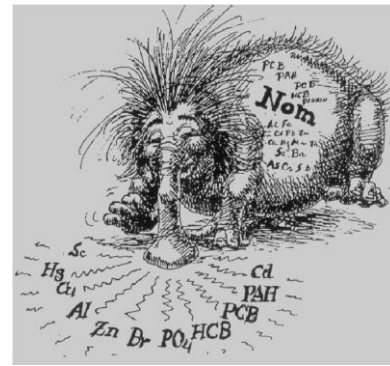


HVORDAN KAN VANNVERKENE TILPASSE SEG KLIMADREVNE ENDRINGER I RÅVANNSKVALITET?

FAGTREFF I NORSK VANNFORENING: KLIMAENDRINGENES BETYDNING FOR RÅVANNSKVALITET OG VANNBEHANDLINGSBEHOV I VÅRE VANNKILDER?

13. JUNI 2022

Drikkevannskonsult – B. Eikebrokk

[bjorneik@online.no](mailto:bjerneik@online.no); +4793058590



IPCC: Projected Impacts and Risks: Municipal Water/Water Services

http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-Chap3_FGDall.pdf

- ✓ Higher ambient **temperatures**, which **reduce snow** and ice volumes and increase the evaporation rate from lakes, reservoirs and aquifers
- ✓ Higher water temperatures, which encourage **algal blooms** and increase risks from **cyanotoxins** and **natural organic matter** in water sources, requiring **additional or new treatment of drinking water**. On the positive side, biological water and wastewater treatment is more efficient when the water is warmer
- ✓ Possibly **drier conditions**, which **increase pollutant concentrations**. This is a concern especially for groundwater sources that are already of low quality, even when pollution is natural (As, Fe, Mn, F)
- ✓ Increased **storm runoff**, which increases loads of **pathogens**, **nutrients** and **suspended sediment**.
- ✓ Sea-level rise, which increases the salinity of coastal aquifers
- ✓ **Many drinking water treatment plants – especially small ones – are not designed to handle the more extreme influent variations that are to be expected under climate change**

IPCC: Observerte endringer i vannkvalitet

• http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-Chap3_FGDall.pdf

- ✓ For lakes and reservoirs, the most frequently reported change is more intense **eutrophication and algal blooms** at higher temperatures, or shorter hydraulic retention times and **higher nutrient loads** resulting from increased storm runoff . Greater runoff results in greater loads of **salts, faecal coliforms, pathogens and heavy metals**
- ✓ In some cases there are associated impacts on health. For instance, hospital admissions for gastrointestinal illness in elderly people increased by 10 % when **turbidity increased** in the raw water of a drinking water plant even when treated using conventional procedures
- ✓ For rivers, all reported impacts on water quality were negative. Greater runoff, instead of diluting pollution, swept **more pollutants from the soil** into watercourses
- ✓ **Increased organic matter content** impaired the quality of conventionally treated drinking water

MEN: CC-fokus i EUs FoU: Water Scarcity & Storm water management – ikke vannkvalitet

Vannforsyning og klimatilpasning

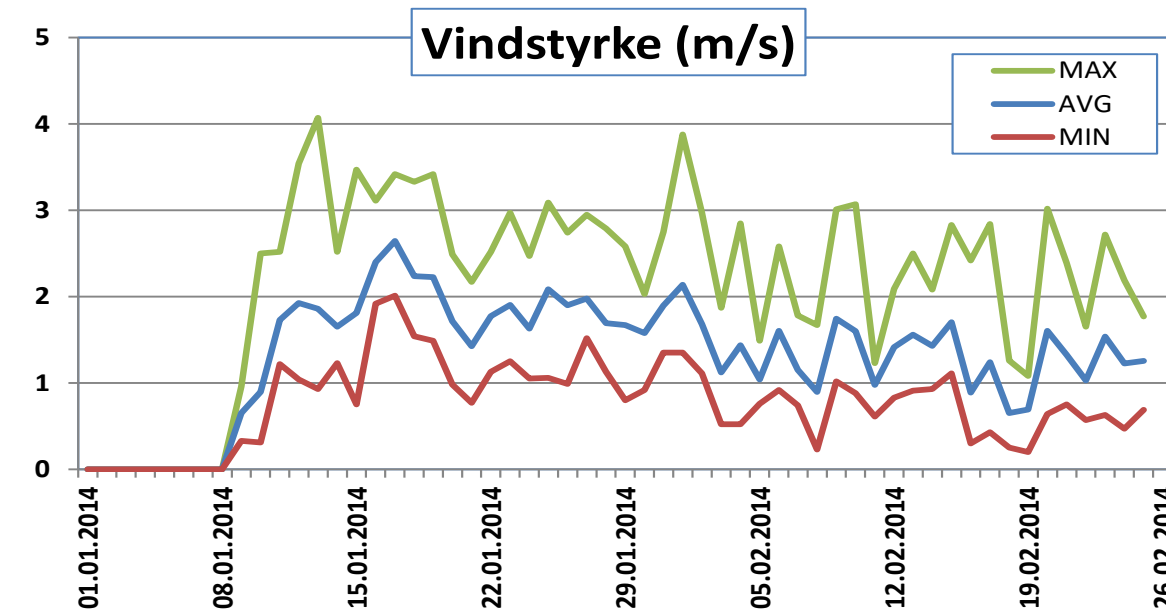
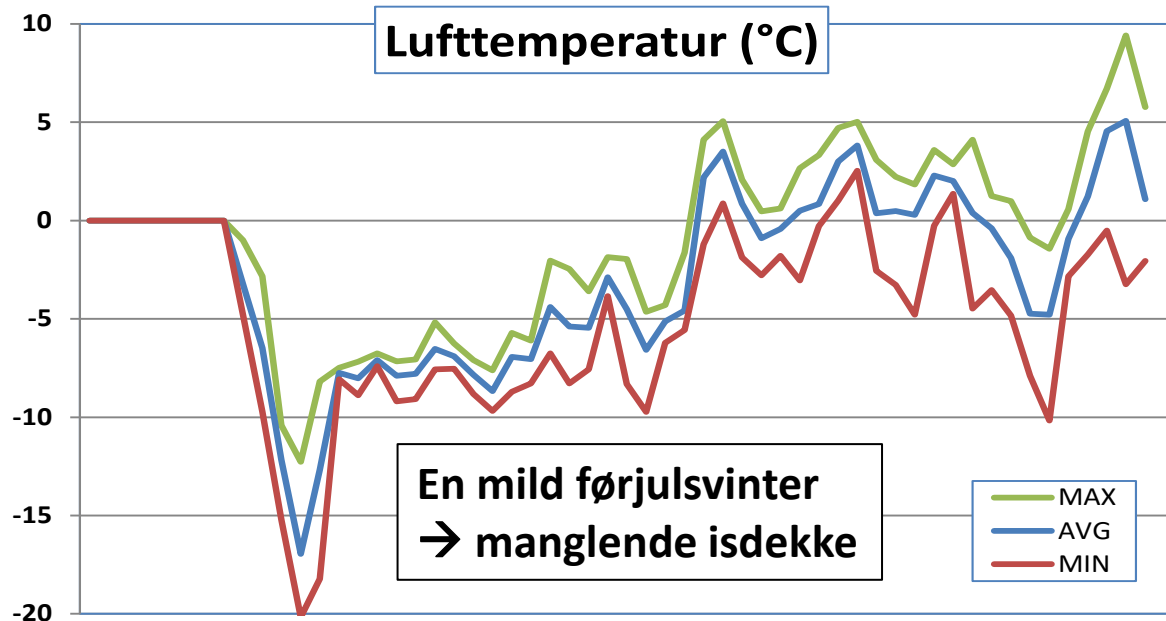
(Meld. St. 33 Klimatilpasning i Norge, 2012-2013)

- ✓ Kommunenes **beredskapsplaner kan utvides** til å omfatte forstyrrelser i drikkevannsforsyningen som skyldes ekstremvær eller andre virkninger av klimaendringer
- ✓ Kommunen kan også sørge for bedret beredskap i vannforsyningen for å hindre eller begrense akutte endringer i vannkvalitet: Flomsikring av tekniske anlegg og **styrking av eksisterende barrierer**, for eksempel ved å øke UV-kapasiteten
- ✓ Vannverkseier kan foreta en vurdering av hvilke virkninger ekstremvær som kraftig nedbør og flom vil ha, og identifisere muligheter for å redusere forurensing av vannkildene eller **bedre vannbehandlingen**

Meldingen sier imidlertid lite om **HVORDAN** man kan **styrke barrierene** og **bedre vannbehandlingen** for å møte klimatrusslene.....

Et eksempel fra Jonsvatnet Trondheims hovedvannkilde

**Vinteren 2014: Et ekstremt værphenomen –
eller en ny og uforutsett effekt av klimaendringer?**

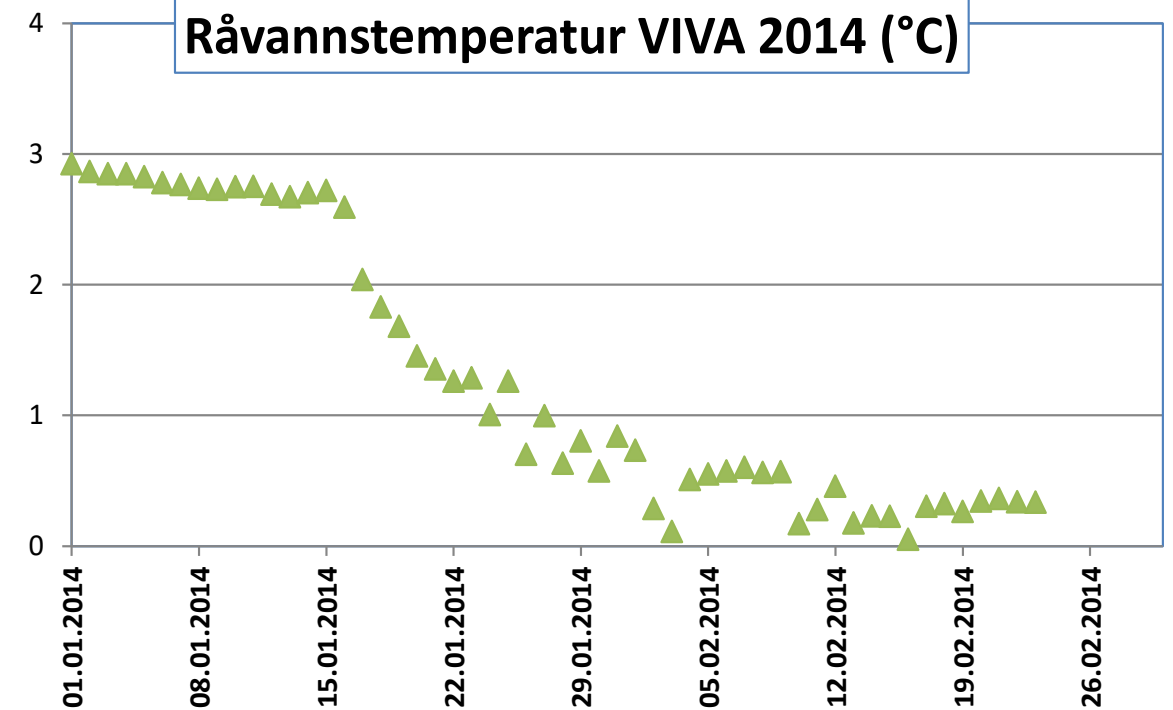


Jonsvatnet – Vinteren 2014

Lufttemperatur og Vindstyrke, Sagelva

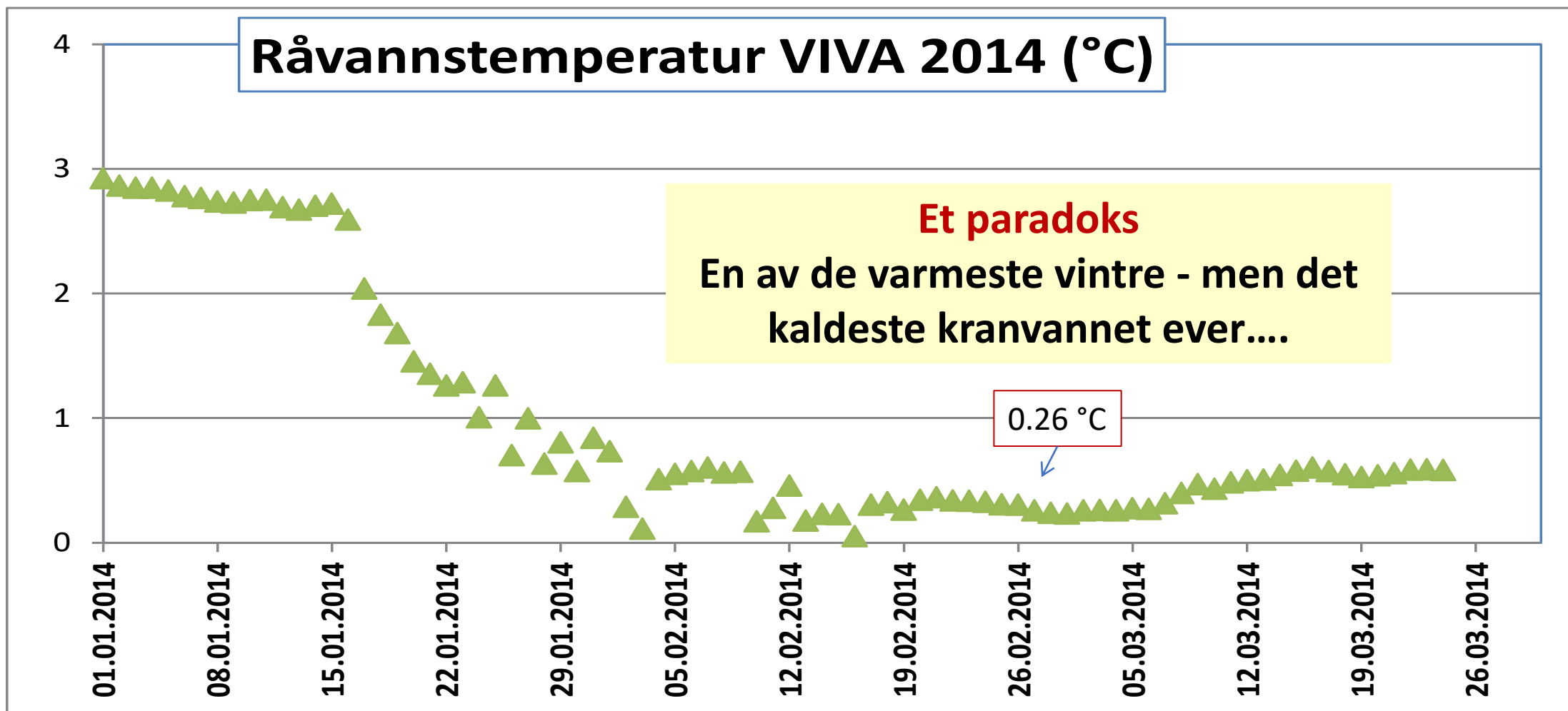
8. jan-24. feb 2014 (Killingtveit/Alfredsen, 2014)

Vanntemperatur fra 50 m dyp (Tronhus/Kierulf, 2014)



Jonsvatnet – Råvannsinntak på 50 m dybde

Vanntemperaturer målt ved VIVA vinteren 2014 (Tronhus, 2014)



Effekter av lave vanntemperaturer

- ✓ Fare for is/sarrdannelse i installasjoner/vannbehandlingsanlegg
- ✓ Økte **Ct**-krav for samme log-red ved klorering og ozonering → for samme **t** kreves 25-50 % høyere dose **C** ved 0.5 °C enn ved 4 °C
- ✓ Økt ozondose og redusert biologisk omsetningshastighet i desinfeksjon og vannbehandling med OBF → økt biologisk vekstpotensial i rentvann og nettvann
- ✓ Påvirker drift og kostnader for UV-desinfeksjonsanlegg → UV-lamper tenner ikke; redusert levetid på lamper når temp < 5 °C; økt beleggdannelse på kvartsglass?
- ✓ Lavere sedimenteringshastighet og økte filtertrykketap i VBA
- ✓ Minimumstemp: Et viktig kriterium ved valg/oppgradering av vannbehandlingsmetode?

Klimaendringer og NOM

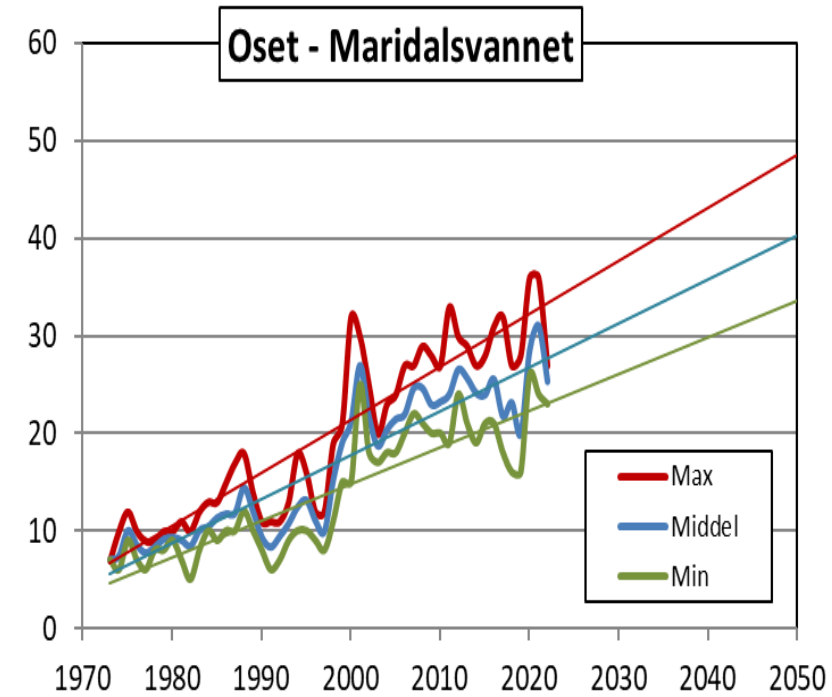
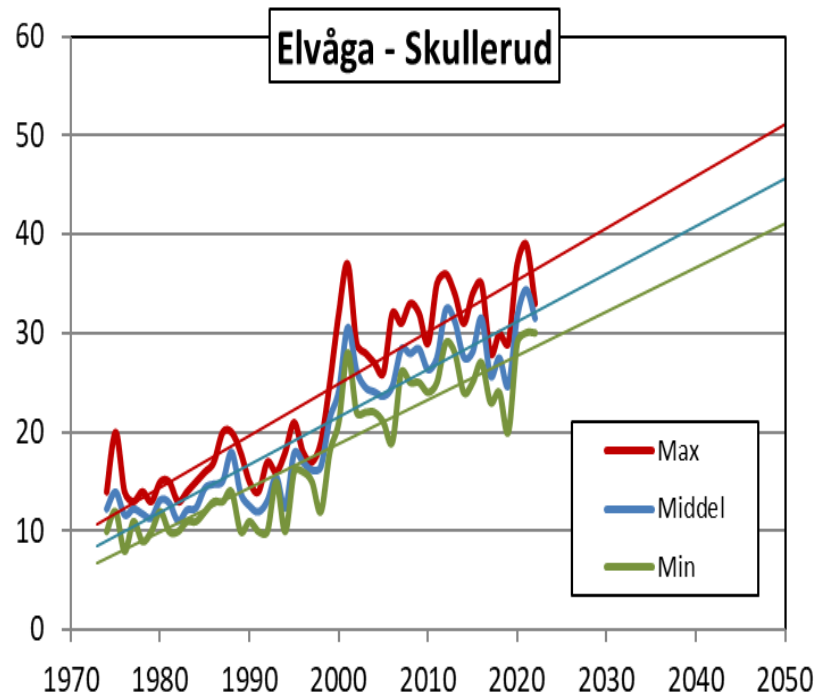
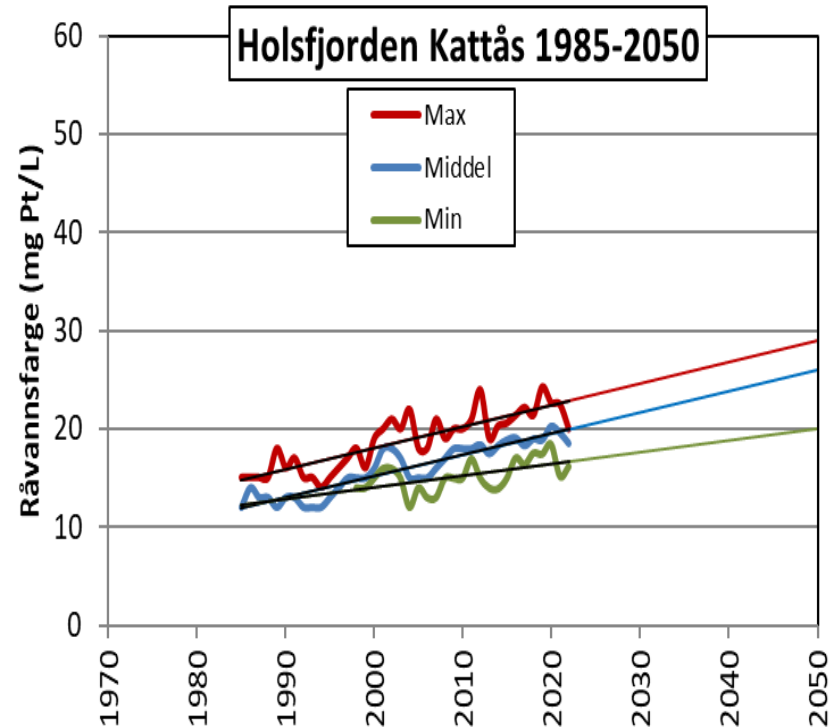


P. Ericsson, 2011

Fargetallet øker i råvannskildene

Oppdatert primo juni 2022

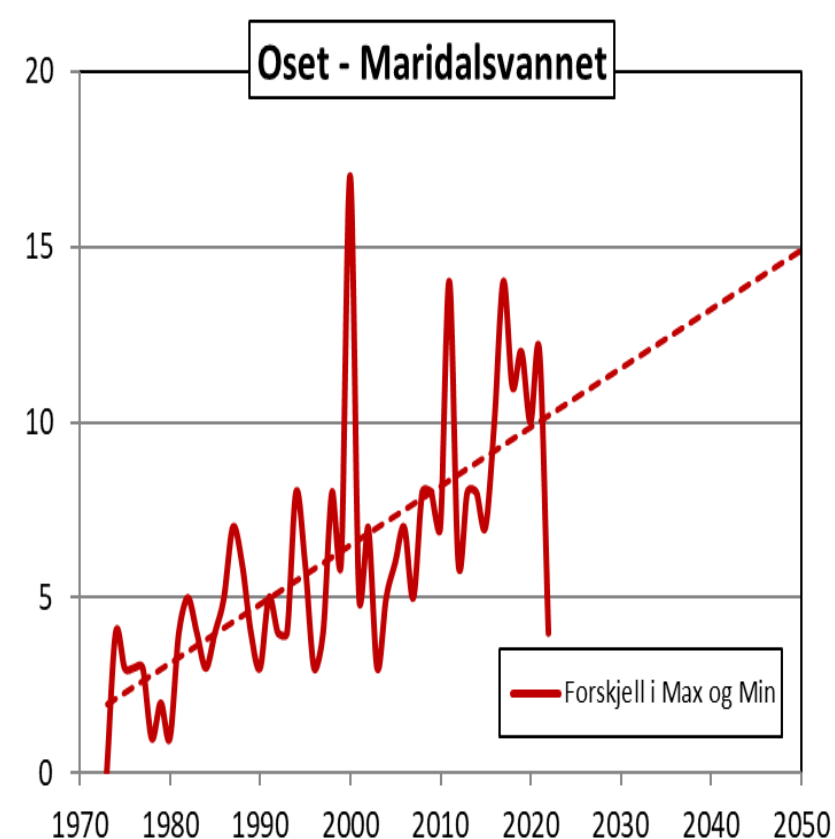
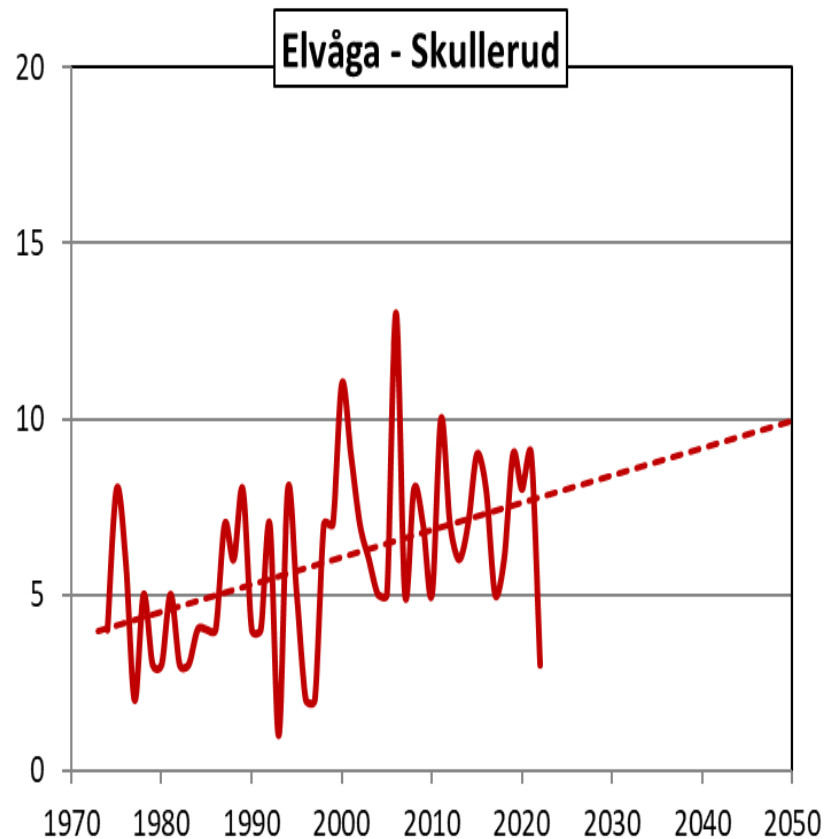
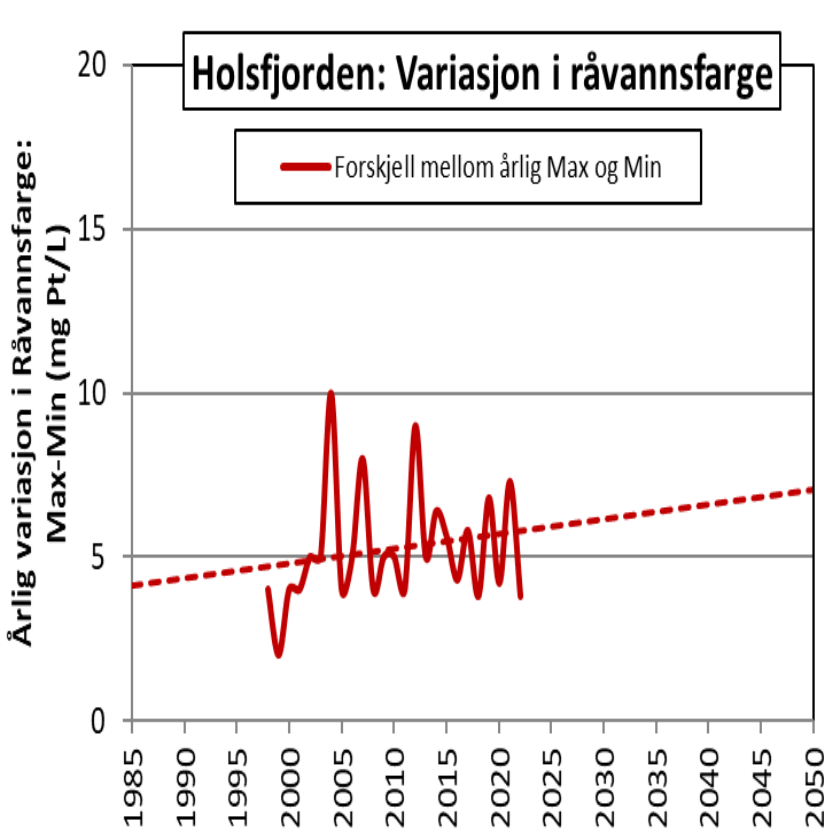
Data fra ABV og VAV



Årstidsvariasjonene i Råvannsfarge øker også

Oppdatert primo juni 2022

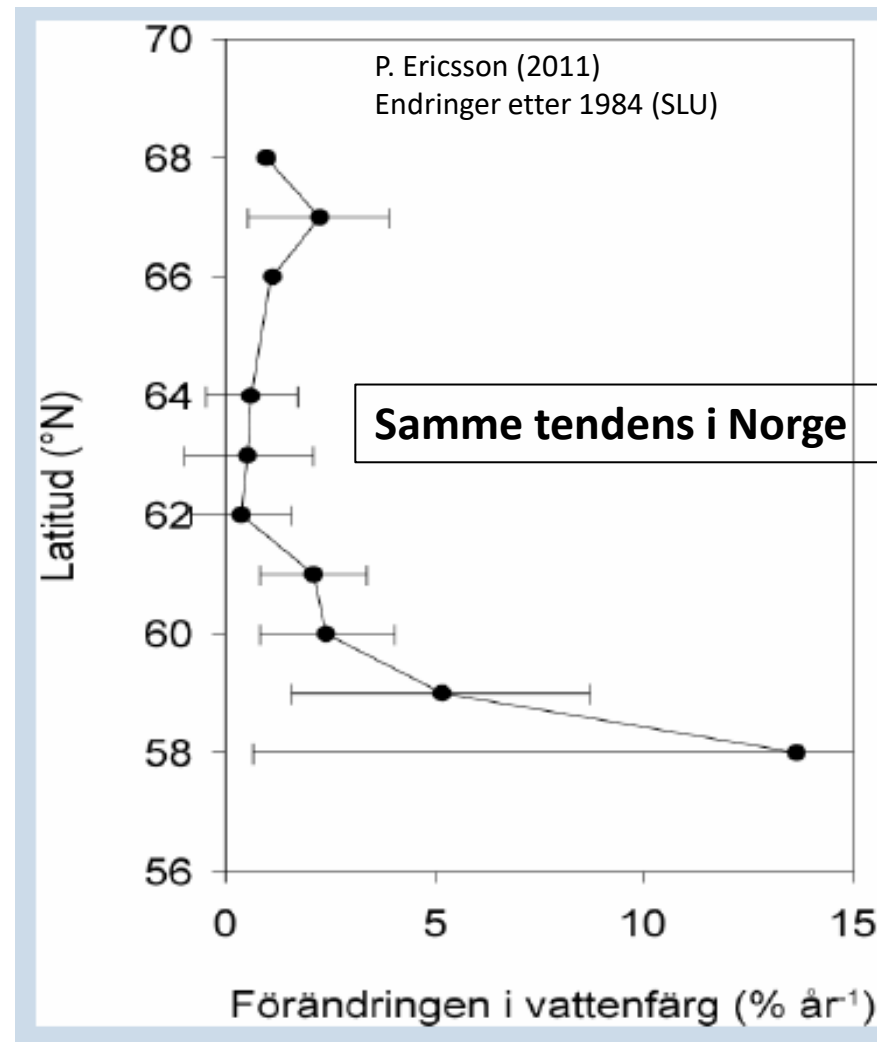
Data fra ABV og VAV



→ Driftsmessige utfordringer

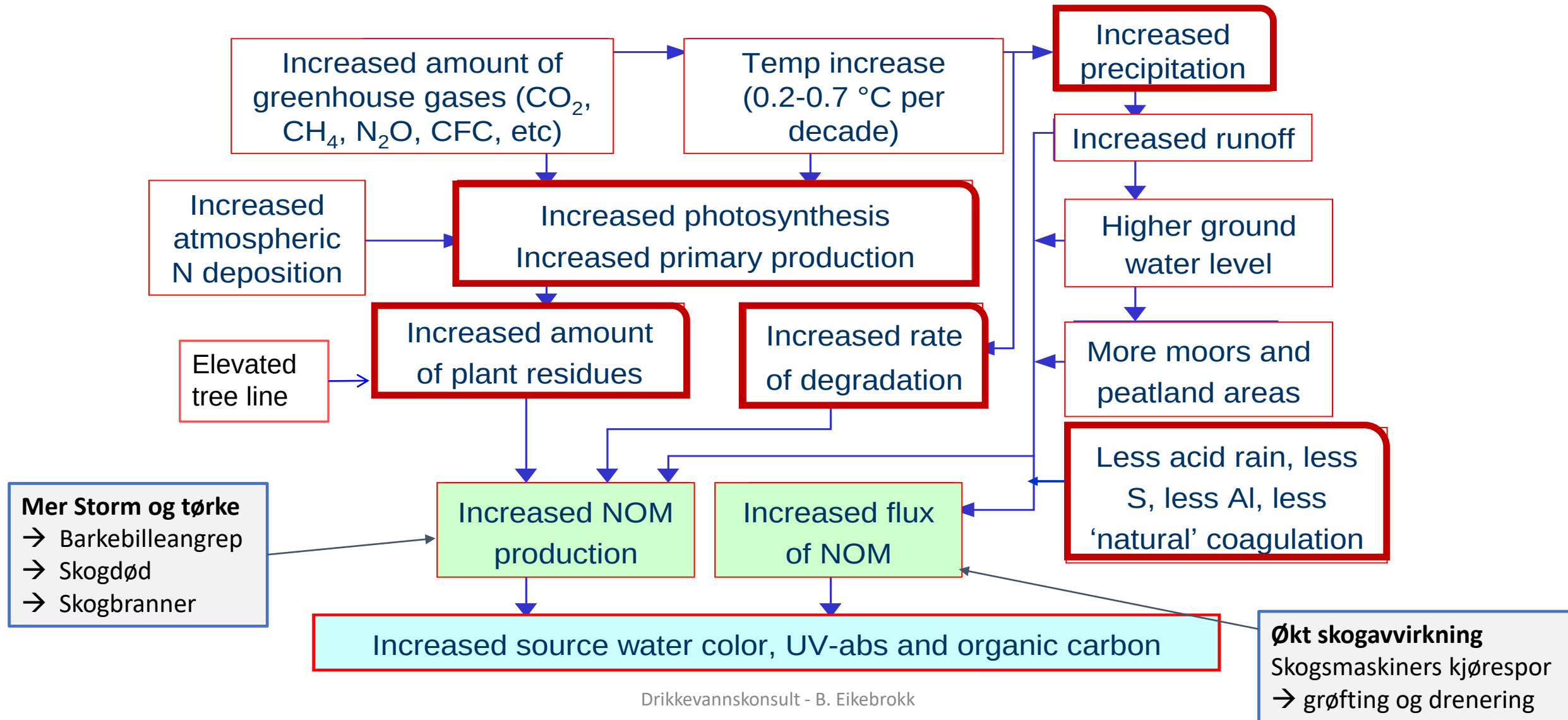
Sverige: Fargetallsøkningen er størst i sør

Endringer etter 1984 (SLU)



Aktuelle Drivere for økende NOM

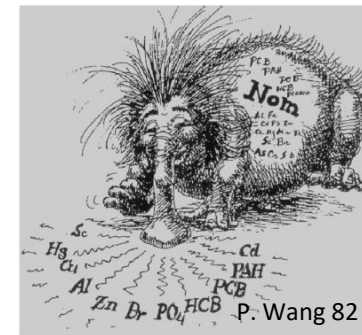
Modifisert etter Forsberg 1992; Liltved 2002





Hvorfor er vi så opptatt av NOM?

10 gode grunner



1. NOM gir farge, lukt og smak på vannet
2. Øker dosebehovet for koagulant og desinfeksjonsmiddel (klor, O₃, UV)
3. Påvirker desinfeksjonseffektivitet og barrierer - og danner DBP
4. Påvirker fjerningen av uorganiske partikler og mikroorganismer
5. Øker mobilitet og tilgjengelighet/inntak av mikroforurensninger
6. Danner biofilm/belegg (fouling) på membraner og i ledninger – også innomhus
7. Blokkerer porer i AC-filtre og utkonkurrerer lukt/smak/mikroforurensninger
8. Øker mengden slam/avfall
9. Påvirker både vannbehandlings- og distribusjonssystemer
10. Økende innhold og større sesongmessige variasjoner i NOM-mengde og sammensetning gir utfordringer for drift av vannbehandlingsanlegg, for driftskontrollsystemer, og for prosessvalg og dimensjonering

Globale Utfordringer – Lokale løsninger

- ✓ *"The influence of **NOM and the potential changes in its character** due to impacts from climate change and ozone depletion cannot be ignored"* (Environmentalist, Springer Sci., DOT 10.1007/s10669-007-9123-7, 2007, Australia)
- ✓ *"Better monitoring needed - Higher likelihood of microorganisms in drinking waters, cannot wait for outbreaks to occur. **Early detection tools** in real time is needed"* (Jour. AWWA Sep 2003, USA)
- ✓ *"Betydningen av drikkevann som årsak til næringsmiddelbårne **infeksjoner** er sannsynligvis større i Norge enn i andre industriland, blant annet på grunn av utbredt bruk av overflatevann". "I fremtiden kan det forventes en **redusert råvannskvalitet i drikkevannskilder og hyppigere hendelser på fordelingsnettet**" (Meld. St. 33 Klimatilpasning i Norge, 2012-2013)*

→ Vannverkene må kjenne sitt råvann og sine anlegg – og de må være beredt !



Vannbehandlingsmetoder og aktuelle klimatilpasninger

Viktige Vannbehandlingsmetoder i Norge

Typiske effekter av NOM

NOM-->

Farge,
UV-abs
UV-T
DOC



påvirker

Vannbehandling, Desinfek-
sjon og Distribusjon, inkl.
korrosjon, biologisk vekst,
biofilm, utfellinger og
beleggdannelse, adsorpsjon
til belegg



Koagulering - Filtrering
Ca 120 anlegg



Ozonering - Biofiltrering
Ca 35 anlegg

Drikkevannskonsult - B. Eikebrokk



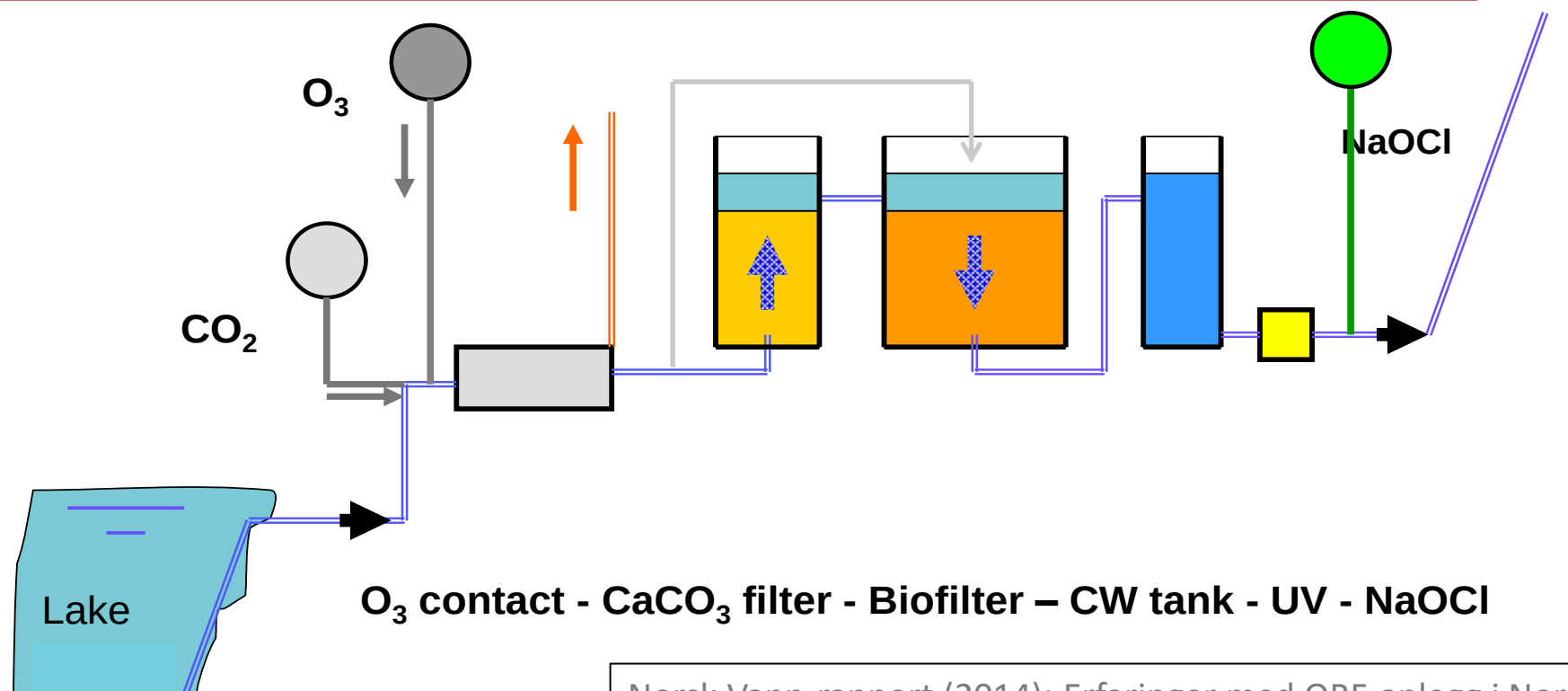
Nanofiltrering
Ca 110 anlegg

Ozon-biofilteranlegg (OBF) med alkalisk forfiltrering



Økt NOM/farge → økt ozonbehov → økt BDOC → økt mikrobiell vekst?

Lavere temp → økt Ct-krav → økt ozonbehov → økt BDOC/red BF-effect → økt vekst?

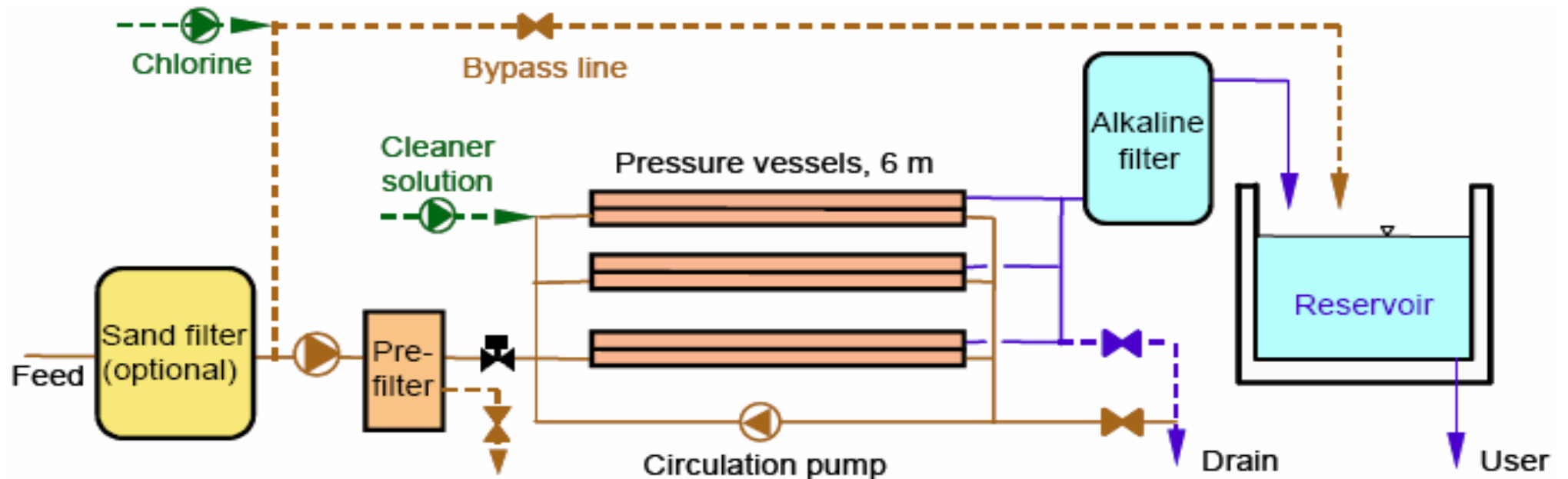


O₃ contact - CaCO₃ filter - Biofilter – CW tank - UV - NaOCl

Norsk Vann-rapport (2014): Erfaringer med OBF-anlegg i Norge

Nanofiltration - NF

Økt NOM → mer belegg/fouling → hyppigere klor/vask → økt dannelse av klorforbindelser/klorfenoler → mer anisoler/mer lukt og smak?



Pre-treatment : 50 µm sieve

Module: Spiral wound

Membranes: CA

Cleaning: Frequent (every night)

Design flux: 15-18 l/m²h

Pore size: 3 nm (1-5)

Recovery: 70-80%

Challenges: Fouling, regrowth, taste&odour; NOM+algae?

Åfjord og Hitra (2011-2013): Omfattende analyse av lukt/smakstoffer; MEMiNOR: Norsk Vann-rapport (2021)

Koagulerings- og Filtreringsanlegg

NOM-->

DOC,
Colour,
UV-abs



affects

treatment,
disinfection,
distribution



Effekter av klimaendringer og økt NOM på koaguleringsanlegg

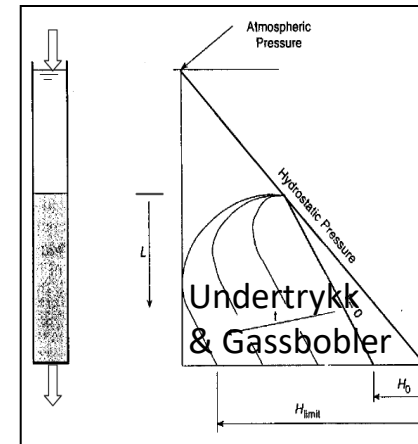
- ✓ Økt koagulantbehov → $\text{Dose} = A \cdot \text{Farge} + B$
- ✓ Økt slamproduksjon
- ✓ Økt TOC i rentvann
- ✓ Kortere filtersykluser og økt spylevannsförbruk
- ✓ Raskere trykktapsutvikling og tidligere gjennombrudd
- ✓ Redusert UV-desinfeksjonseffekt/økt energiförbruk
- ✓ Hvis også mer alger → økt trykktap/blokkering av filtersenger, og mer hydrofile, dårlig koagulerbare NOM-fraksjoner (NEU)

Relevante Rapporter: i) Norsk Vann 188/2012: Veiledning for drift av koaguleringsanlegg; ii) Norsk Vann 189/2012: Håndbok for Driftoptimalisering; iii) NOMiNOR; iv) EU-Techneau WA5 Drikkevannskonsult - B. Eikebrokk

Mer alger – flere utfordringer i vannforsyningen

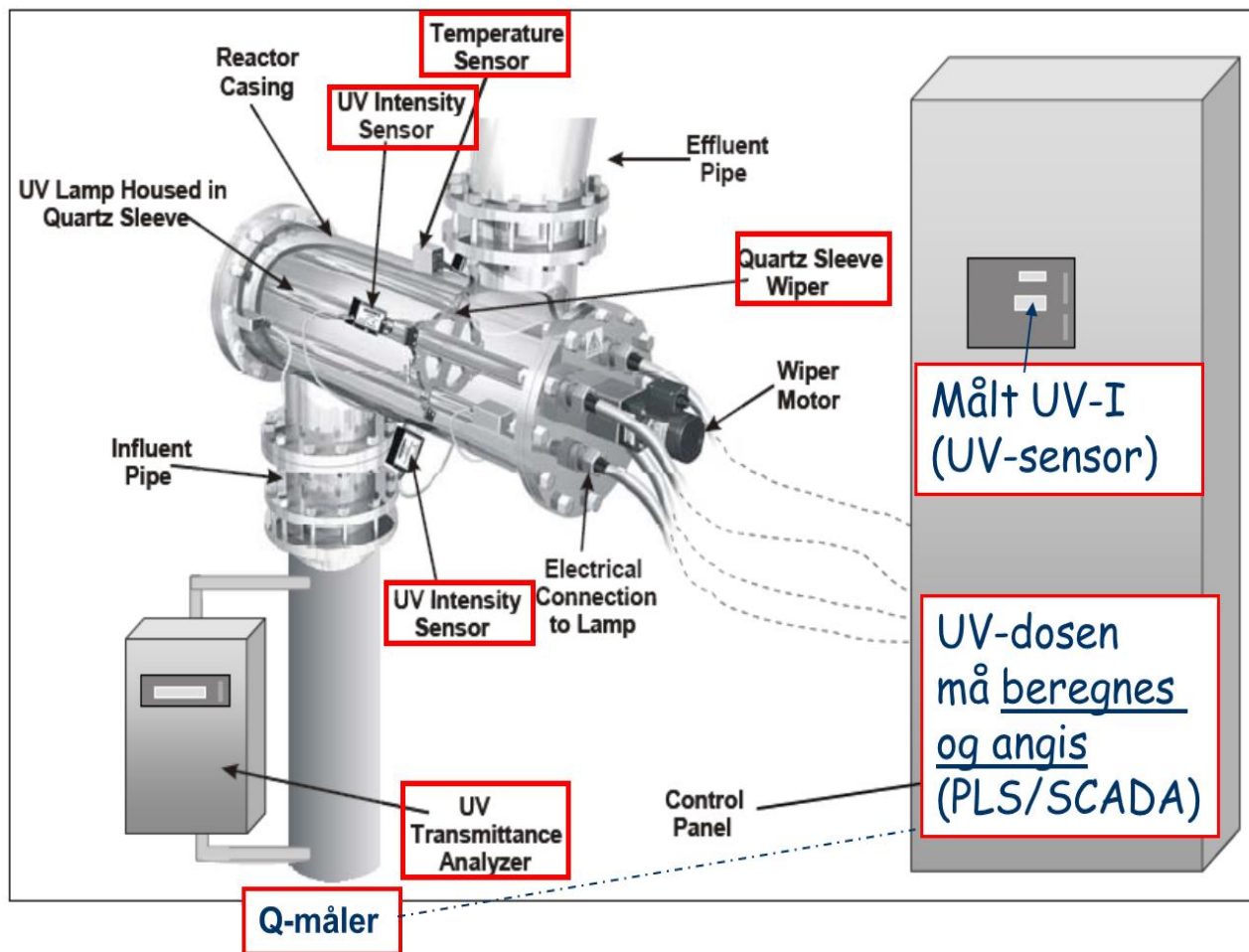
Lukt/smak, toksiner, vanskelig fjernbar NOM, trykktap i filtre

Algal Class	Example genera	Water treatment problems
Cyanophyceae (Blue-green algae)	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Microcystis</i> , <i>Oscillatoria</i> .	Filter blockage, taste and odour, toxic metabolites.
Chlorophyceae (Green algae)	<i>Chlorella</i> , <i>Scenedesmus</i> , <i>Spirogyra</i> .	Taste and odour, filter blockage.
Bacillariophyceae (Diatoms)	<i>Asterionella</i> , <i>Fragilaria</i> , <i>Melosira</i>	Taste and odour, filter blockage.



AWWARF 2004; Hall et al 2005

Effekter av klimaendringer/økt NOM på UV-desinfeksjonsanlegg



- ✓ Økt UV-absorbans/Redusert UV-Transmisjon (UV-T)
- ✓ Redusert desinfeksjonseffektivitet – dårligere barriereeffekt/log-reduksjon
- ✓ Redusert kapasitet (Q) på UV-aggregater for opprettholdelse av dosekrav (e.g. 40 mJ/cm²)
- ✓ Økt lampepådrag/økt energiforbruk
- ✓ Økt beleggdannelse/økt vaskebehov/mer utslipp?
- ✓ Varmere vann og mer N, P → økt algevekst?
- ✓ Strømutfall og spenningsdip → Nødstrøm/UPS

Norsk Vann-rapport 164/2008: Veiledning for UV-desinfeksjon av Drikkevann, og en egen UV-suppleringsrapport 240/2018

Hva kan skje på ledningsnettet?

- ✓ Mer NOM og mer mat (BDOC) i vannet → Økt biologisk vekst/biofilmdannelse/kimtal?
- ✓ Mer Me → økt beleggdannelse som kan huse mikroorganismer, både gamle og "nye" arter?
- ✓ Økt vanntemperatur → økt biologisk omsetning → mer biofilm/vekst på nettet og i installasjoner som rentvannsmagasiner, høydebassenger, etc?
- ✓ Temperatureffekter på metallutfelling og tilhørende adsorpsjonsprosesser?
- ✓ Effekter på korrosjonsforhold og korrosjonshastigheter?
- ✓ Ekstreme temperaturvariasjoner → Endret fordeling av vekstpotensial og substrat-utnyttelse utomhus- og innomhus?



Klimaendringer og økende NOM kan kreve supplerende vannbehandlingstrinn (AC, UF, MIEX, etc)



En driftsoptimalisering er et naturlig første trinn i en CC-tilpasning, men dette vil ikke alltid være tilstrekkelig...

Anbefaling til vannverkene: Vær Beredt!

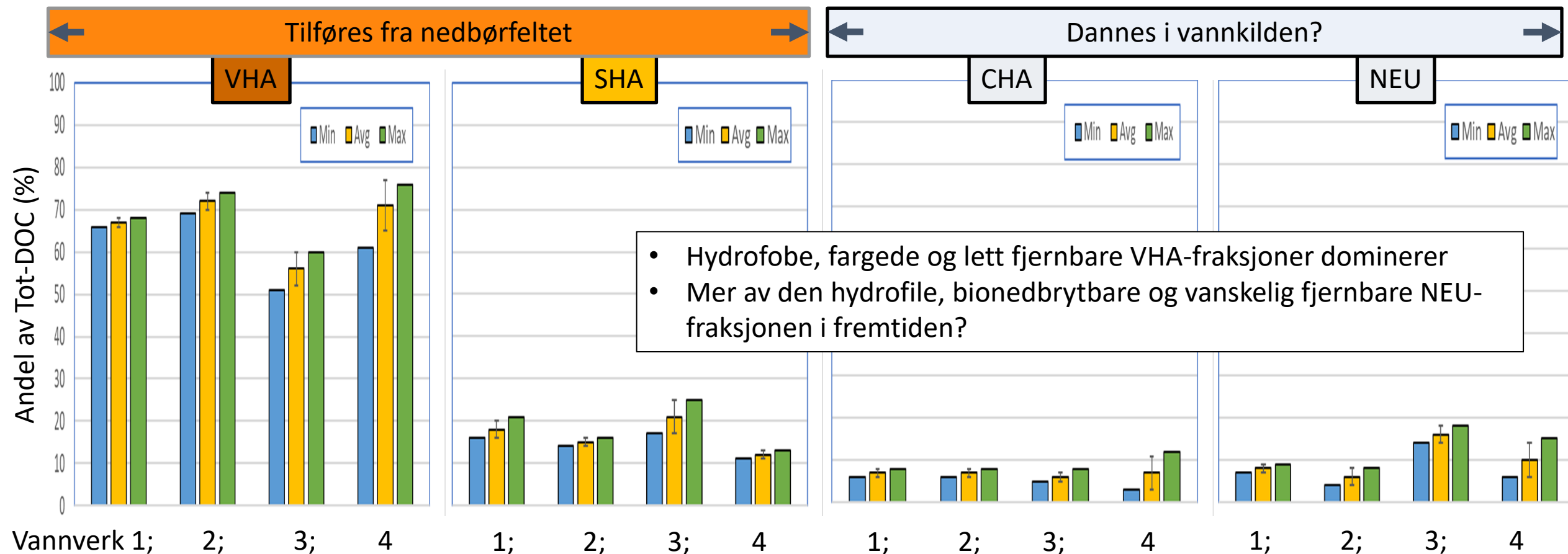
- ✓ Følg med på vannkvalitetsutviklingen: Lag prediksjoner for fremtidig råvannskvalitet og behandlingsbarhet
- ✓ Test vannbehandlingen for en prediktert fremtidssituasjon (kjør fullskala forsøk):
 - Tackler anlegget økt NOM, mer alger, økt vannbehov, høye koagulantdoser, økt slamproduksjon?
 - Er barrierene effektive nok?
 - Er det tilstrekkelig med optimaliseringstiltak, eller må anlegget oppgraderes/utvides med supplerende behandlingstrinn?
- Følg også med på vannkvalitetsendringene i ledningsnett – mye kan oppnås med bedre vannbehandling
- Basér prosessvalg og drift på diagnoser av behandlingsbarhet – snarere enn tradisjoner og tommeltottregler
- Styrk vannkvalitets- og prosessovervåkingen: Nye/online målinger (NOM-fraksjonering, BDOC, ATP, FCM, etc)

Prediksjoner, observasjoner og analyser for fremtiden

- ✓ *NOMiNOR: 20 % forventet økning i NOM-innhold frem mot 2040*
 - ✓ *AUS: Forvent endringer i NOM-egenskaper og behandlingsbarhet*
 - ✓ *NOM-Fraksjonering og Behandlingsbarhet: VHA, SHA, CHA og NEU*
 - ✓ *NOM og alger: En utfordrende kombinasjon for driften*
 - ✓ *Bionedbrytbarhet og mikroorganismer: BDOC, ATP, FCM*
 - ✓ *Online målemetoder*
- Velg en tilpasningsstrategi basert på «NOM-diagnose – kur», og med økt bruk av online målemetodikker



Kartlegg fordelingen av Hydrofobe (VHA, SHA) og Hydrofile (CHA, NEU) NOM-fraksjoner i råvann (Eksempel: 4 sesongmessige prøver fra 4 vannverk)



→ NOM-diagnoser/NOM-fraksjonering gir info om Behandlingsbarhet og potensialer for Driftsoptimalisering

Australia: NOM-samarbeid og FoU

- ✓ NOM-fraksjonering foretatt ved Australian Water Quality Centre av vannprøver sendt fra et antall norske vannverk viste overraskende små forskjeller fra australske vannverk (R. Fabris, C.W.K. Chow , M. Drikas, B. Eikebrokk (2008): Comparison of NOM character in selected Australian and Norwegian drinking waters, *Water Research* 42, 4188–4196)

- ✓ FoU-aktiviteten rundt NOM i AUS er stor, nå bl.a. i FoU-prosjektet «Next Water»^(Moradi, 2019)
 - Klimaendringene endrer NOM-konsentrasjoner og NOM-egenskaper
 - Temperaturøkningene endrer NOMs løselighet og karakter
 - Etter tørkeperioder observeres en reduksjon i NOM-innhold etterfulgt av en NOM-peak som kan holde seg i lang tid når regnet kommer
 - Sydney Water har opplevd «NOM-episoder» med persistente nivåer av atypisk NOM, med negativ innflytelse på drift og kapasitet av vannbehandlingsanlegget
 - Mer FoU behøves for å kartlegge effektene av klimaendringer på nedbørfelt og vannbehandling

Kartlegginger: Endringer i klima → Effekter i nedbørfelt → Variasjoner i NOM → Strategier for vannbehandling og optimaliseringstiltak

Aktuelle NOM-diagnoser: Rutineanalyser, samt DOC, NOM-fraksjonering, Zetapotensial, MWD og Fluorescens