Lovibond® Water Testing

Tintometer® Group

Pool & Spa

Wasseraufbereitung und Analytik

www.lovibond.com

03/21

Grundlagen

Europa

Schwimmbäder für private Nutzung - Wassersysteme
EN 16713 - Teil 1 bis 3:2016-08
Teil 1: Filtrationssysteme - Anforderungen und Prüfverfahren
Teil 2: Umwälzsysteme - Anforderungen und Prüfverfahren
Teil 3: Aufbereitung - Anforderungen

Schwimmbäder - Teil 1: Sicherheitstechnische Anforderungen an Planung und Bau
EN 15288-1:2019-05

Teil 2: Sicherheitstechnische Anforderungen an den Betrieb - EN 15288-2:2019-05,

Schwimmbäder für die private Nutzung - Wassersysteme
DIN EN 16582-1 bis 3:2015-11

Schwimmbäder für die private Nutzung – Umwelteinfluss von Schwimmbädern für die private Nutzung – Anforderungen an die Konstruktion und Benutzung, Prüfverfahren und Klassifizierung der Geräte und Funktionen
prEN 17645:2021

Warmsprudelbecken und Whirlpools für private Nutzung – Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfverfahren; DIN EN 17125:2017

Grundlagen

Deutschland

Anforderungen an die Beschaffenheit von Schwimm- und Badebeckenwasser
Infektionsschutzgesetz (IfSG § 37, Absatz 2:2000-07)

Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser
DIN 19643 - Teil 1 bis 4:2012-11

Anforderungen an die Wasseraufbereitung von Floatinganlagen
DGfdB R 65.11, Mai 2014

UBA Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung
Empfehlung des Umweltbundesamtes (UBA), 04. Dezember 2013

Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von freiem Chlor und Gesamtchlor
ISO 7393-2:2017-12
www.bsw-web.de

Österreich

Bäderhygienegesetz (BHygG - 1976) und
Bäderhygieneverordnung (BHygV - 2012)

Anforderungen an die Beckenhydraulik und die Wasseraufbereitung
ÖNORM M 6216:2015-04-15

Anforderungen an die Beschaffenheit des Wannenwassers
ÖNORM M 6222:2016-08-15
ÖVS-Empfehlungen 2019: **www.oevs-verband.at**

Schweiz

Wasser und Wasseraufbereitungsanlagen in Gemeinschaftsbädern

Eau et installations de régénération de l'eau dans les piscines publiques

SIA 385/9:2011

Niederlande

Technische informatie met betrekking tot de
Wet hygiëne en veiligheid zwemgelegenheden

Handboek Zwembaden, Aqua Nederland (2002)

Belgien

Moniteur Belge - 25.04.2003 - Ed.2 - Belgisch Staatsblad
Afdeling 5 - Hygiëne en waterkwaliteit

Pool & Spa Wasseraufbereitung und Analytik

Herausgeber
Tintometer GmbH
Lovibond® Water Testing
Schleefstraße 8-12
44287 Dortmund
Telefon (+49) (0)2 31 / 9 45 10 - 0
Telefax (+49) (0)2 31 / 9 45 10 - 30
verkauf@tintometer.de
www.lovibond.com
Germany

Text
Dr. rer. nat. R. Münzberg

Aktualisierung
Martin Woelk

Illustration
E. G. Hesse

Satz und Layout
M. Ostermann

Alle Rechte vorbehalten
Copyright© 2020 by
Tintometer GmbH, Dortmund

No.: 938100

Vorwort

Wir freuen uns, Ihnen eine weitere Neuauflage der

Lovibond®-Broschüre "Pool & Spa Wasseraufbereitung und Analytik"

vorstellen zu können. Die Broschüre richtet sich an den Praktiker und soll diesem als nützliches Nachschlagewerk - und weniger als Lehrbuch - dienen.

Unser Anliegen ist es, die modernen Aufbereitungsverfahren in ihren Grundzügen darzustellen sowie die Bedeutung und Wirkungsweise der heute gebräuchlichen Aufbereitungsmittel in leicht verständlicher Weise zu erläutern. Dabei wurden nationale und internationale Normen und Regularien, soweit zutreffend, berücksichtigt.

Die hohen Anforderungen an die Qualität des Schwimmbeckenwassers machen eine fortlaufende Kontrolle der chemischen Wasserbeschaffenheit unerlässlich. Nun soll der Betreiber eines öffentlichen oder privaten Schwimmbades bzw. Whirl Pools aber kein Laborchemiker sein. Die notwendigen Untersuchungen des Wassers müssen also leicht und schnell durchführbar sein, ohne dass dadurch die Genauigkeit leidet.

Diese Forderungen erfüllen die Lovibond® Analysensyteme. Sie haben sich überall durchgesetzt, wo es auf Schnelligkeit, Zuverlässigkeit und Preiswürdigkeit ankommt. In den Abschnitten "Die Untersuchungsmethoden" und "Probenahme und Analysenverfahren" werden Lovibond® Nachweismethoden eingehend erläutert und nützliche Ratschläge zu ihrer Durchführung gegeben.

Auf die Belange des privaten Schwimmbadbetreibers wurde ebenfalls Wert gelegt. Neben der Kontrolle der chemischen Wasserbeschaffenheit wird ausführlich auf die Auswertung der so erhaltenen Messwerte eingegangen. Ergänzt werden diese Informationen durch das Kapitel "Problemanalyse" mit nützlichen Ratschlägen zur Problembeseitigung.

Die aktualisierte Auflage wurde von Herrn Dr. Robert Münzberg und Herrn Martin Woelk erstellt. Grundlage dieser Broschüre sind die im täglichen Umgang mit den Kunden gewonnenen Erfahrungen in der Badewasseraufbereitung.

Unser Vorhaben ist es, Sie umfassend über die Aufbereitung des Beckenwassers, über die Wirkung der Chemikalien und die Nachweismethoden zu informieren. Natürlich erheben wir keinen Anspruch auf Vollständigkeit, deshalb sind wir für jede Kritik oder Anregung dankbar.

Tintometer GmbH
Lovibond® Water Testing
www.lovibond.com

Inhalt

Vorwort **3**

Die Grundzüge der Schwimmbeckenwasseraufbereitung **8**
DIN 19643 Aufbereitung von Schwimm-und Badebeckenwasser 9
Beckendurchströmung (Beckenhydraulik) 10
Volumenstrom 10
Füllwasser 12
Wasserkreislauf 13
Filtration in privaten Bädern 13
Filtration in öffentlichen Bädern 14
Flockung 14
Filterrückspülung 16
Filtration über Aktivkornkohle 17
Adsorption an Pulver-Aktivkohle 17
Ultra-Filtration (UF). 18
Ultraviolett-Bestrahlung (UV) 19

Allgemeine Anforderungen an das Schwimm- und Badebeckenwasser **20**

Mikrobiologische Anforderungen **20**

Chemische Anforderungen **22**
Desinfektion und Oxidation 22

Desinfektionsmittel **24**
Chlorgas (anorganisches Chlorprodukt) 24
Elektrolyseverfahren (anorganisches Chlorprodukt). 24
Natriumhypochlorit (anorganisches Chlorprodukt) 25
Calciumhypochlorit (anorganisches Chlorprodukt) 25
Ozon 26
Chlordioxid 27

Desinfektionsmittel im privaten Schwimmbad **27**
Brom 27
Chlorierte Isocyanurate (organische Chlorprodukte) 28
Iod, Silber 29
Sauerstoff = Peroxide, Persulfate, MPS 29
Biguanide (PHMB) 30
Resümée 30
Algizide: Quats (QAC), Kupfer 31

pH-Wert **32**
Ursachen und Wirkungen von pH-Werten 32
pH-Wert Korrektur 33

Säurekapazität $K_{S4,3}$ (DIN 38409-7) **34**

Titrimetrische Bestimmung der Säurekapazität **34**

Chemische Anforderungen an das Beckenwasser **35**
Trihalogenmethane (THM) 36
Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene (AOX) 37
Chlorit und Chlorat 38
Bromat 38
Arsen 38
Wasserhärte 39
Langelier-Sättigungsindex (SI) - Wasserkonditionierung 39

Die Untersuchungsmethoden **40**
Kolorimetrische Verfahren 40
Photometrische Verfahren 41
Titrimetrische Verfahren 41
Elektrochemische Verfahren 41

Reagenzien (DPD) **42**
Reagenzlösungen 42
Reagenztabletten 42
Reagenzpulver 43
Teststreifen 43

Probenahme und Analysenverfahren **44**
Probenahme 44
Ammonium-Bestimmung 44
Harnstoff-Bestimmung 44
Brom-Bestimmung 45
Chlor-Bestimmung (freies, gebundenes und Gesamtchlor) 45
Differenzierte Bestimmung von Chlor, Chlordioxid, Brom und Ozon 47
Chlorit-Bestimmung 48
Cyanursäure-Bestimmung (Stabilizer) 48
Gesamthärte, Calciumhärte, Chloride, Säurekapazität $K_{S4.3}$ 48
Ozon-Bestimmung 49
pH-Messung mit Phenolred (Phenolrot) 50
Phosphat-Bestimmung 50

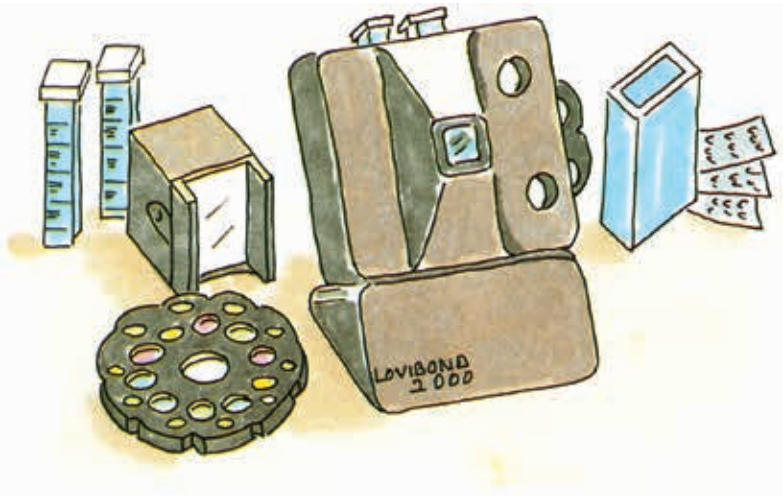
Elektrochemische und amperometrisches Messverfahren **51**
pH-Messung mit Elektroden 51
Redox-Spannung 51
Amperometrische Chlormessung 52

Anforderungen (Auszug) an Reinwasser und Beckenwasser (DIN 19643-1: 2012-11) **53**

Warmsprudelbecken, Hot-Whirl-Pool, Spa, Jacuzzi **54**
Aufbereitungsanlage eines Warmsprudelbeckens 55
Füllwasserzusatz 55
Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit 55
Reinigung 55
Das private Schwimmbad **56**

Auswertung der Messergebnisse für Privatschwimmbäder **56**
Chlor frei 56
Chlor gebunden 57
pH-Wert 58
Cyanursäure (Stabilizer) 59
Säurekapazität $K_{S4.3}$ / Total Alkalinity 59
Calciumhärte 60
Wasserkonditionierung - Water Balance 60

Augenscheinliche Probleme **62**
Verfärbtes Wasser 62
Trübes Wasser 62
Schaumbildung 62
Algenwachstum 63
Ablagerungen 64



Chemische Grundlagen in Stichpunkten **65**
Aktivchlor (wirksames Chlor) 65
Calciumhypochlorit Ca $(ClO)_2$ 65
Chloramin (gebundenes Chlor) 66
Chlorit und Chlorat 66
Chlordioxid (ClO_2) 67
Chlorgas (Cl_2). 67
Chlorung 67
Cyanursäure 67
Desinfektion 67
Dichloramin 67
DPD-Verfahren nach ISO 7393-2:2017-12 68
DPD Chlorbestimmung (mögliche Fehlerquellen) 70
Elektrolyse 71
Entkeimung 71
Photometrisches Prinzip 72
Photometrische Messungen (mögliche Fehlerquellen). 73
Freies Chlor (HOCl) 74
Gebundenes Chlor (Chloramin) 74
Gesamtchlor 74
Harnstoff 74
Kaliumpermanganat-Verbrauch 75
Kalk-Kohlensäure Gleichgewicht 75
Keimtötungsgeschwindigkeit 76
Knickpunkt-Chlorung. 76
Monochloramin 76
Natriumhypochlorit (NaClO). 76
Organische Chlor-Präparate
(Natriumdichlorisocyanurat, Trichlorisocyanursäure) 76
Redoxspannung (mV). 77
pH-Wert 78
Salze (Chloride, Sulfate, Nitrate, Calcium)
Säurekapazität $K_{S4.3}$ 79
Sterilisation 79
Stickstofftrichlorid 79
Trihalogenmethane (THM) 80
Trichloramin. 80
Hypochlorige Säure (HClO). 80

