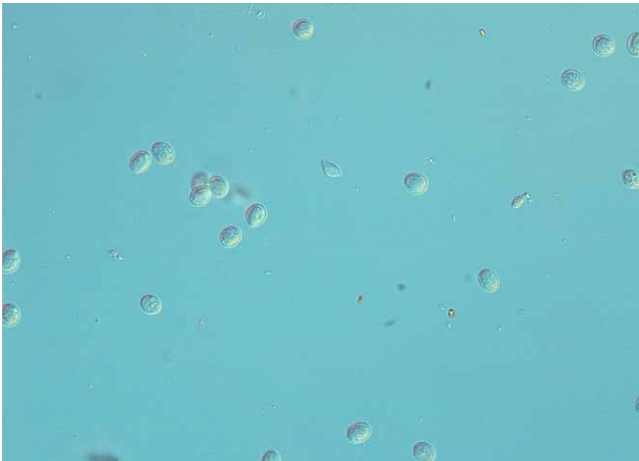




Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer – problemoversikt og status



Norsk Vann Rapport

(Tidligere NORVAR-rapporter)

Det utgis 3 typer rapporter:

Rapportserie A:

Dette er de opprinnelige hovedrapportene. Dette kan være:

- Rapportering av prosjekter som er gjennomført innenfor organisasjonens eget prosjektsystem
- Rapportering av spleiselagsprosjekter hvor to eller flere andelseiere i Norsk Vann BA samarbeider for å løse felles utfordringer
- Rapportering av prosjekter som er gjennomført av andelseiere eller andre. Rapporten vil i slike tilfeller kunne være en ren kopi av originalrapporten eller noe bearbeidet

Fortløpende nummer xx-årstall

Rapportserie B:

Dette er en serie for «enklere» rapporter, for eksempel forprosjekter, som vil være grunnlag for videre prosjektvirksomhet mm.

Fortløpende nummer Bxx-årstall

Rapportserie C:

Dette er rapporter delfinansiert av Norsk Vann, men som er utgitt av andre.

Fortløpende nummer Cxx-årstall

Prosjektresultatene fra Norsk Vann Rapport (serie A og B) kan fritt benyttes internt i egen organisasjon. Når prosjektresultatene benyttes i skriftlig materiale, må kilde oppgis. Viderealg/formidling av resultatene utover dette er kun tillatt etter skriftlig avtale med Norsk Vann BA.

Norsk Vann har ikke ansvar for feil eller ufullstendigheter som måtte forekomme i rapporten og kan ikke stilles økonomisk eller på annen måte til ansvar for problemer som måtte oppstå som følge av bruk av rapporten.



Norsk Vann

Norsk Vann BA, Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Tlf: 62 55 30 30 E-post: post@norskvann.no
www.norskvann.no

*Forsidefoto: Øverst til venstre: Kristoffer Tysnes, Norges Veterinærhøgskole
Nederst til venstre: Erle Frantzen, privat
Øverst til høyre: Svein Liane, Sweco
Nederst til høyre: Kjetil Furuberg, Norsk Vann*

Norsk Vann Rapport

Norsk Vann BA

Adresse: Vangsvegen 143, 2321 Hamar
Telefon: 62 55 30 30
E-post: post@norsk vann.no
Internettadresse: norsk vann.no

Rapportnummer:
177 - 2010

ISBN 978-82-414-0315-6
ISSN 1504-9884 (trykt utgave)
ISSN 1890-8802 (elektronisk utg.)

Dato:
30. desember 2010

Antall sider (inkl. bilag):
62

Tilgjengelighet:
Åpen: x
Begrenset:

Rapportens tittel:

Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer - problemoversikt og status

Forfattere:

Svein Forberg Liane, Stein W. Østerhus, Bjørnar Eikebrokk og Mathias H. Kleppen

Ekstrakt:

Hensikten med prosjektet er å gjøre vannverksbransjen bedre forberedt på hva som kan bli morgendagens utfordringer når det gjelder helseskadelige forurensinger i drikkevann, og gi grunnlag for prioritering av FoU-innsatsen. Rapporten tar for seg kunnskap om "nye" trusler, samt vannbehandlingsprosessers evne til å møte ventede råvannsendringer.

Følgende scenarier vurderes som sannsynlige:

- 1) Klimaet blir mer variabelt, med flere ekstremværhendelser og økt årsmiddeltemperatur, nedbør og avrenning.
- 2) Nye patogener vil dukke opp i norske drikkevannskilder som følge av økt temperatur (endrede livsvilkår) og ubevisst import.
- 3) Nye risikoelementer som følge av ny viten innen forskning og analysemetodikk.
- 4) Omstillingsbehov som følge av nye, generelle samfunnskrav.

Dette gir utfordringer både for overflate- og grunnvannsverk. Utvidet og endret vannbehandling vil være nødvendig på mange vannverk for å redusere et trolig økende organisk innhold i råvannet, håndtere større variasjoner i råvannskvaliteten og gi tilstrekkelig hygienisk sikring av drikkevannet. Det kan bli nødvendig med flere desinfeksjonstrinn, økt og mer stabil partikkelfjerning, bedre overvåkning og styring av drikkevannsbehandlingen, og driftsoptimalisering av behandlingsprosessene.

Ved flere grunnvannsverk forventes behov for kontinuerlig desinfeksjon og innføring av prosesser for jern- og manganfjerning.

Det stilles spørsmål ved om flere av de vannbehandlingsanleggene som er etablert de seneste år, vil klare å møte forverret og mer ustabil råvannskvalitet og skjerpede krav fra myndighetene.

Det foreslås 11 konkrete FoU-prosjekt for å klarlegge – og bedre kunne møte – forventede utfordringer.

Emneord, norske:

Vannforsyning, klimaendringer, forurensning og patogener, drikkevannskvalitet, drikkevannsbehandling, scenarier, FoU-behov

Emneord, engelske:

Water supply, climate change, pollutions and pathogens, drinking water quality, drinking water treatment, scenarios, research and development

Forord

Målet med prosjektet har vært å gi en oversikt over hva som kan være morgendagens utfordringer for vannverksbransjen knyttet til potensielt helseskadelige forurensninger i drikkevann. Kunnskap om fremtidige utfordringer er viktig for å kunne håndtere disse på en systematisk måte. Langsiktig arbeid og kunnskapsoppbygging over tid, med grunnlag i forskning og utvikling, vil være en forutsetning for å kunne være forberedt til å møte endringene. Denne rapporten danner et godt grunnlag for vurdering av hva som er nødvendig FoU-innsatsen på området.

Rapporten inneholder konkrete råd og anbefalinger om videre arbeid i form av projektskisser. Sammen med andre rapporter fra Norsk Vann knyttet til ledningsnett og klimatilpasning, gir dette en oversikt over de utfordringer som kan forventes å dukke opp innen vannforsyning, med forslag til hvordan disse kan møtes gjennom FoU-arbeid.

Norsk Vann vil benytte rapporten som et viktig grunnlag for FoU innen vannsektoren, både nasjonalt og i dialog med nordiske forsknings- og innovasjonsmiljøer.

Prosjektet er finansiert gjennom Norsk Vanns prosjektsystem. Arbeidet har økt i omfang ifra bestillingen ble sendt til Sweco Norge til ferdig skisse forelå. Sweco Norge og SINTEF har derfor lagt inn betydelig egeninnsats. Sweco Norge har i tillegg bidratt med midler fra eget FoU-fond. Også Norsk Vanns faggruppe for vannforsyning har støttet prosjektet økonomisk. Prosjektet har følgelig utviklet seg til et samarbeidsprosjekt, og Norsk Vann takker for velviljen og innsatsen fra Sweco Norge og SINTEF.

Prosjektet har støttet seg på en intern ressursgruppe i Sweco og ressurspersoner i VA-miljøet i Norge, Sverige, Tyskland og New Zealand (se kap. 1). Styringsgruppe for prosjektet har vært fagutvalget i Norsk Vanns faggruppe for vannforsyning.

Norsk Vann retter en stor takk til forfatterne og alle som har bidratt med innspill og synspunkter underveis i utarbeidelsen av rapporten. Det ligger et betydelig engasjement til grunn for arbeidet.

Hamar, 30. desember 2010

Kjetil Furuberg

Norsk Vann

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Sammendrag	4
English summary.....	6
 1. Prosjektbeskrivelse, målsetning og arbeidsmåte.....	 9
2. Grunnlag.....	11
2.1. Drikkevannskvalitet og klimaendringer	11
2.1.1. Generell sirkulasjon og dagens klima	11
2.1.2. Regionale klimafremskrivninger.....	12
2.1.3. Mulige endringer i mikrobiologisk drikkevannskvalitet	12
2.1.4. Kostnader	13
2.2. Drikkevannskvalitet og demografi	13
2.2.1. Endret menneskelig aktivitet.....	14
 3. Problemoversikt og kunnskapsstatus	 16
3.1. Drikkevannskvalitet og patogene mikrober	16
3.1.1. Bakterier.....	17
3.1.2. Virus	18
3.1.3. Parasitter / protozoer.....	19
3.1.4. Muggsopp	20
3.1.5. Analyser av indikatororganismer og patogener	20
3.2. Drikkevannskvalitet og kjemiske forbindelser	21
3.2.1. Algetoksiner og lukt/smak	21
3.2.2. Naturlig organisk materiale.....	22
3.2.3. Uorganiske forbindelser.....	23
3.2.4. Mineralutløsning til fjellbrønner	24
3.2.5. Syntetisk organiske forbindelser.....	25
3.2.6. Legemiddelsubstanser	26
3.3. Fremtidige scenarier.....	27
 4. Drikkevannsbehandling relatert til nye utfordringer	 30
4.1. Kort situasjonsbeskrivelse	30
4.2. Vannbehandlingsprosesser	31
4.2.1. Koagulering og filtrering.....	31
4.2.2. Ozonering og biofiltrering	36
4.2.3. Membranfiltrering.....	38
4.3. Adsorpsjonsprosesser.....	40
4.3.1. Filtrering i aktivt kull.....	40
4.4. Desinfeksjonsprosesser.....	41
4.4.1. UV-desinfeksjon.....	42
4.4.2. Klordesinfeksjon	44
4.4.3. Ozondesinfeksjon	45
4.5. Grunnvannsbehandling	47
4.5.1. Enkle prosessløsninger.....	47
4.5.2. Sårbarhet og utfordringer i grunnvannsforsyningen	47
4.6. Endringer i vannbehandlingen.....	49
4.6.1. Vurderinger av de siste års prosessutbygginger	49
4.6.2. Konsekvenser for nye vannbehandlingsanlegg	50
4.6.3. Konsekvenser ved overflatevannkilder.....	51
4.6.4. Konsekvenser ved grunnvannskilder	52
4.6.5. Nye prosessløsninger	52
 5. Forslag til nye FoU-prosjekter	 54
 6. Referanser.....	 59

Sammendrag

Målsetningen med prosjektet er å gjøre den norske vannverksbransjen best mulig forberedt på hva som kan være morgendagens utfordringer for bransjen når gjelder potensielt helseskadelige forurensinger i drikkevann. I rapporten beskrives forventede utviklingstrekk. Dagens vannbehandlingsmetoders evne til å håndtere forventede utfordringer på råvannssiden blir vurdert. Det blir gitt anbefaling om videre arbeid og foreslått konkrete FoU-prosjekter.

Forventede klimatiske endringer vil medføre kvalitetsendringer i våre drikkevannskilder. Fremskrivninger av klimaet i Norge viser en trend i form av økt nedbør, økt avrenning og flere ekstremværhendelser. Hyppigere episoder med kraftig nedbør – og store lokale variasjoner i nedbørsintensitet – må forventes. Dette vil i sin tur øke risikoen for at smittestoffer og andre forurensninger blir tilført drikkevannskildene. I tillegg forventes økt innhold av organisk stoff (NOM) og partikler i råvannet. Høyere fargetall og turbiditet har allerede vært merkbar i mange av våre større overflatevannkilder de siste 10 år.

Stadig økning i global reiseaktivitet – som turister og migranter – øker risikoen for spredning av sykdomsfremkallende mikroorganismer. Ubevisst import av nye patogener, samt mulig økning i temperatur og dermed bedre livsvilkår for nye patogener i norske økosystem, vil gi utfordringer for vannverkene.

