

# Forureningskilder i svømmebade



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**

# Forureningskilder i svømmebade



**Udarbejdet for:**

Dansk Svømmebadsteknisk Forening

**Udarbejdet af**

Teknologisk Institut

Gregersensvej 1

2630 Taastrup

Life Science, Vand og Bioteknologi, samt  
Bygninger og Miljø, Svømmebadsteknologi

Februar 2020

Forfattere:

Lisbeth Damkjær Christensen (MSc., mikrobiologi)

Brian Krogh (Ingeniør)

Kim Feldfoss (Maskinmester)



## 1. Indhold

2.	Baggrund og formål.....	4
3.	Brugerbåren forurening .....	4
3.1.	Afvasning.....	4
3.2.	Urin.....	5
3.3.	Sved.....	6
3.4.	Personlige produkter .....	7
3.5.	Partikler .....	8
3.6.	Mikroorganismer .....	9
3.7.	Bidrag til den samlede forurening .....	10
4.	Ikke-brugerbåren forurening.....	12
4.1.	Vand fra ledningsnettet .....	12
4.2.	Rester af flokningsmiddel m.m. ....	14
4.3.	Ventilation.....	15
4.4.	Partikler fra filtre.....	16
4.5.	Mikroplastik .....	17
4.6.	Bidrag til den samlede forurening .....	17
5.	Sammenligning af brugerbårne og ikke-brugerbårne forureningskilder.....	18
6.	Konklusioner.....	20
7.	Referencer .....	21



## 2. Baggrund og formål

Dansk Svømmebadsteknisk Forening har henvendt sig til Teknologisk Institut med henblik på at få undersøgt, hvilke forskelligartede forureningskilder, der bidrager til den samlede forurening af svømmebade. Den herskende opfattelse er, at brugerne af bassinerne er den væsentligste kilde til forurening. Imidlertid findes også andre forureningskilder, der ikke knytter sig til de badende, og hvis omfang er ukendt. På denne baggrund ønskede Dansk Svømmebadsteknisk Forening en litteraturgennemgang med henblik på at afdække forskellige forureningskilder til bassin vand samt videst muligt at estimere deres omfang.

## 3. Brugerbåren forurening

### 3.1. Afvaskning

Til brugere af svømmebadene er knyttet en lang række potentielle forureningskilder. Svømmebade stiller naturligvis krav til grundig afvaskning af kroppen med sæbe, før badende går i bassin vandet. Initial afvaskning reducerer omfanget af forurening fra brugere drastisk.

En undersøgelse fra 2012 har analyseret effekten af afvaskning forud for brug af bassiner. I undersøgelsen opdeles forureningen i kategorier:

- Suspenderede og kolloide forbindelser: organiske og uorganiske substanser, der flyder, suspenderes eller bundfælder i bassin vand
- Mikroorganismer
- Opløselige forbindelser: organiske og uorganiske forbindelser, der er opløst i bassin vandet.

For at foretage undersøgelsen har man defineret et standardiseret brusebad med mulighed for at tage prøver fra det "brugte" bruse vand. Vandet er efterfølgende blevet analyseret for indholdet af forskellige grupper af mikroorganismer, det totale indhold af organisk kulstof, opløst kulstof, opløst nitrogen, intracellulært adenosintriphosphat (cATP, et udtryk for mikroorganismer), turbiditet, temperatur, klorid, urea, permanganatværdi og partikelindhold.

Forsøgspersonerne badede over 3 minutter, og i perioden er der løbende blevet taget vandprøver. På baggrund af resultaterne kan der estimeres en model, der beskriver, hvad der sker over de første 60 sekunder af en afvaskning. Mængderne, der frigives ved afvaskning, afhænger af en række parametre; alder, hårlængde, vandets temperatur, køn, timer siden sidste bad, hvor godt man skrubber sig, hvor aktiv, man har været inden afvaskningen og hvor lang tid, man bader.

Undersøgelsen viste, at 70-90 % af afgivelsen af forurening foregik over de første 60 sekunder af et bad. Over den tid blev der i gennemsnit per person afgivet 211 mg organisk kulstof, 46 mg nitrogen, 155.103



partikler (hår, hudceller, støv, fibre) og 1,6 µg cATP (svarende til ca. 1,6 mia. bakterier, antaget at 1 bakterie har ca.  $10^{-15}$  g cATP). Heraf er en del bakterier, der typisk sidder på huden (*staphylokokker*), tarmbakterier (*enterokokker*) og fækale bakterier (*E. coli*). I denne undersøgelse har de badende båret badetøj under afvaskningen. De faktiske tal må derfor skønnes at være endnu større, da de nedre regioner, som er hjem for mange mikroorganismer, kun i begrænset omfang er afvasket i denne undersøgelse. Dette studie viser med stor tydelighed, at man i hvert fald kan spare bassinvand for en stor mængde forurening blot ved at sikre, at badegæsterne gennemfører 60 sekunders afvaskning (Keuten *et al.*, 2012).

Forureningskilden fra de badende vil dog aldrig kunne elimineres, trods yderst grundig afvaskning. Under ophold i vandet, og i særdeleshed varmt vand, vil der kontinuert frigives forurening, idet huden udblødes, og fedtceller, mikroorganismer, sved, organisk materiale fra sår eller rifter, mikroorganismer og sekreter suspenderes. Dertil kommer sæbe- og kosmetikrester. Ud over den relativt store partikulære organiske belastning, som virker negativt på desinfektionseffektiviteten, vil en række af de mikroorganismer, som brugere tilfører bassin vandet, udgøre en infektionsrisiko for alle brugere af bassinet. Sideløbende med den kontinuerte frigivelse af forurening fra badende, vil der jævnligt ske tilfældig kontaminering af bassin vand. Det drejer sig fx om frivillig eller ufrivillig vandladning, fækale uheld og opkast. Gennemgangen af forureningskilder i denne rapport vil have hovedfokus på den kontinuert frigivne forurening af svømmebadene.

En italiensk undersøgelse fra 2014 har sat fokus på brugeres adfærd i svømmebade. Undersøgelsen involverede 4.315 tilfældigt udvalgte badende fra 4 forskellige svømmebade og viste, at godt 71 % altid afvaskede sig inden brug af svømmebadet. Undersøgelsen viste også, at færrest i gruppen 14-17-årige besvarede, at de altid afvaskede sig. De deltagende blev også spurgt ind til deres kendskab til hygiejne. 48 % af de adspurgte mente, at det forudgående brusebad havde til formål at tilvænne kroppen bade-temperaturen. 47,2 % mente, at formålet var afvaskning. 52 % havde enten svaret, at formålet var afvaskning, eller at begge svar var korrekte. Gennemsnitligt 58,3 % af deltagerne havde læst reglementet for de pågældende svømmebade (Pasquarella *et al.*, 2014). Amerikanske undersøgelser af hygiejne og bevidstheden herom, påpeger samme mønster. Her svarer 43 %, at de undgår afvaskning, inden de går i vandet (Water Quality and Health Council, 2012). Bredt set peger lignende undersøgelser på, at der generelt er en manglende viden om baggrunden for hygiejnekrav. (Gallé, 2016)

Om end undersøgelsestater måske ikke kan overføres direkte til en dansk kontekst, vil nogle af de samme tendenser sandsynligvis gøre sig gældende og være en barriere for begrænsningen af omfanget af forurening fra de badende.

