

Sundhedsmæssig vurdering af frit og bundet klor og trihalomethaner i bassin vandet i svømmebade

Pernille Borling, Karl-Heinz Cöhr, Eva Høy Engelund
og Jette Rud Larsen

Dansk Toksikologi Center

Miljøprojekt **Nr. 1078** 2006

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 INDLEDNING	11
2 TOKSIKOLOGISKE PROFILER	13
2.1 FRIT CHLOR	13
2.1.1 Korttidsvirkninger	14
2.1.2 Langtidsvirkninger	15
2.1.3 Sammenfatning af frit chlors toksikologi	16
2.1.4 Kritisk effekt og dosis	17
2.2 BUNDET CHLOR - CHLORAMINER	18
2.2.1 Korttidsvirkninger	18
2.2.2 Langtidsvirkninger	19
2.2.3 Sammenfatning af chloramins toksikologi	21
2.2.4 Kritisk effekt og dosis	22
2.3 TRIHALOMETHANER	22
2.3.1 Korttidsvirkninger	23
2.3.2 Langtidsvirkninger	24
2.3.3 Sammenfatning af trihalomethaners toksikologi	26
2.3.4 Kritisk effekt og dosis	27
2.4 KRITISKE DOSER OG EFFEKTER	28
3 RISIKOVURDERING	31
3.1 MODELPERSONER	31
3.1.1 Børn	31
3.1.2 Voksne	32
3.1.3 Modelpersoner	32
3.2 EKSPONERINGSFORHOLD	33
3.3 EKSPONERINGSSCENARIER	34
3.3.1 Eksponeringsscenarier for børn	35
3.3.2 Eksponeringsscenario for voksne	36
3.3.3 Sammenfatning af dosisberegninger	37
3.3.4 WHO's risikovurdering	38
3.3.5 Konklusion	39
4 LITTERATUR	43

Bilag A

Forord

Dansk Toksikologi Center (DTC) har for Miljøstyrelsen foretaget en sundhedsmæssig vurdering af de kemiske stoffer frit chlor, bundet chlor og trihalomethaner, samt foretaget en sammenstilling af de forskellige værdier for frit chlor, bundet chlor og trihalomethaner i svømmebadsvand - nuværende og foreslåede værdier - med de værdier, der er fremkommet ved den sundhedsmæssige vurdering.

Projektet har fået titlen "Sundhedsmæssig vurdering af frit chlor, bundet chlor og trihalomethaner, der dannes ved desinfektion af bassinvandet i svømmebade".

Projektet er udført af cand. scient. Pernille Borling, civ. ing. Eva Høy Engelund, cand. pharm. Jette Rud Larsen og cand. scient. Karl-Heinz Cohr med sidstnævnte som projektleder.

Projektet er fulgt af en følgegruppe bestående af Linda Bagge, Miljøstyrelsen; Ole Mygind, Sundhedsstyrelsen; Karl-Heinz Cohr og Eva Høy Engelund, DTC.

Sammenfatning og konklusioner

Chlor i form af chlogas eller natriumhypochlorit anvendes til desinfektion af svømmebadsvand i Danmark. Disse stoffer reagerer med kemiske stoffer i bassinvandet, bl.a. forureninger fra de badende (f.eks. urin, sved og hudskæl) og danner en række biprodukter. En del af disse biprodukter er sundhedsskadelige i høje koncentrationer. I kontrollen med bassinvandet inddeles biprodukterne i tre grupper, frit chlor, bundet chlor og trihalomethan. Frit chlor omfatter chlogas og hypochlorit; bundet chlor omfatter uorganiske og organiske chloraminer; og trihalomethan er en fællebetegnelse for de fire stoffer chloroform, bromdichlormethan, dibromchlormethan og bromoform.

I denne rapport vurderes det, om de gældende danske værdier for frit chlor, bundet chlor og trihalomethan i bassinvand i danske svømmebade udgør en sundhedsrisiko for badegæsterne. Monochloramin er benyttet som repræsentant for chloraminer, bl.a. fordi der ikke er tilstrækkeligt datagrundlag for andre chloraminer. Chloroform og til dels bromdichlormethan er benyttet som repræsentant for trihalomethan, fordi det forekommer i højeste koncentration.

For hver af de tre stofgrupper er udarbejdet en toksikologisk profil. Ved udarbejdelsen af de toksikologiske profiler er der taget udgangspunkt i monografier, som er udarbejdet af anerkendte institutioner, bl.a. US-EPA (IRIS), US-NLM (HSDB), IARC, WHO (badevands- og drikkevands-guidelines og Environmental Health Criteria). Derudover er benyttet videnskabelige artikler og forskningsrapporter. De toksikologiske profiler er opbygget i fire hovedafsnit; korttidsvirkninger, langtidsvirkninger, en sammenfatning af toksikologien, og en udredning af de kritiske effekter og doser for korttidsvirkninger og langtidsvirkninger. Den kritiske effekt er den toksikologiske virkning, der skal lægges til grund for en risikovurdering af badning i svømmebadsvand. Den kritiske dosis er den højeste dosis, som ikke medfører den kritiske effekt (benævnes også NOAEL).

Badende i svømmehaller vil blive udsat for eksponering ad tre veje, huden, primært ved kontakt med bassinvand, luftvejene ved indånding af dampe og mave-tarmkanalen ved indtagelse (slugning) af vand. I risikovurderingsafsnittet er der regnet med eksponering ad alle tre veje. Der er opstillet eksponeringsscenerier for fire modelpersoner, 1-årigt barn, 10-årigt barn, voksen motionssvømmer og voksen konkurrencesvømmer. Ved dosisberegningerne er der taget udgangspunkt i de nugældende, vejledende og maksimale tilladte koncentrationer i Danmark for frit chlor, bundet chlor og trihalomethan i bassinvand i svømmebade og litteratordata om målte koncentrationer. Der er udregnet gennemsnitlige daglige doser, som derefter er sammenlignet med de kritiske doser for de kritiske korttids- og langtidsvirkninger for de tre stofgrupper.

Generelt viser udregningerne, at børn og voksne motionssvømmere i alle scenarierne bliver udsat for gennemsnitlige daglige doser af de tre stofgrupper, som er væsentlig lavere end værdier opstillet af internationale myndigheder (WHO og US-EPA) og af Miljøstyrelsen. Konkurrencesvømmeren udsættes for noget højere gennemsnitlige daglige doser end de tre andre

modelpersoner. Det hænger sammen med, at konkurrencesvømmere benytter svømmebade væsentlig længere tid hver uge end de øvrige brugere. For konkurrencesvømmere er de beregnede maksimale gennemsnitlige daglige doser for chloroform ca. to gange de grænseværdier, som er opstillet af internationale myndigheder (WHO og US-EPA) og af samme størrelsesorden som Miljøstyrelsens grænseværdi. For bromdichlormethan er den beregnede maksimale daglige dosis ca. 10 gange, den dosis som kan estimeres ud fra WHO's vejledende værdi for drikkevand.

I scenarierne er der til beregningerne benyttet de gældende danske værdier for desinfektionsbiprodukter i bassinvand. Disse værdier må betragtes som maksimumværdier. Gennemsnitsværdier for desinfektionsbiprodukter vil alene på grund af almindelige variationer være lavere, idet badevandet ofte vil være mindre belastet med svømmere og snavs. Det gælder især, når svømmebassinerne benyttes af konkurrencesvømmere. Derved vil de daglige doser blive reduceret og de beregnede risici tilsvarende mindre.

Summary and conclusions

Chlorine as molecular, gaseous chlorine or sodium chlorite is used in Denmark for disinfection the water in public swimming pools. These chemical substances react with other chemicals in the pool water, i.a. pollutants from the users (e.g. urine, sweat, or hair scales) and produce a number of byproducts. Some of these byproducts are harmful to health in high concentrations. In Denmark when controlling the quality of the pool water, the byproducts are divided into three groups, i.e. free chlorine, bound chlorine and trihalomethane. Free chlorine is gaseous chlorine and hypochlorite; bound chlorine comprises inorganic and organic chloramines; and trihalomethane is a collective term for the following four substances, chloroform, bromodichloromethane, dibromochloromethane and bromoform.

In this report it is evaluated if the concentrations of disinfection byproducts in pool water in Danish public swimming pools pose a health risk to the users. Monochloramin is used to represent chloramines, i.a. because too little data was available for other chloramines. Chloroform and to some extent bromodichloromethane is used to represent trihalomethane, mainly because it is present in the highest concentration.

For each of the three substances a toxicological profile is drawn up based on monographs elaborated by renowned institutions, e.g. US-EPA (IRIS), US-NLM (HSDB), IARC, WHO (guidelines for drinking water and recreational water, and Environmental Health Criteria), as well as scientific reports and research papers. The toxicological profiles have four sections, short-term effects, long-term effects, a summary of the toxicology, and an elucidation of the critical effects and their critical doses. The critical effect is the toxicological effect, which is the basis for the risk evaluation of using the swimming pool. The critical dose is the highest dose that does not cause the critical effect, also known as NOAEL (No observed adverse effect level).

Users of the swimming pools are exposed to the substances through three routes, skin contact with the pool water, inspiration of vapours, and ingestion of pool water. In the chapter on risk evaluation all three exposure routes are taken into account. Exposure scenarios has been set up for four model persons; 1-year old child, 10-year old child, adult recreational swimmer, and adult competition swimmer. The basis for calculating the average daily doses is the current guiding and maximum values in Denmark for concentrations of free chlorine, bound chlorine and trihalomethane in public swimming pool water, as well as literature data on measured concentrations. The average daily doses are compared to the critical doses for the critical short-term and long-term effects for the three representative substances.

In general the calculations show that in all the scenarios children and adult recreational swimmers are exposed to average daily doses of the three representative substances, which are substantially lower than limit values issued by international institutions (WHO and US-EPA) and the Danish EPA. Competition swimmers are exposed to higher average daily doses than the three other model persons. The higher doses are proportional to the longer exposure time; competition swimmers use the swimming pool much longer on

a weekly basis than other users. For competition swimmers the calculated maximum average daily dose of chloroform is approximately twice the limit values issued by international institutions (WHO and US-EPA) and of the same order of magnitude as limit value calculated by the Danish EPA. For bromodichloromethane the calculated maximum average daily dose is approximately 10 times the dose that may be estimated from WHO's guideline value for drinking water.

In the scenarios, the calculations use the current Danish values for concentrations of disinfection byproducts in public swimming pool water. These values are maximum values. The average concentrations of disinfection byproducts will be lower because the swimming pools often is less polluted due to lower load of users. This is especially the case when competition swimmers use the swimming pools, whereby the average daily doses will be reduced and the calculated risks correspondingly lower.

1 Indledning

Chlor i form af chlogas (Cl_2) eller natriumhypochlorit (NaOCl) anvendes til desinfektion af svømmebadsvand. I bassin vandet indstiller chlogas sig i en ligevægt med Cl^- og HOCl/OCl^- . Disse chlorforbindelser benævnes ofte samlet som frit chlor. Koncentrationen af frit chlor i bassin vand skal holdes indenfor 0,5-3,0 mg/l med en vejledende værdi på 0,5-2,0 mg/l for indendørs bassiner på mindst 25 m og for øvrige bassiner indenfor 1,0-5,0 mg/l med en vejledende værdi på 1,0-3,0 mg/l (1).

Frit chlor reagerer hurtigt med ammoniak fra bl.a. urin under dannelse af uorganiske chloraminer. Disse virker ligeledes desinficerende, men i langt mindre grad end frit chlor. Dannelse af mono-, di- eller trichloramin er afhængig af vandets pH og temperatur samt koncentration af ammoniak. Ved pH større end 7-8 og et vægtforhold mellem frit chlor og ammoniak på 5:1 eller mindre vil der dannes monochloramin. Ved pH mindre end 7-8 og et højere indhold af frit chlor dannes di- og trichloraminer. Monochloramin er meget stabilt i vand, mens både di- og trichloramin er ustabile.

Frit chlor kan ligeledes reagere med organiske kvælstofforbindelser (aminer, aminosyrer mv. fra sved, urin, hudskæl etc.) fra de badende og danne organiske chloraminer. Disse virker også desinficerende, men i langt mindre grad end de uorganiske. I lighed med dannelse af uorganiske chloraminer er dannelse af organiske chloraminer afhængig af vandets pH og temperatur samt af koncentration af frit chlor og kvælstofforbindelse (2).

Chloraminer vil således være tilstede i vandet som biprodukt i forbindelse med anvendelse af chlor som desinfektionsmiddel ved samtidig tilstedeværelse af organiske kvælstofforbindelser. Lugten i svømmehaller, som ofte tilskrives chlor, skyldes hovedsagelig organiske chloraminer og andre oxidationsbiprodukter.

Chloraminer mv. benævnes ofte under et for bundet chlor. Koncentrationen af bundet chlor i bassin vandet skal være så lav som mulig. Den vejledende værdi for indholdet af bundet chlor i bassin vand er 0,5 mg/l, og den maksimale tilladte værdi er 1,0 mg/l (1).

Trihalomethaner (THM) dannes ligeledes i svømmebadsvand ved, at frit chlor reagerer med organiske forbindelser. THM er en fællesbetegnelse for de fire stoffer chloroform, bromdichlormethan (BDCM), dibromchlormethan (DBCM) og bromoform. Chloroform forekommer i størst mængde og udgør 80-90 % af THM, BDCM udgør 5-10 %, mens DBCM og bromoform udgør henholdsvis 2-5 % og max. 1 % af THM (3).

THM er flygtige stoffer med lav vandopløselighed, hvilket resulterer i en relativ høj koncentration af stoffet umiddelbart over vandoverfladen (4). Koncentrationen af THM i bassin vandet skal være så lav som muligt. Den vejledende værdi for indholdet af THM i bassin vand er 25 $\mu\text{g/l}$ for indendørs bassiner på mindst 25 m og 50 $\mu\text{g/l}$ for øvrige bassiner, og de maksimale tilladte værdier er hhv. 50 og 100 $\mu\text{g/l}$ (1).

I tabel 1.1 er samlet de gældende krav i Danmark til indhold af frit chlor, bundet chlor og trihalomethaner (1).

TABEL 1.1 NUGÆLDENDE KRAV TIL INDHOLD AF FRIT CHLOR, BUNDET CHLOR OG TRIHALOMETHANER I SVØMMEBADSVAND (1).

	Bassin størrelse	
	< 25 m	≥ 25 m
Frit chlor		
Max. værdi (mg/l)	1,0 – 5,0	0,5 – 3,0
Vejl. værdi (mg/l)	1,0 – 3,0	0,5 – 2,0
Bundet chlor	Så lav som muligt	
Max. værdi (mg/l)	1,0	1,0
Vejl. værdi (mg/l)	0,5	0,5
THM	Så lav som muligt	
Max. værdi (µg /l)	100	50
Vejl. værdi (µg /l)	50	25

2 Toksikologiske profiler

Der er udarbejdet en toksikologisk profil for henholdsvis frit chlor, bundet chlor og THM. Den toksikologiske profil er opbygget i fire hovedafsnit; korttidsvirkninger, langtidsvirkninger, sammenfatning af toksikologien samt kritisk effekt og dosis.

Korttidsvirkningerne er de effekter, som optræder ved en enkelt eksponering, dvs. et besøg i svømmehallen. I dette afsnit beskrives de akutte effekter, dvs. effekt på kontakt-/optagelsesstederne, primært irritation, samt forbigående systemiske effekter (efter optagelse i kroppen), f.eks. neurologiske symptomer som hovedpine, rumlen i maven mv. Udløsning, men ikke udvikling, af en allergisk reaktion betragtes som en akut effekt.