Andelen av befolkningen med svekket immunforsvar forventes å øke, hovedsakelig som følge av at antallet eldre øker kraftig, og at det blir flere som behandles for alvorlige sykdommer. Denne delen av befolkningen er spesielt avhengig av en god og stabil hygienisk standard på drikkevannet.

Mer kunnskap om risikoelementer, bedret analysemetodikk og økt informasjon fra utvidet prøvetaking og vannanalyser vil i seg selv gi vannverkseiere økte utfordringer. Nyere kunnskap om muggsopp i drikkevann og begroingsbetingelser for patogener ute i ledningsnett er eksempler på dette.

Vannverkene må forberede seg på økte krav fra forbrukere og myndigheter når det gjelder åpenhet og dokumentasjon av drikkevannsleveransen. Kundenes krav om god og trygg drikkevannskvalitet vil øke. Effektiv og miljøvennlig ressursbruk vil også få økt fokus for vannverkene, herunder forhold som energiøkonomisering, slamproduksjon i vannbehandlingen og biprodukter i drikkevannet etter kjemikalietilsats.

Det har skjedd en kraftig forbedring av vannbehandlingen ved de fleste større og mellomstore vannverkene i Norge de siste årene. Prosesser som koagulering-filtrering, ozonering-biofiltrering eller membranfiltrering er blitt innført for å redusere farge, fjerne partikler og forbedre hygienisk kvalitet og sikkerhet på drikkevannet. I tillegg har UV-desinfeksjon flere steder erstattet eller kommet som supplement til klordesinfeksjon. I rapporten stilles spørsmål ved om valgt prosess og dimensjonering mange steder er godt nok egnet for økt organisk innhold og raske kvalitetsvariasjoner i råvannet. For å opprettholde produksjonskapasitet og levere et stabilt godt drikkevann forventes at mange vannbehandlingsanlegg – også nyere – må bygges om eller utvides om få år, og/eller at man må søke bedre drikkevannskilder.

Det anbefales at man ved vurdering av nye vannbehandlingsanlegg, tar høyde for en verre råvannskvalitet enn det som historisk er registrert, enten ved at man bygger inn og dimensjonerer for dette nå, eller ved at man tilrettelegger for framtidig prosessutvidelse.

Like viktig er å drifte og overvåke det prosessanlegget man har på en god måte. Det anbefales å gjennomføre optimaliseringsstudier for å få fram begrensinger og muligheter i eksisterende anlegg.

Større og raskere variasjoner i råvannskvalitet medfører behov for økt driftstilsyn, utvidet online rå- og rentvannskontroll og mer intelligent prosessstyring. Rapporten påpeker behov for bedre kompetanse hos driftspersonell, vannverksadministrasjon og rådgivere for å forstå og håndtere kommende utfordringer og mer komplekse vannbehandlingsprosesser.

Også ved grunnvannsverk vil utfordringene bli større. Økning i jern- og manganinnhold, og innholdet av aggressivt CO₂, i grunnvannet er allerede merkbar mange steder. Ved økt nedbryting av organisk stoff i infiltrasjonssona vil dette kunne eskalere. Videre bør man også ved en del grunnvannsverk stille kritiske spørsmål ved hygienisk sikkerhet, både ved den normale infiltrasjonen og i flomsituasjoner. Fjellbrønner er spesielt utsatt for klimatiske endringer, både hva gjelder vannkvalitet og kapasitet. Det forventes behov for kontinuerlig desinfeksjon og jern-/manganfjerningsanlegg ved flere grunnvannsverk.

Klimaendringer og usikkerheter mht. forurensingsbelastning gjør at man bør opprettholde og styrke kildebeskyttelsen for å sikre et best mulig utgangspunkt for framtidig vannbehandling.

For å få mer kunnskap om – og kunne møte – kommende utfordringer med hensyn til vannkildeutvikling, potensielle kildeforurensinger og vannbehandlingstiltak foreslås følgende nye FoU-prosjekter:

- 1) Foresight vurdering av ulike drikkevannskilder.
- 2) Krav til vannbehandling i møte med forverret råvannskvalitet.
- 3) Optimaliseringsmuligheter og dokumentasjon av barriereeffekter ved kontaktfiltreringsanlegg i møtet med forverret råvannskvalitet.
- 4) Optimaliseringsmuligheter for ozonering-biofiltreringsanlegg i møtet med forverret råvannskvalitet.
- 5) Forbedret forbehandling for membranfilteranlegg i dag og i møtet med forverret råvannskvalitet.
- 6) Nye, aktuelle vannbehandlingsprosesser og prosesskombinasjoner for drikkevannsbehandling (forprosjekt).
- 7) Vekstbetingelser og begroing av opportunistiske patogener i ledningsnett, og vannbehandlingstiltak for å motvirke dette.
- 8) Algetoksiner og vannbehandlingstiltak.
- 9) Muggsopp og vannbehandlingstiltak.
- 10) Metoder for genotyping og bestemmelser av viabilitet av Crypto og Giardia.
- 11) Optimalisering av grunnvannsanlegg.

English summary

This report is published in Norwegian by Norwegian Water BA (Norsk Vann BA).

Address: Vangsvegen 143, N-2321 Hamar, Norway
Phone: + 47 62 55 30 30
E-mail: post@norskvann.no
Website: www.norwegian-water.no / www.norskvann.no

Report no: 177 - 2010
Report title: Drinking water quality and new challenges – status and problems overview
Date of issue: 30. December 2010
Number of pages: 62

Keywords: Water supply, climate change, pollutions and pathogens, drinking water quality, drinking water treatment, scenarios, research and development.

Author: Svein Forberg Liane, Stein W. Østerhus, Bjørnar Eikebrokk and Mathias H. Kleppen

ISBN: 978-82-414-0315-6
ISSN 1504-9884 (printed edition)
ISSN 1890-8802 (electronic edition)

Summary:

The objective of this project is to make the Norwegian waterworks prepared for what might be tomorrow's challenges for the industry in terms of potentially harmful contaminants in drinking water. The report describes the expected trends. And today's water treatment methods ability to handle the anticipated changes in our water sources is being assessed. There are also given recommendations for further work, and specific research- and development projects are proposed.

The projected climate changes will lead to quality changes in our drinking water sources. Projections of climate in Norway show a trend in terms of increased rainfall, increased runoff and more extreme weather events. More frequent episodes of heavy rain - and large local variations in rainfall intensity – are to be expected. This will in turn increase the risk for pathogens and other contaminants occurring in the drinking water sources. In addition, it is expected an increased content of organic matter and particles in the water sources. Increased color has already been noticeable in many of our major surface water sources in the last 10 years.

Steady increase in global travel - as tourists and migrants - increases the risk of spreading pathogenic microorganisms. This unconscious importation of new pathogens, and the possible increase in temperature and thus improved living conditions for new pathogens in Norwegian ecosystems, will provide challenges for the waterworks.

The proportion of people with weakened immune systems are expected to increase, mainly due to the number of elderly is increasing rapidly, and that there are more people being treated for serious illnesses. This section of the population is in particular dependent on a good hygienic standard of drinking water.

More knowledge about risk factors, improved analytical methods and improved information from extended sampling and water analysis will in itself provide the waterworks with increased challenges. Recent knowledge about molds in drinking water and the living conditions for pathogens in the supply network are examples of this.

Waterworks must prepare for an increased information demand from consumers and officials in terms of transparency and documentation of water delivery. Customer demand for good quality and safe drinking water will increase. The waterworks will also need to enhance efficient and environmentally sound use of resources, including factors such as energy efficiency, sludge production in water treatment and by-products in drinking water where chemicals are being added.

There has been a major improvement in water treatment by most large and medium-sized waterworks in Norway in recent years. Processes such as coagulation-filtration, ozone treatment-biofiltration, or membrane filtration, has been introduced to reduce color, remove particles and improve the hygienic quality and safety of drinking water. In addition, UV-disinfection has several places either replaced or been added as a supplement to chlorine disinfection. The report questions whether the chosen design processes are sufficiently suitable to meet the challenges faced by increased organic content and rapid variations in sourced water quality. In order to maintain production capacity and provide a stable supply of good quality drinking water, it is expected that many water treatment plants – including recently constructed ones - must be rebuilt or expanded in a few years time. Another option would be to seek better sources of drinking water.

During the planning process of new water treatment plants it is recommended to account for a worse water quality than what historically has been recorded, either by taking this into account straight away, or by facilitating for future expansion of the water treatment.

Equally important is to manage and monitor the existing process in a good way. It is recommended to conduct optimization studies to reveal constraints and opportunities in existing facilities, if there are no obvious shortcomings in the water treatment itself.

Larger and more rapid variations in water quality results in a need for increased operational supervision, extended online water control for both sourced and processed water and more intelligent treatment process control. The report indicates a need for improved skills of operational personnel, waterworks administration and consultants in order to understand and deal with the expected future challenges and the likely more complex water treatment processes.

Greater challenges are expected also at waterworks sourcing water from the ground. An increase in iron and manganese content, and of aggressive CO₂, is already noticeable in many places. With increased decomposition of organic matter in the infiltration zone, this could escalate. Furthermore, one should also at some groundwater works ask critical questions about hygienic safety, both during normal infiltration periods and in flood situations. Sources drilled in bedrock are particularly vulnerable to climatic changes, both in terms of water quality and capacity. It is expected a need for continuous disinfection, and establishment of iron- and manganese removal at several of the groundwater plants.

Climate changes and uncertainties with respect to anticipated pollution load means that we should maintain and enhance the source protection. This is vital to ensure the best possible basis for future water treatment.

To learn more about - and be able to handle - the challenges ahead with regards to water resource development, potential pollution risks to water sources and water treatment measures, the following new research- and development projects are presented in the report:

- 1) Foresight assessment of different drinking water sources.
- 2) Requirements of water treatment to handle deteriorating water quality.
- 3) Opportunities for optimizing and document the barrier effects by contact filtration plants in order to handle a deteriorating water quality.
- 4) Opportunities for optimizing ozone treatment-biofiltering plants in order to handle a deteriorating water quality.
- 5) Improved pretreatment of membrane filter systems of today, and in order to handle a deteriorating water quality.
- 6) New, relevant water treatment processes and process combinations for drinking water treatment.
- 7) Growth conditions and fouling of opportunistic pathogens in the supply network, and water treatment measures to counter this.
- 8) Algal toxins and water treatment measures.
- 9) Moulds and water treatment measures.
- 10) Methods for genotyping and determination of viability of Crypto and Giardia.
- 11) Optimization of groundwater systems.

1. Prosjektbeskrivelse, målsetning og arbeidsmåte

Vi får stadig økt kunnskap om gamle og nye kjemiske forbindelser og mikroorganismer i drikkevann og potensiell helsemessig konsekvens av disse. Kunnskapen kommer bl.a. som et resultat av konkrete hendelser, forskningsinnsats og bedre analysemetoder. Vi har begynt å se endringer i klimatiske forhold, og gjennom omfattende utredninger fått forespeilet framtidige klimaendringer som vil gi utfordringer for norsk VA-sektor generelt, våre drikkevannskilder og våre vannbehandlingsanlegg.

For å kunne forutse og håndtere nye utfordringer best mulig, er det ønskelig at vannverksbransjen arbeider framtidsrettet. Det anses derfor nødvendig å etablere en felles oppfatning av kunnskapsstatus, utvikle noen scenarier og systematisere FoU-behovet slik at innsatsen blir målrettet.

Foreliggende Norsk Vann prosjekt har som målsetting å gjøre vannverksbransjen best mulig forberedt på nye utfordringer når det gjelder potensielt helseskadelige forurensninger i drikkevann, samt framlegge konkrete vurderinger av eksisterende og "nye" vannbehandlingsløsninger. Videre skal det gis grunnlag for å kunne foreta helhetlig prioriteringer av framtidig FoU-innsats.

Prosjektet "Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer" har følgende deloppgaver:

- A. Oppsummere status og kunnskap om "nye" trusler i drikkevann i Norge de siste 8-10 år.
- B. Beskrive noen scenarier for hva som vil være morgendagens utfordringer når det gjelder potensielt helseskadelige forurensninger i vann.
- C. Vurdere grovt dagens vannbehandlingsmetoder opp mot trusselbildet for drikkevannskildene.
- D. Gi anbefalinger om videre arbeid, FoU-behov og prosjektideer.