### 3.2. Urin

Badende kan tilføre bassin vandet urin enten frivilligt eller ufrivilligt. Frivillig vandladning kender ingen fuldstændigt omfanget af, men 19 % af brugerne af amerikanske svømmebade indrømmer at have urineret i bassin vand (Water Quality and Health Council, 2012).



Opholdet i det varme vand vil imidlertid også medføre ufrivillig vandladning grundet afslappelse af muskler. Urin består hovedsageligt af vand (>95 %) og indeholder derudover urinstof (også kaldet urea), chlorid, natrium, kalium, kreatinin og andre opløste organiske og uorganiske forbindelser (herunder proteiner, metabolitter, hormoner og affaldsstoffer). Urea er den største forureningskilde ift. nitrogen i bassiner (WHO, 2006).

Frit klor i bassinet vil reagere med både organiske og uorganiske forbindelser i urin og give anledning til dannelse af klorbiprodukter, hvor særligt kloraminer, som dannes ved reaktion imellem frit klor og nitrogenforbindelser fra urin eller sved (ammonium, aminosyrer, urea og kreatinin), er problematiske. Kloraminerne har ringe desinfektionseffekt og kræver yderligere kloroverskud for selv at oxideres. Kloraminerne er desuden til gene for brugere af bassinet, idet høje koncentrationer af kloraminer medfører irritation af slimhinder og respirationsveje samt røde øjne.

Studier, der har undersøgt frigivelse af urin i bassiner, har brugt forskellige forbindelser som måleparametre for frigivelsen af urin. I en tysk undersøgelse har man forsøgt at estimere, hvor meget urin hver enkelt badende frigiver til bassinvandet. Kalium frigives med urin og sved og er brugt som indikatorparameter. Kalium er inert, og klorkoncentrationen vil derfor ikke påvirke kaliumkoncentrationen. Ud fra de målte koncentrationer vurderes, at hver enkelt badende frigiver ca. 77,5 mL urin til bassinvandet under en badning (Erdinger *et al.*, 1997). Et lavere estimat på 30-35 mL baseret på ureakoncentrationen i bassinvand blev foreslået af et studie af Gunkel & Jessen i 1986.

I et senere studie i 2017 har man i stedet for kalium brugt et sødestof, acesulfame-K (ACE), som indikatorstof. Sødestoffet optages ikke i kroppen og udskilles fuldstændigt med urinen. Ved at måle på ACE, kan det totale indhold af urin i et bassin beregnes. I et bassin med 420.000 L vand findes 30 L urin, mens der i et bassin med 840.000 L vand findes 75 L urin (Blackstock *et al.*, 2017). I denne undersøgelse er tallene ikke sammenholdt med antallet af brugere, hvorfor tallet ikke umiddelbart kan sammenlignes med resultatet fra den tidligere omtalte undersøgelse.

### 3.3. Sved

Sved frigives fra kroppens svedkirtler med det formål at regulere kropstemperaturen. Sved består hovedsageligt af vand, natriumchlorid, proteiner, det bakteriedræbende dermicidin og urinstof. Grundet interessen for svømning som idræt, er der gennemført ganske mange grundige studier på sved i bassinvand. Sved i bassinvand vil som urin bidrage med urinstof og organisk forurening, hvilket øger dannelsen af klorbiprodukter.

Keuten *et al.*, 2014 har gennemført et studie, hvor der er udført forsøg i en lukket tank med forsøgspersoner iført specialdesignede dragter, der kan opsamle kropsvæsker fra forsøgspersonen. I tanken er der en nedsænket cross-trainer. Forsøgspersonen i tanken er afvasket i 60 sekunder forud for forsøget



og indtager herefter cross-traineren og arbejder i 30 minutter ved 60-70 % af sit maksimale iltoptag. Samme forsøg er udført ved tre forskellige vandtemperaturer (25, 30, og 35 °C). Efterfølgende analyseres væsken i dragten for både kemiske og mikrobiologiske parametre, og mange af de rapporterede resultater fra dette forsøg vil blive refereret i de følgende afsnit.

Ikke overraskende, ses en sammenhæng imellem temperaturen og frigivelsen af sved. Varmere bassinvand øger den producerede mængde sved. Frigørelsen af sved opgøres per overfladeareal af kroppen, og studiet bestemmer svedraten til 0,1 L/m<sup>2</sup>, 0,22 L/m<sup>2</sup> og 0,46 L/m<sup>2</sup> ved henholdsvis 25, 30, og 35 °C. Under hvile ved 35 °C blev raten opgjort til 0,02 L/m<sup>2</sup>. Overfladearealet for en gennemsnitlig voksen person er ca. 1,8 m<sup>2</sup>. Under hvile svarer den beregnede rate altså til en afgivelse af sved på ca. 36 mL. Ved moderat hård svømning ved hhv. 25, 30, og 35 °C afgives ca. 180 mL, 396 mL og 828 mL over 30 minutter.

Hvor meget enkelte personer sveder afhænger naturligvis også af påklædning under badning, fedtprocent og svømmerens form. Der vil altid afgives sved fra bassinets brugere og i særdeleshed under hårdt arbejde. Regulering af temperatur og aktivitetsniveau i hhv. konkurrencebassiner og varmtvandsbassiner er midler til at reducere frigivelsen af sved mest muligt i svømmebadet.

### 3.4. Personlige produkter

Brugen af personlige produkter - både kosmetik og hygiejne- og plejeprodukter - blandt brugere af svømmebade kan udgøre en forureningskilde for bassin vandet. Produkterne kan enten stamme fra huden, hvorfra de afvaskes (fx make-up, bodylotion, neglelak, deodorant, parfume, barberskum og solcreme). Til personlige produkter hører dog også midler, der indtages, metaboliseres og delvist udskilles igennem urinen (fx medicin og koffein).

Nogle udvalgte produkter, der har været fokus på i forbindelse med svømmebade, er naproxen (gigtmiddel), ibuprofen (smertestillende medicin), koffein og acetaminophen (smertestillende medicin). Disse forbindelser kunne alle findes i koncentrationer inden for området 100-700 ng/L i bassin vandet (*Weng et al.*, 2014). For at undersøge, hvad der kan forventes at ske med disse forbindelser i bassin vandet, blev der yderligere udført et forsøg, hvor der løbende over 24 timer blev målt på almindeligt klor vand tilsat forbindelserne. Acetaminophen og naproxen blev oxideret fuldstændigt efter hhv. <1 time og efter 8 timer, mens der for koffein og ibuprofen resterende >80 % efter 24 timers oxidation.

Parabener, der anvendes som antimikrobielle konserveringsmidler i pleje- og kosmetikprodukter, har ligeledes været i søgelyset ifm. bassin vand. Parabener er en fællesbetegnelse for en lang række kemiske forbindelser, hvoraf nogle er mistænkt for at have østrogenlignende aktivitet. Undersøgelser har desuden antydnet, at giftigheden af parabenerne øges ved oxidation med klor (*Terasaki & Makino.*, 2008, *Teo et al.*, 2014). I et studie af *Lempart et al.*, 2018 er bassin vand undersøgt for en række forskellige



parabener og UV-filtre i forskellige svømmebade. De målte koncentrationer var generelt meget lave (10-50 ng/L).

