der Filter ist nicht in der Lage, fein verteilte Verunreinigungen (Kolloide) zurückzuhalten. Nur durch Verwendung eines Flockungsmittels werden diese Kolloide filtrierbar.
- Ausfällungen von Calciumcarbonat aufgrund hoher Calciumhärten und/oder zu hohem pH-Wert
- Eingesetzte Algenbildung: Diese Art der Trübung kann dadurch von anderen Trübungsursachen unterschieden werden, dass in Verbindung mit der Trübung sich die Wandoberflächen des Pools glitschig anfühlen. Eine Stoßchlorung oder der Zusatz eines Algizids (Algenvernichter) kann hier Abhilfe schaffen.

Schaumbildung

Schaumbildung kann durch Überdosierung eines Algizids (Algenvernichter) entstehen.

Wasser teilweise ablassen und durch Füllwasser ersetzen. In jedem Fall später die Dosierung des Algizids reduzieren oder zu einem schaumfreien Produkt wechseln.

Algenwachstum

Algen benötigen für ihr Wachstum warmes Wasser, Sonnenlicht, Kohlendioxid und Nährstoffe wie Nitrat (aus dem Abbau der Chloramine) oder Phosphat. Sowohl über das Füllwasser als auch durch die Badenden gelangen Phosphate in das Schwimmbeckenwasser. Durch verfahrensgerecht betriebene Flockungsfiltrationen kann das Phosphat aus dem Badewasser ausgefällt und somit den Algen als Nährstoff entzogen werden. Durch Optimierung der Flockungsvorgänge entsteht in einem Schwimm- und Badebecken mit einwandfreier Durchströmung kein Algenwuchs. Bei dem Algenwachstum ist die verfahrensgerechte Betriebsweise der Aufbereitungsanlage gesondert zu prüfen; insbesondere die Verfahrensstufe Flockung.

Es gibt drei wichtige Gruppen von Algen.

Gelbe Algen (selten) tauchen als pulvriger Niederschlag am Beckenboden auf. Sie sind weitestgehend chlorresistent.

Schwarze (blaugrüne) Algen (selten) tauchen als Flecken an der Wand auf. Da sie oftmals in Schichten übereinander wachsen, kann zwar die oberste Schicht möglicherweise durch Chlor abgetötet werden, darunter leben sie allerdings weiter. Somit ist auch diese Algenspezies weitestgehend chlorresistent.

Am häufigsten findet man die *grüne Alge*. Grüne Algen schwimmen meistens in Wasser, seltener sitzen sie an den Wandungen. Sollten durch eine schlechte Beckendurchströmung an verschiedenen Stellen Toträume entstehen (keine Umwälzungen des Wassers in diesem Bereich), beginnt das Algenwachstum meistens dort.

Durch die Verwendung von Algiziden kann das Algenwachstum verhindert werden, bzw. die Algen vernichtet werden. Lediglich bei den schwarzen (blaugrün) Algenflecken kommt man meistens um eine mechanische Beseitigung (Bürste) nicht umhin.

Folgende Algizide sind gebräuchlich:

- Quats (Quaternäre Ammoniumsalze);
bei zu hoher Dosierung Schaumbildung
- Polyquats;
schaumarm, aber höhere Dosierung als bei den Quats erforderlich
- Kupfersalze;
effektiv, aber bei höheren Konzentrationen können Verfärbungen der Haare der Badenden auftreten, es wird eine Blaufärbung des Wassers beobachtet und bei Verwendung von Chlor kann es zu grünschwarzen Ablagerungen an den Wandungen kommen.

Ablagerungen

Ablagerungen an den Wandungen können verschiedene Ursachen haben:

- Eisen- und Manganverbindungen, wie sie im Grundwasser vorkommen, wenn dieses direkt für die Befüllung des Schwimmbades verwendet wird. In Gegenwart von Chlor bildensich braune (Eisen) und schwarzgraue (Mangan) Ablagerungen.
- Eisen- und Kupferverbindungen, die durch korrosives Wasser (niedriger pH-Wert) aus metallischen Einbauten (wie z.B. Rohrleitungen, Wärmetauscher und Filtern) herausgelöst wurden. Kupferablagerungen können sowohl blaugrün als auch grauschwarz sein.
- Kupferhaltige Algizide, speziell wenn sie überdosiert werden, ergeben Kupferablagerungen (blaugrün oder grauschwarz).