Langtidsvirkningerne er de effekter, som optræder efter længere tids gentagen eksponering. Som regel er der tale om systemiske effekter, men kan også være effekter på kontaktstedet, f.eks. udvikling af allergi. Der er især fokuseret på effekter som kræft, påvirkning af arveanlæg, reproduktionstoksicitet, neurotoksicitet og udvikling af allergi. Endvidere er andre effekter gennemgået, f.eks. lever- og nyreskader.

Sammenfatning er et kort resume af den enkelte toksikologiske profil.

Den kritiske effekt er den toksikologiske virkning, der skal lægges til grund for en risikovurdering af badning i svømmebadsvand. Den kritiske dosis er den højeste dosis, som ikke medfører den kritiske effekt (benævnes også NOAEL). I mangel af NOAEL kan man benytte den laveste observerede dosis, som medfører den kritiske effekt (benævnes også LOAEL) under anvendelse af en sikkerhedsfaktor.

Badende i svømmehaller vil blive udsat for eksponering ad tre veje, huden, primært ved kontakt med bassin vand, luftvejene ved indånding af dampe og mave-tarmkanalen ved indtagelse (slugning) af vand.

Ved udarbejdelsen af de toksikologiske profiler er der taget udgangspunkt i monografier, som er udarbejdet af anerkendte institutioner, bl.a. US-EPA (IRIS), US-NLM (HSDB), IARC, WHO (badevands- og drikkevands-guidelines og Environmental Health Criteria). Derudover er benyttet videnskabelige artikler og forskningsrapporter.

2.1 Frit chlor

Chlor i form af chlogas (Cl_2) eller natriumhypochlorit (NaOCl) anvendes til desinfektion af svømmebadsvand. I bassin vandet indstiller chlogas sig i en ligevægt med Cl^- og HOCl/OCl^- . Disse chlorforbindelser benævnes ofte under et som frit chlor.

Koncentrationen af frit chlor i bassin vand skal holdes indenfor 0,5-3,0 mg/l med en vejledende værdi på 0,5-2,0 mg/l for indendørs bassiner på mindst 25 m og for øvrige bassiner på hhv. 1,0-5,0 og 1,0-3,0 mg/l (1).

Frit chlor kan reagere med uorganiske og organiske kvælstofforbindelser fra de badende og danne chloraminer (2). Frit chlor kan reagere med organiske forbindelser og danne trihalomethaner (5).

2.1.1 Korttidsvirkninger

2.1.1.1 Hudkontakt

Både frit og bundet chlor kan give rødme og kløe ved hudkontakt, men huden er generelt mere følsom overfor bundet chlor end overfor frit chlor (6,7). Ved en koncentration af frit chlor på 8 mg/l vand ses begyndende hudirritation hos mennesker (6).

2.1.1.2 Øjenkontakt

I et forsøg blev vandige opløsninger af frit chlor (chlor, chlorundersyrling, hypochlorit) konstant tilført øjnene på kaniner i ca. 1 time. Koncentrationerne var 0-30 mg/l vand. Opløsninger af frit chlor med 0-8 mg/l medførte ikke øjenirritation. Ved 16 mg/l så man en usikker irritation, og ved 20-30 mg/l var der en tydelig irritation af øjets bindehinde (8). Hos mennesker medfører 9 mg chlor/m³ i luften svie og brændende fornemmelse i øjne, næse og strube (9).

2.1.1.3 Indånding

Lungefunktionen hos 80 raske forsøgspersoner blev undersøgt efter, at de havde indåndet hhv. 1,5 eller 3 mg/m³ chlorgas. Det blev konkluderet, at indånding af chlorgas i en koncentration på 3 mg/m³ resulterede i kortvarigt nedsat lungefunktion, men inducerede ikke alvorlige symptomer hos mennesker. Lungefunktionen var normal dagen efter eksponeringen (9).

Skaderne ved indånding af chlorholdig luft er afhængige af eksponeringstid og koncentrationen af chlorgas, samt om de udsatte personer har hjerte-lunge problemer. Det er estimeret, at kortvarig indånding af 3-9 mg/m³ chlorgas forårsager let irritation af slimhinderne, mens 15-45 mg/m³ virker moderat irriterende på luftvejene. Ved koncentrationer på 90 mg/m³ optræder øjeblikkeligt smerter i brystet, åndenød, hoste og opkastninger, mens 120-180 mg/m³ medfører lungeødem. Chlorgas i en koncentration på 3000 mg/m³ er dødelig indenfor få minutter (9).

2.1.1.4 Indtagelse

I en undersøgelse fik mennesker 1 liter vand at drikke på dag 1, 4, 7, 10, 13 og 16. Vandet var tilsat forskellige chlorholdige desinfektionsmidler. Koncentrationerne blev øget fra dag til dag (chlorat: 0,01-2,4 mg/l, chlordioxid: 0,1-24 mg/l, chlorit: 0,01-2,4 mg/l, chlor: 0,1-24 mg/l, samt en kontrolgruppe med ubehandlet vand). Hver gruppe bestod af 10 personer. De akutte virkninger blev observeret. Serums indhold af 21 biokemiske parametre, blodets og urinens sammensætning (16 parametre), en række specielle tests samt generelle fysiske tests blev anvendt til at beskrive akutte ændringer hos forsøgspersonerne. Der blev ikke observeret ændringer i de udvalgte parametre, som man anså for afvigende fra normale værdier (10). Hvis man antager, at legemsvægten for forsøgspersonerne var 70 kg, kan man for denne undersøgelse beregne NOAEL for chlor på 0,34 mg/kg lgv, som var højeste undersøgte dosisniveau (24 mg/l).

Hos rotter medførte indtagelse af chloret drikkevand et fald i blodets indhold af glutathion 30 minutter efter indtagelse af 30 og 120 µg chlor. To timer senere var det oprindelige niveau genoprettet (2).

2.1.1.5 Korttidsvirkninger efter optagelse i kroppen

Der er ikke fundet data, der belyser korttidsvirkninger fra frit chlor efter optagelse i kroppen.

2.1.2 Langtidsvirkninger

I et forsøg udført parallelt med det under punkt 2.1.1.4 beskrevne blev effekterne af en daglig indtagelse i længere tid af chlorholdige desinfektionsmidler (chlorat, chlordioxid, chlorit, chlor og chloramin) undersøgt. Forsøgspersonerne fik i 12 uger dagligt 500 ml vand tilsat chlorholdige forbindelser i en koncentration på 5 mg/l. Der blev taget blod- og urinprøver på ugebasis samt foretaget lægekontrol af personerne i de 12 forsøgsuger samt i de 8 efterfølgende uger. Analyserne viste, at der var signifikant forskel på mængden af urinstof i plasma hos grupperne, der havde indtaget chlorat og chlordioxid i forhold til kontrolgruppen. Ligeledes var der signifikant forskel på den gennemsnitlige hæmoglobinværdi i blodlegemer i grupperne, der indtog chlorit eller chlorat og kontrolgruppen. Ingen af disse ændringer blev vurderet som værende af signifikant betydning for forsøgspersonernes fysiologi. Det blev konkluderet, at en eventuel effekt ikke kunne udelukkes på længere sigt.

En undersøgelse omfattede 332 mandlige arbejdere, der dagligt blev udsat for chlordampe i løbet af deres 8-timers arbejdsdag. Chlorkoncentrationen i luften var i gennemsnit $0,45 \text{ mg/m}^3$ ($0,018\text{-}4,26 \text{ mg/m}^3$). Den gennemsnitlige eksponeringstid var 10,9 år. Observationerne viste ingen dosis-respons sammenhæng mellem disse mænds "medicinske historie" og indånding af chlogas i arbejdstiden. Der blev heller ikke fundet tegn på permanente lungeskader, men 9,4 % af mændene havde unormale electrocardiogrammer. Dette skal ses i forhold til 8,5 % i en kontrolgruppe på 382 mænd, som ikke blev udsat for chlordampe (2).

2.1.2.1 Kræft

Der er ikke fundet data, der oplyser om en eventuel direkte sammenhæng mellem chlor og kræft. Et studie omfatter den potentielle co-carcinogene effekt af natriumhypochlorit. En opløsning af benzopyren blev påført mus 2 gange ugentligt i 10 uger. Den totale dosis benzopyren pr mus var enten 750 eller 1500 μg . Forskellige forsøgsgrupper af mus blev påført en 1 % opløsning af natriumhypochlorit enten før, under eller efter behandlingen med benzopyren. Efter 128 uger fandt man, at behandling med natriumhypochlorit før benzopyren hæmmede udviklingen af tumorer med ca. 40 %, uafhængigt af koncentrationen af benzopyren. Når behandlingen blev udført efter påsmøringen af benzopyren (totalt 750 μg), blev udviklingen af tumorer ligeledes hæmmet med 40 % (2).

I undersøgelsen beskrevet i 2.1.2.3.1 blev rotterne endvidere undersøgt for tumorer. Forekomsten af tumorer var ikke forskellig i forhold til kontrolgruppen (2).

2.1.2.2 Påvirkning af arveanlæg

Der er ikke fundet data, som belyser frit chlors eventuelle påvirkning af arveanlæg.

2.1.2.3 Reproduktionstoksicitet

Generelt har ingen dyreforsøg vist tegn på, at chlor har fosterskadende effekter eller påvirker forplantningsevnen (2).

2.1.2.3.1 Forplantningsevne

I et forsøg, hvor rotter gennem 7 generationer fik chloret drikkevand (100 mg chlor/l) svarende til en mængde på omkring 10 mg/kg lgv/dag, blev der ikke observeret nogen effekt af chloringen. Vandet blev fremstillet ved at boble chlogas gennem vandet. Den første generation af rotter var 100 dage gamle ved forsøgets start. Disse fik føde, der var kogt med chloret vand, samt chloret drikkevand. De efterfølgende generationer fik alene tilført chlor igennem drikkevand. I alt inkluderede forsøget 236 rotter. Der blev ikke observeret effekt på forplantningsevnen, væksten eller de målte hæmatologiske parametre. Ligeledes var organer som lever, milt og nyre upåvirkede. I denne undersøgelse var NOAEL 10 mg/kg lgv/dag (2).

2.1.2.3.2 Foster

Rotter fik drikkevand indeholdende chlor i mængder på 1, 2 eller 5 mg/kg lgv/dag. Forsøget strakte sig over 66-76 dage. Hanrotter fik chloret drikkevand fra 56 dage før parringsperioden, mens hunrotterne fik vandet fra 14 dage før parringsperioden til ammeperiodens slutning (dag 76). Parringsperioden var 10 dage. Der var ingen statistisk forskel på antallet af overlevende unger pr kuld eller ungerens vægt og størrelse i forhold til kontrolgruppen. Der var heller ingen forskel på udviklingshastigheden hos kuld, der havde fået chloret drikkevand (2).

2.1.2.4 Neurotoksicitet

Der er ikke fundet data, som belyser frit chlors eventuelle neurotoksiske egenskaber.

2.1.2.5 Allergi

Visse chlorforbindelser (primært polychlorerede forbindelser) kan udløse chloracne (7), men der er ikke fundet oplysninger, som belyser frit chlors eventuelle allergifremkaldende egenskaber.

2.1.2.6 Andre effekter

I et forsøg udført under samme betingelser som det under 2.1.2 refererede blev drikkevand indeholdende de nævnte chlordesinfektionsmidler givet til 3 personer, der led af glucose-6-phosphat dehydrogenase deficiens. Prøver fra forsøgspersonernes blod og urin blev testet som ovenfor, og der var lægekontrol af forsøgspersonerne i 20 uger. Der blev ikke fundet signifikante ændringer i de målte parametre, men en effekt efter længere tids påvirkning kunne forfatterne dog ikke udelukke (10). Betydningen heraf er dog ikke klar.

Blodets koncentration af glutathion faldt hos rotter, der fik drikkevand med et chlorindhold på 10 og 100 mg/l i 6 måneder. Effekten varede i et år (2).

I fem forsøg, hvor rotter fik chloret drikkevand i op til 2 år, blev det konkluderet, at NOEL var 10-24 mg/kg lgv/dag. I samtlige forsøg så man en reduktion af kropsvægten hos dyrene ved det højeste dosisniveau i forhold til kontrolgrupperne (2).

2.1.3 Sammenfatning af frit chlors toksikologi

Ved kort tids eksponering kan der ved koncentrationer af frit chlor i vand på hhv. 8 mg/l og 16 mg/l ses begyndende irritation af hud og (kaniners) øjne. Indånding af 3-9 mg/m³ chlogas kan udløse let irritation af slimhinderne. Der er ikke fundet effekter hos mennesker af 16 dages indtagelse af op til 24 mg hypochlorit pr. dag.

Der er ikke tegn på, at indtagelse af 2,5 mg frit chlor pr dag i 12 uger eller indånding af op til 4,26 mg chlorgas/m³ (gennemsnit: 0,45 mg/m³) har nogen indflydelse på kroppen. Dyreforsøg har ikke vist tegn på, at frit chlor skader forplantningsevnen, virker fosterskadende eller kræftfremkaldende. Hos mennesker er der ikke fundet tegn på, at en særlig følsom gruppe, personer med glucose-6-fosfat dehydrogenase deficiens, er påvirket negativt efter 12 ugers indtagelse af 2,5 mg frit chlor pr. dag.

NOEL for rotter, som fik chloret drikkevand i op til 2 år er 10-24 mg frit chlor/kg lgv/dag, og den observerede effekt er en reduceret kropsvægt.

US-EPA anvender i IRIS (The Integrated Risk Information Service) en NOAEL på 14,4 mg frit chlor/kg lgv/dag ved beregning af referencedosis (RfD) for human eksponering (2). Der er anvendt sikkerhedsfaktorer på 10 for ekstrapolering fra dyr til mennesker og på 10 for at tage højde for særligt følsomme individer. RfD bliver derved sat til 0,1 mg frit chlor/kg lgv/dag.

Ud fra den samme undersøgelse anbefaler WHO en TDI på 150 µg/kg lgv/dag, som er beregnet ud fra en NOAEL på 15 mg/kg lgv/dag under anvendelse af en sikkerhedsfaktor på 100 for ekstrapolering fra dyr til mennesker og for at tage højde for eventuelt følsomme individer (11). WHO anbefaler en vejledende værdi for frit chlor i drikkevand på 5 mg/l.

På baggrund af disse oplysninger kan det konkluderes, at frit chlor i koncentrationer på 0,5-5 mg/l bassinvand ikke har nogen korttidseffekt på mennesker ved kontakt med hud og øjne eller efter indtagelse.

2.1.4 Kritisk effekt og dosis

På basis af forestående toksikologiske profil for frit chlor kan følgende LOEL og NO(A)EL opstilles. LOEL (lowest observed effect level) er den laveste koncentration/dosis, hvor den nævnte effekt optræder.

TABEL 2.1. LOEL OG NO(A)EL FOR FRIT CHLOR FOR EN RÆKKE EFFEKTER.

Effekt	Art	Dosis /konc.	Enhed	
Hudirritation	Menneske	8	mg/l vand	LOEL
Øjenirritation	Menneske Kanin	8	mg/l vand	NOEL
		8	mg/l vand	NOEL
		16	mg/l vand	LOEL
Kortvarig nedsat lungefunktion (chlorgas)	Menneske	1,5	mg/m ³ luft	NOEL
		3,0	mg/m ³ luft	LOEL
Biokemi	Menneske	24	mg/dag ^{b)}	NOAEL ^{a)}
Forplantningsevne	Rotte	10	mg/kg lgv/dag	NOAEL
Foster	Rotte	5	mg/kg lgv/dag	NOAEL ^{a)}
Nedsat kropsvægt	Rotte	10	mg/kg lgv/dag	NOEL

a) ingen effekt ved højeste undersøgte dosis

b) 1 liter drikkevand pr. dag indeholdende 24 mg/l

Ved korterevarende eksponering for frit chlor i vandige opløsninger er hud- og øjenirritation den kritiske akutte effekt. Ved eksponering af mennesker for 8 mg frit chlor/l vand så man lettere hudirritation, men ingen øjenirritation. Det vurderes derfor, at NOEL vil være lidt lavere end 8 mg/l vand.

