

## Chlormessung Schwimmbeckenwasser

Immer wieder stehen Anwender und Kontrolleure aus Laboratorien und Gesundheitsämtern vor dem Problem, dass die Ergebnisse der Eigenüberwachung der Chlormessungen mit ihren Werten nicht zusammenpassen. Es ist in der Regel kaum zu sagen welcher Wert richtig und ob ein Grenzwert über- oder unterschritten ist. Eine wichtige Angabe zum Ergebnis ist daher dessen Unsicherheit, ohne diese Angabe ist ein Messwert praktisch nutzlos ist. In diesem Artikel geht es daher um die Unsicherheit von Chlor-Messergebnissen.

Dipl.-Ing. Ralf Degner, Luitpoldstr. 11a, D-86415 Mering

### Begriffe

- Reproduzierbarkeit (Standardabweichung): Eine Größe für die Streuung mehrerer Messwerte um Ihren Mittelwert. Eine Standardabweichung von  $s = 0,05$  mg/l bedeutet, dass 2 von 3 Messwerten nicht mehr als 0,05 mg/l vom Mittelwert der Ergebnisse abweichen.
  - Richtigkeit (bias): Ein bias = 0,05 bedeutet, dass die Messergebnisse  $\Delta\beta = 0,05$  mg/l vom wahren Wert (bzw. Referenzwert) abweichen.
  - Erweiterte Unsicherheit: Ein Intervall um den Messwert. Dieses Intervall umfasst alle Einflüsse, die sich vernünftigerweise dem Messwert zuordnen lassen und einen Einfluss auf seine Streuung ausüben.
  - Unsicherheit (Min.): Ist kein offizieller Begriff. In diesem Text dient er lediglich dazu, die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen verwendeten Qualitätsangaben zu erleichtern. Da diese Angaben in der Regel nicht alle Unsicherheitskomponenten enthalten und/oder nur für einen eingeschränkten Einsatzbereich (Standardlösungen, Laborbedingungen), dürften die korrekten Werte der Unsicherheit größer sein. Der Unsicherheit (Min) gibt somit lediglich einen Schätzwert für einen minimalen Wert für die erweiterte Unsicherheit wieder.
  - Validierung: Nachweis, dass ein Messverfahren für eine vorgesehene Anwendung geeignet ist. In diesem Fall der Nachweis, dass ein Messverfahren für die Chlormessung im Beckenwasser geeignet ist.
  - Chemische Reaktion: Bei der Messung der „Chlorkonzentration“ im Schwimmbeckenwasser werden eine Vielzahl von Chlorverbindungen erfasst. Chlor ist nur im vernachlässigbaren Umfang dabei. Beim freien Chlor handelt es sich im Wesentlichen um die hypochlorige Säure und das Hypochlorit, hinzu kann noch ein Anteil des gebundenen Chlors kommen. Beim gebundenen Chlor sind es hauptsächlich die Chloramine und ein Anteil diverse Chlorstickstoffverbindungen. Beim Gesamtchlor handelt es sich um die Summe aus freiem und gebundenem Chlor.
- Bei der Chlormessung handelt es sich somit um die Messung der Summenparameter „freies Chlor“ und „Gesamtchlor“. Der Summenparameter „gebundenes Chlor“ ergibt sich aus der Differenz der beiden Konzentrationen.
- Um bei einem Summenparameter vergleichbare Werte zu erhalten, sind vergleichbare, genau definierte Messbedingungen eine wesentliche Voraussetzung, z. B. pH, Ionenstärke und Temperatur der Messlösung. Jeder dieser Einflüsse kann die Verhältnisse der Substanzen ändern und so das Ergebnis beeinflussen.
- Im Fall der Chlormessung sind die Messbedingungen in der DIN EN ISO 7393 [SBAF] definiert, d. h., die gemäß dieser Norm gemessenen Werte sind grundsätzlich die gültige Referenz. Je weiter die Bedingungen von den Vorgaben der Norm abweichen, desto weniger vergleichbar sind die Messergebnisse.
- Messgerät: Es gibt eine Anzahl an technischen Eigenschaften, die einen Einfluss auf das Messergebnis haben, u. a. die Wellenlänge oder die Art der Küvetten. Ein Teil dieser Geräteeigenschaften können einprogrammierte Korrekturfaktoren ausgleichen. Eine zu geringe Schichtdicke oder

### Ursachen von Messabweichungen

Es gibt viele Gründe, warum die Messergebnisse voneinander abweichen können.

eine minderwertige Optik sind nicht ausgleichbar. Diese Einflüsse beeinflussen, direkt die Reproduzierbarkeit der Werte.