Chemische Grundlagen in Stichpunkten

Aktivchlor (wirksames Chlor)

Der Begriff „Aktivchlor“ oder „wirksames Chlor“ wird in keiner Norm erwähnt, bezieht sich aber ausschließlich auf die Menge an unterchloriger Säure (HOCl).

Durch den Zusatz von Chlor oder oxidierend wirkenden Chlorverbindungen zum Wasser entsteht unterchlorige Säure (HOCl). Je nach pH-Wert des Wassers dissoziiert (zerfällt) diese unterchlorige Säure in ein Wasserstoff-Kation und ein Hypochlorit-Anion (siehe Seite 67).

Gemäß ISO 7393-2:2000 wird mit dem DPD-Verfahren das freie Chlor als Summe aus unterchloriger Säure und Hypochlorit-Anion bestimmt.

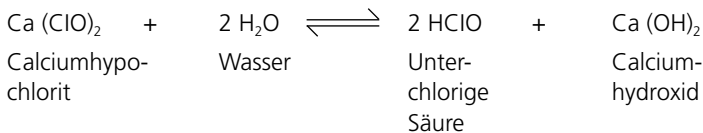
Die in der DIN 19643 angegebenen Werte für das freie Chlor beziehen sich auf die oben erwähnte Norm und stellen somit die Summe aus unterchloriger Säure und Hypochlorit-Anion als freies Chlor dar.

Will man aus dem Ergebnis der DPD No.1-Messung (freies Chlor) den Anteil bestimmen, der ausschließlich aus undissoziierter unterchloriger Säure besteht, kann dies auch nach folgender Formel geschehen (T in °C):

$$\text{Aktivchlor (mg/l HOCl)} = \frac{\text{freies Chlor (DPD No.1)}}{1 + [(0,0567 \times T) + 1,476] \times \frac{10^{-8}}{10^{-\text{pH}}}}$$

Calciumhypochlorit Ca (ClO)₂

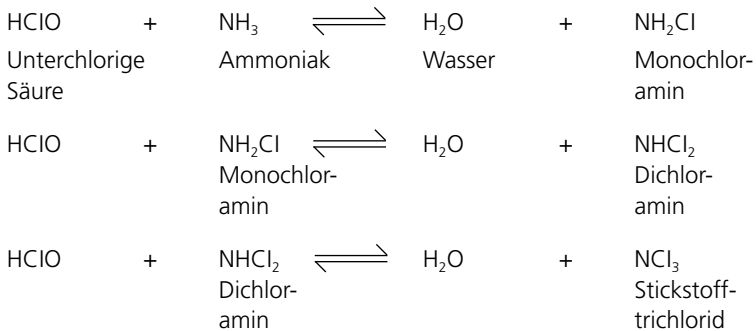
Calciumhypochlorit kommt als Feststoff (Granulat oder Tablette) in den Handel; Masseanteil an Ca(ClO)₂ mindestens 65%.



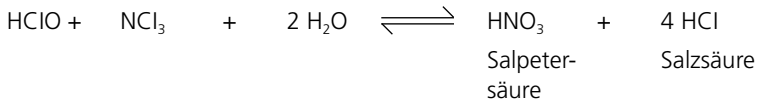
Chloramine

Chlor reagiert in Wasser mit Ammoniak (und in gleicher Weise mit anderen Ammoniumverbindungen, wie z.B. Harnstoff) unter Bildung von Chlor-Stickstoffverbindungen, die nicht nur weitaus geringer keimtötend wirksam, sondern auch für den typischen Hallenbadgeruch verantwortlich sind. Von den aufgeführten Chlor-Stickstoffverbindungen ist das Stickstofftrichlorid am stärksten schleimhautreizend und geruchsbelästigend. Da diese Verbindungen wesentlich geringere Redoxpotentiale besitzen, werden sie auch **gebundenes** Chlor genannt.

