Bundesgesundheitsbl 2011 · 54:997–1004
DOI 10.1007/s00103-011-1326-x
© Springer-Verlag 2011

Gesundheitliche Bewertung von Trichloramin in der Hallenbadluft

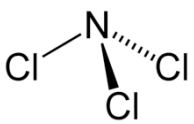
Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden

Vorbemerkung

Der in den Abschnitten 1 bis 4 dargestellte Kenntnisstand stammt überwiegend aus dem Gutachten „Stoffsammlung und Textentwurf für die Ableitung von Kurzzeitrichtwerten für die Innenraumluft für Trichloramin“ [1], das im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt wurde.

1 Stoffidentifikation

IUPAC-Name: Trichloramin
Synonyme: Stickstofftrichlorid
CLP-Index-Nr.: n. a.
EG-Nr.: 233-045-1
CAS-Nr.: 10025-85-1
Summenformel: NCl_3
Strukturformel:



1.1 Physikalisch-chemische Eigenschaften

Molekulargewicht: 120,37 g/mol
Schmelzpunkt: –40 °C
Siedepunkt: 71 °C
Dichte: 16 g/cm³
Dampfdruck: 200 hPa bei 20 °C
Wasserlöslichkeit: sehr gering
Umrechnung: 1 ppm = 4,93 mg/m³ bei 1013 hPa und 20 °C

2 Exposition

Die Anwesenheit organischer Stickstoffverbindungen, insbesondere von Harnstoff, führt bei der Desinfektion von Schwimm- und Badebeckenwasser mit Chlor oder Hypochlorit zur Bildung von Chloraminen, darunter das Trichloramin. Trichloramin löst sich nur sehr wenig in Wasser, ist leichtflüchtig und wird für den typischen Schwimmbadgeruch verantwortlich gemacht.

Trichloramin wurde erstmals in den achtziger Jahren in der Luft von Hallenbädern in einem Konzentrationsbereich von 0,2 bis 0,5 mg/m³ nachgewiesen [2]. Systematische Untersuchungen an Arbeitsplätzen von Bademeistern in französischen Hallenbädern ergaben mittlere Trichloramin-Konzentrationen im Bereich von 0,15 bis 1,25 mg/m³ (Spanne: 0,1 bis 1,9 mg/m³, n = 13) [3]. In einer weiteren französischen Studie lag die mittlere Trichloramin-Konzentration in öffentlichen Schwimmbädern bei 0,24 mg/m³ (n = 46) und in Freizeitbädern bei 0,67 mg/m³ (n = 17) [4]. Erlebnisbäder wiesen in beiden französischen Untersuchungen deutlich höhere Trichloramin-Gehalte als öffentliche Hallenbäder auf. Angaben zur Messhöhe fehlen.

Hingegen scheinen Schweizer Schwimmbäder besonders gut betrieben zu werden: in den meisten von 30 untersuchten Hallenbädern lag die durchschnittliche Trichloramin-Konzentration mit nur 0,01–0,2 mg/m³ (n = 120, Median: 0,07) etwa eine Größenordnung niedriger, lediglich in drei Bädern traten 0,3 und in einem Fall 0,5 mg Trichloramin/m³ auf [5]. Die Messhöhe (0,2 und 1,5 m über dem Wasserspiegel) hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Trichloramin-Konzentration.

Aktuelle Angaben zum Vorkommen von Trichloramin in deutschen Hallenbädern liegen aus drei Studien vor. In einer Pilotstudie des Umweltbundesamtes (n = 8) fanden sich überwiegend 0,05 bis 0,4 mg Trichloramin/m³, in zwei Bädern traten jedoch sehr hohe Konzentrationen (2 beziehungsweise 19 mg/m³) auf [6].

Die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung untersuchte die Luft (n = 481) von 92 Bädern (48 Hallenbäder, 27 Erlebnisbäder, elf Therapiebäder, zwei Thermalbäder und vier Schulbäder) auf Trichloramin [7]. In einer Messhöhe von 20 cm über dem Wasserspiegel betrug der Median etwa 0,15 mg Trichloramin/m³, 7 % der Werte lagen über 0,5 mg/m³, während die Trichloramin-Konzentrationen in 1,5 m Höhe etwa 0,1 (Median) beziehungsweise 0,5 mg/m³ (95. Percentil) betrugen. Die höchste gefundene Konzentration lag

bei 1,1 mg Trichloramin/m³ (in einem Erlebnisbad), die niedrigsten Maximalwerte fanden sich in den Schulbädern mit 0,35 mg/m³ und in den Thermalbädern mit 0,15 mg/m³.

Das Bayerische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit bestimmte 2009 den Trichloramin-Gehalt in der Luft in 20 cm und 150 cm Höhe über der Wasseroberfläche von 66 Becken in 13 Thermalbädern, zehn Hallenbädern und sechs Erlebnisbädern [8]. Der Mittelwert aller Messungen in 20 cm Höhe lag bei den Thermalbädern bei 0,3 mg/m³, bei den Hallenbädern bei 0,47 mg/m³ und bei den Erlebnisbädern bei 0,38 mg/m³ und in 150 cm Höhe bei den Thermalbädern bei 0,09 mg/m³, bei den Hallenbädern bei 0,13 mg/m³ und bei den Erlebnisbädern bei 0,11 mg Trichloramin/m³.

3 Toxikokinetik

Zur Aufnahme, Verteilung, zum Metabolismus und zur Ausscheidung von Trichloramin wurden keine Angaben gefunden.

