

# Vergleichsmessungen zur Bestimmung von Gesamtchlor

Dipl.-Ing.(FH) Harald Fischer, Institut Dr. Lörcher, Ludwigsburg

Das Institut Dr. Lörcher aus Ludwigsburg führte für Schwimmbadbetreiber Vergleichsmessungen zur Bestimmung von Gesamtchlor durch. Jeder der 22 Teilnehmer erhielt eine Wasserprobe und musste mit eigenem Messgerät den Gehalt an Gesamtchlor gemäß den in der DIN 19643 genannten Nachweisverfahren bestimmen. Vorweg sollen das Desinfektionsmittel Chlor, die chemischen Zusammenhänge der Chlorung von Schwimmbadwasser sowie die Begriffe und Bestimmungsmethoden der einzelnen Chlorparameter näher betrachtet werden.

## Das Desinfektionsmittel Chlor

Gemäß DIN 19643 müssen zur Einhaltung von mikrobiologischen Parametern in Schwimmbädern Desinfektionsmittel und Verfahren auf Chlorbasis eingesetzt werden. Die DIN 19643 erlaubt nur die in Tabelle 1 aufgeführten Desinfektionsmittel, sofern in den weiteren Normen der Reihe DIN 19643 nicht weitere genannt sind. [1]

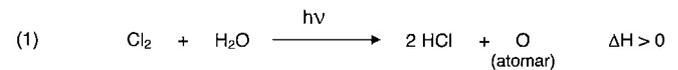
Tab.1. Desinfektionsmittel nach DIN 19643 [1]

Bezeichnung	Summenformel
Chlorgas nach DIN EN 15363, abgefüllt in Druckbehältern	Cl <sub>2</sub>
Chlorgas, hergestellt am Verwendungsort durch Elektrolyse von Natriumchlorid-Lösung oder Salzsäure	Cl <sub>2</sub>
Natriumhypochlorit-Lösung nach DIN EN 15077	NaOCl
Natriumhypochlorit-Lösung, hergestellt am Verwendungsort durch Elektrolyse von Natriumchlorid-Lösung bzw. von salzhaltigem Wasser	NaOCl
Calciumhypochlorit nach DIN EN 15796 als Granulat oder in Tablettenform mit einem Massenanteil an Calciumhypochlorit von mindestens 65 % und einem Massenanteil an Wasser von 5 % bis 10 %	Ca(OCl) <sub>2</sub>

Das in Schwimmbädern am häufigsten angewandte Verfahren ist das Chlorgasverfahren, bei dem das Chlorgas unter Druck verflüssigt in Flaschen und Fässern in den Handel kommt.

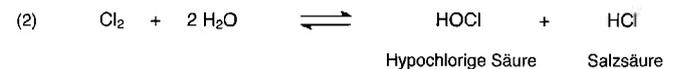
## Chemie der Chlorung

Die ethymologische Herkunft des Wortes Chlor entstammt dem griechischen Wort χλωρός (transkribiert: chloros), was hellgrün bedeutet. Entdeckt wurde das Chlor 1774 von Scheele<sup>1</sup>, als er Braunstein MnO<sub>2</sub> auf Salzsäure einwirken ließ. Eine Lösung von Chlor in Wasser heißt Chlorwasser, das in der Dunkelheit relativ beständig ist. Unter Lichteinwirkung erfolgt in einer photochemischen Reaktion eine Zersetzung:



Der Sauerstoff befindet sich in statu nascendi (aus lat.: im Zustand des Entstehens) atomar. Dies ist der Grund für die stark oxidierende Wirkung von feuchtem Chlor.

Im Chlorwasser findet eine weitere Reaktion, die Hydrolyse des Chlors, statt:



Hierbei handelt es sich um eine Gleichgewichtsreaktion, die vom pH-Wert und der Temperatur abhängt. Die dabei entstehende Salzsäure bewirkt, dass das Gleichgewicht stark auf der Eduktseite liegt. Da in einem Schwimmbadwasser der pH-Wert um den Neutralpunkt eingestellt wird, verschiebt sich das Gleichgewicht vollständig auf die Produktseite. Mit steigendem pH-Wert dissoziiert die hypochlorige Säure:



Abbildung 2 zeigt den prozentualen Anteil an hypochloriger Säure in Abhängigkeit vom pH-Wert bei einer Temperatur von 30 °C. So beträgt z. B. bei einem pH-Wert von 7 der Anteil an hypochloriger Säure 76% und der Anteil an Hypochlorit-Ionen 24%. Bei einem pH-Wert von 7,6 sind es nur noch 44% hypochlorige Säure und 56% Hypochlorit-Ionen. Gelöstes, elementares Chlor wird nur bei pH-Werten < 4, die im Schwimmbadwasser keine Relevanz haben, durch die Rückreaktion der Gleichgewichtsreaktion (2) gebildet. Die hypochlorige Säure besitzt eine sehr viel stärkere desinfizierende Wirkung als das Hypochlorit-Ion. Ein höherer pH-Wert führt zu einer verminderten Desinfektionswirkung, da die für die Desinfektion zuständige hypochlorige Säure (HOCl) mit stei-

<sup>1</sup> Karl Wilhelm Scheele, 1742 – 1786, schwedischer Chemiker

gendem pH-Wert vermehrt zum Hydroniumion ( $H_3O^+$ ) und dem Hypochlorit-Ion ( $OCl^-$ ) nach Reaktion (3) dissoziiert.



Abb. 1. Sauerstoff in Chlorwasser

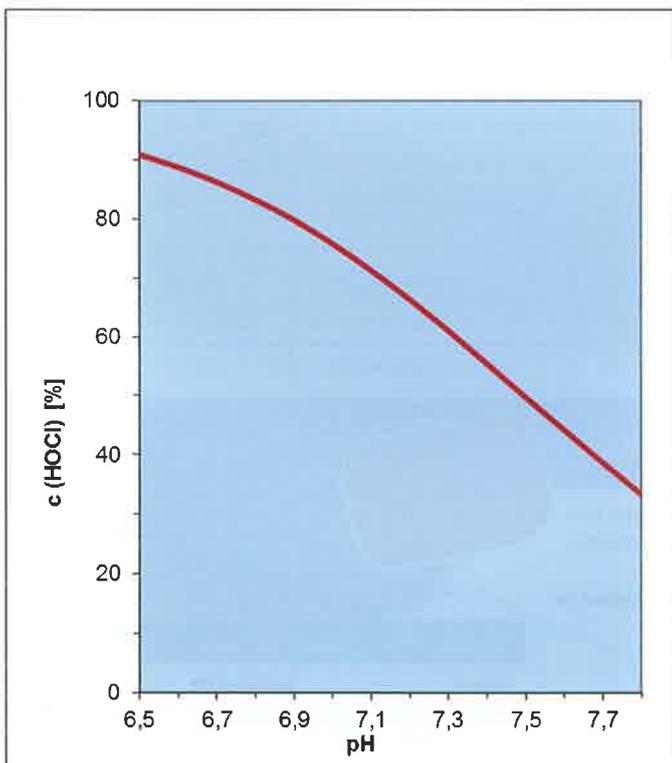


Abb. 2. Anteil an hypochloriger Säure in Abhängigkeit vom pH - Wert bei einer Temperatur von 30 °C [5]

Die Berechnung der desinfizierenden Chlormenge in Abhängigkeit vom pH-Wert des Schwimmbadwassers soll an einem Beispiel erläutert werden: [3]

In einem Badebecken von 1000 m<sup>3</sup> Inhalt wird 1 kg Chlorgas bei 30 °C gelöst. Der pH-Wert wird auf 7 eingestellt.

Die Chlorkonzentration im Becken beträgt

$$\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ m}^3} = 1 \text{ mg/l}$$

Nach Reaktionsgleichung (2) entfallen davon jeweils 0,5 mg/l auf HOCl und HCl.

Aus Abbildung 2 entnimmt man, dass bei einem pH - Wert von 7 und einer Temperatur von 30 °C der Anteil an HOCl 76 % beträgt. Die restlichen 24 % entfallen auf OCl<sup>-</sup>. Damit lässt sich die Konzentration an HOCl berechnen:

$$0,5 \text{ mg/l} \cdot 0,76 = 0,38 \text{ mg/l}$$

Dies ergibt einen prozentualen Anteil an HOCl von

$$\frac{0,38 \text{ mg/l}}{1 \text{ mg/l}} \cdot 100 \% = 38 \%$$

Das heißt: 38 % der eingesetzten Chlormenge wirken desinfizierend.