Mechanismus (gezeigt am Beispiel Ammoniak):



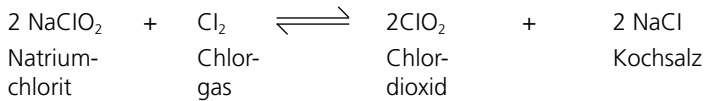
Durch einen **weitere Zugabe von Chlor** können diese Verbindungen abgebaut werden, etwa nach der Gleichung:



Aus dieser Gleichung ist ersichtlich, dass störende Gehalte an gebundenem Chlor durch weitere Zugabe von Chlor abgebaut werden können. Dieser Zusammenhang wird nicht selten falsch ausgelegt, und genau entgegengesetzt wird die Chlorzugabe gedrosselt, anstatt sie zu erhöhen.

Chlor (Cl₂) / Chlordioxid (ClO₂)-Verfahren

Chlordioxid (ClO₂) wird am Zugabeort aus Chlorit und Chlorgas direkt erzeugt.



Chlordioxid bildet keine störende Chloramine und wird in seiner entkeimenden Wirkung nicht vom pH-Wert des Schwimmbeckenwassers beeinträchtigt.

Chlorgas (Cl₂)

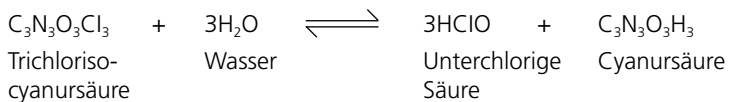
Chlor ist im normalen Zustand ein gelb/grünliches, stechend riechendes Gas, dessen Dichte in Bezug auf die Luft 2,5 beträgt. Unter Normaldruck kann es bei minus 34° C verflüssigt werden. In den Handel kommt es in Chlorgasbehältern und -fässern unter einem Druck von ca. 5 bar.

Chlorung

“Unter Chlorung versteht man den Zusatz von Chlor oder oxidierend wirkenden Chlorverbindungen zum Wasser. Sie dient zur Desinfektion und wird zur Oxidation von Wasserinhaltsstoffen eingesetzt.“

(DVGW-Regelwerk, Technische Mitteilungen, Merkblatt W 203, März 1977)

Cyanursäure



Desinfektion:

Abtöten von Erregern übertragbarer Krankheiten.

Dichloramin

Siehe “Chloramin”

DPD-Verfahren

Zwischen freiem und gebundenem Chlor wird ausschließlich mit Hilfe des DPD-Reagenzes unterschieden. Mit der sogenannten DPD No.1-Tablette bestimmt man kolorimetrisch oder photometrisch zunächst das **freie Chlor**:

Eine saubere Küvette wird mit dem zu untersuchenden Wasser gespült. Einige Tropfen werden in der Küvette zurückgelassen.

Die DPD No.1-Tablette wird zugegeben und zerfällt bzw. wird mit einem sauberen Rührstab zerdrückt; anschließend wird bis zur 10 ml Marke aufgefüllt, der Küvettendeckel aufgesetzt, die Probe durch Schwenken vermischt und der Wert sofort gemessen.

Mit der sogenannten DPD No.3-Tablette bestimmt man kolorimetrisch oder photometrisch den Gehalt an **Gesamtchlor**.

Nach Ermittlung des Messergebnisses (freies Chlor) wird zu der bereits gefärbten Probe eine DPD No.3-Tablette zugegeben, mit einem sauberen Rührstab zerdrückt, der Deckel aufgesetzt, die Probe durch Schwenken vermischt und das Messergebnis 2 Minuten nach Zugabe der DPD No. 3-Tablette abgelesen (Gesamtchlor).

Zieht man vom Gesamtchlor den Wert für freies Chlor ab, erhält man den Gehalt an **gebundenem Chlor**.

Die DPD No.3-Tablette enthält Kaliumiodid, welches bereits in geringster Konzentration die Bestimmung des Gesamtchlors ermöglicht. Aus diesem Grund ist es unbedingt notwendig, nach der Bestimmung des Gesamtchlors die Küvette, den Deckel und ggf. den Rührstab gründlich zu reinigen.

Wird dieser Verfahrensvorschrift keine Aufmerksamkeit geschenkt, können anhaftende Spuren von Kaliumiodid – DPD No.3 – bei einer anschließenden Messung des freien Chlors in jener Küvette einen zu hohen Gehalt an freiem Chlor vortäuschen, und zwar zu Lasten des Gesamtchlors. Das heißt, man misst unfreiwillig von vornherein das Gesamtchlor und glaubt, es sei freies Chlor.

