

## Trichloramin in der Hallenbadluft

Dr. Ernst Stottmeister\* und Kerstin Voigt\*

Trichloramin besitzt einen intensiven, stechenden, chlorähnlichen Geruch – den typischen Hallenbadgeruch. Es reizt die Augen und Schleimhäute. Wegen seines hohen Dampfdrucks und der schlechten Wasserlöslichkeit gas es leicht aus dem Schwimm- und Badebeckenwasser aus, kann sich als Folge in der Hallenbadluft anreichern und dadurch zu Atembeschwerden und Augenreizungen führen. Die Reizwirkungen sind mit denen von Chlorgas vergleichbar<sup>1)</sup>.

Nachfolgend wird über Entstehung und Eigenschaften von Trichloramin sowie über dessen analytische Bestimmung berichtet. Erste Messergebnisse werden vorgestellt und diskutiert.

### Einleitung

Trichloramin (Stickstofftrichlorid,  $\text{NCl}_3$ ) entsteht neben anderen Chlor-Stickstoff-Verbindungen als unerwünschtes Nebenprodukt bei der Chlorung des Schwimm- und Badebeckenwassers. Es gehört zu den Verbindungen, die summarisch unter dem Hygiene-Hilfsparameter „gebundenes Chlor“ zusammengefasst werden. Das gebundene Chlor ist definiert als Summe folgender Verbindungen<sup>2)</sup>: Derivate (Abkömmlinge) des Ammoniaks ( $\text{NH}_3$ ), bei denen ein, zwei oder drei Wasserstoffatome durch Chloratome ersetzt wurden (Monochloramin,  $\text{NH}_2\text{Cl}$ ; Dichloramin,  $\text{NHCl}_2$ ; Trichloramin,  $\text{NCl}_3$ ), und alle chlorierten Derivate von Harnstoff und organischen Stickstoffverbindungen, wie z. B. Kreatinin und Aminosäuren.

Für gebundenes Chlor existiert kein direktes Analyseverfahren. Es muss aus der Differenz zwischen dem Gesamtchlor und dem freien Chlor berechnet werden. Das Ergebnis sagt leider nichts darüber aus, welche Einzelstoffe in welcher Konzentration sich dahinter verbergen.

Belgische Wissenschaftler vertreten die Hypothese, dass durch die Exposition von Schulkindern mit Trichloramin beim Besuch von Hallenbädern während des Schwimmens das Lungenepithel der Kinder angegriffen wird und sich in der Folge das Asthma-Risiko erhöhen könnte<sup>3)</sup>. Englische Wissenschaftler berichten von Asthmasymptomen bei Rettungsschwimmern und Schwimmmeistern, hervorgerufen durch Chloramine<sup>4)</sup>. Neuere Untersuchungen erhärten die Richtigkeit der o. g. Hypothese<sup>5) 6)</sup>.

Das Umweltbundesamt hat im Sommer 1999 vorsorgend damit begonnen, in wissenschaftlichen Untersuchungen zur Bildung und Mi-

nimierung von unerwünschten Nebenprodukten der Chlorung von Schwimm- und Badebeckenwasser auch Trichloramin in der Luft von Hallenbädern zu messen. Damit sollten erste Hinweise erhalten werden, ob und in welchem Maße die Luft in deutschen Hallenbädern mit dieser Verbindung belastet ist. Entsprechende Informationen für deutsche Hallenbäder fehlten zum damaligen Zeitpunkt völlig.

### Harnstoff und Bildung von Trichloramin im Beckenwasser

Durch die Badegäste werden erhebliche Mengen an Harnstoff in das Schwimm- und Badebeckenwasser eingebracht. Er stammt dabei aus folgenden Quellen: Haut, Urin und Schweiß. Er stellt das Hauptendprodukt des Eiweißstoffwechsels beim Menschen dar und wird zu ca. 90 % über die Nieren (Urin), der Rest mit Schweiß- und Darmsekreten ausgeschieden. Er bildet sich auch beim Verhornungsprozess der Haut.