4 Gesundheitliche Wirkungen

Zur gesundheitlichen Wirkung eingeatmeten Trichloramins liegen einige Beobachtungen aus Arbeitsplatz- und Probandenstudien sowie wenige tierexperimentelle Ergebnisse vor. Reizerscheinungen der Augenbindehäute, der Nasen- und Rachenschleimhäute sowie der unteren Atemwege stellen die Hauptwirkung von Trichloramin in der Luft bei akuter und chronischer Exposition dar. Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der relevanten Studien zu den Endpunkten Asthma, Lungenpermeabilität und Irritation dargestellt.

4.1 Asthmaentwicklung nach frühkindlichem Schwimmen

In mehreren Studien wurde der Frage nachgegangen, ob ein Schwimmbadbesuch, insbesondere in den ersten Lebensjahren, mit einem erhöhten Risiko einer Asthmaentwicklung verbunden sein könnte. Bei den meisten Studien handelte es sich um Querschnittstudien, bei denen die individuelle Exposition gegenüber Trichloramin in der Hallenbadluft nicht ermittelt wurde. Vielmehr wurden indirekte Indikatoren wie zum Beispiel die Häufigkeit des Schwimmbadbesuchs vor Schulbeginn oder während der Schulzeit erfragt. Teilweise wurden diese Angaben nicht direkt erfragt, sondern von der Schulleitung anhand von Verzeichnissen zur Anwesenheit in der Schule übermittelt.

Eine belgische Studie an 1881 Schulkindern (sieben bis 14 Jahre alt) beobachtete einen Zusammenhang zwischen der gesamten Schulschwimmunterrichtszeit (basierend auf Angaben der Schulleitung) und dem Auftreten von Asthma, obwohl weder der individuelle Schwimmbadbesuch noch Dauer und Häufigkeit des Schwimmbadbesuchs außerhalb der Schule erfragt wurden [9]. In einer weiteren Studie dieser Arbeitsgruppe an 430 Vorschulkindern (Alter fünf bis sechs Jahre) aus 30 Schulen fand sich nach frühkindlichem Schwimmbadbesuch kein signifikant erhöhtes Risiko für Asthma, aber für Bronchiolitis (Leitsymptome: Fieber, leichter Husten) [10]. Wegen Schwankungen der Rückmelderate bei den einzelnen (Vor)schulen zwischen 20 und 90 % und anderer methodischer Schwächen ist die Aussagekraft dieser Studie als eingeschränkt zu bewerten.

Ein Zusammenhang der Asthmaprävalenz, der Sensibilisierungsraten gegen Hausstaub und andere luftgetragene Allergene und des ausgeatmetem Stickoxides mit der kumulierten Aufenthaltsdauer in Freibädern zeigte sich bei 847 belgischen Jugendlichen (Durchschnittsalter 15 Jahre) [11]. Aufgrund der hohen Flüchtigkeit von Trichloramin dürfte die Trichloramin-Konzentration in der Luft der Freibäder allerdings sehr niedrig gewesen sein [12]. In einer italienischen Studie an 241 Kindern im Alter von sieben bis zehn Jahren unterschied sich der Anteil an ausgeatmeten Stickstoffoxid zwischen Kindern mit regelmäßigem Schwimmbadbesuch (n = 100) und Kindern ohne regelmäßigen Schwimmbadbesuch (n = 141) nicht [13].

Eine Studie an 3223 spanischen Kindern im Alter von neun bis zwölf Jahren ergab für Kinder, die in den ersten beiden Lebensjahren ein Schwimmbad besucht hatten, im Vergleich mit Kindern, die erst ab vier Jahren mit dem Schwimmen begonnen hatten, ein geringeres Risiko für Asthma, Rhinitis oder allergische Rhinitis [12, 14].

Angesichts dieser widersprüchlichen Ergebnisse stellt sich die Frage nach der richtigen Untersuchungsmethodik, um belastbare Aussagen zu erhalten. Asthma ist eine multifaktorielle Erkrankung, bei der genetische Faktoren, Umweltfaktoren (unter anderem der Aufenthalt in einem Raucherhaushalt) und andere Einflussfaktoren eine Rolle spielen und damit als Störgrößen anzusehen sind. Zur Beurteilung einer Zusammenhangsannahme sind vor allem prospektive Geburtskohortenstudien besonders geeignet [15].

Die erste prospektive Geburtskohortenstudie umfasste 2192 Kinder aus vier Regionen in Deutschland, von denen im Alter von einem halben, einem, anderthalb, zwei, vier und sechs Jahren medizinische Befunde, sozioökonomische Daten (unter anderem Schulausbildung der Eltern) und Angaben zum Lebensstil erhoben wurden [16]. Im Alter von sechs Jahren wurde auch nach dem ersten Schwimmbadbesuch und zur Häufigkeit des Schwimmbadbesuchs im ersten Lebensjahr, im Alter von ein bis drei Jahren und drei bis sechs Jahren gefragt. Etwa ein Drittel der Kinder hatte im ersten Lebensjahr am sogenannten Babyschwimmen teilgenommen, bis zum Alter von drei Jahren hatten über 90 % der Kinder ein Schwimmbad besucht. Bis zum Alter von sechs Jahren hatte weniger als 1 % der Kinder niemals ein Schwimmbad aufgesucht. Für die Angaben zu Allergien, Asthma und Infektionen wurden die Eltern nach ärztlichen Diagnosen gefragt. Bei Kindern, die nicht im ersten Jahr am Babyschwimmen teilgenommen hatten, war im Alter von sechs Jahren etwa doppelt so häufig jemals Asthma diagnostiziert worden wie bei Kindern mit Schwimmbadbesuch im ersten Lebensjahr (OR: 2,35 (KI 95 %: 1,21–4,56), adjustiert für elterliche Atopie, elterliche Schulbildung und anderes).