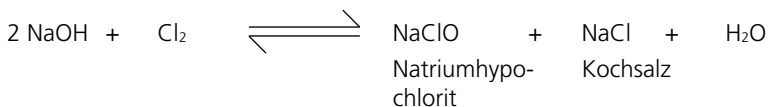
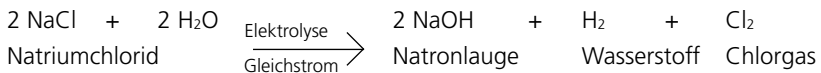
Ferner ist darauf zu achten, dass die verwendete Küvette (Gleiches gilt natürlich für den Deckel und den Rührstab) chlorzehrungsfrei ist. Manche Haushaltsreiniger und Geschirrspülmittel enthalten reduzierende Stoffe. Diese verursachen eine Chlorzehrung in der Probe und damit zu niedrige Messwerte. Die einfachste Art chlorzehrungsfreie Küvetten zu erhalten, ist, diese bei Nichtnutzung in chlorhaltigem Wasser aufzubewahren. Vor Gebrauch werden diese dann mit der Probe einfach nur mehrfach gespült.

DPD Chlorbestimmung (mögliche Fehlerquellen)

- a) Die Wasserprobe ist im oberflächennahen Bereich (ca. 5 cm unter der Wasseroberfläche) und ca. 50 cm vom Beckenrand (DIN 19 643) zu entnehmen. Bei der Probenvorbereitung muss das Ausgasen von Chlor, z.B. durch Pipettieren oder Schütteln, vermieden werden. Die Analyse muss unmittelbar nach der Probenahme erfolgen.
- b) Das in dem Analyseverfahren angegebene Probenvolumen ist exakt einzuhalten.
- c) Die DPD-Farbentwicklung erfolgt bei einem pH-Wert von 6,3-6,5. Die Reagenztabletten enthalten daher einen Puffer zur pH-Wert-Einstellung. Stark alkalische oder saure Wässer müssen jedoch vor der Analyse neutralisiert werden.
- d) Reagenztabletten dürfen auf keinen Fall mit den Fingern berührt werden, sondern sind direkt aus der angerissenen Folie in die Küvette zu geben. Bei dem Aufreißen der Folie ist darauf zu achten, dass die nebenstehenden Tablettentaschen nicht angerissen werden, da die Tabletten mit Luftsauerstoff reagieren.
- e) Die Küvetten dürfen keinesfalls mit den Fingern verschlossen werden, um die Probe zu mischen. Falsche Ergebnisse sowohl bei der Chlor- als auch bei der pH-Wert-Bestimmung sind die Folge.
- f) Die in den Analyseverfahren angegebenen Zeiträume zwischen Zugabe des Reagenzes und Messung sind exakt einzuhalten und weder zu über- noch zu unterschreiten.
- g) Durch schadhafte Verpackung unbrauchbar gewordene Reagenztabletten sind an der grauen Verfärbung, braunen Sprenkeln an der Oberfläche (Sommer sprossen) bzw. dem Verfall zu erkennen und dürfen nicht mehr für die Analyse verwendet werden. Flüssige Reagenzien sind vom Äußerlichen her nicht zu beurteilen. Insbesondere ist bei flüssigen Reagenzien auf das Verfalldatum zu achten, die Flaschen sind kühl und dunkel zu lagern und dürfen nie unnötig ohne Verschlusskappe offen herumstehen.
- h) Nach jeder abgeschlossenen Analyse sind die Küvetten und Deckel mit einer Bürste sowie der Rührstab gründlich unter Leitungswasser zu reinigen. Da viele Haushaltsreiniger (z.B. Geschirrspülmittel) reduzierte Stoffe enthalten, kann es bei der nachfolgenden Bestimmung von Oxidationsmitteln (wie z.B. Chlor) zu Fehlmessungen kommen. Um diese Fehler auszuschließen, verweisen wir auf die EN ISO 7393-2 : 2000, Abs. 5.3:
"Die Glasgeräte sollten chlorzehrungsfrei sein und ausschließlich für diese Verfahren (Bestimmung von freiem Chlor und Gesamtchlor) verwendet werden. Chlorzehrungsfreie Glasgeräte erhält man, indem man sie eine Stunde unter einer Natriumhypochloritlösung (0,1 g/l) aufbewahrt und dann gründlich mit Wasser spült."
Anmerkung: Alternativ zu der Natriumhypochloritlösung können die Küvetten auch im gechlorten Schwimmbeckenwasser aufbewahrt werden und vor Verwendung gründlich mit Wasser gespült werden.