Ein im Januar 2008 durchgeführtes Expertengespräch zum Thema „Messung des gebundenen Chlors“ [SBAG] brachte zutage, dass die Hersteller der Messeinrichtungen, sowohl bei den fotometrischen Daten als auch bei der Zusammensetzung der Messlösung von den Angaben der Norm abweichen. Eine Validierung ihrer modifizierten Verfahren erfolgte nach Angabe der Hersteller jedoch nicht.

- Räumliche und zeitliche Einflüsse sind weitere Einflußgrößen. Unterschiedliche oder falsche Probenahmestellen und Probenahmezeitpunkte können deutliche Abweichungen der Messergebnisse haben.
- Durchführung: Nicht selten wird der Messvorgang aus Unwissenheit oder auch aus Nachlässigkeit fehlerhaft durchgeführt, was zu den entsprechenden Messabweichungen führt.

Die Einflüsse lassen sich in drei Gruppen aufteilen:

- Unvermeidbare Einflüsse: Auch bei exaktem Einhalten der Normanforderungen verbleiben unvermeidliche Resteinflüsse. Die Bauteile des Fotometers, die Daten der Umgebungsbedingungen oder die Zeitangabe für die Reaktionszeit, überall sind die Spezifikationen begrenzt und beim Stand der Technik nicht zu ändern. Es bleibt ein Resteinfluss. Bei einem auf der Digitalanzeige des Fotometers angezeigten Wert von 0,27 mg/l besteht eine Unsicherheit von 0,01 mg/l. Der Wert kann ebenso 0,26 mg/l, aber auch 0,28 mg/l sein. Das Gerät kann den Wert einfach nicht besser anzeigen. Selbst wenn das Gerät eine Stelle höher auflösen würde, wäre die letzte Stelle unsicher. Es gibt immer eine Grenze, an der es zunächst nicht weiter geht.
- Zulässige Einflüsse: Für die Praxis ist es nicht immer erforderlich, die Einflüsse auf den kleinstmöglichen Wert zu mindern. Der Aufwand und somit die Kosten nehmen bei dieser Verringerung häufig erheblich zu. Aus ökonomischer Sicht ist es sinnvoll, die Einflüsse bei der Messung auf ein akzeptables Maß zu reduzieren. Der Messwert muss schließlich nur seinen Zweck erfüllen.

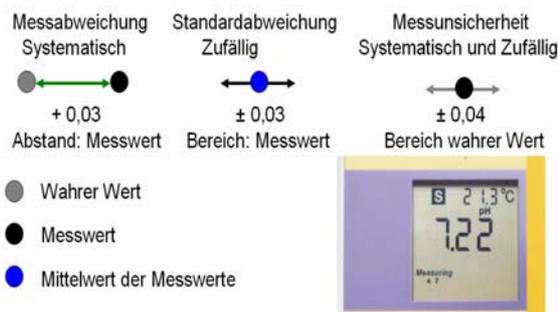
Voraussetzung ist eine Prüfanweisung, die zu Ergebnissen innerhalb einer vorgegebenen Unsicherheit führt. In dieser Anweisung sollen alle für die Messung relevanten Handlungen beschrieben und die Rahmen für die zulässigen Abweichungen gesetzt sein.

- Unzulässige Einflüsse: Die Ergebnisse können nur die zulässigen Abweichungen einhalten, sofern alle Einflüsse korrekt in der Prüfanweisung, berücksichtigt und die Forderungen der Anweisung vollständig umgesetzt sind.

Das Verwenden von Reagenzien, deren Haltbarkeitsdatum überschritten ist oder die Nutzung ungeeigneter Küvetten sind unzulässige Handlungen mit einem unbekanntem und nicht mehr akzeptablen Einfluss auf die Messergebnisse.