Eine prospektive Longitudinalstudie zur gesundheitlichen Wirkung des Schwimmverhaltens wurde an einer britischen Geburtskohorte mit 5738 Kindern durchgeführt [17]. Das Schwimmverhalten der Kinder wurde im Alter von 6, 18, 38, 42, 57, 65 und 81 Monaten erfragt. Im

Alter von sieben und zehn Jahren wurden Angaben zu Asthma, allergischen Erkrankungen und möglichen Störgrößen mit dem ISAAC-Fragebogen erhoben. Diese Angaben wurden durch eine Spirometrie und einen Hautpricktest im Alter von sieben bis acht Jahren überprüft. Im Alter von sieben Jahren schwamm über die Hälfte der Kinder mindestens einmal die Woche. Kinder, die seit ihrer Geburt häufig ein Schwimmbad besucht hatten, hatten im Alter von sieben Jahren genauso häufig diagnostiziertes Asthma, aber signifikant weniger Asthmasymptome als Kinder mit geringem Schwimmbadbesuch (OR: 0,50 (KI 95 %: 0,28–0,87). Dieser Effekt trat nur bei den Kindern auf, die im Alter unter 3,5 Jahren giemende Atemgeräusche gezeigt hatten, und er zeigte sich nicht bei Kindern im Alter von zehn Jahren. Zehn Jahre alte Kinder mit einer Asthmadiagnose bis zum Alter von sieben Jahren hatten jedoch nach häufigem Schwimmbadbesuch signifikant weniger Asthmasymptome als Kindern mit geringem Schwimmbadbesuch (OR: 0,34 (KI 95 %: 0,14–0,80).

Insgesamt geben diese beiden Longitudinalstudien Hinweise, dass ein frühkindlicher Schwimmbadbesuch das Risiko der Entwicklung und Ausprägung von Asthma nicht erhöht, sondern es erniedrigt, also eher protektiv wirken könnte.

4.2 Lungenpermeabilität

Mehrere Studien gingen möglichen Auswirkungen einer Trichloramin-Exposition auf die Funktion von Lungenepithelzellen mithilfe von Biomarkern im Blut nach. Ausgewählt wurden hiervon das aus den Bronchiolen stammende Clara-Zell-16-kDa-Protein (CC16) sowie unter anderem alveoläre Surfactant-assoziierte Proteine (zum Beispiel SP-A, SP-B). Insbesondere das CC16 wird als potenzieller Indikator im Zusammenhang mit Asthma diskutiert. Sowohl asthmatische Kinder [18, 19] als auch Erwachsene mit Asthma [20] weisen im Vergleich zu Nicht-Asthmatikern signifikant niedrigere CC16-Konzentrationen im Serum auf. Dies wird darauf zurückgeführt, dass in den Atemwegen von Asthmatikern weniger CC16-sezernierende Epithelzellen vorhanden sind [21]. Die Anzahl der CC16-enthalten-

Zusammenfassung · Abstract

Bundesgesundheitsbl · 2011 · 54:997–1004
DOI 10.1007/s00103-011-1326-x
© Springer Verlag 2011

Gesundheitliche Bewertung von Trichloramin in der Hallenbadluft. Mitteilung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden

Zusammenfassung

Zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung setzt die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden Richtwerte für die Innenraumluft fest. Für eine gesundheitliche Bewertung von Trichloramin in der Hallenbadluft liegen nur wenige human- und tierexperimentelle Studien vor. Bei einem Kurzzeitaufenthalt von wenigen Stunden gegenüber 0,5 mg Trichloramin/m^3 berichteten Freizeitschwimmer keine Reizwirkung, wohl aber Leistungsschwimmer und Beschäftigte in Schwimmbädern bei wiederholter Exposition gegenüber 0,4 mg/m^3 und weniger. Nach Auffassung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe kann ein belastbarer LOAEL für Trichloramin in der Hallenbadluft beim gegenwärtigen Kenntnisstand nicht festgelegt werden. Tierexperimentelle Studien mit wiederholter inhalativer Exposition gegenüber Trichloramin fehlen. Die Datenlage lässt es entsprechend nicht zu, einen toxikologisch begründeten Richtwert für Trichloramin in der Innenraumluft abzuleiten.

Zum Schutz vor Reizwirkungen schlägt die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte deshalb vor, in Anlehnung an die geplante Schweizer Regelung den technisch möglichen Standard von 0,2 mg Trichloramin/m^3 einzuhalten. Dieser Wert wird durch den toxikologischen und epidemiologischen Kenntnisstand gestützt. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe hält die verbleibenden Unsicherheiten hinsichtlich der Bewertung der Reizwirkung von Trichloramin in der Luft für vertretbar: in großen prospektiven Geburtskohortenstudien zeigten sich bei Kindern mit Atopie oder Asthma, die im ersten Lebensjahr am Babyschwimmen teilgenommen haben, diesbezüglich keine nachteiligen Effekte im Hinblick auf Allergien oder Asthma, sondern eher Schutzeffekte.

Schlüsselwörter

Trichloramin · Innenraumluft · Hallenbad · Reizwirkung · LOAEL · Richtwert

Risk assessment of trichloramine in the air of indoor swimming pools

Abstract

The German Working Group on Indoor Guide Values of the Federal Environment Agency and the States´ Health Authorities is issuing indoor air guide values to protect public health. For risk assessment of trichloramine in the air of indoor swimming pools few human and animal studies are available. Following short time exposure of a few hours to 0.5 mg trichloramine/m^3, irritation was not reported by recreational swimmers, but occurred after repeated exposure up to 0.4 mg trichloramine/m^3 in competitive swimmers and lifeguards. In the opinion of the Working Group a valid LOAEL for trichloramine in swimming pool indoor air cannot be derived from current studies. Animal studies with repeated inhalative exposure to trichloramine are missing. Accordingly, a toxicologically based indoor air guide value for trichloramine cannot be established.