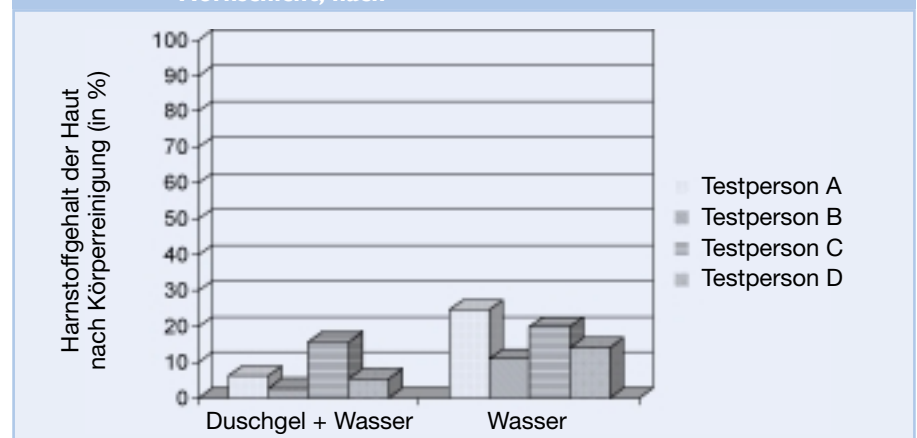
Harnstoff ist eine chemische Verbindung mit der Formel  $\text{H}_2\text{N-CO-NH}_2$ . Er bildet in reiner Form farb- und geruchlose Kristalle, die in Wasser leicht löslich sind. Im gechlorten Beckenwasser entsteht aus Harnstoff Trichloramin.

### Harnstoffquellen Haut, Urin und Schweiß

Die Haut ist mit einer Oberfläche von ca. 1,5-2 m<sup>2</sup> das größte Organ des menschlichen Körpers. Im Verhornungsprozess der Hautzellen wird beim Abbau der Aminosäure Arginin Harnstoff gebildet<sup>7)</sup>. Er gehört zu den natürlichen Feuchthaltefaktoren der Haut.

In der Hornschicht gesunder Haut findet man bei Männern und Frauen ca. 8 µg Harnstoff pro cm<sup>2</sup> Hautoberfläche. 2 m<sup>2</sup> Hautoberfläche würden dann ca. 0,16 g Harnstoff enthalten. Beim Schwimmen und Baden löst das Wasser gut wasserlösliche, organische und anorganische Inhaltsstoffe, darunter Harnstoff, leicht aus der Haut heraus. Nimmt man an, dass der Harnstoff der Hornschicht auf diesem Wege vollständig ausgewaschen wird und ins Beckenwasser gelangt, dann tragen 1000 Badegäste ca. 160 g Harnstoff in das Beckenwasser ein. Gründliche Körperreinigung der Badegäste durch Waschen und Duschen vor der Badbenutzung entfernt ca. 75-97 % des Harnstoffs aus der Hornschicht und beugt dem Harnstoffeintrag ins Beckenwasser sehr effektiv vor (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Einfluss der Körperreinigung auf den Harnstoffgehalt der Hornschicht, nach<sup>8)</sup>



\* Umweltbundesamt, Dienstgebäude Bad Elster, Fachgebiet II 3.2

Auch durch den Eintrag von Urin und Schweiß können beachtliche Mengen an Harnstoff und anderen Stickstoffverbindungen ins Beckenwasser gelangen.

Über den durchschnittlichen Harnstoffgehalt im Urin, im Schweiß und in der Hornschicht der Oberhaut informiert Tabelle 1.