Anmerkung: Dieser berechnete Wert entspricht nur ungefähr dem wahren Wert, da einerseits das Hypochlorit-Ion eine gewisse Desinfektionswirkung besitzt und andererseits ein geringer Teil an Chlor in die Luft ausgast. [3]

### Freies Chlor

Der Begriff „freies Chlor“ gemäß DIN 19643 ist ein Summenparameter aus folgenden Stoffen:

- 1) gelöstes, elementares Chlor ( $Cl_2$ )
- 2) hypochlorige Säure (HOCl)
- 3) Hypochlorit ( $OCl^-$ )

Da bei pH-Werten, wie sie im Schwimmbadwasser auftreten, kein elementares Chlor in Wasser gelöst vorliegt, wird in Schwimmbädern als freies Chlor die Summe aus hypochloriger Säure (HOCl) und Hypochlorit ( $OCl^-$ ) bezeichnet. Die Einheit ist mg/l Cl. Der Bezug auf Cl liegt darin begründet, weil vom ursprünglich dem Schwimmbadwasser zugesetzten  $Cl_2$  gemäß Reaktion (2) nur ein Chloratom für die Desinfektionswirkung verfügbar ist.

Anhand des Messergebnisses für freies Chlor lässt sich die desinfizierend wirkende, undissoziierte hypochlorige Säure auch rechnerisch nach folgender Formel bestimmen: [9]

$$(4) \quad c_{HOCl} = \frac{c_{\text{freies Chlor}}}{1 + (0,0567 \frac{T}{^{\circ}C} + 1,476) \cdot 10^{pH-8}}$$

$c_{HOCl}$ : Konzentration der undissoziierten hypochlorigen Säure

T: Wassertemperatur in °C

pH: pH - Wert

**Beispiel:** Messungen einer Schwimmbadwasserprobe ergaben folgende Werte:

$$c_{\text{freies Chlor}} = 0,50 \text{ mg/l}, \quad T = 25^\circ\text{C}, \quad \text{pH} = 7,0$$

Durch Einsetzen dieser Messwerte in obige Formel lässt sich die Konzentration an hypochloriger Säure berechnen:

$$c_{\text{HOCl}} = \frac{0,50 \text{ mg/l}}{1 + (0,0567 \cdot 25 + 1,476) \cdot 10^{-1}}$$

$$= \frac{0,5 \text{ mg/l}}{1 + 2,8935 \cdot 0,1}$$

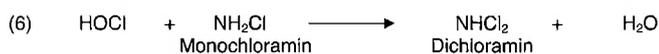
$$= 0,39 \text{ mg/l}$$

### Gebundenes Chlor

Der Begriff „gebundenes Chlor“ gemäß DIN 19643 ist ein Summenparameter aus folgenden Stoffen [4]:

- 1) Monochloramin
- 2) Dichloramin
- 3) Trichloramin
- 4) alle chlorierten Derivate von Harnstoff und anderen organischen Stickstoffverbindungen

Die hypochlorige Säure reagiert im Schwimmbadwasser mit stickstoffhaltigen Verbindungen wie Harnstoff und Ammonium zu Chlorstickstoffverbindungen, die auch als Desinfektionsnebenprodukte (DNP) bezeichnet werden. Am Beispiel des Ammonium-Ions lassen sich folgende Reaktionsgleichungen aufstellen: [4], [9]



<sup>2</sup> William Henry, 1774 - 1836, englischer Mediziner und Chemiker

Die gebildeten Chloramine haben einen höheren Dampfdruck als die hypochlorige Säure und machen sich daher in bereits geringen Konzentrationen als typischen Hallenbadgeruch bemerkbar. Fälschlicherweise wird oft von Chlorge-ruch gesprochen, obwohl wie bereits erwähnt im Schwimmbadwasser kein elementares Chlor vorhanden ist.

Aufgrund des Henry-Gesetzes<sup>2</sup> lassen sich Aussagen zum Ausgasen dieser Stoffe machen. Es besagt, dass der Partialdruck eines Gases über einer Flüssigkeit proportional zur Konzentration des Gases in der Flüssigkeit ist. Der Proportionalitätsfaktor wird auf verschiedene Weise definiert. Den Werten in Tabelle 2 liegt die Definition als dimensionslose Henry-Flüchtigkeitskonstante  $K_{H,cc}$  zugrunde:

$$K_{H,cc} = \frac{c_g}{c_l}$$

$c_g$ : Konzentration in der Gasphase

$c_l$ : Konzentration in der flüssigen Phase

Je höher  $K_{H,cc}$  ist, desto stärker gast der Stoff aus dem Wasser aus. Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass die Chloramine sich leichter verflüchtigen als die hypochlorige Säure. Trichloramin ist im Wasser kaum noch vorhanden. Der Stoffmengenanteil in der Luft ist 435 mal höher als im Wasser. Trichloramin weist eine höhere Geruchsbelästigung und Schleimhautreizung auf als die beiden anderen Chloramine.