Hvor de til nu omtalte forureningskilder er relativt velkarakteriserede i deres indhold, vil der fra diverse pleje- og kosmetikprodukter kunne frigøres kemiske forbindelser, der ikke nødvendigvis er velkendte. De studier, der findes på området, har kvantificeret udvalgte forbindelser i bassinvand, men der kan meget vel findes en række andre forbindelser indeholdt i de personlige produkter, som vi ikke kender til. Dette kan være bekymrende, idet vi ikke ved, hvordan forbindelserne opfører sig kemisk (reaktiviteten med klor, flygtighed), og dermed i hvor høj grad brugerne af bassinerne eksponeres for forbindelserne og deres klorbiprodukter. Desuden er der i gruppen af personlige produkter en række forbindelser, der kan have negative sundhedseffekter, særligt som allergene og hormonforstyrrende stoffer. Jf. Lempart *et al.*, 2018 kan vandbehandlingsanlægget sammen med desinfektionsmidlet have stor betydning for, i hvor stort omfang de personlige produkter reduceres eller fjernes fra bassinvandet. Under danske forhold anvendes vand fra ledningsnettet til bassinvand, og ikke som i de refererede studier overfladevand. For nogle af de forbindelser, der indgår i undersøgelserne, kan kilden spores delvist til overfladevand og ikke til de badende alene (Suppes *et al.*, 2017).

Som forurening er kilden fra personlige produkter af meget beskedent omfang og vil således kun udgøre et forsvindende bidrag til den samlede forurening fra badende. Idet forureningskilden knytter sig til de badendes brug af produkter, er den bedste mulighed for at reducere forureningskilden oplysning af brugerne af svømmebade.

### 3.5. Partikler

Partikler anvendes her som en bred betegnelse for forurening, der suspenderes eller bundfældes i bassinvandet. Personbårne partikelforureninger omfatter bl.a. talg, hudceller, sekreter m.m.

Ophold i kloreret vand kan have negative effekter på huden i form af tørhed og irritation. Dette skyldes afvaskningen af de naturlige fugtende faktorer på huden, der afvaskes over tid.

I en undersøgelse af Gardinier *et al.*, 2009 har man i to perioder fulgt hudfaktorer på kvinder i perioder, hvor de har svømmet i kloreret vand, og perioder, hvor de ikke har svømmet. Der blev målt kapacitans, vandtab, temperatur, pH, og talg på kind, brystkasse, overarm og ben. Talg er en fedtholdigt, olieagtig substans, som udskilles af kroppens talgkirtler. Talg beskytter hår og hud mod udtørring. Efter svømning er hhv. pH øget, imens niveauet af talg på huden er faldet. Forsøgspersonerne har gennemsnitligt mistet 24 µg talg per cm<sup>2</sup> efter 1½ times svømning.

Forsøgspersonerne er tilsyneladende ikke afvaskede inden forsøget, hvorfor talgafgivelsen sandsynligvis er mindre ved forudgående afvaskning. Per badende vil denne afgivelse betyde, at der afgives op til 432 mg talg ved 1½ times svømning (ved kropsoverflade på 1,8 m<sup>2</sup>). Talgkirtlerne vil forsøge at gendanne fedtbarrieren og producerer talg i en rate på 27 µg /cm<sup>2</sup>/time (Harris *et al.*, 1983).





Brugere af bassinerne kan være bevidste om denne risiko for udtørring af huden. I en italiensk undersøgelse af Pasquarella *et al.*, 2014 svarer 3-13 % af de adspurgte, at de påfører creme inden badning for at undgå udtørring. Visse cremer markedsføres som "pre-swim lotions" eller "chlorine blocking lotions". Dette er naturligvis u hensigtsmæssigt, idet der herved introduceres yderligere forureningskilde.

Ligesom hudoverfladen frigiver talg, vil diverse ydre slimhinder på kroppen (næse, skede, mund, svælg, øjne) frigive slimede sekreter frivilligt eller ufrivilligt. Der vil således kunne findes snot, slim, tårefilm, spyt, udfåld m.m. i bassinvand. Sekreterne vil findes i vandoverfladen af bassinet, og vil ofte indeholde et stort antal mikroorganismer. Omfanget af denne afgivelse er umiddelbart ikke kvantificeret i studier. Undersøgelser af badendes adfærd i Italien viser, at 35-50 % har pudset næse i bassin vandet (Pasquarella *et al.*, 2014). I USA svarer 6 % og 11 %, at de har været i bassiner med enten henholdsvis regulær forkølelse og løbende næse (Water Quality and Health Council, 2012).

Sekreterne kan indeholde et stort antal mikroorganismer, der må inaktiveres for at sikre en høj grad af hygiejnisk sikkerhed. Den frie klor reagerer med sekreterne, men skal først oxidere partiklens molekyler, før desinfektion rammer mikroorganismene i partiklen. Af denne grund forbruges betydeligt mere klor, end hvis bakterierne havde været frie i vandfasen (Winward *et al.*, 2008).

Kroppen fornyer konstant hudbarrierens celler. Døde celler findes på huden og vil givetvis frigives til bassin vand under badning. En undersøgelse i Lalandia i Rødby i 2010-2011 viste, at der over en time blev frigivet omkring 800 mio. partikler/person/time, svarende til 44.000 partikler per cm<sup>2</sup> hudoverflade per time. Personerne i denne undersøgelse var grundigt afvaskede (Miljøministeriet, 2010).

Keuten *et al.*, 2014 har opgjort antallet af partikler i størrelsen (2-50 µm), der afgives til bassin vandet over en halv times ophold i bassin vand. Partikler omfatter alle organiske og uorganiske forureninger, der flyder, suspenderes eller bundfældes i bassin vand – fx hår, partikler fra sekreter, støv, hudceller og fibre. Undersøgelsens resultater viser, at der afgives  $1,31 \times 10^9$  partikler til bassin vand over en halv time. Undersøgelsen tager udgangspunkt i afvaskede bassinbrugere (1 minuts bad).

Partikler fra de badende vil kontinuerligt oxideres af frit klor i bassinet. Ved flokkulering forud for sandfiltrering vil partiklerne effektivt samles i flokke og fjernes under sandfiltreringen (Naturstyrelsen, 2016).

### 3.6. Mikroorganismer

Menneskelige kroppe er hjem for utallige mikroorganismer, herunder bakterier, svampe, archea, protozoer og virusser. For langt den største del af mikroorganismene gælder, at de er ganske harmløse og endda bidragende til en stærk infektionsbarriere i vores daglige liv.

De bakteriestammer, der oftest associeres med infektioner fra svømmebade, er *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* og *Escherichia coli*. Infektioner med *Pseudomonas aeruginosa*, som ofte



etablerer klorresistente biofilm på bassinvægge, kan resultere i en lang række forskellige sygdomme, herunder mellemørebetændelse, øjenbetændelse og lungebetændelse (Guida *et al.*, 2016 og Amagliani *et al.*, 2013). Særligt for immunsvækkede kan disse infektioner være alvorlige. *Pseuromonas aeruginosa* har desuden i mange tilfælde vist sig at udvise resistens over for mange typer antibiotika (Tirodimos *et al.*, 2008). Jf. "Bekendtgørelse om svømmebadsanlæg m.v. og disses vandkvalitet" (BEK, 918, 2016) skal indholdet af *Pseuromonas aeruginosa* i bassinvand være  $<1$  pr. 100 mL. Imidlertid kontrolleres antallet kun, hvis kravet til kimalt ved 37 grader er overskredet ( $>500$  pr. 100 mL).

*Staphylococcus aureus*-bakterier kan også hyppigt isoleres fra svømmebadsmiljøer, hvor de kan give anledning til hud-, sår- og øreinfektioner (Papadopoulou *et al.*, 2008, WHO, 2006). Der kontrolleres under danske forhold ikke for *Staphylococcus aureus*.