**Tabelle 1:**  
Durchschnittlicher Harnstoffgehalt in Urin, Schweiß und in der Hornschicht der Oberhaut

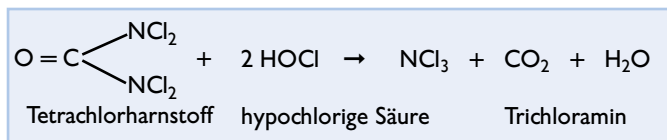
Harnstoffgehalt		
Urin	Schweiß	Haut
21,9 g/l	1,5 g/l	8 µg/cm <sup>2</sup>

Über den Urin- und Schweißeintrag ins Beckenwasser gibt es unterschiedliche Literaturangaben<sup>9) - 13)</sup>. Wird ein von Gunkel und Jessen<sup>9)</sup> ermittelter Wert von 35 ml Urinabgabe je Badegast zugrunde gelegt, dann werden ca. 0,8 g Harnstoff pro Badegast ins Beckenwasser eingetragen. Die Menge an Schweiß, die pro Badegast an das Beckenwasser abgegeben wird, hängt von vielen Faktoren, wie z. B. Wassertemperatur, Luftfeuchtigkeit, körperliche Konstitution und Betätigung des Badegastes, ab. Aus der Fachliteratur ist zu entnehmen, dass z. B. ein aktiver Schwimmer im Wasser in 1 h bis zu 1 l Schweiß verlieren kann<sup>14)</sup>. Mit 1 l Schweiß würden ca. 1,5 g Harnstoff pro Schwimmer pro h ins Beckenwasser eingebracht.

**Bildungsmechanismus von Trichloramin**

Der Bildungsmechanismus von Trichloramin aus Harnstoff wird in der wissenschaftlichen Literatur aus drei verschiedenen Richtungen diskutiert:

1. Enzymatischer Abbau des Harnstoffs mit dem in verschiedenen Bakterien enthaltenen Enzym Urease zu Ammoniak bzw. Ammonium und Reaktion letzterer mit dem freien Chlor zum Trichloramin. Dieser Prozess findet nach Jessen und Gunkel<sup>13)</sup> im gechlorten Beckenwasser nicht statt.
2. Hydrolyse (Spaltung durch Einwirkung von Wasser) des Harnstoffs unter Bildung von Ammoniak bzw. Ammonium und nachfolgende Reaktion mit dem freien Chlor zum Trichloramin. Sie spielt erst ab >65 °C eine Rolle und ist deshalb im Beckenwasser nicht relevant.
3. Entscheidend für die Bildung des Trichloramins im Beckenwasser ist die in der Literatur beschriebene Reaktion des von den Badbesuchern eingetragenen Harnstoffs mit dem freien Chlor stufenweise zu Tetrachlorharnstoff und schließlich zu Trichloramin<sup>15)</sup>:



**Eigenschaften des Trichloramins**

Trichloramin ist ein unerwünschtes Desinfektionsnebenprodukt mit starker Reizwirkung auf Augen, Nase, Rachen und Bronchien. Es besitzt einen chlorähnlichen Geruch. Der Schwellenwert für Geruch und Geschmack im Wasser ist mit 0,02 mg/l sehr niedrig. Eine Schwellenkonzentration für die Reizung der Augen durch die Anwesenheit von Trichloramin im Beckenwasser ist bislang nicht ermittelt worden.

Eichelsdörfer et al.<sup>16)</sup> konnten zeigen, dass für freies Chlor eine deutliche Augenreizung am Kaninchenauge erst ab einer Konzentration von ca. 30 mg/l und für Monochloramin ab ca. 4 mg/l einsetzt; der Wert für Trichloramin dürfte deutlich niedriger liegen. Tabelle 2 fasst die Literaturdaten zusammen.

**Tabelle 2: Eigenschaften von Chlor und Chloraminen**

	freies Chlor	Mono-chloramin	Dichloramin	Trichloramin
	mg/l Cl <sub>2</sub>			
keine Augenreizung am Kaninchenauge*	0 - 8	0 - 2	keine Daten	keine Daten
deutliche Augenreizung am Kaninchenauge*	30	4	keine Daten	keine Daten
Geruchs- und Geschmacksschwelle**	20	5	0,8	0,02