Arbeidet har i stor grad bestått i litteratursøk og innhenting av informasjon fra forskningsmiljø og sentrale aktører i inn- og utland.

I prosjektarbeidet er det ikke vurdert utfordringer på ledningsnett. Det kan vises til andre Norsk Vann rapporter i det henseende.

Administrative og organisatoriske spørsmål knyttet til norsk drikkevannsforvaltning har heller ikke inngått i mandatet.

Prosjektarbeidet er utført av rådgivere i Sweco Norge AS og forskere i SINTEF avd. Vann og Miljø:

- Spesialrådgiver siv.ing. Svein Forberg Liane – Sweco (prosjektleder)
- Ressursgeograf Mathias H. Kleppen – Sweco
- Seniorforsker dr.ing. Stein Wold Østerhus – SINTEF
- Sjefsforsker dr.ing. Bjørnar Eikebrokk – SINTEF

I tillegg har en "intern" ressursgruppe bidratt i prosjektet:

- Professor Kenneth M. Persson – Sydvatten
- Avdelingsdirektør dr. Truls Krogh – Folkehelseinstituttet
- Seniorforsker dr. Vidar Lund – Folkehelseinstituttet
- Seniorforsker dr. ing. Lars John Hem – SINTEF
- Divisjonsleder Lars Enander – Sweco
- Sivilingeniør Svein Erik Bakken – Sweco
- Sivilingeniør Gunnar Bjørnson – Sweco

I samband med vår informasjonsinnhenting er vi takknemlige for bidrag fra:

- Olof Bergstedt (Göteborg Vatten)
- Sylvi Gaut (Norges Geologiske Undersøkelser)
- Merete Grung (Norsk institutt for vannforskning)
- Gunhild Hageskal (Veterinærinstituttet)
- Klaus Kümmeler (Dep. of Environmental Health Sciences, University of Freiburg)
- Søren Larsen (Universitetet i Oslo)
- Sverre Levernes (Statens Strålevern)
- Thomas Rohrlack (Norsk institutt for vannforskning)
- Michael Taylor (tidligere New Zealand Ministry of Health)

2. Grunnlag

2.1. Drikkevannskvalitet og klimaendringer

Det store flertall av klimaforskere er ikke lenger i tvil om at det skjer en oppvarming av planetens klima, og at menneskeskapte utslipp av drivhusgasser bidrar til dette. Med de siste par kalde vintre friskt i minne skal man huske at dette har med lokale og regionale værphenomen og gjøre, ikke det overordnede globale klima. Bevisene som peker mot en global oppvarming er mange og sterke fra mange ulike fagfelt. Vi måler direkte en global økning i luft- og havtemperatur, det pågår en akselerert smelting av snø og is, og man mener å kunne måle en samhørende stigning i havnivå. Mellom 1995- og 2006 finner vi 11 av de 12 varmeste årene siden slike målinger tok til i 1850 (IPCC, 2007).

Klimaendringer er en betydelig faktor å regne med som potensielt kan endre mange mønstre, vaner og antakelser som danner basis for infrastrukturplanlegging og design brukt av vannverkene i dag. For mange vannverk vil klimaendringene føre til større variabilitet i kvantitet, men i Norge er det spesielt variabiliteten i råvannskvalitet som forventes å skape størst utfordringer. Et slikt potensial for større variasjoner må inkorporeres ved planlegging og design av nye vannverk. To tidligere undersøkelser om emnet; "Planning for the Effects of Climate Change" (Miles *et al*, 2001) og "Strategic Assessment of the Future of Water Utilities" (Means *et al*, 2006), fant at klimaendringer er en av de sterkeste påvirkningene for framtiden til drikkevannsindustrien (Means *et al*, 2010). Også rapporten fra Verdensbanken; "Climate change and urban water utilities: challenges and opportunities" (Danilenko *et al.*, 2010) støtter dette synet.

Fremskrivninger av klimaet i Norge viser en trend i form av økt nedbør, økt avrenning og ikke minst alvorlig, - hyppigere episoder med sterk nedbør. Dette kan i sin tur føre til økt risiko for at smittestoffer blir tilført drikkevannskildene. Høyere middeltemperatur kan legge forholdene til rette for sykdomsfremkallende mikroorganismer som vi hittil har ment å ha hatt kontroll med eller vært ukjent med. Forventet økt frekvens av ekstremvær øker også risikoen for forurensning via f.eks. overflateavrenning eller overløp i kloakksystemer. *Når klimaet forandres, forandres også forutsetningene for vannforsyning, og dette danner basis for denne rapporten.* Vi nevner også andre forhold som kan påvirke drikkevannskvaliteten i tiden fremover.

2.1.1. Generell sirkulasjon og dagens klima

Det er mange faktorer som påvirkes ved klimaforandringer. Vi har valgt å beskrive kort det vi mener er mest relevant for drikkevannskvalitet og kommende utfordringer; temperatur, nedbør og avrenning. For en utførlig beskrivelse av temaet se f.eks.; Svenskt Vatten. Drickvattenförsörjning i förändrat klimat. Meddelande M135. Oktober 2007, og Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2008. Climate Change and Water: Technical Paper. IPCC Secreteriat, Geneva. Det følgende er i stor grad hentet direkte fra Hanssen-Bauer *et al.* 2009. Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU klimatilpassing¹.

Sommertemperaturen i Norge var antakelig 1,5 til 2 °C høyere for 6000 til 9000 år siden i forhold til normalperioden 1961-90 (internasjonalt vedtatt referanseperiode). Dette skyldes at jorda var nærmere sola om sommeren, og at jordaksens helning var større enn den er i dag (Milankovitch' sykluser). Årsmiddeltemperaturen for fastlands-Norge har økt med 0,8 °C de siste hundre årene, og mest om våren (Hanssen-Bauer *et al.* 2009).

¹ Hanssen-Bauer et al. 2009. Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing, Norsk klimasenter, september 2009, Oslo.

Årsnedbøren for fastlands-Norge har økt med nesten 20 % siden 1900, med størst økning om vinteren og minst om sommeren. Årsnedbøren har økt mest på Vestlandet, mens snøsesongen er blitt kortere de fleste steder. Vannføringen varierer mye over tid. Den observerte temperaturøkningen har generelt ført til økt vannføring om vinteren, våren og tidlig snøsmelting, mens det er tendenser til lengre perioder med lav vannføring om sommeren på Sørlandet.

Sammenligner man perioden 1979-2008 i forhold til referanseperioden 1961-90, ser man at årsavrenningen har økt med 2,5 %. For vinteren er økningen i gjennomsnitt på 23 % med store regionale forskjeller (Hanssen-Bauer *et al.* 2009).

2.1.2. Regionale klimafremskrivninger

Vi vil ikke gå inn på hva de regionale klimafremskrivningene er basert på i denne rapporten, men kun presentere de funn som er beskrevet i Hanssen-Bauer *et al.* 2009. For en god oversikt over de forskjellige familier av klimascenarier presentert av Intergovernmental Panel on Climate Change, se: *Climate Change 2007. Synthesis Report*. IPCC 2007.

Man antar at det blir varmere i alle landsdeler til alle årstider. Årsmiddeltemperaturen i Norge antas å øke med 2,3 til 4,6 °C innen 2100. Dette fører igjen til en lengre vekstsesong. Det beregnes en økning på 1-2 måneder over store deler av landet, og 2-3 måneder i en del områder, fram mot 2100 (Hanssen-Bauer *et al.* 2009). Spesielt for landbruket kan dette ha positive konsekvenser, men lengre utesesong og større bestand av husdyr kan føre til en økning i zoonotiske sykdomsfremkallende organismer i overflatekilder. Vi kjenner til dette problemet i lokal skala i Norge, og i større regional skala f.eks. fra New Zealand (pers. medd. Dr. Michael Taylor tidl. New Zealand Ministry of Health).

Hele landet vil trolig få mer nedbør. I gjennomsnitt for Norge beregnes årsnedbøren å øke med 5 til 30 % mot slutten av århundret. Vinternedbøren kan øke med over 40 % i deler av Øst-, Sør-, og Vestlandet nærmere 2100. Det blir også flere dager med mye nedbør, og gjennomsnittelig nedbørmengde for disse dagene blir høyere i hele Norge og for alle årstider (Hanssen-Bauer *et al.* 2009).

Årsavrenningen og nedbørendringer henger sammen, i tillegg vil også økt temperatur påvirke avrenningen. Totalt sett for Norge beregnes det en økning i årsavrenningen, spesielt i vinterhalvåret og om våren, men med redusert avrenning i sommerhalvåret. I breregioner beregnes økt avrenning også om sommeren (Hanssen-Bauer *et al.* 2009). Flommer kan ha ødeleggende effekt på vannforsyningen. Fremskrivninger av flom er meget usikre, og det vil være store lokale variasjoner. Generelt ventes størrelsen på regnflommer å øke, mens smeltevannsflommer vil avta på sikt. Større regnflommer kan skape problemer i små, bratte felt og i urbane områder. Det beregnes små endringer i marksvannsunderskudd på kort sikt, men betydelig økning i marksvannsunderskuddet mot slutten av århundret (Hanssen-Bauer *et al.* 2009). Vi ser av dette at økt risiko for forurensning, spesielt av overflatekilder, er å forvente i fremtiden.

2.1.3. Mulige endringer i mikrobiologisk drikkevannskvalitet

Følgende punkter er hentet fra www.klimakommune.no ledet av CICERO, 2008²:

- ✓ Mer kraftig nedbør og økt avrenning øker risikoen for at smittestoffer fra lekkasjer/overløp i kloakksystemer eller avføring fra tamme og ville dyr/fugler blir

² www.klimakommune.no. Klimatilpassing i norske kommuner. Cicero (prosjekt ansvarlig), NIVA, NILU, NIKU, Bioforsk, NINA og NIBR. 11. nov. 2008.

tilført drikkevannskildene. I hvilken grad den mikrobiologiske vannkvaliteten vil forverres under slike værforhold avhenger av mengden forurensningskilder i vannkilde og tilsigsområde.

- ✓ Store innsjøer kan bli mindre sikre som hygieniske barrierer høst og vinterstid blant annet ved at senere eller manglende islegging kan medføre lengre sirkulasjonsperioder. Kraftigere vind kan føre til økt innblanding av overflatevann i dypvannsinntak, og det kan bli lengre perioder hvor bekker/elver kan dykke ned som følge av sen nedkjøling av store innsjøer i forhold til bekkene.
- ✓ Økt tilførsel av mikroorganismer i perioder uten lagdeling (pga. økt avrenning om vinteren) er ekstra uheldig.
- ✓ Vannkilder som i dag er godkjent som en hygienisk barriere kan miste denne godkjenningen.
- ✓ Svekket barriere i kilden vil kreve flere barrierer i vannbehandlingsanlegget.
- ✓ Sommerstid kan økt temperatur og næringsinnhold i vannkilder gi økt oppblomstring av toksinproduserende blågrønnalger eventuelt også oppblomstring av andre "nye" arter. De siste årene har man om sensommeren sett en oppblomstring av koliforme bakterier i flere vannkilder i Østlandsregionen.
- ✓ For grunnvann er tilbakeholdelsen av mikroorganismer i grunnen sterkt avhengig av ulike klima- og grunnvannsforhold, som fort kan endres ved ekstremvær. Mer flom kan øke forurensning i/ved brønner.
- ✓ Generelt er det vist at kraftig nedbør kan være en av årsakene til en raskere økning i fargetall og total organisk karbon i overflatevann. Dette kan også påvirke den mikrobiologiske drikkevannskvaliteten ved å redusere effekten av desinfeksjonstrinnet. Økt mengde og endret sammensetning av naturlig organisk materiale, samt økt temperatur, vil kunne påvirke begroingen på ledningsnett.
- ✓ Mer uforutsigbar råvannskvalitet grunnet klimaendringer kan føre til at vannbehandlingsanlegg må oppgraderes, det vil øke behovet for overvåking av råvann og rentvann, spesielt i sirkulasjonsperioder, samt øke behovet for on-line systemer for prosessstyring.
- ✓ Ved kraftig nedbør kan drikkevannsledninger være omgitt av kloakkforurenset vann. I slike tilfeller er det ekstra viktig med overtrykk i drikkevannsledningene.