Ved kortvarig indånding af 3,0 mg chlorgas/m³ fandt man kortvarigt nedsat lungefunktion hos mennesker, men ikke ved 1,5 mg/m³. Denne koncentration kan derfor anvendes som NOEL for chlorgas i luften.

Den kritiske effekt ved længerevarende, gentagen eksponering for frit chlor er mindsket tilvækst i kropsvægt. NOEL blev for rotter fundet til 10 mg frit chlor/kg lgv/dag. I en undersøgelse af påvirkning af forplantningsevnen hos rotter fandt man ingen effekt ved 10 mg frit chlor/kg lgv/dag. Denne værdi blev foreslået som NOAEL-værdi.

WHO anbefaler en vejledende værdi på 5 mg/l for frit chlor i drikkevand, baseret på en TDI på 150 µg/kg lgv/dag, ud fra NOAEL i en undersøgelse med rotter, som fik hypochlorit i drikkevandet i 2 år (11).

2.2 Bundet chlor - chloraminer

Frit chlor reagerer hurtigt med ammoniak under dannelse af uorganiske chloraminer, der også virker desinficerende, men i langt mindre grad end frit chlor. Dannelse af mono-, di- eller trichloramin er afhængig af vandets pH og temperatur samt koncentrationen af ammoniak. Ved pH > 8 og underskud af hypochlorit i forhold til ammoniak vil der dannes monochloramin. Ved pH < 8 og overskud af hypochlorit dannes di- og trichloraminer. Ved pH større end 7-8 og et vægtforhold mellem frit chlor og ammoniak på 5:1 eller mindre vil der dannes monochloramin. Monochloramin er den eneste chloramin, der kan anvendes som desinfektionsmiddel, da både di- og trichloramin er for ustabile og meget ildelugtende. Monochloramin derimod er meget stabil i vand.

I bassin vandet vil noget frit chlor også blive omdannet til organiske chloraminer som følge af tilstedeværelsen af organiske kvælstofforbindelser (sved, urin, hudskæl etc.) (2). Disse organiske chloraminer virker også desinficerende, men i langt mindre grad end de uorganiske. Chloraminer vil således være tilstede i vandet som biprodukt i forbindelse med anvendelse af chlor som desinfektionsmiddel, når der er organiske kvælstofforbindelser tilstede.

Chlorlugten i svømmehaller skyldes organiske chloraminer og andre oxidationsbiprodukter.

Indholdet af bundet chlor i bassin vandet skal være så lav som mulig. Den vejledende værdi er 0,5 mg/l, og den maksimale tilladte værdi er 1,0 mg/l (1).

Der er begrænsede data på andre chloraminer end monochloramin, og det følgende vil derfor overvejende omhandle monochloramin.

2.2.1 Korttidsvirkninger

2.2.1.1 Hudkontakt

Monochloramin gav ikke øget vækst af celler på huden af mus, som blev nedsænket i vand indeholdende fra 1, 10, 100, 300 eller 1000 mg monochloramin/l i 10 min. pr. dag i 4 dage (12,13). En koncentration af chloramin på 2 mg/l medførte rødme og kløe hos mennesker (6).

Der er ikke fundet data for hudabsorption af chloraminer (14).

2.2.1.2 Øjenkontakt

Ved øjenkontakt med bassin vand desinficeret med chlor udvikles under visse omstændigheder midlertidig rødmen af øjets bindehinde og en sviende fornemmelse i øjnene. Monochloramin og især dichloramin er ansvarlig for vandets meget irriterende effekt på øjnene. Der synes ikke at være tendens til sløring af synet, men til tider ses midlertidige svage synsforstyrrelser, der giver

en fremtoning af farvede strålekranse rundt om lys. Dette skyldes hovedsageligt en forskel mellem vandets salinitet og menneskets fysiologiske saltkoncentration samt et overskud af chloraminer i vandet (15).

I et forsøg, hvor vandige opløsninger af frit eller bundet chlor blev tilført øjnene på kaniner i ca. 1 time ad gangen, observerede man øjengener. Koncentrationen af monochloramin varierede fra 0-5 mg/l (neutralt chlorvand). Ved koncentrationer på 0-2 mg/l så man ingen reaktion. Ved koncentrationer på 3 mg/l så man en usikker reaktion, ved 4 mg/l en tydelig irritation og ved 5 mg/l en meget kraftig irritationseffekt (8).

2.2.1.3 Indånding

I svømmehallen er chloraminer årsag til den ubehagelige lugt, der ofte tilskrives chlor. Chloraminer – specielt di- og trichloramin er meget flygtige og er derfor nyttige til at fjerne kvælstof fra vandet (15).

Chloraminer er primært kendt som stærkt irriterende for luftvejene som følge af et stort antal forgiftningstilfælde hvert år, når chlorholdige husholdningsprodukter blandes med ammoniakvand (12). De koncentrationer, der frigives ved fejlagtig blanding af chlorholdige husholdningsprodukter med ammoniakvand, er dog langt højere end de koncentrationer, der er relevante for bassinvand.

2.2.1.4 Indtagelse

Chloraminer vil blive omdannet i fordøjelsesprocessen, før de når blodbanen (16). Efter indtagelse af chloramin, som var mærket med radioaktivt chlor, blev chlorid fundet i plasma og i de fleste organer. Der er ingen oplysninger om amin-delens skæbne i kroppen (14).

I en undersøgelse fik en gruppe på 10 personer 1 liter chloramin-holdigt vand at drikke på dag 1, 4, 7, 10 og 13. Chloraminkoncentrationen blev fra dag til dag øget fra 0,01 til 24 mg/l. En kontrolgruppe på 10 personer fik ubehandlet vand at drikke. De akutte virkninger blev observeret. Serums indhold af 21 biokemiske parametre, blodets og urinens sammensætning (16 parametre), en række specielle tests samt generelle fysiske tests blev anvendt til at beskrive akutte ændringer hos forsøgspersonerne. Der blev ikke observeret ændringer i de udvalgte parametre, som man anså for afvigende fra normale værdier ved det højeste dosisniveau. NOAEL er i denne undersøgelse derfor 24 mg/l (10).

2.2.1.5 Korttidsvirkninger efter optagelse i kroppen

Effekten af chloramin i vand anvendt til at dialysere nyrepatienter er blevet undersøgt. Chloramin inducerer dannelsen af methæmoglobin i blodet (12,16). Dette er ikke relevant ved indtagelse af svømmevand indeholdende chloraminer, da de, som før nævnt, vil blive omdannet, før de når blodet. Det er heller ikke relevant ved påføring af chloramineret vand på sår, da kun meget små mængder vil gå i blodbanen (16).

2.2.2 Langtidsvirkninger

2.2.2.1 Kræft

I et forsøg udført af NTP (National Toxicology Program, USA) blev hhv. 70 rotter og 70 mus af hvert køn gennem to år eksponeret for drikkevand indeholdende chloramin. Doserne blev i hanrotter omregnet til ca. 0; 2,1; 4,8 eller 8,7 mg/kg lgv/dag og i hunrotter til 0; 2,8; 5,3 eller 9,5 mg/kg lgv/dag. Doserne blev i hanmus omregnet til ca. 0; 5,0; 8,9 eller 15,9 mg/kg lgv/dag og i hunmus til 0; 4,9; 9,0 eller 17,2 mg/kg lgv/dag.

To godartede kirtelsvulster blev fundet i nyrerne hos hanmus i den højeste doseringsgruppe og en i den næsthøjeste doseringsgruppe. En godartet kirtelsvulst blev fundet i nyrerne hos hunmus i den højeste doseringsgruppe. Denne form for tumorer er sjældne hos den anvendte art af mus, men forekomsten var ikke dosis relateret eller signifikant forskellig fra kontrolgruppen.

Et andet resultat af dette forsøg var en øget forekomst af enkeltkernetcelle-leukæmi blandt rotterne. Dosis-responsafhængigheden var ikke overbevisende, men der var en signifikant øget forekomst blandt de behandlede rotter i forhold til kontrolgruppen samt en historisk kontrolgruppe for denne type af rotter. Den samlede konklusion for dette forsøg var dog, at de observerede effekter ikke kunne relateres til chloramin-eksponeringen (12,17).

Der blev heller ikke fundet non-genotoksiske effekter i ovennævnte undersøgelse. På denne baggrund blev NOAEL for rotter og mus foreslået til henholdsvis 9,5 og 17,2 mg/kg lgv/dag foreslået (17).

US-EPA har i IRIS (The Integrated Risk Information Service) i 1993 vurderet monochloramin som ikke klassificerbart m.h.t. kræftfremkaldende egenskaber for mennesker (17). IARC (International Agency for Research on Cancer) har ikke vurderet stoffet.

2.2.2.2 Påvirkning af arveanlæg

Monochloramin er rapporteret at inducere DNA skade og mutationer i *Bacillus subtilis* og at være svagt mutagent i Ames test med *Salmonella typhimurium* (stamme TA100) (12,17). I en anden artikel refereres det dog, at arveanlæggene i flere stammer af *Salmonella typhimurium* (TA 97, TA 100, TA 102) ikke påvirkes af monochloramin (14). Lipofile chloraminer var langt mere potente end monochloramin i Ames test. Drikkevandsprøver indeholdende monochloramin var ikke mutagene i Ames test med eller uden metabolisk aktivering. Dosering med sonde til mus (doser 40, 100 eller 200 mg/l gav hverken kromosomforandringer eller mikrokerner og inducerede ikke unormale sædceller hos mus (17).

2.2.2.3 Reproduktionstoksicitet

2.2.2.3.1 Forplantningsevne

Hunrotter blev doseret (oral dosering antaget) med 0; 1,15; 1,5 eller 15 mg monochloramin/kg lgv/dag både 2,5 måned før befrugtning og i drægtighedsperioden. Forplantningsevnen blev ikke påvirket, og der blev ikke observeret effekter på fostrene (12).

I et andet forsøg blev rotter doseret med sonde med koncentrationer på 0; 2,5; 5 eller 10 mg/kg lgv/dag. Hanner blev doseret fra dag 56 før befrugtning og i befrugtningssperioden. Hunner fra 14 dage før befrugtning og gennem hele befrugtningssperioden. Der blev ikke fundet statistisk signifikante effekter på dyrenes forplantningsevne (12).

2.2.2.3.2 Foster

Han- og hunrotter blev doseret oralt med 10 mg chloramin (ikke nærmere specificeret)/kg lgv både før befrugtning, i drægtighedsperioden og i 10 dage efter fødslen. Der blev ikke fundet ugunstige effekter på hverken fostre eller vækst af de nyfødte unger (18).

2.2.2.4 Neurotoksicitet

Der er ikke fundet data, som belyser chloraminers eventuelle neurotoksiske egenskaber.

2.2.2.5 Allergi

Der er ikke fundet data, som belyser chloraminers eventuelle allergifremkaldende egenskaber.

2.2.2.6 Andre effekter

Han- og hunmus blev doseret med monochloramin i drikkevandet i 90 dage. Den gennemsnitlige daglige dosis blev udregnet til 0; 2,5; 5,0; 8,6; 11,1 eller 15,6 mg monochloramin/kg lgv for hannerne og 0; 2,8; 5,3; 9,2; 12,9 eller 15,8 mg monochloramin/kg lgv for hunnerne. Ved de to højeste doseringsgrupper hos hannerne og de fire højeste hos hunnerne havde dyrene signifikant formindsket vandindtagelse. I begge køn var vægtforøgelsen signifikant mindre i de to højeste doseringsgrupper (tre højeste hos hannerne). Derudover var koncentrationen af neutrofile celler i blodet samt vægten af milt og lever signifikant mindsket (neutrofile celler er kroppens første forsvar overfor bakterielle infektioner). Baseret på mindsket organ- og samlet kropsvækst, samt mindsket vand- og fødeindtagelse blev NOAEL for indtagelse af monochloramin for hhv. hanmus og hunmus foreslået at være 8,6 og 9,2 mg/kg lgv/dag (17).

Der er opgivet en publiceret lavest toksisk dosis på 1820 µL dichloramin/kg lgv hos rotter, der vedvarende blev doseret oralt igennem 13 uger. Denne dosis svarer til ca. 2,2 g/kg lgv. Effekten på dyrene var en ændring i fødeoptagelse (19).

2.2.3 Sammenfatning af chloramins toksikologi

Ved eksponering af kaniner for monochloramin i øjnene i en time så man ingen reaktion ved koncentrationer på 2 mg/l og derunder. Kaniners øjne er meget følsomme, og DTC vurderer derfor, at den nuværende maksimale værdi på 1,0 mg/l er tilstrækkelig lav til at tage hensyn til særligt følsomme individer blandt mennesker, når bassinvandets saltindhold er tilpasset.

Det vurderes, at kortvarende eksponering ved hudkontakt eller indånding af chloraminer ikke medfører risiko for akutte effekter.

I et studie for kræftfremkaldende egenskaber var der en ikke-signifikant øget forekomst af godartede kirtelsvulster og leukæmi sammenlignet med kontrolgruppen. Forekomsterne var ikke dosisrelateret. Man observerede ingen non-genotoksiske effekter på dyrene ved det højeste doseringsniveau, som for hunrotterne var 9,5 mg/kg lgv/dag. US-EPA i IRIS anvender denne NOAEL som grundlag for en referencedosis (RfD) for længerevarende, gentagen eksponering. Der er anvendt sikkerhedsfaktorer på 10 for ekstrapolering fra dyr til mennesker og på 10 for at tage hensyn til særligt følsomme individer. RfD bliver da 0,095 mg/kg lgv/dag.

Ud fra den samme undersøgelse anbefaler WHO en TDI på 0,094 mg/kg lgv/dag under anvendelse af en sikkerhedsfaktor på 100 for ekstrapolering fra dyr til mennesker og for at tage højde for eventuelt følsomme individer (11).

2.2.4 Kritisk effekt og dosis

På basis af foranstående toksikologiske profil for monochloramin kan følgende LOEL og NO(A)EL opstilles

TABEL 2.2. LOEL OG NO(A)EL FOR MONOCHLORAMIN FOR EN RÆKKE EFFEKTER.

Effekt	Art	Dosis/konc.	Enhed	
Hudirritation	Menneske	2	mg/l vand	LOEL
Øjenirritation	Kanin	2	mg/l vand	NOAEL
		3	mg/l vand	LOEL
Biokemi	Menneske	24	mg/dag ^{b)}	NOAEL ^{a)}
Non-genotoksiske effekter	Rotte	9,5	mg/kg lgv/dag	NOAEL ^{a)}
Forplantningsevne	Rotte	15	mg/kg lgv/dag	NOAEL ^{a)}
Foster	Rotte	10	mg/kg lgv/dag	NOAEL ^{a)}
Nedsat krops-/organvægt	Mus	9,2	mg/kg lgv/dag	NOAEL

a) ingen effekt ved højeste undersøgte dosis

b) 1 liter drikkevand pr. dag indeholdende 24 mg/l

Ved korterevarende eksponering for monochloramin i vandige opløsninger er øjenirritation den kritiske akutte effekt. Ved eksponering af kaniner med monochloramin i øjnene i en time så man ingen reaktion ved koncentrationer på 2 mg/l. Denne værdi kan derfor anvendes som NOAEL.

Den kritiske effekt ved længerevarende, gentagen eksponering for monochloramin er mindsket tilvækst i organ- og kropsvægt samt mindsket vand- og fødeindtagelse (kan være en følge af smagsaversion mod chloramineret vand). NOAEL blev for mus foreslået at ligge på 9,2 mg/kg lgv/dag. I et livslangt fodringsstudie med rotter observerede man ingen non-genotoksiske effekter på dyrene ved det højeste doseringsniveau, som for hunrotterne var 9,5 mg/kg lgv/dag. Denne værdi blev foreslået som NOAEL-værdi.

