

Trichloramin im Schwimm- und Badebeckenwasser

Dr. Ernst Stottmeister

***Umweltbundesamt
Dienstgebäude Bad Elster
Fachgebiet II 3.2
Heinrich-Heine-Str. 12
08645 Bad Elster
Tel.: 037437-76246
Email: ernst.stottmeister@uba.de***

Infektionsschutzgesetz

Infektionsschutzgesetz § 37, Abs. 2 fordert u.a.:

Schwimm- und Badebeckenwasser in öffentlichen Bädern oder Gewerbebetrieben muss so beschaffen sein, dass durch seinen Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit insbesondere durch Krankheitserreger nicht zu befürchten ist



Desinfektion durch Chlorung:

Begrenzung der Mikroorganismen durch Abtötung und Inaktivierung

Was passiert bei der Chlorung?

- nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (DIN 19643) einsetzbar :
 - Chlorgas (Cl_2)
 - Natriumhypochlorit (NaOCl)
 - Calciumhypochlorit (Ca(OCl)_2)
- bilden im Wasser **hypochlorige Säure (HOCl)** und Hypochlorit (OCl^-)
- Hauptreaktionstypen von HOCl :
 - Reaktionen mit Mikroorganismen (Desinfektion)
= erwünscht
 - Oxidation (Abbau v. Verschmutzungsstoffen - z.B. Haare, Hautschuppen, Schweiß, Speichel, etc.)
= erwünscht
 - Substitution am Stickstoff und Kohlenstoff
= unerwünscht, Desinfektionsnebenprodukte
 - Addition an Doppelbindungen
= unerwünscht, Desinfektionsnebenprodukte

Was sind Desinfektionsnebenprodukte (DNP)?

**DNP = unerwünschte chemische Verbindungen,
die bei der Desinfektion (Chlorung) von Wasser gebildet werden**

Beispiele für Schwimm- und Badebeckenwasser

- gebundenes Chlor (Chloramine, darunter **Trichloramin**)
- Trihalogenmethane (Chloroform etc.)
- Haloessigsäuren
- Haloacetonitrile
- Chlorpikrin
- Chlorit
- usw.

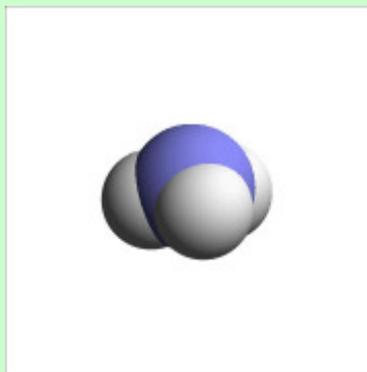
Gebundenes Chlor - Definition

Derivate (Abkömmlinge) des Ammoniaks, bei denen ein, zwei oder drei Wasserstoffatome durch Chloratome substituiert wurden (Monochloramin NH_2Cl , Dichloramin NHCl_2 , **Trichloramin NCl_3**) und alle chlorierten Derivate von organischen Stickstoffverbindungen.

Quelle: EN ISO 7393-2, Ausgabe: 2000-04

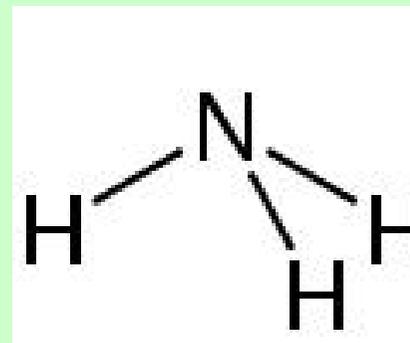
Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von freiem Chlor und Gesamtchlor

Teil 2: Kolorimetrisches Verfahren mit N,N-Diethyl-1,4-Phenylendiamin für die Routine.



 H – Wasserstoff

 N - Stickstoff



Warum ist Trichloramin unerwünscht?

Grund: negative Eigenschaften des Trichloramins

- extremer sensorischer Reizstoff
(Augen, Nase, Rachen, Bronchien)
- intensiver, chlorähnlicher Geruch
- leicht flüchtig, geht sehr schnell aus dem Wasser aus
 **Hauptaufnahme-pfad: Atmung**
- steht im Verdacht, Asthma auszulösen

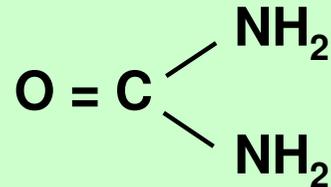
Bildung des Trichloramins

Ursache:

Eintrag von **Harnstoff** in das Schwimm- und Badebeckenwasser (Haut, Urin, Schweiß) durch Badegäste

Was ist Harnstoff?