Problemanalyse **83**

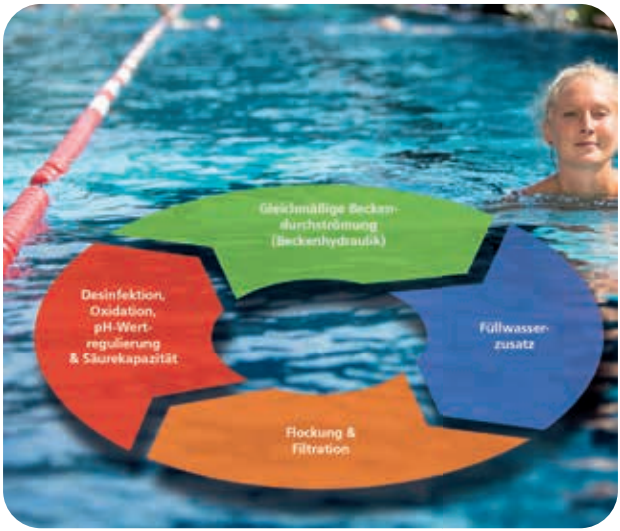
Öffentlichkeitsarbeit **84**

Lovibond® Katalog "Pool & Spa Wasser Analytik" **87**

Die Grundzüge der Schwimmbeckenwasseraufbereitung

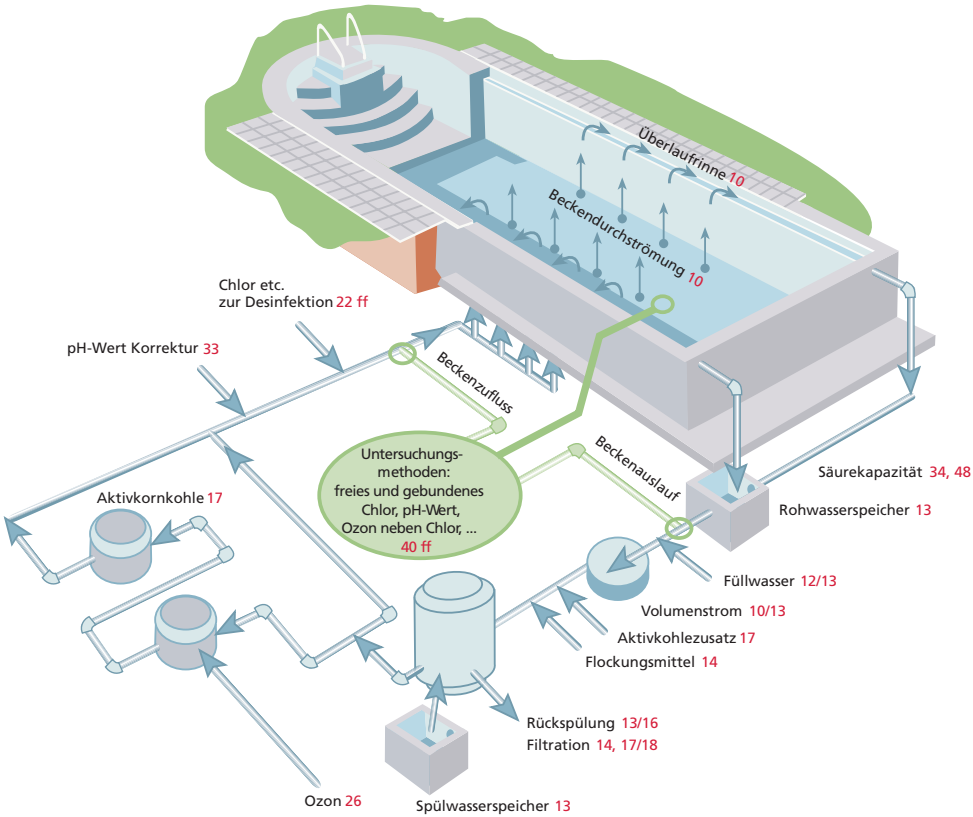
Die moderne Schwimmbeckenwasseraufbereitung mit ihren vielfältigen Aufbereitungsverfahren und den daraus resultierenden Untersuchungsmethoden lassen sich in durchaus verständlicher Form darstellen:

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:



Die vorstehende Grafik zeigt die Verzahnung der einzelnen Maßnahmen zur Schaffung und Erhaltung von einwandfreiem Schwimmbeckenwasser: Versagt eine dieser Maßnahmen oder wird sie vernachlässigt, können die anderen, -auch bei optimaler Wirkung-, einer raschen Verschlechterung der Wasserqualität nicht Einhalt gebieten: Die Kette ist eben nur so stark wie ihr schwächstes Glied!

Die Grafik unten ist schon umfassender und beinhaltet stichwortartig die Einzelmaßnahmen, die in dieser Broschüre dargestellt werden. Die Zahl hinter jedem Begriff verweist auf die betreffende Seite.



DIN 19643 Aufbereitung von Schwimm-und Badebeckenwasser

Die Ausgabe DIN 19643:2012-11 besteht aus folgenden Teilen:

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

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 19643 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 DIN19643-1:2012-11 gibt präzise Auskunft. Der Aufbereitungsvolumenstrom kann auf verschiedene Arten berechnet werden:

Ausgehend von der

- Nennbelastung und dem Belastbarkeitsfaktor
- von der Wasserfläche des Beckens
- vom Volumen des Beckens
- und einigen Sonderfällen bzw. besonderen Festsetzungen

Die Berechnungsformel ist für die technische Auslegung eines noch zu bauenden Schwimmbades von Bedeutung und soll daher an dieser Stelle nicht näher 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 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, Seite 79), die sich wegen ihrer Wasserlöslichkeit den Flockungs- und Filtrationsmaßnahmen entziehen. Es ist daher notwendig, **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.

Bei dem Begriff "Füllwasser" wird zwischen primärem und sekundärem Füllwasser unterschieden.

Primäres Füllwasser ist das Wasser, das dem Bad direkt zugeführt wird, also in der Regel Wasser aus der kommunalen Trinkwasserversorgung.

Primäres Füllwasser muss seuchen- und allgemeinhygienische 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:

Öffentliche Schwimmbäder (DIN 19643)

- Eisen	0,10 mg/l
- Mangan	0,05 mg/l
- Ammonium	0,50 mg/l

Private Schwimmbäder (EN 16713)

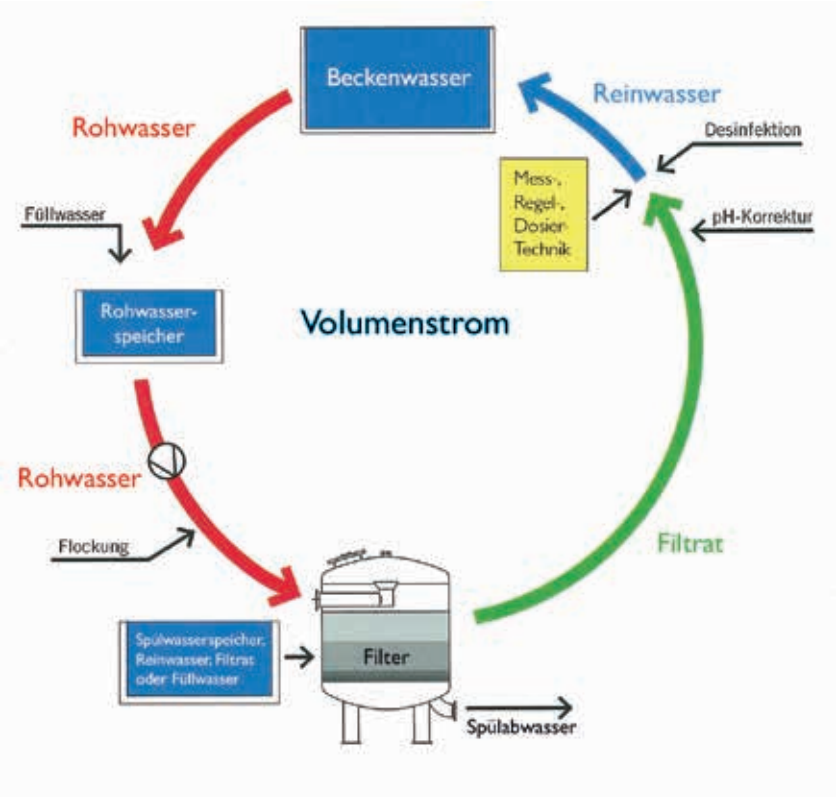
- Eisen	0,10 mg/l
- Kupfer	0,20 mg/l
- Mangan	0,05 mg/l
- Polyphosphat als Phosphor	0,01 mg/l
- Nitrate	50 mg/l

Sekundäres Füllwasser ist speziell zur Verwendung als Füllwasser gewonnenes Betriebswasser, also in der Regel **aufbereitetes** Spülwasser der **Filteranlage**.

Sekundäres Füllwasser muss seuchen- und allgemeinhygienisch, insbesondere mikrobiologisch, Trinkwassereigenschaften aufweisen und muss die Anforderung an Betriebswasser Typ 1 nach DIN 19645 erfüllen.

Sekundäres Füllwasser darf bis zu 80 % des Füllwassers ausmachen.

Wasserkreislauf



Filtration in privaten Bädern

In der EN 16713 ,,Filtrationssysteme" werden Einschicht- oder Mehrschichtfilter, Kartuschenfilter und Kieselgur-Anschwemmfilter explizit genannt. Als Parameter für die Überprufung des Wirkungsgrades eignet sich die Trübungsmessung. Der Wirkungsgrad der Trübungsreduzierung muss über 50% betragen.

Als Filtermedien können Quarzsand oder andere Medien, zum Beispiel granulares Glas oder Glaskugeln, Anwendung finden.

Alternativ stehen auch Polymerfaserfilter (Faserkugeln) mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen und Querschnitten mit effizienter Trennschärfe zur Verfügung.

Filtration in öffentlichen Bädern

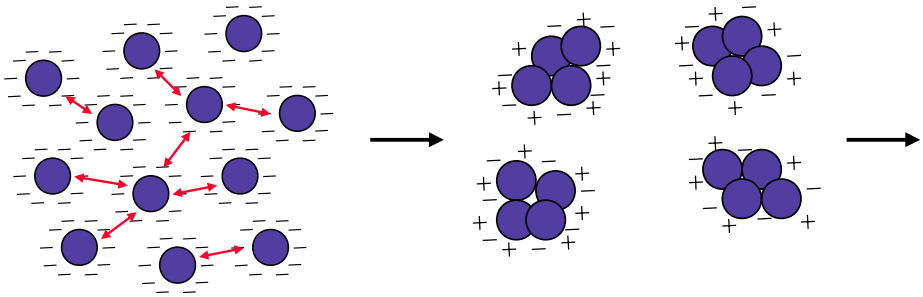
Die Filtration dient zur mechanischen Reinigung des Schwimmbeckenwassers: Alle sichtbaren und fast sichtbaren Verschmutzstoffe einschließlich der durch Flockungsmittelzusatz gebildeten Flocken mit den darin eingeschlossenen kolloidalen Teilchen werden auf der Filterbettoberfläche und zum Teil auch in 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. Zur Filtration sind Schnellfilter nach DIN 19605 oder Anschwemmfilter nach DIN 19624 zu verwenden. Weiterhin sollte nur Filtersand gemäß DIN EN 12904 eingesetzt werden. In Einschichtfiltern sollte die Filterschicht (ohne Stützschichten) 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 Filter mit anderen Filtermaterialien in Kombination mit Sand (Anthrazitkohle, Filterkokse, Bims/Lava) betragen die maximalen Filtergeschwindigkeiten 15 m/h für offene und 30 m/h für geschlossene Schnellfilter.

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:



Negativ geladene Verschmutzungsstoffe (Kolloide)

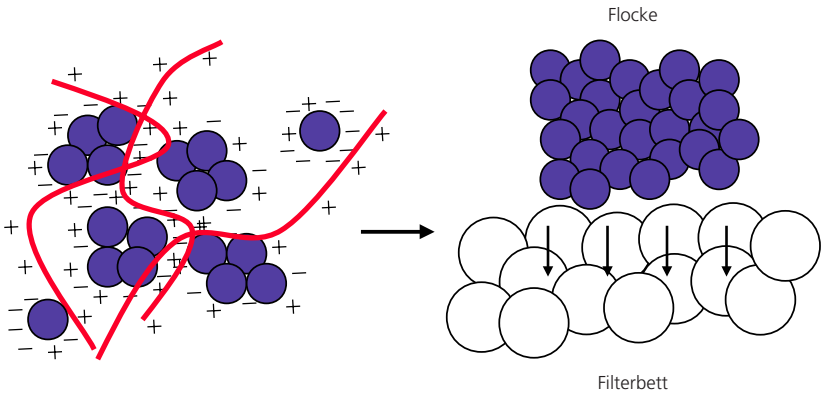
Entstabilisierung (Elektrische Entladung)

- Aluminiumsulfat (DIN EN 15031)
- Eisen (III)-chlorid Hexahydrat (DIN EN 15797)
- Natriumaluminat (DIN EN 15031)
- Eisen (III)-chloridsulfat (DIN EN 15797)
- Aluminiumchlorid Hexahydrat(DIN EN 15031)
- Eisen (III)-sulfat (DIN EN 15797)
- Aluminiumhydroxidchlorid (DIN EN 15031)
- Aluminiumhydroxidchloridsulfat (DIN EN 15031)
- Polyaluminiumchloride mit einer Basizität > 50 % (DIN EN 15031)

Während die eisenhaltigen Flockungsmittel vom pH-Wert des Schwimmbeckenwassers (6,5 - 7,5) so gut wie unabhängig wirken, sollte für die aluminiumhaltigen Mittel der pH-Wert des Wassers zwischen 6,5 und 7,2 liegen.

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.



Flockenbildung (Koagulation)

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.

Filtration über Aktivkornkohle

Durch die Filtration mit Aktivkornkohlefiltern werden Chlor-Stickstoff-Verbindungen, halogenorganische Verbindungen (THM, AOX, Seite 36/37) 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.

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 pH = 2 gehalten werden.

Bei einem Füllwasser mit geringem Trihalogenmethan-Bildungspotential kann auf die Dosierung von Pulveraktivkohle bei Filtern nach DIN 19605 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 19603.

Die Mindestzugabe an Pulver-Aktivkohle beträgt 0,5 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.

Ultra-Filtration (UF)

Eine Ultra-Filtrationsanlage besteht aus einer Anzahl von Membranmodulen, die in einer oder mehreren Straßen angeordnet sind. Jede Straße stellt eine eigenständige Betriebseinheit dar. Vor die UF-Anlage ist ein für die mechanische Vorreinigung geeigneter Schutzfilter zu installieren.

Zur Senkung des Wasserverbrauchs empfiehlt sich eine zweistufige Ultra-Filtrationsanlage. Hierbei wird das Spülwasser der ersten UF über eine zweite UF filtriert. Das Filtrat der zweiten UF muss zur Wiederverwendung im Beckenkreislauf vor der Ultra-Filtration eingeleitet werden.

Hauptaufgabe der Ultra-Filtration ist es, Partikel, z.B. Bakterien, Parasiten, Viren etc. zurückzuhalten. Das Virenrückhaltevermögen des Membranmodultyps muss ≥ 99,99% betragen. Die Porengröße der Membran liegt im Bereich ≤ 0,05 µm (entspricht kleiner/gleich 0,00005 mm)

Bei der Verfahrenskombination mit Ultra-Filtration werden in der ersten Stufe durch die kontinuierliche Dosierung von Flockungsmitteln, kolloidal gelöste Verunreinigung entstabilisiert, geflockt und Ortho-Phosphate gefällt.

In der zweiten Stufe werden echt- und kolloidal gelöste organische Verunreinigungen zum Teil an Aktivkohle adsorbiert. Anschließend wird das Gemisch aus Eisen III- und/oder Aluminiumphosphat und Eisen und/oder Aluminiumhydroxid und Kolloiden sowie ggf. beladener Pulver-Aktivkohle durch Ultra-Filtration abgetrennt. Das Filtrat wird mit Chlor versetzt und dem Becken zugeleitet.