WHO anbefaler en TDI på 0,094 mg/kg lgv/dag for monochloramin ud fra NOAEL i en undersøgelse med rotter, som fik monochloramin i drikkevandet i 2 år. WHO anbefaler en vejledende værdi på 3 mg/l i drikkevand (11).

2.3 Trihalomethaner

Ved chloring af vand i svømmebade dannes trihalomethaner (THM), en reaktion, der involverer organisk materiale, som er til stede i svømmebadet i form af urin, sved, slim, hår, hudskæl og kosmetik (5). Chloroform udgør den væsentligste del (80-90 %) af de dannede THM i vandet (20). De øvrige THM fordeler sig med 5-10 % bromdichlormethan (BDCM), 2-5 % dibromchlormethan (DBCM) og < 1 % bromoform (3). Der er meget få data for disse øvrige THM. Vurderingen af THM er derfor i det væsentlige baseret på viden om chloroform og bromdichlormethan. Flere undersøgelser dokumenterer betydelige mængder af chloroform i vandet. I en italiensk undersøgelse af chloroform i vand fra svømmebade blev koncentrationen målt til at være mellem 9 µg/l og 179 µg/l (21). Generelt er indholdet fundet at variere mellem 50 og 300 µg/l (22).

Chloroform optages hurtigt i kroppen, hovedsageligt ved indånding og indtagelse. Absorptions hastigheden for chloroform synes at være større fra vandige opløsninger end for stoffet opløst i olie-baserede vehikler ved indtagelse af stoffet (23). Ved indtagelse vil 100 % af stoffet blive optaget. Ved indånding optages 77-94 % af stoffet (9).

Der er tegn på, at optagelse af chloroform gennem huden kan være af betydning for svømmere, også taget i betragtning, at huden er kroppens største organ, og at fedtopløselige stoffer let optages gennem huden (21). I en undersøgelse, hvor koncentrationen af chloroform i blodet blev målt og sammenlignet hos svømmere med og uden anvendelse af iltflasker, konkluderede man, at ca. 25 % af chloroform i kroppen blev optaget gennem huden (22). I en anden undersøgelse under træning med konkurrence-svømmere er det estimeret, at op til 80 % af chloroformindholdet i blodet hos svømmerne skyldes optagelse gennem huden (24). Det anføres, at en øget hudoptagelse af chloroform kan forventes ved skadet eller solskoldet hud, men ikke hvor stor denne øgning vil være (25).

Efter optagelse vil chloroform hurtigt fordeles i kroppen. De højeste koncentrationer findes i fedtvæv, blod, lever, nyrer og nervesystem. Stoffet udskilles fra kroppen gennem lungerne via udåndingsluften (26). Ved oral indtagelse af 500 mg chloroform blev 40 % af stoffet (18 - 67 %, afhængigt af personens fedme) elimineret uforandret fra kroppen med udåndingsluften i løbet af de første 8 timer, mens 50 % blev omdannet til CO₂. Mindre end 1 % blev udskilt gennem nyrerne (27).

2.3.1 Korttidsvirkninger

Målorganerne for chloroforms påvirkning er centralnervesystemet, leveren og nyrerne. Der er mange ligheder mellem symptomerne ved indånding og ved indtagelse af stoffet.

2.3.1.1 Hudkontakt

Ved hudkontakt med chloroform er der beskrevet kemisk dermatit (hudbetændelse) med symptomer som irritation, rødme og blæredannelse og svie (27). Der er ikke beskrevet hudirritation fra chloroform i de koncentrationer, der forekommer i de danske svømmebade.

2.3.1.2 Øjenkontakt

Stærk af flydende chloroform virker stærkt irriterende på øjnene (15). Udsættelse for koncentrerede chloroformdampe medfører en stikkende følelse i øjnene på mennesker (27). Kontakt med flydende chloroform i kaninøjne har medført en forbigående let irritation af øjets bindehinde og skader på hornhinden. Kontakten medførte betændelse i øjnene i mere end 2 dage. Skaderne var forbigående (27).

Det er velkendt, at kontakt med chlorvand i svømmebade kan medføre røde og irriterede øjne. Irritationen formodes at skyldes en samspilseffekt mellem de forskellige chlorerede organiske forbindelser, der dannes i chlorvandet eller mellem de forskellige chlorerede organiske forbindelser og det frie chlor i bassin vandet (5).

2.3.1.3 Indånding

Indånding af chloroform påvirker centralnervesystemet og kan medføre omtågethed, dødsghed, hovedpine, svimmelhed og kvalme startende med lette symptomer ved 10-100 mg/m³ (9).

Ud fra observationer af mennesker, der har indåndet chloroform, er LOAEL for en række effekter i mennesker bestemt til (28):

TABEL 2.3. LOAEL VÆRDIER FOR EFFEKTER VED INDÅNDING AF CHLOROFORM. MENNESKER (28).

Effekt	Koncentration	Eksponeeringstid
Påvirkning af åndedræt; hjertearytmi	112.500 mg/m ³ luft	korterevarende
Neurologiske effekter (omtågethed, døsigthed, hovedpine, svimmelhed, kvalme)	10 mg/m ³ luft	korterevarende
Toksisk hepatitis, kvalme	70 mg/m ³ luft	15-364 dage
Lever-skader mv.	2-385 mg/m ³ luft	længerevarende
Neurologiske effekter	65-385 mg/m ³ luft	længerevarende

2.3.1.4 Indtagelse

Chloroform er irriterende på slimhinder. Indtagelse medfører smerter ved synkning og mave-tarmkatarr med vedholdende kvalme og opkast. Der er beskrevet alvorlige forgiftninger efter indtagelse af chloroform med symptomer lignende de, der optræder under anvendelse til narkose. Der er betydelig forskel mellem personers følsomhed overfor chloroform. Nogle personer påvirkes alvorligt allerede ved indtagelse af 7,5 g, mens andre kan overleve en dosis på 270 g. Gennemsnitlig dødelig dosis for et voksent menneske er estimeret til ca. 45 g (27).

I forsøgsdyr har man fundet følgende LOAEL-værdier (28):

TABEL 2.4. LOAEL VÆRDIER FOR EFFEKTER VED INDTAGELSE AF CHLOROFORM. FORSØGSDYR (28).

Effekt	Dosis	Eksponeeringstid
Lever-skader (hunde)	12,9 mg/kg lgv/dag	7,5 år ^{a)}
Nyreskader	30 mg/kg lgv/dag	15-364 dage
Neurologiske påvirkninger	500 mg/kg lgv/dag	Korterevarende
Lever-skader	30 mg/kg lgv/dag	Korterevarende

a) fra IRIS (17)

2.3.2 Langtidsvirkninger

2.3.2.1 Kræft

Den kræftfremkaldende effekt af chloroform er blevet undersøgt i rotter, mus og hunde. Efter oral indgift af stoffet er der set øget forekomst af lever- og nyretumorer hos gnaverne. På baggrund heraf har IARC vurderet, at der er tilstrækkelig bevis for den kræftfremkaldende effekt hos dyr. Undersøgelser af menneskers udsættelse for chloroform i drikkevand antyder en risiko for at få kræft, især blærekræft og kræft i endetarmen, men data er for mangelfulde til en sikker vurdering. På baggrund heraf har IARC vurderet, at chloroform muligvis er kræftfremkaldende for mennesker (gruppe 2B) (29). US-EPA vurderer i IRIS, at mekanismen bag chloroforms kræftfremkaldende virkning er celledød i de berørte organer, tydeligst set i lever og nyrer. Eksponeeringer, som ikke medfører celledød, vurderes derfor ikke at fremkalde kræft. I IRIS vurderes derfor, at den RfD, som beskytter mod leverpåvirkning (0,01 mg/kg lgv/dag gennem hele levetiden), også beskytter mod øget kræftisiko fra chloroform (17). WHO vurderer ligeledes, at der er en tærskel (celledød), før chloroform virker kræftfremkaldende i mennesker. Men WHO bemærker, at en vejledende værdi på 200 µg/l i drikkevand ville medføre en kræftisiko på 10⁻⁵ baseret på ovennævnte undersøgelser med rotter og mus, hvis der ikke var en tærskelmekanisme (30).

Bromdichlormethan er blevet undersøgt for kræftfremkaldende effekt i rotter og mus. Efter oral indgift af bromdichlormethan opløst i majsolie fandt man øget forekomst af tumorer i nyrer, lever og tyndtarmen. På baggrund heraf har IARC vurderet, at der er tilstrækkeligt bevis for den kræftfremkaldende effekt hos dyr. Der foreligger ikke data, som gør det muligt at vurdere bromdichlormethans kræftfremkaldende virkning i mennesker. På denne

baggrund har IARC vurderet, at bromdichlormethan er muligvis kræftfremkaldende for mennesker (gruppe 2B). WHO angiver kræft som kritisk effekt af bromdichlormethan, og at en daglig dosis på 0,17 µg/kg lgv/dag livet igennem medfører en kræftrisiko på 10⁻⁶ (11).

2.3.2.2 Påvirkning af arveanlæg

Informationer om genotoksiske effekter fra *in vivo* udsættelse for chloroform er begrænset, men generelt giver de fleste *in vivo* undersøgelser af chloroforms genotoksicitet negative resultater (28). Selv om der er foretaget flere følsomme *in vitro* undersøgelser af stoffets genotoksicitet, er der kun beskrevet få positive resultater. Det synes derfor, som om chloroform er svagt mutagent, og at stoffets potentiale for at påvirke DNA er lav (27).

2.3.2.3 Reproduktionstoksicitet

Det er fundet, at chloroform kan passere over placenta. Stoffet er fundet i blodet i navlesnoren ved 11 normale graviditeter i mængder, der var tæt relaterede til koncentration i mødrenes blod (31). Også på dyr er dette påvist, idet stoffet blev fundet i placenta og musefostre hos drægtige mus, der var blevet udsat for stoffet ved indånding. Chloroform kan muligvis akkumulere i fostervand og i fostervæv (28).

2.3.2.3.1 Forplantningsevne

Der er ikke fundet tegn på påvirkning af fertiliteten hos mennesker. Påvirkning af fertiliteten er set hos rotter, idet indånding af koncentrationer på 1.500 mg/m³ chloroform, men ikke 500 mg/m³, resulterede i færre drægtige rotter (28).

2.3.2.3.2 Foster

Chloroforms indvirken på menneskets udvikling er blevet undersøgt i forbindelse med oral indgift af chloroformholdigt drikkevand. Den estimerede relative risiko for lav fødselsvægt ved chloroform fra drikkevand i koncentrationer ≥ 10 µg/l var 30 % højere end ved drikkevand uden målbart chloroform. For tidlig fødsel blev ikke sat i forbindelse med udsættelse for chloroform eller THM. Den estimerede relative risiko for nedsat fostertilvækst i forbindelse med chloroform fra drikkevand i koncentrationer ≥ 10 µg/l var 80 % højere end risikoen ved drikkevand uden målbart chloroform. Der synes dermed at være en sammenhæng mellem nedsat vækst af fosteret og højere koncentrationer af chloroform i drikkevand. Koncentrationen af chloroform i drikkevand er i USA målt til 9,6-15 µg/l, dog har andre undersøgelser fra USA vist målinger på gennemsnitlig 38,9 µg/l (28).

Chloroform er ikke fundet at medføre misdannelser. Stoffet er vist at have føtotoksisk effekt i dyr, idet nedsat fødselsvægt og øget resorption af fostre er set hos rotter og kaniner (28).

I senere gennemgange af alle toksikologiske og epidemiologiske undersøgelser med udsættelse for biprodukter fra desinfektion af vand viste, at der ikke var en entydig sammenhæng mellem udsættelse for disse stoffer og medfødte misdannelser, men at der var en sammenhæng med lav fødselsvægt og urinvejsproblemer (32,33). En ny canadisk undersøgelse, som omfattede ca. 49.000 kvinder der fødte i perioden 1988-95, har vist en sammenhæng mellem en signifikant øget forekomst af medfødte neuralrørsdefekter og indtagelse af desinficeret drikkevand med mere end 20 µg/l af bromdichlormethan, men ikke ved indtagelse af desinficeret drikkevand med mindre end 20 µg/l. Denne fosterskade kunne ikke relateres til chloroform

eller andre THM (34). I undersøgelsen er det ikke undersøgt om moderen havde folsyremangel under graviditeten. Folsyremangel under graviditeten vides at medføre øget risiko for neuralrørsdefekter (35).

2.3.2.4 Neurotoksicitet

Længerevarende udsættelse for chloroform påvirker centralnervesystemet. Ved menneskers udsættelse for stoffet i arbejdsmiljøet over perioder på 3-10 år og i koncentrationer på 375-1330 mg/m³ er der beskrevet symptomer fra centralnervesystemet, f.eks. træthed, tørst, mave-tarm besvær, irritabilitet og nedsat koncentrationsevne. Ved koncentrationer fra 110-350 mg/m³ er de samme symptomer beskrevet, men i lavere grad (27).

2.3.2.5 Allergi

Der er ikke fundet data, som belyser chloroforms eventuelle allergi-fremkaldende egenskaber.

2.3.2.6 Andre effekter

Længerevarende udsættelse for chloroform kan medføre lever- og nyreskader, både i dyr og mennesker (28). Mennesker udsat for chloroform i tandpasta i 5 år og i mundskyllemiddel i 1 år havde ikke lever- eller nyreskader. Doserne var ca. 0,34 – 2,46 mg/kg lgv/dag (26). Ud fra undersøgelser af mennesker, der har indtaget chloroform, har man fundet en LOAEL for påvirkning af blod, lever og nyrer på 21 mg/kg lgv/dag ved langvarig eksponering. NOAEL er fundet til 0,96 mg/kg lgv/dag. Der er beskrevet leverskader hos patienter 1-3 dage efter indtagelse af chloroform, og alle udviklede gulsot, forstørret og øm lever. Dosis er ikke angivet (28). I en undersøgelse fra 1967 er der set en højere frekvens af hepatitis blandt arbejdere efter indånding af 10-1000 mg/m³ chloroform over en periode på 1 til 4 år sammenlignet med indbyggerne i byen hvor virksamheden lå (27).

I et fodringsforsøg, hvor hunde blev oralt doseret med chloroform i gelatinekapsler (15 eller 30 mg/kg lgv/dag, 6 dage/uge i 7,5 år), fandt man udvikling af fedtlever i begge dosisgrupper. På basis af denne undersøgelse har US-EPA i IRIS sat en LOAEL til 12,9 mg/kg lgv/dag, idet der er korrigeret for, at der blev doseret 6 ud af ugens 7 dage (17).

2.3.3 Sammenfatning af trihalomethaners toksikologi

I sammenfatningen nedenfor indgår de data, som begrundet de benyttede kritiske effekter og doser/koncentrationer, som er relevante i forbindelse med vurdering af bassinvand i svømmebade. Den er baseret på chloroform og delvis på bromdichlormethan.

Der er ikke observeret hudirritation ved chloroformkoncentrationer, der normalt forekommer i de danske svømmebade. Der er ikke fundet undersøgelser for mennesker, der udsættes for chloroform ved hudkontakt, som kan danne grundlag for at estimere NOAEL eller LOAEL.

Korterevarende indånding af chloroform i koncentrationer over ca. 10 mg/m³ påvirker centralnervesystemet. Længerevarende/gentagen indånding kan endvidere medføre påvirkning af leveren. Ud fra data fra flere inhalationsundersøgelser med dyr er NOAEL bestemt til 9 mg/m³ (leverskader på mus). Der er ikke fundet pålidelige data for NOAEL på mennesker (28).