- „Abfallstoff“, kristallines, geruchloses Endprodukt des Eiweißabbaus beim Menschen

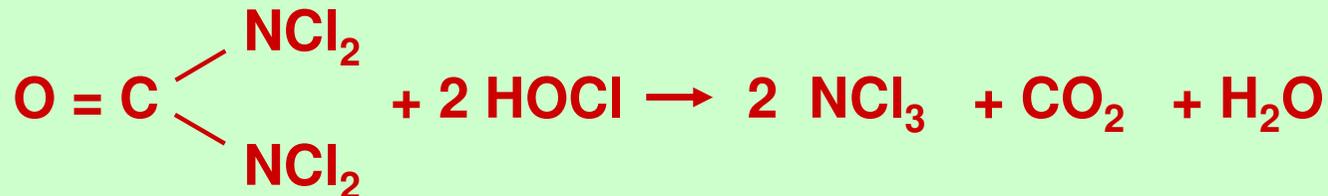


- wird zu ca. 90 % über die Nieren (Urin) ausgeschieden, der Rest mit Schweiß und Darmsekreten

Bildung des gebundenen Chlors / Trichloramins

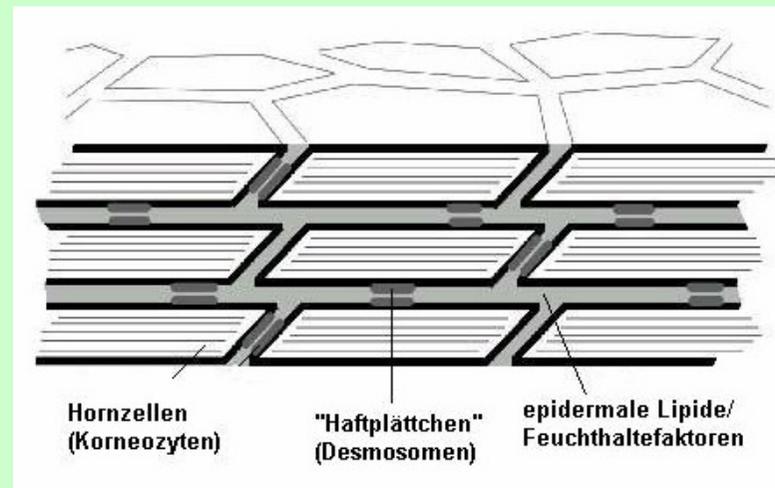
Bildungsmechanismus

- bis heute nicht endgültig geklärt
- Harnstoff $\xrightarrow{\text{Chlorung}}$ Chloramine des Harnstoffs



Harnstoffquelle Haut

- Mensch in Haut „eingepackt“ (ca. 1,5 - 2 m² Fläche)
- besteht aus verschiedenen Schichten (Oberhaut, Lederhaut, Unterhaut)
- äußere Schicht der Oberhaut (Epidermis) = Hornschicht:



- Zusammensetzung der Lipidschicht reguliert Wasserbindungsvermögen/-gehalt der Hornschicht (Elastizität)

Enthalten sind: **Harnstoff** ($8 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \triangleq 0,16 \text{ g}/2 \text{ m}^2$)
epidermale Lipide
Aminosäuren

