

# Inaktivering av sporeformende bakterier i drikkevann og implikasjoner for framtidig desinfeksjonspraksis

Av Vidar Lund og Kari S. Ormerod

Forfatterne er forskere ved Nasjonalt folkehelseinstitutt, Avd. for vannhygiene,

## Sammendrag

Etter at man begynte å analysere drikkevannsprøver for innhold av 36°C kimtall og sporer av *C. perfringens* har mange vannverk hatt problemer med å tilfredsstille drikkevannsforskriftens krav, da sporer av både *Bacillus* og *C. perfringens* passerer klordesinfeksjonen ved vannverk. Våre forsøk viser at det er nødvendig med en minimums klorrest på 2-13 mg/l med en kontakttid på minimum 30 minutter for å oppnå 2 log (99%) inaktivering av de testede *Bacillus* og *Clostridium* sporer. Resultatene understreker også viktigheten av å klorere ved lav pH. Resultatene demonstrerer at normal klordesinfeksjon, utført i henhold til gjeldende norske krav, ikke er i stand til å oppnå minimum 2-log reduksjoner for *B. subtilis*, *B. cereus* og *C. perfringens* sporer funnet i naturlige vannkilder, selv i surt miljø.

I de senere år har UV-bestråling kommet opp som et stadig mer populært alternativ til erstatning for klor. Mange større vannverk både i

Norden, ellers i Europa og i USA har fått installert UV-desinfeksjon, og flere er under prosjektering. Resultatene av våre dose-respons studier av ulike *Bacillus* arter og *C. perfringens* sporer toleranse overfor lavtrykks UV-bestråling viser at selv om sporedannende bakterier er mer resistente overfor UV enn vanlige vegetative bakterier, de fleste virus (foruten Adenovirus) og protozoer, så lar det seg gjøre å oppnå 1,5-2,0 log reduksjoner (95-99% inaktivering) ved en UV dose (fluence) på 40 mJ/cm<sup>2</sup>. En forutsetning er imidlertid at vannet forbehandles for å redusere partikkelinnholdet, da partikler binder bakterier og bakteriesporer, og hindrer en effektiv desinfeksjon. Vi har vist at standardstammen *B. subtilis* ATCC 6633, som benyttes som testorganisme (biodosimeter) i Østerrike og Tyskland ved testing av UV aggregater, har en UV-toleranse som er høyere enn de fleste *Bacillus* sporer som forekommer i drikkevannskilder. Dersom man oppfyller kravet til en biodosimetrisk målt UV dose på mini-

mum 40 mJ/cm<sup>2</sup>, sikrer man derfor en tilfredsstillende desinfeksjon også av *Bacillus* sporer. Dersom man setter krav om at en skal oppnå minimum 2 logreduksjoner av både aerobe (*Bacillus*) og anaerobe (*Clostridium*) bakteriesporer for at desinfeksjonen skal aksepteres som en hygienisk barriere, må imidlertid UV-dosen økes utover dagens krav på 40 mJ/cm<sup>2</sup>, da *Clostridium* sporene ser ut til å ha en mye høyere UV toleranse enn *Bacillus* sporer. Ytterligere undersøkelser er imidlertid nødvendig for å fastslå mer eksakt UV-toleransen til *C. perfringens* fra naturlige vannforekomster.

## Innledning

Desinfeksjon med ultrafiolett bestråling (UV) er en veletablert metode for inaktivering av bakterier og virus i drikkevann. Forsøk utført de senere år har demonstrert at UV-bestråling, i motsetning til klorering, også er en effektiv desinfeksjonsmetode for parasitter som *Giardia* og *Cryptosporidium* (Clancy et. al, 2000). Dette har medført at stadig flere land, inkludert USA, nå aksepterer UV bestråling som en hygienisk barriere også mot parasitter. Norge har på mange måter vært et foregangsland med å ta i bruk UV-desinfeksjon av drikkevann, da de første anleggene ble installert allerede i begynnelsen av 1970-årene. I dag er det ca 670 vannverk med UV-bestråling og ca 240 vannverk med klorering i Norge, som forsyner henholdsvis 700 000 og 2,7 mill. mennesker. Som det fremgår av tallene ovenfor er de fleste vannverk i Norge med UV-bestråling relativt