2.1.4. Kostnader

Svensk Vatten (2007) beregner kostnadene knyttet til suksessivt å tilpasse svenskt kommunal vannforsyning til økte forurensningsrisikoer og nye forutsetninger i perioden 2011-2100 til ca. 5,5 mrd SEK med pengeverdi 2007. Tiltak for privat vannforsyning ble kostnadsberegnet til ca. 2 mrd SEK. I tillegg kommer økte driftskostnader og kostnader knyttet til å sikre kildene som for eksempel utbetaling av erstatninger knyttet til utvidede klausuleringsbestemmelser. Dette gir en indikasjon på hvilke beløp som kan være aktuelle også for Norge.

2.2. Drikkevannskvalitet og demografi

"Almost one tenth of the global disease burden could be prevented by improving water supply, sanitation, hygiene and management of water resources" (Prüss-Üstün et al., 2008. Safer water, better health.).

Ca. 1.8 millioner dødsfall i året verden over er antatt å skyldes urent drikkevann, av disse er det en betydelig overvekt av barn under 5 år i utviklingsland. I Norge er vi langt unna en slik virkelighet, men også her har vi en del mennesker som av ulike grunner er spesielt sårbare for forurensninger i drikkevannsforsyningen.

Vårt immunsystem gir ved normal funksjon et godt forsvar mot tidligere gjennomgåtte infeksjoner. I løpet av livet utvikles immunforsvaret. Ved fødsel gir det lite forsvar mot infeksjoner, bortsett fra det som er overført fra mor, men det utvikles raskt i respons til ulike miljøfaktorer, og ulike infeksøse agens, som man får blant annet ved kontakt med andre mennesker. Dersom kroppen svekkes ved annen sykdom, og når den svekkes av alderdom kan denne virkningen avta, og vi er igjen mer mottakelige for sykdom.

I Norge vil i følge Statistisk Sentralbyrå antall personer som er 67 år og eldre etter hvert vokse raskt, fra 617 000 i 2009 til om lag 1,5 millioner i 2060, dvs. over dobbelt så mange som i dag. Sannsynligvis vil den generelle helsetilstand for samme årsklasse innen denne gruppen være bedre enn i dag, men totalt sett kan det bli flere med svekket immunsystem. Bedret medisinsk teknologi har åpnet for at flere får organtransplantasjoner. For at kroppen ikke skal avvise det nye organet er man i kortere eller lengre tid under behandling med immunosupprimerende medikamenter, og er dermed ekstra mottakelig for infeksjoner. Det samme gjelder for mennesker under strålebehandling mot kreft, HIV positive og mennesker med medfødt immunsvikt (IgA-mangel). Det finnes også en rekke andre sykdomsforløp som blir behandlet med immunosupprimerende medikamenter.

I 2006 ble det diagnostisert 24 488 krefttilfeller i Norge. En stor del av det økte antallet kreftdiagnoser kan tilskrives at befolkningen øker, og at gjennomsnittlig levealder blir høyere (www.kreftregisteret.no). I 2008 undergikk 10 981 kreftpasienter en eller annen form for strålebehandling (pers. medd. Sverre Levernes, Statens Strålevern).

Vitenskapskomiteen for mattrygghet³ tok i sin rapport utgangspunkt i tall for forbruk av immunosupprimerende midler hentet fra reseptregisteret og www.legemiddelforbruk.no. De fikk videre, vha. av DDD (definert daglig døgndose), regnet om til pasientår med følgende resultat:

Tabell 1: Sårbare grupper i pasientår

Pasientgruppe	Antall i pasientår/år
HIV-positive	3000
Personer med medfødt IgA svikt	7000
Pasienter på immunosuppressiv behandling	28,000
Totalt	38,000

Samtidig som usikkerheten knyttet til endringer i råvannskvaliteten øker, øker altså antallet personer som er spesielt avhengig av en god og stabil hygienisk standard på drikkevannet.

I tillegg til de nevnte endringer i demografisk sammensetning, som vil gi større krav til effektiv fjerning av patogener i fremtiden, påvirker vi mennesker også trusselbildet på andre måter.

2.2.1. Endret menneskelig aktivitet

Smittestoffers reisevei er blitt kortere som følge av økt reiseaktivitet, økt globalisering og økt innvandring. Man har lenge kjent til at vannbårne sykdommer ofte følger med der folk ferdes, fra gammelt av som oftest via handelsruter. I dag har vi større forflytninger av mennesker enn noen gang tidligere i historien, enten som turister eller som

³ Riskovurderinger av parasitter i norsk drikkevann. Uttalelse fra Faggruppe for hygiene og smittestoffer i Vitenskapskomiteen for mattrygghet. 24. august 2009.

migranter. Det ble registrert 880 millioner utenlands turister i verden i 2009⁴, og det er antatt at ca. 192 millioner bor utenfor sitt hjemland av andre grunner som migranter⁵. Også Norge er del av denne økte reisevirksomheten og dette kan i seg selv være en grunn til innføring av nye risikomoment i norsk drikkevannsforsyning da man kan ta med seg nye patogener hjem etter utenlandsopphold. En forventet økning av klimaflyktninger som følge av klimaendringer og ødeleggelse av de økosystem vi er avhengige av, samt en sammenpakning av store menneskemasser i urbane strøk vil ytterligere øke denne risikoen. I 2007 var for første gang verdens befolkning større i urbane enn i rurale strøk. Og 95 % av all vekst i urbane strøk er forventet å ta plass i utviklingsland der vann- og sanitærforhold ikke ligger til rette for en slik utvikling.

Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB) ga i 2003 ut rapporten; *Sårbarhet i vannforsyningen*. De følgende to paragrafer er i stor grad hentet fra denne rapporten.

Bioterror rettet mot vannforsyningsanlegg kom, etter terroraksjonene i USA 11. sept. 2001, på dagsorden. Det har vært forsøk på å forurense drikkevann i Europa. I 2002 ble personer pågrepet i Roma med en større mengde cyanid, informasjon om den amerikanske ambassaden og en oversikt over Romas vannforsyningssystem. Det er allikevel slik at antallet gjennomførte terroranslag mot vannforsyningen har vært svært få. Grunner til dette kan være at store mengder potent gift er vanskelig å fremskaffe, vanskelig å håndtere og vil mest sannsynlig ha liten effekt i store vannbassenger pga. store fortykningseffekter.

Organisatoriske forhold er interessant nok kanskje en av de største utfordringene for en fortsatt sikker vannforsyning selv om det er mindre spektakulært enn både ekstremvær og bioterror. Er man godt organisert og godt forberedt er det enklere å takle det uforutsette. I dag er privatisering og konkurranseutsetting av tjenester høyt oppe på den politiske agendaen. Når krav til lønnsomhet og fortjeneste står i fokus, kan det føre til at beredskapsarbeid blir en salderingspost. Private aktører opererer noen ganger med "force majeure" klausuler i kontrakter som iverksettes om man havner i en beredskapssituasjon, noe som gjør at tjenesteleverandøren kan fravike kontrakten. Privatiseringen av laboratoriemarkedet kan resultere i mindre veiledning og kompetansestøtte ovenfor vannverkene fra laboratoriets side. Dette vil spesielt ramme de mindre vannverkene. DSB (2003) mener også at det generelt hersker en bekymring i bransjen knyttet til å opprettholde fagkompetansen innen vannbehandling, innen risiko- og sårbarhetsanalyser og beredskap. Kurstilbudene som har eksistert, er i ferd med å forsvinne, og gode veiledere er mangelvare. De større vannverkene har i stor grad hatt oppdaterte beredskapsplaner, men på landsbasis er det bare drøyt halvparten av vannverkene som har utarbeidet slike planer. En spørreundersøkelse (9 fylker og 302 vannverk) utført av DSB 2003 viste at bare 9% hadde gjennomført øvelse siste 3 år.

Det er også forskjeller i Norge mellom by og land når det gjelder vannforsyningen. Byene har som regel sikrere vannverk med operasjonelle beredskapsplaner, og flere og bedre utdannede driftsoperatører. Skulle noe allikevel gå galt er konsekvensene større siden flere mennesker kan bli påvirket. På bygda finnes fortsatt mange små vannverk med dårligere teknologi som skal driftes av få personer. Disse skal i tillegg ofte ta seg av mange andre oppgaver i kommunen og har ikke mulighet til å ha full oversikt over vannforsyningen. Problematikken rundt bemanning og kompetanse er reell både for bygd og by selv om problemet ser ut til å være større i rurale strøk. De nevnte forskjellene må det tas hensyn til ved alle risikoforhold, fra klimaendringer til organisasjon, og lokale sårbarheter må vurderes for hvert enkelt vannforsyningssystem.

⁴ World Tourism Organization

⁵ International Organization for Migration

3. Problemoversikt og kunnskapsstatus

3.1. Drikkevannskvalitet og patogene mikrober

På tross av at den vestlige delen av verden, inklusive Norge, stort sett har en god og sikker vannforsyning, er det et betydelig antall personer som årlig blir syke på grunn av patogene mikrober i drikkevannet. De fleste mikroorganismer som er patogene for mennesker og som kan smitte via vann, kommer fra avføring fra mennesker eller varmblodige dyr (zoonotisk, dvs. kan smitte fra dyr til menneske). Slikt fekal forurenset vann kan overføre smittestoffer ved at vannet drikkes, ved at det brukes til vanning av jordbruksprodukter som spises rå, eller ved at det benyttes til rekreasjonsformål. Det er svært mange mikrober som kan gi sykdom hos mennesker. En litteraturundersøkelse i 2001 identifiserte 1415 infeksijøse arter av organismer som er kjente human patogener (Taylor, Latham & Woolhouse, 2001, i WHO, 2003). Dette inkluderer 217 virus, 538 bakterier, 307 sopp og 353 protozoa/parasitter (inklusive mark arter). Av disse anses 61 % å være zoonotiske, mens 12 % knyttet til sykdommer som betraktes å være i utvikling (emerging). Det må bemerkes at de færreste av disse kan smitte gjennom vann.

Tabell 2: Tabellen er en oversetting av "Table 7.1 Waterborne pathogens and their significance in water supplies", s. 122 (WHO, 2004) tilpasset svenske forhold (Svenskt Vatten, 2007).

Bakterier	Helse-betydning	"Overlevelsessevne" i råvannskilde ved 20 °C	Klor tålighet	Infeksjonsrisiko	Dyr viktig smittekilde	Betydning i Sverige
Burkholderia pseudomallei	Lav	Kan forøke seg	Lav	Lav	Nei	
Campylobacter jejuni, C. coli	Høy	Uke - måned	Lav	Middels	Ja	Stor
Eschericia coli, patogena inkl. toxin	Høy	Uke - måned	Lav	Lav	Ja	Stor
E. coli Enterohaemorrhagic	Høy	Uke - måned	Lav	Høy	Ja	
Legionella spp.	Høy	Forøker seg	Lav	Middels	Nei	Stor
Mycobakterier, ikke tuberkulose	Lav	Forøker seg	Høy	Lav	Nei	
Pseudomonas aeruginosa	Middels	Kan forøke seg	Middels	Lav	Nei	
Salmonella typhi	Høy	Uke - måned	Lav	Lav	Nei	
Andre typer Salmonella	Høy	Kan forøke seg	Lav	Lav	Ja	
Shigella spp.	Høy	< uke	Lav	Middels	Nei	
Vibrio cholerae	Høy	< uke	Lav	Lav	Nei	
Yersinia enterocolitica	Høy	> måned	Lav	Lav	Ja	
Virus						
Adenovirus	Høy	> måned	Middels	Høy	Nei	UV-tålig?
Enterovirus	Høy	> måned	Middels	Høy	Nei	
Hepatitt A	Høy	> måned	Middels	Høy	Nei	
Hepatitt E	Høy	> måned	Middels	Høy	Kanskje	
Norovirus og Sapovirus	Høy	> måned	Middels	Høy	Kanskje	Stor
Rotavirus	Høy	> måned	Middels	Høy	Nei	
Protozoer						
Acanthamoeba spp.	Høy	> måned	Høy	Høy	Nei	
Cryptosporidium	Høy	> måned	Høy	Høy	Ja	Meget stor
Cyclospora cayentensis	Høy	> måned	Høy	Høy	Nei	
Etamoeba histolytica	Høy	Uke - måned	Høy	Høy	Nei	
Giardia intestinalis	Høy	Uke - måned	Høy	Høy	Ja	Meget stor
Naegleria fowleri	Høy	Kan forøke seg i varmt vann	Høy	Høy	Nei	Ved økt temperatur?
Toxoplasma gondii	Høy	> måned	Høy	Høy	Ja	
Innvolssormer						
Draculalus medinensis	Høy	Uke - måned	Middels	Høy	Nei	
Schistosoma spp.	Høy	< uke	Middels	Høy	Ja	

De vanligste innrapporterte tilfellene av vannbårne sykdommer i Norge har tradisjonelt vært forårsaket av Norovirus eller *Campylobacter jejuni*, men etter utbruddet av giardiasis i Bergen i 2004 (Tveit *et al*, 2005 og Eikebrokk *et al*, 2006), hvor anslagsvis 5000-6000 personer ble syke, har det vært mye mer fokus på *Giardia intestinalis* (synonymt med *Giardia lamblia*) og *Cryptosporidium parvum*. I tillegg har det vært utbrudd med *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella*, *Shigella* og Hepatitt A virus, samt flere sykdomstilfeller med *Legionella pneumophila* (dråpesmitte til lungene), de sistnevnte også med dødelig utgang.