To protect the public against irritation from air in indoor swimming pools the Working Group recommends adopting the planned Swiss technical standard of 0.2 mg trichloramine/m^3 which is supported by toxicological and epidemiological data. The Working Group considers the remaining uncertainties regarding irritation by indoor air trichloramine tenable. Large prospective birth cohort studies indicate that swimming in first year of life did not increase the risk of atopy or asthma. On the contrary, swimming is associated with a decreased prevalence of asthma.

Keywords

Trichloramine · indoor air · indoor swimming pool · irritation · LOAEL · guide value

den Epithelzellen korreliert mit der CC16-Blutkonzentration [22].

CC16 wird physiologisch bei stärkerer körperlicher Anstrengung freigesetzt. Dabei wird angenommen, dass eine erhöhte Atemrate zu einem verstärkten Wasserverlust und dadurch zu einer Dehydration-induzierten Störung in den unteren Atemwegen führt, bei der von den Epithelzellen vermehrt CC16 abgegeben wird [23]. Eine vorübergehend erhöhte CC16-Konzentration im Blut oder Harn war weder mit einer nachweisbaren Schädigung der Atemwege noch mit Einschränkungen der Lungenfunktion verbunden [24, 25]. Referenzwerte für CC16 im Blut, Harn oder in der bronchioalveolären Lavage (BAL) fehlen, sodass keine Aussage dazu getroffen werden kann, wann ein Wert als erhöht oder erniedrigt anzusehen ist. Übliche CC16-Konzentrationen liegen im unteren µg/l-Bereich, zum Beispiel 2 bis 16 µg/l Serum [26], die Nachweisgrenze beträgt 0,02 µg/l [25].

Die CC16-Konzentration im Blut ist auch genetisch determiniert. Asthmatische Kinder oder Erwachsene vom Gentyp CC16-38A/38A wiesen signifikant niedrigere CC16-Konzentrationen im Blut auf als Kinder beziehungsweise Erwachsene vom 38A/38G oder 38G/38G-Gentyp [18, 20].

Bei 16 gesunden Kindern im Alter von fünf bis 14 Jahren und 13 Erwachsenen, beide Gruppen ohne Asthmasymptome oder eine vorangegangene Asthmadiagnose, ließen sich nach einer zweistündigen Exposition gegenüber 0,5 mg Trichloramin/m³ Hallenbadluft (eine Stunde außerhalb des Beckens, eine Stunde Schwimmen) keine signifikanten Veränderungen der CC16-Konzentration im Blut feststellen [27]. Hingegen stieg bei einzelnen Sportstudenten (Alter um 23 Jahre, N = 14) nach 45minütigem Schwimmen die CC16-Konzentration signifikant auf etwa 20 µg/l Serum an. Dieser Effekt trat sowohl in einem Schwimmbad mit Hypochlorit-Desinfektion (Trichloramin-Konzentration um 0,36 mg/m³ in der Hallenbadluft) als auch in einem Bad mit Kupfer-Silber-Desinfektion (Trichloramin-Konzentration unter der Nachweisgrenze von 0,02 mg/m³) auf [27]. Nach etwa einem halben Tag waren die erhöhten CC16-Konzentrationen auf den Ausgangswert zurückgesunken. In einer Folgestudie mit elf Freizeitsportlern (Alter um 22 Jahre) wurden nach 45minütigem Schwimmen weder in einem Hypochlorit-desinfizierten Schwimmbad (0,16 bis 0,28 mg Trichloramin/m³) noch in einem Bad mit Kupfer-Silber-Desinfektion (< 0,02 mg Trichloramin/m³) Änderungen der CC16-Konzentration beobachtet [28].

In einer weiteren Studie dieser Arbeitsgruppe an 224 Schulkindern im Alter von acht bis zwölf Jahren betrug der CC16-Gehalt 2,4 bis 18,7 µg/l Serum (Median 7,1) [9]. Ein Zusammenhang zwischen der gesamten Schulschwimmunterrichtszeit (basierend auf Angaben der Schulleitung) und Biomarkern im Serum ergab sich für CC16 nicht, jedoch für SP-A und SP-B.

Bei 43 Kindern, die am frühkindlichen Schwimmen unter zwei Jahren teilgenommen hatten, fand diese Arbeitsgruppe im Alter von zehn bis 13 Jahren eine signifikant niedrigere mittlere CC16-Konzentration von 8,0 µg/l (Standardabweichung 3,3) im Vergleich zu 298 Kindern ohne Teilnahme am frühkindlichen Schwimmen mit 10,4 µg/l (Standardabweichung 4,4) [29, 30]. Zur Abschätzung der Trichloramin-Konzentrationen in der Hallenbadluft wurden Angaben aus früheren Jahren (0,17 bis 0,54 mg Trichloramin/m³) herangezogen. Ausgeatmetes Stickoxid als Entzündungsparameter und IgE waren unauffällig. Wegen fehlender deskriptiver Angaben zum CC16 und zur tatsächlichen Exposition gegenüber Trichloramin lassen sich die Ergebnisse dieser Studie nicht abschließend bewerten.

Ein möglicher Zusammenhang zwischen CC16 sowie Biomarkern einer Entzündung der Atemwege (ausgeatmetes Stickoxid, 8 Cytokine) wurde in einer katalanischen Studie an 48 erwachsenen Schwimmern (Alter 18 bis 50 Jahre) geprüft [25]. Nach 40minütigem Schwimmen in gechlortem Wasser (Trichloramin-Konzentration: 0,17 bis 0,43 mg/m³ Hallenbadluft) stieg der Median der CC16-Konzentration geringfügig, aber signifikant von 6,0 auf 6,2 µg/l an, der Konzentrationsbereich von 3,9 bis 7,7 µg/l auf 4,6 bis 8,4 µg/l. Die Entzündungsmarker waren hingegen unverändert. Die Autoren sehen die CC16-Erhöhung ohne ein Entzündungskorrelat als durch die Schwimmanstrengungen hervorgerufen an.