Tab.2. Henry-Flüchtigkeitskonstanten von hypochloriger Säure und anorganischen Chloraminen [6]

Verbindung	$K_{H,cc}$	pH
HOCl	0,069	6,5
NH <sub>2</sub> Cl Monochloramin	0,45	9
NHCl <sub>2</sub> Dichloramin	1,52	6,4
NCl <sub>3</sub> Trichloramin	435	1,8

Tab. 3. Anforderungen für freies und gebundenes Chlor gemäß DIN 19643 [1]

Parameter	Reinwasser		Beckenwasser	
	unterer Wert [mg/l]	oberer Wert [mg/l]	unterer Wert [mg/l]	oberer Wert [mg/l]
freies Chlor <sup>1,2</sup>				
a) Allgemeines	0,3	nach Bedarf	0,3 <sup>3</sup>	0,6 <sup>3</sup>
b) Warmsprudelbecken	0,7		0,7 <sup>3</sup>	1,0 <sup>3</sup>
gebundenes Chlor <sup>2,4,5,6</sup>	-	0,2	-	0,2

Anmerkungen:

- 1 Sofern in den weiteren Normen der Reihe DIN 19643 keine strengeren Anforderungen genannt sind.
- 2 Bei bromid- oder iodidhaltigen Wässern: Freies bzw. gebundenes Halogen als Chlor.
- 3 Diese Konzentrationen gelten nur, sofern nicht in den weiteren Normen der Reihe DIN 19643 für die Verfahrenskombinationen niedrigere Konzentrationen angegeben sind. Unter bestimmten Betriebsbedingungen können höhere Konzentrationen erforderlich sein, um die mikrobiologischen Anforderungen einzuhalten. In diesen Fällen ist den Ursachen nachzugehen und für Abhilfe zu sorgen. Die erhöhten Konzentrationen an freiem Chlor im Beckenwasser dürfen jedoch 1,2 mg/l nicht überschreiten.
- 4 Gilt nicht für Kaltwassertauchbecken  $\leq 2 \text{ m}^3$ , die kontinuierlich mit Füllwasser durchströmt werden.
- 5 Gelegentliche Überschreitungen des oberen Wertes um bis zu 20 % sind in der Bewertung tolerierbar.
- 6 Bei Kaltwasserbecken, bei denen sichergestellt wird, dass die Wassertemperatur 15 °C nicht überschreitet, braucht dieser Wert nicht beachtet werden.

### Nachweisverfahren für freies und gebundenes Chlor

Die DIN 19643 nennt für die Bestimmung von freiem und gebundenem Chlor folgende Nachweisverfahren: [1]

- 1) DIN EN ISO 7393-1
- 2) DIN EN ISO 7393-2

Bei der DIN EN ISO 7393-1 handelt es sich um ein titrimetrisches Verfahren. Dabei wird zur Probelösung solange eine geeignete Reagenzlösung mit einem bestimmten Gehalt (Titerlösung) zugegeben bis der Reaktionsendpunkt (Äquivalenzpunkt) erreicht ist. Aus dem Verbrauch der Titerlösung kann die gesuchte Stoffmenge berechnet werden. In Schwimmbädern wird diese Analyseverfahren so gut wie nicht eingesetzt. Das auf den optisch/analytischen Verfahren Kolorimetrie und Photometrie basierende Nachweisverfahren ist die DIN EN ISO 7393-2, die in Schwimmbädern zur Anwendung kommt. Sowohl der Kolorimetrie als auch der Photometrie liegt das Herstellen einer farbigen Lösung und einer anschließenden Lichtabsorption durch den Farbstoff zugrunde. Ein Stoff erscheint farbig, wenn er einen Teil des sichtbaren Lichts (380 – 780 nm) absorbiert. Das Restlicht, die Komplementärfarbe, ergibt die Farbe des Stoffes.