Diese Einflüsse sollten durch Schulungen und geeignete Kontrollmaßnahmen ausgeschaltet werden. Hierzu gehört auch das Dokumentieren der Ergebnisse, und die Kontrolle der Ergebnisse sowie der Umsetzung der Prüfanweisung.

## Messunsicherheit

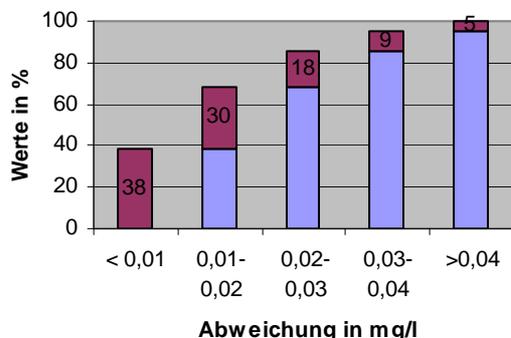


Die Messunsicherheit ist eine Angabe, welche die Wirkung aller relevanten Einflüsse auf das Messergebnis zusammenfaßt. Sie ist das Qualitätsmerkmal des Messwertes. Ein Messwert ohne Angabe, dessen Unsicherheit ist praktisch wertlos, der wahre Wert kann beliebig vom Ergebnis abweichen.

Gemäß DIN V ENV 13005 [SBAG], soll die Unsicherheit eine Aussage über die mögliche Abweichung des wahren Wertes vom Messwert ermöglichen. Die Unsicherheit ist ein Intervall um den Messwert. Dieses Intervall umfaßt alle Einflüsse, die sich vernünftigerweise dem Messwert zuordnen lassen und einen Einfluss auf seine Streuung ausüben.

Die Norm DINV ENV 13005 unterscheidet zwischen drei Unsicherheiten:

- Standardunsicherheit ( $u$ ): Der Wert ist z. B. ein gemessener oder geschätzter Wert für einen Einfluss (z. B. Temperatur) auf das Messergebnis. Dieser Wert dient zur Berechnung der kombinierten Unsicherheit.
- Kombinierte Unsicherheit ( $u_k$ ). In dieser Unsicherheit sind die Standardunsicherheiten der verschiedenen Einflüsse zusammengefasst. Der Wert dient zur Berechnung der erweiterten Unsicherheit.
- Erweiterte Unsicherheit ( $U$ ). Im folgendem Text wird die Kurzform „Unsicherheit“ verwendet. Dies ist die Unsicherheit, die der Anwender kennen sollte. Es ist die aus allen relevanten Einflüssen berechnete kombinierte Unsicherheit, multipliziert mit einem Erweiterungsfaktor ( $k$ ). Der übliche Faktor  $k = 2$  steht für eine Wahrscheinlichkeit von 95%. Eine erweiterte Unsicherheit  $U \pm 0,04 \text{ mg/l}$  ( $k=2$ ) bedeutet, dass der wahre Wert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% innerhalb eines Bereiches von  $\Delta\beta \pm 0,04 \text{ mg/l}$  um den gemessenen Wert liegt.



Bei einer Normalverteilung liegen jedoch 67% der Messwerte innerhalb des halben Intervalls. Bei einer Unsicherheit  $U \pm 0,04 \text{ mg/l}$  weichen die Hälfte aller Werte nicht mehr als  $\Delta\beta = 0,02 \text{ mg/l}$  ab. Im Bereich zwischen 75% und 100% des Unsicherheits liegen nur noch 9 % der Messwerte.

Erfahrungsgemäß wird der Streubereich nur halb so eingeschätzt, wie sie wirklich ist. Dies liegt u. a. daran dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens mit zunehmender Abweichung deutlich abnimmt. Zur Ermittlung von Standardunsicherheiten lässt die DINV ENV 13005 auch qualifizierte Schätzungen zu. Bei der

Berechnung der Erweiterten Unsicherheit ( $k=2$ ) wird dieser Schätzwert entsprechend mit dem Faktor 2 multipliziert.

## Vorgaben für die Unsicherheit

Welche max. Unsicherheit für ein Messergebnis akzeptabel ist, sollte in der Verordnung vorgegeben, bzw. in Normen empfohlen sein. Die Verordnung existiert nicht und in den Normen stehen derartige Angaben nur im geringen Umfang zur Verfügung. In der Regel lassen sich aus den Angaben nur Orientierungswerte für eine Unsicherheit (Min.) ableiten.