Det antas imidlertid at man har en stor grad av underrapportering av sykdom. Store og/eller alvorlige sykdomsutbrudd blir selvsagt registrert, men i forbindelse med små, mindre alvorlige utbrudd, samt der det kun smittes sporadiske enkeltindivider, er det antagelig store mørketall.

Typiske vannbårne patogener og deres betydning i vannforsyningen er vist i tabell 2. Denne kunnskapen endres imidlertid over tid både fordi kunnskapen om de ulike patogenene endres (det oppdages blant annet nye arter), og fordi enkelte arter endrer utbredelsesomfang og forekomst/hyppighet.

3.1.1. Bakterier

Campylobacter spp er det hyppigst registrerte agens ved drikkevannsbåret sykdom i Norge, der *C. jejuni* forårsaker de fleste sykdomstilfellene og *E. coli* resten av tilfellene. *Campylobacter*-sykdom er zoonotisk, og gir som regel en selvbegrensende diaré med moderat feber og influensalignende symptomer (Folkehelseinstituttet, 2004). Sykdomsfremkallende varianter av *E. coli* har vært hyppig årsak til dels alvorlige sykdomsutbrudd verden over der den mest vanlige sykdomsfremkallende serotypen er *E. coli* O157:H7 (Walkerton, Canada, 2000, er kanskje det meste kjente utbruddet, men heldigvis er det sjelden den gir vannbårne utbrudd). *Aeromonas* er vanlig forekommende i vassdrag, og den kan være årsak til sykdom fra drikkevann (direkte eller indirekte via mat). *Salmonella* kan smitte via vann, der de vanligste i Norge er *S. enteritidis* og *S. typhimurium*, mens *S. typhi* og *S. paratyphi* (tyfoid feber og paratyfoidfeber) forekommer sjelden i Norge i dag. *Shigella* kan forårsake bakteriell dysenteri, der *S. dysenteriae*, og *S. boydii* som oftest forekommer i utviklingsland, mens *S. flexneri* og *S. sonnei* er vanligst i Norge (Folkehelseinstituttet, 2004). Mange arter av slekten *Yersinia* forekommer i vann i Norge. Enkelte av disse er human patogener, som for eksempel *Y. enterocolitica*, som både er zoonotisk og kan vokse i vannmiljø ned mot 0 °C. Forekomst av *Vibrio cholera* (kolera) er derimot lite sannsynlig i Norge pga. lav vanntemperatur.

Helicobacter pylori og bakterier i *Archobacter*-slekten forekommer i vann. Disse forårsaker tynntarmsbetennelse, samt er assosiert med magesår og tynntarmskreft (Folkehelseinstituttet, 2004 og Guillot og Loret, 2010). *Francisella tularensis* (harepest/lemmensjuke) kan også smitte via vann.

En annen gruppe bakterier som også forårsaker bekymring er såkalte opportunistiske patogener bakterier. Det vil si bakterier som kan forårsake sykdom dersom de får gode vekstforhold og blir mange flere enn vanlig. Denne gruppen er spesielt farlige for personer med svekket immunforsvar. Eksempler på vannbårne opportunistiske patogener bakterier er for eksempel ikke-tuberkuløse mycobakterier, slik som *M. avium* og *M. intracellulare* som har forårsaket flere sykdomsutbrudd i USA (USEPA, 2005) og Vest-Europa (WHO, 2004). Andre eksempler er *M. chelonae*, *M. kansasii*, *M. marinum*, *M. fortuitum* og *M. ulcerans* (Folkehelseinstituttet, 2004), som også kan være ansvarlig for hudinfeksjoner og utvikling av for eksempel Crohn's sykdom (Guillot og Loret, 2010). *Pseudomonas aeruginosa* er en annen vanlig forekommende opportunistisk patogen i vann og biofilm.

Det er velkjent at *Legionella*, som er en heterotrof bakterie, formerer seg i vann og biofilm, spesielt ved høyere temperatur (20-50 °C). *L. pneumophila* er den vanligste serogruppen som forårsaker human sykdom, men også *L. micdadei* og *L. longbeachae* forekommer (Guillot og Loret, 2010). *Legionella* smitter ved inhalering, og utbrudd og enkelttilfeller av smitte kan komme fra kjøletårn, dusjanlegg, spa, basseng, osv. Det har vært flere alvorlig utbrudd av legionellose med dødelig utgang de siste årene, også i Norge. Det er i tillegg en rekke andre potensielt patogene bakterier som kan gi sykdom enten direkte fra vann/drikkevann eller fra vann via mat, som for eksempel *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *C. botulinum*, *Chryseobacterium*, *Empedobacter*, *Myroides* og *Sphingobacterium* (Folkehelseinstituttet, 2004). Enkelte av disse er resistente mot antibiotika og kan tåle høye klor- konsentrasjoner. Andre eksempler er slektene *Klebsiella* og *Listeria*, eller *Staphylococcus*, der *S. aureus* (gule stafylokokker) oftest forårsaker sykdom.

Felles for de opportunistisk patogene bakteriene beskrevet over er at det normalt trenger en vert (dyr eller smittet person) eller matvarer for å formere seg før de kan forårsake sykdom. Enkelte av disse kan riktignok overleve lenge i vann og i biofilm og dermed akkumuleres på utsatte steder i for eksempel ledningsnett selv om de ikke kan formere seg der. Noen patogene bakterier, og mange av de opportunistisk patogene bakteriene, kan imidlertid også formere seg i vann og biofilm hvis forholdene ligger til rette for det. Dette medfører selvsagt risiko for oppblomstring av enkelte patogene bakterier i ledningsnett, høydebasseng eller andre steder der vannet har lang oppholdstid og forholdene ellers ligger til rette for det, for eksempel høy temperatur, lett omsettelig organisk stoff, biofilm/slam, ingen eller lav konsentrasjon av desinfeksjonsmiddel, osv. For mange arter, slik som *E. coli* O157:H7, *H. pylori*, *Salmonella*, *Yersinia*, osv., har man lite kunnskap om evnen til å formere seg i for eksempel ledningsnett. For arter som for eksempel *Aeromonas*, *Pseudomonas aeruginosa*, *M. avium*, *M. kansasii*, osv, er det vel dokumentert at de kan formere seg i vann og ledningsnett (Guillot og Loret, 2010 og Ainsworth, 2004).

Cyanobakterier (blågrønnalger) og problemer med algetoksiner er nærmere beskrevet i eget delkapittel (kapittel 3.2.1).

3.1.2. Virus

Virus har ikke evnen til egen metabolisme og reproduksjon, og er således avhengig av en vert. Vann kan, til mennesker, kun spre virus fra andre mennesker (og fra dyr til dyr, bakterie til bakterie osv.). De fleste virus er vertsspesifikke og bare et fåtall fremkaller sykdom hos mennesker. Man regner med at det bare er virus med fekal-oral smittevei som har praktisk betydning når det gjelder vannbåren smitteoverføring for mennesker.

Calicivirus, spesielt slekten Norovirus (tidligere kalt Norwalk agent/virus), men for barn også slekten Sapovirus, er en svært vanlig årsak til human sykdom fra drikkevann i den vestlige delen av verden. Sykdommen fører til oppkast, diaré og magekramper, og i enkelte tilfeller feber og pustebesvær (Guillot og Loret, 2010). Den er imidlertid normalt mild og selvbegrensende. Vannbåren Norovirus forårsaker regelmessige sykdomsutbrudd både i Norge (Folkehelseinstituttet, 2004), resten av Europa, USA og Japan (Guillot og Loret, 2010). Norovirus har vært årsak til de fleste registrerte tilfeller av vannbåren sykdom i Norge i perioden 1988-2000 (Nygård, Gondrosen og Lund, 2003).

Rotavirus og Adenovirus er den vanligste årsaken til virussmittet magebesvær hos barn. Selv om en del av smitten kommer fra drikkevann, antas det at andre smitteveier er mer vanlig (Guillot og Loret, 2010). Vi er ikke kjent med at Adenovirus smitter via vann i Norge enda, men antar at det er sannsynlig at dette vil bli et problem også her med tiden. Enterovirus er en stor gruppe virus, for eksempel Coxsackievirus, Echovirus og poliovirus, der enkelte kan gi svært alvorlig sykdom (poliomyelitt, meningitt, osv.) mens

andre gir vanlig sommerinfluensa. Selv om virusgruppen forekommer hyppig i vann, og det har forekommet en del vannbårne utbrudd via drikkevann (Guillot og Loret, 2010), er andre smitteveier mer vanlige.

Sykdomsutbrudd på grunn av Hepatitt A virus (HAV) i drikkevann forekommer jevnlig i deler av verden. HAV gir leverbetennelse, men det er lenge siden vi har hatt drikkevannsbåret utbrudd i Norge. Hepatitt E virus (HEV) gir typisk oppkast, feber, magesmerte, leddsmerter, osv som varer 1-2 uker. HEV forekommer stort sett i tropiske og subtropiske strøk (Guillot og Loret, 2010).

3.1.3. Parasitter / protozoer

Etter giardiautbruddet i Bergen i 2004 (Tveit *et al*, 2005 og Eikebrokk *et al*, 2006), har det vært mye fokus på Giardia og Cryptosporidium i Norge. Det er også blitt dokumentert at disse organismene er vanlig forekommende i norske overflatekilder (Robertson and Gjerde, 2001 og Robertson *et al*, 2006).

Giardia intestinalis (synonymt med *G. lamblia* og *G. duodenalis*) har gitt store vannbårne sykdomsutbrudd både i Europa, Nord Amerika og Australia (Guillot og Loret, 2010). Det største skjedde i Bergen i 2004 der det ble laboratoriediagnostisert ca. 1500 tilfeller, men hvor det er anslått at 5000-6000 ble syke (Tveit *et al*, 2005 og Eikebrokk *et al*, 2006). En rekke ulike arter i slekten *Giardia* forekommer i forskjellige dyr. Enkelte genotyper av *G. intestinalis* er humanpatogene, men parasitten forekommer også i mange dyrearter. For de humanpatogene genotypene er infeksjonsdosen er lav, og smittede personer blir relativt syke med kraftig diaré, magekramper, tarmgasser, osv., som normalt varer 2 – 4 uker. Etter utbruddet i Bergen er det forholdsvis mange som har fått langtidsvirkninger i form av kronisk utmattelsessyndrom (ME).

Cryptosporidium er også en parasitt som gir sykdom hos mennesker i form av magekrampe, oppkast og feber. Sykdommen er normalt selvbegrensende og ufarlig for friske mennesker, men for personer med svært svekket immunforsvar er den farlig. *C. parvum* er den vanligste humanpatogene arten og forekommer i både mennesker og dyr, mens *C. hominis* kun forekommer i mennesker. Det blir også hevdet at *C. muris*, *C. meleagridis*, *C. felis* og *C. canis* kan smitte mennesker. Det skjer jevnlig utbrudd forårsaket av *Cryptosporidium* i drikkevann i verden. I november 2010 meldte over 12000 personer om mage-/tarmproblemer som følge av et utbrudd av cryptosporidiose (*C. hominis*) i Østersund, Sverige. Utbruddet antas å være forårsaket av feilkoblinger på nettet, slik at avløpsvann havnet i overvannsledninger og ble ført ut i vannkilden relativt nær råvannsinntaket. Vannbehandlingen hadde ingen fullverdig barriere mot parasitter.