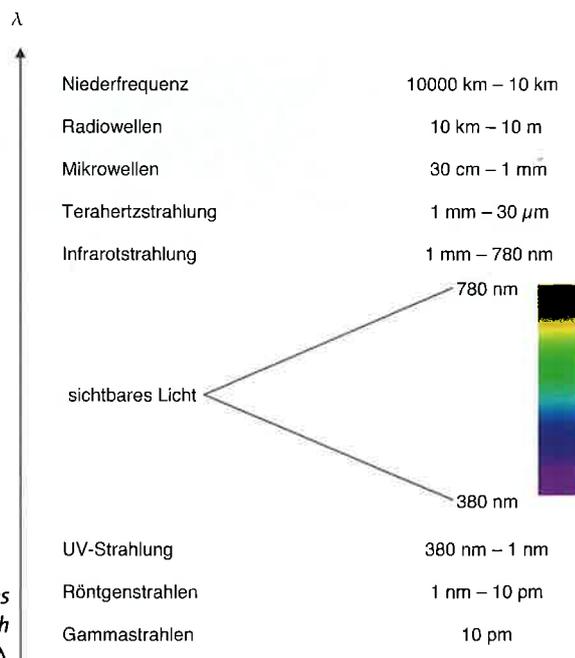


Abb.3. Elektromagnetisches Spektrum, geordnet nach der Wellenlänge  $\lambda$

Die Lichtabsorption durch ein farbiges Medium wird mathematisch mit einer logarithmischen Abklingfunktion beschrieben:

$$(8) \quad I = I_0 \cdot e^{-\epsilon \cdot c \cdot d}$$

- $I_0$ : Anfangsintensität des Lichts [ $W \cdot m^{-2}$ ]  
 $I$ : durchgelassene Intensität des Lichts [ $W \cdot m^{-2}$ ]  
 $\epsilon$ : spektraler Absorptionskoeffizient [ $m^2 \cdot mol^{-1}$ ]  
 $c$ : Konzentration der gesuchten Substanz [ $mol \cdot l^{-1}$ ]  
 $d$ : Schichtdicke der Farbstofflösung [cm]

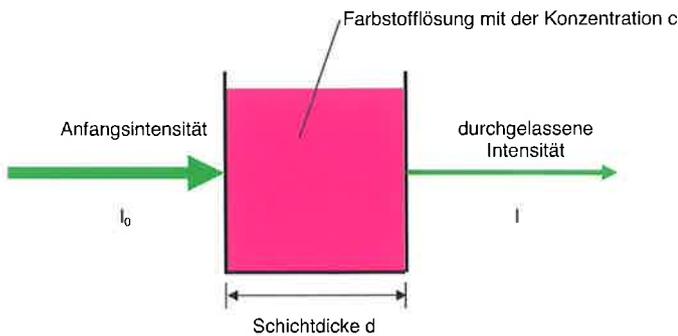


Abb. 4. Strahlengang und Abnahme der Lichtintensität durch eine Farbstofflösung

Die Absorption ist definiert durch:

$$(9) \quad A = \lg \frac{I_0}{I}$$

Einsetzen von (8) in (9) und die Berücksichtigung, dass die Absorption und der spektrale Absorptionskoeffizient nicht über den natürlichen, sondern über den dekadischen Logarithmus definiert sind, führt zum Lambert-Beerschen Gesetz,

$$(10) \quad A = \epsilon_{10} \cdot c \cdot d$$

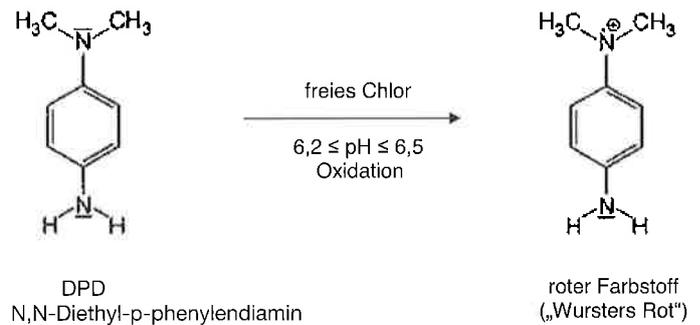
wobei  $\epsilon_{10}$  der dekadische, spektrale Absorptionskoeffizient ist. Das Lambert-Beersche Gesetz besagt, dass die Lichtabsorption durch eine Farbstofflösung proportional zur Konzentration und Schichtdicke der Farbstofflösung ist.

Kolorimetrie bedeutet wörtlich übersetzt Farbmessung (aus lat. color = Farbe und gr. μέτρον metron = Maß). Hierbei wird eine Farbstofflösung mit einer Standardlösung derselben Substanz optisch ohne Messgeräte miteinander verglichen. Der Abgleich erfolgt visuell mit Tageslicht oder besser mit künstlichem, weißem Licht. Anstelle von Standardlösungen werden im Schwimmbadbereich Farbskalen, die einer bestimmten Konzentration zuzuordnen sind, verwendet. Es werden einfache Küvettentests und Drehscheiben-Komparatoren angeboten.