Fækale mikroorganismer, fx *Escherichia coli*, enterokokker, fækale streptokokker, *Adenovirus*, *Norovirus*, *Giardia*, *Cryptosporidium* m.fl. associeres ligeledes med svømmebade. Ved fækale uheld vil et stort antal mikroorganismer frigives til bassin vandet, og indtages disse mikroorganismer af andre brugere, kan selv ganske få mikroorganismer føre til alvorlige mave- og tarminfektioner. Der frigives dog også fækale mikroorganismer, selvom der ikke er tale om uheld. Gennemsnitligt vil hver badende forud for brug af bassinerne have 0,14 g fækal materiale på sig, der potentielt kan frigives til bassin vandet (Gerba *et al.*, 2000). Denne mængde reduceres ved grundig afvaskning, men der vil altid frigives en mindre mængde fækal materiale til bassin vandet, som både indeholder partikler og et stort antal mikroorganismer. Antallet af *E. coli* bakterier skal jf. bekendtgørelsen (BEK, 918, 2016) være  $<1$  pr. 100 mL. Kontrol for *E. coli* gennemføres, såfremt kravet til kimalt ved 37 grader er overskredet ( $>500$  pr. 100 mL).

I studiet af Keuten *et al.*, 2014, hvor forsøgspersoner efter 60 sekunders afvaskning arbejdede i 30 minutter i bassin vand, undersøgte man ligeledes antallet af mikroorganismer, der afgives. Hver person afgav gennemsnitligt  $9,3 \times 10^6$  bakterieceller i løbet af 30 minutters arbejde, men variationen imellem forsøgspersonerne var stor ( $1,02 \times 10^6 - 21,9 \times 10^6$ ), formentlig grundet forskelle i niveau af personlig hygiejne. Afgivelsen var størst over de første 20 minutters ophold i vandet.

Desinfektion med klor anvendes hovedsageligt for at reducere den infektionsrisiko, som en stor belastning med mikroorganismer primært fra bassinbrugere udgør. Desinfektionen er ikke lige effektiv for alle mikroorganismer og under alle omstændigheder. Temperatur, pH-værdi og koncentrationen af det frie klor er betydningsfulde parametre for en effektiv desinfektion. Hvis mikroorganismene findes i den fri vandmasse, er de relativt sårbare over for klordesinfektion. Hermed holdes infektionsrisikoen lav, trods en stor belastning med brugerbårne mikroorganismer.

### 3.7. Bidrag til den samlede forurening

Ovenstående forureningskilder knyttet til de badende udgør et væsentligt bidrag til den samlede forurening af svømmebade. Studier, der har beskæftiget sig med de badende som forureningskilde, har ofte



beskrevet bidraget ud fra den totale mængde organiske kulstof, den totale mængde nitrogen, antallet af partikler og antallet af mikroorganismer som de vigtigste parametre.

Man er særligt interesseret i den totale mængde organisk materiale og nitrogenholdige forbindelser, idet disse parametre har stor betydning for den mængde frit klor, der kræves for oxidation. Desuden har de nitrogenholdige forbindelser særlig betydning, idet koncentrationen af disse er afgørende for dannelsen af de skadelige nitrogenholdige klorbiprodukter.

Der er foretaget forskellige estimater af forskellige parametre igennem tiden (Tabel 1).

**Tabel 1. Rapporterede mængder af forurening fra badende.**

Forbindelser	Pr. badende	Tidsperiode (timer)	Reference
NPOC	250 mg	0,5	Keuten et al., 2014
	286,5 mg	1	Judd og Black, 2000
Urea	37,1 mg	0,5	Keuten et al., 2014
	345 mg	1	Judd og Black, 2000
	560-1200 mg	17	Weng og Blatchley, 2011
Ammonium-N	10,1 mg	0,5	Keuten et al., 2014
	84 mg	1	Judd og Black, 2000
TN	77,1 mg	0,5	Keuten et al., 2014
	494,1 mg	1	Judd og Black, 2000
Partikler	$1,31 \times 10^9$ partikler	0,5	Keuten et al., 2014
	$8 \times 10^8$ partikler	1	Miljøministeriet, 2010
Bakterier	$9,3 \times 10^6$ celler	0,5	Keuten et al., 2014

Forskellige forsøgsbetingelser gør det imidlertid vanskeligt at sammenligne tallene direkte. Keuten *et al.*, 2014 rapporterer resultaterne fra et kontrolleret forsøg udført efter 1 minuts forudgående afvaskning. Frigivelsen er foregået over 30 minutters arbejde. Hvorvidt frigørelsen ville fortsætte med samme rate kan ikke vides. Tallene angivet for Judd og Black, 2000 er estimerede værdier på baggrund af fysiologiske forhold over en times let-moderat aktivitet i bassinvand. Studiet har til formål at undersøge dannelsen af desinfektionsbiprodukter, og for at simulere badende, tilsætter man en blanding af forskellige organiske og uorganiske forbindelser i et forhold, der fysiologisk set bør ligne det, et menneske frigiver. På baggrund af disse forsøg estimeres, at klorkravet pr. badende er ca. 5,5 g frit klor.

Weng og Blatchley *et al.*, 2011 har målt på vandkvaliteten under et stort svømmestævne og ud fra koncentrationerne og belastningen på bassinerne beregnet bidraget fra svømmerne. I dette studie er tallene angivet per dag i svømmestævnet.



## 4. Ikke-brugerbåren forurening

### 4.1. Vand fra ledningsnettet

I Danmark består vandet fra ledningsnettet af grundvand, der har undergået simpel vandbehandling. Grundvandet er behandlet ved iltning og efterfølgende sandfiltrering. Igennem disse processer fjernes naturlige forureninger fx jern, ammonium, metan, sulfid og mangan i stort omfang fra grundvandet, som efterfølgende betegnes som drikkevand.

Drikkevandet skal overholde kvalitetskravene i drikkevandsbekendtgørelsen (Miljøministeriet, 2019) og anvendes i svømmebadet som spædevand, til fyldning af bassiner og i toiletter og brusere.

Tabel 2: Krav til de kemiske hovedbestanddele af drikkevand.

Parameter	Enhed	Værdi ved forbrugers taphane
NVOC (C)	mg/L	4
Inddampningsrest	mg/L	1.500
Calcium (Ca)	mg/L	Bør ikke overstige 200 mg/L
Magnesium (Mg)	mg/L	50
Hårdhed, total	°dH	Bør ligge imellem 5 og 30 hårdhedsgrader
Natrium (Na)	mg/L	175
Kalium (K)	mg/L	10
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0,05
Jern (Fe)	mg/L	0,2
Mangan (Mn)	mg/L	0,05
Bikarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Bør være over 100 mg/L
Chlorid (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	250
Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	250
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	50
Nitrit (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,1
Totalt phosphorindhold (P)	mg/L	0,15



Parameter	Enhed	Værdi ved forbrugers taphane
Fluorid (F)	mg/L	1,5
Ilt (O <sub>2</sub> )	mg/L	
Aggressiv kul-dioxid (CO <sub>2</sub> )	mg/L	2
Svovlbrinte (H <sub>2</sub> S)	mg/L	0,05
Methan (CH <sub>4</sub> )	mg/L	0,01

Tilførslen af drikkevand til bassinet vil være en forureningskilde i det omfang, det indeholder organiske og uorganiske forbindelser, som stammer delvist fra jordlagenes sammensætning og i nogle tilfælde fra grundvandsforureninger. I det følgende gennemgås de parametre, der anses for at have størst betydning for brugen af drikkevand som forureningskilde.