Det er flere parasitter (protozoer og amøber) som kan gi alvorlig diaré og infeksjoner, for eksempel *Sacrocystis*, *Toxoplasma gondii*, *Isospora belli*, *Cyclospora cayetanensis*, *Microsporidia*, *Acanthamoeba*, *Entamoeba histolytica*, og *Naegleria fowleri* (Folkehelseinstituttet, 2004). Personer med svekket immunforsvar er ekstra utsatt. De fleste av disse forekommer over hele verden, også i Norge. I tillegg kan enkelte protozoer og amøber fungere som "rugekasse" for legioneller, og dermed gi forhøyede mengder av *legionella*.

Helmintene (rundormer eller nematoder), ikter (trematoder) og bendelormer (cestoder) kan også forekomme i drikkevann, men kun noen få kan overføres til mennesker via vann og gi sykdom, og enda færre er aktuelle ved våre breddegrader. Eksempler på forekomster i Norge er *cercarier* (ikte) som gir kløe og utslett hos badene (såkalt svømmekløe) og ulike arter bendelorm som f.eks. *T. echinococcus* og *D. latum*, eller *T. saginata* som er svært sjelden (Folkehelseinstituttet, 2004).

3.1.4. Muggsopp

Så langt vi vet, har ikke konsum av muggsoppholdig vann ført til akutt sykdom. På den annen side så er dette et relativt nytt forskningsfelt, og muggsopp i drikkevann har i stor grad blitt oversett som en helsemessig risiko. Generelt er det opp til 3 ganger mer muggsopp i overflatevann enn i grunnvann (Hageskal *et al.* 2006), og det er ofte gode levevilkår for muggsopp i distribusjonsnettenes biofilm. Tidligere forskning på emnet har i hovedsak fokusert på muggsopp som årsak til dårlig smak og lukt på drikkevann.

Ved Veterinærinstituttet ble forskningsprosjektet "Muggsopp i drikkevann" avsluttet i 2007. Totalt ble 106 ulike arter av muggsopp identifisert fra norsk vann. Prøvene ble tatt fra råvann og behandlet vann, samt fra punkter i privathus og sykehus knyttet til ledningsnettet ved 14 vannverk spredt over hele landet. I hovedsak er det arter tilhørende de dominerende slektene *Trichoderma*, *Penicillium* eller *Aspergillus* som er til stede i prøvene (Hageskal, 2008).

Blant muggsoppartene man har funnet i norsk drikkevann, har flere av dem sykdoms-fremkallende, toksiske og allergene egenskaper. For eksempel fant forskere ved Veterinærinstituttet *Aspergillus fumigatus* i 49 % av prøvene fra de undersøkte tappekranene ved Universitetssykehuset i Oslo. Denne arten har vært en av de mest signifikante patogene muggsopp som forårsaker infeksjon hos immunosupprimerte pasienter innlagt på sykehus (Hageskal *et al.* 2009).

Flere arter av både *Penicillium* og *Aspergillus* kan produsere mycotoksiner - også i vann. Mycotoksin produsert i vann blir naturlig nok svært fortynnet, men opphold i små og store reservoar, også flasker, kan øke innholdet av toksiner over tid. Et daglig inntak av små mengder mycotoksiner over flere år kan utgjøre en helserisiko.

Trichoderma viride har vist seg å være den mest dominerende arten i norsk drikkevann (Hageskal *et al.* 2006). Denne arten har vært assosiert med astma hos barn som lever i hjem med vannskade (Vesper *et al.* 2006). Videre har det lenge vært kjent fra Sverige og Finland at muggsopp i vann kan forårsake hudirritasjoner (Åslund 1984, Metzger and colleagues 1976).

Det er delte meninger om helserisiko forbundet med muggsopp i drikkevann og mer forskning på emnet er nødvendig for å kunne si mer om omfang, risiko og konsekvens. Det er allikevel slik at muggsopp i dag er generelt akseptert som en kilde til alvorlige helseproblemer, spesielt for mennesker med svekket immunforsvar. Den svenske drikkevannsforskriften inkluderer spesifikasjoner for muggsopp, og tilsvarende bør vurderes i Norge.

3.1.5. Analyser av indikatororganismer og patogener

Siden det er umulig å kontrollere drikkevannet for alle tenkelige patogene agens, analyserer man i stedet på indikatororganismer. Hva som er gode indikatororganismer avhenger av hvilke organismer de skal være indikator for, blant annet om de opptre i tilstrekkelig antall i avføring og hvilken overlevelse de har i vann. Bruk av indikatororganismer har selvsagt klare begrensninger siden de kun indikerer avføring, og de ikke har en direkte sammenheng med patogene agens.

Indikatorgruppen koliforme bakterier har blitt brukt som indikator på fekal forurensning. Den inkluderer en rekke tarmbakterier, men også noen bakterier som finnes naturlig i vann og jord, og den er derfor ikke lenger regnet som en god indikator på fekal forurensning. *E. coli* er den bakterien som finnes i størst antall i friske menneskers avføring, og indikerer derfor fersk avføring. Flere smittestoffer har imidlertid mye lengre overlevelsestid i vann enn *E. coli*. Intestinale enterokokker er en fekal indikatorgruppe

som overlever lenger i resipienten enn *E.coli*, og er derfor et godt supplement. *Clostridium perfringens* er en indikator som har vært benyttet på grunn av dens evne til å danne sporer og dermed kan overleve meget lenge i resipienten, men den er nå på vei ut fordi den kan forekomme naturlig i vann. Coprostanol er et fekal sterol som en rekke land har tatt i bruk som fekalindikator.

Dersom man ønsker å bestemme bestemte bakterier, virus eller protozoer, kan man generelt si at tradisjonelt for bakterier benyttes det membranfiltrering og dyrking i selektivt medium. For virus har det vært benyttet plateanalyse (plaque assay) med standard cellekultur, mens det for protozoer (*Cryptosporidium* og *Giardia*) er benyttet Fitra-Max™ filtrering eller tilsvarende, etterfulgt av en relativt komplisert analyseprosedyre som inkluderer immunimagnetisk separasjon (IMS) og immunofluorescence (IFA) (USEPA 1999). Det er imidlertid begrenset med agens og detaljnivå som kan bestemmes med disse metodene. Man utvikler og benytter derfor alternative og tilleggsmetoder som inkluderer for eksempel; farging etterfulgt av flowcytometri; ulike mikroskopieringsteknikker, inklusive fluorescens mikroskopi og ulike elektron mikroskopieringsmetoder (for eksempel SEM, AFM, osv.); molekylære metoder (for eksempel ulike PCR teknikker, RAPD, FISH, osv.); viabilitetstester og enzymatiske tester (for eksempel DAPI); osv. (Guillot og Loret, 2010). Selv om det har skjedd en rivende utvikling de senere årene, er det fortsatt et stort behov for utvikling av gode metoder for identifisering av arter, genotyping, viabilitetsbestemmelse, osv., av patogene og opportunistisk patogene agens i drikkevann.

3.2. Drikkevannskvalitet og kjemiske forbindelser

3.2.1. Algetoksiner og lukt/smak

Cyanobakteriene (blågrønnalger) finnes i ferskvann, brakkvann og saltvann og kan potensielt produsere en lang rekke toksiner som er skadelige for mennesker, i tillegg til stoff som påvirker lukt og smak. De er også relativt enkle å komme i kontakt med via inntak av vann eller aktiviteter i vann der disse organismene forekommer. Man har observert en stadig økning i oppblomstringer av cyanobakterier over hele verden. Ved siste opptelling i 2005 ble det rapportert at det var registrert oppblomstringer av cyanobakterier i 15 fylker i Norge, i 50 % av tilfellene var lever- og nervetoksiner tilstede (Folkehelseinstituttet, 2009). I følge modellforsøk hos Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) i 2008 (Tjomsland *et al.* 2008) vil cyanobakterier ha en fordel av de forventede klimaendringer, i hovedsak pga. økt årsmiddeltemperatur. Om dette forskyver konkurranseforholdet mellom sammensetningen av fytoplankton mot økt andel cyanobakterier kan det potensielt ha store konsekvenser for rekreasjon og drikkevannsforsyning. Allerede i dag ser man at innsjøer som Kolbotnvatn og Vansjø er påvirket av oppblomstringer av cyanobakterier, og det er sannsynlig at dette problemet vil øke i fremtiden (Tjomsland *et al.* 2008). Det er ikke lovpålagt å overvåke alger i drikkevannskilder, og vi har fortsatt ingen god oversikt over forekomstene av cyanobakterier i norske vannkilder (pers. medd. Thomas Rohrlack).

Av de ca. 1500 cyanobakterieartene som er registrert, produserer ca. 40 arter lever- og nervetoksiner. Det er her forskningen så langt har valgt å ha fokus. Men siden cyanobakteriene er gramnegative produserer de endotoksiner. Betydningen av endotoksiner er omdiskutert, men man kan bli syk med feber om man får endotoksiner inn i blodbanen, ellers brytes de ned i mage-tarm traktus. Mange cyanobakteriearter i ferskvann produserer også potente allergener, bla. *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Gleotrichia* og *Nodularia* (Folkehelseinstituttet, 2009). Symptomene omfatter allergiske reaksjoner som ligner på høyfeber, astma, hud-, øye-, og øreirritasjoner (Folkehelseinstituttet, 2009).

Cyanobakteriene produserer tre forskjellige typer levertoksiner (hepatotoksiner). Microcystin er muligens mest potent og kan i store doser skade leveren kraftig med påfølgende blodoppfropning og sirkulatorisk sjokk med døden som følge. Den kan også stimulere vekst og videre utvikling av forstadier til kreft (tumorpromosjon). Cyanobakteriene produserer også flere nervetoksiner. For eksempel vil store doser av *anatoksin-a* og *homoanatoksin-a* kunne resultere i krampe, redusert bevegelighet, gispende åndedrett, cyanose (blålig farge pga. dårlig oksygenert blod) og død. BMAA (*beta-N-methylamino-L-alanine*) produseres av flere cyanobakterier og angriper sentralnervesystemet (Folkehelseinstituttet, 2009). Andre toksiner som *Cylindrospermopsin* hemmer proteinsyntesen og kan føre til skader i en rekke organer som lever, nyrer og tarmepitel, mens *protrahert* toksin er en fortsatt ukjent forbindelse eller kombinasjon av stoffer som har en forsinket toksisk virkning uten at man kjenner dets struktur eller virknings-mekanisme (Folkehelseinstituttet, 2009).

Det er ikke satt grenseverdier for algetoksiner i drikkevannsforskriften. WHO har foreslått en grenseverdi for et av de mest toksiske mikrocytin vi kjenner til (mikrosystin-LR) på 0,3 µg/l (Folkehelseinstituttet, 2009).

Andre typer alger produserer stoffer som ikke er direkte helseskadelige, men som kan forringe drikkevannskvaliteten kraftig med ubehagelig lukt og smak. Geosmin og 2-MIB er eksempel på slike stoffer. Det må forventes økt fare for lukt/smak-problem som følge av klimaendringer.

Forsøk og pilotprosjekt så langt har vist at algetoksiner blir effektivt fjernet med aktivt kull i vannbehandlingen (Folkehelseinstituttet, 2009). Det samme gjelder for algeproduserte lukt/smak-stoffer.

Det er av interesse å få mer kunnskap om risikoen for algeoppblomstringer, algenes potensial for å penetrere vannbehandling, og prosesskriterier for fjerning av algetoksiner og lukt/smak-stoffer.

3.2.2. Naturlig organisk materiale

Humus er latinsk for "jord", og brukes ofte som synonym på naturlig organisk materiale (NOM). Humus stammer i hovedsak fra plantemateriale under nedbrytning i det øverste organiske jordlaget, og det tilføres overflatevann og grunnvann fra nedbørsfeltet ved avrenning eller oppstår i overflatevann fra råtnende planter eller alger.