### DIN 38404-4 (ersetzt durch DIN EN ISO 7393)

Entsprechend der DIN 38404-4 sollten für den Messbereich  $\beta = 0,03 \text{ mg/l}$  bis  $\beta = 0,5 \text{ mg/l}$  Küvetten mit planparallelen Fenstern (Rechteckküvetten) und einer Schichtdicke von  $d = 4 \text{ cm}$  oder  $d = 5 \text{ cm}$  verwendet werden.

Die aktuell verwendeten Küvetten haben in der Regel weder planparallele Fenster noch eine Schichtdicke von mindestens  $d = 4 \text{ cm}$ . Je geringer die Schichtdicke ist, desto schlechter ist die Reproduzierbarkeit und umso größer ist die Unsicherheit der Ergebnisse.

### DIN EN ISO 7393-2

In der DIN EN ISO 7393-2 sind die Hinweise zu den Küvetten entfallen. Dies ist nahelegend da, in der Praxis, heute fast nur noch Rundküvetten (schlechtere optische Eigenschaften) mit einer Schichtdicke deutlich unter  $4 \text{ cm}$  gebräuchlich sind. Bei runden Küvetten ist die Schichtdicke zusätzlich durch die Form erheblich verringert und kleine Ungleichmässigkeiten wirken sich deutlicher aus. Die Orientierungsmarke hat nur eine geringe Wirkung.

Weiterhin empfiehlt die Norm, die kommerziell erhältlichen Reagenzien zu verwenden, ohne einen Hinweis zu geben, dass die Reagenzien wenigsten annähernd der Norm entsprechen sollten. Die Angaben der Norm lassen darauf schließen, dass die Norm nicht validiert wurde, also der Nachweis deren Eignung für die Messung im Beckenwasser fehlt. Als Qualitätsangaben stehen lediglich Werte für die Reproduzierbarkeit amerikanischer und britischer Institutionen zur Verfügung, u. a. eines Ringversuches mit per Post versandter Natriumhypochloritlösungen. Die Bewertungen führten verschiedene US-Bundes- und Staatslabors durch [SBAF].

$\beta$	n	$\bar{\beta}$	$\sigma$
0,5 mg/l	7	0,48 mg/l	0,13 mg/l
0,80 mg/l	14	0,79 mg/l	0,29 mg/l
1,10 mg/l	14	1,15 mg/l	0,39 mg/l
1,29 mg/l	7	1,41 mg/l	0,38 mg/l

$\beta$ : Tatsächlicher Wert  
 n: Anzahl der Laboratorien  
 $\bar{\beta}$ : Mittelwert                       $\sigma$ : Standardabweichung

Für die Konzentration von 0,5 mg/l lässt sich ein eine Unsicherheit von  $U \pm 0,32$  mg/l für die Werte des freien Chlors schätzen.

### Empfehlungen des Umweltbundesamtes

Die 2006 erschienen Empfehlungen des Umweltbundesamtes [§BAI] enthalten in Bezug auf die Messung des gebundenen Chlors die Anmerkung „Gelegentliche Überschreitungen des Maximalwertes um bis zu 20% (einschließlich der Messunsicherheit des Analyseverfahrens) sind bei der Bewertung tolerierbar“. Diese Angabe sagt aus, dass die Unsicherheit des Verfahrens für das gebundene Chlor am Grenzwert max.  $U \pm 0,04$  mg/l am Grenzwert von  $\beta = 0,2$  mg/l betragen soll. Innerhalb dieses Bereiches ist es nicht sicher möglich, auszusagen, ob ein Grenzwert überschritten ist oder nicht. Eine Unsicherheit des Verfahrens von  $U \pm 0,04$  mg/l ist allerdings mit handelsüblichen, aber auch mit hochwertigen Photometern praktisch kaum zu realisieren.