\* Eichelsdörfer et al.<sup>16)</sup>; \*\* Spon<sup>17)</sup>

Lange Zeit war man davon ausgegangen, dass eine Trichloramin-Bildung nur bei einem pH-Wert ≤ 4,4 erfolgt. Diese Ansicht musste revidiert werden: Trichloramin bildet sich auch bei höheren pH-Werten, wie sie im Beckenwasser anzutreffen sind, und ist dort recht beständig. Untersuchungen haben gezeigt, dass z. B. eine verdünnte wässrige Trichloramin-Lösung bei einem pH-Wert von 7 eine Halbwertszeit von 218 min besitzt; d. h., innerhalb dieser Zeit werden 50 % der Substanz im Wasser zersetzt<sup>18)</sup>. Würde z. B. die Trichloramin-Konzentration im Beckenwasser 0,1 mg/l betragen, dann würden nach 218 min noch 0,05 mg/l vorliegen, sieht man vom Aus-

**Tabelle 3: Henry-Konstanten (H)**

Verbindung	H
hypochlorige Säure	0,069
Monochloramin	0,45
Dichloramin	1,52
Trichloramin	435

gasen der Verbindung aus dem Beckenwasser einmal ab.

Die Abschätzung des Ausgasverhaltens eines im Beckenwasser gelösten Stoffes ist über den Verteilungskoeffizienten

Luft/Wasser (= Henry-Konstante H) möglich. Je kleiner der Wert für die Henry-Konstante, umso löslicher ist der Stoff im Beckenwasser. Je größer die Henry-Konstante, umso leichter gast der Stoff aus dem Beckenwasser aus. Die Henry-Konstanten für Mono-, Di- und Trichloramin sowie für hypochlorige Säure sind von Holzwarth et al.<sup>19)</sup> experimentell bestimmt worden (siehe Tabelle 3).

Aus den H-Werten ist abzulesen, dass Trichloramin 966-mal stärker als Monochloramin und 286-mal stärker als Dichloramin aus dem Beckenwasser in die Hallenbadluft ausgast. Es „fühlt sich“ in der Hallenbadluft 435-mal „wohler“ als im Beckenwasser und ist deshalb sowie aufgrund der Geruchs- und Geschmacksschwelle (siehe Tabelle 2) hauptverantwortlich für den typischen chlorähnlichen Hallenbadgeruch. Der H-Wert für Dichloramin ist lediglich von theoretischem Interesse, da die Verbindung im Beckenwasser nicht beständig ist und sich sehr schnell zersetzt<sup>20)</sup>.

Wasserattraktionen, wie z. B. Wasserrutschen, Wasserspeier, Schwallbrausen und Wasserpilze, begünstigen das Ausgasen von Trichloramin.

Vergleicht man z. B. das Ausgasverhalten des Trichloramins und des Chloroforms aus der Stoffgruppe Trihalogenmethane aus dem Beckenwasser, so gasst Trichloramin ca. 3-mal stärker aus.

## Messung von Trichloramin

### Messung im Beckenwasser

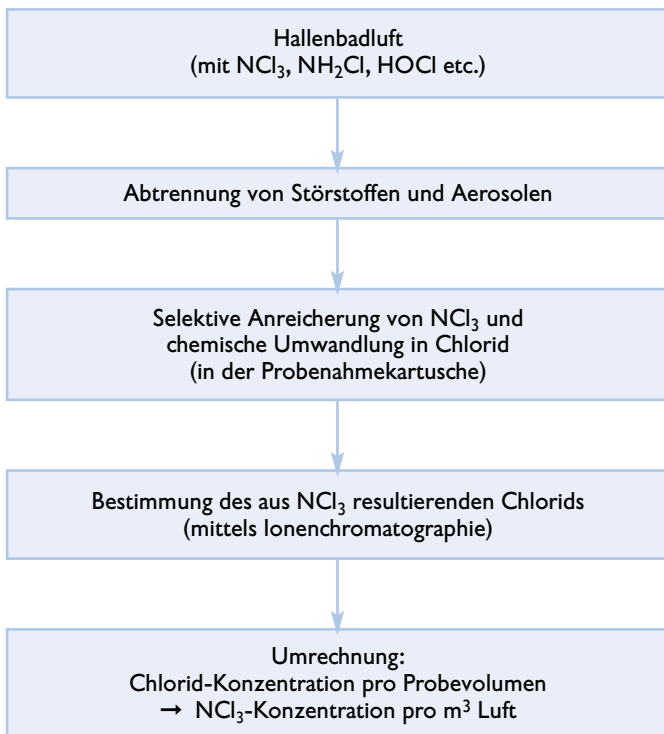
Zur einfachen selektiven Bestimmung von Trichloramin im Beckenwasser existiert z. Zt. keine Vor-Ort-Methode. Eine Labormethode zur sicheren Differenzierung und Quantifizierung der verschiedenen anorganischen Chloramine Mono-, Di- und Trichloramin im Wasser ist die sog. Membran-Einlass-Massenspektrometrie (membran introduction mass spectrometry = MIMS), die spezialisierten analytischen Wasserlaboratorien vorbehalten bleibt. Die Nachweisgrenze für Trichloramin wird mit 0,06 mg/l angegeben<sup>21)</sup>.