Hunde, som blev doseret oralt med chloroform i 7,5 år, udviklede leverskader. US-EPA har på basis af denne undersøgelse foreslået LOAEL til 12,9 mg/kg lgv/dag.

Ud fra undersøgelser af mennesker, der har indtaget chloroform, har man fundet en LOAEL for påvirkning af blod, lever og nyrer på 21 mg/kg lgv/dag ved langvarig eksponering. NOAEL er fundet til 0,96 mg/kg lgv/dag. En anden undersøgelse viste ingen effekt ved daglig indtagelse af 2,46 mg/kg lgv/dag i 5 år.

Trihalomethaner er under mistanke for at kunne påvirke fosteret. Forekomsten af chloroform og bromdichlormethan i drikkevand er sat i forbindelse med lav fødselsvægt. Endvidere har man i en ny canadisk undersøgelse fundet sammenhæng mellem øget forekomst af neuralrørsdefekter og forekomst af bromdichlormethan i drikkevand (20 µg/l, svarende til 0,57 µg/kg lgv/dag for en 70 kg person, der drikker 2 liter).

Chloroform er vist kræftfremkaldende i forsøgsdyr, men man har ikke kunnet påvise, at det er kræftfremkaldende for mennesker. US-EPA vurderer, at kræft i de kritiske organer (lever og nyrer) opstår som følge af celledød i disse organer. Som en konsekvens heraf har US-EPA vurderet, at eksponeringer, som ikke medfører celledød, heller ikke medfører øget risiko for kræft, og at den udregnede RfD for leverskade også vil beskytte mod øget kræftisiko.

2.3.4 Kritisk effekt og dosis

På basis af foranstående toksikologiske profil for chloroform kan følgende LOEL og NO(A)EL opstilles

TABEL 2.5. LOEL OG NO(A)EL FOR CHLOROFORM OG BROMDICHLORMETHAN FOR EN RÆKKE EFFEKTER.

Effekt	Art	Dosis/konc.	Enhed	
Lav fødselsvægt	Menneske	10	µg/l vand ^{a)}	LOEL
Neurotoksicitet	Mus	9	mg/m ³ luft	NOEL
Leverskader	Hund	12,9	mg/kg lgv/dag	LOEL
Leverskader	Menneske	21 2,46	mg/kg lgv/dag mg/kg lgv/dag	LOEL NOAEL ^{b)}
Cancer	Rotter	0,01	mg/kg lgv/dag	Safe level
Cancer ^{c)}	Rotte	6	µg/l vand ^{a,d)}	10 ⁻⁶ risikoniveau (11)

a) drikkevand

b) ingen effekt ved højeste undersøgte dosis

c) bromdichlormethan

d) svarende til 0,2 µg/kg lgv/dag for en 60 kg person, der drikker 2 l vand/dag

Ud fra de skadevirkninger, der er beskrevet for THM i litteraturen, ser leverskader ud til at være den virkning, der forekommer ved den laveste dosis. Ud fra undersøgelser af chloroforms leverskadende effekt i mus, er NOAEL tidligere fundet til 35 mg/kg lgv/dag (chloroform opløst i olivenolie). I en nyere undersøgelse af leverskader, hvor 90 dage gamle Fischer 344 hanrotter blev doseret med chloroform opløst i en 10 % vandig opløsning af Alkamuls EL-620 (Rhone-Poulenc), blev NOAEL fundet til 30 mg/kg lgv/dag. LOAEL blev bestemt til 60 mg/kg lgv/dag (36).

US-EPA har i 1992 fastsat en RfD på 0,01 mg/kg lgv/dag for leverskader på basis af ovenfor nævnte undersøgelse med hunde, hvor LOAEL bestemtes til 12,9 mg/kg lgv/dag. Der er anvendt sikkerhedsfaktorer på 10 for at tage hensyn til ekstrapolering fra dyr til mennesker, 10 for at tage hensyn til særligt følsomme individer, og 10 fordi der er anvendt en LOAEL og ikke en NOEL (17).

WHO anbefaler en TDI på 10 µg/kg lgv/dg for chloroform baseret på en korrigeret LOAEL på 13 mg chloroform/kg lgv/dag med en sikkerhedsfaktor på 1000. WHO anbefaler en vejledende værdi på 200 µg/l i drikkevand under den antagelse, at drikkevand bidrager med 50 % af den daglige dosis (37).

Miljøstyrelsen har fastsat en TDI for chloroform på 0,02 mg/kg lgv/dag (38). Denne værdi benyttes ved beregning af scenarierne.

Hvis man benytter LOAEL-værdien i den canadiske populationsundersøgelse, som viste fosterskade (neuralrørsdefekter) ved forekomst af bromdichlormethan i drikkevand, kan man estimere en "TDI" for bromdichlormethan til 0,006 µg/kg lgv/dag. Det er antaget, at den gravide drikker 2 liter vand/dag med 20 µg/l bromdichlormethan, og der er benyttet sikkerhedsfaktorer på 10 for særligt følsomme individer og på 10 for at benytte LOEL-værdi i stedet for NOEL.

WHO anfører kræft som den kritiske effekt for bromdichlormethan og angiver en vejledende værdi (guideline value) på 6 µg/l (svarende til 0,2 µg/kg lgv/dag) i drikkevand. WHO anfører endvidere, at den vejledende værdi vil medføre en livtidsrisiko på 10⁻⁶ (11).

2.4 Kritiske doser og effekter

Fra de toksikologiske profiler for frit chlor, bundet chlor og chloroform kan der udledes de kritiske doser for effekter ved kortvarig påvirkning og ved langvarig og gentagen påvirkning. Disse er sammenfattet i tabel 2.6 og 2.7, jf. afsnit 2.1.4, 2.2.4 og 2.3.4. I tabel 2.7 anføres endvidere de af US-EPA beregnede referencedoser (RfD), som er den daglige dosis, man kan udsættes for hele livet uden at pådrage sig den kritiske effekt. RfD og WHO's TDI kan benyttes som referencegrundlag ved risikoberegningerne.

TABEL 2.6. KRITISKE DOSER OG EFFEKTER EFTER KORTVARIG PÅVIRKNING MED FRIT CHLOR, BUNDET CHLOR OG CHLOROFORM

	Kritisk effekt	Kritisk dosis
Frit chlor	Hud-/øjenirritation	8 mg/l vand
Chlorgas	Lungefunktion	1,5 mg/m ³ luft (ca. 0,5 ppm)
Bundet chlor	Hud-/øjenirritation	2 mg/l vand
Chloroform	CNS påvirkning	10 mg/m ³ luft (ca. 2 ppm)

TABEL 2.7. KRITISKE DOSER OG EFFEKTER EFTER LANGVARIG PÅVIRKNING MED FRIT CHLOR, BUNDET CHLOR, CHLOROFORM OG BROMDICHLORMETHAN (BDCM)

	Kritisk effekt	Kritisk dosis	US-EPA RfD	WHO TDI
Frit chlor	Forplantningsevne	10 mg/kg lgv/dag	0,1 mg/kg lgv/dag	0,15 mg/kg lgv/dag 5 mg/l vejledende værdi i drikkevand
Bundet chlor (monochloramin)	Generel systemisk påvirkning	9,4 mg/kg lgv/dag	0,1 mg/kg lgv/dag	0,094 mg/kg lgv/dag 3 mg/l vejledende værdi i drikkevand
Chloroform	Lever-skader Cancer	13 mg/kg lgv/dag -	20 µg/kg lgv/dag ^{a)} 10 µg/kg lgv/dag ^{b)}	10 µg/kg lgv/dag 200 µg/l vejledende værdi i drikkevand
BDCM	Cancer	0,2 µg/kg lgv/dag ^{d)}		6 µg/l vejledende værdi i drikkevand ^{c)}

a) Miljøstyrelsens TDI

b) Safe level

c) svarende til en livtidsrisiko på 10⁻⁶ iflg. WHO (11)

d) beregnet ud fra ovennævnte vandkoncentration under antagelse at en 60 kg person drikker 2 l vand/dag

Den kritiske dosis af et givet kemisk stof er den højeste dosis, som ikke medfører en given toksisk effekt. Den kritiske effekt er den effekt, som optræder ved den laveste kritiske dosis. Den kritiske dosis for den kritiske effekt kaldes også NOAEL (no observed adverse effect level). Til vurdering af eventuelle helbredsgener fra benyttelse af svømmebade er det hensigtsmæssigt at se på NOAEL for effekt efter kortvarig påvirkning (akut effekt) og på NOAEL for effekt efter langvarig, gentagen påvirkning, eller sagt på en anden måde hvilke helbredsgener risikerer man efter et enkelt besøg i svømmebadet og hvilke efter gentagne besøg f.eks. gennem flere år.

3 Risikovurdering

WHO anvender i sin *Guidelines for safe recreational-water environments* en række parametre for modelpersonernes fysiologi og eksponering (39). Disse parametre resumeres og diskuteres i dette kapitel.

3.1 Model personer

I forbindelse med risikoberegninger anvender WHO i sin guideline (39) følgende parametre for modelpersonernes fysiologi og deres eksponeringsforhold (tabel 3.1). De fysiologiske parametre er taget fra forskellige kilder. Eksponeringskoncentrationer omtales i afsnit 3.2.

TABEL 3.1. WHO'S PARAMETRE FOR MODELPERSONERNES FYSIOLOGI OG EKSPONERING (40).

Parameter	Enhed	Barn	Voksen	Konkurrence-svømmer
Indtaget vand	(liter/time)	0,5	0,05	0,225
Eksponeringstid	(timer/dag)	1	1	4
Indåndingsmængde	(m ³ /time)	0,5	1	1,5
Kropsvægt	(kg)	10	60	60
Kropsoverflade	(cm ²)	10.000	18.000	18.000

Parametrene for barn er ikke konsistente, idet nogle parametre svarer til et 1 års barn og andre til et 10 års barn. Værdien for børns slugning af vand under svømning, leg og dykning er i litteraturen estimeret til ca. 0,5 l/time for 6 års barn og citeret af WHO (39). For et mindre barn vil det være formodentlig mindre. Når man bader med babyer puster man dem i ansigtet, så de lukker næse og mund tæt inden deres ansigt dyppes under vand. Derved bliver deres slugning af vand meget lille.

Værdien for voksnes slugning af vand under svømning er estimeret i litteraturen til 50 ml/time og citeret af WHO (39). Den virker umiddelbart rimelig.

Værdien for konkurrencesvømmeres indtagelse af vand er sat til et midtpunkt mellem børne- og voksne svømmeres indtagelse, dvs. 225 ml/time. Der er ikke anført en begrundelse for at vælge denne værdi. Den virker højt sat. En dansk konkurrencesvømmer vurderer, at man ikke sluger mere under træning end voksne motionssvømmere, måske endda mindre. Dette er i overensstemmelse med Lévesque *et al*, som har fundet, at svømmere hovedsageligt optager chloroform ved indånding og gennem huden, og derfor udelader indtagelse ved sine modelberegninger (20,22). På denne baggrund virker det mere rimeligt at benytte samme værdi for konkurrencesvømmere som for voksne motionssvømmere, altså 50 ml/time.

3.1.1 Børn

WHO's guideline benytter et modelbarn med en kropsvægt på 10 kg og en kropsoverflade på 1 m² (39). Disse data er ikke konsistente, jf. tabel 3.2, som viser data for et 1-års og et 10-års barn fra forskellige kilder (41-44). Kropsvægten for et 1-2 års barn er ca. 10 kg, mens dets kropsoverflade er ca.

0,4 m² (41). Et 10 års barn vejer gennemsnitligt ca. 32 kg og har en kropsoverflade på ca. 1 m² (41).

TABEL 3.2. FYSIOLOGISKE DATA FOR BØRN FRA FORSKELLIGE KILDER.

Kilde		(41)	(42)	(41)	(42)	(43)	(44)
Alder	(år)	1	1	10	10	-	10
Vægt	(kg)	10	10	32	30	10	-
Højde	(cm)	75	-	138	-	-	-
Overflade	(cm ²)	4.800	3.500	11.200	8.750	10.000	-
Indånding	(L/time)						
hvile	0 W	-	90	-	288	-	288
let aktivitet	(35 W)	-	252	-	780	-	780

W (watt); et mål for fysisk aktivitet (arbejde). 35 W svarer til let fysisk arbejde.

3.1.2 Voksne

Der er forskel på kvinders og mænds gennemsnitlige højde, kropsvægt, kropsoverflade, lungekapacitet og andre biologiske parametre, som indgår i eksponeringsscenarierne. I *Geigy Scientific Tables* er der tabeller over flere af disse sammenhænge (41). I de mange kilder er det sjældent anført, om der er tale om kvinder eller mænd. Der er derfor formodentlig tale om gennemsnitsværdier for kvinder og mænd.

WHO's guideline benytter en kropsvægt på 60 kg for voksne (39), som stammer fra WHO's *Guidelines for drinking-water quality* (30,43). Andre kilder anfører en gennemsnitlig kropsvægt på 65 kg for voksne. Åstrand *et al* har i en kontrolleret undersøgelse af mineralsk terpentins virkning på mennesker benyttet unge mænd (20-34 år) med en gennemsnitlig kropsvægt på 75 kg (45).

WHO's rapport benytter en kropsoverflade på 1,8 m² for voksne (39). Det svarer til en gennemsnitlig højde og vægt for en voksen på henholdsvis ca. 175 cm og ca. 65 kg (41).

Tabel 3.3 viser fysiologiske data for voksne fra forskellige kilder (41-45).

TABEL 3.3. FYSIOLOGISKE DATA FOR VOKSNE FRA FORSKELLIGE KILDER.

Kilde		(41)	(42)	(43)	(44)	(45)
Alder	(år)	20-69	18-70	-	-	20-34
Vægt	(kg)	76,5	70	60	64	74,5
Højde	(cm)	175	-	(196)	-	179
Overflade	(cm ²)	19.300	18.150 ⁾	18.000	-	(19.300)
Lungeventilation	(l/time)					
hvile	0 W	-	405 ⁾	-	405 ⁾	360
let aktivitet	(35 W)	-	1.170 ⁾	-	1.169 ⁾	-
	50 W	-	-	-	-	1500
	100 W	-	-	-	-	2400
	150 W	-	-	-	-	3600
	Max	-	-	-	-	9000

Tallet i parentes (19.300) er beregnet ud fra tabellerne i (41).

⁾ gennemsnit for kvinder og mænd.

3.1.3 Modelpersoner

På basis af de fysiologiske data for børn og voksne, som er opstillet i tabel 3.2 og 3.3, synes det rimeligt at anvende et andet sæt fysiologiske standard parametre for børn og voksne ved risikovurderingerne. Disse parametre er anført i tabel 3.4.

TABEL 3.4. MODELPERSONER. FYSIOLOGISKE PARAMETRE TIL ANVENDELSE I RISIKOBREGNINGERNE.

		Barn		Voksen	
		1 år	10 år	Motion	Konkurrence
Vægt	(kg)	10	30	70	70
Overflade	(cm ²)	4.000	10.000	18.000	18.000
Lungeventilation	(l/time)				
	0 W	90	290	380	380
	35 W	250	780	1.200	1.200
	50 W	-	-	1.500	1.500
	125 W	-	-	-	3.000
Vandindtagelse	(l/time)	0,05 ^{a)}	0,5 ^{b)}	0,05	0,05

a) DTC's skøn

b) WHO's angivelse (39)

I de efterfølgende scenarier er det antaget, at motionssvømmere (børn og voksne) udfolder en let fysisk aktivitet i vandet svarende til henholdsvis 35 W og 50 W. For konkurrencesvømmere er det antaget, at de halvdelen af tiden udfolder en let fysisk aktivitet i vandet (50 W) og i den anden halvdel af tiden hård fysisk aktivitet (125 W).