Photometrie bedeutet wörtlich übersetzt Lichtmessung (aus gr. φῶς phos = Licht und gr. μέτρον metron = Maß). Im Gegensatz zur Kolorimetrie wird bei der Photometrie monochromatisches Licht zur Messung der Lichtabsorption verwendet. Beim Photometer wird Licht einer bestimmten Wellenlänge durch eine Küvette mit der Farbstofflösung geleitet. Eine Photozelle misst die Lichtintensität. Das Anzeigeinstrument zeigt entweder die Absorption oder direkt die Konzentration der zu bestimmenden Substanz an.

Das Herstellen der farbigen Probelösung zur Ermittlung des Chlorgehalts in Schwimmbädern erfolgt gemäß DIN EN ISO

7393-2 mit DPD (N,N-Diethyl-p-phenylendiamin), das mit dem freien Chlor (nicht dagegen mit gebundenem Chlor) bei einem pH-Wert von 6,2 – 6,5 durch Abgabe eines Elektrons (Oxidation) zu einem durch Mesomerie stabilen, roten Farbstoff („Wursters Rot“) reagiert. Es wird nach dieser Norm DPD-Sulfat verwendet.



Eine rote Lösung absorbiert Licht im Wellenlängenbereich von 500 nm (grün). Bei der photometrischen Chlorbestimmung nach der DPD-Methode gemäß DIN EN ISO 7393-2 wird Licht mit einer Wellenlänge von 510 nm verwendet. Dort liegt ein Absorptionsmaximum (siehe Abbildung 5). Der pH-Bereich von 6,2 – 6,5 muss durch Zugabe eines Puffers exakt eingehalten werden, da es sonst zu einer Messwertverfälschung kommt. Bei einem pH-Wert unterhalb 6,2 reagiert das gebundene Chlor mit DPD und führt zu einem Mehrbefund. Auch ein pH-Wert oberhalb 6,5 führt zu einem Mehrbefund, da der Luftsauerstoff mit DPD reagiert. Die Farbintensität ist ein Maß für den Gehalt an freiem Chlor.

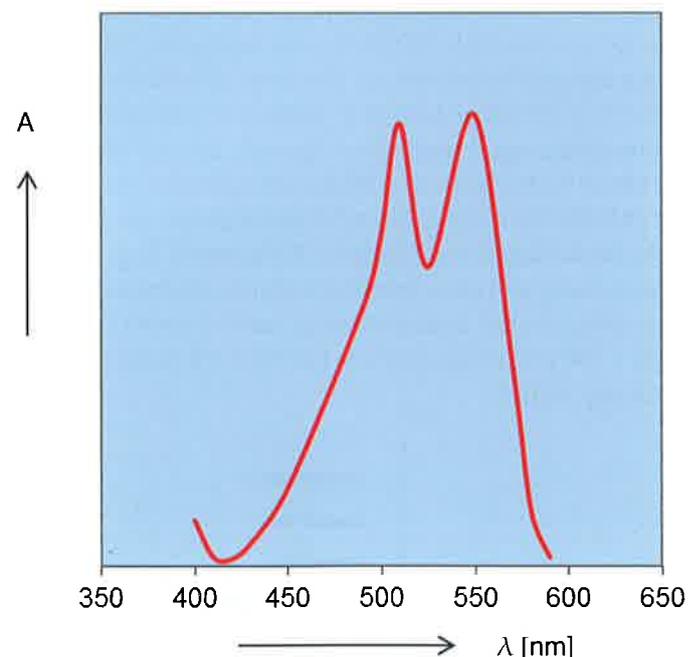


Abb. 5. Absorptionsspektrum von freiem Chlor mit DPD [12]

Die Reaktion von freiem Chlor mit DPD ist nicht stoffspezifisch. Auch Brom, Iod, Bromamine, Ozon, Permanganat, Iodat, Chromat, Chlordioxid, Manganoxid und Nitrit ergeben mit DPD den roten Farbstoff „Wursters Rot“.