- i) Konzentrationen über 10 mg/l Chlor können zu Ergebnissen innerhalb des Messbereiches bis hin zu 0 mg/l führen. In diesem Fall ist die Wasserprobe mit chlorfreiem Wasser zu verdünnen und die Messung zu wiederholen. (Ergebnis mit Verdünnungsfaktor multiplizieren)
- j) Bei Proben mit hohem Calciumionengehalt (und/oder hoher Leitfähigkeit) kann es bei Verwendung der DPD No.1-Tablette zu einer Eintrübung der Probe und damit verbundener Fehlmessung kommen. In diesem Fall sind alternativ die Reagenztabletten "DPD No.1-High-Calcium und DPD3-High-Calcium" zu verwenden.

Elektrolyse



Entkeimung

Abtöten oder Abscheiden der Mikroorganismen, vor allem der Bakterien, Pilze und Viren, durch physikalische oder chemische Mittel.

Die Entkeimung (Desinfektion) des Trinkwassers dient der Abtötung oder Abscheidung von Krankheitserregern und der Verminderung der Koloniezahlen.

(DIN 2000 (November 1972) Leitsätze für die zentrale Trinkwasserversorgung)

Im Bereich der Trink- und Schwimmbeckenwasseraufbereitung ist also der Begriff "Desinfektion" mehr oder weniger identisch mit dem Begriff "Keimtötung".

Fehlerquellen bei photometrischen Messungen

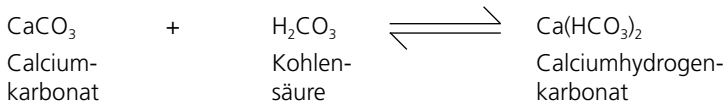
Bei der Verwendung photometrischer Messsysteme sollte man sich darüber im klaren sein, dass diese Messgeräte von der Konzeption her für den Laboreinsatz gedacht sind. Im Rahmen technischer Weiterentwicklungen wurden in den letzten Jahren verschiedene Photometer-Systeme, auch für den mobilen Einsatz bzw. für die Schwimm- und Badewasseranalytik, entwickelt.

Bei der Verwendung solcher Systeme darf jedoch nie übersehen werden, dass genaue Messergebnisse nur dann erzielt werden können, wenn sauber und akkurat gearbeitet wird. Kleine Fehler bei den einzelnen Analyseschritten können zu großen Messwertfehlern führen:

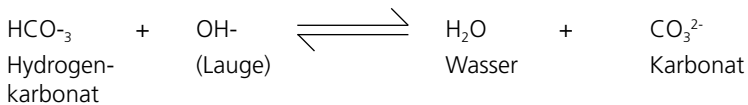
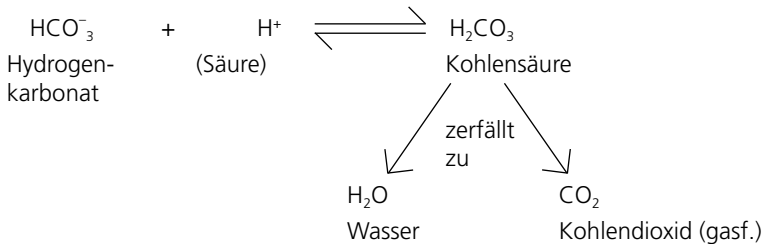
- a) durch Temperaturschwankungen zwischen verschiedenen Räumlichkeiten und hohe Luftfeuchtigkeit in Schwimmbädern kann es leicht zu einem Beschlagen der photoelektrischen Bauteile (Photowiderstand und Lichtquelle) kommen.

Kalk-Kohlensäure Gleichgewicht

Karbonate und Hydrogenkarbonate stehen in wechselseitiger Beziehung zueinander.



Die in dem Wasser enthaltenen Hydrogenkarbonat-Ionen sorgen dafür, dass der pH-Wert stabil bleibt.