små, men større vannverk, for eksempel Oslo vannverk og Bergen vannverk, planlegger å gå over fra klor- til UV-desinfeksjon. Per i dag er Helsinki Water og Lovöns Vattenverk i Stockholm blant de største anlegg i verden med UV-bestråling, men vannverkene i store amerikanske byer som Seattle og New York planlegger også å gå over til UV-desinfeksjon i løpet av kort tid.

Etter implementering av EUs Drikkevannsdirektiv er fokus blitt satt på inaktivering av sporeformende aerobe (*Bacillus*) og anaerobe (*Clostridium perfringens*) bakterier i drikkevann. *Bacillus* kan påvises som 36°C kimtall og *Clostridium perfringens* er nå innført som indikatorparameter for mulig forekomst av parasitter og virus i vann. Begge disse typer bakterier kan forekomme i avføring fra mennesker, i jord og vann, og de kan infisere matvarer og gi matforgiftning (oppkast og diaré) for eksempel via forurenset drikkevann. Ved validering av UV aggregater benyttes en spesiell stamme av *Bacillus*, *Bacillus subtilis* ATCC 6633 sporer (ATCC=American Type Culture Collection), som "biodosimeter" (= testorganisme), da det har vist seg at sporene til denne bakterien har opptil ni ganger høyere UV-toleranse enn vanlige vegetative bakterier, de fleste virus (unntak Adenovirus) og parasitter (Chang et al 1985, ÖNORM 2001 og 2003, DVGW 1997).

Lite har imidlertid vært kjent om effekten av UV-bestråling på *Bacillus* og *Clostridium* bakterier som man i varierende antall finner i vann-

verkenes råvann og som kan skape problemer i næringsmiddelindustri. Vi har derfor utført UV inaktiveringsforsøk med sporer av tre ulike *Bacillus* arter, *B. subtilis* og *B. licheniformis*, isolert fra renvann fra to ulike vannverk etter klordesinfeksjon, samt *B. cereus*, isolert fra råvannet (overflatevann) til et vannverk. Standard stammen *B. subtilis* ATCC 6633 ble testet i samme system, som en kontroll. Til testing av *C. perfringens* ble det benyttet en stamme med laboratorieproduserte sporer (NCTC 8239), og naturlig forekommende *C. perfringens* fra fekalit påvirket bekkevann. De samme bakteriestammer med unntak av *B. licheniformis* og *C. perfringens* fra bekkevann ble også testet for toleranse overfor klor, for å sammenlikne den desinfiserende effekten av klor og UV overfor bakteriesporer.

## Materiale og metoder

De ulike *Bacillus* artene ble dyrket på et spesielt sporuleringsmedium for å få dem til å danne sporer. Sporesuspensjonen ble fortynnet til en startkonsentrasjon på  $10^4$ - $10^6$  bakteriesporer per ml i partikkelfiltrert, autoklavert vann før de ble benyttet i forsøkene. Standardstammen *B. subtilis* ATCC 6633 (ÖNORM 2001) ble mottatt fra Regina Sommer ved Universitetet i Wien, som frysetørkede sporer, som ble fortynnet i autoklavert, partikkelfiltrert vann, til en startkonsentrasjon på ca  $10^6$  sporer/ml. Standard stammen av *C. perfringens* NCTC 8239 ble mottatt fra Norges Veterinærhøgskole som vas-