### Messung in der Hallenbadluft

Das Umweltbundesamt (UBA), Abteilung Trink- und Badebeckenwasserhygiene, begann im Sommer 1999 aus folgenden Gründen vorsorgend mit der Messung von Trichloramin in der Luft von Hallenbädern:

- Daten zur Trichloramin-Belastung der Luft in deutschen Hallenbädern fehlten völlig.
- Das französische INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) publiziert eine validierte Methode zur Trichloramin-Bestimmung in Luft<sup>22)</sup>, die vom UBA aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den Messdaten des INRS übernommen wird und die bis heute die einzige existierende Methode zur Trichloramin-Messung in Luft darstellt.
- In Frankreich wird ein gesundheitlich begründeter Richtwert von  $\leq 0,5 \text{ mg/m}^3$  Trichloramin in Luft vorgeschlagen<sup>2) 22)</sup>, der auch von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) mitgetragen wird. Dieser Wert kann als Grundlage für eine Bewertung der Messergebnisse herangezogen werden.

Das Prinzip des Messverfahrens gibt folgendes Fließschema wieder:



## Ausgewählte Ergebnisse

In Tabelle 4 werden ausgewählte Messergebnisse zur Belastung der Hallenbadluft mit Trichloramin für unterschiedliche Badtypen wiedergegeben und den entsprechenden Messwerten für das korrespondierende gebundene Chlor im Beckenwasser gegenübergestellt.

**Tabelle 4: Belastung der Hallenbadluft mit Trichloramin und korrespondierende Belastung des Beckenwassers mit gebundenem Chlor**

Badtyp	Trichloramin in der Hallenbadluft	Chloramine (als geb. Chlor) im Beckenwasser
	mg/m <sup>3</sup>	mg/l Cl <sub>2</sub>
Erlebnisbad	0,13	0,07
Erlebnisbad	0,16	0,13
Erlebnisbad	<b>0,37</b>	<b>0,80</b>
Erlebnisbad	<b>2,2</b>	<b>0,12</b>
Hallenbad	<b>18,8</b>	<b>0,25</b>
Therapiebad	0,19	0,01
Therapiebad	0,14	0,05
Bewegungsbad	0,05	0,03
<b>Richtwerte</b>	<b>≤ 0,5</b>	<b>≤ 0,20 (± 20 %)</b>

Die Werte in Tabelle 4 zeigen, dass die gemessenen Trichloramin-Konzentrationen in der Hallenbadluft mit den Werten für das gebundene Chlor nicht korrelieren. Es können Fälle auftreten, in denen der Wert für das gebundene Chlor im Beckenwasser mit 0,80 mg/l Cl<sub>2</sub> den empfohlenen oberen Wert der DIN 19 643-1 von 0,2 mg/l Cl<sub>2</sub> weit übersteigt, in der Hallenbadluft aber mit 0,37 mg/m<sup>3</sup> eine Trichloramin-Konzentration angetroffen wird, die unter dem empfohlenen Richtwert von 0,50 mg/m<sup>3</sup> liegt.