4.3 Irritative Wirkung

16 gesunde Kinder im Alter von fünf bis 14 Jahren und 13 Erwachsene, beide Gruppen ohne Asthmasymptome oder eine vorangegangene Diagnose auf Asthma, gaben bei einer einmaligen zweistündigen Exposition gegenüber 0,5 mg Trichloramin/m³ in der Hallenbadluft keine Reizwirkungen an [27].

Beschäftigte, die sich am Tag der Trichloramin-Messung den ganzen Tag im Hallenbad ohne Kontakt zum Beckenwasser aufgehalten hatten, gaben ab 0,5 mg Trichloramin/m³ erste Reizbeschwerden an [3]. Ab 0,7 mg Trichloramin/m³ gaben alle Beschäftigten der 13 untersuchten Bäder Reizbeschwerden an. In keiner der beiden Studien wurden weitergehende Untersuchungen, zum Beispiel auf Zeichen einer Entzündung im Atemtrakt, durchgeführt.

Die Reizwirkung von Trichloramin in der Luft hängt möglicherweise nicht nur von der Expositionskonzentration, sondern auch von der Expositionsdauer ab. Es wurden 334 Beschäftigte in 63 Hallenbädern mit einer Aufenthaltsdauer bis zu acht Stunden pro Tag und fünf Tagen pro Woche, die überwiegend außerhalb des Wasserbereichs Aufsichtstätigkeiten nachgingen, untersucht [4]. Schon in der niedrigsten Expositionsgruppe unter 0,14 mg Trichloramin/m³ gaben 50 % beziehungsweise 12 % der Beschäftigten an, jemals eine Reizerscheinung an Auge oder Nase gehabt zu haben. Die vorgenannten Reizwirkungen nahmen dosisabhängig zu, korrelierten jedoch nicht mit chronischen Atemwegsymptomen oder Änderungen der Lungenfunktion. Die Ergebnisse lassen sich vor allem wegen des Fehlens einer nicht-exponierten Vergleichsgruppe nicht abschließend bewerten.

Leistungsschwimmer im Alter von acht bis 22 Jahren mit einer wöchentlichen Trainingszeit von mindestens fünf bis neun Stunden über im Mittel vier Jahre waren in sieben Hallenbädern Trichloramin-Konzentrationen von 0,26 bis 0,41 mg/m³ (Median 0,37), gemessen nahe der Wasseroberfläche, ausgesetzt [31].

Schwimmer mit einer mittleren Konzentration oberhalb des Medians gaben signifikant mehr Reizungen der oberen Atemwege an als Schwimmer mit einer mittleren Konzentration unterhalb des Medians.

In einer unveröffentlichten Schweizer Studie an 178 Beschäftigten in 30 Hallenbädern traten signifikant mehr Augen- und Nasenreizungen bei einer mittleren Konzentration von 0,37 mg Trichloramin/m^3 auf [5].

Die Reizwirkung von Trichloramin auf die Atemwege ist tierexperimentell belegt. Eine Abnahme der Atemfrequenz auf die Hälfte (RD_{50}) trat nach zehnminütiger Exposition männlicher OF1-Mäuse gegenüber 12 mg Trichloramin/m^3 auf und blieb über die gesamte Expositionsdauer von einer Stunde erhalten [32]. Eine weitere Studie an weiblichen C57 Bl/6-Mäusen mit 12 mg Trichloramin/m^3 über eine, zwei, vier oder acht Stunden bestätigte den RD_{50} [27]. Bei dieser Trichloramin-Konzentration stieg die Konzentration des Clara-Zell-16kDa-Proteins (CC16) im Serum innerhalb des untersuchten Zeitraums signifikant an, die CC16-Konzentration in der bronchioalveolären Lavage (BAL) nahm signifikant ab. Histopathologisch ergaben sich keine Hinweise auf eine Lungenzelltoxizität, auch die LDH-Konzentration in der BAL blieb unverändert. Nach vierstündiger Exposition bis zu 3,5 mg Trichloramin/m^3 zeigte sich keine Reizwirkung. Eine tierexperimentelle Studie mit wiederholter inhalativer Exposition gegenüber Trichloramin fehlt.

4.4 Geruchswahrnehmung

Die Geruchswahrnehmungsschwelle von Trichloramin in der Luft ist nicht bekannt.

5 Gesundheitliche Bewertung

Bei der Desinfektion von Badewasser mit Chlor beziehungsweise Hypochlorit bildet sich eine Vielzahl von Desinfektionsnebenprodukten [33]. Wegen ihrer geringen Wasserlöslichkeit und der daraus resultierenden hohen Flüchtigkeit ist vor allem die inhalative Exposition gegenüber Chloraminen, bei denen es sich zu etwa 90 % um Trichloramin handelt, und Trihalomethanen bedeutsam, da nur diese chlorierten Verbindungen in nennenswerter Menge in der Luft von Hallenbädern gefunden wurden (Trichloramin bis 2 mg/m^3, Trihalomethane bis 0,2 mg/m^3 [28, 34]). Zum Vorkommen von Chlor in der Hallenbadluft liegen keine systematischen Untersuchungen vor [34]. Bei üblichen pH-Werten des Schwimm- und Badebeckenwassers liegt Chlor, das sehr stark stechend riecht, in sehr niedrigen Konzentrationen vor, sodass eine relevante Luftbelastung durch Chlor nicht anzunehmen ist [35].

