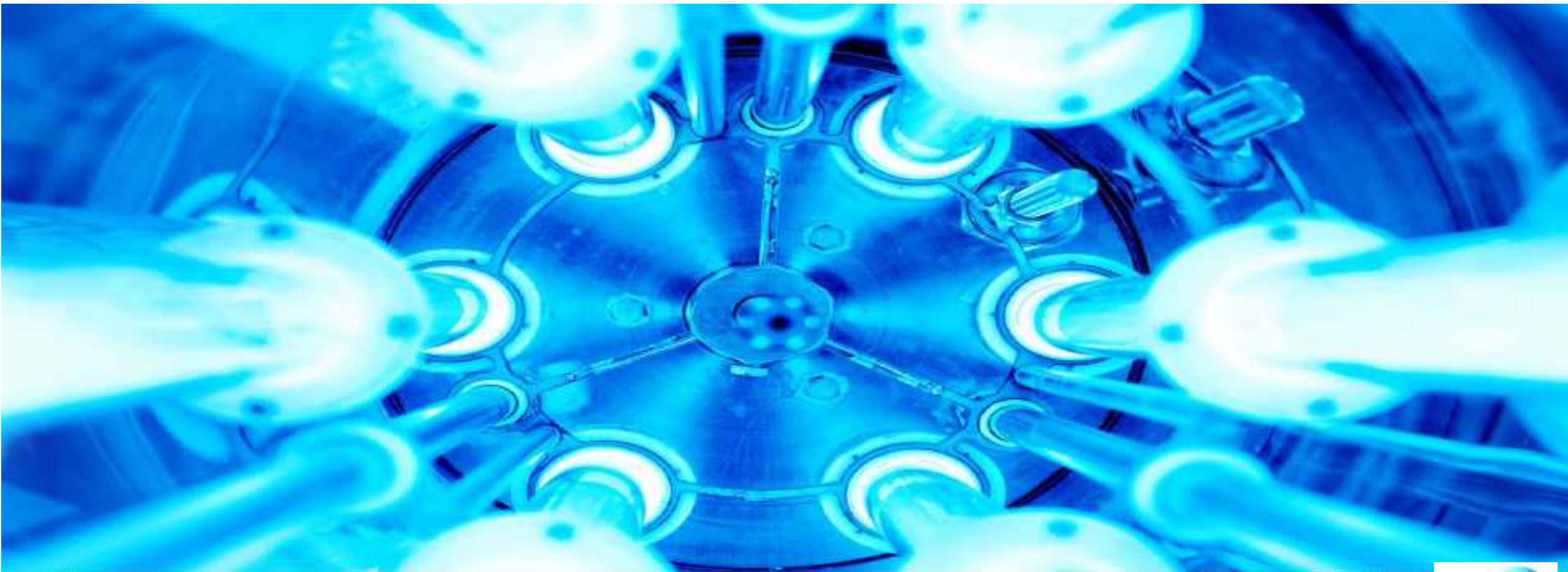


Norsk Vanns fagtreff 2023.

Gjennomgang og oppdatering på ulike spørsmål om UV. Godkjenningsordninger, vurderinger ved innkjøp av UV-anlegg og de viktigste faglige utviklingstrekkene.



Det finnes en europeiske UV-historie og det finnes en amerikansk UV-historie.

- Den europeiske starter i Østerrike i 60-årene hvor det den gang var mange små grunnvannsanlegg, ingen vannbehandling, men utstrakt bruk av klausulering for å verne kildene.
- Et behov for desinfeksjon var økende, men østerrikerne ville ikke ha klor i vannet sitt.
- UV-desinfeksjon ble derfor raskt den dominerende desinfeksjonsmetoden og > 80 % av drikkevannet har UV som eneste vannbehandling den dag i dag.
- I 80- og 90-årene ble nasjonal standard utviklet, inklusive teststasjon for biosimetrisk validering av reaktorer.
- Anleggene skulle være enkle å drifte og vedlikeholde. Behov for on-line UVT-måling skulle ikke være et krav.

Den utvidete europeiske UV-historien.