Umgekehrt gibt es Beispiele, dass der obere Wert für das gebundene Chlor im Beckenwasser eingehalten wird (0,12 mg/l Cl<sub>2</sub>) oder knapp darüber liegt (0,25 mg/l Cl<sub>2</sub>), die korrespondierenden Werte für die Trichloramin-Belastung der Hallenbadluft aber den Richtwert z. T. erheblich überschreiten (2,2 bzw. 18,8 mg/m<sup>3</sup>). Ein DIN-konformer Gehalt an gebundenem Chlor im Beckenwasser bedingt also nicht automatisch gesundheitlich unbedenkliche Trichloramin-Konzentrationen in der Hallenbadluft.

Es ist deshalb darauf zu achten, dass nach VDI-Richtlinie 2089-1<sup>23)</sup> die raumluftechnische Anlage so ausgelegt ist, dass sie während der Öffnungszeit den Außenluftanteil im anteiligen Umluftbetrieb der Hallenauslastung anpasst. Bei maximaler Hallennutzung, d. h. hoher Besucherzahl und eingeschalteten Attraktionen, sollte der Außenluftanteil  $\geq 30 \%$  des Zuluftmassenstromes betragen.

Ein Beispiel für den Einfluss der Lüfterneuerung über den Außenluftanteil des Zuluftmassenstromes zeigt Tabelle 5. Der obere Wert der DIN 19 643-1 für das gebundene Chlor im Beckenwasser ist mit 0,15 mg/l Cl<sub>2</sub> eingehalten. Erfolgt keine Lüfterneuerung über einen definierten Außenluftanteil (kein Verdünnungseffekt) kann sich das Trichloramin in der Hallenbadluft anreichern, sodass der Richtwert von 0,5 mg/m<sup>3</sup> überschritten wird.

**Tabelle 5: Einfluss der Lüfterneuerung auf die Trichloramin-Belastung der Hallenbadluft**

Außenluftanteil des Zuluftmassenstromes	Trichloramin in der Luft	Chloramine (als geb. Chlor) im Beckenwasser
%	mg/m <sup>3</sup>	mg/l Cl <sub>2</sub>
0	0,52	0,15
30	0,37	0,15

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Es existiert keine direkte Korrelation zwischen der Trichloramin-Konzentration in der Hallenbadluft und dem korrespondierenden Wert für den Hygiene-Hilfsparameter „gebundenes Chlor“ im Beckenwasser, da der Messwert dieses Summenparameters leider nichts über den darin enthaltenen Trichloramin-Anteil aussagt. Eine einfache zuverlässige Methode für die spezifische Messung von Trichloramin als Einzelstoff im Beckenwasser vor Ort existiert noch nicht.

Ein DIN-gerechter Gehalt an gebundenem Chlor garantiert nicht automatisch eine aus gesundheitlicher Sicht tolerierbare Trichloramin-Konzentration in der Hallenbadluft. Es muss zusätzlich eine Lüfterneuerung und damit Verdünnung des Trichloramins in der Hallenbadluft über einen definierten Außenluftanteil des Zuluftmassenstromes nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (VDI 2089 Blatt 1)<sup>23)</sup> während der Badbetriebszeit erfolgen, um einer Anreicherung des Trichloramins in der Hallenbadluft über den von der WHO mitgetragenen Richtwert von 0,5 mg/m<sup>3</sup> vorzubeugen.

Der Harnstoffgehalt im Beckenwasser muss minimiert werden, da aus Harnstoff durch Reaktion mit dem freien Chlor im Beckenwasser u. a. Trichloramin gebildet wird. Folgende Maßnahmen kommen dafür in Betracht:

- Mithilfe der Badbesucher durch Benutzung der Toilette (Eliminierung der Harnstoffquelle Urin) sowie durch gründliches Waschen und Duschen in unbedecktem Zustand (Eliminierung der Harnstoffquelle Haut),
- Eliminierung des Harnstoffs durch die Wasseraufbereitung (z. B. Ozon-Aktivkohle-Behandlung<sup>24) 25)</sup> und Photooxidation<sup>26)</sup> sowie
- Reduzierung des Harnstoffgehalts durch Verdünnung (Zusatz von 30 l Füllwasser je Besucher).