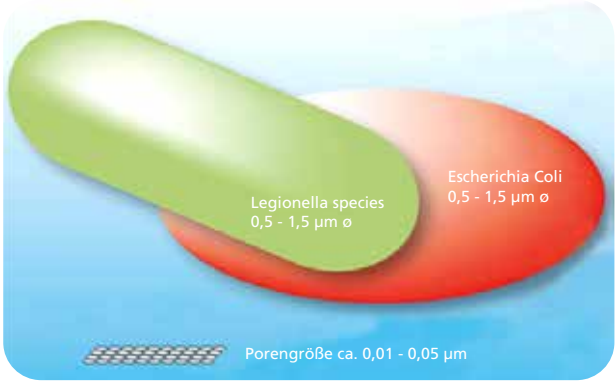
Alternativ zur Pulver-Aktivkohledosierung darf zur Entfernung von Desinfektionsnebenprodukten ein spülbarer Filter mit grobkörniger Aktivkohle nach DIN EN 15798 vor der Ultra-Filtration eingesetzt werden.

Zur Reduktion der Konzentration des gebundenen Chlors darf zusätzlich eine UV-Bestrahlungsanlage eingesetzt werden.

Bei erhöhtem Bildungspotenzial des Füllwassers für Trihalogenmethane oder aus anderen Gründen erhöhtem THM-Gehalten im Beckenwasser sind andere Maßnahmen zu ergreifen, da durch UV-Bestrahlung keine Reduzierung der Trihalogenmethane erfolgt.

Weitere Planungsvorgaben und Qualitätsanforderungen an UF-Anlagen sind in der DIN 19643-4:2012-04 festgelegt.

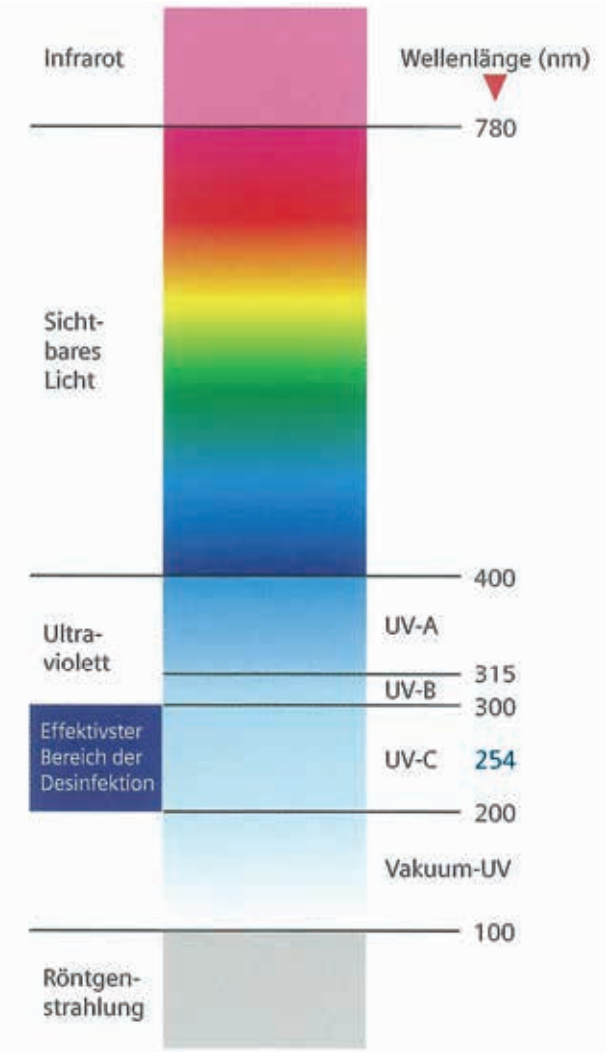
Vergleich UF Porengröße in Relation zu Bakterien



1 Mikrometer (µm) = 1/1000 Millimeter

Ultraviolett-Bestrahlung (UV)

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 bereits gebildeter Trihalogenmethane erfolgt.



Allgemeine Anforderungen an das Schwimm- und Badebeckenwasser

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.

Mikrobiologische Anforderungen

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 19643-1:2012-11, Absatz 5.3 werden folgende mikrobiologische Parameter aufgeführt:

Escherichia coli = E. coli sind koliforme Keime und ein typischer Indikator für fäkale Verunreinigungen im Badebeckenwasser.

Pseudomonas aeruginosa sind Bakterien, die sich 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.

Die Koloniezahl (KBE) bei 36°C ± 1°C darf im Reinwasser max. 20 KBE, im Beckenwasser 100 KBE/ml betragen.

Legionella spec. (Legionellen) sind Bakterien, die sich im Wasser bei Temperaturen von 35 - 55°C außerordentlich schnell vermehren und auch bei Wassertemperaturen von bis 60°C 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.

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

Gemäß DIN 19643-1:2012-11 dürfen Legionellen im Reinwasser und Beckenwasser nicht nachweisbar sein. Das Filtrat sollte ebenfalls regelmäßig auf Legionella spec. untersucht werden.

Das Nachweisverfahren für Legionella spec. ist in der ISO 11731-2 beschrieben. Die Bewertung des Beckenwassers in Hinblick auf Legionellen unterscheidet fünf Fälle:

Ist die Maßeinheit (KBE/100 ml) < 1 spricht man von einer nicht nachweisbaren Kontamination, ist der Wert zwischen 1 und 100 liegt eine geringe Kontamination vor, bei Werten zwischen 100 und 1.000 handelt es sich um eine mittlere Kontamination und bei Werten > 1.000 ist die Kontamination hoch.

Bei Konzentrationen > 10.000 und Werten von über 1.000 bei einer Nachuntersuchung, tritt ein sofortiges Nutzungsverbot des Schwimmbades in Kraft.

Geeignete Maßnahmen bei positiven Befunden sind Filterspülung, Überprüfung der Desinfektionsmittelzugabe und Abschalten von Aerosol-produzierenden Einrichtungen bis hin zu weitergehenden Maßnahmen unter Einbeziehung von Fachleuten, wie z.B. Hoch-Chlorung, Austausch des Filtermaterials usw.

Nach erfolgtem Nutzungsverbot kann erst eine Freigabe nach einwandfreiem mikrobiologischem Befund im Beckenwasser wieder erfolgen.

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).

Beispiel: Legionella Pneumophila Bakterien

Die durchschnittliche Legionella Zelle ist 0,5 - 1,0 Mikrometer (µm) breit und 1,0 - 3,0 Mikrometer lang. 1 Mikrometer (µm) = 1/1000 Millimeter

Chemische Anforderungen

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 0,3 mg/l freies Chlor, um ein für obige Keimtötungsgeschwindigkeit erforderliches Redoxpotential von 700 mV aufrecht zu erhalten. Das Redoxpotential misst man zwischen einer Bezugselektrode (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 19643 gehört die kontinuierliche Messung des Redoxpotentials zu den Pflichten des Schwimmbadbetreibers.

Da in öffentlichen Bädern ausschließlich oxidierend wirkende Desinfektionsmittel (Chlor 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 hypochlorigen Säure HCIO aus (Seite 80), die sich jedoch in Abhängigkeit vom pH-Wert in Hypochlorit (CIO^-) – und Wasserstoff-(H^+)-ionen spaltet (dissoziiert). Die Tabelle zeigt, dass mit zunehmendem pH-Wert der Anteil an freier hypochloriger Säure abnimmt (Seite 80).

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 19643 fordert in allen Bereiche des Beckens eines Gehalt von mindestens 0,3 mg/l freiem Chlor, unabhängig vom pH-Wert innerhalb des Bereiches 6,5 - 7,5. Es ist wichtig zu wissen, dass die Untersuchungsmethode für freies Chlor (Seite 45/46) stets die Summe von hypochloriger Säure HClO und Hypochlorition ClO^- angibt, also pH-Wert unabhängig ist.

In Hallenbädern genügt erfahrungsgemäß ein Zusatz von 0,3 g (Nachtbetrieb) bis 0,5 g (Stoßbetrieb) Chlor je m^3 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.

Desinfektionsmittel

Chlorgas (anorganisches Chlorprodukt)

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 hypochlorige Säure HCIO und Salzsäure HCI, so dass bei weichen Wässern (Karbonathärte unter 9°dH entspricht 3,2 mmol/l Säurekapazität) in der Regel Maßnahmen zur pH-Wertstabilisierung erforderlich werden (Seite 33/34). Chlorgas für die Desinfektion von Schwimmbeckenwasser sollte den Anforderungen der DIN EN 15363 entsprechen.

Für den Umgang mit Chlorgas 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 (anorganisches Chlorprodukt)

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 (Seite 71).

Bei Anlagen, bei denen der Elektrolyseraum durch eine Membran geteilt wird, entsteht Chlorgas, welches im Unterdruckverfahren dosiert wird. Die entstehende Lauge wird weiter verwendet oder entsorgt. Der entstehende Wasserstoff muss sicher abgeleitet werden.

Bei Chlorelektrolyse-Anlagen im Inline-Betrieb ist die Elektrolysezelle ungeteilt. Für die Anwendung dieses Verfahrens ist eine Chloridkonzentration von mehr als 1200 mg/l im Beckenwasser erforderlich (Salzgehalt ist gleich 2000 mg/l NaCl).

Ein Teil des im Beckwasser enthaltenen Chlorids reagiert an der Anode zu Chlor. Das erzeugte Chlor reagiert noch in der Zelle mit dem Wasser zu freiem Chlor.

An der Kathode entsteht Natronlauge und Wasserstoff. Die Natronlauge bewirkt eine Erhöhung des pH-Wertes, der entstehende Wasserstoff entweicht über die Wasseroberfläche. Durch ausreichende Zufuhr von Außenluft ist sicher zu stellen, dass sich in den Betriebsräumen und im Schwimmhallenbereich kein zündfähiges Gemisch bilden kann.

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 genannt - in Form einer alkalischen, ätzenden Lösung. Gemäß der DIN EN 15077 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 mittelharten 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 (siehe Chlorat, Seite 38/66). 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 DIN EN 15796 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 Stoßchlorungen: 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 wässerige Lösungen dürfen mit keinen anderen Chemikalien (andere Chlorprodukte, pH-Senker etc.) vermischt werden!

Ozon

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 (Seite 36)
- 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, Aktivkornkohlefilter etc.. Ozonerzeugungsanlagen für die Wasseraufbereitung sind genormt (DIN 19627).

Gemäß DIN 19643-3:2012-11 sind folgende Verfahrenskombinationen möglich:

- Flockung – Filtration – Ozonung – Sorbtionsfiltration – Chlorung

In der ersten Verfahrensstufe werden durch das Flockungsmittel kolloidal gelöste Verunreinigungen geflockt, Ortho-Phosphate teilweise gefällt und die Flockungsfiltration entfernen diese. Das Filtrat wird dann mit Ozon behandelt. Dabei werden chemische Wasserinhaltsstoffe oxidiert, Mikroorganismen abgetötet und Viren inaktiviert.

In der vierten Verfahrensstufe werden in einem Sorbtionsfilter durch Ozon ausgefällte Belastungsstoffe abgetrennt, oxidierte Belastungsstoffe zurück-gehalten, Nebenreaktionsprodukte der Chlorung und ein im Wasser noch vorhandener Rest an Ozon entfernt. Das Filtrat wird mit Chlor versetzt und dem Becken zugeleitet.

- Flockung – Ozonung – Mehrschichtfiltration mit Sorbtionswirkung – Chlorung

In dieser Verfahrenskombination werden die Flockungsfiltration und die Sorbtionsfiltration in der Mehrschichtfiltration zu einer gemeinsamen Verfahrensstufe zusammengefasst. Auf die Dosierung von Flockungsmittel kann verzichtet werden, wenn die Wasserparameter nach DIN 19643-1:2012-11, Tabelle 2 und die Phosphatkonzentration nach Tabelle 7 eingehalten werden.

Auch hier wird dem Filtrat Chlor zugesetzt.

Chlordioxid

Gegenüber der Anwendung von Chlor (Chlorgas, Natrium- oder Calciumhypochlorit) hat Chlordioxid 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. hypochloriger Säure mit einer wässerigen 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.

Eine Verfahrenskombination mit Chlordioxid ist nicht vorgesehen. Jedoch kann Chlordioxid mit Chlorit und Chlorat (Seite 38) als Nebenprodukte über das Füllwasser in das Beckenwasser gelangen.

Desinfektionsmittel im privaten Schwimmbad

Neben den bisher genannten Desinfektionsmitteln finden gerade im privaten Schwimmbad 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 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 und Trichlorisocyanursäure sind in Tabletten- und Granulatform erhältlich.

Di-Chlorisocyanursäure hat einen Anteil von ca. 60 % Chlor. Es ist **schnell löslich** und daher ideal für die direkte Verwendung im Pool. Darüber hinaus ist es annähernd pH-Wert neutral und hat daher keine relevante Auswirkung auf den pH-Wert des Schwimmbadwassers.

Tri-Chlorisocyanursäure hat einen Anteil von ca. 90 % Chlor. Es ist **langsam löslich** und daher ideal für den Einsatz im Dosierschwimmer oder Skimmer. Bei einem pH-Wert um 3 muss der pH-Wert des Poolwassers bei längerem Einsatz mit einem pH-Wert hebenden Wasserpflegemittel korrigiert werden.

Vorteil: hoher Gehalt an wirksamen Chlor (ca. 60 - 90%), gute UV-Beständigkeit bei Sonneneinstrahlung, leichte und sichere Handhabung. Nachteil: die organische Trägersubstanz (Isocyanursäure) beeinflusst bei höherer Konzentration die Keimtötungsgeschwindigkeit des Chlors, so dass zum Ausgleich höhere Chlorgehalte (1,0 - 3,0 mg/l, gemessen mit DPD-Tablette No.1) im Beckenwasser aufrecht erhalten werden müssen (EN 16713).

Wesentlich ist in diesem Zusammenhang, dass durch die Anwesenheit von Isocyanursäure ein neuer Begriff zu prägen ist, dass "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 ca. 45%; bei einer Cyanursäurekonzentration von 70 mg/l sind es sogar nur noch ca. 28% (siehe Tabelle).

Cyanursäure-konzentration	mg/l 30	mg/l 50	mg/l 70	mg/l 90	mg/l 100	mg/l 130	mg/l 140	mg/l 160	mg/l 180	mg/l 200
Anteil "freies Chlor" am "gesamten verfügbaren Chlor" (bei pH 7,5 ; t = 25 °C)	45 ca.%	33 ca.%	28 ca.%	14 ca.%	12 ca.%	10 ca.%	9 ca.%	8 ca.%	7 ca.%	6 ca.%

Prozentangaben: Mittelwerte aus unterschiedlichen Literaturstellen

Diese 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 und 100 mg/l nicht zu überschreiten (EN 16713). Die Reduzierung erfolgt über die Verdünnung mit Füllwasser.