3.2 Eksposteringsforhold

I WHO's guideline, kapitel 4 anføres en række oplysninger om kemiske stoffer fundet i svømmebadsvand, som er desinficeret med forskellige desinfektionsmidler (39). WHO refererer endvidere en række undersøgelser, der har bestemt koncentrationer af disse stoffer i svømmebadsvand og i visse tilfælde også i luften over.

For frit og bundet chlor er kun fundet oplysninger om koncentrationer i bassinvand, mens der for chloroform er fundet oplysninger om koncentrationer såvel i bassinvand som i luft. De fleste kilder er citeret i WHO's guideline (39). I tabel 3.5 ses typiske måleværdier i vand og i luft. Endvidere er de danske grænser angivet for indendørs svømmebassiner, som er større end 25 m (1).

Chloroformindholdet i luften synes at være afhængig af antallet af svømmere i vandet og den deraf følgende turbulens i vand og luft. I en italiensk undersøgelse har målinger af chloroformindhold i luft i forskellige svømmehaller vist koncentrationer varierende fra 16 til 853 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og er fundet ikke at variere væsentligt i afstande fra umiddelbart over vandoverfladen til 150 cm over vandoverfladen (21). Andre undersøgelser har beskrevet niveauer fra 51 til 680 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (22). En nyere undersøgelse over den erhvervsmæssige udsættelse for trihalomethaner (THM) i svømmehaller beskriver indholdet af THM i den omgivende luft til $25,6 \pm 24,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (46). Chloroform udgør 80-90 % af den totale mængde THM og bromdichlormethan udgør 5-10 % (3,47). I England anvendes desinficeret drikkevand til opfyldning af bassinvand, hvorved bassin vandet tilføres desinfektionsbiprodukter bl.a. bromdichlormethan. Der foreligger ingen angivelser af, hvor meget f.eks. bromdichlormethan som tilføres ad denne vej. I Danmark anvendes ikke-desinficeret drikkevand til opfyldning af bassin vand. Der foreligger ingen målinger af bromdichlormethan i dansk svømmebadsvand, som kan benyttes i eksponeringsestimerne senere i rapporten, idet bromdichlormethan indgår i målingen af trihalomethaner. Der er som en worst-case betragtning regnet med, at bromdichlormethan udgør 10 % af THM.

TABEL 3.5. TYPISKE MÅLEVÆRDIER FOR FRIT CHLOR, BUNDET CHLOR, THM OG CHLOROFORM I VAND OG I LUFT. DE DANSKE GRÆNSER FOR INDENDØRS SVØMMEBASSINER, SOM ER STØRRE END 25 M ER LIGELEDES ANFØRT.

	Frit chlor		Bundet chlor		THM		Chloroform
	Grænse ¹⁾	Målt ¹⁾	Grænse ¹⁾	Målt ¹⁾	Grænse ³⁾	Målt ³⁾	Målt ³⁾
Vand							
Min.	0,5	0,3	-	0,1	-	-	6
Middel	0,5-2,0 ²⁾	0,4	0,5 ²⁾	0,2	25 ²⁾	20	17
Max.	3,0	0,6	1,0	0,3	50	-	30
Luft							
Min.	-	nd	-	nd	-	-	14 ⁵⁾
Middel	-	nd	-	nd	-	94	52 ⁵⁾
Max.	-	nd	-	nd	-	-	192 ⁵⁾

nd = ingen data.

1) = mg/l vand, indendørs svømmebassiner på mindst 25 m.

2) = vejledende værdi.

3) = µg/l vand.

4) = µg/l vand, fra Jovanovic *et al* (47) og Lévesque *et al* (20).

5) = µg/m³ luft, fra Strähle (5).

3.3 Eksponeringsscenerier

Principielt vil badegæster (svømmere) kunne optage kemiske stoffer ved indånding af dampe over vandoverfladen, ved hudkontakt med badevandet og ved indtagelse (slugning) af badevandet. For de tre eksponeringsveje kan man opstille modeller til beregning af de optagne doser, jf. tabel 3.6.

TABEL 3.6. MODELLER TIL BEREGNING AF EKSPONERINGSDOSES VED INDTAGELSE, INDÅNDING OG HUDKONTAKT.

Indtagelse	$D_M = C_{\text{vand}} * V_{\text{indtaget}} * R / W_{\text{krop}}$
Indånding	$D_I = C_{\text{luft}} * V_{\text{indåndet}} * t * R / W_{\text{krop}}$
Hudkontakt	$D_H = C_{\text{vand}} * A_{\text{hud}} * t * k_p^{\text{eff}} / W_{\text{krop}}$

D = optaget dosis.

C = eksponeringskoncentration i vand eller luft.

V = volumen indtaget (slugt) eller indåndet.

t = eksponeringstid.

R = retention (procent optaget af indtaget/indåndet mængde; eksponeringsfaktor).

k_p^{eff} = optagelseshastighed gennem huden (cm/time).

W_{krop} = kropsvægt.

A_{hud} = hudareal.

For optagelse gennem lungerne og mave-tarmkanalen afhænger den optagne dosis af det indtagne volumen og koncentration i dette, og hvor meget der tilbageholdes i kroppen (retentionen). Optagelse gennem huden afhænger af koncentrationen i vandet, det eksponerede hudareal og optagelseshastigheden gennem huden. Data vedrørende visse af parametrene er sparsomme for modelstofferne, som det fremgår af tabel 3.7. Oplysningerne stammer fra WHO's guideline (39) med mindre andet er nævnt.

TABEL 3.7. RETENTIONER OG HUDOPTAGELSESHASTIGHEDER FOR FRIT CHLOR, BUNDET CHLOR, CHLOROFORM OG BROMDICHLORMETHAN (BDCM).

	Enhed	Frit chlor	Bundet chlor	Chloroform	BDCM
Hud (k_p^{eff})	cm/t	0,0128 ^{a)}	nd	0,144 - 0,22 ^{b)}	0,052
Luftveje	%	nd	nd	75 ^{c)}	75 ^{c)}
Mave-tarmkanal	%	100 ^{c)}	0	100	100 ^{c)}

a) hypochlorit.

b) fra Lévesque *et al* (20).

c) DTC's skøn. For chloroform anføres, at 80 % optages (27)

Der er kun data nok til at estimere eksponeringsdosis for bundet chlor ved indtagelse. Bundet chlor nedbrydes i mave-tarmkanalen, og optagelsen er derfor nul. Bundet chlor indgår derfor ikke i de efterfølgende beregninger af eksponeringsdoser.

For frit chlor er der kun data til at estimere dosis ved hudoptagelse og ved indtagelse (slugning) af vand. For chloroform foreligger nok data til at

beregne dosis ved alle tre eksponeringsveje. Til de efterfølgende dosisberegninger anvendes parametrene i tabel 3.8, som worst-case værdier for koncentrationer i svømmebadsvand og luften ovenover, og for retention ved indånding og indtagelse, og optagelseshastighed gennem huden. De vandkoncentrationer, som benyttes til beregning af dosis ved indtagelse og hudoptagelse, er de maksimale nuværende værdier for danske svømmebade, som er 25 m eller længere (1). Der er regnet med, at chloroform udgør 90 % af THM i bassin vandet (50 µg/l). Der er endvidere regnet med, at bromdichlormethan udgør 10 % af THM i bassin vandet, baseret på målinger fra England (3). Luftkoncentrationen for BDCM er estimeret ud fra måledata i litteraturen for THM i bassin vand og i luften over. Luftkoncentrationen for chloroform er den maksimale værdi bestemt af Strähle (5).

TABEL 3.8. RETENTION OG HUDOPTAGELSEHASTIGHED FOR FRIT CHLOR, CHLOROFORM OG BROMDICHLORMETHAN (BDCM) I BEREGNINGSMODELLERNE.

	Frit chlor		Chloroform		BDCM	
	Konc.	Retention	Konc.	Retention	Konc.	Retention
Indånding	nd	nd	200 µg/m ³	75 %	20 µg/m ³	75 %
Indtagelse	3,0 mg/l	100 %	45 µg/l	100 %	5 µg/l	100 %
Hudoptagelse	3,0 mg/l	0,013 cm/t	45 µg/l	0,22 cm/t	5 µg/l	0,052 cm/t

3.3.1 Eksponeringsscenarier for børn

I det benyttede eksponeringsscenario antages det, at et 1-års barn opholder sig i svømmebadsvand 0,5 time/uge og i svømmehallen yderligere 0,5 time/uge. For et 10-års barn antages det, at barnet opholder sig i svømmebadsvandet 1 time/uge og yderligere 0,5 time/uge i svømmehallen. For begge modelbørn regnes der med, at de udfører et let fysisk aktivitet svarende til 35 W i vandet og et hvilearbejde (0 W) ved ophold i hallen. De aktuelle eksponeringsvolumener kan beregnes fra tabel 3.4.

TABEL 3.9. EKSPONERINGSMØNSTER FOR BØRN. DEN ANFØRTE EKSPONERINGSTID ER PR. UGE. DET ER ANTAGET, AT 1-ÅRS BØRN BADER 0,5 TIME UNDER UDFØRELSE AF ET FYSISK ARBEJDE PÅ 35 W OG OPHOLDER SIG I HALLEN I YDERLIGERE 0,5 TIME UNDER UDFØRELSE AF ET FYSISK ARBEJDE PÅ 0 W. DET ER ANTAGET, AT 10-ÅRS BØRN BADER 1,0 TIME UNDER UDFØRELSE AF ET FYSISK ARBEJDE PÅ 35 W OG OPHOLDER SIG I HALLEN I YDERLIGERE 0,5 TIME UNDER UDFØRELSE AF ET FYSISK ARBEJDE PÅ 0 W. DER ER BENYTTET PARAMETRENE I TABEL 3.4 TIL BEREGNING AF EKSPONERINGSVOLUMENER.

Alder	1 år			10 år		
	Eksponeringstid		Eksponeringsvolumen	Eksponeringstid		Eksponeringsvolumen
	Vand	Hal		Vand	Hal	
Indånding (vand)	0,5 time	-	125 l luft	1 time	-	780 l luft
Indånding (land)	-	0,5 time	45 l luft	-	0,5 time	145 l luft
Indtagelse	0,5 time	-	0,025 l vand	1 time	-	0,5 l vand
Hudkontakt	0,5 time	-	4.000 cm ²	1 time	-	10.000 cm ²

Eksponeringsdosis kan nu beregnes under anvendelse af formlerne i tabel 3.6 og parametrene i tabellerne 3.4, 3.8 og 3.9. I tabel 3.10 ses dosisberegningerne for et 1-års barn og tabel 3.11 for et 10-års barn.

TABEL 3.10. BEREGNING AF GENNEMSNITLIG DAGLIG DOSIS AF FRIT CHLOR, CHLOROFORM OG BDCM FOR ET 1-ÅRS BARN, SOM BADER I SVØMMEHAL EN GANG OM UGEN. TIL BEREGNINGERNE ER BENYTTET MODELLERNE I TABEL 3.6 OG PARAMETRENE I TABEL 3.4, 3.8 OG 3.9.

Stof	Frit chlor	Chloroform	BDCM
Indånding	-	2,56 µg/kg lgv ^{a)}	0,255 µg/kg lgv ^{b)}
Indtagelse	0,0075 mg/kg lgv	0,11 µg/kg lgv	0,013 µg/kg lgv
Hudoptagelse	0,0077 mg/kg lgv	1,98 µg/kg lgv	0,052 µg/kg lgv
Dosis/uge	0,0152 mg/kg lgv/uge	4,65 µg/kg lgv/uge	0,320 µg/kg lgv/uge
Dosis/dag	0,0022 mg/kg lgv/dag	0,66 µg/kg lgv/dag	0,046 µg/kg lgv/dag

a) summen af indånding i vand (1,88 µg/kg lgv) og indånding på land (0,68 µg/kg lgv)

b) summen af indånding i vand (0,188 µg/kg lgv) og indånding på land (0,068 µg/kg lgv)

TABEL 3.11. BEREGNING AF GENNEMSNITLIG DAGLIG DOSIS AF FRIT CHLOR, CHLOROFORM OG BDCM FOR ET 10-ÅRS BARN, SOM BADER I SVØMMEHAL EN GANG OM UGEN. TIL BEREGNINGERNE ER BENYTTET MODELLERNE I TABEL 3.6 OG PARAMETRENE I TABEL 3.4, 3.8 OG 3.9.

Stof	Frit chlor	Chloroform	BDCM
Indånding	-	4,63 µg/kg lgv ^{a)}	0,463 µg/kg lgv ^{b)}
Indtagelse	0,050 mg/kg lgv	0,75 µg/kg lgv	0,083 µg/kg lgv
Hudoptagelse	0,0128 mg/kg lgv	3,30 µg/kg lgv	0,087 µg/kg lgv
Dosis/uge	0,0628 mg/kg lgv/uge	8,68 µg/kg lgv/uge	0,633 µg/kg lgv/uge
Dosis/dag	0,009 mg/kg lgv/dag	1,24 µg/kg lgv/dag	0,090 µg/kg lgv/dag

a) summen af indånding i vand (3,90 µg/kg lgv) og indånding på land (0,73 µg/kg lgv)

b) summen af indånding i vand (0,390 µg/kg lgv) og indånding på land 0,073 µg/kg lgv)

3.3.2 Eksponeringsscenario for voksne

I det anvendte eksponeringsscenario antages det, at voksne motionssvømmere bader i svømmebad en gang om ugen. De opholder sig 1 time i vandet og udfører et arbejde på 50 W. De opholder sig i svømmehallen i 0,5 time og udfører et hvilearbejde (0 W). De aktuelle eksponeringsvolumener kan beregnes fra tabel 3.4.

For konkurrencesvømmere regnes der i eksponeringsscenarioet med, at svømmeren opholder sig i svømmebadsvandet ca. 20 timer/uge og ca. 5 timer/uge i svømmehallen, hvor der styrketrænes. Der er regnet med, at der i halvdelen af tiden i vand udføres et hårdt fysisk arbejde på ca. 125 W og i den anden halvdel af tiden udføres der et let fysisk arbejde (50 W). På land regnes med et gennemsnitligt fysisk arbejde på 35 W.

TABEL 3.12. EKSPONERINGSMØNSTER FOR VOKSNE. DEN ANFØRTE EKSPONERINGSTID ER PR. UGE. DET ER ANTAGET, AT MOTIONSSVØMMERE TRÆNER 1,0 TIME UNDER UDFØRELSE AF EN FYSISK AKTIVITET PÅ 35 W OG OPHOLDER SIG I HALLEN I YDERLIGERE 0,5 TIME UNDER UDFØRELSE AF EN FYSISK AKTIVITET PÅ 0 W. DET ER ANTAGET, AT KONKURRENCESVØMMERE TRÆNER 10 TIMER UNDER UDFØRELSE AF ET FYSISK ARBEJDE PÅ 50 W PLUS 10 TIMER UNDER UDFØRELSE AF ET FYSISK ARBEJDE PÅ 125 W OG OPHOLDER SIG I HALLEN I 5 TIMER UNDER UDFØRELSE AF ET FYSISK ARBEJDE PÅ 35 W. DER ER BENYTTET PARAMETRENE I TABEL 3.4 TIL BEREGNING AF EKSPONERINGSVOLUMENER.

	Motionssvømmere			Konkurrencesvømmere		
	Eksponeringstid		Eksponeringsvolumen	Eksponeringstid		Eksponeringsvolumen
	Vand	Hal		Vand	Hal	
Indånding (vand 1)	1 time	-	1.500 l luft	10 timer	-	30.000 l luft
Indånding (vand 2)	-	-	-	10 timer	-	15.000 l luft
Indånding (land)	-	0,5 time	190 l luft	-	5 timer	6.000 l luft
Indtagelse	1 time	-	0,05 l vand	20 timer	-	1 l vand
Hudkontakt	1 time	-	18.000 cm ²	20 timer	-	18.000 cm ²

Eksponeringsdosis kan nu beregnes under anvendelse af formlerne i tabel 3.6 og parametrene i tabellerne 3.4, 3.8 og 3.12. I tabel 3.13 ses dosisberegningerne for en motionssvømmer og tabel 3.14 for en konkurrencesvømmer.