De akvatiske humusstoffene deles inn i lite vannløslige humussyrer og lettløslige fulvussyrer. Akvatisk humus har ingen kjente direkte helseeffekter (Folkehelseinstituttet, 2009), men har en viktig sekundæreffekt siden det reduserer virkningen av desinfeksjon. Selv om humus er relativt harmløst, er det et uønsket stoff å ha i drikkevann da det kan føre til slamdannelse og dårlig smak og lukt, - det er ofte estetiske problem som vannverkene får klager på.

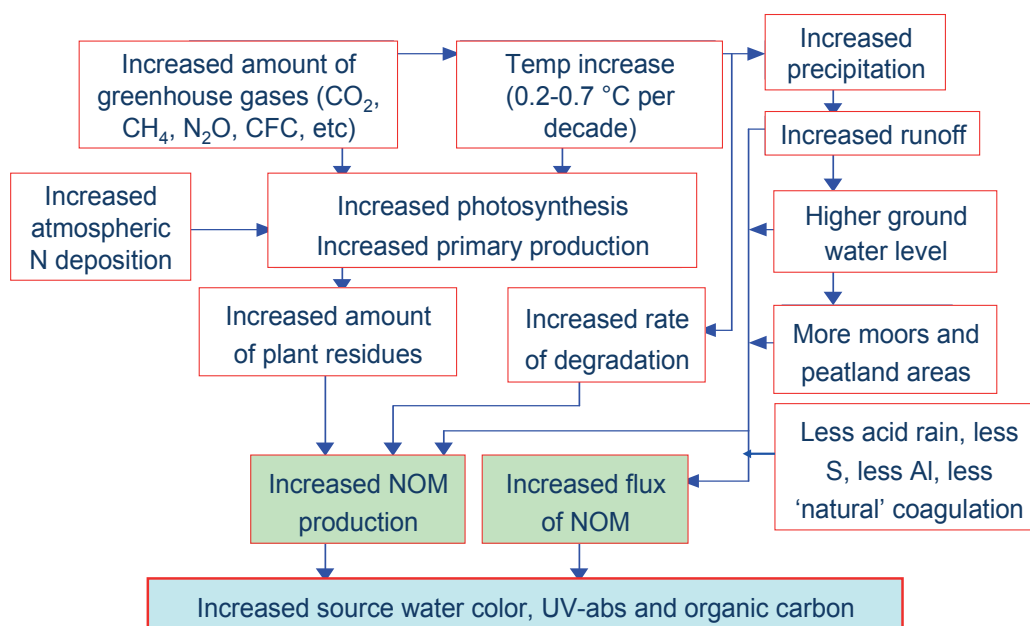
I de senere år er det observert at konsentrasjonen av NOM, og dermed fargen, øker i en rekke overflatekilder i Norge (Folkehelseinstituttet, 2009). Trenden er den samme over hele landet selv om det er regionale variasjoner. Dette tilskrives klimaendringer med økt årsmiddeltemperatur og årsmiddelnedbør som gir lengre vekstsesong og økt avrenning, i tillegg til kraftig høstnedbør. Mulige årsaker til NOM-økning i vannkilder er illustrert i figur 1.

Ny forskning fra Biologisk Institutt ved Universitetet i Oslo tilsier at i perioden 2071 - 2100 kan 34 % av alle innsjøene i Norge ha konsentrasjon av totalt organisk karbon

(TOC) over dagens grenseverdi på 5 mg C/l (pers. medd. Søren Larsen). (Dette er modellert ut fra et moderat klimascenario IPCC, B2 scenario for 2071 - 2100).

En stor del av klimaforskerne er i dag allerede av den oppfatning at IPCC sine mer alvorlige scenarioer, som A2 eller A1FI, antakelig ikke er tilstrekkelige for å forklare de endringene vi kan regne med vil skje i nær fremtid. Grunnen til dette er at man kan måle en raskere forandring i naturmiljøet enn man hittil har antatt, og at de tiltak som må iverksettes for å stagge denne utviklingen, lar vente på seg.

Teknisk sett vil det neppe være et problem å håndtere en drastisk økning i humusinnhold i råvann (se kap. 4), men det vil kunne innebære betydelige investeringer for å få en tilfredsstillende kvalitet på drikkevannet. Investeringer som nylig er gjort med vannbehandling, kan vise seg å være feilaktige eller utilstrekkelige.



Figur 1. Illustrasjon av mulige årsaker til NOM-økning i vannkilder (Eikebrokk (2009), modifisert etter Forsberg (1992) og Liltved (2002).

3.2.3. Uorganiske forbindelser

Uorganiske forbindelser finner sin veg til vårt drikkevann fra mange ulike kilder. Når nedbør renner over, og igjennom, jordsmonn og permeable bergarter løser det ut sporstoff av det meste det kommer i kontakt med. På denne måten vil overflate- og grunnvannskilder i hvert enkelt nedbørsfelt få sin egen unike kjemi.

I Folkehelseinstituttets "Miljø og helse – en forskningsbasert kunnskapsbase" 2008, blir mer enn 25 uorganiske forbindelser gjennomgått med kommentarer på eksponering, helseeffekter, risikokarakterisering og grenseverdier. Konklusjonen er at stoffene som omtales, generelt ikke representerer noen helsemessig risiko i norsk vannforsyning. Dette skyldes i hovedsak en rik tilgang til gode råvannskilder som det er mulig å beskytte mot forurensende aktivitet (Folkehelseinstituttet, 2008).

Det er allikevel slik at flere uorganiske forbindelser har potensial til å skape problemer og i noen få tilfeller utøve en helserisiko.

Kalsium og magnesium gir hva vi kaller vannets hardhet, og kan ved mengder >40 mg Ca/l forårsake estetiske problemer og forkalkninger i husholdingsapparater. I mange andre europeiske land er det ikke uvanlig med verdier >100 mg Ca/l.

Høye verdier av utløst mangan og jern fører også til estetiske problemer som dårlig smak og misfarging av klær ved vask, men er ikke forbundet med helsefare.

Antimon, arsenikk, bromat, beryllium, kadmium, og krom er noen eksempler på karsinogener, mens bly, cyanid, kadmium og kvikksølv kanskje er de mest kjente giftige uorganiske forbindelsene. FHI ser ikke at disse stoffene utgjør en helsemessig risiko via drikkevann i Norge, siden de i all hovedsak forekommer i svært små konsentrasjoner.

Det er fortsatt ca. 2900 km med asbestrør i norske ledningsnett, men det er ikke kjent at asbestfiber i drikkevann fører til økt kreftisiko (Folkehelseinstituttet, 2009). Radioaktive stoffer som uran, radon og tritium er heller ikke ansett for å utøve en helsemessig risiko i drikkevannssammenheng med unntak av stedvis belastede fjellbrønner (se kap. 3.2.4).

I mange land skaper opphopning av nitrogenforbindelser i grunnvann store problemer. Det kan bli dannet nitrat og nitritt som hos spedbarn kan forårsake sykdommen methemoglobinemi ("blå baby syndrom"), der blodet får nedsatt evne til å transportere oksygen. Drikkevann fra gravde brønner i jordbruksintensive områder kan inneholde mye nitrat. (Folkehelseinstituttet, 2008).

Jern og aluminium er blant stoffene brukt som flokkulanter i vannbehandling, men kan på samme tid utøve en forurensningsrisiko av sluttproduktet ved feil drifting av vannverket. Jern kan også felles ut fra duktile rør i ledningsnettet. Avhengig av pH i vannet og materialtype i røropplegget til den enkelte husstand kan man få utlekking av bly, kobber og sink.

3.2.4. Mineralutløsning til fjellbrønner

Ca. 200.000 mennesker i Norge får sitt drikkevann fra kilder i grunnfjell. I 2002 utførte Norges Geologiske Undersøkelse (Frengstad *et al.* 2002) en omfattende undersøkelse på vannkvaliteten i forskjellige grunnfjellområder i Norge (1604 prøver), i tillegg til 72 prøver fra brønner i kvartære løsmasseavsetninger. Generelt fant man at de kvartære avsetningene var mindre utviklet geologisk med en lavere pH, og radon- og fluorverdier godt under grenseverdiene.

På den annen side viste det seg at en betydelig andel av prøvene tatt fra brønner i grunnfjell ikke oppfylte kravene i drikkevannsforskriften. Prosentandelen som oversteg grenseverdier fra et representativt utvalg på n=476: pH 7 %, radon 17 %, fluor 16 %, natrium 1,5 %, jern 15 %, mangan 26 %, aluminium 3,8 %, sink 2,3 %, barium 8,4 %, arsen 1,5 % og uran 12 %. Uranvurderingen er gitt ved grenseverdi 30 µg/l, USEPA standard (WHO bruker 15 µg/l fordi WHO måler de toksiske egenskapene ved uran, ikke de radiologiske, noe som gir 21 % over grenseverdi).

NGU sitt arbeid fra 2002 viser at i ca. 60 % (283 av 476) av tilfellene i datasettet, inneholder grunnvannet konsentrasjoner av en eller flere uorganiske parametere over grenseverdiene. Høy konsentrasjon av radon i drikkevann kan øke risikoen for leukemi hos barn, lungekreft og kreft i mage/tarm (Mose *et al.* 1990 i Frengstad *et al.* 2002). Dental fluorose (flekkemalje) hos barn som drikker vann fra fjellbrønner er dokumentert fra Sør- og Vest-Norge (Bjørvatn *et al.* 1992, Bårdsen *et al.* 1999 i Frengstad *et al.* 2002). Høye uranverdier er relativt vanlig i Norges berggrunn, men det er ukjent hvilken egentlig risiko dette innebærer. Man regner uranets kjemiske effekter på nyrer etter lang tids bruk som mest bekymringsfullt.

3.2.5. Syntetisk organiske forbindelser

Syntetisk organiske forbindelser er en stor og kompleks gruppe stoffer som *ikke* naturlig hører hjemme i naturen.

Pesticider: Dette begrepet omfatter alle giftstoff som brukes for å beskytte spesielt, men ikke bare, avlinger og husdyr mot insekt (insekticid), sopp (fungicid), "ugress" (herbicid), gnagere (rodenticid) m.m. Mange pesticider er akutt giftige, og mange ble produsert med formål om å være effektive lenge, altså at de har en lang overlevelse i naturen før de blir brutt ned. Som eksempel er det ikke før nå at DDT og Aldrin, som ble forbudt for flere 10-år siden, har dukket opp i grunnvannsmagasiner i noen av Englands kalksteinområder (Grey, N. F., 2008). I Norge har det kun vært beskjeden bruk av disse midlene.

Organiske detergenter (syntetiske vaskemidler): Disse blir også brukt til en lang rekke formål, og ofte i stor skala innen industrien da hovedsakelig til avfetting og rensing av metall eller tørr rensing av tekstiler. Andre bruksområder er maling og lakkfjerning, og de inngår bl.a. i spraybokser, medisinsproduksjon og brannslukningsutstyr (Grey, N. F., 2008).

PAH (polynukleære/polysykliske aromatiske hydrokarboner): Dette er syntetiske stoffer som forekommer i sot, tjære, eksos fra kjøretøy og i forbrenningsprodukter fra andre fossile kilder som oljefyr i husstander. Av de over 100 forskjellige PAH som finnes, er nesten alle kreftfremkallende. Den mest potente er benzo-[a]-pyren (Grey, N. F., 2008).

PCB (polyklorerte bifenyler) er en gruppe syntetiske klorforbindelser som er giftige, tungt nedbrytbare og bioakkumulerende. I Norge har PCB vært forbudt siden 1980, men utlekking fra produkter som er blitt kastet, gjør at PCB fortsatt spres til miljøet (www.miljostatus.no). Det er i hovedsak i bygg- og anleggsbransjen at PCB har inngått som bl.a. mørteltilsetning, fugemasse og isolerglasslim.

Dioksiner og furaner: Polyklorerte dibenzo-p-dioksiner og dibenzofuraner kalles vanligvis dioksiner. Gruppen består av 75 ulike klorerte dioksiner og 135 ulike klorerte furaner, som alle har varierende giftige egenskaper. Alle forbrenningsprosesser der klor og karbon er til stede, er mulige kilder til utslipp av dioksiner. Eksponering for dioksiner kan blant annet føre til endringer i immunforsvaret, i forplantningsevnen og til utvikling av kreft (www.miljostatus.no).