Reizwirkungen an Augen, Nase und im Atemtrakt beim Aufenthalt in Schwimmbädern werden vor allem dem Trichloramin zugeschrieben [34]. Irritative Wirkungen von Trihalomethanen im oberen Atemtrakt treten dagegen erst bei wesentlich höheren Konzentrationen in der Luft auf (zum Beispiel für Trichlormethan im Bereich von 10 bis 450 mg/m^3 [36]). Der Beitrag der Trihalomethane zur inhalativen Reizwirkung der Hallenbadluft wird deshalb als gering angesehen [3]. Zum Vorkommen weiterer potenziell reizender Desinfektionsnebenprodukte in der Hallenbadluft liegen keine ausreichenden Angaben vor [33].

Während die Reizwirkung von Trichloramin gut belegt ist, wird seit über einem Jahrzehnt eine Exposition gegenüber Trichloramin in der Hallenbadluft auch mit einem erhöhten Asthmarisiko in Verbindung gebracht. Asthma ist eine multifaktorielle Erkrankung, bei der genetische Faktoren, Umweltfaktoren (unter anderem der Aufenthalt in einem Raucherhaushalt) und andere Einflussfaktoren eine Rolle spielen und damit als Störgrößen anzusehen sind.

Gut untersucht ist der genetische Einfluss unter anderem auf die CC16-Konzentration im Blut, das als ein möglicher Indikator eines erhöhten Asthmarisikos diskutiert wird. Die CC16-Konzentration von Asthmatikern liegt signifikant niedriger als jene von Personen ohne Asthma [18]. Homozygote Träger eines CC16-38A-Allels weisen signifikant niedrigere CC16-Blutkonzentrationen auf als homozygote CC16-38G oder heterozygote Träger [zum Beispiel 18].

Erhöhte CC16-Konzentrationen im Blut werden allgemein als ein Schutzmechanismus angesehen [23] und vor allem sportlichen Anstrengungen zugeschrieben, da dieser Effekt unabhängig von der Desinfektionsmethode (Chlor oder Kupfer-Silber) auftrat. Nur in einer Studie wurde eine erniedrigte CC16-Blutkonzentration beobachtet. Insgesamt ist die Datenlage widersprüchlich.

Auch die Studienergebnisse zu einem möglichen Einfluss von Trichloramin in der Hallenbadluft beziehungsweise allgemeiner der Chlorung von Badebeckenwasser auf das Asthmarisiko sind derzeit nicht eindeutig. Zur Abklärung dieser Fragestellung bedarf es nach Auffassung von Konsensuskonferenzen [zum Beispiel 15, 37] vor allem prospektiver Geburtskohortenstudien. Die beiden einzigen prospektiven Longitudinalstudien [16, 17] legen insgesamt nahe, dass ein frühkindlicher Schwimmbadbesuch sowohl vor der Entwicklung als auch vor der Ausprägung von Asthma eher schützen könnte.

5.1 Einstufungen / Regelungen

In der EU ist Trichloramin nicht eingestuft und ein Arbeitsplatzgrenzwert bisher nicht festgelegt worden.

Zum Schutz der Bevölkerung hat die Weltgesundheitsorganisation einen vorläufigen Leitwert von 0,5 mg Trichloramin/m^3 vorgeschlagen [34]. Dieser Leitwert basiert auf subjektiven Angaben zur Reizwirkung der Studie von Hery et al. (1995) [3].

In der Schweiz ist die Einführung einer technischen Regel (Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein – SIA) in Höhe von 0,2 mg Trichloramin/m^3 vorgesehen. Diese neuere Planung basiert auf Erkenntnissen einer unveröffentlichten Studie [5], in der bei Konzentrationen um 0,4 mg Trichloramin/m^3 noch Reizwirkungen bei Beschäftigten in Schweizer Hallenbädern beobachtet wurden und auf der Beobachtung, dass ein Wert von 0,2 mg Trichloramin/m^3 in der Luft der meisten Hallenbäder unterschritten wird.

5.2 Bewertung der Datenlage zur Ableitung von Richtwerten für Trichloramin in der Hallenbadluft

Gemäß Basisschema [38] stellt die niedrigste beobachtete nachteilige Wirkungskonzentration (lowest observed adverse

effect level – LOAEL) den Ausgangspunkt der Ableitung von Richtwerten dar.

Eine Trichloramin-Konzentration, die nach Kurzzeitexposition über wenige Stunden zu eindeutig nachteiligen gesundheitlichen Wirkungen führt, ist nicht bekannt. Bei einem Aufenthalt von zwei Stunden pro Woche im Schwimmbad mit Trichloramin-Konzentrationen in der Hallenbadluft bis 0,5 mg/m³ berichteten (Vor)Schulkinder und junge Erwachsene keine Reizwirkungen [27).

Leistungsschwimmer mit einer mehrjährigen Trainingszeit von mindestens fünf bis neun Stunden pro Woche gaben bei einer mittleren Konzentration oberhalb von 0,37 mg Trichloramin/m³ (gemessen nahe der Wasseroberfläche) signifikant mehr Reizungen der oberen Atemwege an als Schwimmer mit einer mittleren Konzentration unterhalb dieses Wertes [31].

Nach Langzeitexposition gaben Schwimmbadbeschäftigte mit ausschließlich inhalativer Exposition gegenüber Trichloramin ab 0,5 mg/m³ erste Beschwerden und ab 0,7 mg/m³ durchweg Reizbeschwerden an [3]. In der Studie von Massin et al. (1998) [4] nahm die Prävalenz von Augen-, Nasen und Rachenreizungen im Vergleich zur niedrigsten exponierten Gruppe (< 0,14 mg Trichloramin/m³) dosisabhängig zu; diese Angaben können jedoch wegen der fehlenden Kontrollgruppe nicht abschließend bewertet werden. In einer unveröffentlichten Schweizer Studie an 178 Beschäftigten in 30 Hallenbädern traten signifikant mehr Augen- und Nasenreizungen bei einer mittleren Konzentration von 0,37 mg Trichloramin/m³ auf [5].