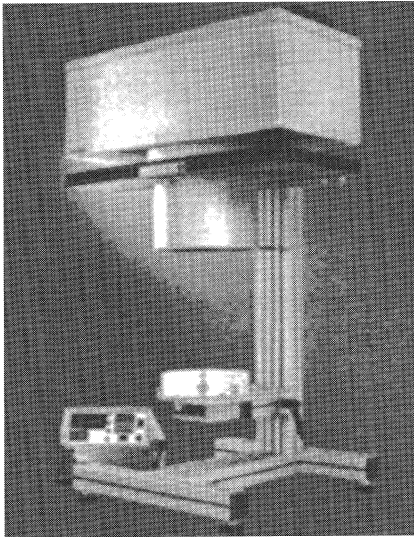
ket sporesuspensjon som ble frosset ned i små porsjoner og tint før hvert forsøk. *C. perfringens* sporer fra bekkevann ble benyttet direkte i UV forsøkene, og ble bestrålt i vannvolum á 200 ml (totalt opptil 2-3 liter per forsøk) for deretter å bli oppkonsentrert ved membranfiltrering.

## Desinfeksjon med klor

Flasker med sterilt, fosfatbufret, ultrarent vann ble tilsatt ulike mengder natrium hypokloritt. Etter at innholdet av fritt klor var målt, ble bakteriesuspensjon tilsatt til en startkonsentrasjon på  $10^4$  –  $10^6$  CFU/ml. En ekstra flaske fra hver av de testede klor-konsentrasjoner, ble benyttet for klormålinger i løpet av kontakttiden på 30 minutter. Det ble også tatt ut prøver for pH målinger. Klore ble nøytralisert med natrium thiosulfat ved endt kontakttid. Antall overlevende bakterier ble bestemt ved utsæd på TY-agar medium (Tryptone Yeast extract) for dyrking av *Bacillus*, og mCp-medium (Bisson and Cabelli, 1979) for *Clostridium perfringens*.

## Inaktiveringsforsøk med UV bestråling

Alle bestrålingene ble utført med Wedeco CBD lavtrykks UV bestrålingsapparat, som er laget i henhold til beskrivelse av UV-testutstyr gitt i de tyske testkriteriene for UV-aggregater (DVGW, 1997). Intensiteten på UV-lyset ble målt med et kalibrert UV-intensimeter, samt supplert med uridinaktinometriske målinger (DVGW, 1997). Bestrålt vannvolum varierte fra 25 –200 ml, avhengig av testbakterie.



Figur 1. Wedeco CBD lavtrykks UV-bestrålingsapparat.

## Resultater og diskusjon

### Klorinaktivering av *Bacillus* og *Clostridium* sporer i vann.

Det har lenge vært kjent at effekten av klor er pH avhengig. HOCl (underklorosyring) som dominerer ved pH < 7 er hevdet å være opptil 50 ganger mer effektiv som desinfeksjonsmiddel overfor vegetative bakterier enn OCl<sup>-</sup> (hypokloritt-ion) som dominerer i basisk miljø. Vi ønsket derfor å teste innvirkningen av pH på klors effekt på bakteriesporer. Innvirkning av pH på klordesinfeksjon av *B. subtilis* ATCC 6633 er vist i figur 2, basert på fosfatbufret vann med ulike pH verdier. Dataene er kun basert på ett eksperiment for hver pH-verdi, men resultatene indikerer at det er nødvendig med ca 7 ganger så høy klordose ved pH 7,7 som ved pH 6,3 for å oppfylle krav om 2-log reduksjon av

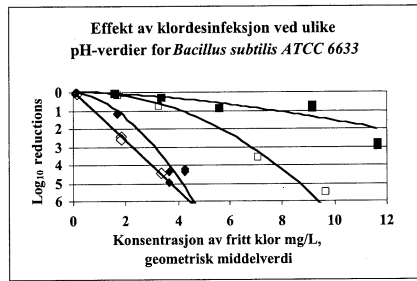


Fig. 2 Data og trendlinjer for klorinaktivering ved ulike pH verdier. Fylte firkanter: pH 7,7, åpne firkanter: pH 7,4, fylte ruter pH 6,6 og åpne ruter pH 6,3.

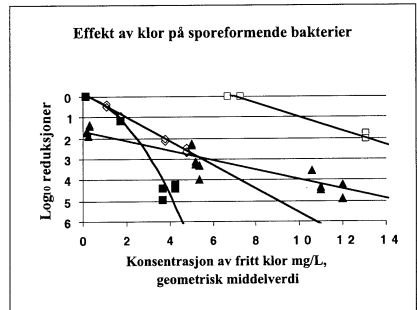


Fig. 3. Inaktiveringskurver (trendlinjer) for sporeformende bakterier. Fylte firkanter: *B. subtilis* ATCC 6633, åpne firkanter: *B. subtilis* vannisolat, åpne ruter: *B. cereus*, fylte triangler: *C. perfringens* NCTC 8239.

bakteriesporer (Veileder til drikkevannsforskriften).

Resultatene fra forsøkene med klordesinfeksjon av sporer av ulike *Bacillus*-arter isolert fra vann og laboratoriestammen *Clostridium pefringens* NCTC 8239 er gjengitt i figur 3. Nødvendig klorkonsentrasjon for å oppnå ulik grad av inaktivering,

forutsatt en kontakttid på 30 minutter, er gitt i tabell 1. Data fra to eller tre eksperimenter, hvert med tre paralleller per klordose, er basis for figur 3. Overlappende data fremtrer kun som

ett enkelt punkt. Trendlinjene i figur 3 er lineære linjer for alle de testede bakteriene, med unntak av *B. subtilis* ATCC 6633 som har en geometrisk trendlinje (se tabell 1).

Tabell 1. Beregnede klorkonsentrasjoner for å oppnå ulike log-reduksjoner, basert på trendlinjer fra figur 3.

Type sporer	pH	Trend linjer	R <sup>2</sup>	Nødvendig konsentrasjon fritt klor for angitte log reduksjoner, mg/L		
				1	2	3
<i>B. subtilis</i> 1	6,3-6,6	$Y = 0,7582 x^{1.3516}$	0,9724	1,23	2,05	2,77
<i>B. subtilis</i> 2	6,6	$Y = 0,3278x - 2,2835$	0,9884	10,0	13,1	16,1
<i>B. cereus</i>	6,6-6,7	$Y = 0,5689x - 0,0989$	0,9869	1,93	3,69	5,45
<i>C. perfringens</i> H3	6,3	$Y = 0,2326x + 1,6698$	0,8555	-	1,42	5,72

Resultatene avdekker en påfallende stor forskjell i klortoleranse mellom *B. subtilis* ATCC 6633 og "vår" *B. subtilis* isolert fra vann, med tanke på at de to *B. subtilis* stammene hadde praktisk talt lik følsomhet overfor UV bestråling (se figur 4 og 5). UV bestråling påvirker bakterienes DNA, mens klors hovedangrepspunkt er bakterienes cellevegg og cellemembran. *B. subtilis* ATCC 6633 hadde gjennomgått en omfattende forbehandling for å rense sporesuspensjonen, bestående av pasteurisering, sonikering og sentrifugering. *B. subtilis* isolatet fra vann har ikke gjennomgått den samme behandlingen og kan derfor "overflatemessig" ha vært mer lik sporer en finner i naturlige vannkilder. Forskjeller i cellevegg og/eller cellemembranen hos disse *B. subtilis* stammene kan muligens forklare den

observerte forskjell i klortoleranse, og hvorfor *B. subtilis* isolatet fra vann hadde passert klordesinfeksjonen ved det aktuelle vannverket. Det benyttede *B. cereus* isolatet var også isolert fra vann, og vil sannsynligvis også ha omtrent samme klortoleranse som tilsvarende sporer fra naturlige vannforekomster. I våre forsøk var det nødvendig med en fri klorkonsentrasjon på 3,7 mg/l og en kontakttid på minimum 30 minutter for å oppnå en 2-log (99%) inaktivering av *B. cereus* sporer. Vanlig desinfeksjonspraksis i Norge, en klortilsetning på ca 0,5 mg/l og en klorrest på minimum 0,05 mg/l etter 30 minutters kontakttid, vil derfor ikke gi en effektiv inaktivering av bakteriesporer. Dette forklarer hvorfor man fra tid til annen kan observere "krøllete" kolonier på agarplater ved kimtallsanalyser, da disse koloniene

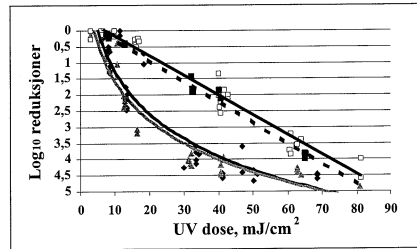
kan stamme fra *B. cereus* sporer som har overlevd kloringen ved vannverket.

Utgangskulturen med *C. perfringens* viste stor variasjon i bakteriinnhold mellom de enkelte forsøk. Det var derfor vanskelig å planlegge forsøkene for å få agarplater med optimalt antall kolonier. Resultatene som er gjengitt i figur 4, er derfor basert på tre forsøk med minst to paralleller for hver klordose. Formen på inaktiveringskurven indikerer at en del av bakteriene i testsuspensjonen ikke er fullt utviklede sporer, da veldig lave klordoser gir 1-2 log reduksjoner. De gjenværende sporene viste imidlertid en mye større klortoleranse, noe som tyder på at disse er normalt utviklede sporer. Det observerte inaktiveringsforløpet for laboriestammen av *C. perfringens*, antyder at naturlig forekommende *C. perfringens* sporer fra vann kan ha større klortoleranse enn de laborieproduserte sporene.

## UV-inaktivering av *Bacillus* sporer i vann

Som det fremgår av figur 4 er *B. subtilis* sporer signifikant mer resistente overfor UV-bestråling enn *B. licheniformis* og *B. cereus*. Det norske "kravet" om minimum 2 log (99%) inaktivering korresponderer med en UV-dose på minimum 40 mJ/cm<sup>2</sup> (400 J/m<sup>2</sup>). Dette er identisk med kravene i Østerrike (ÖNORM) og Tyskland (DVGW). Våre inaktiveringsresultater viser at dette kravet er oppfylt for alle de tre *Bacillus*-artene isolert fra drikkevann. Det ble oppnådd en 2-log inaktivering for *B. subtilis*, *B. licheniformis* og *B. cereus* sporer ved en UV

dose på henholdsvis 37, 13 og 15 mJ/cm<sup>2</sup> (mWs/cm<sup>2</sup>).



Figur 4. Effekt av UV-desinfeksjon på sporer av *B. cereus* (ruter), *B. licheniformis* (trekanter), *B. subtilis* ATCC 6633 (åpne firkanter) og *B. subtilis* fra vann (fylte firkanter).

Resultatene med våre egenproduserte *B. subtilis* sporer, isolert fra drikkevann, viste samme sensitivitet overfor UV-bestråling som standardstammen, *B. subtilis* ATCC 6633, som benyttes som biosimulator i den østerrikske og tyske UV standarden. Tilsvarende forsøk med *B. subtilis* ATCC 6633 utført i Østerrike gav omtrent samme inaktivering som oppnådd ved våre forsøk, ca 2,0 log reduksjoner ved en UV dose (fluence) på 40 mJ/cm<sup>2</sup>. Resultatene viste at *B. subtilis* sporer var de mest resistente av de testede mikrobene, fulgt av Rotavirus, bakteriofag (bakterievirus), Poliovirus og en standardstamme av *E. coli* (Sommer et. al 1989).

I de senere år har redselen for bioterrorisme satt søkelyset på om dagens krav til UV desinfeksjon er tilstrekkelig til å inaktivere *B. anthracis* sporer (Anthrax=miltbrann). Det er blitt hevdet at *B. anthracis* sporer kan

ha tre til fire ganger større resistens overfor lavtrykks UV- bestråling ved 254 nm enn *B. subtilis*. Nicholson og Galeano (2003) gjorde UV-bestrålingsforsøk med lavtrykks UV lamper for å sammenlikne UV toleransen til standardstammen *B. subtilis* ATCC 6633 og *B. anthracis* Sterne sporer. De konkluderte med at UV desinfeksjon som er tilstrekkelig for å inaktivere *B. subtilis* sporer sannsynligvis også vil gi en sikker beskyttelse mot Antrax sporer. Dette viser at et UV aggregat testet med en biodosimetrisk test med *B.subtilis* ATCC 6633 som biodosimeter, og en minimums UV-dose på 40 mJ/cm<sup>2</sup> sikrer at UV anleggene vil fungere som en hygienisk barriere overfor aerobe bakteriesporer (*Bacillus*) som kan forekomme i vann og som kan være en potensiell smittekilde for mennesker.

## UV-inaktivering av *Clostridium perfringens* sporer i vann

Resultatene fra våre inaktiveringsforsøk med sporer av en standardstamme og bakteriesporer av *C. perfringens* direkte fra en bekk påvirket av diffus fekal forurensning, er gjengitt i figur 5. Tilsiget av fekal forurensning kommer i dette tilfellet mest sannsynlig via jord, og sporene er derfor mest sannsynlig knyttet til partikler. Begge de testede *C. perfringens* stammene var signifikant mer tolerante overfor UV-bestråling enn de testede *Bacillus* sporene. Som det fremgår av figuren er *C. perfringens* direkte fra en naturlig vannprøve tydelig mer resistent overfor UV-bestråling enn den benyttede standard stammen, med

en log-reduksjon ved en UV dose på 40 mJ/cm<sup>2</sup> på henholdsvis 1,2 og 1,8. En viktig årsak til den observerte forskjellen i UV toleranse er sannsynligvis at *C. perfringens* sporer i vannprøver direkte fra naturen i stor grad er festet til partikler i vannet, og derfor er beskyttet mot UV-lys.

Sammenliknende forsøk utført med bestråling av filtrerte og ufiltrerte vannprøver fra samme vannkilde, indikerte at innholdet av sporer var mye lavere i filtrerte enn ufiltrerte prøver. I disse forsøkene ble det benyttet en planktonduk med så stor maskevidde at bakteriesporer som ikke var festet til partikler, passerte filterduken. Det er derfor viktig å være klar over at mikrober, inkludert bakteriesporer, vil kunne ha høyere UV-resistens i naturlige vannprøver, enn det som er blitt funnet for bakterier dyrket i laboratoriet.

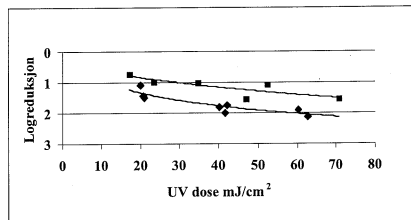


Fig. 5. Effekt av UV-bestråling på en standard laboriestamme (NCTC 8239)(ruter) og en stamme fra bekkvann (firkanter) av *C. perfringens*.

Hijnen et. al (2002) fant at *C. perfringens* sporer fra naturlige vannprøver var 1,6 ganger mer resistente overfor UV bestråling enn sporer fra *Clostridium* dyrket i laboratoriet. Det er også hevdet at partikler > 9-10 mm

kan beskytte mikrober mot UV-lys, men at mindre partikler ikke har denne evnen (Emerick et. al., 2000). Rajala og Heinonen-Tanski fra Finland (personlig meddelelse) oppnådde 99,97% reduksjon av sulfittreducerende klostridier med en UV-dose (=fluence) på 66 mJ/cm<sup>2</sup> i et laboratorieforsøk med lavtrykks UV-aggregater. I pilotforsøk med rensed avløpsvann inneholdende sulfittreducerende klostridier måtte de opp i en UV-fluence på ca 150 mJ/cm<sup>2</sup> for å oppnå 50-95% inaktivering, mens de omtrent ikke fikk noen reduksjon med 66 mJ/cm<sup>2</sup>. Årsaken til den store forskjellen mellom resultatene oppnådd ved laboratorieforsøk og ved pilotforsøk er ikke avklart, men en mulig forklaring er at en større andel av bakteriesporene er bundet til partikler i pilotforsøkene med rensed avløpsvann, og at de, i likhet med våre forsøk, observerer en større grad av UV-resistens på grunn av skjermingseffekter fra partiklene i vannet. I tillegg vil det alltid være slik at fekale bakterier som gjenfinnes i naturen består av de "tøffeste" bakteriene, siden de bakteriene som er mest følsomme overfor ulike miljøfaktorer inaktiveres raskt ved opphold i vann. En undersøkelse av UV-desinfeksjon av avløpsvann fra Montreal i Canada, behandlet med koagulering med tilsetning av jern og /eller aluminium salter for å fjerne suspendert stoff og fosfor, gav en inaktivering av *C. perfringens* på ca 1,4 log ved en UV-dose på 40 mJ/cm<sup>2</sup> (Gehr et al. 2003). Dette stemmer godt overens med resultatene oppnådd i våre forsøk med *C. perfringens* fra prøver av naturlige elvevann.

## Litteratur

Bisson, J.W. and Cabelli, V.J. (1979) Membrane filter enumeration method for *Clostridium perfringens*. *Appl. Environ. Microbiol.* 37(1), 55-66.

Chang, J.C.H., Ossoff, S.F., Lobe, D.C., Dorfman, M.H., Dumais, C.M., Qualls, R.G. and Johnson, J.D. (1985) UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.* 49(6), 1361-1365.

Clancy, J.L., Bukhari, Z., Hargy, J.R., Bolton, J.R., Dussert, B.W. and Marchall, M.M. (2000) Using UV to inactivate *Cryptosporidium*. *J.Am. WaterWorks Assoc.* 92 (9), 97-104.

Deutcher Verein des Gas- und Wasserfaches (1997) UV Systems for Disinfection in Drinking Water Supplies – Requirements and Testing. DVGW, Technical Standard W 294.

Emerick, R.W., Loge, F.J., Ginn, T. and Darby, J.L. (2000) Modelling the inactivation of particle-associated coliform bacteria. *Water Environ Res* 72(4), 432-438.

Hijnen, W.A.M., Van der Veer, A., Beerendonk, E.F and Medema, G.J. (2002) Increased resistance of environmental anaerobic spores to inactivation by UV. Poster presentation at IWA-AWWA International Symposium on Waterborne Pathogens, Cascais, Portugal.

Gehr, R., Wagner, M., Veerasubramanian, P. and Payment, P. (2003)



Disinfection efficiency of peracetic acid, UV and ozone after enhanced primary treatment of municipal wastewater. *Wat. Res.* 37, 4573-4586.

Nicholson, W.L. and Galeano, B. (2003) UV resistance of *Bacillus anthracis* spores revisited: Validation of *Bacillus subtilis* spores as UV surrogates for spores of *B. anthracis* *Sterne. Appl. Environ. Microbiol.* 69 (2), 1327-1330.

Sommer, R., Weber, G., Cabaj, A., Wekerle, J., Keck, G. and Schaubberger, G. (1989) UV-inactivation of microorganisms in water. *Zbl. Hyg.* 189, 214-224.

Österreichisches Normungsinstitut (2001) Plants for the disinfection of water using ultraviolet radiation. Requirements and testing. Plants with low pressure mercury lamps. ÖNORM M 5873-1.

Österreichisches Normungsinstitut (2003) Plants for the disinfection of water using ultraviolet radiation. Requirements and testing. Part 2: Medium pressure mercury lamp plants. ÖNORM M 5873-2.

### **Rådgivning og FoU innenfor områdene:**

- Vannforsyning
- Kommunalt og industrielt avløpsvann
- Slam og organisk avfall
- Forurenset jord, grunnvann og sedimenter
- Offshore – virksomhet (miljøforhold)
- Havbruk/akvakultur
- Miljøovervåking/miljørisikovurderinger

**aquateam norsk vannteknologisk senter as**

Postboks 6875, Rodeløkka, 0504 OSLO  
Hasleveien 10

Tlf.: 22 35 81 00 – Fax: 22 35 81 10 – Internett: [www.aquateam.no](http://www.aquateam.no)