Liegt die Cyanursäure über 200 mg/l (siehe Tabelle) steht keine nennenswerte Chlor-Konzentration mehr für die Desinfektion zur Verfügung, auch wenn mittels der DPD No.1-Reagenztablette vermeintlich ein Chlorgehalt nachgewiesen werden kann. Das gesamt verfügbare Chlor ist nahezu vollständig an die Cyanursäure gebunden (Stichwort: Chlorine-Lock).

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, MPS

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 Gesamtchlores 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)

Polimere **H**exa**M**ethylen**B**iguanide werden als Desinfektionsmittel für Schwimmbadwasser angeboten. Von ihrem Wirkungsspektrum stellen sie nur teilweise einen Ersatz für Chlor dar, da mit Biguaniden 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 Wasseraustausches 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 Schwimmbadewasser 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.

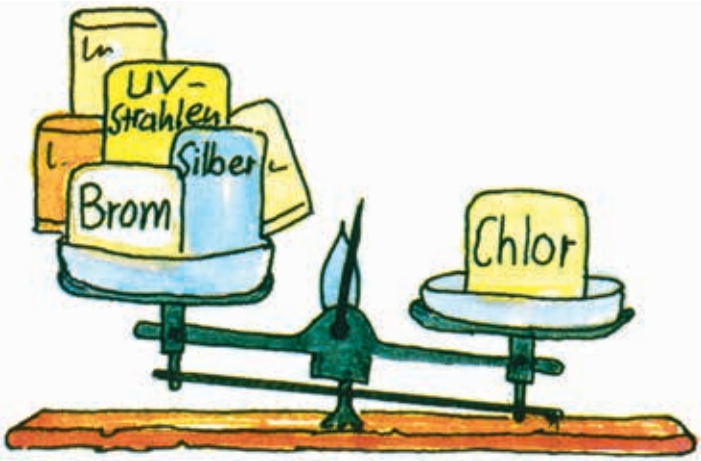
Die meisten Hersteller empfehlen zusätzlich zu den Biguaniden die Verwendung von Wasserstoffperoxid zum oxidativen Abbau von wasserlöslichen Verschmutzungen und zur Algenprophylaxe.

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)



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 duchgeführt werden. Quats ersetzen nicht die Chlorung, sind aber chlorverträglich, so dass bei ihrer Anwendung die übliche Chlorung nicht unterbrochen werden muss.

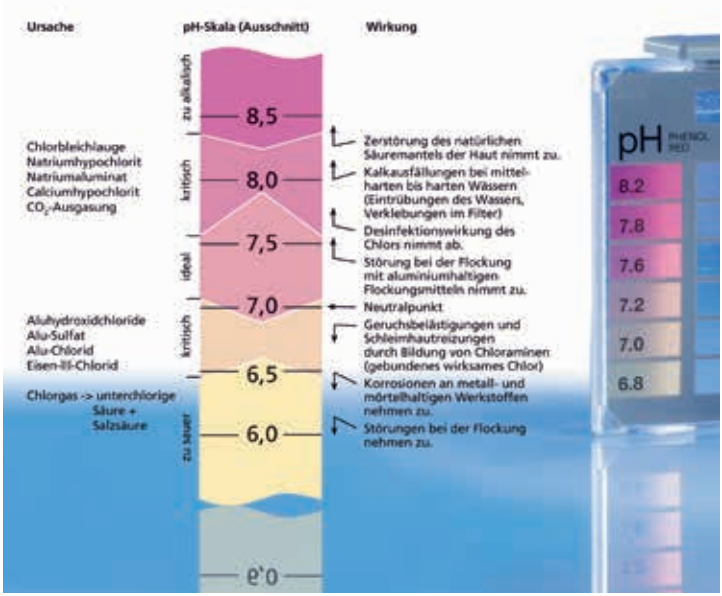
Die Quats haben das früher gebräuchliche Algizid Kupfersulfat (Kupfervitriol) wegen dessen nachteiliger Eigenschaften verdrängt. Zum einen kann Kupfersulfat die Haare der Badenden verfärben, andererseits beobachtet man häufig nur schwer entfernbare Flecken an den Schwimmbadwandungen. Hohe Konzentrationen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

Algenwachstum im Schwimmbecken

pH-Wert

Die sorgfältige Einhaltung des pH-Wertes des Beckenwassers im Bereich 6,5 - 7,5* 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.

Ursachen und Wirkungen von pH-Werten



Generell kann gesagt werden, dass Wasser mit einer Säurekapazität von 0,7 mol/m³ 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 19643 (mindestens 30 Liter pro Badegast und Tag) vorausgesetzt.

* 6,5 - 7,5 in öffentlichen Bädern (DIN 19643)
6,8 - 7,6 in privaten Bädern (EN 16713)

pH-Wert Korrektur

Für die pH-Wert Einstellungen eignen sich

a) zur Anhebung

- Natronlauge (Natriumhydroxid) nach DIN EN 15076 vorwiegend für mittelharte bis harte Füllwasser
- Natriumkarbonat (Soda) nach DIN EN 15362, vorwiegend bei extrem abgefallenen pH-Werten
- Natriumhydrogencarbonat nach DIN EN 15075
- 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. Ein Vorteil der pH-Wertstabilisierung mit 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.

b) zur Senkung

- Natriumhydrogensulfat ($NaHSO_4$) nach DIN EN 16038, ältere Bezeichnung: Natriumbisulfat.
- Schwefelsäure (H_2SO_4) nach DIN EN 15078. 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 (HCI) nach DIN EN 15514, 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 DIN EN 15513 kann über entsprechende Dosierapparate dem Schwimmbeckenwasser zudosiert werden (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, Seite 75).

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

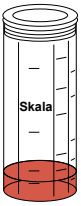
Säurekapazität $K_{S4,3}$ (DIN 38409-7)

Die Säurekapazität (M-Alkalinität, Gesamtalkalinität, Hydrogenkarbonathärte sind identische Begriffe) 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.

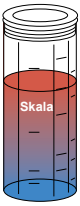
Aus diesem Grund ist ein Mindestwert der Säurekapazität für das Beckenwasser in Abhängigkeit von den Produkten zur Flockung festgelegt. Bei Produkten der Basizität ≤ 65 % beträgt dieser Wert 0,7 mmol/l, bei Produkten zur Flockung mit einer Basizität ≥ 65% sowie ohne Flockung 0,3 mmol/l.

Sollte die Säurekapazität des Füllwassers zu niedrig sein, wird dem Rohwasser unter Verwendung einer Dosieranlage eine wässerige Lösung von Natriumkarbonat oder Natriumhydrogenkarbonat 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). Zur Absenkung werden Natriumhydrogensulfat oder Säuren (nur bei Wasserkonditionierung) verwendet.

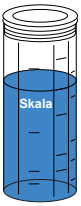
Titrimetrische Bestimmung der Säurekapazität



❶ Behälter mit der Wasserprobe spülen, eine Alk-Test-Tablette zugeben - Farbentwicklung ROT



❷ Wasserprobe zugeben bis zum Farbumschlag von ROT nach BLAU - Dosierung stoppen



❸ Ablesen des Ergebnisses in Füllstandshöhe an der Skala

$CaCO_3$ mg/l	°dH Mg^{2+}/Ca^{2+}	°e Mg^{2+}/Ca^{2+}	°f Mg^{2+}/Ca^{2+}	$K_{S\,4.3}$ mmol/l
	1			
20			2	0.4
				0.5
30		2	3	0.6
	2			0.7
40			4	0.8
50				1.0
60	3	4	6	1.2
70	4			1.4
80		6	8	1.6
100	6		10	2.0
200	10	10	20	4.0

Chemische Anforderungen an das Beckenwasser

Gemäß DIN 19643 sind u.a. folgende Untersuchungen täglich durchzuführen und unter anderem in das **Betriebstagebuch** einzutragen (Grenzwerte siehe Seite 53):

- **Chlor (freies und gebundenes)**: im Beckenwasser bei Betriebsbeginn und Betriebsende sowie in der Mitte der Betriebszeit **(dreimal täglich pro Becken)**.
- **pH-Wert**: jeweils vor Beginn des Badebetriebs **(einmal täglich pro Becken)**.
- **Redox-Spannung** in jedem Becken von Beginn bis Ende des Badebetriebs (kontinuierliche Messung).
- **Säurekapazität $K_{S4,3}$** des Beckenwassers und des Rohwassers **(wöchentlich)**.

Für den sicheren Betrieb eines Schwimmbades sind jedoch weitere chemische und physikalisch/chemische Anforderungen an das Reinwasser und das Beckenwasser zu stellen. In der DIN 19643-1:2012-11 werden die Parameter und die dazugehörigen Nachweisverfahren (als normativer Verweis) genannt.

Ohne auf die Grenzwerte und Nachweisverfahren näher einzugehen, seien die Parameter hier einmal aufgelistet:

- **Färbung**
- **Aluminium**
- **Klarheit**
- **Oxidierbarkeit Mn VII —> II**
- **Bromat**
- **Arsen**
- **Trübung**
- **Eisen**
- **Nitrat**
- **Trihalogenmethane**
- **Chlorit + Chlorat**

Die Parameter Trihalogenmethane, Bromat sowie der Summenwert von Chlorit und Chlorat sind im Beckenwasser im Abstand von längstens zwei Monaten zu messen. Kommt es zu keinen Grenzwertüberschreitungen in einem Zeitraum von einem Jahr, kann das Untersuchungsintervall auf längstens vier Monaten ausgedehnt werden.

Weitere Messungen können der Kontrolle der Betriebssicherheit dienen, sie geben dem Schwimmbadbetreiber wertvolle Hinweise auf den Zustand des Wassers und bilden die Grundlage für wesentliche Entscheidungen bezüglich der Betriebsweise der gesamten Anlage:

Gesamthärte, Calcium-Härte, Chloride, Sulfate (Seite 79).

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 ISO 10301 gaschromatographisch und ist somit im Rahmen der betriebseigenen Überwachung von Schwimm-und Badebeckenwasser routinemäßig nicht zu bewältigen.

Die DIN 19643-1:2012-11 schreibt im Beckenwasser für Trihalogenmethane, berechnet als Chloroform im Beckenwasser, einen oberen Wert 0,02 mg/l = 20 µg/l vor. Bei Freibädern dürfen höhere Werte an Trihalogenmethanen auftreten, wenn zur Einhaltung der mikrobiologischen Anforderungen höhere Werte an freiem Chlor notwendig werden.

Zur Verringerung der Trihalogenmethankonzentration im Beckenwasser wurden die gängigen Verfahrenskombinationen um die Komponente Adsorption an Pulver-Aktivkohle (Seite 17) erweitert.

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

Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene (AOX)

Der **AOX** (**A**dsorbierbare **O**rganisch 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 ISO 9562 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.

Chlorit und Chlorat

Als Chlorite bezeichnet man Salze der chlorigen Säure $HClO_2$. Im Chlorit-Anion (ClO_2^-) weist Chlor die Oxidationszahl +3 auf. In diesem Zustand ist Chlorit ein starkes Oxidationsmittel und leicht zersetzlich.

Als Chlorate bezeichnet man Salze der Chlorsäure $HClO_3$. Im Chlorat-Anion (ClO_3^-) weist Chlor die Oxidationszahl +5 auf. Chlorate sind starke und spontan reagierende Oxidationsmittel.

In der DIN 19643-1:2012-11 wird ein Grenzwert für die Summe von Chlorit und Chlorat von 30 mg/l im Beckenwasser angegeben.

Bei der Chlorung von Wasser bildet sich hypochlorige Säure (bzw. das Hypochlorit-Anion). Unter bestimmten Bedingungen (wie z.B. Wärme, UV-Strahlung, hohe pH-Werte und hohe Hypochloritkonzentrationen) kann durch Disproportionierung über das Zwischenprodukt Chlorit im Beckenwasser Chlorat gebildet werden.

Normalerweise kann auf Grund dieser zweistufigen Reaktion kein Chlorit im Beckenwasser nachgewiesen werden, es sei denn, es wird durch das Füllwasser mit eingespeist (Chlordioxid, Seite 27).

Erhöhte Chloratwerte können auch durch die Dosierung von Chlorbleichlauge (Natriumhypochloritlösung) hervorgerufen werden, wenn diese durch Lichteinstrahlung, höhere Temperaturen oder lange Lagerzeiten bereits einen Teil des Chlors unter Bildung von Chlorat abgebaut haben (Alterung von Natriumhypochlorit, Seite 25).

Der Nachweis von Chlorit & Chlorat vor Ort ist nicht möglich. Die Bestimmung erfolgt ionenchromatographisch im Labor.

Bromat

Bromate können bei der Aufbereitung (Oxidation) von bromidhaltigen Wässern mit Ozon entstehen.

Da Bromat als potenziell krebserregend gilt, wurde im Beckenwasser ein Grenzwert von 2 mg/l angesetzt.

Die Verwendung von Ozon kann dadurch limitiert werden.

Bei Verwendung von Chlor oder Eintrag von Chlordioxid über das Füllwasser bildet sich kein Bromat.

Die Bestimmung von Bromat wird ebenfalls ionenchromatisch im Labor durchgeführt, da keine vor Ort Analytik verfügbar ist.

Arsen

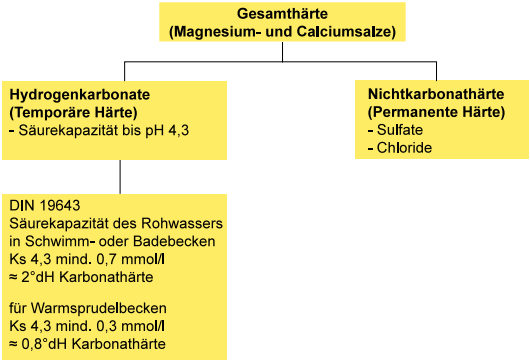
In der DIN 19643-1:2012-11 ist für das Reinwasser und das Beckenwasser eine max. Konzentration von 0,2 mg/l Arsen definiert. Der Nachweis ist möglich mit einem hoch sensitiven Test Kit, das den Messbereich von 0,005 - 0,5 mg/l $As^{3+/5+}$ umfasst.

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-Sättigungsindex (SI) - Wasserkonditionierung

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 (Gesamtalkalinität), Calciumhärte, gesamt gelöste Stoffe (TDS) und Temperatur.

Das Verfahren der **Water Balance (Wasserkonditionierung)** mittels Langelier Sättigungsindex ist in Deutschland nicht besonders bekannt, wird jedoch in vielen Ländern, manchmal auch in vereinfachter Form als Water Balance System = Bestimmung von pH-Wert, Säurekapazität und Calciumhärte, Seiten 60/61) angewendet.