Das gebundene Chlor reagiert im pH-Bereich zwischen 6,2 und 6,5 erst nach Zugabe von Kaliumiodid. Dadurch entsteht Iod, das mit DPD ebenfalls zur Bildung des roten Farbstoffs „Wursters Rot“ führt. Allerdings kann das gebundene Chlor nicht direkt gemessen, sondern nur rechnerisch ermittelt wer-

den. Zuerst wird der Gehalt an freiem Chlor bestimmt. Durch Zugabe von Kaliumiodid erhält man den Gesamtchlorgehalt. Es gilt:

$$\text{freies Chlor} + \text{gebundenes Chlor} = \text{Gesamtchlor}$$

Der Gehalt an gebundenem Chlor lässt sich dann wie folgt berechnen:

$$\text{gebundenes Chlor} = \text{Gesamtchlor} - \text{freies Chlor}$$

Die Tintometer GmbH bietet Reagenzien an, die eine differenzierte Bestimmung von Mono- und Dichloramin erlauben [9]. Für Trichloramin gibt es ein Analyseverfahren, das auf einer Extraktion und anschließender kolorimetrischer Bestimmung basiert [11].

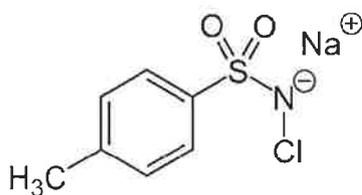
### Aufgaben

- In einem Schwimmbadwasser sind die Verhältnisse an hypochloriger Säure und deren dissoziierter Form bei einem bestimmten pH - Wert wie folgt:  
90 % hypochlorige Säure und 10 % dissoziierte Form  
Berechne die Konzentration an hypochloriger Säure in mg/l, die beim Einleiten von 960 g Chlorgas in ein Becken mit 800 m<sup>3</sup> Wasservolumen gebildet wird!  
Wie groß ist der prozentuale Anteil an Chlor, der desinfizierend wirkt? (Die geringe desinfizierende Wirkung der dissoziierten Form der hypochlorigen Säure und das Ausgasen von Chlor in die Luft sollen unberücksichtigt bleiben.)
- In einem Schwimmbadwasser, das eine Temperatur von 27 °C und einen pH – Wert von 6,5 aufweist, wird ein Gehalt an freiem Chlor von 0,42 mg/l gemessen. Berechne die Konzentration an hypochloriger Säure mithilfe der Formel (4)!
- Welche Stoffe sind dem freien, welche dem gebundenen und welche dem unwirksamen Chlor zuzuordnen?  
HOCl, OCl<sup>-</sup>, HCl, Cl<sup>-</sup>, ClO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>2</sub>Cl, NHCl<sub>2</sub>, NCl<sub>3</sub>, Dichlorharnstoff, Tetrachlorharnstoff, Chloroform

Die Lösungen der Aufgaben werden im nächsten Heft veröffentlicht!

### Durchführung der Vergleichsmessungen für Gesamtchlor

Bei der Probe, die jeder Teilnehmer erhielt, handelte es sich um eine wässrige Lösung von Chloramin-T-trihydrat, die am Tag der Ausgabe an die Schwimmbadbetreiber frisch hergestellt wurde. Chloramin-T-trihydrat ist ein Standard für Gesamtchlor und wurde von der Fa. MERCK in Darmstadt bezogen. Diese Lösung ist gekühlt einen Tag haltbar. Alle 22 Teilnehmer führten die Messungen noch am selben Tag durch.



Chloramin-T

### Auswertung der Vergleichsmessungen

Alle 22 Teilnehmer gaben Daten ab und führten die Analysen nach DIN EN ISO 7393-2 durch. 21 Teilnehmer gaben die Photometrie als Messverfahren an. Teilnehmer Nr.12 führte die Messung mit einem Kolorimeter durch. Aufgrund der Messgenauigkeit des verwendeten Kolorimeters konnte er nur eine Nachkommastelle angeben. Gefordert waren zwei Nachkommastellen. Zur statistischen Auswertung wurde die 2. Nachkommastelle Null gesetzt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Messwerte aller Teilnehmer wurden ermittelt und die 2-fache Standardabweichung (+/- 2 σ) oberhalb und unterhalb des Mittelwerts aller Teilnehmer als zulässige Toleranzgrenzen festgesetzt. Es ergaben sich für die obere Toleranzgrenze 0,71 mg/l und für die untere Toleranzgrenze 0,43 mg/l. Für eine erfolgreiche Teilnahme musste der Messwert der Probe innerhalb dieser Toleranzgrenzen liegen. Die Messwerte der Teilnehmer sind in Tabelle 4 und Abbildung 6 dargestellt. Der Messwert von Teilnehmer 17 lag unter der unteren Toleranzgrenze. Alle übrigen Teilnehmer erfüllten die Vorgaben.