Harnstoffquellen Urin und Schweiß

- **Harnstoff = Inhaltsstoff von Urin und Schweiß**

	Urin g/l	Schweiß g/l
Harnstoff	21,9	1,5

- **Urinabgabe/Schwimmschüler: 23 ml
(anonyme Befragung v. 1310 Schülern)**

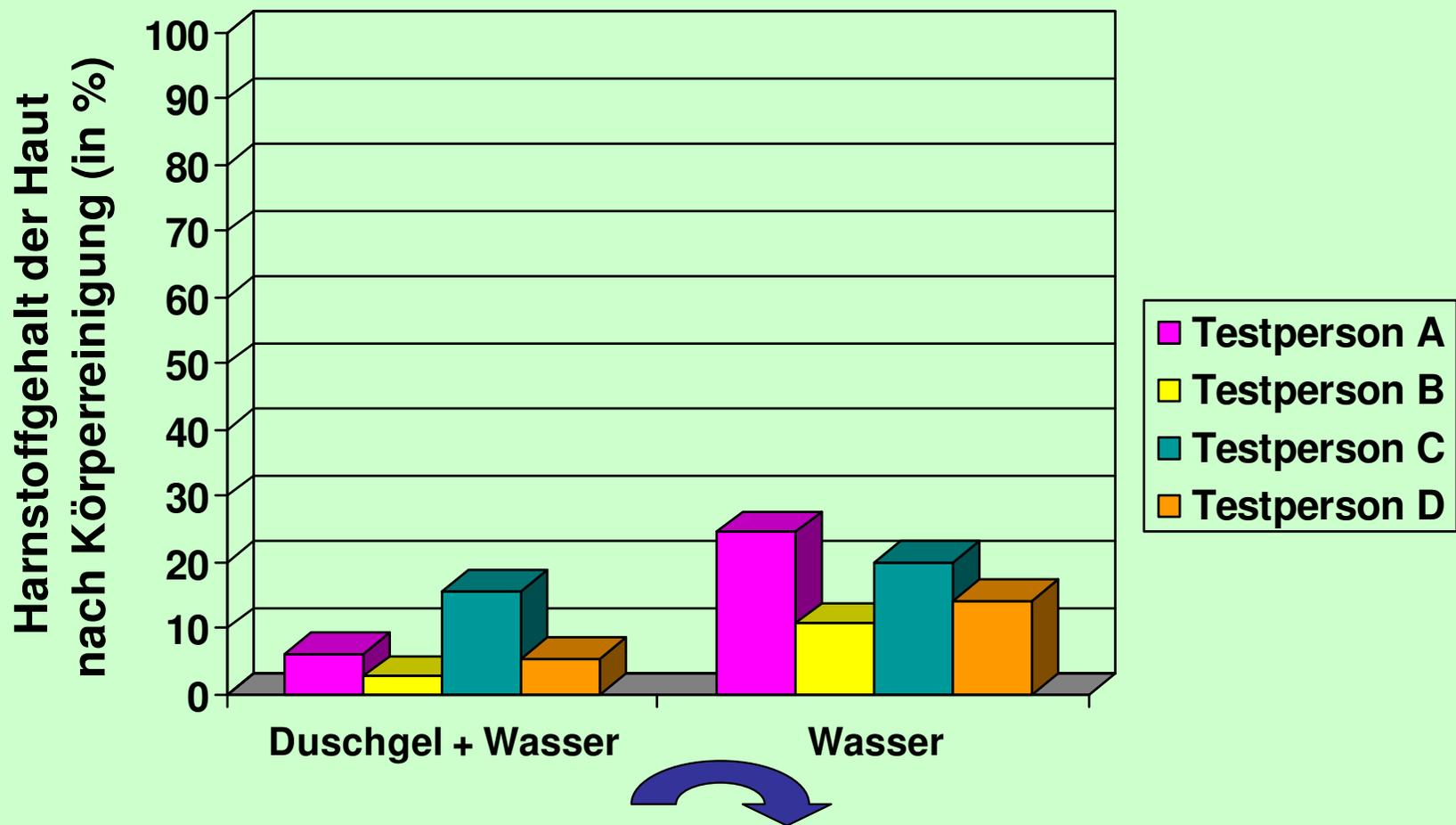
Quelle: K. Gunkel u. H.-J. Jessen, Z. gesamte Hyg. 34 (1988) Heft 4

 **0,5 g Harnstoff/Schwimmschüler → Beckenwasser**

- **Schweißabgabe/Schwimmer/Stunde: 950 ml (Consolazia et al.)**

 **1,4 g Harnstoff/Schwimmer/Stunde → Beckenwasser
(Harnstoff [Haut]: 0,16 g/Badegast)**

Körperreinigung und Harnstoffgehalt der Haut



Harnstoffentfernung:
84 – 97 % (Duschgel + Wasser)
75 – 89 % (Wasser)

Ausgasen des Trichloramins

Henry-Konstante (H) gibt Verteilung eines Gases zwischen Luft und Wasser im Gleichgewicht an

$$H = \frac{\text{mg Gas/l Luft}}{\text{mg Gas/l Wasser}} \quad (\text{im Gleichgewicht, bei } T = \text{konstant})$$

- je kleiner H um so löslicher ist der Stoff im Wasser
- je größer H um so besser/schneller gast der Stoff aus

Stoff	H ¹⁾
HClO	0,069
NH ₂ Cl	0,45
NHCl ₂	1,52
NCI₃	435

¹⁾ nach Holzwarth et al.

-  Trichloramin „fühlt sich“ in der Luft 966 mal „wohler“ als Monochloramin und 286 mal „wohler“ als Dichloramin
-  hauptverantwortlich für Hallenbadgeruch

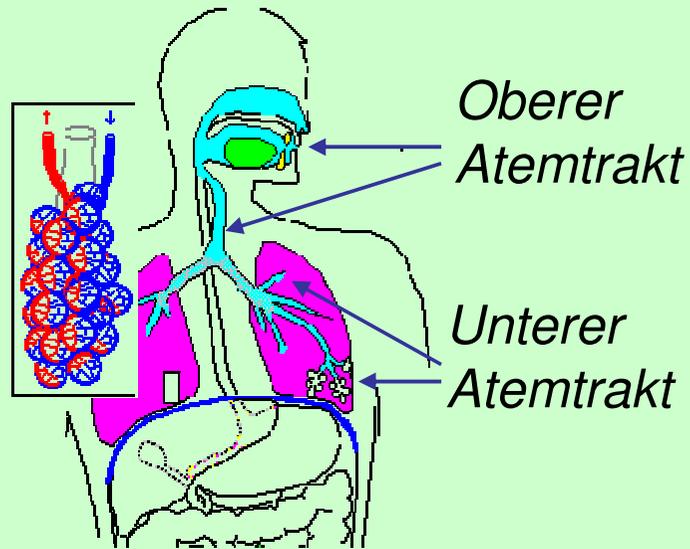
Ausgasen des Trichloramins



Ausgasen des Trichloramins



Hypothese zur Asthma-Auslösung



Agens: Trichloramin
(gering wasserlöslich)