Die Untersuchungsmethoden

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 zeichnen sich durch leichte und sichere Handhabung bei hoher Genauigkeit aus.

Kolorimetrische Verfahren

Der 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 in Durchdrück-Blistern verpackt (Seite 42).

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 Tageslichtleuchte zu verwenden, die gleichmäßige Lichtverhältnisse unabhängig vom Ort der Messung garantiert.

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, die der ISO 7393-2:2017-12 (7.1 Comparator) entsprechen.

Kontinuierliche Farbverläufe, können mit Glas nicht realisiert werden. Eine Alternative stellen hier Farbscheiben aus Kunststoff dar, welche unter Umständen jedoch nur bedingt lichtecht sind (Bei Nichtgebrauch lichtgeschützt lagern).

Photometrische Verfahren

Durch den Einsatz moderner Technologie ist es möglich, photometrische Verfahren zur Routineanalyse im Schwimmbadbereich einzusetzen (Seite 72).

Ein gutes Beispiel dafür sind die Lovibond® Photometer-Systeme, die schnelle, sichere und präzise Messergebnisse liefern. Diese 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.

Bei dem **Tablettenzählverfahren** werden der ursprünglich flüssige Titer und Indikator durch Lovibond® Reagenztabletten ersetzt. In ein definiertes Probevolumen wird eine bestimmte Anzahl von Tabletten hineingezählt, bis der durch das chemische Verfahren vorgegebene Farbumschlag erfolgt. Über die Anzahl der benötigten Tabletten wird die Konzentration ermittelt. Der Messbereich kann durch Veränderung des Probevolumens variiert werden.

Der **Speed-Test** ist eine Rücktitration. Nach Zugabe einer Reagenztablette in ein kalibriertes Teströhrchen wird die Wasserprobe sukzessive aufgefüllt, bis die Farbe der Lösung umschlägt (z.B. von rot nach grün, Seite 34). Anschließend liest man auf der Höhe des Füllstandes den Messwert ab.

Bei der Bestimmung eines Wasserinhaltsstoffes mittels eines **Ja/Nein-Tests** wird analysiert, ob ein bestimmter Inhaltsstoff in der Wasserprobe enthalten ist, bzw. ob eine bestimmte Konzentration dieses Inhaltsstoffes über- oder unterschritten wird.

Elektrochemische Verfahren

Grundlage jeder 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 Bezugselektrode. Taucht man diese beiden Halbzellen in die zu untersuchende Lösung ein und verbindet sie durch ein Voltmeter, kann die Potenzialdifferenz zwischen den beiden Elektroden gemessen werden. Man erhält einen Messwert in Millivolt (mV) für pH-Wert und Redoxspannung.

Reagenzien (DPD)

Reagenzlösungen

Reagenzlösungen bestehen in der Regel nicht aus einer Zubereitung, sondern aus mehreren Komponenten, die nacheinander der Probe zugesetzt werden. 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 2 Jahre ab Herstellungsdatum.

Reagenztabletten

Zu den wesentlichen Vorteilen dieser Darreichungsform gehört, das 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 Alu/Alu-Durchdrück Blisterverpackung verpackt ist, führt dazu, den Zeitraum für die Mindesthaltbarkeit der DPD-Tabletten für 10 Jahre ab Herstellungsdatum zu garantieren.

DPD No.1 Reagenztabletten - grüne Chemie

Reagenzpulver

Eine Form dieser Darreichung sind die vordosierten Pulverpäckchen (Powder Packs). Das Reagenz ist zwischen 2 Aluminiumfolien eingeschweißt, somit ist eine gute Lagerstabilität gegeben. Lediglich die Dosierschwankungen beim Befüllen sowie die undefinierten Restmengen, die im geöffneten Powder Pack zurückbleiben, können zu Messwertschwankungen führen.

Reagenzlösungen

Reagenztabletten

Reagenzpulver

Teststreifen

Die in der Wasseranalytik angebotenen Teststreifen werden häufig in Plastikröhrchen mit Schraubverschluss angeboten. Durch das 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) aufgebrachte 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 Probevolumen 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 unterschiedliche Farbempfinden der Anwender, die die entstandene Färbung auf dem Teststreifen gegen einen Offsetdruck vergleichen müssen, kann zu größeren Abgleich- und damit zu Messwertfehlern führen.

Probenahme und Analysenverfahren

Probenahme

Genauso wichtig wie die Auswahl des richtigen Messverfahrens ist die richtige Probenahme. Wasserproben zur Bestimmung von Chlor und pH-Wert, die unmittelbar nach der Probenahme 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 Horizontaldurchströmung des Beckens wird die Probe in der Mitte der Stirnseite des Beckens genommen.
Bei Vertikaldurchströmung mit 100%-igem Ablauf des Volumenstroms über die allseitig umlaufende Überlaufrinne sollte die Beckenwasserqualität an allen Stellen des Beckenrandes gleich sein. Die Probenahme kann beliebig längs des Beckenrandes genommen werden.
Bei der Probenahme für die kolorimetrische oder photometrische 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.

Ammonium-Bestimmung

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.
Die Ammoniumbestimmung erfolgt mit Ammonium No. 1 und No. 2-Tabletten. Alternativ werden Kolorimeter oder Photometer für die Analyse eingesetzt.

Harnstoff-Bestimmung

Neben Ammonium (**NH_4^+**) ist Harnstoff (**CH_4N_2O**) 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 unbekleideten 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 Chlorharnstoff. 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-Bestimmung

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. Die Messung mit der DPD No. 1-Tablette ergibt den Gehalt an Brom.

Chlor-Bestimmung (freies, gebundenes und Gesamtchlor)

(nach dem DPD-Verfahren, ISO 7393-2:2017-12)

Ammoniak (Ammonium) und Harnstoff sind die typischen Verschmutzungsstoffe des Schwimmbeckenwassers. Mit freiem Chlor (hypochlorige 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 (oto) 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.

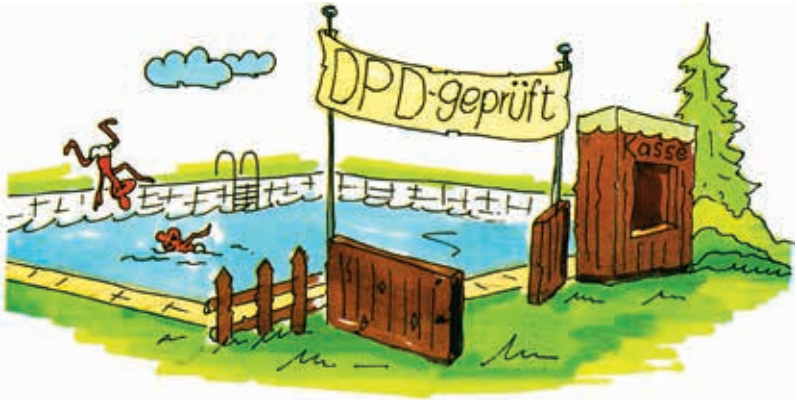
Oft hört man die Meinung, der typische Hallenbadgeruch und Beschwerden der Badenden über gerötete Augen seien auf ein Zuviel an Chlor zurückzuführen.

Nein, es ist 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 (**D**ialkyl-p-**p**henylen**d**iamin) 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.



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 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 derselben 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.

Alternativ zur Verwendung von Reagenztabletten werden in der ISO 7393-2 ausschließlich frisch angesetzte Flüssigreagenzien, allerdings mit beschränkter Haltbarkeit beschrieben. In der Praxis gibt es jedoch eine Nachfrage nach stabilen Reagenziensätzen.

Die Lovibond® -Flüssigreagenzien für die Bestimmung von freiem Chlor bestehen 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 und bei sofortigem Wiederverschluss nach Gebrauch (mit farblich gekennzeichneten Deckeln) eine Mindesthaltbarkeit von zwei Jahren garantiert.

Bei bromid- oder iodhaltigen Wässern werden freies bzw. gebundenes Halogen als Chlor bestimmt, z.B. in Meer-, Sole- oder Thermalwässern

Differenzierte 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-Bestimmung

(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.

Cyanursäure-Bestimmung (Stabilizer)

Die Cyanursäurekonzentration wird mit dem MINIKIT bestimmt; der Zusatz einer Lovibond® Cyanursäure-Tablette zu der Wasserprobe erzeugt eine charakteristische 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 (Seite 28).

Gesamthärte, Calciumhärte, Chloride, Säurekapazität $K_{S4.3}$

Bei diesen Bestimmungen der Härte handelt es sich um titrimetrische Verfahren. Bei einem titrimetrischen Verfahren wird ein geeigneter Indikator durch sukzessive Zugabe eines Titers zu einem definierten Farbumschlag gebracht. Die Menge des zugegebenen Titers steht im direkten Verhältnis zu der gesuchten Konzentration. Mit der Produktreihe Lovibond® MINIKIT (Seite 41) können in Form von Tablettenzählverfahren die Bestimmungen durchgeführt werden. Zu einem abgemessene Probevolumen wird eine Reagenztablette gegeben. Die Wasserprobe färbt sich. Es werden weitere Tabletten nacheinander zugegeben, bis ein definierter Farbumschlag beobachtet wird. Aus der Anzahl verbrauchter Tabletten erhält man durch Multiplikation mit einem Faktor das gesuchte Analyseergebnis.

	Tablettenzählverfahren
Gesamthärte:	Total Hardness-Tabletten 5 - 500 mg/l $CaCO_3$ (0,05 - 5 mmol/l)
Calciumhärte:	Calcium Hardness-Tabletten 10 - 500 mg/l $CaCO_3$ (0,1 - 5 mmol/l)
Chloride:	Chloride-Tabletten 5 - 5000 mg/l Cl
Säurekapazität $K_{S4,3}$:	Total Alkalinity-Tabletten 10 - 500 mg/l $CaCO_3$ (0,2 - 10 mmol/l)

Alternativ zu dem Tablettenzählverfahren steht für einige Verfahren der Lovibond® Speedtest (Seite 41) 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 (Seite 34).

	Speedtest
Gesamthärte:	T-Hardness Test Tabletten 20 - 800 mg/l $CaCO_3$ (0,4 - 16 mmol/l)
Alkalinität-M:	Alk Test Tabletten 20 - 800 mg/l $CaCO_3$ (0,4 - 16 mmol/l)
Calciumhärte:	Cal Test Tabletten 20 - 800 mg/l $CaCO_3$ (0,4 - 16 mmol/l)
Säurekapazität $K_{S4,3}$:	Alk Test Tabletten 0,4 - 16 mmol/l (20 - 800 mg/l $CaCO_3$)

Folgende Bestimmungen können auch **photometrisch** durchgeführt werden:

Gesamthärte:	Hardcheck P Tabletten, 2 - 500 mg/l $CaCO_3$
Calciumhärte:	Calcio H No.1 / No.2 Tabletten, 0 - 500 mg/l $CaCO_3$
Säurekapazität $K_{S4,3}$:	Alka-M-Photometer Tabletten, 0,1 - 4,0 mmol/l
Sulfat:	Sulfate T Tabletten, 5 - 100 mg/l SO_4

Ozon-Bestimmung

(nur bei der Verfahrenskombination mit Chlor)

Für den Nachweis von Ozon (**O_3**) im Schwimmbeckenwasser eignet sich besonders die menschliche Nase: von ihr werden bereits 1 Teil Ozon in 500.000 Teilen Luft 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 O_3.

pH-Messung mit Phenolred (Phenolrot)

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

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 unbekannten Wässern diese Grenzwerte ermittelt, so empfiehlt es sich, zur Sicherheit mit dem Lovibond® pH-Meter die pH-Wert-Prüfung elektrochemisch vorzunehmen. Stellt sich bei dieser Untersuchung heraus, dass das Wasser zu sauer oder zu alkalisch ist, kann eine totale oder auch teilweise Erneuerung des Schwimmbeckenwassers unter Umständen vorteilhafter sein als größere Mengen an pH-Regulierungschemikalien portionsweise (!) dem Wasser zuzugeben.

Die Lovibond® Phenolrot-Tabletten enthalten Thiosulfat, um den störenden Einfluss von Chlor auf die pH-Wert-Messung auszugleichen.

Anmerkungen

Wasserproben mit geringer Carbonathärte* können falsche pH-Werte ergeben.
* Säurekapazität $K_{S4.3}$ < 0,7 mmol/l entspricht einer Gesamtalkalität < 35 mg/l $CaCO_3$.

pH-Werte unter 6,5 und über 8,4 können zu Ergebnissen innerhalb des Messbereiches führen. Es wird ein Plausibiltätstest (pH-Meter) empfohlen.

Die Genauigkeit von pH-Werten durch die kolorimetrische Bestimmung ist von verschiedenen Randbedingungen (Pufferkapazität der Wasserprobe, Salzgehalt) abhängig.

Der Salzgehalt der Wasserprobe beeinflusst das Resultat der pH-Wert-Bestimmung (Salzfehler).

Phosphat-Bestimmung

Für den Phosphatnachweis stehen sowohl kolorimetrische als auch photometrische Verfahren zur Verfügung. Der Messbereich beträgt 0-4 mg/l PO_4 oder 0 - 80 mg/l PO_4 (CHECKIT® Comparator). Ein besonders sensitives Verfahren stellt das Phosphat Test Kit Low Range dar. Der Messbereich umfasst 0 -1.000 ppb– das entspricht 0 - 1 mg/l Phosphat (PO_4).

Elektrochemische und amperometrisches Messverfahren

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

pH-Messung mit Elektroden

Bei einer pH-Elektrode bildet sich an der Glasmembran ein elektrisches Potenzial aus, welches in direkter Abhängigkeit zur H^+-Ionen-Konzentration steht. Als Bezugselekrode dient in den meisten Fällen eine Silber-Silberchlorid-Halbzelle, welche mit der Glaselektrode zu einer sogenannten Einstab-Messkette zusammengebaut ist. Die Bezugselektrode 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 justieren 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) justiert.

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 gegebenenfalls registrierte Redox-Spannung eignet sich somit weder für die Steuerung der Chlordosierung noch als Ersatz für die quantitative Erfassung der differenzierten Chlorgehalte. Es wird für die eigene Betriebsüberwachung bzw. für die Beobachtung tendenzieller Änderungen der Wasserbeschaffenheit herangezogen in öffentlichen Bädern (Hinweis auf private Bäder siehe Seite 77).

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 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 Justierung des Gerätes wird mit Hilfe eines Kolorimeters (Comparator) oder Photometers nach der DPD-Methode vorgenommen (Seite 45-47). 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 zyklisch durchgeführt werden.

Neben diesen beiden indirekten Messmethoden hat die kolorimetrische bzw. photometrische Messung der Restchlorgehalte im Schwimmbadewasser 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.