Keimtötungsgeschwindigkeit

Die typischen Keime im Schwimm- und Badebeckenwasser können nur dann überleben bzw. sich vermehren, wenn das Wasser ein niedriges Redoxpotential hat (Gleichgewicht zwischen dem Redoxpotential im Inneren der Zelle und dem sie umgebenden Medium).

Durch die Zugabe von Chlor oder anderen oxidativ wirkenden Mitteln wird das Redoxpotential im Schwimm- oder Badebeckenwasser erhöht und es tritt eine Störung im Stoffwechsel des Keimes auf, das Fermentsystem wird geschädigt und der Mikroorganismus stirbt ab. Die zeitliche Abhängigkeit der Keimtötung von der Höhe des Redoxpotentials und somit auch von der Konzentration an Oxidationsmittel (Chlor) nennt man Keimtötungsgeschwindigkeit.

Knickpunkt-Chlorung

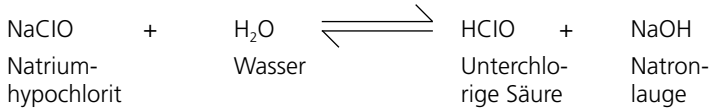
Wenn man stets dem Schwimmbeckenwasser so viel Chlor zusetzt, dass sich kein gebundenes Chlor bilden kann, spricht man von der sogenannten Knickpunkt-Chlorung, die vor allem in den USA und Kanada - auch in Privatbädern - praktiziert wird.

Monochloramin

Siehe "Chloramine" (Seite 58)

Natriumhypochlorit (NaClO) gemäß DIN 19 643

Natriumhypochlorit (auch Chlorbleichlauge) kommt als Flüssigkeit in den Handel und hat einen Aktivchlorgehalt von 12-15 %.



Organische Chlor-Präparate

(Natriumdichlorisocyanurat, Trichlorisocyanursäure)

Festes Granulat oder Tabletten, 50 - 90 % Aktivchlorgehalt.

Die organischen Chlorpräparate werden bevorzugt von Privatbad-Besitzern wegen ihrer leichten Handhabung eingesetzt (siehe Cyanursäure, Seite 59).

Redoxspannung (mV)

Allen oxidierend wirksamen Elementen und Verbindungen, z.B. Chlor, Brom, Iod, Ozon, Kaliumpermanganat (Seite 63) und auch Luftsauerstoff ist gemeinsam, dass sie in Wasser aufgelöst - dort eine Redoxspannung aufbauen. Die Redoxspannung wird in mV (Milli-Volt) angegeben. Ohne auf nähere Einzelheiten einzugehen (Elektroden, Konzentrationen, Temperatur und pH-Wert etc.) kann gesagt werden, dass hohe Redoxspannungen eine hohe Keimtötungsgeschwindigkeit ergeben.

Redox-Spannung* gegen Ag/AgCl 3,5 m KCl		Beckenwasser	
		Unterer Wert	Oberer Wert
für Süßwasser a) 6,5 ≤ pH-Wert ≤ 7,3 b) 7,3 ≤ pH-Wert ≤ 7,6	mV	750	-
	mV	770	-
für Meerwasser und andere Wässer mit einem Gehalt an Bromid > 10 mg/l a) 6,5 ≤ pH-Wert 7,3 b) 7,3 < pH-Wert 7,8	mV	700	-
	mV	720	-
Redox-Spannung* für Wasser mit einem Iodgehalt > 0,5 mg/l	mV	Wert ist experimentell zu bestimmen.	

E DIN 19643 < 1: 2011-05

Messungen der Redox-Spannungen sollten nur kontinuierlich durchgeführt werden, da nach Eintauchen einer Elektrode in die zu untersuchende Lösung, eine größere Zeitspanne (bis zu ca. 20 Minuten) vergeht, bis der Messwert richtig angezeigt wird.

Bei dem Betrieb eines Redox-Spannung-Messgerätes ist darauf zu achten, dass die Elektrode regelmäßig gewartet und gereinigt wird. Bei den Reinigungsarbeiten muss die Elektrode ausgebaut und mechanisch von allen Verbindungen mit dem

Messgerät unter Zuhilfenahme einer Redox-Kalibrierlösung neu justiert, gespült und wieder eingebaut werden. Rückschlüsse von der Redox-Spannung auf den Gehalt an Desinfektionsmitteln und umgekehrt sind grundsätzlich nicht möglich.