**Organisk materiale:** Samlet set vil der under normale omstændigheder maksimalt blive tilført 4 mg/L organisk stof (NVOC) med drikkevand fra ledningsnettet. De organiske forbindelser, man finder i drikkevandet, vil hovedsageligt være naturligt forekommende organiske forbindelser i form af humusstoffer, der stammer fra grundvandsmagasiner. Selvom de organiske forbindelser har fundes i grundvandsmagasinerne i mange år, er de ikke nødvendigvis svært nedbrydelige (Miljøstyrelsen, 2002). Det forventes derfor, at de organiske forbindelser fra grundvandet oxideres af frit klor samt at eventuelle klorbiprodukter bindes af aktivt kul. En lille del af den organiske forurening fra drikkevand kan desuden udgøres af organiske mikroforureninger af grundvandet (fx pesticider, klorerede opløsningsmidler, m.fl.). Koncentrationerne af disse forbindelser er forsvindende små og vil derfor ikke medtages specifikt i denne gennemgang. De små koncentrationer, der måtte tilføres bassinvandet vil mest sandsynligt oxideres helt eller delvist af frit klor og vil adsorberes på aktivt kul, hvis kulfilter indgår i vandbehandlingen.

**Nitrogenholdige forbindelser:** Nitrogen vil blive tilført primært som nitrat (50 mg/L), nitrit (0,1 mg/L) og ammonium (0,05 mg/L). Nitrat tilføres bassinvand med vand fra ledningsnettet, som indeholder maksimalt 50 mg/L. Nitraten vil ikke umiddelbart reagere med frit klor, men vil derimod kunne fjernes i vandbehandlingsanlægget. Nitrit (maksimalt 0,1 mg/L) reagerer med frit klor, hvorved der dannes nitrat. Reaktionen kræver ca. 5 mg frit klor/mg nitrit.

**Metaller:** Drikkevandet indeholder naturligt en række opløste metaller (jern, natrium, kalium, mangan, magnesium, calcium, kobber, zink m.fl.). Metallerne vil primært findes som positivt ladede ioner i vandet. Metalioner har primært været af interesse ifm. desinfektionen, idet nogle kan have betydning for dannelsen af klorbiprodukter. Calcium, som er til stede i forhøjede koncentrationer i hårdt vand, øger tilsyneladende dannelsen af klorbiprodukter, hvilket også er tilfældet for magnesium og kobber (Zhao *et al.*, 2016, Navalon *et al.*, 2009, Sharma *et al.*, 2017). Studierne er alle udført mhp. at undersøge effekten af



metalioner ifm. kloring af drikkevand, og koncentrationerne, der anvendes i forsøgene, er dermed relevante også i svømmebadssammenhæng.

Ved fyldning af bassinerne med drikkevand, vil den indledende koncentration af metalioner formentlig nedsætte effekten af den frie klor og øge dannelsen af klorbiprodukter. Hvis aktivt kul er en del af vandbehandlingen, vil koncentrationen af metaller blive reduceret kraftigt gennem adsorption til kullene, og effekten vil formentlig være forsvindende lille herefter. Hvor stor effekt metalioner i bassinvand har på klorkrav og dannelsen af klorbiprodukter vil kræve en større gennemgang af de enkelte metalioner og deres effekt under de relevante omstændigheder. Dette er særligt relevant, hvor der anvendes UV-behandling frem for kulfiltrering ifm. fjernelse af klorbiprodukter.

Som spædevand vil vand fra ledningsnettet naturligvis bidrage med de oplistede parametre. Fortyndingsfaktoren ifm. opblanding af spædevand i bassinvandet vil dog nedbringe koncentrationen af alle komponenterne drastisk. Effekten af metalionerne vil herefter være forsvindende og desuden tidsbegrænset i særdeleshed, hvis bassinvandet filtreres gennem aktivt kul.

Antages et forbrug af spædevand på ca. 5 m<sup>3</sup>/uge i et 25 m bassin (ca. 250 m<sup>3</sup>/år), vil tilførslen af organisk materiale med vand fra ledningsnettet som forureningskilde bidrage med maksimalt 2,8 g organisk materiale per dag. Dette svarer omtrentligt til den organiske belastning fra ca. 7-8 personer, der bader i en time. Tilførslen af ammonium med denne mængde spædevand opgøres til ca. 35 mg/dag (svarende til 1-3 badende i en time).

Mht. mikroorganismer er drikkevandsbekendtgørelsens krav, at kimtallet bestemt ved 22 °C maksimalt må være 200/mL. Ved et forbrug af spædevand på 5 m<sup>3</sup>/uge vil der blive tilført maksimalt  $1,43 \times 10^8$  bakterier per dag. Dette tal svarer til ca. 15 badendes afgivelse af mikroorganismer over ½ time, antaget at spædevandet indeholder det højst tilladte antal mikroorganismer.

## 4.2. Rester af flokningsmiddel m.m.

Den hyppigst anvendte teknologi til fjernelse af partikler er sandfiltrering, om end et antal svømmebade anvender pulverfiltre, membranfiltrering eller filtre med glas.

Forud for sandfiltrering tilsættes flokningsmiddel for at samle de partikulære forureninger til flokke, der kan tilbageholdes i filteret. Der anvendes fortrinsvist polyaluminiumklorid som flokningsmiddel. Midlerne tilsættes kontinuerligt før filtre, og doseringen afpasses efter den aktuelle badebelastning. De forurenende partikler i bassinvandet er hovedsageligt negativt ladet og vil derfor frastøde hinanden, hvilket ikke er fordrende for en effektiv sandfiltrering. Flokningsmidlerne virker ved at neutralisere ladingen på partiklerne, hvilket destabiliserer frastødningen imellem partiklerne og muliggør koagulering (flokdannelse). Desuden bevirker flokningsmidlet, at hydroxider udfældes og danner præcipitater, som de forurenende partikler kan tilslutte sig (sweep flocculation).



Idet flokningsmidlet doseres, således at det modsvarer badebelastningen, tilstræbes, at der ikke overdoseres. Ved kraftig overdosering nedsættes effektiviteten af flokningsmidlet. Hvorvidt overdosering kan medføre, at der føres rester af flokningsmiddel tilbage til bassinvandet, er ikke afdækket af videnskabelige undersøgelser. Hvis filteret ikke er mættet med forurening, er det dog mest sandsynligt, at den negativt ladede overflade på sandkornene i vidt omfang vil tilbageholde flokningsmidlet. Hvor filtermaterialet er mættet, og tiltrækningskraften imellem flokningsmiddel og filtersandet dermed er svækket, er det sandsynligt, at flokningsmiddel kan gennemtrænge filteret og forurene bassinvandet. Dette forventes dog kun at ske i tilfælde, hvor returskyl af filtrene er forsømt over en lang eller meget forureningstung driftsperiode.

Der findes umiddelbart ikke undersøgelser, der under de relevante omstændigheder belyser omfanget af rester af flokningsmiddel i svømmebassiner. Ligeledes er rester af CIP-væsker til rengøring af membranfiltreringsanlæg ikke afdækket af studier.

### 4.3. Ventilation

Ventilation i svømmebadene sikrer, at der konstant opretholdes en høj luftkvalitet. Luftkvaliteten er påvirket dels af fordampning fra våde arealer og andre overflader, dels af frigivelsen af klor og klorbiprodukter. Ventilationsanlæg i svømmebade har primært været belyst videnskabeligt, grundet behovet for at holde koncentrationen af klorbiprodukter i luftmiljøet nede gennem effektiv ventilation (Levesque *et al.*, 2015, Miljøministeriet, 2010 m.fl.).