Angesichts des dargestellten Kenntnisstandes geht die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte davon aus, dass die niedrigste beobachtete nachteilige Wirkungskonzentration bei wiederholter Exposition um 0,4 mg Trichloramin/m³ liegt. Allerdings wurden in keiner der genannten Studien weitergehende Untersuchungen, zum Beispiel auf Zeichen einer Entzündung im Atemtrakt, durchgeführt, sodass die Frage der Adversität der Reizwirkung bei dieser Trichloramin-Konzentration nicht abschließend bewertet werden kann. Nach Auffassung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe kann deshalb ein belastbarer LOAEL für Trichloramin in der Hallenbadluft beim gegenwärtigen Kenntnisstand nicht abschließend festgelegt werden. Die Datenlage lässt es entsprechend auch nicht zu, einen toxikologisch begründeten Richtwert für die Innenraumluft abzuleiten.

5.3 Empfehlung

Zum Schutz vor Reizwirkungen schlägt die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte deshalb vor, in Anlehnung an die geplante Schweizer Regelung den technisch möglichen Standard von 0,2 mg Trichloramin/m³ einzuhalten. Dieser Wert wird durch den oben dargestellten toxikologischen Kenntnisstand gestützt. Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe hält die verbleibenden Unsicherheiten hinsichtlich der Bewertung der Reizwirkungen von Trichloramin in der Luft für vertretbar, zumal sich bei Kindern mit Atopie oder Asthma, die im ersten Lebensjahr am Babyschwimmen teilgenommen haben, in den prospektiven Studien diesbezüglich keine eindeutigen nachteiligen Effekte in Hinblick auf Allergien oder Asthma, sondern eher Schutzeffekte zeigten.

Diese Empfehlung steht in Übereinstimmung mit einer Stellungnahme des Berufsverbandes der Kinder- und Jugendärzte, nach der frühkindliche Bewegungsspiele in ordnungsgemäß gewarteten Badewasserbecken uneingeschränkt empfohlen werden, um eine frühe Gewöhnung ans Wasser und daraus folgend in späteren Jahren eine höhere Rate von Kindern zu erreichen, die das Schwimmen erlernen [39].

Nach Ansicht der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte soll der vorgeschlagene technische Standard für Trichloramin in der Hallenbadluft vor allem als Zielgröße dienen. Zu deren Einhaltung und nach Möglichkeit sicheren Unterschreitung sollte der obere Wert für den Summenparameter gebundenes Chlor im Beckenwasser, der das Trichloramin miterfasst, regelmäßig überprüft und eingehalten werden. Dazu sollte der Eintrag von Vorläuferstoffen in das Beckenwasser gesenkt, der vorgeschriebene Füllwasserzusatz regelmäßig vorgenommen und/oder die Luftwechselrate der Hallenbadluft optimiert werden. Die konkrete Auswahl und Festlegung geeigneter Parameter obliegt den für die Badebeckenwasserqualität zuständigen Bund-Ländergremien.

Anmerkungen

Diese Mitteilung wurde von Dr. Helmut Sagunski und Dr. Ludwig Müller mit Beiträgen von Christoph Baudisch, Dr. Hermann Fromme, Dr. Birger Heinzow, Dr. Fritz Kalberlah, Dr. Friederike Neisel, Dr. Ulrike Schuhmacher-Wolz, Dr. Ernst Stottmeister und Dr. Jutta Witten erstellt und im Februar 2011 von der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte verabschiedet.

Die Literaturrecherche wurde im Dezember 2010 abgeschlossen.

Literatur

1. Schumacher-Wolz U, Kalberlah F (2010) Stoffsammlung und Textentwurf für die Ableitung von Kurzzeit-Richtwerten für die Innenraumluft für Trichloramin. Dezember 2010. Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe GmbH, Freiburg. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.
2. Jessen HJ (1986) Chloraminkonzentration in der Raumluft von Hallenbädern. Z gesamte Hyg 32:180–181
3. Hery M, Hecht G, Gerber JM (1995) Exposure to chloramines in the atmosphere of indoor swimming pools. Ann Occup Hyg 39:427–439
4. Massin N, Bohadana AB, Wild P et al. (1998) Respiratory symptoms and bronchial responsiveness in lifeguards exposed to nitrogen trichloride in indoor swimming pools. Occup Environ Med 55:258–263
5. Parrat J (2009) Trichloramin-Exposition für Berufstätige in Schwimmbädern – Situation in drei Schweizer Kantonen. Vortrag Dessau 2.–3.3.2009
6. Stottmeister E, Voigt K (2006) Trichloramin in der Hallenbadluft. Archiv des Badewesens 3:158–162
7. DGUV (2009) Trichloramin in Bädern. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. Unter: http://www.dguv.de/inhalt/praevention/themen_a_z/gefahrstoffe/trichloramin_97537.pdf
8. BY-LGL (2009) Stickstofftrichlorid in der Hallenbadluft. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. LGL Jahresbericht 2009: 117–118
9. Bernard A, Carbonnelle S, Michel O et al. (2003) Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren: unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated swimming pools. Occup Environ Med 60:385–394
10. Voisin C, Sardella A, Marcucci F, Bernard A (2010) Infant swimming in chlorinated pools and the risks of bronchiolitis, asthma and allergy. Eur Respir J 36:41–47
11. Bernard A, Nickmilder M, Voisin C (2008) Outdoor swimming pools and the risks of asthma and allergies during adolescence. Eur Respir J 32:979–988