Sterilisation

Abtöten oder Abscheiden aller Mikroorganismen.

Stickstofftrichlorid

Siehe "Chloramine", Seite 58

Trihalogenmethane

Trihalogenmethane sind vom Methan abgeleitete organische Verbindungen, bei denen genau drei Wasserstoffatome durch Halogene ersetzt sind. Trihalogenmethane zählen zu den Halogenalkanen.

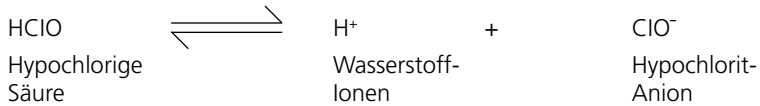
Bekannte Trihalogenmethane sind Trichlormethan (Chloroform) und Tribrommethan (Bromoform).

Trichloramin

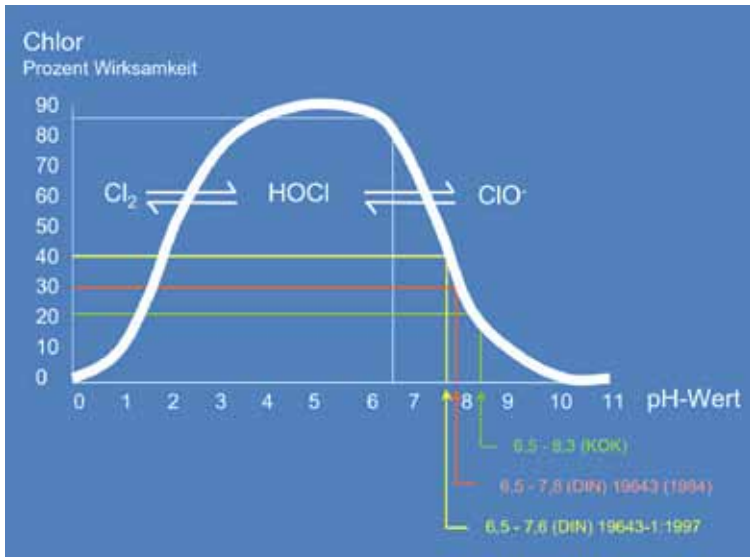
Siehe "Chloramine", Seite 58

Unterchlorige Säure (HClO)

Das entkeimend wirkende Präparat ist die undissoziierte unterchlorige Säure, (das Hypochlorit-Anion hat eine weitaus geringere Keimtötungsgeschwindigkeit).



Die Bildung des Hypochlorit-Anions wird durch höhere pH-Werte begünstigt:



Die Keimtötungsgeschwindigkeit des Chlores und der chlorabspaltenden Präparate sinkt somit drastisch mit zunehmendem pH-Wert des Schwimmbeckenwassers, aus diesem Grunde ist der pH-Wert-Messung und pH-Wert-Regulierung größte Bedeutung beizumessen.

Problemanalyse

Problem	Auswirkung	Grund	Maßnahme
freies Chlor zu niedrig	unzureichende Desinfektion	freies Chlor wird durch Sonneneinstrahlung zerstört	ggf. Verwendung von stabilisiertem Chlor
		hohe organische Belastung	erhöhte Frischwasserzufuhr, Stoßchlorung
		Filter arbeitet unzureichend	Filterrückspülung Flockung
		Fehlmessung bei Chlorwerten größer 10 mg/l Ausbleichen des Indikators	Bestimmung mit verdünntem Schwimmbadwasser z.B.(1:10) wiederholen
		hohe Wassertemperatur	höhere Dosierung
freies Chlor zu hoch	Gesundheitliche Schädigung möglich	Stoßchlorung defekte Dosieranlage, falsche manuelle Dosierung	Abwarten, bis Chlorwert von selbst abgesunken ist oder freies Chlor eliminieren
		mit der Bestimmungsmethode werden zusätzliche Aufbereitungsmittel unzureichend differenziert und mitbestimmt	richtige Auswahl der Bestimmungsmethode
gebundenes Chlor zu hoch	typischer Hallenbadgeruch Haut- und Augenreizungen	hohe organische Belastung	erhöhte Frischwasserzufuhr, Stoßchlorung
		Filter arbeitet unzureichend	Filterrückspülung Flockung
		freies Chlor zu niedrig	Dosierung erhöhen
große pH-Wert Schwankungen	Kalkausfällungen Korrosion	niedrige Säurekapazität $K_{S4,3}$	Säurekapazität $K_{S4,3}$ erhöhen