Den atmosfæriske luft indeholder både naturlige forureninger og forureninger, der er forårsaget af menneskelig aktivitet. Der vil således være et stort antal partikler i luften, herunder pollen, støv, virusser, bakterier, sod og dråber. "Grove" partikler er i størrelsesordenen 2,5 – 10  $\mu\text{m}$ , mens fine partikler er mindre end 2,5  $\mu\text{m}$ . Til sammenligning er et hårstrå ca. 70  $\mu\text{m}$  i diameter, så der er tale om meget små partikler.

Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE) ved Aarhus Universitet har gennem overvågningsprogrammet for luftkvalitet i danske byer undersøgt indholdet af bl.a. partikler på forskellige målestationer placeret i hhv. København, Aarhus og Odense. Partikelforureningen er siden 2002 faldet med ca. 50 %. Undersøgelserne har ligeledes haft fokus på forurenende emissioner ( $\text{SO}_2$ , nitrogenoxider ( $\text{NO}_x$ ), flygtige kulbrinter (benzene, toluene m.fl), samt tungmetaller). Forureningerne er dog i ng-skala til få  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , hvorfor der ikke uddybes yderligere for disse forbindelser.

Koncentrationen af partikler varierer betydeligt afhængigt af, hvor trafikeret et område, målestationen er placeret i. Indholdet af partikler, der er mindre end 2,5  $\mu\text{m}$  har en øvre grænseværdi på 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der måles gennemsnitligt 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Kemisk består partiklerne hovedsageligt af organisk og uorganisk



kulstof ( $2-8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  og mindre dele nitrogen- og svovlholdige forbindelser og sporstoffer (K, Ca, Na, Mg, Cl).

Både af hensyn til effektiv reduktion af koncentrationen af klorbiprodukter i luftmiljøet, luftfugtigheden og hindring af forurening fra udemiljøet, stiller DS 477 krav til ventilation i svømmebade (Dansk Standard:2013). Luftstrømmen fra udemiljøet skal filtreres igennem et filter af filterklasse F7, mens lufte fra svømmebadet skal filtreres igennem et filter af filterklasse F5 (Dansk Standard:2013).

Filtre af filterklasse F7 er fine, og filtrerer 80-90 % af de partikler, som er større end  $2,5 \mu\text{m}$ , bort. Effektiviteten er dalende, jo mindre partiklerne bliver, og ved partikler på  $0,1 \mu\text{m}$ , er en effektivitet på 25-35 % forventelig. Pollen, svampesporer, grove støvpartikler m.v. fra den udendørs luft, trænger derfor ikke ind i svømmebadets luftmiljø. Cellediameteren er for langt de fleste bakterier inden for intervallet  $0,4-2 \mu\text{m}$ . Bakterierne vil derfor blive tilbageholdt i filteret med en effektivitet på 45-98 %.

Størrelsesfordelingen for de partikler, der bliver målt i DCE's undersøgelse, er ukendt. Partiklerne består både af partikler fra forbrændingsmotorer i trafikken, industri, støv, virusser m.v. Virusser er meget små ( $0,04 - 0,1 \mu\text{m}$ ) og F7-filteret vil kun i ringe omfang (0-15 %) tilbageholde virusser. Mange af de øvrige forurenende partikler vil være ultrafine partikler, der ligeledes kan passere filteret.

Idet der findes partikler, der kan gennemtrænge F7-filteret, og som er til stede i det udendørs luftmiljø, vil ventilationen givetvis være kilde til forurening i svømmebadet. At estimere denne forureningskildes omfang kræver en lang række antagelser. Hvis der ikke kalkuleres med en fjernelse af partikler, som er under  $2,5 \mu\text{m}$ , og der regnes med en gennemsnitsværdi af partikulært indhold i indblæsningsluften på  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , vil et svømmebad, der ventilerer en svømmehal med  $10.000 \text{ m}^3/\text{time}$ , vil ventilationen i sig selv bidrage med 110 mg partikulært materiale pr. time. Det er formentlig kun en fraktion af det partikulære materiale, der vil nå bassinvandet, idet en stor del vil bortventileres inden da. Den kemiske sammensætning af det partikulære materiale vil være afgørende for reaktiviteten med frit klor og de klorbiprodukter, der dannes fra denne forureningskilde. Antages at hele forureningskilden bestod af organisk materiale alene, og at hele forureningen ender i bassinvandet, ville denne kilde dog ca. svare til afgivelsen af organisk materiale fra en enkelt badende over 1-2 timer.

Der er i søgningen ikke fundet studier, der har analyseret omfanget af forurening, ventilationsanlæg i svømmebade kan være årsag til.

#### **4.4. Partikler fra filtre**

Sandfiltre og kulfiltre, der er den hyppigst anvendte teknologikombination i svømmebadenes vandbehandlingsanlægge, filtrerer partikulær forurening og klor og klorbiprodukter fra den cirkulerende vandstrøm. Alternativt anvendes pulver- eller membranfiltre til partikelfjernelse. Det er afgørende for filternes funktion, at de returskylles med en frekvens, der sikrer, at overfladerne af filtermaterialerne ikke mættes.





Kulfiltre bliver gradvist nedbrudt over driftsperioden, og der er dermed utvivlsomt en frigivelse af støvpartikler fra kulfiltrene. Tilsvarende er det ikke utænkeligt, at pulver (perlite) kan frigives fra pulverfiltre. Der er ikke i litteraturstudiet fundet studier, der har undersøgt frigivelsen af partikler fra kul- og pulverfiltre til bassinvandet.

#### **4.5. Mikroplastik**

Mikroplastik er plastpartikler, der er mindre end 5 mm i diameter. De vil kontinuerligt blive frigivet fra mange typer af plast og er et udbredt problem fx i marine økosystemer (Browne et al., 2011). Det estimeres, at tekstiler udgør 20-30 % af mikroplastforureningen globalt set, og en almindelig vask af 6 kg tøj kan frigive op til 700.000 mikroplastpartikler (Laitala *et al.*, 2018).

I svømmebadet kan man forestilles sig, at forurening med mikroplast hovedsageligt vil stamme fra badeøj, legeredskaber, svømmefødder, vipper, plader m.m. Badeøj består delvist af syntetiske plastfibre, fx nylon, elasthan, spandex eller lycra. Disse forbindelser kan frigive mikroplast ved fx svømning eller ved vask. Der er ikke lavet undersøgelser hverken af omfanget af forurening med mikroplast i svømmebade eller af frigivelsen af mikroplast fra nogle af de potentielle kilder isoleret set.

Frigives mikroplast i svømmebadet, vil filtrering gennem sandfilter, pulverfilter eller membranfilter formentlig tilbageholde en stor del af forureningen. Returskyllevandet vil som oftest blive udledt til kloak, hvor det vil udgøre et formentligt forsvindende lille bidrag til mikroplastforurening sammenlignet med det øvrige spildevand. Der er lavet undersøgelser på danske rensningsanlæg, der viser, at rensningsanlæggene effektivt fjerner mikroplastpartikler  $>20 \mu\text{m}$  (Miljøstyrelsen, 2017).

#### **4.6. Bidrag til den samlede forurening**

Det er vanskeligere at estimere den samlede forurening fra de ikke-brugerbårne forureningskilder, idet de ikke i særligt stort omfang har været genstand for undersøgelser. Tabel 3 opsummerer de kilder, der er inddraget i dette litteraturstudie og er baseret på de estimater, der er givet i de respektive afsnit. Det understreges, at værdierne præsenteret i tabellen er grove estimater og baseret på worst case-scenarier.