Eindringen bis in *unteren*
Atemtrakt



Schädigung des Lungenepithels



Lungenepithel wird durchlässiger



Allergene können leichter
Asthmaattacken provozieren

Trichloramin in der Hallenbadluft - Veranlassung -

Trichloramin-Messungen in der Hallenbadluft durch das Umweltbundesamt seit 1999 (vorsorglich)

- Gründe:**
- **Hypothese belgischer Wissenschaftler zur Asthma-Auslösung**
 - **keine Daten für deutsche Bäder**
 - **Messwerte und Grundlage für toxikologische Bewertung vom französischen Arbeitsschutzinstitut (INRS) publiziert
(vorgeschlagener MAK-Wert $\leq 0,5 \text{ mg/m}^3$)**

**Messmethode: Methode des INRS vom UBA übernommen
(soll Vergleichbarkeit der Messdaten gewährleisten)**

Ausgewählte Ergebnisse (1)

Trichloramin in der Hallenbadluft und gebundenes Chlor im Schwimm- und Badebeckenwasser

Nr.	Badtyp	Trichloramin mg/m ³	Chloramine (als gebundenes Chlor) mg/l Cl ₂
1	Erlebnisbad	0,13	0,07
2	Erlebnisbad	0,16	0,13
3	Erlebnisbad	0,37	0,80
4	Erlebnisbad	2,20	0,12
5	Hallenbad	18,80	0,25
6	Therapiebad	0,19	0,01
7	Therapiebad	0,14	0,05
8	Bewegungsbad	0,05	0,03

Richtwerte: $\leq 0,5$ mg/m³ (Trichloramin)
 $\leq 0,2$ mg/l (gebundenes Chlor)

Ausgewählte Ergebnisse (2)

Einfluss der Hallenbadbelüftung

Außenluftanteil %	Konzentration NCl_3 in der Luft mg/m^3	gebundenes Chlor mg/l
0	0,52	0,15
30	0,37	0,15

Ausgewählte Ergebnisse (3)

Diskussion:

- **kein direkter** Zusammenhang Trichloramin in der Luft/gebundenes Chlor im Beckenwasser
Grund: Einflussfaktor Badbelüftung
- DIN-gerechter Gehalt an gebundenem Chlor bedingt **nicht automatisch** aus gesundheitlicher Sicht tolerierbare Trichloramin-Konzentration der Luft
- ausreichende Hallenbadbelüftung (Verdünnung) notwendig

Reduzierung der Exposition - Maßnahmen -



Minimierung des Harnstoffs im Beckenwasser

- **Mithilfe der Badbesucher (Waschen und Duschen, Benutzung der Toilettenanlagen)**
- **Verdünnung mit Füllwasser (30 l pro d und Badegast nach DIN 19643)**
- **Wasseraufbereitung z. B. Ozonung, Photooxidation**



**Lufterneuerung nach VDI – Richtlinie 2089 Blatt 1
≥ 30 % Außenluftanteil bei max. Hallennutzung
(Attraktionen z.B. Wasserfälle, Whirlpools – in Betrieb)**



**Optimierung der Aufbereitungstechnik
(Eliminierung von NCl_3 im Wasser durch z. B. A-Kohle, Ozon)**

Laufende Projekte

- **Richtigkeit der Asthma-Hypothese wird z.Zt. überprüft
(gemeinsames Forschungsprojekt UBA/Universität Karlsruhe)**
- **deutschlandweites Messprogramm (2006/2007) in 105 Bädern,
Federführung: Bundesverband der Unfallkassen,
Ergebnisbericht: voraussichtlich Juni 2008
u.a. Beantwortung der Frage: Wie hoch ist die personen-
bezogene Belastung des
Badpersonals?**
- **Badewasserkommission des BMG erarbeitet Empfehlung zum
Babyschwimmen**
- **Forschungsprojekt „Untersuchung zur Belastung von Hallenbadluft mit
Trichloramin“ des Bayerischen Landesamtes für Gesundheit und
Lebensmittelsicherheit
Schwerpunkt: Thermalbäder, Belastung des Badpersonals**

Dem Trichloramin einen



vorschieben!

Vielen Dank
für
Ihre Aufmerksamkeit