TABEL 3.13. BEREGNING AF GENNEMSNITLIG DAGLIG DOSIS AF FRIT CHLOR, CHLOROFORM OG BROMDICHLORMETHAN (BDCM) FOR EN MOTIONSSVØMMER, SOM BADER I SVØMMEHAL EN GANG OM UGEN. TIL BEREGNINGERNE ER BENYTTET MODELLERNE I TABEL 3.6 OG PARAMETRENE I TABEL 3.4, 3.8 OG 3.12.

Stof	Frit chlor	Chloroform	BDCM
Indånding	-	3,62 µg/kg lgv ^{a)}	0,362 µg/kg lgv ^{b)}
Indtagelse	0,0021 mg/kg lgv	0,032 µg/kg lgv	0,0036 µg/kg lgv
Hudoptagelse	0,0099 mg/kg lgv	2,55 µg/kg lgv	0,067 µg/kg lgv
Dosis/uge	0,0120 mg/kg lgv/uge	6,20 µg/kg lgv/uge	0,432 µg/kg lgv/uge
Dosis/dag	0,0017 mg/kg lgv/dag	0,89 µg/kg lgv/dag	0,062 µg/kg lgv/dag

a) summen af indånding i vand (3,21 µg/kg lgv) og indånding på land (0,41 µg/kg lgv)

b) summen af indånding i vand (0,321 µg/kg lgv) og indånding på land (0,041 µg/kg lgv)

Hvis motionssvømmeren træner mere end én gang om ugen, som antaget i ovenstående beregning, øges den gennemsnitlige daglige dosis. Hvis motionssvømmeren f.eks. går i svømmehal 2 gange om ugen, og hver gang har det samme motionsmønster, som antaget (1 times svømning (35 W) og 0,5 times ophold i hallen derudover (0 W)), øges den gennemsnitlige daglige dosis til det dobbelte af dosis/dag i tabel 3.13.

TABEL 3.14. BEREGNING AF GENNEMSITLIG DAGLIG DOSIS AF FRIT CHLOR, CHLOROFORM OG BROMDICHLORMETHAN (BDCM) FOR EN KONKURRENCESVØMMER, SOM TRÆNER I SVØMMEHAL 10 GANGE OM UGEN. TIL BEREGNINGERNE ER BENYTTET MODELLERNE I TABEL 3.6 OG PARAMETRENE I TABEL 3.4, 3.8 OG 3.12.

Stof	Frit chlor	Chloroform	BDCM
Indånding	-	109,29 µg/kg lgv ^{a)}	10,93 µg/kg lgv ^{b)}
Indtagelse	0,043 mg/kg lgv	0,64 µg/kg lgv	0,071 µg/kg lgv
Hudoptagelse	0,198 mg/kg lgv	50,91 µg/kg lgv	1,337 µg/kg lgv
Dosis/uge	0,241 mg/kg lgv/uge	160,84 µg/kg lgv/uge	12,337 µg/kg lgv/uge
Dosis/dag	0,034 mg/kg lgv/dag	23,0 µg/kg lgv/dag	1,76 µg/kg lgv/dag

a) summen af indånding i vand (64,29 µg/kg lgv + 32,14 µg/kg lgv) og indånding på land (12,86 µg/kg lgv)

b) summen af indånding i vand (6,43 µg/kg lgv + 3,21 µg/kg lgv) og indånding på land (1,29 µg/kg lgv)

3.3.3 Sammenfatning af dosisberegninger

Resultaterne i tabellerne 3.10, 3.11, 3.13 og 3.14 er samlet i oversigtstabellen 3.15. Som tidligere nævnt er der ikke data til at beregne doser for bundet chlor. DTC skønner dog, at eksponeringen og dermed de daglige doser vil være i samme størrelsesorden som for frit chlor.

TABEL 3.15. OVERSIGT OVER DE BEREGNEDE DAGLIGE DOSER FOR BØRN OG VOKSNE VED TYPISKE EKSPONERINGSMØNSTRE I SVØMMEHAL: 1-ÅRS BØRN 0,5 TIDERS BAD OM UGEN PLUS 0,5 TIDERS HALOPHOLD; 10-ÅRS BØRN 1 TIDERS BAD OM UGEN PLUS 0,5 TIDERS HALOPHOLD; MOTIONSSVØMMERE 1 TIDERS BAD OM UGEN PLUS 0,5 TIDERS HALOPHOLD; KONKURRENCESVØMMERE 20 TIDERS TRÆNING OM UGEN PLUS 5 TIDERS HALOPHOLD MED STYRKETRÆNING.

	Enhed	Børn		Voksne	
		1 år	10 år	Motion	Konkurrence
Frit chlor på 3 mg/l	mg/kg lgv/dag	0,0022	0,009	0,0017	0,034
Chloroform (50 µg/l THM)	µg/kg lgv/dag	0,66	1,24	0,89	23,0
BDCM (50 µg/l THM)	µg/kg lgv/dag	0,046	0,090	0,062	1,76

Tabel 3.15 viser, at der for de valgte eksponeringsscenarier, er påfaldende lille forskel mellem de beregnede daglige doser af frit chlor og chloroform for børn og voksne motionssvømmere. Konkurrencesvømmerens gennemsnitlige daglige doser af frit chlor, chloroform og bromdichlormethan er 20-30 gange så høje som motionssvømmerens, men konkurrencesvømmeren er også 20 gange så lang tid i vandet. Eksponeringstiden dvs. opholdstiden i vandet og i hallen ser dermed ud til at være den afgørende parameter for dosis' størrelse.

Tabellerne 3.10, 3.11, 3.13 og 3.14 viser endvidere, at indtagelse af vand (slugning) under svømning kun bidrager lidt til den optagne dosis hos voksne (ca. 0,5 %). Hos legende børn, som sluger en hel del vand, udgør indtagelsen op til 10 % (39). Indånding og hudoptagelse bidrager omtrent lige meget for børn og voksne motionssvømmere, henholdsvis 50-55 % og 40-45 %. For konkurrencesvømmere bidrager indånding med ca. 65 % og hudoptagelse ca. 34 % af dosis.

De beregnede doser for frit chlor er 3-50 gange lavere end US-EPA's referencedosis (RfD) på 0,1 mg/kg lgv/dag for påvirkning af forplantningsevnen, jf. tabel 2.7. WHO's TDI på 0,15 mg/kg lgv/dag er ligeledes ikke overskredet.

De beregnede doser for chloroform er ca. 20 gange lavere end Miljøstyrelsens TDI-værdi på 20 µg/kg lgv/dag undtagen for konkurrencesvømmere. For disse er den beregnede chloroformdosis af samme størrelse som TDI. US-EPA anfører en RfD og et safe level for chloroform på 10 µg/kg lgv/dag. WHO har udregnet TDI på 10 µg/kg lgv/dag med udgangspunkt i de samme undersøgelser med hunde, som var grundlag for RfD (30).

Bromdichlormethan (BDCM) er vurderet som muligvis kræftfremkaldende for mennesker. WHO har på basis undersøgelser med rotter og mus udledt en vejledende værdi for drikkevand på 6 µg/l, svarende 0,2 µg/kg lgv/dag og beregnet at denne dagligt livet igennem vil medføre en kræftisiko på 10^{-6} . De beregnede gennemsnitlige daglige doser for bromdichlormethan er 2-4 gange lavere end den daglige dosis, som ifølge WHO vil medføre en kræftisiko på 10^{-6} , undtagen for konkurrencesvømmere, hvis gennemsnitlige daglige dosis er ca. 10 højere, dvs. at konkurrencesvømmere vil have en kræftisiko på ca. 10^{-5} .

LOEL/NOAEL for de kritiske effekter ved kortvarig eksponering for frit chlor (hud- og øjenirritation hos mennesker) og for bundet chlor (hudirritation hos mennesker og øjenirritation hos kaniner) er højere end de gældende grænser for forekomst i svømmebadsvand, jf. tabel 2.6.

3.3.4 WHO's risikovurdering

WHO's risikovurderingsmodel minder meget om DTC's. Der er nogle forskelle i de anvendte parametre, som beskrevet i afsnit 3.1. WHO har kun set på risikoen fra trihalomethaner med chloroform som modelstof, fordi der ikke findes tilstrækkelige data for de øvrige stoffer, der forekommer i svømmebadsvand. DTC har i princippet benyttet samme fremgangsmåde som WHO. DTC dog også fundet data for indtagelse og hudoptagelse af frit chlor.

WHO har opstillet tre scenarier med forskellig eksponering (worst-case, moderat og lav). Der er benyttet litteraturdata for chloroforms koncentration i svømmebadsvand og luften derover for alle tre scenarier. De beregnede daglige doser er sammenlignet med den halve TDI for chloroform. DTC har opstillet et scenario, hvor de gældende grænser for frit chlor og chloroform i svømmebadsvand samt litteraturdata for chloroform i luften over svømmebadsvand blev benyttet. DTC har sammenlignet de beregnede daglige doser med US-EPA's RfD og WHO's TDI, samt beregnet livstidsrisikoen for at få kræft.

DTC's scenario viser, at der optages omtrent lige store mængder frit chlor henholdsvis chloroform gennem huden og ved indånding, mens der kun optages mindre mængder ved slugning af vand. WHO's scenarier finder, at den væsentligste del optages gennem huden (80-90 %) (39). Det virker som en meget stor andel.

DTC's scenario finder for alle modelpersoner væsentlig lavere daglige doser end WHO's tre scenarier. Det skyldes bl.a., at WHO benytter højere koncentrationer end DTC i sine beregninger, samt den store forskel i bidrag fra hudoptagelse. Det er klart, at hvis de reelle koncentrationer af forureningerne (frit chlor og THM) er højere end de i dag i Danmark gældende grænser, så vil de daglige doser ligeledes være større og dermed vil risikoen for skadelige påvirkninger også være større. Omvendt må det forventes, at konkurrencesvømmeres risiko vil være lavere end beregnet, fordi

konkurrencesvømmere benytter svømmebassinerne på tidspunkter, hvor de er lavt belastede og dermed mindre forurenet med desinfektionsbiprodukter.

For effekter af langvarig eksponering for frit chlor og chloroform er de beregnede gennemsnitlige daglige doser 3-60 gange lavere end reference-doserne (RfD og TDI) for alle modelpersoner undtagen konkurrencesvømmere, for hvilke chloroformdosen har samme størrelse som Miljøstyrelsens TDI, men er ca. 2,3 gange større end US-EPA's RfD og WHO's beregnede TDI. De beregnede gennemsnitlige daglige doser af bromdichlormethan (BDCM) er 2-4 gange mindre end WHO's vejledende værdi for drikkevand undtagen for konkurrencesvømmere, hvis gennemsnitlige daglige doser er ca. 10 gange større. WHO anfører, at den vejledende værdi vil medføre en kræftisiko på 10^{-6} . For BDCM er der i scenariet regnet med en worst-case situation, hvor BDCM udgør 10 % af THM i bassinvandet, som er det maksimale der er fundet i en engelsk undersøgelse (3). Det er ikke målt BDCM i danske svømmebade. Et lavere indhold vil medføre en lavere beregnet gennemsnitlig daglig dosis.

3.3.5 Konklusion

I dette afsnit er gennemsnitlige daglige doser beregnet for en række koncentrationer af frit chlor og THM (chloroform og bromdichlormethan) i bassinvand. De valgte koncentrationer svarer til gældende vejledende og maksimale tilladte værdier for disse stoffer i danske svømmebade. Til beregninger er benyttet de samme scenarier som foran.

De kritiske doser for effekter efter kortvarig påvirkning med frit chlor, chlogas, bundet chlor og THM (chloroform) er resumeret i tabel 3.16.

TABEL 3.16. KRITISKE DOSER OG EFFEKTER EFTER KORTVARIG PÅVIRKNING MED FRIT CHLOR, BUNDET CHLOR OG CHLOROFORM.

	Kritisk effekt	Kritisk dosis
Frit chlor	Hud-/øjenirritation	8 mg/l vand
chlogas	Lungefunktion	1,5 mg/m ³ luft (ca. 0,5 ppm)
Bundet chlor	Hud-/øjenirritation	2 mg/l vand
Chloroform	CNS påvirkning	10 mg/m ³ luft (ca. 2 ppm)

I tabel 3.17 er resumeret de kritiske doser for effekter, som opstår efter langvarig og gentagen påvirkning med frit chlor, bundet chlor og THM (chloroform og bromdichlormethan).

TABEL 3.17. KRITISKE DOSER OG EFFEKTER EFTER LANGVARIG PÅVIRKNING MED FRIT CHLOR, BUNDET CHLOR, CHLOROFORM OG BROMDICHLORMETHAN (BDCM)

	Kritisk effekt	Kritisk dosis	US-EPA RfD	WHO TDI
Frit chlor	Forplantningsevne	10 mg/kg lgv/dag	0,1 mg/kg lgv/dag	0,15 mg/kg lgv/dag
Bundet chlor (monochloramin)	Generel systemisk påvirkning	9,4 mg/kg lgv/dag	0,1 mg/kg lgv/dag	0,094 mg/kg lgv/dag
Chloroform	Lever-skader	13 mg/kg lgv/dag	20 µg/kg lgv/dag ^{a)}	13 µg/kg lgv/dag
	Cancer	-	10 µg/kg lgv/dag ^{b)}	
BDCM	Cancer	0,2 µg/kg lgv/dag ^{d)}	-	6 µg/l vand ^{c)}

a) Miljøstyrelsens TDI

b) Safe level

c) vejledende værdi for drikkevand; svarende til en livstidsrisiko på 10^{-6} iflg. WHO (11)

d) beregnet ud fra ovennævnte vandkoncentration under antagelse at en 60 kg person drikker 2 l vand/dag

I tabel 3.18 ses de beregnede gennemsnitlige daglige doser ved forskellige koncentrationer af frit chlor i bassinvand. De anvendte koncentrationer er de nugældende, vejledende og maksimale tilladte værdier for frit chlor i bassinvand.

TABEL 3.18. FRIT CHLOR. BEREGNEDE GENNEMSNITLIGE DAGLIGE DOSER VED FORSKELLIGE KONCENTRATIONER AF FRIT CHLOR I BASSINVANDET. EKSPONERINGSMØNSTRENE ER DE SAMME SOM BENYTTET I AFSNIT 3.3.1 OG 3.3.2.

Koncentration i bassinvand	Enhed	Børn		Voksne	
		1 år	10 år	Motion	Konkurrence
0,5 mg/l	mg/kg lgv/dag	0,0004	0,002	0,0003	0,006
1,0 mg/l	mg/kg lgv/dag	0,0008	0,003	0,0006	0,011
2,0 mg/l	mg/kg lgv/dag	0,0016	0,006	0,0011	0,023
3,0 mg/l	mg/kg lgv/dag	0,0022	0,009	0,0017	0,034
5,0 mg/l	mg/kg lgv/dag	0,0037	0,015	0,0028	0,057

Alle de beregnede gennemsnitlige daglige doser af frit chlor er lavere end US-EPA's referencedosis (RfD; 0,1 mg/kg lgv/dag), som igen er 100 gange lavere end NOEL. WHO's TDI for frit chlor (som Cl₂) er 0,15 mg/kg lgv/dag.