Problemanalyse

Problem	Auswirkung	Grund	Maßnahme
pH-Wert fällt stetig	Verwendung von sauren Aufbereitungsmitteln in Verbindung mit geringer Säurekapazität	Füllwasser hat geringe Säurekapazität und/oder Calciumhärte	Säurekapazität und Calciumhärte messen und ggf. korrigieren (Seite 51, 53)
pH-Wert zu hoch	schlechte Desinfektionswirkung	hohe Säurekapazität	Säurekapazität senken
	Kalkausfällungen	Verwendung von Calcium- oder Natriumhypochlorit	Umstellen auf Chlorgas oder organ. Chlorpräparat. pH-Senker in höherer Konzentration dosieren, vorher Säurebedarf bestimmen
Trübes Wasser	milchig weiß	Kalkausfällungen	ggf. pH-Wert senken, erhöhte Füllwasserzufuhr um Calciumhärte zu senken keine Schwefelsäure o. Natriumhydrogensulfat in Verbindung mit Calciumhypochlorit verwenden
		kolloidale organische Verunreinigungen	Stoßchlorung, Flockungsmittel zugeben, Umwälzpumpe laufen lassen
		Härtebildner (organisch)	pH-Wert regulieren, Flockungsmittel zugeben, Umwälzpumpe laufen lassen
		gestörte Filterfunktion	Reinigen, Entkalken, Filtersand
		Flockungsmittelrückstände (Al)	Flockungsmitteldosierung zu hoch oder an ungünstiger Stelle. ggf. pH-Wert korrigieren und kontrollieren
	gefärbt	Metallspuren aus dem Füllwasser	Füllwasserqualität prüfen.
	braun	Eisengehalt des Füllwassers	Stoßchlorung, pH-Wert auf 7,6 anheben Flockungsmittel zugeben, Umwälzpumpe laufen lassen generell: kein Chlor in den Skimmer!

Problemanalyse

Problem	Auswirkung	Grund	Maßnahme
Trübes Wasser	gefärbt	Flockungsmittelrückstände (Fe)	Flockungsmitteldosierung zu hoch oder an ungünstiger Stelle. ggf. pH-Wert kontrollieren und korrigieren (Seite 48/13)
	schwarzbraun	Mangengehalt des Füllwassers	Stoßchlorung, pH-Wert auf 7,6 anheben Flockungsmittel zugeben, Umwälzpumpe laufen lassen generell: kein Chlor in den Skimmer
	gelbgrün	Spuren von Kupfer	Flockungsmittel zugeben, Umwälzpumpe laufen lassen
	türkisgrün	entweder durch kupferhaltige Mittel oder durch Korrosion an Kupferteilen	generell: kein Chlor in den Skimmer
Beckenwände glitschig und grün		Algenwachstum (besonders bei Gewitterperioden)	Stoßchlorung, Zugabe eines Algizids
Beckenwände rauh		Ablagerungen von Härtebildner bei hartem Wasser (Kalk)	Becken leeren, kalklösenden Reiniger einsetzen Vorbeugend: pH-Wert 7,0 - 7,4 einhalten Härtestabilisator verwenden
Wasser schäumt stark (vor allen bei Jetstreamanlagen)		Stark schäumendes Algizid im Wasser Reste von Überwinterungsmittel, Tenside (Reinigungsmittel) im Wasser	Entschäumer zugeben, erhöhter Frischwasserzusatz Vorbeugend: Schaumfreies Algizid, keine Haushaltsreiniger verwenden
Schwarze Flecken auf der Folie		Bildung von Schwermetallsulfiden in der Folienoberfläche	Reinigung mit Spezialfolienreiniger Vorbeugend: Keine kupfer- und silberhaltigen Algizide verwenden
Korrosion		pH-Wert zu niedrig	pH-Wert auf mindestens 7,2 anheben