### DIN 19643-1

Im Entwurf der DIN 19643-1:2005 [§BAL] wurden Angaben der Empfehlung des Umweltbundesamtes direkt übernommen., u. a. die Unsicherheit der Ergebnisse zum gebundenen Chlor Nach einer Erläuterung bei der Anhörung am 23.3.2012 wurde vom Ausschuss beschlossen, das die Angabe der Unsicherheit entfallen soll. Das Streichen dieser Angabe ändert jedoch nichts an den Konsequenzen für die Praxis der Wasseraufbereitung. So hängt die Entscheidung, ob ein Grenzwert überschritten ist, u. a. von der Unsicherheit des Messergebnisses ab.

Ein Grenzwert ist nicht zwangsläufig unter- oder überschritten, wenn der Messwert den Grenzwert überschreitet. Der wahre Wert kann entsprechend der Unsicherheit des Messwertes noch innerhalb des zulässigen Bereiches liegen. Ein Grenzwert gilt daher erst

als überschritten, wenn der Messwert samt seiner Unsicherheit über dem Grenzwert liegt [§BAM]. Für einen Grenzwert von  $\beta = 0,2$  mg/l und einer Unsicherheit des Messwertes von  $U \pm 0,04$  mg/l ist eine Grenzwertüberschreitung erst bei einem Messwert über  $\beta = 0,24$  mg/l gesichert nachweisbar Dieses der Empfehlung des Umweltbundesamtes [§BAI] entnommene Beispiel setzt allerdings einen Nachweis voraus, dass die Ergebnisse wirklich eine Unsicherheit von  $U \pm 0,04$  am Grenzwert haben. Liegt dieser Nachweis nicht vor, so kann auch keine Aussage zu einer möglichen Grenzwertüberschreitung gemacht werden.

### Herstellerangaben

Leider machen die meisten Hersteller für Messeinrichtungen in Bädern nicht einmal die notwendigsten Angaben, zur Qualität ihrer Messeinrichtungen. Positive Ausnahme sind die Firmen Tintometer und insbesondere Merck. Die Fa. Merck gibt in ihren Chargenzertifikaten [§BAR, §BAS, §BAT] die Vertrauensbereiche ihrer Reagenziensätze an. Der Vertrauensbereich ist ein Intervall für die Streuung um den Mittelwert. Zur Umrechnung in die Unsicherheit fehlt die Abweichung vom Referenzwert, weiterhin handelt es sich um Daten für Standardlösungen unter Laborbedingungen. Merck gibt in den vorliegenden Chargenzertifikaten folgende Daten an:

Bez.	d	F	MB	VB
1.00599.0001	10	P	0,010 – 1,000	$\pm 0,15$
1.00086 bis 89	50	P	0,010 – 1,000	$\pm 0,02$
14595.0001	16	R	0,10 - 7,5	$\pm 0,20$

Bez: Bezeichnung  
 d: Schichtdicke in mm  
 F: Form, Rechteckküvette (P), Rundküvette (R)  
 MB: Messbereich in mg/l  
 VB: Vertrauensbereich in mg/l

Deutlich ersichtlich ist die Wirkung der Schichtdicke  $d = 50$  mm.

### Praktische Ergebnisse

#### Vergleichsmessungen in 11 Bädern

Da 2008 praktisch kaum Angaben zur Unsicherheit der Chlormessergebnisse vorlagen, sollten Messungen in 9 Bädern in Bayern und 2 Bädern in Niedersachsen die betreffenden Informationen liefern [§BAU].

Die Messungen führte die jeweilige Aufsichtskraft wie gewohnt mit ihrer Messeinrichtung durch. Als Referenzmesseinrichtung diente ein Photometer PF11 der Fa. Macherey Nagel mit

nach EN ISO 7393-2 angesetzten Reagenzien. Weiterhin wurde je einen kommerzieller Reagenziensatz der Fa. Merck Spectroquant 1.00086 (DPD) und 1.00599 (Super DPD) verwendet. Die Messeinrichtung wurde vor und nach den Vergleichsmessungen kalibriert. Die DIN DPD-Reagenzlösung wurde im Versuchszeitraum dreimal frisch angesetzt.

Bei zwei Bädern im Landkreis Weilheim/Schongau (Bayern) erfolgten zusätzlich Messungen durch das zuständige Gesundheitsamt (jeweils mit deren Messeinrichtungen).