Werden diese Hinweise berücksichtigt, kann nach dem derzeitigen Wissensstand davon ausgegangen werden, dass eine Gesundheitsgefährdung durch Trichloramin in der Luft von Hallenbädern nicht zu befürchten ist.

## Literaturhinweise

- 1) Gagnaire, F., Axim, S., Bonnet, P., Hecht, G., and Héry, M.: Comparison of the sensory irritation response in mice to chlorine and nitrogen trichloride. *J Appl Toxikol* 14, 405 - 409 (1994).
- 2) DIN EN ISO 7393-2, Ausgabe: 2000-04, Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von freiem Chlor und Gesamtchlor – Teil 2: Kolorimetrisches Verfahren mit N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin für Routinekontrollen, Beuth-Verlag Berlin.

# Die Rhein-Main-Therme spart: mit Pneumofil®!



Durch das innovative Filterspül-Verfahren Pneumofil® sparen außerdem:

- Düsseldorf, Düsseldorf
- Freizeitbad Reinbek
- Sportcenter Neuruppin und weitere

Und wann sparen Sie?

**grünbeck**  
WASSERAUFBEREITUNG  
www.gruenbeck.de · info@gruenbeck.de

- 3) Bernard, A., Carbonnelle, S., Michel, O., Higuët, S., de Burbure, C., Buchet, J.-P., Hermans, C., Dumont, X., and Doyle, I.: Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren: unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated swimming pools. *Occup Environ Med* 60, 385 - 394 (2003).
- 4) Thickett, K. M., McCoach, J. S., Gerber, J. M., Sadhra, S., and Burge, P. S.: Occupational asthma caused by chloramines in indoor swimming-pool air. *Eur Respir J* 19, 827 - 832 (2002).
- 5) Lagerkvist, B. J., Bernard, A., Blomberg, A., Bergstrom, E., Forsberg, B., Holmstrom, K., Karp, K., Lundstrom, N.-G., Segerstedt, B., Svensson, M., and Nordberg, G.: Pulmonary Epithelial Integrity in Children-Relationship to Ambient Ozone Exposure and Swimming Pool Attendance. *Environ Health Perspect* 112 (17), 1768 - 1771 (2004).
- 6) Bernard, A., Carbonnelle, S., Nickmilder, M., and de Burbure, C.: Non-invasive biomarkers of pulmonary damage and inflammation: Application to children exposed to ozone and trichloramine. *Toxicol Appl Pharmacol* 206 (2), 185 - 190 (2005).
- 7) Jacobi, O.: Die Inhaltsstoffe des normalen Stratum corneum und Callus menschlicher Haut. *Arch Derm Forsch* 240, 107 - 118 (1971).
- 8) Häntschel, D., Sauermann, G., Steinhart, H., Hoppe, U., and Ennen, J.: Urea analysis of extracts from stratum corneum and the role of urea-supplemented cosmetics. *J Cosmet Sci* 49, 155 - 163 (1998).
- 9) Gunkel, K., und Jessen, H.-J.: Untersuchungen über den Harnstoffeintrag in das Badewasser. *Acta hydrochim hydrobiol* 14, 451 - 461 (1986).
- 10) Borneff, J.: Hygiene. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 5. Auflage, 213, 1991.
- 11) Erdinger, L., Kirsch, F., und Sonntag, H.-G.: Kalium als ein Indikator der anthropogenen Belastung von Schwimmbadwasser. *Zbl Hyg* 200, 297 - 308 (1997).
- 12) Gunkel, K., und Jessen, H.-J.: Zur Harnstoffproblematik im Badewasser. *Z gesamt Hyg* 34, 248 - 250 (1988).
- 13) Jessen, H.-J., und Gunkel, K.: Zur Problematik des Urineintrags in das Badewasser. *A.B. Archiv des Badewesens* Nr. 6, 273 - 274 (1995).