Tabel 3. Oversigt over de vigtigste estimerede bidrag til ikke-brugerbårne forureninger af bassinvand.

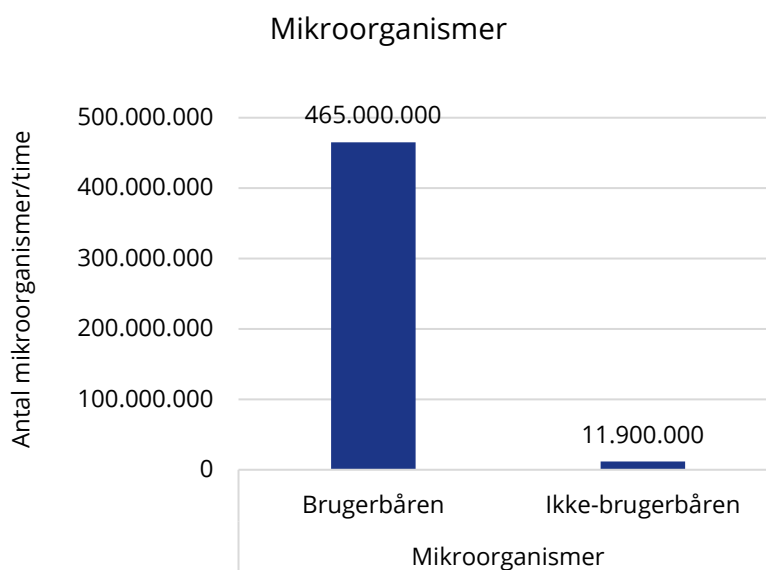
Forureningskilde	Estimeret bidrag/time
<i>Vand fra ledningsnettet</i>	
Organisk materiale*	230 mg
Ammonium*	2,9 mg
Mikroorganismer*	$1,19 \times 10^7$
<i>Ventilation</i>	
Partikler**	110 mg

\* Antaget at vandet fra ledningsnettet indeholder den maksimalt tilladte mængde forurening.

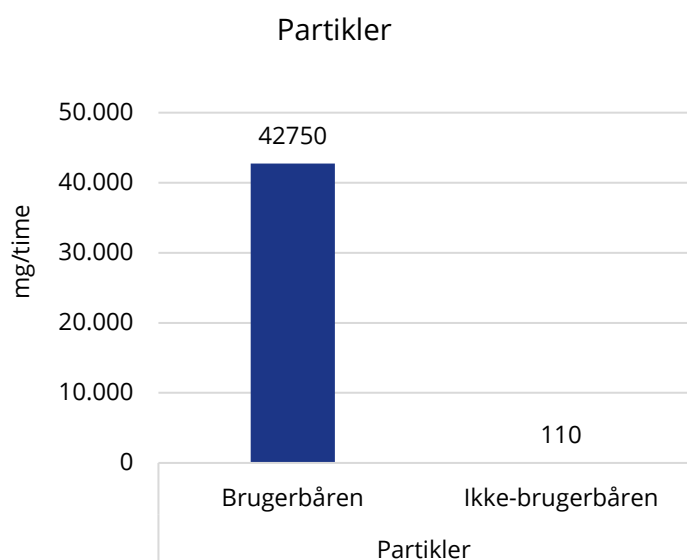
\*\* Antaget at alle partikler  $<2,5 \mu\text{m}$  passerer F7-filteret.

## 5. Sammenligning af brugerbårne og ikke-brugerbårne forureningskilder

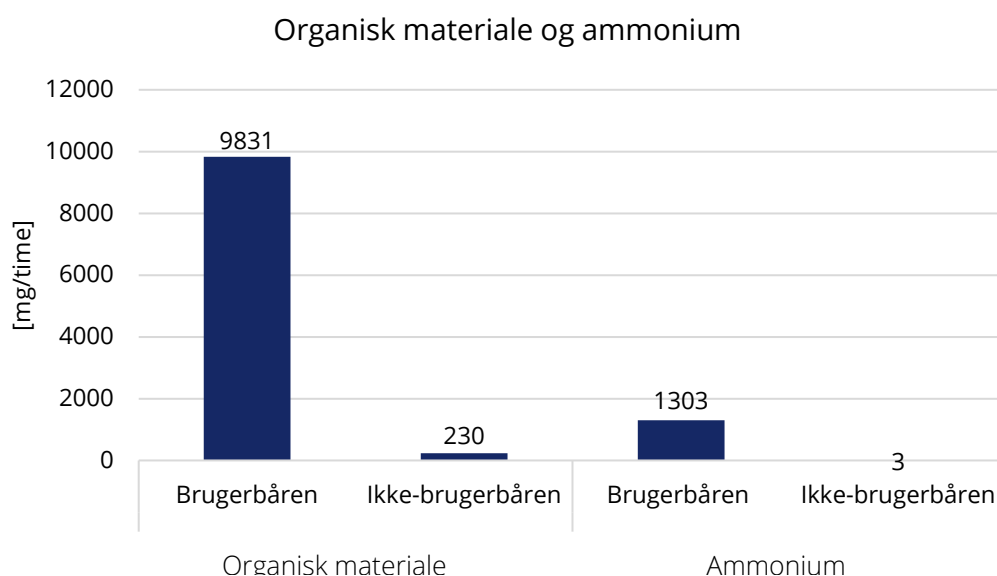
I det følgende sammenlignes de estimerede omfang af de vigtigste parametre fra hhv. brugerbåren og ikke-brugerbåren forurening. For at have et sammenligningsgrundlag, tages udgangspunkt i et 25 meter bassin med 25 badende i en time. De refererede studier og estimater i de ovenstående afsnit ligger til grund for estimaterne, men der er givetvis foretaget antagelser for at kunne foretage sammenligningen.



Figur 1. Sammenligning af brugerbårne og ikke-brugerbårne mikroorganismer, der estimeres at tilføres til bassinvand (1 time, 25 personer). Her antages, at vand fra ledningsnettet indeholder det højest tilladte antal mikroorganismer samt at F7-filtre tilbageholder mikroorganismer 100%.



Figur 2. Sammenligning af antallet af brugerbårene og ikke-brugerbårene partikler, der estimeres at tilføres bassin- vand (1 time, 25 personer). Her antages, at én partikel vejer 1 ng (svarende til ca. vægten af en hudcelle). Nogle partikler vil dog i praksis veje mere (fx talg, hår, sekret).



Figur 3. Sammenligning af mængden af hhv. organisk materiale og ammonium fra brugerbåren og ikke-brugerbåren forurening. I sammenligningen er det antaget, at frigivelsen fra badende er den samme i første halv time som i den følgende halv time (Keuten *et al.*, 2014).



Sammenlignes de estimerede omfang af forurening fra de brugerbårne og de ikke-brugerbårne kilder, ses, at de brugerbårne forureningskilder udgør langt størsteparten af forureningen (97-99 %) for både mikroorganismer, partikler, organisk materiale og ammonium.

## 6. Konklusioner

Litteraturstudiet har estimeret forskellige forureningskilders bidrag til den samlede forurening i svømmebade. Det fremgår af gennemgangen, at den forurening, der knytter sig til brugerne af svømmebade, er relativt velafdækket, imens de øvrige forureningskilder i langt mindre omfang er belyst.