- Regelverket bygget på et prinsipp om at anlegget, mellom lampebytte, skulle være selvgående minst i lampens levetid, eller ca 1,5 år.
- Dosen skulle være minst 40 mJ/cm², som skulle gi en 4-log inaktivering av de fleste vannbårne patogener.
- Likeledes skulle dosen på 40 mJ/cm² ha en sikkerhetsmargin innebygget som skulle ta høyde for beleggdannelse og lysutbyttetilbakegang i lampene mellom hvert lampebytte.
- Sikkerhetsmarginen tok man med inn i valideringen ved at man simulerte 30 % dårligere vannkvalitet (senket UVT til UV-sensoren i reaktoren viste 70 % i forhold til reelle testforhold).
- Tyskerne ved DVGW fulgte raskt opp og kom med et nesten identisk rammeverk for UV-anlegg i 1998, og fulgte opp med det mer omfattende regelverket kalt Arbeitsblatt W 294 i 2006.
- De to valideringsnormene ÖNORM fra Østerrike og DVGW fra Tyskland er nå harmonisert i en felles ÖNORM/DIN-standard som kom i 2022.

Den amerikanske UV-historien



Cryptosporidium in Milwaukee's water supply caused widespread illness



Milwaukee-utbruddet 1993.

Milwaukee experienced the largest outbreak of cryptosporidium in the spring of 1993.

The outbreak made 400,000 sick. Over 4,000 were hospitalized. And 104 deaths were recorded. It made a lasting impression for many who got sick or simply lived through it.

Etter Milwaukee 1993.

- US EPA (Environmental Protection Agency) (USAs natur- og miljøvernbyrå) hadde lite å stille opp med umiddelbart, ettersom Crypto og Giardia er nærmest resistente mot klor.
- Erfaringer fra Europa som ble presentert på AWWAs årskonferanse i 1998 hadde vist gode resultater fra bruk av UV ovenfor mikrober generelt.
- Dette var ny kunnskap som sto i sterk kontrast med gjeldende oppfatning i Amerika, men som like fullt satte fart på arbeid knyttet til utvikling av UV-reaktorer for å sikre inaktivering av særlig Crypto og Giardia.
- Utkast til valideringsstandard kom i 2003 og den endelige utgaven av UVDGM fra US EPA forelå i 2006.
- I Amerika er det US EPA som setter de overordnede kravene for validering og den log-reduksjons-kreditt'en som kan oppnås, mens det er den enkelte delstats miljødirektorat som godkjenner selve UV-anlegget.

Hovedtrekk ved amerikansk UV-filosofi.

- Prinsippet om at hvert enkelt prosesstrinn skulle gi en log-reduksjon som i sum skulle sikre hygienisk trygt drikkevann sto sterkt.
- UV-behandling falt naturlig inn i dette mønsteret når det gjaldt utvikling av rammeverk.
- Styringen av reaktoren ble nødt til å klare en avansert reguleringsoppgave som besto i å fastholde en ønsket dose, for eksempel 3-log Crypto, når både UVT, flow og sensorverdien varierte.
- Styringsfilosofien for slike UV-anlegg er avansert, hvilket gjenspeiles i valideringen som også er kompleks, omfattende, fleksibel og kostbar.
- Det er en tilsvarende omfattende prosess knyttet til søknader for bygging av UV-anlegg i Amerika. Både AWWA og de forskjellige delstatene har omfattende veiledninger.
- For å få logkreditt for UV desinfeksjon i et anlegg må den validerte dosen være høyere enn dosekravet fra US EPA, dosen må overvåkes kontinuerlig og det må rapporteres til myndighet hver måned.

Forskjell i og på bakgrunn av validering

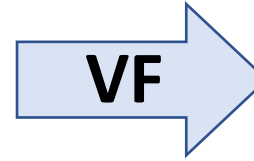
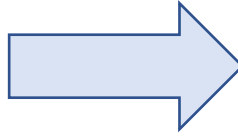
ÖNORM/DVGW – Europeisk norm

- Bruker *Bacillus subtilis* bakteriesporer til validering.
- Opptatt av dose (RED) på 40 mJ/cm² eller mer
- Sørger for å etablere en driftskurve som angir grense for vannføring og UV-intensitet som UV-reaktoren må driftes innenfor for å levere en dose ≥ 40 mJ/cm². En sikkerhetsmargin (CAF) er inkludert i valideringen
- On-line UVT-måling inngår ikke i styringen
- Styringen overvåker via UV-sensor og flow om dosen er ≥ 40 mJ/cm²
- Dose-verdi kan ikke leses ut av styringen direkte
- Normen har utgangspunkt i desinfeksjon av mindre anlegg.

- Enkelt å drifte, «overdoserer» til tider, noe mer rigid oppbygging.

UVDGM – Amerikansk norm

- Bruker i stor grad MS2 bakteriofag til validering.
- Opptatt av mikrobe-spesifikke dose- og log-reduksjonsverdier
- Sørger for at reaktoren leverer en valgbar RED-verdi uten noen grad av sikkerhetsmargin (CAF) innebygget i valideringen. Reaktoren kan settes opp til å styre ut en doseverdi eller en log-reduksjonsverdi
- Styringen beregner og gir kontinuerlig ut en dose som bestemmes av UVT, flow og pådrag. On-line måling av UVT gir indirekte opplysning om begroing.
- Verdi av UV-dose (log-reduksjon) kan leses ut direkte.
Normen har sitt utgangspunkt i større anleggs behov for log-reduksjon, særlig av parasitter som *Crypto* og *Giardia*.
- Komplekst, fleksibelt, noe mer krevende å drifte og krever kompetanse.
- Log-reduksjons-verdi og dose-verdien for en annen organisme enn testorganismen, som har en annen sensitivitet og kinetikk, blir kalkulert via en såkalt valideringsfaktor.

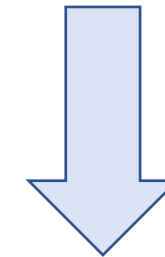
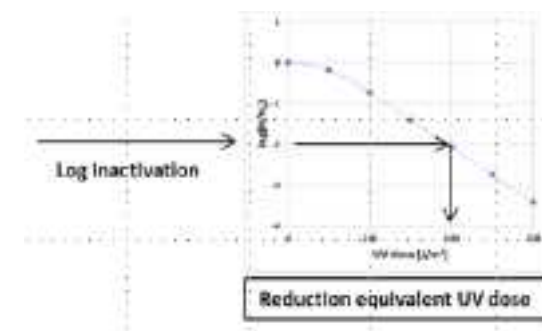
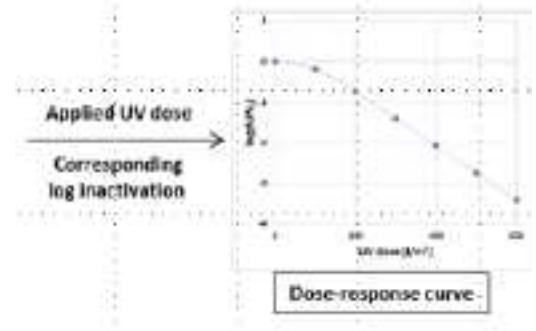
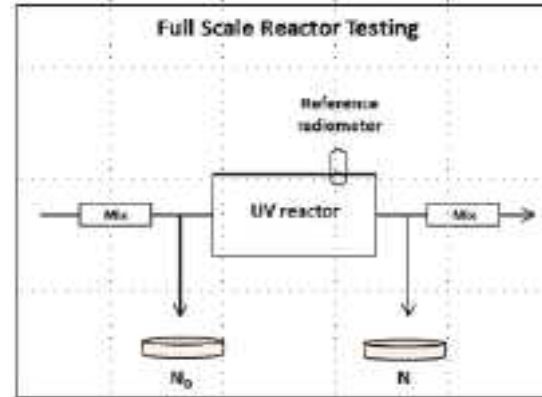
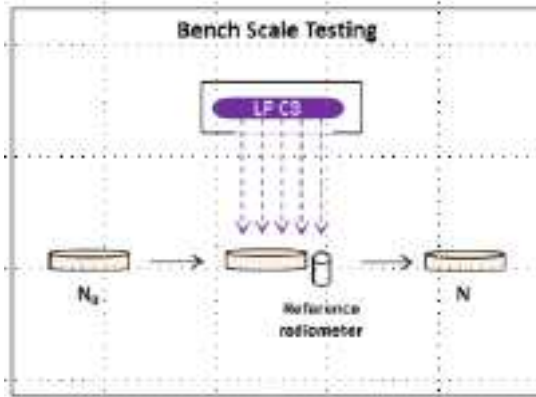


MS 2 i labforsøk
 Log red vs dose
 Sann dose, målt fysikalsk
 Mikrobepesifikk

MS 2 i validering av reaktor
 MS 2 RED kurve
 Ekvivalent dose, målt via log red
 Mikro- og reaktorspesifikk

Validert dose for Crypto via:

- Statistikk
- Sensitivitetsforskjell $4\text{-log } 96 \rightarrow 10$
- Forskjell i kinetikk
- Dose distribusjon
- CFD computational fluid dynamics



3-log Crypto
 2 log Giardia

Det spørres og det spørs.....

- Det er altså noen forskjeller i disse to valideringsnormene.
- De har forskjellig utgangspunkt og litt forskjellig formål.
- Europeisk norm har som utgangspunkt små anlegg med sporadisk tilsyn og UV som eneste vannbehandling. Overdoserer til å begynne med for å klare kravet hele lampas levetid.
- Amerikansk norm har som utgangspunkt større anlegg, en bestemt log-reduksjon av spesifikke organismer som Crypto og Giardia og besparelse av strøm.
- Enkelte reaktorer har kommet ut med dobbelt så høy kapasitet etter å ha blitt validert etter amerikansk norm som etter europeisk norm. Er europeisk 40 mJ/cm² riktigere enn amerikansk 40 mJ/cm²?
- Vi må se litt nærmere på noen parametere, som RED, MS2, B.subt, CAF, BPL, VF

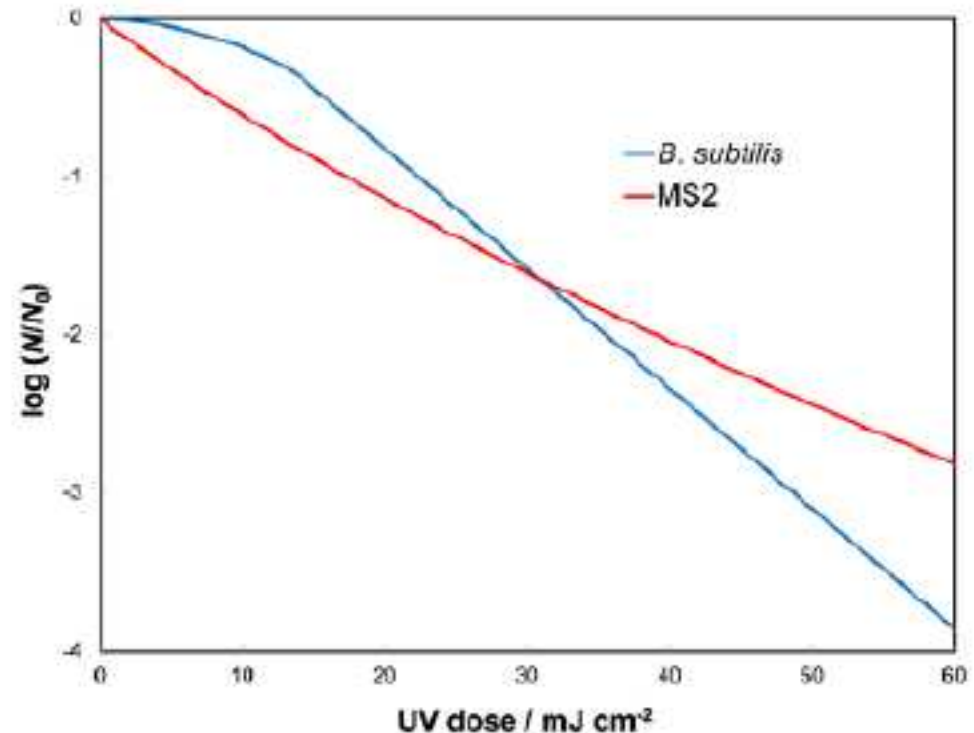
Mikroorganismers UV sensitivitet varierer.

Bench scale UV dose (mJ/cm²) ved 254 nm for 4-log (99,99%) inaktivering:

Bakt.spore:	Bacillus subtilis sporer	62
Bakterie:	Salmonella enteritidis	10
Virus:	MS2 bakteriofag	96
Protozoer:	Giardia og Crypto	<10

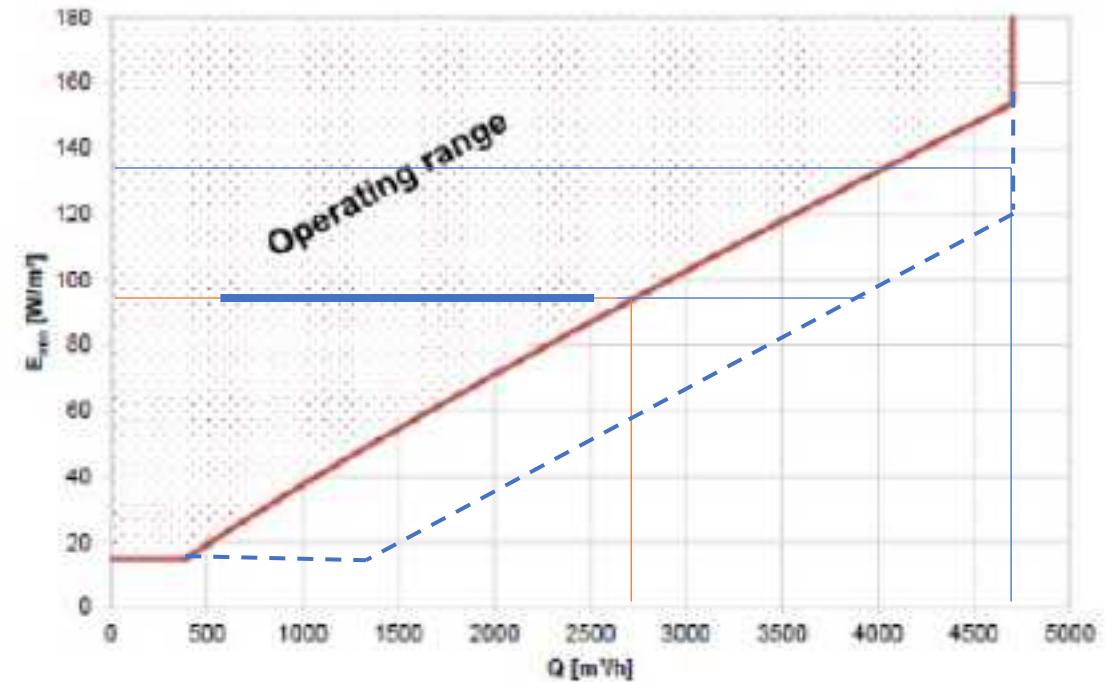
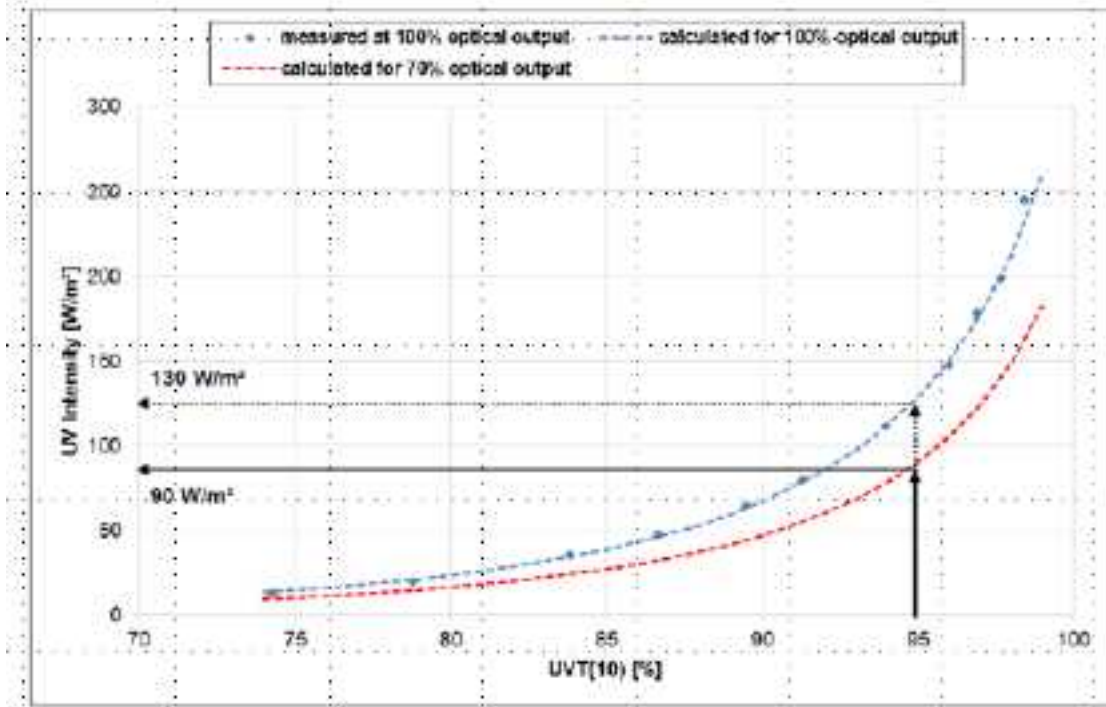
B.Subtilis har ikke et lineært forløp til å begynne med og ikke mot slutten. Dette antas å være generelt for bakterier og det antas at det skyldes en reparasjonsmekanisme i DNA.

bakterier>protozoer>virus>bakteriesporer>adenovirus>alger
mest sensitiv-----minst sensitiv

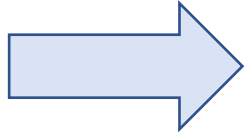


UV dose-responskurve for B. subtilis sporer (ÖNORM 2020) og MS2 coliphage (USEPA 2020).

Reduksjon av «driftsområdet» i europeisk norm.

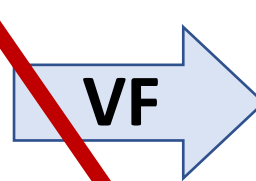
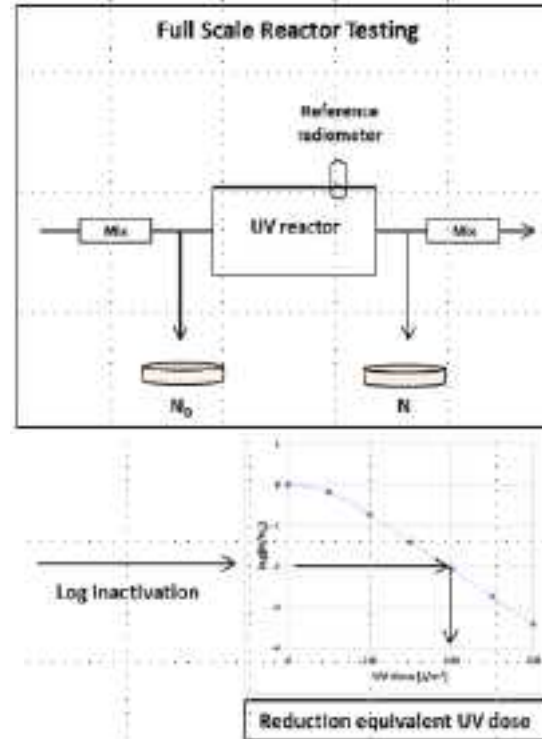
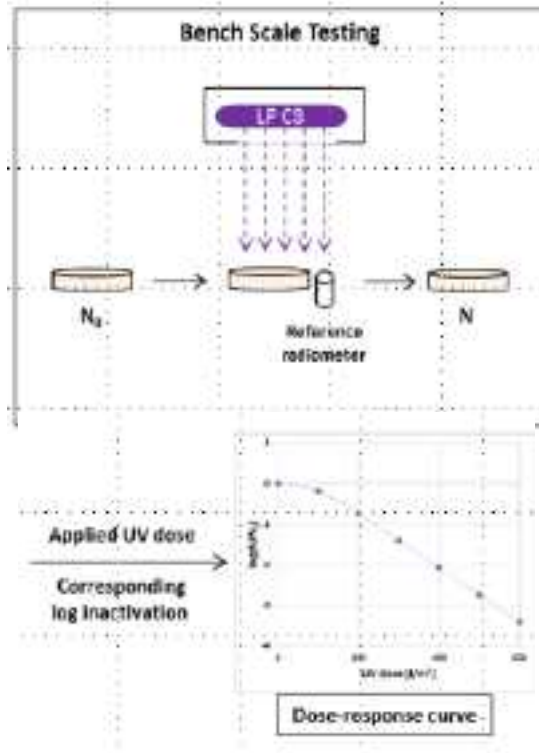


Rød strek viser grense for flow og UV-intensitet som reaktoren må driftes innenfor for å levere en dose ≥ 40 mJ/cm².



MS 2/B.subt. i labforsøk
 Log red vs dose
 Sann dose, målt fysisk
 Mikrobepesifikk

MS 2/B.subt. i val av reaktor
 MS 2/B.subt. RED kurve
 Ekvivalent dose, m/u CAF
 Mikrobe- og reaktorspesifikk



Validert dose for Crypto via:

- Statistikk
- Sensitivitetsforskjell 4-log 96 -> 10
- Forskjell i kinetikk
- Dose distribusjon
- CFD computational fluid dynamics

3-log Crypto
 2 log Giardia

Utviklingen av validering fra start til i dag.

- Den opprinnelige normen fra ÖNORM og DVGW ble i 2022 harmonisert til én felles norm.
- Europeisk norm har endret noe på sikkerhetsmarginen, men marginen er fortsatt høy i et strømprisperspektiv. CAF gått fra 70 % til 75 % og UV sensoren er tillagt 15 % usikkerhet som resulterer i en 15 % reduksjon av tillatt flow. I tillegg er det innført en ekstra testposisjon, Test B for Betriebszustand, i tillegg til test H og test L.
- Amerikansk norm har gjennomgått en betydelig utvikling som særlig går i retning å utvikle enklere valideringer, les billigere å gjennomføre. Det har likevel ikke endret ved selve prinsippet med å etablere en ligning som kan styre dosen. Sikkerhetsmarginen deres legges på etter valideringen ved at man går fra en RED-verdi via en valideringsfaktor over til en validert dose.
- Fra kun å bruke MS2 i validering og derfra å skulle beregne dose for crypto eller giardia ble det etter hvert vanlig å bruke to mikrober, en med større sensitivitet og en med mindre sensitivitet enn den mikroben man var ute etter, for eksempel crypto. Dette ble kalt «bracketing» og reduserte valideringsfaktoren vesentlig.
- Neste skritt kom med publisering av «Innovative Approaches for Validation of Ultraviolet Disinfection reactors for Drinking Water Systems» i 2020 og var knyttet til at når doseligningen for testorganismen først var etablert var overgangen til «target-organismen» enklere. («Combined variable»-metoden)
- Validering etter amerikansk norm er på tross av forenklinger og forbedringer fortsatt svært omfattende og kostbart. 100 testpunkter med manipulering av 3 parametere i hvert testpunkt gir et voldsomt antall skåler å telle.
- Dosedistribusjon forsøkes optimalisert gjennom CFD (computational fluid dynamics), men det er ikke på tale å bruke CFD i stedet for biodosimetri i validering av reaktorer

Hva er situasjonen for UV i vannbransjen i Norge

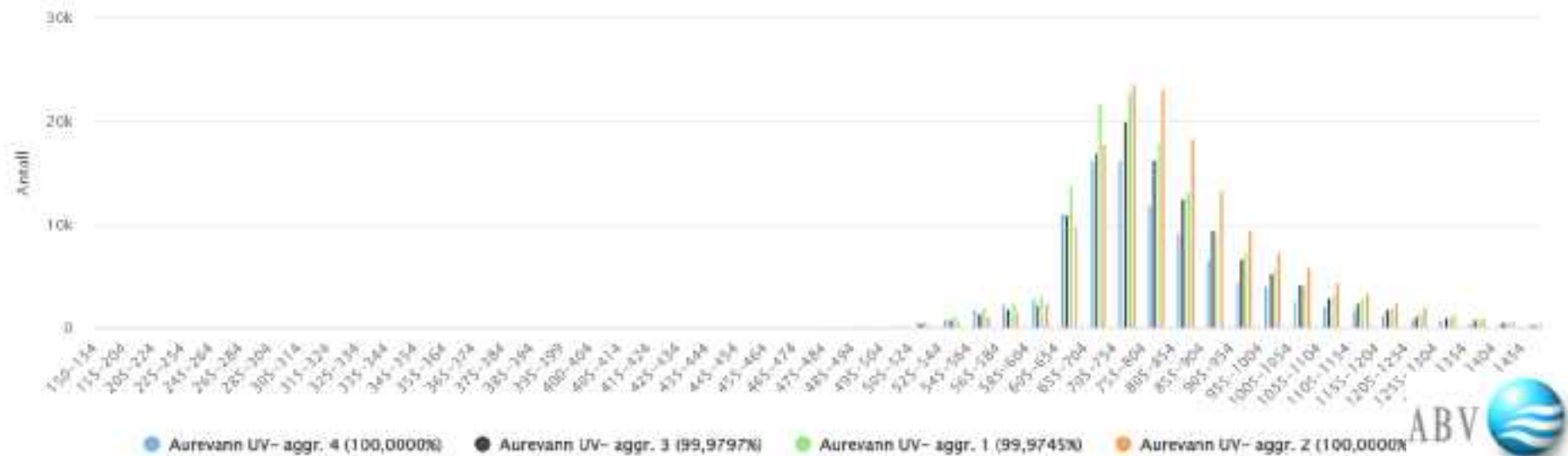
- Bransjen har ikke et rammeverk knyttet til prosjektering, bygging og godkjenning av UV-anlegg.
- Det er etablert en praksis om at UV-anlegg i Norge skal levere en dose enten på 30 mJ/cm² eller 40 mJ/cm² .
- Det har i liten grad vært kunnskap om forskjellen på amerikansk og europeisk validering.
- Det har i liten grad vært kunnskap om hvordan leverandørene setter opp reaktorer, inkludert hvordan styringen virker.
- Det er til dels vanskelig å få svar fra norske leverandører, vi er i stor grad henvist til produsentene.
- Det er vanskelig å få valideringsrapporter for reaktorer før kontrakt er skrevet, proprietær informasjon.

Stikkord ifm prosjektering av UV-anlegg.

- Kompetanseinnhenting; egen organisasjon, rådgivere, leverandører, produsenter, regulatoriske myndigheter
- Velg validerte reaktorer, og styringsfilosofi etter vannverkets størrelse og kompetanse.
- Hvilke krav til UV kan/bør inngå i en offentlig innkjøpskonkurranse:
 - Valideringsnorm, LT eller MT, funksjonskrav, LCC, nåverdiberegning, etc
- Andre krav: fremtidig utbygging, tilgjengelig areal, redundans, UPS.
- Vær nøye med å «teste ut» produksjonsmengder og døgnvariasjon.
- Hydraulisk profil gjennom anlegget, trykktap, rettstrek.
- Kjennskap til UVT og spesielle vannkvalitetsparametere over tid, historisk:
 - Potensialet for beleggdannelse, kalk, jern, mangan.
- Er det behov for syrevask eller viskere, eller begge.

Rapportering fra UV-anlegget

- Varighetskurve og månedsrapport kan genereres fra SCADA systemet:
 - Prod mengde
 - Varighetskurve basert på samplinger av hvilken dose hver reaktor har levert når reaktoren har vært i drift.
 - Resultat fra månedlig kalibrering
 - Levetid på lamper



Sammendrag og konklusjoner, gitt at vi i Norge fortsetter å dosere en fast UV-dose.

- Brukt etter de rette forutsetninger gir reaktorer like god desinfeksjon uansett om de er validert etter europeisk eller amerikansk norm.
- Små anlegg med mer sporadisk driftsbesøk og tilsyn bør med fordel velge reaktorer validert etter europeisk norm.
- Større anlegg med daglig tilstedeværelse av driftsoperatører med relevant kompetanse bør kunne velge fritt mellom europeisk og amerikansk validerte reaktorer. Reaktorer validert etter amerikansk norm vil gi mer informasjon og er noe mer energieffektive i drift.