- 14) Roeske, W.: Schwimmbekkenwasser. 1. Auflage, Verlag Otto Haase, Lübeck, 1980.
- 15) Robson, H. L.: Chloramines. In: *Encyclopedia of Chemical Technology*, Kirk, R.; Othmer, D. F. ed., 2<sup>nd</sup> ed., Vol. 4, 908 - 928, John Wiley & Sons, New York, 1993.
- 16) Eichelsdörfer, D., Slovak, J., Dirnagl, K., und Schmid, K.: Zur Reizwirkung (Konjunktivitis) von Chlor und Chloraminen im Schwimmbekkenwasser. *Vom Wasser* 45, 17 - 28 (1975).
- 17) Spon, R.: Do You Really Have A Free Chlorine Residual? How to Find Out and What You Can Do About It. RR Spon & Associates, PO box 222, Rescoe, IL 610973, USA, 2002.
- 18) Cooper, W. J., Roscher, N. M., and Slifker, R. A.: Determining free available chlorine by DPD-colorimetric, DPD-Steadifac (colorimetric), and FACTS procedures. *Journal AWWA*, 362 - 368 (1982).
- 19) Holzwarth, G., Balmer, R. G., and Sony, L.: The fate of chlorine and chloramines in cooling towers. Henry's law constants for flashoff. *Water Res* 18, 1421 - 1427 (1984).
- 20) Hand, V. C., and Margerum, D. W.: Kinetics and Mechanism of the Decomposition of Dichloramine in Aqueous Solution. *Inorg Chem* 22, 1449 - 1456 (1983).
- 21) Shang, C., and Blatchley, E. R.: Differentiation and Quantification of Free Chlorine and Inorganic Chloramines in Aqueous Solution by MIMS. *Environ Sci Technol* 33, 2218 - 2223 (1999).
- 22) Héry, M., Hecht, G., Gerber, J. M., Gendre, J. C., Hubert, G., and Rebuffaud, J.: Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools. *Ann Occup Hyg* 39, 427 - 439 (1995).
- 23) VDI 2089 Blatt 1 (Entwurf), Ausgabe: 2005-03, Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern - Hallenbäder, Beuth-Verlag Berlin.
- 24) Eichelsdörfer, D., und v. Harpe, T.: Einwirkung von Ozon auf Harnstoff im Hinblick auf die Badewasseraufbereitung. *Vom Wasser* XXXVII, 73 - 81 (1970).
- 25) Jentsch, F.: Erfahrungen mit der Ozon-Aktivkohle-Behandlung von Schwimmbad-Meerwasser. *Zbl Bakt Hyg, I. Abt Orig B* 164, 485 - 491 (1977).
- 26) Kaas, P.: Beckenwasser-Aufbereitung mit Photooxidation. Vortrag im Seminar „Neuere Konzepte und Techniken“, Dr. Jentsch Fachberatung Schwimmbekkenwasser, Baunatal, 16. September 2003.

## Achhammer

### Wasseraufbereitung

#### Produkte für Hygiene

Karl-Speier-Straße 66  
92318 Neumarkt

Telefon: 0 91 81/47 53-0  
Telefax: 0 91 81/47 53-13

www.achhammer-gmbh.de  
info@achhammer-gmbh.de

#### Ihr Lieferant im Schwimmbadbereich für Technik und Verbrauchsmaterial

Dosier-, Mess- und Regelsysteme für Chlor-, pH-Wert und Redoxspannung

Dosierpumpen zum Dosieren flüssiger Chemikalien

Pulver-Aktivkohle-Dosiersysteme

Chlorgranulat-Dosiersysteme

Dosiergeräte zum Dosieren von Sauna-, Aroma- und Dampfbadduftstoffen

Desinfektionsanlagen

Filtermaterialien

- EVERZIT® Spezial PLUS - Anthrazit N
- Aktivkohle/-pulver - Filterkohle H
- Dolomitisches - Quarzkies

Filtermaterial

Schwimmbadchemikalien

Desinfektions- und Reinigungsmittel

Sauna-, Aroma- und Dampfbadduftstoffe  
Saunakräuter, Saunazubehör

Wasseranalytik