For hhv. vand fra ledningsnettet og ventilationen kunne forureningen estimeres baseret på kravværdier og filtertyper, og disse kilder vurderes ikke at udgøre et væsentligt bidrag til forureningen af svømmebade. For både rester af kemikalier (CIP, flokningsmiddel) og partikler fra kul-, sand-og pulverfiltre var det ikke muligt at estimere omfanget.

Det er dog tydeligt fra litteraturstudiets resultater, at forureningen fra de badende udgør langt størsteparten (97-99 %) af forureningen med hhv. organisk materiale, ammonium, partikler og mikroorganismer.



## 7. Referencer

- Amagliani, G., Schiavano, G. F., Stocchi, V., Bucci, G., & Brandi, G. (2013). Application of real-time PCR to *Pseudomonas aeruginosa* monitoring in a public swimming pool. *Microchemical Journal*, *110*, 656–659. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.08.001>
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, *45*(21), 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Environmental Protection Agency. (2017). *Microplastic in Danish wastewater: Sources, occurrences and fate Fast DNA sequencing for optimization of wastewater treatment plants View project*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/316966942>
- Erdinger, L., Kirsch, F., Sonntag, H.G. (1997). Potassium as an indicator of anthropogenic contamination of swimming pool water. *Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin*. Oct;200(4):297-308
- Gardinier, S., Guehenneux, S., Latreille, J., Guinot, C., Tschachler, E. (2009). Variations of skin biophysical properties after recreational swimming. *Skin Research and Technology* 2009 Nov;15(4):427-32.
- Gerba, C.P. Assessment of Enteric Pathogen Shedding by Bathers during Recreational Activity and its Impact on Water Quality. *Quantitative Microbiology* **2**, 55–68 (2000). <https://doi.org/10.1023/A:1010000230103>
- Guida, M., Di Onofrio, V., Gallè, F., Gesuele, R., Valeriani, F., Liguori, R., ... Liguori, G. (2016). *Pseudomonas aeruginosa* in swimming pool water: Evidences and perspectives for a new control strategy. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *13*(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph13090919>
- Gumińska, J., & Kłos, M. (2015). Effect of polyaluminium chlorides overdose on effectiveness of coagulation and filtration. *Environment Protection Engineering*, *41*(1), 5–14. <https://doi.org/10.5277/epe150101>
- Gunkel, K., Jessen, H.J. Untersuchungen über den Harnstoffeintrag des Badewasser. (1986) *Acta hydrochimica et hydrobiologica* (14), 5; 451-461. <https://doi.org/10.1002/ahch.19860140502>
- Jmaiff Blackstock, L. K., Wang, W., Vemula, S., Jaeger, B. T., & Li, X. F. (2017). Sweetened Swimming Pools and Hot Tubs. *Environmental Science and Technology Letters*, *4*(4), 149–153. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.7b00043>
- Judd, S. J., & Black, S. H. (2000). Disinfection by-product formation in swimming pool waters: A simple mass balance. *Water Research*, *34*(5), 1611–1619. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00316-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00316-4)
- Keuten, M. G. A., Schets, F. M., Schijven, J. F., Verberk, J. Q. J. C., & van Dijk, J. C. (2012). Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools. *Water Research*, *46*(11), 3682–3692. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.04.012>
- Laitala, K., Klepp, I. G., & Henry, B. (2018). Does use matter? Comparison of environmental impacts of clothing based on fiber type. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(7), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su10072524>
- Lempart, A., Kudlek, E., Lempart, M., & Dudziak, M. (2018). The presence of compounds from the Personal Care Products group in swimming pool water. *Journal of Ecological Engineering*, *19*(3), 29–37. <https://doi.org/10.12911/22998993/85377>



- Lévesque, B., Vézina, L., Gauvin, D., & Leroux, P. (2015). Investigation of Air Quality Problems in an Indoor Swimming Pool: A Case Study. *Annals of Occupational Hygiene*, 59(8), 1085–1089. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mev038>
- Masanori Terasaki & Masakazu Makino (2008) Determination of chlorinated by-products of parabens in swimming pool water, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 88:13, 911-922, DOI: 10.1080/03067310802272663
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2016. BEK nr. 918 af 27/6/2016. Bekendtgørelse om svømmebadsanlæg m.v. og disses vandkvalitet.
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2019. BEK nr. 1070 af 28/10/2019. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- Miljøministeriet, 2010. By- og landskabsstyrelsen. Forundersøgelser og teknologiafprøvning til forbedret vandkvalitet og indeklima for svømmebade og badelande. Case Lalandia.
- Nationalt Center for Miljø og Energi. The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2017. Ellermann, T., Nygaard, J., Nøjgaard, J.K., Nordstrøm, C., Brandt, J., Christensen, J., Ketznel, M., Massling, A., Bossi, R. & Jensen, S.S. 2018. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 83 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 281.
- Naturstyrelsen, 2016. Overvågning af vandkvalitet og sikring af hygiejnisk vandkvalitet i svømmebade.
- Papadopoulou, C., Economou, V., Sakkas, H., Gousia, P., Giannakopoulos, X., Dontorou, C., ... Leveidiotou, S. (2008). Microbiological quality of indoor and outdoor swimming pools in Greece: Investigation of the antibiotic resistance of the bacterial isolates. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 211(3–4), 385–397. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.06.007>
- Pasquarella, C., Veronesi, L., Napoli, C., Castaldi, S., Pasquarella, M. L., Sacconi, E., ... Liguori, G. (2014). What about behaviours in swimming pools? Results of an Italian multicentre study. *Microchemical Journal*, 112, 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.09.024>
- Sharma, V. K., Yang, X., Cizmas, L., McDonald, T. J., Luque, R., Sayes, C. M., ... Dionysiou, D. D. (2017). Impact of metal ions, metal oxides, and nanoparticles on the formation of disinfection byproducts during chlorination. *Chemical Engineering Journal*, 317, 777–792. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.02.071>
- Teo, T. L. L., Coleman, H. M., & Khan, S. J. (2015). Chemical contaminants in swimming pools: Occurrence, implications and control. *Environment International*, 76, 16–31. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.012>
- Tirodimos, I., Arvanitidou, M., Dardavessis, T., Bisiklis, A., & Alexiou Daniil, S. (2010). Prevalence and antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from swimming pools in northern Greece. *Eastern Mediterranean Health Journal*, 16(7), 783–787. <https://doi.org/10.26719/2010.16.7.783>
- Water Quality and Health Council, 2012. Swimmer Hygiene Omnibus Survey Results, April 2012. [https://waterandhealth.org/files/WQHC\\_swimmer\\_hygiene\\_survey\\_results.pdf](https://waterandhealth.org/files/WQHC_swimmer_hygiene_survey_results.pdf)
- Weng, S., Sun, P., Ben, W., Huang, C. H., Lee, L. T., & Blatchley, E. R. (2014). The Presence of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Swimming Pools. *Environmental Science and Technology Letters*, 1(12), 495–498.



<https://doi.org/10.1021/ez5003133>

WHO. (2006). Guidelines for safe recreational water. *Environments*, 2, 3505–3518.

Winward, G. P., Avery, L. M., Stephenson, T., & Jefferson, B. (2008). Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles. *Water Research*, 42(1–2), 483–491. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.07.042>

Zhao, Y., Yang, H. wei, Liu, S. ting, Tang, S., Wang, X. mao, & Xie, Y. F. (2016). Effects of metal ions on disinfection byproduct formation during chlorination of natural organic matter and surrogates. *Chemosphere*, 144, 1074–1082. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.095>



**TEKNOLOGISK**  
**INSTITUT**