12. Font-Ribera L, Villanueva CM, Zock J et al. (2008) Lifetime swimming pool attendance, asthma, eczema and respiratory symptoms in school-age children. Epidemiology 19:S141
13. Carraro S, Pasquale MF, Da Fré M et al. (2006) Swimming pool attendance and exhaled nitric oxide in children. J Allergy Clin Immunol 118: 958–960
14. Font-Ribera L, Kogevinas M, Zock JP et al. (2009) Swimming pool attendance and risk of asthma and allergic symptoms in children. Eur Respir J 34:1304–1310
15. Weisel CP, Richardson SD, Nemery B et al. (2009) Childhood asthma and environmental exposures at swimming pools: state of the science and research recommendations. Environ Health Perspect 117:500–507
16. Schoefer Y, Zutavern A, Brockow I et al. (2008) Health risks of early swimming pool attendance. Int J Hyg Environ Health 211:367–373
17. Font-Ribera L, Villanueva CM, Nieuwenhuijsen MJ et al. (2011) Swimming pool attendance, asthma, allergies and lung function in the ALSPAC cohort. Am J Respir Crit Care Med 183:582–588
18. Laing IA, Hermans C, Bernard A et al. (2000) Association between plasma CC16 levels, the A38G polymorphism, and asthma. Am J Resp Crit Care Med 161:124–127
19. Gioldassi XM, Papadimitriou H, Mikraki V, Karamanos NK (2004) Clara cell secretory protein: determination of serum levels by an enzyme immunoassay and its importance as an indicator of bronchial asthma in children. J Pharm Biomed Anal 34:823–826
20. Candelaria PV, Backer V, Laing IA et al. (2005) Association between asthma-related phenotypes and the CC16 A38G polymorphism in an unselected population of young adults Danes. Immunogenetics 57:25–32
21. Shijubo N, Ito Y, Yamaguchi T, Abe S (2000) Development of an enzyme-linked immunosorbent assay for Clara cell 10-kDa protein: in pursuit of clinical significance of sera in patients with asthma and sarcoidosis. Ann N Y Acad Sci 923:268–279
22. Shijubo N, Ito Y, Yamaguchi T et al. (1999) Clara cell protein-positive epithelial cells are reduced in small airways of asthmatics. Am J Respir Crit Care Med 160:930–933
23. Bolger C, Tufvesson E, Sue-Chue M et al. (2010) Hyperpnoea-induced bronchoconstriction and urinary CC16 levels in athlets. Med Sci Sports Exerc. Epub Dec 1
24. LaKind JS, Holgate ST, Ownby DR et al. (2007) A critical review of the use of Clara cell secretory protein (CC16) as a biomarker of acute or chronic pulmonary effects. Biomarkers 12:445–467
25. Font-Ribera L, Kogevinas M, Zock JP et al. (2010) Short-term changes in respiratory biomarkers after swimming in a chlorinated pool. Environ Health Perspect 118:1538–1544
26. Lagerkvist BJ, Bernard A, Blomberg A et al. (2004) Pulmonary epithelial integrity in children: relationship to ambient ozone exposure and swimming pool attendance. Environ Health Perspect 112:1768–1771
27. Carbonnelle S, Francaux M, Doyle I et al. (2002) Changes in serum pneumoproteins caused by short-term exposures to nitrogen trichloride in indoor chlorinated swimming pools. Biomarkers 7:464–478
28. Carbonnelle S, Bernard A, Doyle IR et al. (2008) Fractional exhaled NO and serum pneumoproteins after swimming in a chlorinated pool. Med Sci Sports Exerc 40:1472–1476
29. Bernard A, Nickmilder M (2006) Respiratory health and baby swimming. Arch Dis Child 91:620–621
30. Bernard A, Carbonnelle S, Dumont X, Nickmilder M (2007) Infant swimming practice, pulmonary epithelium integrity, and the risk of allergic and respiratory diseases later in childhood. Pediatrics 119:1095–1103
31. Lévesque B, Duchesne JF, Gingras S et al. (2006) The determinants of prevalence of health complaints among young competitive swimmers. Int Arch Occup Environ Health 80:32–39
32. Gagnaire F, Azim S, Bonnet P et al. (1994) Comparison of the sensory irritation response in mice to chlorine and nitrogen trichloride. J Appl Toxicol 14:405–409
33. Richardson SD, DeMarini DM, Kogevinas M et al. (2010) What´s in the pool? A comprehensive identification of disinfection by-products and assessment of mutagenicity of chlorinated and brominated swimming pool water. Environ Health Perspect 118:1523–1529
34. WHO (2006) Guidelines for Safe Recreational Water Environments. Vol. 2. Swimming Pools and Similar Environments. World Health Organization, Geneva
35. Stottmeister E (2011) Mitteilung des UBA vom 28.02.2011
36. DFG (1999) Chloroform. Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten, Loseblattsammlung, 28. Lfg. Greim H (1999). Deutsche Forschungsgemeinschaft. WILEY-VCH Verlag, Weinheim
37. Bacharier LB, Boner A, Carlsen KH et al. (2008) Diagnosis and treatment of asthma in childhood: a PRACTALL consensus report. Allergy 63:5–34
38. Ad-hoc-AG IRK/AGLMB (1996) Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Bundesgesundheitsbl 39:422–425
39. BVKJ (2011) Wenn Babyschwimmen – dann richtig. Panikmache nicht angebracht. Pressemeldung des Berufsverbandes der Kinder- und Jugendärzte (BVKJ e.V.) vom 11.01.2011. Unter: http:// www.kinderaerzte-im-netz.de

Hier steht eine Anzeige.

Springer