Die Ermittlung der Unsicherheit erfolgte gemäß Nordtest [\$BAN] aus den Ergebnissen der Messungen. Es gingen die Standardabweichungen der Messwerte und die Abweichungen zum Referenzwert ein. Die Unsicherheiten ( $k=2$ ) der Ergebnisse betragen:

Freies Chlor:  $U \pm 0,22$  mg/l  
 Gesamtchlor:  $U \pm 0,20$  mg/l  
 Gebundenes Chlor:  $U \pm 0,18$  mg/l

Die Ergebnisse der einzelnen Bäder können durchaus eine geringere Unsicherheit aufweisen. Auch die Betrachtung der einzelnen Beckenwässer ergibt unterschiedliche Ergebnisse für die Unsicherheit. Werden nur die Werte der Bäder berücksichtigt, deren Konzentration an gebundenem Chlor im zulässigen Bereich liegt, so ergeben sich deutlich kleinere Werte für folgende Unsicherheiten ( $k=2$ ):

Freies Chlor  $U \pm 0,16$  mg/l  
 Gesamtchlor  $U \pm 0,17$  mg/l  
 Gebundenes Chlor  $U \pm 0,12$  mg

Bei den Werten für das Gesamtchlor war diese Zunahme der Reproduzierbarkeit nicht festzustellen.

Diese Ergebnisse überraschen jedoch nicht wirklich. Bereits Palin [\$BAL] berichtete, dass bei der Chlorbestimmung ein Teil des gebundenen Chlors als freies Chlor erfasst wird.

Da sich das gebundene Chlor aus verschiedenen Chlorverbindungen zusammensetzt, ist es naheliegend, dass je nach Zusammensetzung bei unterschiedlichen Messbedingungen unterschiedliche Anteile bereits bei der Messung des freien Chlors mit erfasst werden. Hierbei können auch unterschiedliche Reaktionszeiten eine Rolle spielen.

Diese Effekte wirken sich bei der Gesamtchlormessung nicht aus, da dieses Verfahren beide Chlorkomponenten erfasst. Bei dieser Messung spielt die Iodidkonzentration eine entscheidende Rolle.

### Vergleichsmessungen mit gechlortem Trinkwasser

Ebenfalls 2008 durchgeführte Vergleichsmessungen [\$BAU] mit gechlortem Trinkwasser, bei denen die Teilnehmer ebenfalls ihre eigenen Messeinrichtungen verwendeten, ergaben die Folgenden nach Nordtest [\$94-05] ermittelte Unsicherheiten ( $k=2$ ):

Freies Chlor  $U \pm 0,18$  mg/l,  
 Gesamtchlor  $U \pm 0,18$  mg/l,  
 Gebundenes Chlor  $U \pm 0,09$  mg

### Vergleichsmessungen, Institut Dr. Lörcher

Aktuelle Ergebnisse veröffentlichte das Institut Dr. Lörcher [\$BAV]. Es führte mit 22 Teilnehmern, die jeweils Ihre Messeinrichtungen nutzten Vergleichsmessungen durch. Die Messungen erfolgten in einem Bad an Schwimmbeckenwasser, Solewasser und einer Standardlösung.

Leider wurden hier keine Unsicherheiten für die Ergebnisse angegeben, sondern lediglich Reproduzierbarkeiten. Diese Ergebnisse lassen sich jedoch wiederum Orientierungswerte für die Unsicherheit (Min.) verwenden. Die korrekten Werte für die Unsicherheit ( $k=2$ ) sind wahrscheinlich größer, da diese Angaben einige Einflussgrößen nicht enthalten, z. B. fehlt eine Referenz bei den Ergebnissen im Beckenwasser und die Messungen erfolgten unter Wiederholungsbedingungen.