Der forelå ikke litteraturdata, som muliggjorde at opstille eksponerings-scenarier for bundet chlor. Det var derfor heller ikke muligt at beregne de gennemsnitlige daglige doser for modelpersonerne. DTC estimerer, at forholdene for bundet chlor svarer til frit chlor, dvs. at gennemsnitlige daglige doser af bundet chlor estimeres at ville være lavere end US-EPA's RfD, som er 95 µg/kg lgv/dag. WHO's TDI for bundet chlor (monochloramin) er 0,094 mg/kg lgv/dag. WHO's anbefalede vejledende værdi for bundet klor (monochloramin) er 3 mg/l. Til sammenligning kan nævnes, at den danske vejledende værdi for indhold af bundet chlor i bassinvand er 0,5 mg/l, og den maksimale tilladte værdi er 1,0 mg/l.

I tabel 3.19 ses de beregnede gennemsnitlige daglige doser af chloroform og bromdichlormethan ved forskellige koncentrationer af THM i bassinvand. De anvendte koncentrationer er de nugældende, vejledende og maksimale tilladte værdier for THM i bassinvand. Der er endvidere gjort den formodentlig meget forsigtige antagelse, at chloroform udgør 90 % af THM og at bromdichlormethan udgør 10 % af THM.

TABEL 3.19. THM. BEREGNEDE GENNEMSNITLIGE DAGLIGE DOSER AF CHLOROFORM OG BROMDICHLORMETHAN (BDCM) VED FORSKELLIGE KONCENTRATIONER AF THM I BASSINVANDET. EKSPONERINGSMØNSTRENE ER DE SAMME SOM BENYTTET I AFSNIT 3.3.1 OG 3.3.2. DER ER ANTAGET, AT CHLOROFORM OG BDCM UDGØR HENHOLDSVIS 90 % OG 10 % AF THM.

	Enhed	Børn		Voksne	
		1 år	10 år	Motion	Konkurrence
<i>Chloroform</i>					
18 µg/l (20 µg/l THM)	µg/kg lgv/dag	0,26	0,50	0,36	9,2
22,5 µg/l (25 µg/l THM)	µg/kg lgv/dag	0,33	0,62	0,45	11,5
45 µg/l (50 µg/l THM)	µg/kg lgv/dag	0,66	1,24	0,89	23,0
90 µg/l (100 µg/l THM)	µg/kg lgv/dag	1,32	2,48	1,78	46,0 ^{a)}
<i>BDCM</i>					
2 µg/l (20 µg/l THM)	µg/kg lgv/dag	0,018	0,036	0,025	0,70
2,5 µg/l (25 µg/l THM)	µg/kg lgv/dag	0,023	0,045	0,031	0,88
5 µg/l (50 µg/l THM)	µg/kg lgv/dag	0,046	0,090	0,062	1,76
10 µg/l (100 µg/l THM)	µg/kg lgv/dag	0,092	0,180	0,124	3,52 ^{a)}

a) For konkurrencesvømmere er den højeste eksponering ikke særlig sandsynlig, fordi det svarer til den maksimale tilladte koncentration i bassinvand i bassiner < 25 m.

De beregnede gennemsnitlige daglige doser for chloroform er alle 8-80 gange lavere end Miljøstyrelsens TDI på 20 µg/kg lgv/dag, undtagen for konkurrencesvømmere. For disse er den højeste daglige dosis beregnet til at være af samme størrelse som Miljøstyrelsens TDI, men 2,3 gange større end den af WHO angivne TDI på 10 µg/kg lgv/dag.

De beregnede gennemsnitlige daglige doser bromdichlormethan (BDCM) er alle ca. 1-10 gange lavere end 0,2 µg/kg lgv/dag svarende til WHO's vejledende værdi for drikkevand på 6 µg/l, undtagen for konkurrence-svømmere som er udsat for gennemsnitlige daglige doser på op til ca. 10 gange WHO's vejledende værdi.

I tabellerne 3.18 og 3.19 er der regnet på forskellige koncentrationer af frit chlor og THM bestanddele (chloroform og BDCM). Tilsvarende beregninger kan udføres for forskellige opholdstider i bassinvand og svømmehal. Længere opholdstider vil betyde større gennemsnitlige daglige doser og kortere opholdstider vil betyde lavere doser. Dette fremgår også af forskellen i de gennemsnitlige daglige doser for motionssvømmere og konkurrence-svømmere, jf. afsnit 3.3.2. I scenarierne er der til beregningerne benyttet de gældende danske værdier for desinfektionsbiprodukter i bassinvand. Disse værdier må betragtes som maksimumværdier. Gennemsnitsværdier for desinfektionsbiprodukter vil alene på grund af almindelige variationer være lavere, idet badevandet ofte vil være mindre belastet med svømmere og snavs. Det gælder især, når svømmebassinerne benyttes af konkurrencesvømmere. Derved vil de daglige doser blive reduceret og de beregnede risici tilsvarende mindre.

4 Litteratur

1. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen. Kontrol med svømmebade. København: Miljøstyrelsen; 1988. (Vejledning fra Miljøstyrelsen; 1988:3).
2. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System (IRIS). Chlorine. Washington DC: EPA; 2001. (CHEM-BANK on CD-ROM by SilverPlatter International N.V.).
3. Chu H, Nieuwenhuijsen MJ. Distribution and determinants of trihalomethane concentrations in indoor swimming pools. *Occup Environ Med* 2002;59(4):243-7.
4. Aiking H, van Ackert MB, Scholten RJPM, Feenstra JF, Valkenburg HA. Swimming pool chlorination: a health hazard? *Toxicol Lett* 1994;72:375-80.
5. Strähle J. Risikoabschätzung der gesundheitlichen Belastung von Schwimmern durch die bei der Desinfektion von Schwimmbeckenwasser entstehenden Nebenreaktionsprodukte [Inauguraldissertation]. Ruprecht-Karls-Universität zu Heidelberg, Medizinische Fakultät; 1999.
6. Erdinger L, Kirsch F, Sonntag H-G. Irritierende Wirkung von Nebenprodukten der Schwimmbadwasserdesinfektion. *Zentralbl Hyg Umweltmed* 1998;200(5-6):491-503.
7. Fisher's Contact Dermatitis. 5 ed. Philadelphia (PA): Lippincott, Williams & Wilkins; 2001.
8. Eichelsdörfer D, Slovak J, Dirnagl K, Schmid K. Untersuchung der Augenreizung durch freies und gebundenes Chlor im Schwimmbeckenwasser. [publikation ukendt]. p. 9-13.
9. National Library of Medicine (NLM). The Hazardous Substances Data Bank (HSDB). Chloroform. Washington DC: NLM; 2001. (CHEM-BANK on CD-ROM by SilverPlatter International N.V.).
10. Lubbers JR, Chauan S, Bianchine JR. Controlled clinical evaluations of chlorine dioxide, chlorite and chlorate in man. *Environ Health Perspect* 1982;46:57-62.
11. World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-Water Quality. Vol. 2: Health criteria and other supporting information. 2 ed. Geneva: WHO; 1996.
12. World Health Organization (WHO), International Labour Organisation (ILO). Disinfectants and Disinfectant By-Products. Geneva: WHO, ILO; 2000. (Environmental Health Criteria vol. 216).

13. Robinson M, Bull RJ, Schamer M et al. Epidermal hyperplasia in mouse skin treatment with alternative drinking water disinfectants. *Environ Health Perspect* 1986;69:293-300.
14. Roskamp E, Schimmelpfennig W. Toxikologische Bewertung der Chloramine im Schwimm- und Badebeckenwasser. *Bundesgesundheitsblatt* 1995;38(10):378-80.
15. Grant WM, Schuman JS. *Toxicology of the Eye*. 4 ed. Springfield (IL): Thomas; 1993.
16. City of Los Angeles Water Services. Water Quality. Chloramine FAQ (Frequently Asked Questions); 2001. (http://www.ladwp.com/water/quality/wq_nh3cl.htm).
17. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System (IRIS). Monochloramine. Washington DC: EPA; 2001. (CHEM-BANK on CD-ROM by SilverPlatter International N.V.).
18. Shepard TH. *Catalog of Teratogenic Agents*. 8 ed. Baltimore (MD): Johns Hopkins University Press; 1995.
19. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS); 2001. (CHEM-BANK on CD-ROM by SilverPlatter International N. V.).
20. Lévesque B, Ayotte P, Tardif R, Charest-Tardif G, Dewailly É, Prud'Homme D, et al. Evaluation of the health risk associated with exposure to chloroform in indoor swimming pools. *J Toxicol Environ Health A* 2000;61:225-43.
21. Aggazzotti G, Fantuzzi G, Righi E, Predieri G. Environmental and biological monitoring of chloroform in indoor swimming pools. *J Chromatog A* 1995;710:181-90.
22. Lévesque B, Ayotte P, LeBlanc A, Dewailly É, Prud'Homme D, Lavoie R, et al. Evaluation of dermal and respiratory chloroform exposure in humans. *Environ Health Perspect* 1994;102(12):1082-7.
23. Nielsen E. Evaluation of health hazards by exposure to chloroform and estimation of a limit value in ambient air. [Ikke publiceret]. Søborg: National Food Agency, Institute of Toxicology; 1994.
24. Lindstrom AB, Pleil JD, Berkoff DC. Alveolar breath sampling and analysis to assess trihalomethane exposures during competitive swimming training. *Environ Health Perspect* 1997;105(6):636-42.
25. Beech JA. Estimated worst case trihalomethane body burden of a child using a swimming pool. *Med Hypoth* 1980;6(3):303-7.
26. Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen. Chloroform. I: B-værdier: oversigt over samtlige B-værdier fastlagt af Miljøstyrelsen. Miljøstyrelsen: København; 1996. p. 39-40.

27. World Health Organization (WHO), International Labour Organization (ILO). Chloroform. Geneva: WHO, ILO; 1994. (Environmental Health Criteria vol. 163).
28. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological profile for chloroform. Atlanta (GA): ATSDR; 1997.
29. International Agency for Research on Cancer (IARC). Chloroform. I: Some chemicals that cause tumors of the kidney or urinary bladder in rodents and some other substances. Lyon: IARC; 1999. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans vol. 73).
30. World Health Organization (WHO). Guideline for Drinking-Water Quality. Addendum to volume 1: recommendations. 2 ed. Geneva: WHO; 1998.
31. Commission of the European Communities, Directorate-General for Employment, Industrial Relations and Social Affairs, Health and Safety Directorate. Reproductive toxicity. 1: Summary reviews of the scientific evidence. Luxembourg: EU; 1993. (Toxicology of Chemicals. Series 2: Health and Safety).
32. Graves CG, Matanoski GM, Tardiff RG. Weight of evidence for an association between adverse reproductive and developmental effects and exposure to disinfection by-products: A critical review. Regul Toxicol Pharmacol 2001;34:103-24.
33. Nieuwenhuijsen MJ, Toledano MB, Eaton NE, Fawell J, Elliott P. Chlorination disinfection byproducts in water and their association with adverse reproductive outcomes: A review. Occup Environ Med 2000;57:73-85.
34. Dodds L, King WD. Relation between trihalomethane compounds and birth defects. Occup Environ Med 2001;58:443-6.
35. Ray JG, Meier C, Vermeulen MJ, Boss S, Wyatt PR, Cole DEC. Association of neural tube defects and folic acid food fortification in Canada. Lancet 2002;360(9350):2047-8.
36. Keegan TE, Simmons JE, Pegram RA. NOAEL and LOAEL determinations of acute hepatotoxicity for chloroform and bromodichloromethane delivered in an aqueous vehicle to F344 rats. J Toxicol Environ Health A 1998;55(1):65-75.
37. World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-Water Quality. Addendum to volume 2: health criteria and other supporting information. 2 ed. Geneva: WHO; 1998.
38. Nielsen E. Evaluation of health hazards by exposure to chloroform and estimation of quality criteria in soil and drinking water. [Ikke publiceret]. Søborg: National Food Agency, Institute of Toxicology; 1994.
39. World Health Organization (WHO). Guidelines for safe recreational-water environments. Volume 2. Swimming pools, spas and similar recreational-water environments. [final draft]. Geneva: WHO; 2000.

40. National Library of Medicine (NLM). The Hazardous Substances Data Bank (HSDB). Bromodichloromethane. Washington DC: NLM; 2001. (CHEM-BANK on CD-ROM by SilverPlatter International N.V.).
41. Lentner C, ed. Geigy Scientific Tables. 3: Physical chemistry, composition of blood, hematology, somatometric data. 8 ed. Basel: Ciba-Geigy; 1984.
42. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). ATSDR Public Health Assessment Guidance Manual. Atlanta (GA): ATSDR; 2001. (<http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/HAGM/toc-html.html>).
43. World Health Organization (WHO). Guidelines for Drinking-Water Quality. 1: Recommendations. 2.ed. Geneva: WHO; 1993.
44. World Health Organization (WHO), International Labour Organization (ILO). Assessing human health risks of chemicals: derivation of guidance values for health-based exposure limits. Geneva: WHO, ILO; 1994. (Environmental Health Criteria vol. 170).
45. Åstrand I, Kilbom Å, Övrum P. Exposure to white spirit. I. Concentration in alveolar air and blood during rest and exercise. *Scand J Work Environ Health* 1975;1(1):15-30.
46. Fantuzzi G, Righi E, Predieri G, Ceppelli G, Gobba F, Aggazzotti G. Occupational exposure to trihalomethanes in indoor swimming pools. *Sci Tot Environ* 2001;264:257-65.
47. Jovanovic S, Wallner T, Gabrio T. Abschlussbericht über das Forschungsprojekt "Haloform-Belastung des Badewassers, der Luft und von Schwimmers und Schwimmeistern in Frei- und Hallenbädern". Stuttgart: Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg; 1995. (Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) Forschungsvorhaben 01/93).

Ordliste

Kritisk effekt	Den kritiske effekt er den toksikologiske virkning, som skal lægges til grund for en risikovurdering. I denne rapport er den kritiske effekt som skal benyttes ved risikovurdering af svømmebadsvand. Der anvendes kritiske effekter for de repræsentative stoffers korttids- og langtidsvirkninger, for at vurdere risikoen af ét besøg henholdsvis gentagne besøg i svømmebadet.
Kritisk dosis	Den kritiske dosis er den højeste dosis, som ikke medfører kritiske effekt. Den kritiske dosis benævnes også NOAEL.
LOEL/C	(L owest O bserved E ffect L evel/ C oncentration) er den laveste dosis/koncentration af stoffet, hvor der er observeret effekter hos eksponerede individer i forhold til en sammenlignelig kontrolgruppe. Effekter observeret ved denne koncentration eller dosis er nødvendigvis ikke af skadelige karakter.
LOAEL/C	(L owest O bserved A dverse E ffect L evel/ C oncentration) er den laveste dosis/koncentration af stoffet, hvor der som følge af eksponering for stoffet er observeret en signifikant forøget forekomst af væsentlige forandringer i morfologi, fysiologi, funktion, vækst, udvikling og/eller levetid hos eksponerede individer.
NOEL/C	(N o O bserved E ffect L evel/ C oncentration. Den højeste dosis/koncentration af stoffet, hvor der ikke er observeret effekter hos eksponerede individer i forhold til en sammenlignelig kontrolgruppe.
NOAEL/C	(N o O bserved A dverse E ffect L evel/ C oncentration) er den højeste dosis/koncentration af stoffet, hvor der som følge af eksponering for stoffet ikke er observeret en signifikant forøget forekomst af væsentlige forandringer i morfologi, fysiologi, funktion, vækst, udvikling og/eller levetid hos eksponerede individer. Der kan ved NOAEL/C optræde effekter, som ikke vurderes som værende af skadelig karakter.
RfD	(R eference D ose) er den amerikanske miljøstyrelses (US-EPA) estimat af den daglige dosis, som man kan indtage hver dag livet igennem uden at den kritiske effekt indtræder. Bruges ved vurdering af kritiske effekter, som ikke er kræft.

TDI

(Tolerable Daily Intake) er den daglige dosis, som man kan indtage hver dag livet igennem uden at den kritiske effekt indtræder.