Anforderungen (Auszug) an Reinwasser und Beckenwasser (DIN 19643-1: 2012-11)

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 b) Meerwasser		 6,5 6,5	 7,5 7,8	 6,5 6,5	 7,5 7,8
	ohne Flockung a) Süßwasser b) Meerwasser		 6,5 6,5	 7,5 7,8	 6,5 6,5	 7,5 7,8
freies Chlor	allgemein Warmsprudelbecken	mg/l mg/l	0,3 0,7	**n.B.** **n.B.**	0,3 0,7	0,6 1,0
gebundenes Chlor		mg/l	-	0,2*	-	0,2*
Säurekapazität $K_{S4,3}$	bei Flockung mit Produkten der Basizität ≤ 65% a) alle Anlagen außer b) Warmsprudelbecken mit eigener Aufbereitung	 mmol/l mmol/l			 0,7 0,3	
	bei Flockung mit Produkten der Basizität > 65% sowie ohne Flockung	 mmol/l			 0,3	

n.B. = nach Bedarf (max. 1,2 mg/l im Beckenwasser)
*gelegentliche Überschreitung von bis zu 20% sind tolerierbar.

Warmsprudelbecken, Hot-Whirl-Pool, Spa, Jacuzzi

Neben den klassischen Schwimmbecken sind Warmsprudelbecken populär. Unter einem Warmsprudelbecken versteht man ein kontinuierlich durchströmtes Wasserbecken, in dem für den Aufenthalt von Menschen vorgesehenen Badebereich warmes Wasser (etwa 37°C) durch Eintragung von Luft sprudelt und in dem sich höchstens zehn Personen gleichzeitig aufhalten.

Durch die Norm DIN 19643-1:2012-11 ist die Aufbereitung und Desinfektion von Wasser für Warmsprudelbecken geregelt, ausgenommen sind Einfamilienanlagen.

Man unterscheidet zwischen Warmsprudelbecken mit begrenzter Nutzung und Warmsprudelbecken mit kombinierter Benutzung. Von einer begrenzten Nutzung geht man aus, wenn die Benutzer entweder keinen Zugang zu anderen Schwimm- und Badebeckenanlagen haben oder nur zu solchen, die eine Nennbelastung bis 50 Personen je Stunde aufweisen.

Bei der kombinierten Nutzung geht man davon aus, dass das Warmsprudelbecken den Badegästen während des Aufenthalts in der Schwimm- und Badebeckenanlage nach freier Wahl zur Verfügung steht.

In Warmsprudelbecken sind eindeutig erkennbare Sitzplätze für max. zehn Benutzer einzurichten. Für jeden Sitzplatz ist ein Beckenvolumen von mind. 0,4 m^3 vorzusehen.

Warmsprudelbecken müssen ein Mindest-Beckenvolumen von 1,6 m^3 haben und dürfen eine Wassertiefe von 1 m nicht überschreiten (bei kombinierter Nutzung muss ein Beckenvolumen von mind. 4 m^3 durch ein oder mehrere Warmsprudelbecken vorgehalten werden).

Bei Warmsprudelbecken darf der Beckenumgang nicht in die Überlaufrinne entwässert werden. Am Warmsprudelbeckenrand ist ein freier Wasserüberfall zulässig.

Aufbereitungsanlage eines Warmsprudelbeckens

Warmsprudelbecken dürfen an die Aufbereitungsanlage der Schwimm- und Badebeckenanlage angeschlossen werden (mit entsprechender Erhöhung des Volumenstroms) oder mit einer ihnen zugeordneten Aufbereitungsanlage betrieben werden.

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 Schwimmbadewasseraufbereitung. Grenzwerte für öffentliche Warmsprudelbecken (siehe Seite 53).

Füllwasserzusatz

Bei Warmsprudelbecken mit einer Aufbereitungsanlage kann der Füllwasserzusatz entfallen, falls die Anlagen täglich entleert werden.

Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit (öffentlich)

Die Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit und die festzuhaltenden Daten für das Betriebsbuch sind in der DIN 19643-1:2012-11 festgehalten. Es sei jedoch an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen, dass der untere Wert für freies Chlor im Reinwasser und im Beckenwasser 0,7 mg/l beträgt; der obere Wert im Beckenwasser ist mit 1,0 mg/l angegeben. Unter bestimmten Betriebsbedingungen können jedoch höhere Konzentrationen erforderlich sein, um die mikrobiologischen Anforderungen einzuhalten. Die erhöhten Konzentrationen an freiem Chlor im Beckenwasser dürfen jedoch 1,2 mg/l nicht überschreiten.

Anforderungen an die Wasserbeschaffenheit (privat)

DIN EN 17125 Parameter (Auszug)	**Wert**
pH-Wert	6,8 bis 7,6
Freies Aktivchlor (ohne Cyanursäure) mg/l	0,3 bis 1,5
Freies Chlor, in Kombination mit Cyanursäure, mg/l	1,0 bis 4,0
Cyanursäure, mg/L	max. 100
Brom, mg/l	2,0 bis 4,0

Reinigung

Einer besonderen Bedeutung kommt bei Warmsprudelbecken die Reinigung zu. Mindestens einmal wöchentlich ist das Warmsprudelbecken einschließlich Überlaufrinne nach der Entleerung zu reinigen und zu desinfizieren. Um eine Störung der Aufbereitung z.B. durch Reinigungsmittel zu vermeiden, sind Beckenrinnen und Luftkanäle anschließend gründlich mit Wasser zu spülen.

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 Mess-, Regel- und Dosieranlagen 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 Wasseruntersuchungen in bestimmter zeitlicher Abfolge durchgeführt werden (EN 16713-3:2016-08):

	Messen	Soll
Täglich	freies Chlor gebundenes Chlor pH-Wert	0,3 - 1,5 mg/l 1,0 - 3,0 mg/l in Kombination mit Cyanursäure max. 0,5 mg/l 6,8 - 7,6
Wöchentlich	Cyanursäure	maximal 100 mg/l

Auswertung der Messergebnisse für Privatschwimmbäder

(Messmethoden Seite 44 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 1,5 mg/l sollte die Dosierung solange gestoppt werden bis der Messwert wieder im akzeptablen Bereich liegt (ohne Cyanursäure).

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 0,5 mg/l, wird sich dies aller Wahrscheinlichkeit nach durch den typischen Hallenbadgeruch und/der 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).
- Filterrückspülung 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 (Empfehlung).
- 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 6,8 und 7,6, wird empfohlen, die Dosierung des pH-Senkers/Hebers wie bisher beizubehalten. Ist der pH-Wert kleiner 6,8, 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.

Automatische pH-Wertregulierung

Der pH-Wert des Wassers wird auch automatisch gemessen und geregelt. Da es zu Abweichungen außerhalb der Grenzwerte gekommen ist, sollte die pH-Elektrode 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.

Manuelle pH-Wertregulierung

Der pH-Wert des Wassers wird manuell geregelt.

Es wird empfohlen, max. 500 g Säure zu dosieren. Vor weiteren Zugaben 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.

Cyanursäure (Stabilizer)

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

Ist die gemessene Cyanursäurekonzentration kleiner als 100 mg/l, kann die Dosierung des organischen Chlors den Erfordernissen aus der Chlorbestimmung entsprechend durchgeführt werden.

Ist die gemessene Cyanursäurekonzentration größer als 100 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 $K_{S4.3}$ / Total Alkalinity

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/m^3 (= 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)

Bei der Bestimmung der Säurekapazität geht es um den Verbrauch an einwertiger Mineralsäure (Salzsäure HCl) bis zum Erreichen des pH-Wertes 4,3. In der DIN 19 643 wird als Einheit deshalb die Menge an verbrauchter Säure in mmol/l $K_{S4.3}$ angegeben.

Im angloamerikanischen Bereich spricht man anstelle der Säurekapazität von Total Alkalinity.

Man betrachtet nicht den Säureverbrauch, sondern die Konzentration an Calciumcarbonat als mg/l $CaCO_3$. Die Säurekapazität/Total Alkalinity dient zur Stabilisierung des pH-Wertes. Bei einer zu geringen Säurekapazität/Total Alkalinity ist die Einstellung des pH-Wertes erschwert. Es kann zu starken pH-Wert-Schwankungen kommen, die sich negativ auf die Desinfektion und die Flockung auswirken.

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)

Wasserkonditionierung / Water Balance

Von konditioniertem Wasser bzw. Water Balance spricht man, wenn es weder korrosive Eigenschaften hat, noch zu Kalkausfällungen führt. Für die Beurteilung werden die Kenngrößen Temperatur, Calciumhärte, Total Alkalinity, Total Dissolved Solids (gesamt gelöste Salze) und der pH-Wert des Wassers herangezogen. Die Kalkulation erfolgt anhand der neben stehenden Tabelle gemäß folgender Formel:

pH-Wert + Temperatur-Faktor (T.F.) + Calciumhärte-Faktor (C.F.) + Alkalinity-Faktor (A.F.) – Total Dissolved Solids-Faktor (TDS)

Im Idealfall ist das Ergebnis aus der Berechnung NULL. Bei einem positiven Resultat tendiert das Wasser zu Kalk-Ausfällungen, im negativen Bereich wirkt es korrosiv. Ergebnisse von NULL +/- 0,3 gelten als zufriedenstellendes Aufbereitungsergebnis.

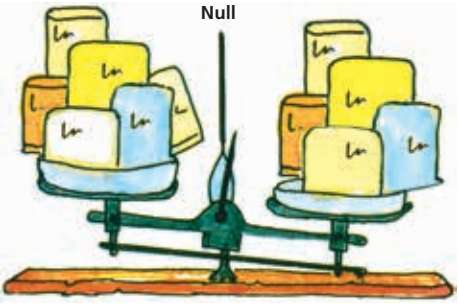
Berechnung

Temperatur °C	°F	T.F.	Calcium Härte mg/l in $CaCO_3$	C.F.	Total Alkalinity mg/l in $CaCO_3$	A.F.	Dissolved Solids mg/l	Faktor
0	32	0.0	5	0.3	5	0.7	0	12.0
3	37	0.1	25	1.0	25	1.4	-	-
8	46	0.2	50	1.3	50	1.7	1000	12.1
12	53	0.3	75	1.5	75	1.9	-	-
16	60	0.4	100	1.6	100	2.0	2000	12.2
19	66	0.5	150	1.8	125	2.1	-	-
24	76	0.6	200	1.9	150	2.2	3000	12.25
29	84	0.7	250	2.0	200	2.3	-	-
34	94	0.8	300	2.1	300	2.5	4000	12.3
41	105	0.9	400	2.2	400	2.6	-	-
53	128	1.0	600	2.35	800	2.9	5000	12.35
-	-	-	800	2.5	1000	3.0	-	-
-	-	-	1000	2.6	-	-	6000	12.4

Beispiel:	Kalkulation:
pH = 7.5	7,5
Temperatur 29 °C (84° F)	+ 0,7
Calciumhärte 300 mg/l	+ 2,1
Total Alkalinity 100 mg/l	+ 2,0
TDS 1.100 mg/l	- 12,1
Ergebnis	+ 0,2

- Korrosiv

Niedriger pH-Wert
Niedrige Alkalinity
Niedrige Calciumhärte
Niedriger TDS-Wert
Niedrige Temperatur



+ Kalkausfällung

Hoher pH-Wert
Hohe Alkalinity
Hohe Calciumhärte
Hoher TDS-Wert
Hohe Temperatur

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 Filterrückspülung
- 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 verfahresgerecht 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 tauchen als pulvriger Niederschlag am Beckenboden auf. Sie sind weitestgehend chlorresistent.

Schwarze (blaugrüne) Algen 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 im 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 (blaugrünen) Algenflecken kommt man meistens um eine mechanische Beseitigung (Bürste) nicht umhin.

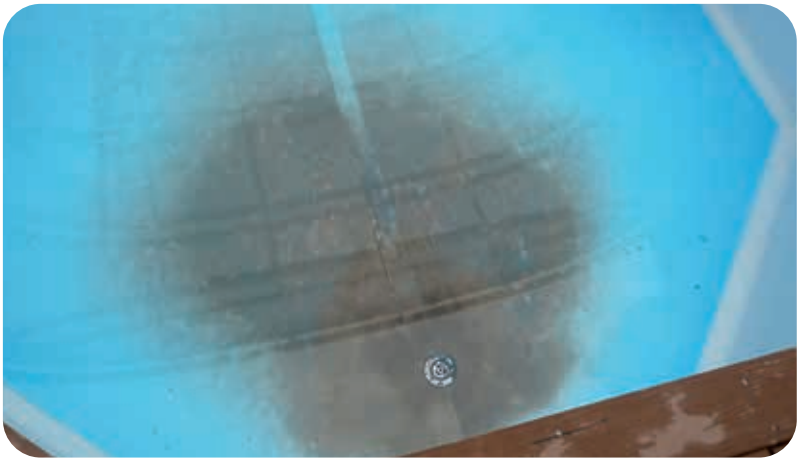
Folgende Algizide sind gebräuchlich:

- 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:

- Kupferhaltige Algizide, speziell wenn sie überdosiert werden, ergeben Kupferablagerungen (blaugrün oder grauschwarz).
- Eisen- und Manganverbindungen, wie sie im Grundwasser vorkommen, wenn dieses direkt für die Befüllung des Schwimmbades verwendet wird. In Gegenwart von Chlor bilden sich braune (Eisen) und schwarzgraue (Mangan) Ablagerungen.



- Eisen- und Kupferverbindungen, die durch korrosives Wasser (niedriger pH-Wert) aus metallischen Einbauten (z.B. Rohrleitungen, Wärmetauscher und Skimmern) herausgelöst wurden. Ablagerungen können sowohl blaugrün als auch grauschwarz sein.

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 hypochloriger Säure (HOCl).

Durch den Zusatz von Chlor oder oxidierend wirkenden Chlorverbindungen zum Wasser entsteht hypochlorige Säure (HOCl):

Cl_2	+	H_2O	$\rightleftharpoons$	HClO	+	HCl
Chlorgas		Wasser		Hypochlorige Säure		Salzsäure

Je nach pH-Wert des Wassers dissoziiert (zerfällt) diese hypochlorige Säure in ein Wasserstoff-Kation und ein Hypochlorit-Anion (Seite 80).

Gemäß ISO 7393-2:2017-12 wird mit dem DPD-Verfahren das freie Chlor als Summe aus hypochloriger 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 hypochloriger 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 hypochloriger Säure besteht, kann dies auch nach folgender Formel geschehen (T in °C):

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

Calciumhypochlorit Ca $(ClO)_2$

Caciumhypochlorit kommt als Feststoff (Granulat oder Tablette) in den Handel;

Masseanteil an Ca $(ClO)_2$ mindestens 65%.

Ca $(ClO)_2$	+	2 H_2O	$\rightleftharpoons$	2 HClO	+	Ca $(OH)_2$
Calciumhypochlorit		Wasser		Hypochlorige Säure		Calciumhydroxid

Chloramin (gebundenes Chlor)

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):

$HClO$	+	NH_3	$\rightleftharpoons$	H_2O	+	NH_2Cl
Hypochlorige Säure		Ammoniak		Wasser		Monochloramin
$HClO$	+	NH_2Cl Monochloramin	$\rightleftharpoons$	H_2O	+	$NHCl_2$ Dichloramin
$HClO$	+	$NHCl_2$ Dichloramin	$\rightleftharpoons$	H_2O	+	NCl_3 Stickstofftrichlorid

Durch **weitere Zugabe von Chlor** können diese Verbindungen abgebaut werden:

$NHCl_2$ +	2 $HClO$ +	H_2O	$\rightleftharpoons$	NO_{3-}	$5\ H^+$	+	$4\ CL^-$
Dichloramin	Hypochlorige säure	Wasser		Nitrationen	Wasserstoffionen		Chloridionen

2 $NHCl_2$ +	$HClO$	$\rightleftharpoons$	N_2	+	H_2O	+	$3\ H^+$ +	$3\ CL^-$
Monochloramin	Hypochlorige säure		Stickstoff		Wasser		Wasserstoffionen	Chloridionen

Chlorit und Chlorat

Als Chlorite bezeichnet man Salze der chlorigen Säure $HClO_2$. Im Chlorit-Anion (ClO_2^-) weist Chlor die Oxidationszahl +3 auf. In diesem Zustand ist Chlorit ein starkes Oxidationsmittel und leicht zersetzlich.

Als Chlorate bezeichnet man Salze der Chlorsäure $HClO_3$. Im Chlorat-Anion (ClO_3^-) weist Chlor die Oxidationszahl +5 auf. Chlorate sind starke und spontan reagierende Oxidationsmittel.

$$ClO^- + ClO^- \rightleftharpoons Cl^- + ClO_2^-$$

Hypochlorit Anionen — Chlorid — Chlorit

$$ClO_2^- + ClO^- \rightleftharpoons Cl^- + ClO_3^-$$

Chlorit Anion — Hypochlorit Anion — Chlorid — Chlorat

Chlordioxid (ClO_2)

Chlordioxid (ClO_2) wird am Zugabeort aus Chlorit und Chlorgas direkt erzeugt.

$$2\ NaClO_2 + Cl_2 \rightleftharpoons 2ClO_2 + 2\ NaCl$$

Natriumchlorit — Chlorgas — Chlordioxid — Kochsalz

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

Chlorgas (Cl_2)

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 Wasserinhaltstoffen eingesetzt."

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

Cyanursäure

$$C_3N_3O_3Cl_3 + 3H_2O \rightleftharpoons 3HClO + C_3N_3O_3H_3$$

Trichloriso-cyanursäure — Wasser — Hypochlorige Säure — Cyanursäure

Desinfektion

Abtöten von Erregern übertragbarer Krankheiten.

Dichloramin

Siehe "Chloramine" (Seite 66)

DPD-Verfahren nach ISO 7393-2:2017-12

Die ISO 7393-2 beschreibt die Routinekontrolle von Chlor mittels einer Farbintensitätsänderung des DPD (N,N-Dialkyl-1,4-Phenylendiamine). Diese Veränderung wird durch visuellen Farbabgleich oder photometrische Messung ausgewertet. Allgemein wird diese Methode auch als DPD 1-Methode für die Bestimmung des freien Chlors bezeichnet.

Wird von der Bestimmung von Chlor mittels DPD 1 gesprochen, wird auch die Einhaltung der Prinzipien der ISO 7393-2 vorausgesetzt. Was bedeutet ISO 7393-2 und welchen Einfluss hat diese Norm auf die erhältlichen DPD 1 Produkte?

Im Grunde beschreibt die Norm die drei wesentlichen Komponenten der Chlorbestimmung mittels DPD:

1) Durch einen Phosphatpuffer wird sichergestellt, dass der pH-Wert während der Bestimmung zur fehlerfreien Farbausbildung zwischen 6,2 und 6,5 liegt.

2) Als Indikator wird DPD-Sulfat verwendet.

3) Zur Bestimmung des Gesamtchlors wird Kaliumjodid als Hilfsreagenz verwendet.

Normgerechte Chlorbestimmung

Die Norm beschreibt die Herstellung dieser drei Komponenten in Lösungsform exakt und erlaubt die Nutzung von handelsüblichen Fertigreagenzien in Pulver- oder Tablettenform. Als Anwender ist man angehalten, die Eignung des gewählten handelsüblichen Reagenz gemäß der Validierungsdaten der Norm zu prüfen.

Kombinationen aus Puffer und DPD als DPD 1 Reagenz und dem DPD mit Kaliumjodid als DPD 3 Reagenz haben sich als internationaler Standard etabliert.

Im Markt werden DPD 1 und DPD 3 als Flüssig-, Tabletten- oder Pulverreagenz genutzt. Um die Standards zu erfüllen, müssen DPD-Reagenzien durch indifferente Hilfs- und Füllstoffe (die nicht in die Bestimmung eingreifen), lange Haltbarkeit und eine exakte Dosierung gewährleisten. Hersteller dieser Reagenzien müssen sicherstellen, dass auch bei nicht spezifisch formulierten Anforderungen die ISO 7393-2 erfüllt wird. DPD Alkyl Derivate:

N,N-diethyl-1,4-phenylenediaminsulfat [NH_2-C_6H_4-$N(C_2H_5)_2 \bullet H_2SO_4$]

N,N-dipropyl-1,4-phenylenediaminsulfat [NH_2-C_6H_4-$N(C_3H_7)_2 \bullet H_2SO_4$]

Grüne Chemie

Alle für den Poolbereich angebotenen Lovibond® Reagenzien sind frei von Borsäure. Borsäure wird von der EU als schädigend für die Fortpflanzungsfähigkeit eingestuft. Die Lovibond® DPD No.1 Tablette garantiert zudem die von der Norm vorgeschriebene ausreichende Pufferwirkung.

Titration zeigt Unterschiede

Der Puffer im Reagenz soll sowohl bei mehr sauren oder basischen Proben und auch bei höheren Salzkonzentrationen in den Proben die Einhaltung des richtigen pH-Wertes sicherstellen und somit Fehlmessungen vermeiden.

Titrationskurven von verschiedenen, kommerziell erhältlichen Reagenzien geben einen messtechnischen Hinweis darauf, dass die Einhaltung der ISO 7393-2 Prinzipien zum Puffersystem gegeben ist.

Im Titrationsexperiment wird unter Zugabe von Säure bzw. Lauge der pH-Wert gemessen. Ein Puffer bewirkt, dass sich der pH-Wert trotz Zugabe zunächst nur wenig verändert.

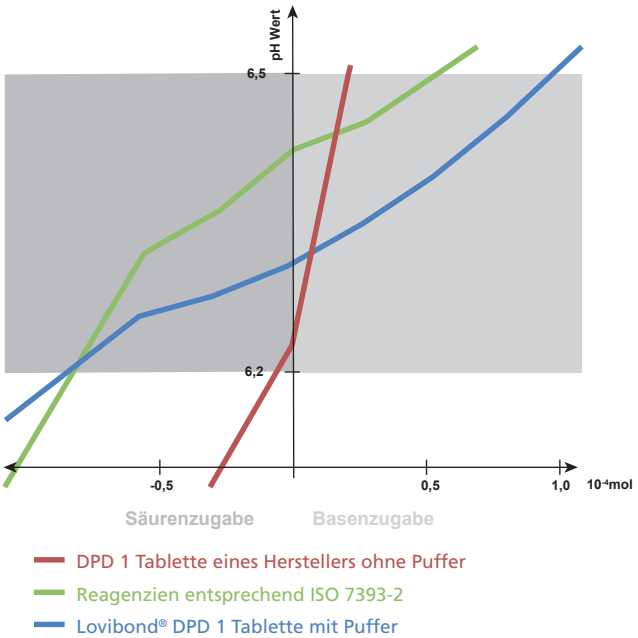
Eine steile Kurve, also eine starke pH-Wert Änderung schon bei geringer Zugabe, deutet auf ein unzureichendes Puffersystem hin (siehe Abbildung).

In einem solchen Fall sind Fehlmessungen schon durch leicht unterschiedliche pH Werte im Beckenwasser höchst wahrscheinlich.

Eine solche Messung ist unsicher im Ergebnis und wird den Anforderungen der Norm nicht gerecht.

Je toleranter ein Reagenz gegenüber der Zugabe von Säure und Lauge ist, desto größer ist der Arbeitsbereich, in dem die Chlorbestimmung funktioniert.

Ein fehlendes Puffersystem stellt also einen erheblichen Qualitätsmangel dar, der zu unsicheren und fehlerhaften Messwerten führen kann. Daher sollte bei der Anschaffung von DPD-Reagenzien darauf geachtet werden, dass diese Reagenzien der Anforderung der Norm genügen.



DPD Chlorbestimmung (mögliche Fehlerquellen)

a) Die Wasserprobe ist im oberflächennahen Bereich (ca. 10 - 30 cm unter der Wasseroberfläche) und ca. 50 cm vom Beckenrand 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 Probevolumen ist exakt einzuhalten.

c) Die DPD-Farbentwicklung erfolgt bei einem pH-Wert von 6,2 - 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 Durchdrückfolie in die Küvette zu geben. Beim Durchdrücken ist darauf zu achten, dass die nebenstehenden Tablettentaschen nicht angerissen werden, da die Tabletten mit Luftsauerstoff reagieren.

e) Die Küvetten dürfen nicht 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 (Sommersprossen) 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 (Lagertemperatur + 6°C bis +10°C, (Seite 42).

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 (z.B. Chlor) zu Fehlmessungen kommen. Um diese Fehler auszuschließen, verweisen wir auf die ISO 7393-2:2017-12, Absatz 7.3:
"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

$$2\,NaCl + 2\,H_2O \xrightarrow[\text{Gleichstrom}]{\text{Elektrolyse}} 2\,NaOH + H_2 + Cl_2$$

Natriumchlorid → Natronlauge + Wasserstoff + Chlorgas

$$2\,NaOH + Cl_2 \rightleftharpoons NaClO + NaCl + H_2O$$

Natriumhypochlorit + Kochsalz

Entkeimung

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

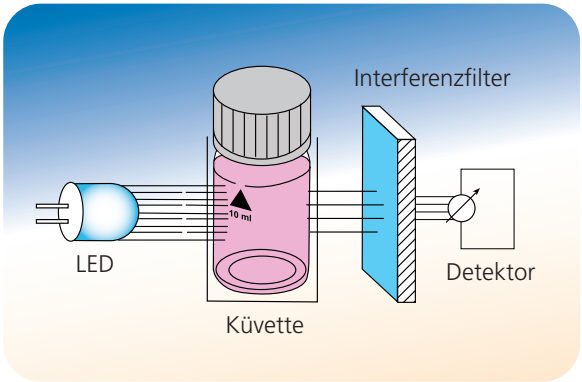
Die Entkeimung (Desinfektion) des Wassers dient der Abtötung oder Abscheidung von Krankheitserregern und der Verminderung der Koloniezahlen.

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

Photometrisches Prinzip

Nach Zugabe definierter Reagenzien zur Wasserprobe färbt sich diese proportional zur Konzentration des Parameters, der analysiert werden soll. Diese Färbung misst das Photometer:

Beim Durchgang eines Lichtstrahls durch die gefärbte Probe bewirkt diese aufgrund von Energieaufnahme durch Materie eine Absorption (Schwächung) von Licht einer bestimmten Wellenlänge. Die Färbung der Probe wird vom Photometer durch Messung der Transmission bzw. der Absorption von Licht dieser Wellenlänge, also monochromatischem Licht, bestimmt. Im Anschluss errechnet das Photometer über einen Mikroprozessor die gesuchte Konzentration und zeigt diese im Display an.



Funktionsweise der Photometer

Photometer mit vorbereiteter Wasserprobe

Photometrische Messungen (mögliche Fehlerquellen)

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 Photometer-Systeme, auch für den mobilen Einsatz bzw. für die Schwimm- und Badewasser-analytik, 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.

b) für die Analyse dürfen nur saubere Küvetten verwendet werden.

c) Bläschenbildung in der farbigen Messlösung oder an der Oberfläche der Küvette führt genauso zu Fehlmessungen wie Trübungen.

d) die Lichtdurchtrittsflächen der Küvetten dürfen nicht mit den Fingern berührt werden.

e) Die Außenwände der Küvetten müssen absolut trocken sein.

f) Verwenden Sie ausschließlich Reagenzien bzw. Indikatoren, die sich original im Lieferumfang des Photometers befinden. Bei Verwendung von **Fremdchemie** sind abweichende Messergebnisse wahrscheinlich.

g) Phenolred-Tabletten für die pH-Messung müssen mit dem schwarzen Folien-aufdruck "Photometer" gekennzeichnet sein.

h) Der Folienaufdruck der DPD-Tabletten muss schwarz sein.

i) Beim Auflösen der DPD No.1-Tablette ist darauf zu achten, dass die Tablette in einigen Tropfen Probenwasser aufgelöst wird und anschließend erst die Küvette mit der Wasserprobe auf 10 ml aufgefüllt wird. Andernfalls kann sich der in der Tablette enthaltene Puffer nicht richtig entfalten, was zu Störungen der Farbentwicklung führt.

j) Starkes Rühren oder Schütteln der Wasserprobe vermeiden.

k) Bei der Bestimmung des Gesamtchlorgehaltes ist unbedingt die Farbreaktions-zeit von 2 Minuten einzuhalten.

Ansonsten gelten die Hinweise zur Vermeidung von Analysefehlern, die bereits unter "DPD Chlorbestimmung" gelistet sind (Seite 70/71 a-j).

Freies Chlor (HOCl)

Die hypochlorige Säure und das Hypochlorit-Anion werden als **freies Chlor** bezeichnet. Man weiß, dass das Chlor in dieser freien Form geruchlos ist, kaum in Erscheinung tritt und auch die Schleimhäute weitaus geringer reizt als gebundenes Chlor in gleicher Konzentration.

Nachweis: Siehe DPD-Verfahren (Seite 45 ff)

Gebundenes Chlor (Chloramin)

Chlor-Stickstoff-Verbindungen (siehe Chloramin, Seite 66)

Nachweis: Siehe DPD-Verfahren (Seite 45 ff)

Gesamtchlor

Summe aus freiem und gebundenem Chlor

Nachweis: Siehe DPD-Verfahren (Seite 45 ff)

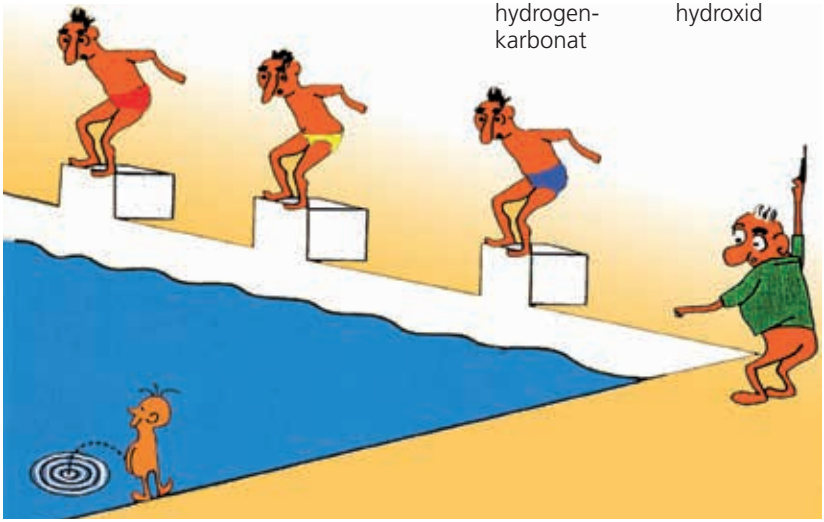
Harnstoff

$$\begin{array}{l} NH_2 \\ | \\ C = O \\ | \\ NH_2 \end{array} + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + 2\,NH_3$$

Harnstoff — Kohlendioxid — Ammoniak

$$CO_2 + NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4HCO_3 + NH_4OH$$

Ammonium-hydrogen-karbonat — Ammonium-hydroxid



Kaliumpermanganat-Verbrauch

Der Kaliumpermangant-Verbrauch ist das Ergebnis einer titrimetrischen Bestimmung. Die saure, siedende Probe wird mit $KMnO_4$ titriert. Die Oxidierbarkeit (Kaliumpermangant-Verbrauch) des Wassers ist ein Maß für die organische Verunreinigung (Seite 11).

Kalk-Kohlensäure Gleichgewicht

Karbonate und Hydrogenkarbonate stehen in wechselseitiger Beziehung zueinander.

$CaCO_3$	+	H_2CO_3	$\rightleftharpoons$	$Ca(HCO_3)_2$
Calcium-karbonat		Kohlen-säure		Calciumhydrogen-karbonat

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

HCO^-_3	+	H^+	$\rightleftharpoons$	H_2CO_3
Hydrogen-karbonat		(Säure)		Kohlensäure

H_2CO_3 (Kohlensäure) zerfällt zu H_2O (Wasser) + CO_2 (Kohlendioxid (gasf.))

$HCO\text{-}_3$	+	$OH\text{-}$	$\rightleftharpoons$	H_2O	+	CO_3^{2-}
Hydrogen-karbonat		(Lauge)		Wasser		Karbonat

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 (Seite 51/77).

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 66)

Natriumhypochlorit (NaClO)

Natriumhypochlorit (Chlorbleichlauge) kommt als Flüssigkeit in den Handel und hat einen Aktivchlorgehalt von 12-15 %. Der Nachweis der Wirksamkeit der Natriumhypochlorit-Lösung erfolgt mit dem CHECKIT®Comparator Test Kit in dem Messbereich von 2 - 18 % NaOCl (Seite 25).

NaClO	+	H_2O	$\rightleftharpoons$	HClO	+	NaOH
Natrium-hypochlorit		Wasser		Unterchlo-rige Säure		Natron-lauge

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 (Cyanursäure, Seite 28/67).

Redoxspannung (mV)

Allen oxidierend wirksamen Elementen und Verbindungen, z.B. Chlor, Brom, Iod, Ozon 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 bei hohen Redoxspannungen eine hohe Keimtötungsgeschwindigkeit vorliegt.

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 ≤ 7,5	mV mV	750 770	- -
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 mV	700 720	- -
Redox-Spannung für Wasser mit einem Iodgehalt > 0,5 mg/l	mV	Wert ist experimentell zu bestimmen	

Kontinuierliche Messung mit ortsfestem Messgerät gemäß DIN 19643-1:2012-11

Messungen der Redox-Spannungen sollten 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-Lösung neu justiert, gespült und wieder eingebaut werden.

Das Redoxpotenzial in privaten Bädern, gemessen gegen Ag/AgCl 3,5 m KCl-Elektroden, sollte mindestens 650 mV erreichen (EN 16713) – siehe Seite 51.

Rückschlüsse von der Redox-Spannung auf den Gehalt an Desinfektionsmitteln und umgekehrt sind grundsätzlich nicht möglich.

pH-Wert

Der pH-Wert[1)] 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)

[1)] Als logarithmische Größe ist er durch den mit -1 multiplizierten Zehnerlogarithmus der Oxoniumionenkonzentration (H_3O^+) (Oxoniumionenaktivität) definiert.
pH = -log(H_3O^+).

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 (siehe Seite 51).

Kolorimetrie / Photometrie
Bestimmung anhand der Farbreaktion des Indikators Phenolrot (siehe Seite 50).

Salze (Chloride, Sulfate, Nitrate, Calcium)

Salze	Herkunft
Chloride Korrosion an metallischen Werkstoffen ab ca. 150 mg/l Cl^-. (bei Meerwasserschwimmbecken ohne Belang, da konzeptionell auf Korrosionsbeständigkeit der Werkstoffe geachtet werden muss)	• Alle chlorhaltigen Desinfektionsmittel. • Eisen-III-Chlorid-Hexahydrat, • Alu-Chlorid-Hexahydrat, • Aluhydroxidchlorid und Eisenchlorid sulfat-Lösung (Flockung), • Salzsäure (pH-Regulierung)
Sulfate Korrosion von Betonteilen ab ca. 150 mg/l SO_4^{2-}	• Alu-sulfate (Flockung) • Schwefelsäure (pH-Regulierung) • Natriumhydrogensulfat (pH-Regulierung)
Nitrate max. Konzentration im Beckenwasser 20mg/l NO_3^- über dem Wert des Füllwassers	• Oxidativer Abbau von Harnstoff und anderen stickstoffhaltigen Verunreinigungen wie z.B. Ammonium
Calcium Eintrübung des Wassers und Kalkablagerungen, Verklebung des Filters	• Dolomitisches Filtermaterial • Calciumhypochlorit • Auslaugung mörtelhaltiger Fliesenverfugungen und Beckenauskleidungen

Säurekapazität $K_{S4.3}$

Die Einheit der Säurekapazität $K_{S4.3}$ ist mmol/l. International sind noch andere Begriffe und Einheiten geläufig.

Säurekapazität $K_{S4.3}$ in mmol/l	$CaCO_3$ mg/l Alkalität-M 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)

Sterilisation

Abtöten oder Abscheiden aller Mikroorganismen.

Stickstofftrichlorid

Siehe "Chloramine", Seite 66

Trihalogenmethane (THM)

Trihalogenmethane sind vom Methan abgeleitete organische Verbindungen, bei denen genau drei Wasserstoffatome durch Halogene ersetzt sind. Trihalogenmethane zählen zu den Halogenalkanen (Seite 36).

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

Trichloramin

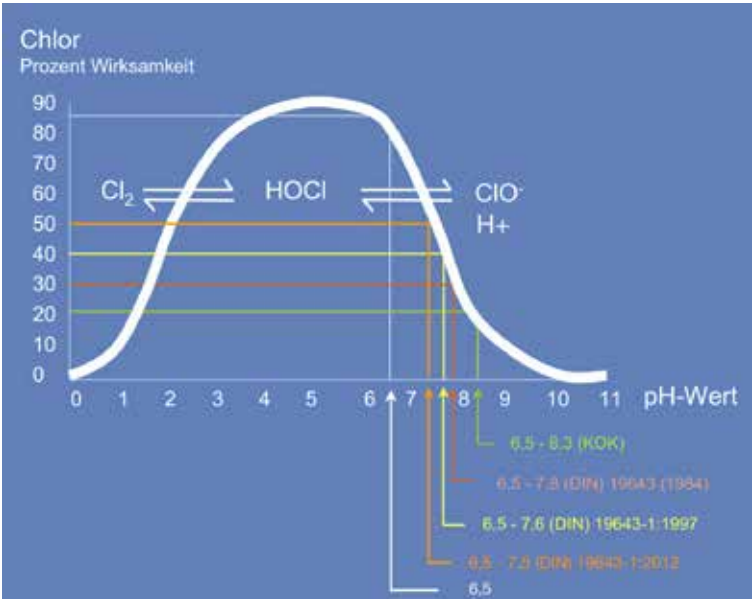
Siehe "Chloramine", Seite 66

Hypochlorige Säure (HClO)

Die entkeimend wirkende Verbindung ist die undissoziierte hypochlorige Säure (HOCl), das Hypochlorit-Anion (ClO^-) hat eine weitaus geringere Keimtötungsgeschwindigkeit.

HClO	$\rightleftharpoons$	H^+	+	ClO^-
Hypochlorige Säure		Wasserstoff-Ionen		Hypochlorit-Anion

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	Stoßchlorungdefekte 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 Auswahlder 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 Aufbereitungs mitteln in Verbindung mit geringer Säurekapazität	Füllwasser hat gering Säurekapazität und/oder Calciumhärte	Säurekapazität und Calciumhärte messen und ggf. korrigieren
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
		Flockungsmittel rückstände (Al)	Flockungsmittel dosierung 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
	schwarzbraun	Mangangehalt 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

Öffentlichkeitsarbeit

Im Interesse ständiger Entwicklung auf den Gebieten der Fort- und Weiterbildung, Normierungsarbeit, chemisch-technischer Innovationen und anderer Aspekte ist die Tintometer-Firmengruppe unter dem Produktnamen Lovibond® in folgenden Institutionen aktiv:

Bundesverband der Hygieneinspektoren e. V.

Hohenstaufenstr. 62
10781 Berlin, Deutschland

www.bundesverband-hygieneinspektoren.de

Verband zur Fortbildung im Bereich des Gesundheits- und Infektionsschutzes e.V.

Geschäftsstelle Wolfsburg
Grashof 1
38448 Wolfsburg, Deutschland

www.vfgi.de

Schweizerische Vereinigung von Firmen für Wasser- und Schwimmbadtechnik

Schlösslistraße 9 A

3001 Bern, Schweiz
www.aquasuisse.ch

Bundesverband Schwimmbad & Wellness e.V.

An Lyskirchen 14

50676 Köln, Deutschland
www.bsw-web.de

Lehr- und Versuchsgesellschaft für innovative Hygienetechnik GmbH

Bleichstraße 6-8
45468 Mülheim, Deutschland

www.lvht.de

Bundesverband Deutscher Schwimmmeister e. V.

Römerstr. 151
50389 Wesseling, Deutschland

www.bds-ev.de

TÜV Rheinland Akademie GmbH, TÜV Rheinland Group

Rhinstr. 46

12681 Berlin, Deutschland
www.tuev-schwimmbadbauer.de

Verein zur Förderung des IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung e. V.

Moritzstraße 26
45476 Mülheim an der Ruhr, Deutschland

www.iww-online.de

Österreichischer Verband der Schwimmbad- und Saunawirtschaft

Wiedner Hauptstraße 63,
1045 Wien, Österreich

www.oevs-verband.at

Asociación Española de Profesionales del Sector Piscinas

Calle Agustín de Betancourt, 21,
28003 Madrid, Spanien

www.asofap.es

Malaysian Swimming Pool Association

47 Jalan Perdana 10/4
Pusat Perdagangan Tasik Perdana
Pandan Perdana
55300 Kuala Lumpur, Malaysia

www.mspa.org.my

acqua e vita Wasserforum e.V.

Dörpfeldstraße 34
12489 Berlin, Deutschland

www.acqua-e-vita.de

Association Africaine de l'Eau Côte d'Ivoire
Abidjan - Cocody,

Riviera Palmeraie
05 BP 1910 Abidjan 05

www.afwa-hq.org

Lovibond® Katalog
"Pool & Spa Wasser Analytik"

Bestell-Nr.: 93 80 30

Tintometer GmbH
Lovibond® Water Testing
Schleefstraße 8-12
44287 Dortmund
Tel.: +49 (0)231/94510-0
Fax: +49 (0)231/94510-30
verkauf@lovibond.com
www.lovibond.com

Deutschland

The Tintometer Limited
Lovibond House
Sun Rise Way
Amesbury, SP4 7GR
Tel.: +44 (0)1980 664800
Fax: +44 (0)1980 625412
water.sales@lovibond.uk
www.lovibond.com

UK

Tintometer Inc.
(dba Orbeco-Hellige Inc.)
6456 Parkland Drive
Sarasota, FL 34243
Tel: 941.756.6410
Fax: 941.727.9654
sales@lovibond.us
www.lovibond.com

USA

Tintometer Spanien
Postfach: 24047
08080 Barcelona
Tel.: +34 661 606 770
sales@tintometer.es
www.lovibond.com

Spanien

Tintometer South East Asia
Unit B-3-12, BBT One Boulevard,
Lebuh Nilam 2, Bandar Bukit Tinggi,
Klang, 41200, Selangor D.E
Tel.: +60 (0)3 3325 2285/6
Fax: +60 (0)3 3325 2287
lovibond.asia@lovibond.com
www.lovibond.com

Malaysia

Tintometer China
Room 1001, China Life Tower
16 Chaoyangmenwai Avenue,
Beijing, 100020
Tel.: +86 10 85251111 App. 330
Fax: +86 10 85251001
chinaoffice@tintometer.com
www.lovibond.com

China

Tintometer Brasilien
Caixa Postal: 271
CEP: 13201-970
Jundiaí – SP -
Tel.: +55 (11) 3230-6410
sales@lovibond.us
www.lovibond.com.br

Brasilien

Tintometer Indien Pvt. Ltd.
Door No: 7-2-C-14, 2nd, 3rd & 4th Floor
Sanathnagar Industrial Estate,
Hyderabad: 500018, Telangana
Tel: +91 (0) 40 23883300
Toll Free: 1 800 599 3891/ 3892
indiaoffice@lovibond.in
www.lovibondwater.in

Indien

Technische Änderungen vorbehalten
Printed in Germany 03/21
No.: 938100

Lovibond® und Tintometer®
sind eingetragene Warenzeichen
der Tintometer Firmengruppe

Reg. No. 5394