MG	W	$\sigma$	$\bar{\beta}$	U
F	B	14,7	0,39	0,11
F	S	22,0	0,38	0,17
G	B	32,9	0,16	0,11
G	S	38,6	0,12	0,09
T	N	5,8	0,50	0,06

MG: Messgröße, Freies Chlor = F,  
 Gebundenes Chlor = G, Gesamtchlor = T  
 W: Gemessen in Beckenwasser = B,  
 Sole = S, Standard = N  
 $\sigma$ : Standardabweichung in %  
 $\bar{\beta}$ : Mittelwert in mg/l  
 U: Unsicherheit (Min.) ( $k=2$ )

### Möglichkeiten im Betrieb

Eine Möglichkeit, um orientierende Werte zur Unsicherheit der eigenen Messergebnisse zu erhalten, sind regelmässige Vergleichsmessungen mit einem nach DIN EN ISO/IEC 17025 für die Messung im Beckenwasser akkreditierten Laboratorium. Das Laboratorium muß die Unsicherheit der Werte auf Anfrage des Kunden angeben. Mit einem entsprechenden EXCEL-Arbeitsblatt sind die Ergebnisse in die Unsicherheit ihrer Messungen umrechenbar.

Das Buch „Überwachung der Wasserqualität in öffentlichen Bädern“ [§BAN] enthält z. B. ein entsprechendes Arbeitsblatt, auf dessen Grundlage Sie näherungsweise die Unsicherheit gemäß NORDTEST [§BAN] berechnen können.

### Fazit

Die wichtige Angabe der Unsicherheit zu den Messergebnissen ist für die Messung des Chlors in Bädern ein noch weitgehend unbeschriebenes Blatt. Ohne Kenntnis dieser Angabe ist jede Angabe zu einer Grenzwertüberschreitung nur eine unbewiesene Vermutung. Ein weiteres Problem stellt das Kalibrieren der Mess- und Regelanlage da. Die Werte der „Fehlergrenze“ sollen nach DIN 19643-1 max.  $\Delta\beta = 0,05$  mg/l betragen. Doch praktisch niemand kennt den Fehler. Ersichtlich ist nur die Anzeige der Mess- und Regelanlage, die von einem Wert mit unbekannter Unsicherheit abhängt.

Dieser Artikel zeigt dass bei der Messung mit einer Unsicherheit in der Größenordnung von mind.  $U \pm 0,1$  mg/l wahrscheinlicher jedoch bis  $U \pm 0,2$  mg/l, zu rechnen ist.

### Literatur

[§BAF] DIN EN ISO 7393-2, Bestimmung von freiem Chlor und Gesamtchlor Teil 2: Fotometrisches Verfahren mit N,N-Diethyl-1,4-Phenylendiamin für Routinekontrollen G 4-2

[§BAG] Dschungel gebundene Chlormessung, Expertenrunde traf sich zur Problemerkörderung, BäderBau 1/2008

[§BAH] DIN EN ISO 13005 GUM Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement

[§BAI] Umweltbundesamt, Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung, Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Schwimm- und Badebecken-

asserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit beim Umweltbundesamt, Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2006

[§BAJ] Dschungel gebundene Chlormessung, Expertenrunde traf sich zur Problemerkörderung, BäderBau 1/2008

[§BAK] DIN 19643-1 Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser – Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Entwurf 2011

[§BAL] Dr. Palin, Fehlerquellen bei der Bestimmung des freien Chlorgehaltes in Wasser mit handelsüblichen DPD-Reagenzlösungen Archiv des Badewesens, Heft 6/82, S. 186

[§BAM] EUROLAB – Deutschland "Kochbuch" Dok Nr. 8.0, Entscheidung über Einhaltung von Spezifikationen oder Grenzwerten unter Berücksichtigung der Messunsicherheit, mögliche Strategien, Mai 2008 1

[§BAN] TR 537 Handbook for calculation of measurement uncertainty in environmental laboratories, Nordtest, 2003

[§BAO] DIN 38408-4 Bestimmung von freiem und Gesamtchlor (G 4), 1984

[§BAR] Merck Chargenzertifikat Chlor- Test 14828Cl2, 1999

[§BAS] Merck Chargenzertifikat Chlor- Test 100086-89, 1999

[§BAT] Merck Chargenzertifikat Chlor- Test 100599, 1999

[§BAU] Ralf Degner, Überwachung der Wasserqualität in öffentlichen Bädern, APPL-SYSTEM.de, 2010

[§BAV] Harald Fischer, Eine Möglichkeit der externen Qualitätssicherung für Schwimmbadbetreiber, AB Archiv des Badewesens 2012

[§BAW] DIN EN ISO / IEC 17025:2005, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien