

VA-dagene i Midt-Norge
Rica Hell Hotel, Stjørdal, 26-27 okt 2010

UV-anlegg som hygienisk barriere - med fokus på drift -



Bjørnar Eikebrokk, SINTEF

Bjørnar Eikebrokk, Sjefsforsker, Dr. SINTEF Byggforsk, Avd Infrastruktur - Vann & miljø; bjornar.eikebrokk@sintef.no

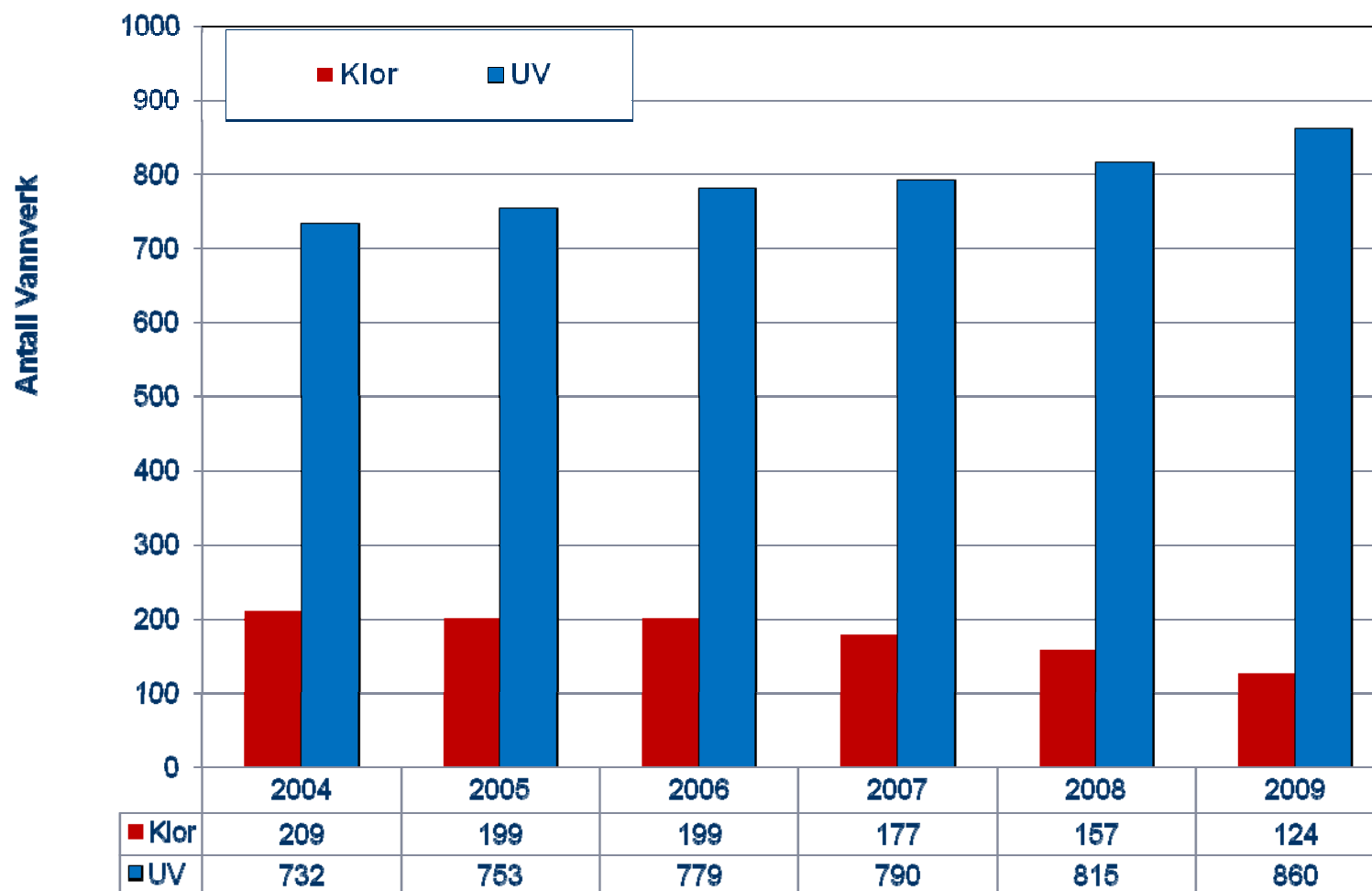
Bakgrunn og innledning

- ✓ Drikkevannsforskriften stiller krav om at overflatevann skal desinfiseres, og at det skal finnes minst to hygieniske barrierer
 - ✓ Giardiasis-epidemien i Bergen 2004 har bidratt til å skape mer oppmerksomhet rundt sikkerhetsbarrierene - også mot parasitter
 - ✓ Veilederen til drikkevannsforskriften beskriver UV som én av flere desinfeksjonsmetoder, at desinfeksjonen bør være dimensjonert for råvannskvalitet, og den gir anbefalinger for UV-dose (30 eller 40 mJ/cm²) i forhold til hvilke typer mikroorganismer som skal inaktiveres
 - ✓ Nye UV-anlegg bør være biodosimetrisk testet/validert og godkjent av FHI
 - ✓ "Alle" skal nå ha UV – **MEN** UV er ikke enkel - og løser ikke alle problemer
- **Trenger mer fokus på UV for å bidra til: 1) Økt forståelse for UV-desinfeksjon generelt, og 2) Korrekt dimensjonering og god drift**

UV som desinfeksjonsmetode

- ✓ 860 vannverk har UV – desinfeksjon i Norge i 2009 (VREG)
- ✓ Disse anleggene forsyner 2.5 mill. personer
- ✓ Før primært på de små – nå også UV på de store vannverk
- ✓ Sterk økning i antall UV-anlegg de siste årene
- ✓ Hovedårsak til den økende interessen for UV:
 - Effektiv inaktivering av parasitter (i motsetning til klor)
 - Dokumenterte barrieresvikt i mange vannkilder – også i store innsjøer med dypvannsinntak → trenger å styrke behandlings- og desinfeksjonsbarrierene
- ✓ 2004: Helsinki med verdens største UV-anlegg: 7 000 m³/t
- ✓ 2007: New York (300 000 m³/t), Seattle (28 000 m³/t)
- ✓ 2008: Oslo (Oset): 21 600 m³/t (2 anlegg)

Antall vannverk med klor eller UV



T. Krogh 2010

Antall personer med klor eller UV

Flere personer forsynt med UV enn klor f.o.m 2008/2009



T. Krogh 2010

Drikkevannsforskriften (2002)

§14:

”For å sikre hygienisk betryggende drikkevann, skal eier av godkjenningspliktig vannverk gjennom valg av vannkilde(r), beskyttelse av denne (disse) og etablering av vannbehandling sørge for at det til sammen finnes minimum 2 hygieniske barrierer i vannforsyningssystemet

En av disse skal sørge for at drikkevann blir desinfisert eller behandlet på annen måte for å fjerne, uskadelig-gjøre eller drepe smittestoffer”

→ Ikke nok å ha barrierene på plass: De skal også være effektive og stabile - til enhver tid !

Drikkevannsforskrift med Veileder

Krav til log-reduksjon - og til indikator for UV-barriere

Drikkevannsforskriftens barrierekrav

- Bakterier og virus ≥ 3 log fjerning/inaktivering (99,9%)
- Parasitter ≥ 2 log fjerning/inaktivering (99%)

Veilederens krav til barriere-indikator for UV-dose – tabell C

Vannbehandlingsanlegg med UV-bestråling

UV-stråledose	Milliwattsek (mWs) pr cm ²	> 30	En dose på >30 anses å være en hygienisk barriere ovenfor bakterier, virus og parasitter.
		> 40	Doseverdien refererer seg til en beregnet verdi, jf. eksisterende ordning i Norge. Dersom bakteriesporer også skal inaktiveres. Denne doseverdien refererer seg til målt verdi basert på dosimeter-test.

Desinfeksjonsbarrierene kan svikte

V.Lund, 2007 (VREG)

	Membran- filter	Kjemisk felling + klor eller UV	Klorering	UV bestråling
Gj.sn. for v.v.med tilfredsstillende bakt. kvalitet (# Pers.)	1 300	11 000	15 000	1 100
Gj.sn. for utilfreds- stillende v.v. (# Pers.)	300	400	300	600
Ant. tilfreds. vannverk	70	97	112	371
Ant.utilfreds. vannverk	4	4	15	47
% utilfreds. vannv.	5,4	4,0	11,8	11,2

Utilfredsstillende vannverk = Funn av *E. coli* i flere enn 5% av prøvene



Veiledning for UV-desinfeksjon
av drikkevann



PUBLIKATION

December 2009

Råd och riktlinjer
för UV-ljus vid vattenverk



**En norsk
veiledning for UV-
desinfeksjon av
drikkevann utkom
i 2008, og en
forkortet svensk
versjon i 2009**

www.norskvann.no
www.svensktvatten.se

Veiledning for UV-desinfeksjon

Hovedkapitler i rapporten

Forord, sammendrag (norsk og engelsk)

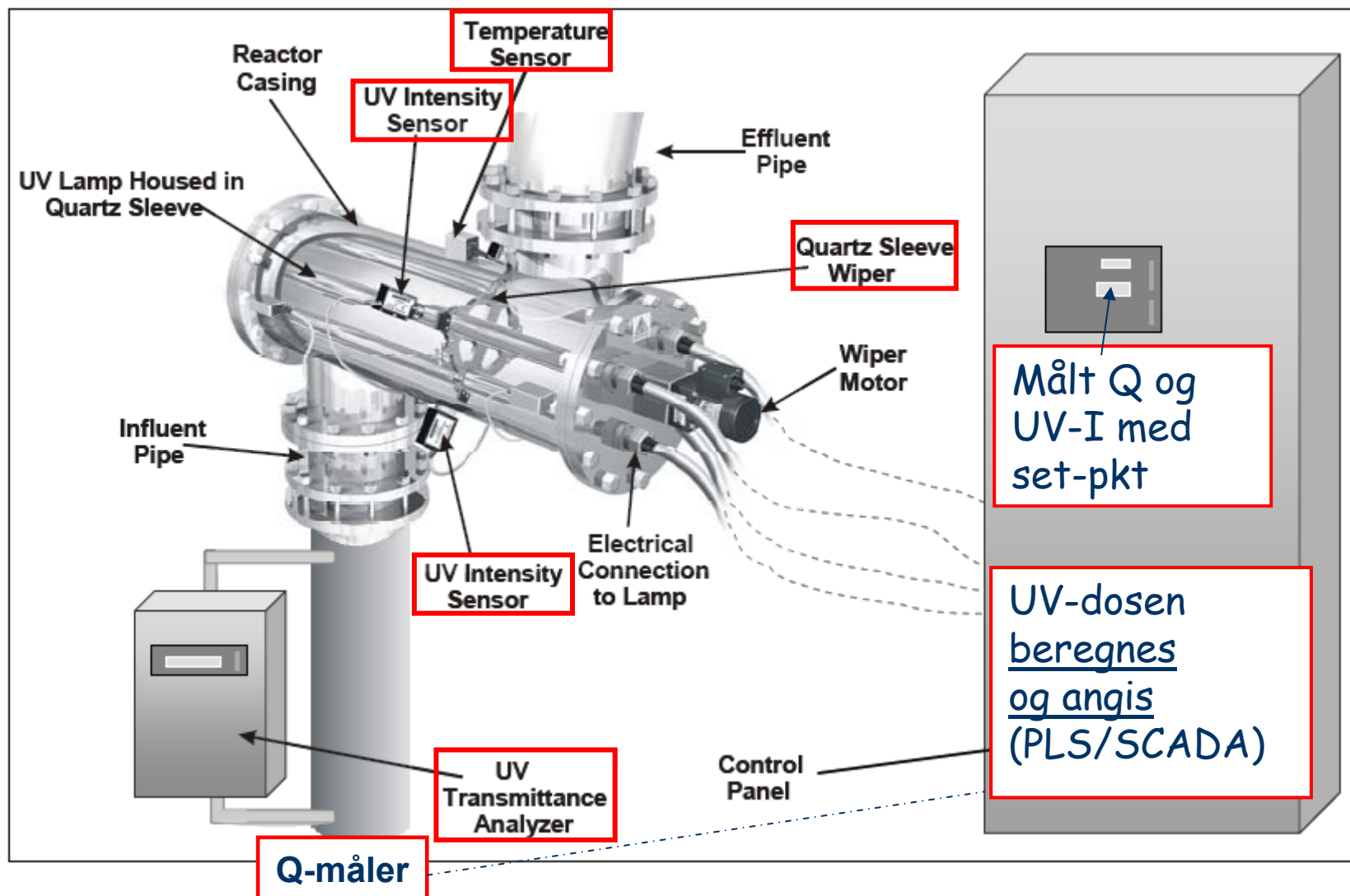
Ord og uttrykk

1. Bakgrunn og innledning
2. Kort om UV-desinfeksjon
3. Kort teoretisk innføring
4. Sentrale komponenter i UV-anlegg
5. Vannkvalitet og UV-desinfeksjon
6. UV-desinfeksjon og øvrig vannbehandling
7. Godkjenning og biodosimetrisk testing
8. Dimensjoneringsgrunnlag
9. Utforming og dimensjonering av UV-anlegg
10. Drift og vedlikehold av UV-anlegg
11. Erfaringer fra UV-anlegg i drift
12. UV-anlegg godkjent etter gammel ordning
13. Kontraktsmessige forhold
14. FoU, kompetanse og opplæring
15. Referanser

Vedlegg

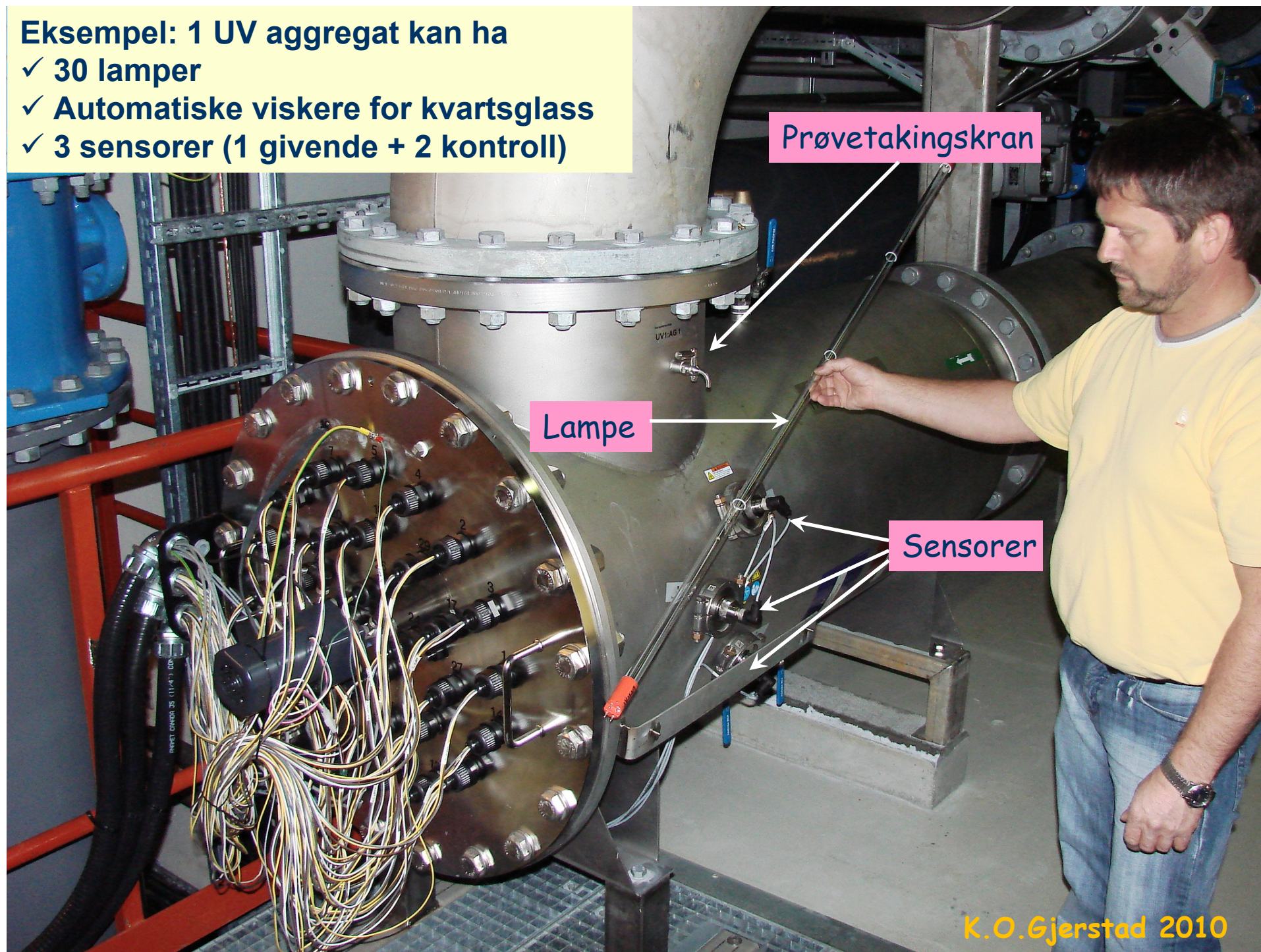
1. UV-transmisjon og UV-absorbans
2. Mer om biodosimetrisk validering og ulike standarder
3. Dose-respons for aktuelle mikroorganismer

Sentrale komponenter i UV-anlegg



Eksempel: 1 UV aggregat kan ha

- ✓ 30 lamper
- ✓ Automatiske viskere for kvartsglass
- ✓ 3 sensorer (1 givende + 2 kontroll)



Prøvetakingskran

Lampe

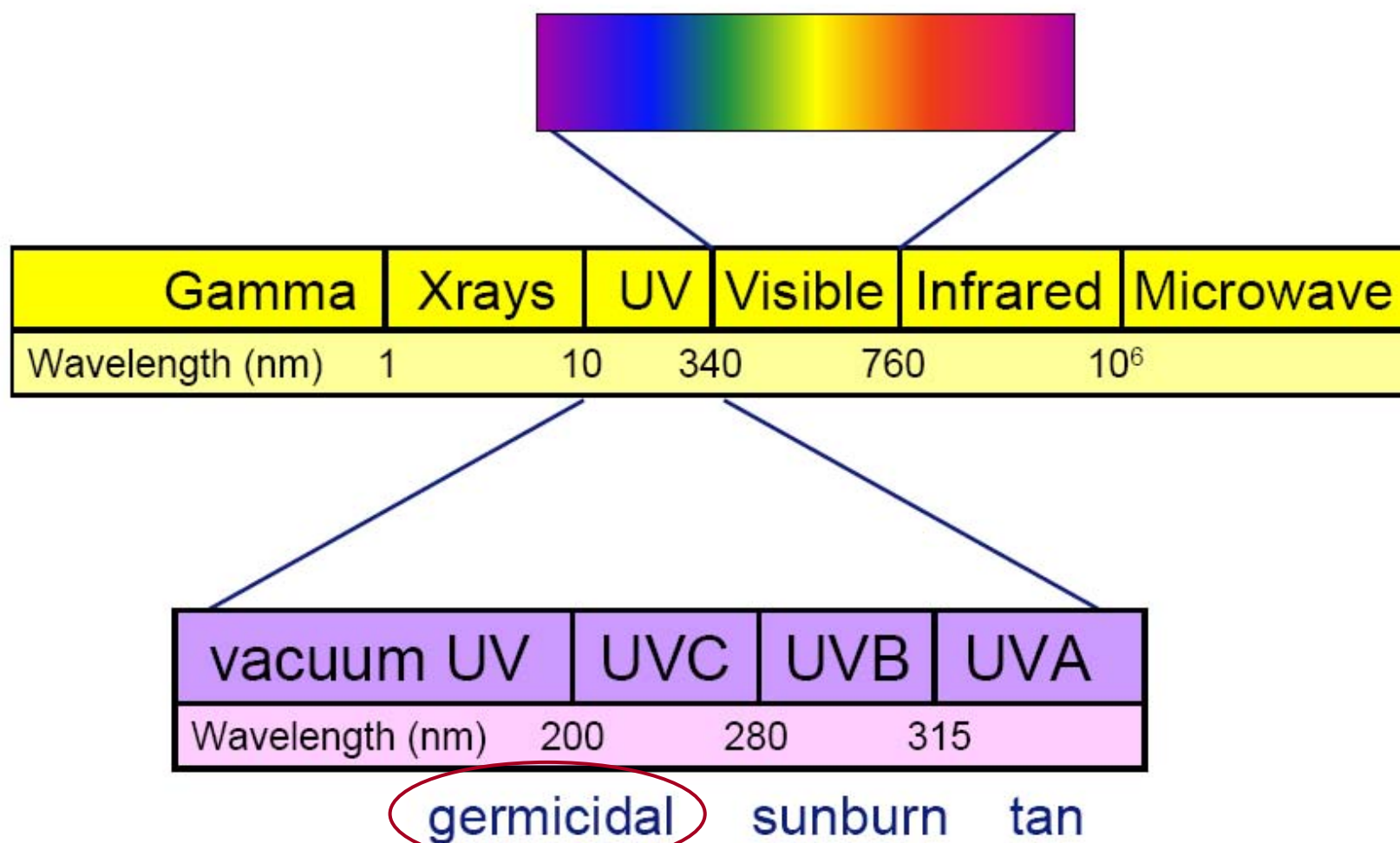
Sensorer

K.O.Gjerstad 2010

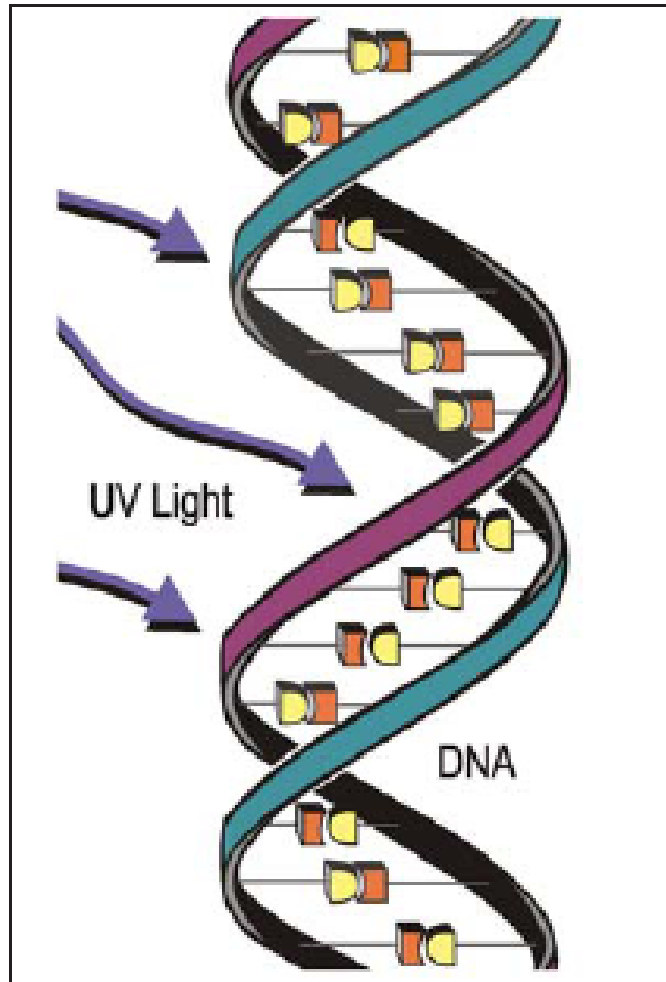


K.O.Gjerstad 2010

UV-stråler og det elektromagnetiske spektrum



Inaktiveringsmekanismer



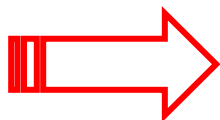
UV-lys angriper arve-
materialet (**DNA**) og hindrer
cellene i å **formere** seg

Skader kan repareres
av enzymesystemer i cellene
– men slik **fotoreaktivering**
trenger energi i form av lys

UV-intensitet, -transmisjon og -dose

Noen sentrale begreper:

1. UV-intensitet, UV-I (mW/cm^2) = f (lampe, UV-T, belegg)
2. UV-transmisjon, UV-T (%) = f (vannkvalitet, dvs NOM, Fe, ++)
3. Bestrålingstid, t (sek) = f (Q, UV-reaktorhydraulikk, reaktorvolum)



$$\text{UV-dose (mWs/cm}^2\text{; mJ/cm}^2\text{)} = \text{UV-I} \cdot t$$

$$\text{Dosefordeling} = \int \text{Oppholdstids-} \cdot \text{UV-lysintensitetsfordeling}$$

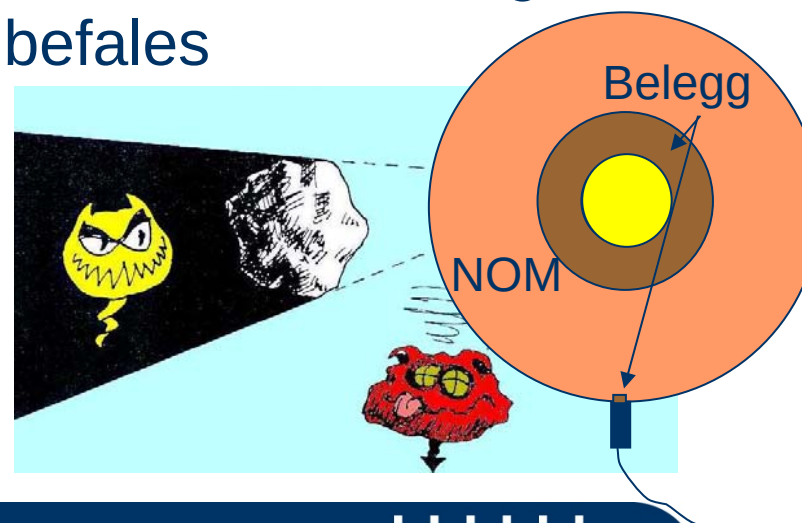
Gode grunnlagsdata/kartlegging av worst case er viktig

1. Max vannstrøm (Q_{DIM})
2. Minimumsverdi for UV-I (avgitt av lampe/målt i sensor)
3. Minimumsverdi for UV-T (vannkval)
4. Kvalitet på ekstern og intern strømforsyning

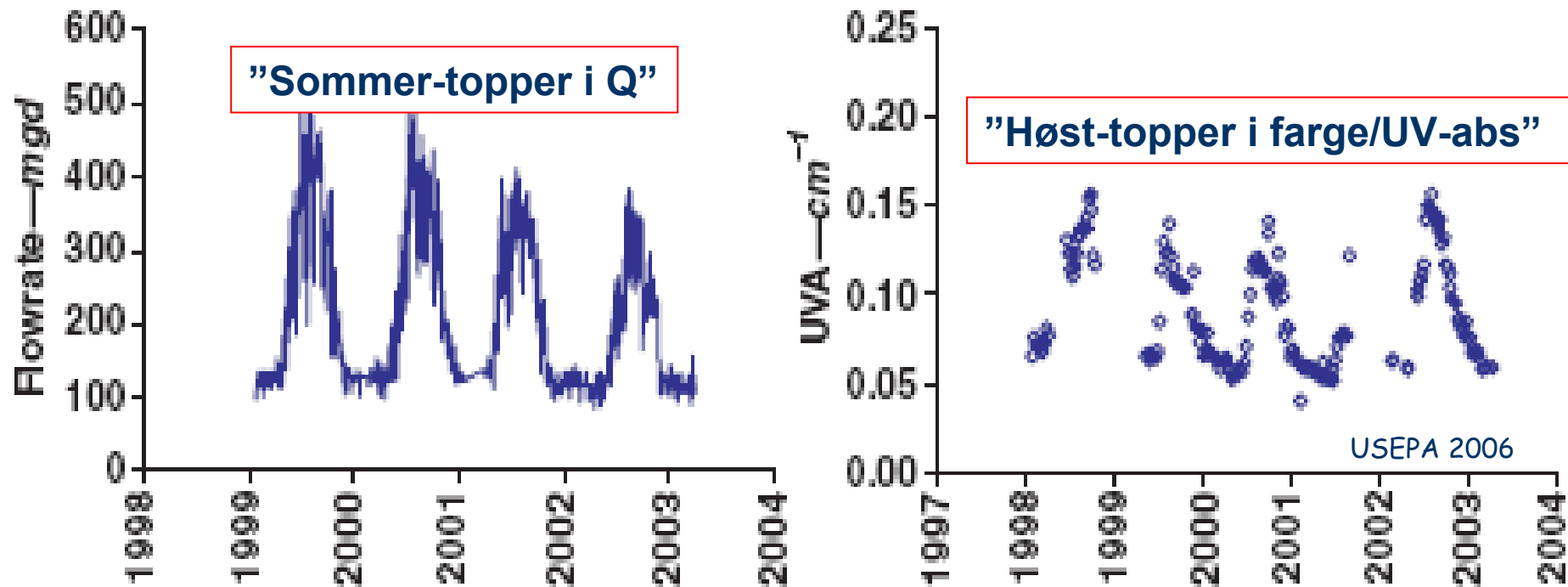
Vannkvalitet og UV-desinfeksjon

- ✓ Partikler: skygge-effekter og innbaking av mikroorganismer
- ✓ NOM: absorberer UV-lys og reduserer UV-transmisjonen
- ✓ Restmetall fra koagulering: kan redusere UV-T og danne belegg på lampe og sensor
- ✓ Jern+mangan: kan gi belegg som er vanskelig å fjerne (NB for grunnvann; og for Mn-holdig Fe-klorid?)
- ✓ Også sensoren trenger rengjøring – ikke bare kvartsglassene
- ✓ Månedlig kontroll av UV-sensor anbefales

- **Kartlegg vannkvalitet m/variasjoner !**
- **Optimal vannbehandling er viktig!**
- **Rengjøring/vask er viktig!**



Typiske variasjonsforløp av vannforbruk og vannkvalitet (farge/UV-abs)



Dim og drift av UV-anlegg må ta hensyn til variasjoner i vannforbruk (Q) og vannkvalitet (UV-T)

Drift og vedlikehold av UV-anlegg



Skifte av UV-lamper



**Rengjøring av
kvar glass og
sensorvindu**



**Kontroll av UV-I og
UV-T målere mot
referanse-instrument**

UV-anlegg godkjent etter gammel ordning trenger spesiell fokusering

- ✓ Gamle UV-anlegg er dimensjonert for en beregnet gjennomsnittsdose på 30 mJ/cm²
- ✓ Det har vist seg å være enkelte svakheter beheftet ved beregningsmetodene
- ✓ Fordi dosene er teoretisk beregnet finnes ingen empirisk sammenheng mellom intensitet og dose slik som for biodosimetriske anlegg
- ✓ Dosekravet kan kun oppfylles ved: 1) God kontroll av vannmengde og vannets UV-transmisjon, 2) Tilstrekkelig kontroll/utskifting av komponenter som påvirker lysintensiteten (lampe og kvartsrør), og 3) Etablering av nødvendige vaskerutiner

Driftsforstyrrelser som kan påvirke barriereeffekt og -stabilitet

Forhold utenfor selve UV-anlegget

- Forringelse av råvannskvalitet (sirkulasjon, flom, etc)
- Svikt i oppstrøms vannbehandling
- Svikt i strømforsyning (strømutfall, blink, spenningsfall, etc)
- Flom, oversvømmelser, m.v.

Forhold i selve UV-anlegget

- Komponentsvikt i UV-anlegg (ballaster, lamper, sensorer, etc)
- Svikt i styring/PLS
- Beleggdannelse
- Svikt i vaskesystemer/beleggek kontroll
- Svikt i driftskontroll og vedlikeholds rutiner
- Svikt i kalibrerings rutiner (f. eks. UV-sensor)
- Manglende reservedeler/reservedelslager

Det finnes utfordringer – også med UV

- ✓ Underdimensjonerte anlegg og mangelfull oppfølging fra leverandør
- ✓ Mangelfulle dimensjonerings-/grunnlagsdata
- ✓ Redusert levetid på UV-lamper pga lav temp (LP), mange start/stopp
- ✓ Kortslutninger/svikt pga flom/oversvømmelse
- ✓ Lekkasje i UV-sensorer med påfølgende signalfeil
- ✓ Manglende kontroll/tilsyn av anlegg generelt og UV-sensorer spesielt
- ✓ Beleggdannelse på kvartsglass og sensorvinduer
- ✓ Manglende vannmålere og hydraulisk skjevfordeling mellom linjer
- ✓ Feil i elektrisk kabling og smeltende anslutninger
- ✓ Stans av anlegget pga dårlig strømkvalitet: strømblink/spenningsfall
- ✓ Manglende/underdimensjonert nødstrømforsyning/UPS
- ✓ Feilleveranser av UV-lamper og manglende reservedeler
- ✓ Dårlig rengjøring og svikt i mekaniske viskersystemer
- ✓ Lampebrekkasje pga trykkstøt/undertrykk
- ✓ Svikt i forutgående vannbehandling med stopp i UV
- ✓ For lav kompetanse i flere ledd (leverandør-rådgiver-bruker)

UV-OPPFØLGINGSSEMINAR I 2010: ERFARINGER MED BRUK AV UV I NORSK DRIKKEVANNSFORSYNING



**Resultater fra en
spørreundersøkelse
foretatt i 2010**

Erfaringsseminar UV

Erfaringer med bruk av UV i drikkevannsforsyningen

Torsdag 30. september 2010
Radisson Blu Airport Hotel, Gardermoen

SEMINARETS 4 HOVEDMÅL

1. Bidra til at deltagerne skal lære av egne og andres erfaringer om hvordan man kan unngå driftsproblemer med UV-anlegg
2. Formidle praktiske løsninger og gode tips
3. Identifisere problemstillinger det er viktig å arbeide mer med framover
4. Skape en arena/nettverk for innhenting, formidling og deling av erfaringsdata fra UV-anlegg

De vet best hvor skoen trykker som har den på

→ Et viktig poeng at brukerne selv
formidler sine erfaringer – på godt og vondt

Dokumentasjon fra UV-erfaringsseminaret : www.norskvann.no

SPØRRESKJEMAETS 12 HOVEDTEMA

1. **Vannkvalitet og variasjoner**
2. Rentvannskvalitet, forbehandling og driftssikkerhet
3. Dimensjonering og plassering
4. **Spesielt om mellomtrykks (MP) anlegg**
5. Styring og regulering
6. Vannkvalitet, belegg og rengjøring
7. **Strømforsyning og driftsstabilitet**
8. **Oppfølging og service fra leverandør**
9. **Spesielt om gamle anlegg uten biodosimetrisk godkjenning**
10. **Totaløkonomi, strømforbruk, m.m**
11. De viktigste driftsutfordringer
12. Andre forhold – og ting man ville gjort annerledes

Blå farge: 5 tema som er prioritert for nærmere omtale på dette seminaret
Rød farge: Tema som er aktuelle for neste seminar....

Svar fra 29 vannverk i 19 kommuner

1. Alstahaug
2. Arendal
3. ABV
4. Aurskog-Høland
5. Bergen (5)
10. Glitre (3)
13. Halsabygda
14. HIAS (2)
16. IVAR
17. Molde

18. MOVAR
19. Nordre Land (2)
21. Porsgrunn
22. Skien
23. Tromsø (2)
25. VAV-Oslo (2)
27. VIV
28. Vågå
29. Øvre Eiker

UV under installasjon/ikke svart:

Drangedal, Gjerstad, Larvik, Ullensaker, Univann, Vennesla, Ålesund

NØKKELTALL

MIN-MAX (AVG±STDEV)

- ✓ Svar fra 29 UV-anlegg i 19 kommuner
- ✓ Kapasitet: 1.3-4700 L/s (689±998 L/s)
- ✓ Vannleveranse (2009): 0.01-96 mill m³ (10±19)
- ✓ 132-877000 pe, basert på 300L/pe/d (91000±173000)
- ✓ Midlere UV-T-50: 28-97 % (62±20)
- ✓ Minimum UV-T-50: 24-95 % (51±19)
- ✓ Max UV-T-50: 30-98 % (70±20)
- ✓ Antall UV-aggregater: 2-12 (4±3)
- ✓ Kapasitet pr. aggregat: 2-780 L/s (197±181)
- ✓ Byggeår: 1996-2010 (2006±4)
- ✓ Produsenter: Wedeco (12), Trojan (8), Berson (6), Andre (3)

De viktigste driftsutfordringer (1)

Slik de ble rapportert...

1. Påkrevet med fast driftspersonell
 - ✓ Alt må kunnes og rutiner må være innarbeidet
2. Vedlikehold og erstatning av styringskort, ballastkort, lamper, sensorholdere
3. Å holde jevn UV-dose ved varierende Q, spesielt ved hurtige forbruksvariasjoner (har ingen bufferbassenger)
4. Å passe på at det er vasket og klart til drift ved automatisk skifte mellom aggregatene
5. Drift ved dårlig vannkvalitet
6. a) Bygge et bra system for sensorkontroll med dokumentasjon (24 sensorer), b) Hindre lekkasje fra sensorhylser, noe som medfører dårlige sensorer. Bytte av dårlige hylser til nye typer, c) Optimal drift ifht strømforbruk, vannproduksjon og UV-I, og d) Øke stabiliteten på viskersystemet

De viktigste driftsutfordringer (2)

Slik de ble rapportert...

7. Sensor- (lekkasjer) og viskerproblematikk (div. feil)
8. Rengjøring/Holde kvartsglassene rene/fri for belegg
9. Målenøyaktighet/stabilitet på UV-T og UV-I målere
 - ✓ Usikker UV-T måling, til tross for at denne er svært viktig i doseberegningen
 - ✓ Å holde UV-T måler innenfor ± 2 % av rett verdi
10. Tilstrekkelig testing er alfa & omega! En stor fordel å kunne programmere selv, og derved unngå problemer med sviktende oversikt med mer når leverandøren skal programmere UV-PLS og "andre" H-PLS. Feil oppstår gjerne når UV-reaktorer ofte må kobles inn og ut
11. Drift i perioder med fullsirkulasjon i vannkilden
12. Ser ut til at Q-variasjoner gir den største utfordringen
13. Holdbarheten på lampene er for dårlig

De viktigste driftsutfordringer (3)

Slik de ble rapportert...

14. Å etablere gode driftsrutiner og dernest å følge disse. Å sørge for tilstrekkelig vasking. Å etablere kritiske kontrollpunkter som en har kontinuerlig fokus på
15. Dårlig kvalitet på kontakttilkoblingen til UV-rør
16. Ikke-standardisert UV-sonde gir komplikasjoner ved skifte
17. Bevisst vurdering/valg av råvannskilde mht råvannskvalitet
18. Viktig å velge riktig forbehandling (FB) – og drifte FB godt !
19. Hyppig fjerning av fukt fra sensorhus (et vesentlig problem)
20. UV-anlegget er ikke bruksvennlig når det gjelder lampeskiift - krever demontering av viskermotor
21. Opprettholdelse av kapasitet
22. Ved plutselig forringelse av råvannskvaliteten
23. Gode rutiner !

OPPSUMMERENDE HOVEDINTRYKK

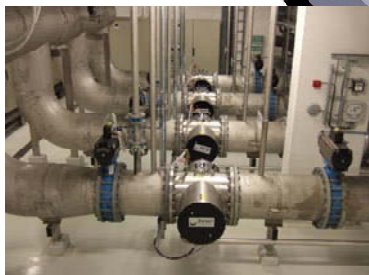
- Svar fra 29 anlegg, i sum: 75 UV-aggregater, ca. 1.26 mill. mennesker forsynt (300 L/p/d), strømforbruk ca 5.0 mill. kWh/år, tilsvarende 0.04 ± 0.02 kWh pr. m³ vann produsert. 23 av 29 anlegg har LP-lamper
- De aller fleste anlegg fungerer bra, med lite nedetid/høy driftssikkerhet
- Ingen helt fundamentale feil eller åpenbare inntrykk av at anlegg er fullstendig feildimensjonerte. 7 av 29 er godt/svært godt fornøyd, mens 2 er lite/ikke fornøyd med UV-anlegget
- Med hensyn til hvordan anleggene og UV-dosen styres, så er mye uklart: "Jeg trodde jeg visste..."
- Spesielle utfordringer er knyttet til: a) produksjon direkte på nett, og b) perioder med varierende vannkvalitet
- Noen vannverk kjører tidvis med UV-dose $< 40 \text{ mJ/cm}^2$ - uten å stenge ned. Ok med UV $> 10 \text{ mJ/cm}^2$ (for parasitter) og med klor i tillegg?
- Anlegg med adekvat og godt drevet forbehandling har en stabil vannkvalitet uten negative effekter av "høstregn" og sirkulasjonsperioder, og synes også forberedt på mulige klimaeffekter (økt NOM/reduert UV-T, alger)
- 11 av 29 anlegg har serviceavtale med leverandøren. Flere vannverk legger opp til økt grad av service i egen regi – og noen tester uoriginale lamper....

STORT SETT GODE UV-ERFARINGER, MEN OGSÅ EN NAGENDE MAGEFØLELSE...

- 1. Mange av svarene synes avgitt med betydelig synsing uten dokumentasjon, og når vi kommer tilbake med oppfølgende detaljspørsmål, får vi mer nøling enn i første runde !**
- 2. På flere punkter synes det for tidlig i trekke bastante konklusjoner → Alle parter trenger økt kompetanse og mer erfaring !**
- 3. Hver gang vi drøfter sentrale tema, dukker nye problemstillinger opp !**

→ UV-prosjektet fortsetter !

UV-desinfeksjon er IKKE enkelt



***Bruk nok tid til å
forstå anlegget
inngående !***

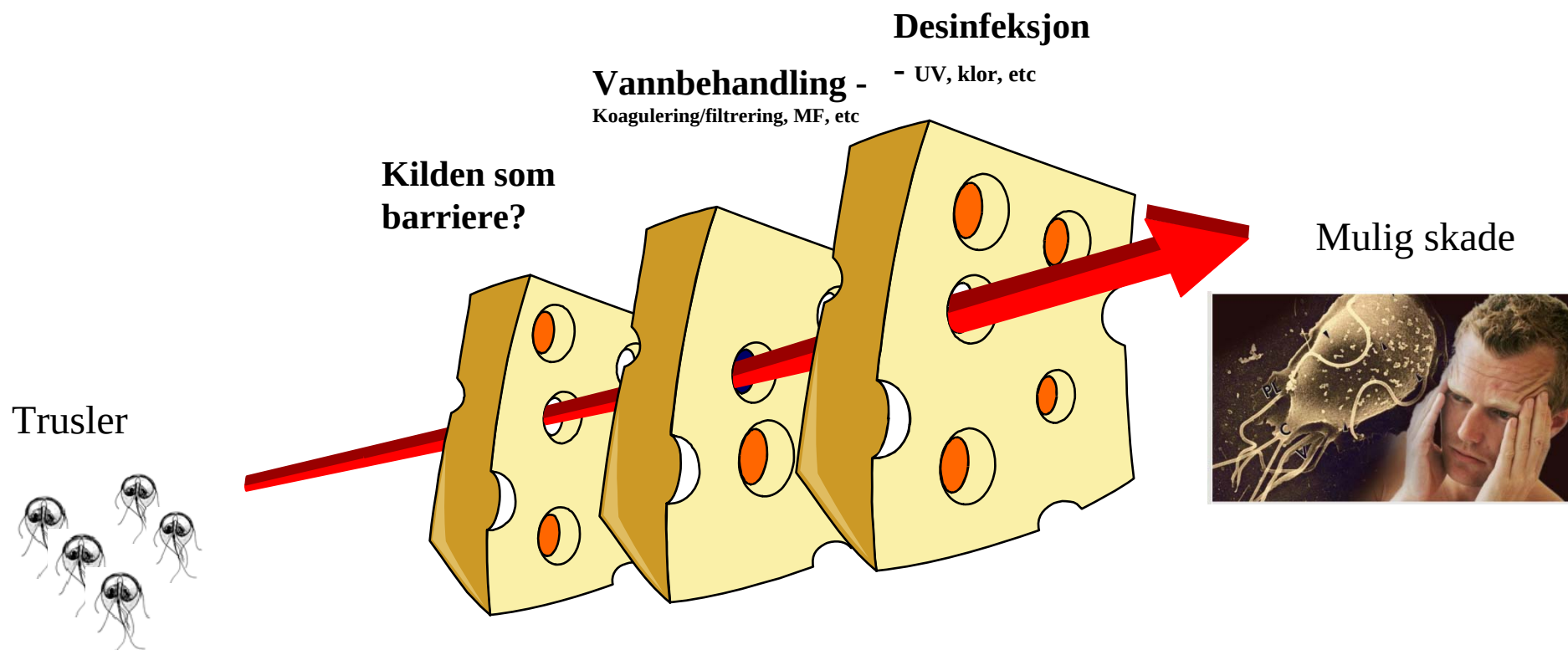
For øvrig: Ha en strålende aften.....

EKSTRA

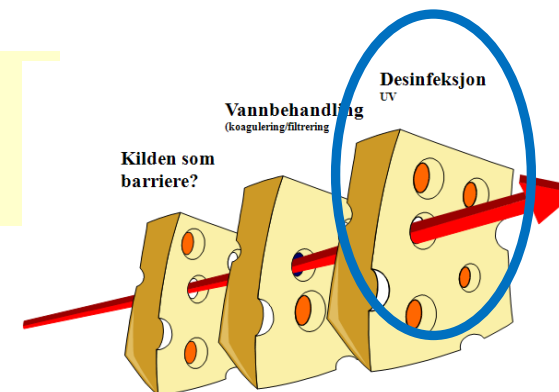
Varighetskurver som verktøy for å
vurdere barriereeffektivitet og -stabilitet

Hygieniske barrierer i vannforsyning

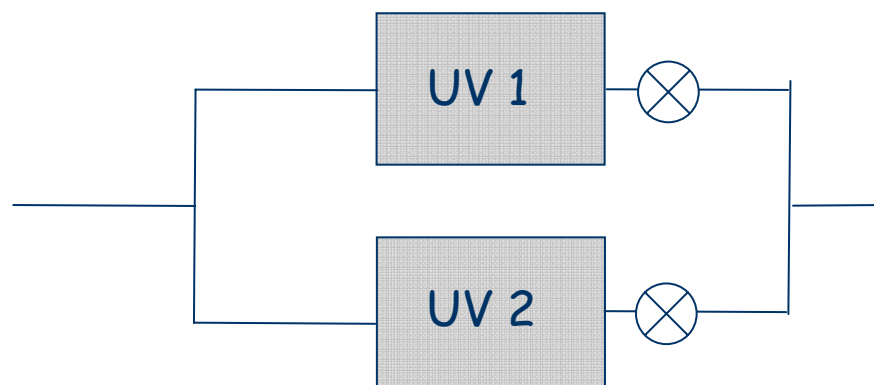
Hvor effektive og stabile er de – og bør de være?



Hvor god er UV-barrieren?



"Er det hull i UV-osten?"



Varighetskurve for UV-dose

For dokumentasjon av dosenivå og stabilitet