Tab. 4. Messwerte aller Teilnehmer		
Mittelwert aller Teilnehmer:	0,57 mg/l	
Standardabweichung:	0,07 mg/l	
obere Toleranzgrenze:	0,71 mg/l	
untere Toleranzgrenze:	0,43 mg/l	
Teilnehmer-Nr.	Messwert Gesamtchlor [mg/l]	Bemerkung
1	0,67	erfolgreich
2	0,59	erfolgreich
3	0,57	erfolgreich
4	0,65	erfolgreich
5	0,55	erfolgreich
6	0,62	erfolgreich
7	0,53	erfolgreich
8	0,62	erfolgreich
9	0,65	erfolgreich
10	0,56	erfolgreich
11	0,46	erfolgreich
12	0,50	erfolgreich
13	0,56	erfolgreich
14	0,56	erfolgreich
15	0,57	erfolgreich
16	0,58	erfolgreich
17	0,35	nicht erfolgreich
18	0,66	erfolgreich
19	0,57	erfolgreich
20	0,56	erfolgreich
21	0,66	erfolgreich
22	0,51	erfolgreich

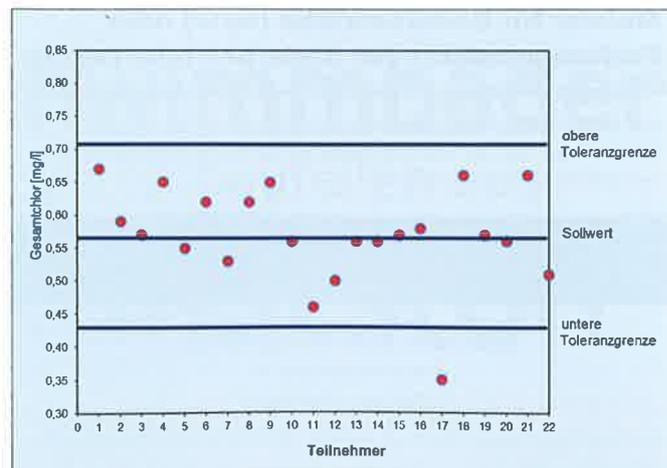


Abb. 6: Graphische Auswertung der Messwerte

## Fazit

Mit der Teilnahme an Vergleichsmessungen kann ein Schwimmbadbetreiber überprüfen, ob seine eigenen Analyseergebnisse mit denen anderer vergleichbar sind. Außerdem wird das analytische Beurteilungsvermögen von selbst durchgeführten Messungen verbessert. Fehlerquellen lassen sich schneller erkennen. Individuelle Handhabungsfehler können erkannt werden. Solch eine Vergleichsmessung stellt einen Baustein der externen Qualitätssicherungsmaßnahme dar und dadurch kann geprüft werden, ob das Analyseverfahren in Ordnung ist.

## Literatur

- [1] DIN 19643, Teil 1 - 3: Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser, Beuth-Verlag, Berlin (2012).
- [2] A. Jenette, R. Franik: Chemie Band 1, Bayerischer Schulbuch-Verlag, München (1978).
- [3] H. Ruß: Chemie für den Badebetrieb, K&L Verlag T. Lindemann, Speyer (2002).
- [4] W. Roeske: Schwimm- und Badebeckenwasser, Roeske Verlag, Günzburg (2010).
- [5] G.C. White: Handbook of chlorination and alternative disinfectants, John Wiley & sons, Inc., New York, 1999, 218
- [6] G. Holzwarth et al.: Henry's law constants for flashoff. Water Res 18, 1421 – 1427 (1984)
- [7] H. Fischer: Vergleichsmessungen von Chlor im Beckenwasser mittels photometrischer DPD – Methode. AB Archiv des Badewesens, Heft 06/2012
- [8] H. Fischer: Chlorgasunfall im Freibad Asperg. Das Schwimmbad und sein Personal, Heft 11/2016
- [9] Lovibond – Broschüre: Pool & Spa Wasseraufbereitung und Analytik, Tintometer GmbH, Dortmund, Ausgabe 2013/2014
- [10] G.Schwedt: Taschenatlas der Analytik. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York (1992)
- [11] F.Soltermann et al.: Comparison of a novel extraction-based colorimetric (ABTS) method with membrane introduction mass spectrometry (MIMS): Trichloramine dynamics in pool water. Water Res 58, 258 – 268 (2014).
- [12] Umwelt und Degussa, Produkte, Verfahren, Methoden, Degussa-DPD-Methode: Broschüre der Degussa AG, Frankfurt am Main.