De fleste av de overnevnte sub-gruppene av syntetisk organiske forbindelser har stoffer som med en fellesbetegnelse kalles hormonhermere. Navnet kommer av at stoffene på ulikt vis kan etterligne effekten av naturlige hormoner som østrogen, androgen og adrenalin, eller påvirke normale nivåer av slike hormoner eller virkningen av dem. Det diskuteres også om hormonhermere kan føre til redusert immunforsvar og gi skade på nervesystemet (Norvar, 2005). Det er blitt funnet små mengder av stoffer fra alle de overnevnte grupper i drikkevannskilder i Norge. I 2000 kontrollerte Folkehelseinstituttet drikkevann i bl.a. Sande, Trondheim og Ålesund for dioksiner, og i perioden 1998–2000 ble det gjennomført en systematisk kartlegging av plantevernmidler i 88 drikkevannskilder (overflate og grunnvann). Av de totalt 280 prøver som ble analysert, fant man rester med svært lave verdier av plantevernmidler i 21 prøver (Folkehelseinstituttet, 2009). Folkehelseinstituttet har konkludert med at nivåene ikke var helsemessig betenkelige. Statens forurensningstilsyn fant i perioden 2003–2004 uventede høye verdier av bromerte flammehemmere og PFOS (perfluoralkylstoffer) i prøver fra Mjøsa, men Vitenskapskomiteen for mattrygghet fant, fra et begrenset antall analyser, ingen grunn til bekymring med tanke på drikkevannskvaliteten (Norvar, 2005).

Under normale forhold vil inntak via mat på lang vei overskygge effekten av hva vi får i oss fra drikkevann, men problemet ligger i disse stoffenes kompleksitet og hvordan de

samvirker. "Coctailleffekten" av disse stoffene er antatt å kunne mangedoble deres kreftfremkallende potensial i forhold til potensialet hvert enkelt stoff har i seg selv (Grey, N. F., 2008). Vitenskapskomiteen for mattrygghet konkluderte i sin rapport fra 2008: "Kombinerte effekter av kjemiske stoffer i mat og drikke" at coctailleffekter i praksis er et lite problem i Norge.

Utviklingen fra 50 – 60-tallet til i dag har gått mot bedre kontroll og strengere restriksjoner når det gjelder bruk av syntetisk organiske forbindelser, og det er grunn til å tro at dette vil fortsette med økt kunnskap om deres negative virkning på naturmiljøet. I Norge må f.eks. plantevernmidler godkjennes av Mattilsynet og vi har i dag ca. 120 godkjente produkt, mens EU landene har ca. 700 (www.matportalen.no). Mindre tungindustri, økt overgang til økologisk landbruk og nye rentbrennende vedovner vil ytterligere bedre miljøet i Norge og redusere risikoen for syntetiske organiske forbindelser i drikkevannskilder i fremtiden. På den annen side så er det risikoer knyttet til utlekking av flyktige organiske forbindelser (VOC) blant annet fra PVC-, HDPE- og PEX-rør i ledningsnett for drikkevannsforsyning vi med fordel burde vite mer om (se bl.a. Hem, L. J., 2002 og Sjevraak, I., 2000 og 2002), i tillegg til de nevnte coctailleffekters virkning over tid.

3.2.6. Legemiddelsubstanser

Intensiv forskning på farmasøytiske sporstoffer i miljøet startet for ca. 15 år siden. Siden da har et stort utvalg av kunnskap blitt publisert om emnet (Kümmerer, 2009). Man kjenner til eksempler der legemiddelsubstanser i vann har hatt negative effekter på miljø. Mest kjent er antakelig østrogen sin virkning på fisk, men man har ikke funnet aktive farmasøytiske ingredienser (API) i drikkevann i så store mengder at man kan si noe om dets effekt på mennesker (Keil *et al.* 2008). Generelt finner man mer legemiddelsubstanser i overflatekilder enn grunnvannskilder (Keil *et al.* 2008).

Norge omtaler ikke API i drikkevannsforskriften. Heller ikke EU sitt drikkevannsdirektiv (98/83/EC) har innført grenseverdier for API, men det finnes retningslinjer; Guideline on the environmental risk assessment of medicinal products for human use. EMEA 2006. For Norge sin del har dette vært grundig vurdert, og konklusjonen er at vannmengdene i norske vassdrag og fjorder gjør problemstillingen uaktuell for mennesker (pers. medd. Truls Krog, Folkehelseinstituttet).

Sverige har innført et klassifiseringssystem på legemiddelsubstansers miljøpåvirkning (www.Fass.se). Man regner med å ha gått igjennom alle legemiddelgrupper innen 2010. Bransjeorganisasjonen LIF – de forskande läkemedelsföretaken har ledet dette arbeidet og sier videre at "det vi vet i dag er at de svært lave nivåer av legemiddelsubstanser som måles i det svenske miljøet, ikke har noen umiddelbare negative effekter på dyr og planter. Risikoen for langsiktige effekter er også lav, men det finnes et fåtall studier der effekt kunne påvises." Norge har færre innbyggere, og mer spredt bebyggelse så vi kan anta at LIF sin observasjon også er gyldig for vår situasjon.

På oppdrag fra Statens Forurensningstilsyn (SFT) i 2006 gjennomførte Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) en risikoanalyse av 11 utvalgte farmasøytiske substanser. 5 av disse oppnådde en risikokvotient > 1 jfr. EMEA retningslinjene. MEC (measured environmental concentration) for ciprofloxacin utslipp ved norske avløpsrensaneanlegg var det eneste man i denne undersøkelsen kunne si var potensielt miljømessig bekymringsfullt (Grung *et al.* 2007).

Selv om vi har fått mye ny viten om emnet det siste tiåret, er det fortsatt for lite til å kunne utøve nøyaktige risikovurderinger og forvalte risikomoment på en skikkelig måte. Det er fortsatt behov for å fylle tomrom i vår kunnskap (Kümmerer, 2009).

3.3. Fremtidige scenarier

Vi har i denne rapporten valg å vektlegge ett hovedscenario (scenario 1) som vi ut fra litteraturstudier av klimarapporter, mener er det mest relevante for kvaliteten av vann i norske kilder; - at været blir *"villere, varmere og våtere"*. Klimaforskningen har i den senere tid også fokusert på at svingningene kan bli større, dvs. at det også kan oppstå perioder som er kaldere og tørrere enn normalt flere steder, med mer frost og lavere grunnvannstand.

Kombinert med endret menneskelig aktivitet og ny viten utgjør dette egne scenarier som absolutt kan skje samtidig, eller med varierende grad av samvirkning, med ulike konsekvenser for det enkelte vannverk. Scenario 1-4 presentert under er å anse som parallelle utviklingslinjer.

Skulle det være slik at det blir svært liten klimatisk endring, faller forutsigelsene i denne rapporten bort og et "business-as-usual" scenario (her kalt "scenario 0") vil være tilstrekkelig. Skulle det vise seg at endringene blir svært ekstreme, svært raskt, vil man se seg nødt til å iverksette et helt arsenal av verktøy på nasjonalt nivå som går utenpå rammene for foreliggende rapport. Følgende scenarier bygger på det foregående i kapittel 2 og 3.

Scenario 0:

Status Quo. Ingen spesielle endringer i ytre påvirkninger.

Om man ikke blir utsatt for endrede "ytte" faktorer, er det allikevel slik at det finnes "indre" faktorer som er en utfordring. Disse vil være der om man ikke får spesielt mange flere utfordringer å stri med, og komme som et tillegg dersom det skulle vise seg at f.eks. klimaendringer fører til en negativ innvirkning på råvannskvaliteten.

Det er organisatoriske problemer som omtalt i kap. 2.2.1, som vi regner som den største utfordringen under et 0-scenarie. Det er en klar "forgubbingstendens" i VA-sektoren, og mangel på kvalifisert arbeidskraft innen drifting av vannverk er sannsynlig om ikke flere blir utdannet for å overta jobbene til de som går av med pensjon. VA-sektoren har så langt ikke vert tydelige nok med å profilere seg for unge som skal velge utdanning.

Dessuten vil ny viten om skadelige stoffer og helsemessig virkning, bedre analysemetoder og derav strengere eller endrede krav fra helsemyndighetene, i seg selv gi utfordringer for drikkevannsforsyningen (ref. scenario 3).

Scenario 1:

Klimaet blir mer variabelt, med generelt økt årsmiddeltemperatur, nedbør og avrenning.

Dette fører med seg en hel rekke endringer som vannverkene må ta høyde for i fremtidig planlegging, design og drifting:

- Økt fargetall (NOM) i overflatevann
- Økt turbiditet i overflatevann, spesielt i elver og bekker ved flom
- Større variabilitet i vannføring og større flomtopper
- Lavere til fraværende sprangsjikt i innsjøer
- Forlengede sirkulasjonsperioder i innsjøer
- Redusert barriereeffekt i innsjøer
- Perioder med lavere grunnvannstand

- Endring i O₂/CO₂-balanse i tjern og grunnvann
- Økende jern- og manganinnhold i tjern og grunnvann
- Økende problemer med lukt og smak
- Nåværende vannbehandlingsprosesser kan bli utilstrekkelig raskt
- Dagens nyere vannverk kan ha valgt feil prosess
- Økende problem med ettervekst av biofilm i ledningsnettet.

Mange i Norge får sitt drikkevann fra brønner, hvorav ca. 200,000 personer får fra fjellbrønner som ofte kan ha en dårlig naturlig desinfeksjonsevne. Økt nedbør og avrenning i store deler av året, eller lengre tid med tørt vær i enkelte perioder, er ventet å kunne føre til økt forurensningsrisiko for disse da tilbakeholdelsen av mikroorganismer er sterkt avhengig av ulike klima- og grunnvannsforhold. Man kan også forvente lengre perioder med frost og lite nedbør med kapasitetssvikt i fjellbrønner og grunne løsmassebrønner som resultat.

De forventede klimaendringene vil også legge større press på infrastrukturen som skal håndtere distribusjon av drikkevann, overflatevann og avløp. Dette omtales i andre Norsk Vann rapporter og vil ikke bli berørt ytterligere her.

Scenario 2:

Nye patogene mikrober vil dukke opp i norske drikkevannskilder som følge av økt temperatur (endrede livsvilkår) og ubevisst "import".

Mange mikroorganismer er vi kjent med, og under dagens forhold er de fleste vannverk i stand til å håndtere disse på en tilfredsstillende måte. Det vil allikevel være klokt å forholde seg ydmyk til hva mikroorganismer kan være i stand til. For ikke lenge siden trodde man at *Cryptosporidium* og *Giardia* ikke ville bli et problem i Norge. I dag vet vi bedre når det gjelder disse og flere, men hva kan man ellers vente seg?

- Økt artsdiversitet og antall mikrobiologiske patogener
- Endrede limnologiske samfunn
- Nye virus
- Parasitter og amøber som er nye i norsk sammenheng
- Dannelse av toksinproduserende cyanobakterier i flere drikkevannskilder.
- Økt behov for hygienisk barrierevirkning i vannbehandlingen.

Hva som vil skje i naturen som følge av en omstilling til et endret klima, og mulig innførsel av nye arter, enten via ubevisst import eller ved naturlig suksesjon, er i stor grad ukjent. Man kan risikere at hele samfunn endrer karakter som følge av varmere vann. Den biologiske balansen kan bli forandret, og man har i liten grad kjennskap til hva man kan forvente seg av en slik omstillingsprosess til en ny likevekt mellom arter som holder til i drikkevannskildene.

Scenario 3:

Vi vil få kjennskap til nye risikoelementer som følge av ny viten innen forskning og analysemetodikk.

Nye, bedre og flere vannanalyser:

Behovet for å vite mer og den teknologiske utvikling vil gi oss bedre, nøyaktigere og kanskje raskere analysemetoder. Det forventes at vannverkene i enda større grad enn nå vil etterspørre akkrediterte vannanalyser ved laboratoriene for flere parametre, for å sikre seg korrekt dokumentasjon og bedre tiltaksgrunnlag. Det kan bli behov for hyppigere analyser på parametre – mikrobiologiske, fysisk/kjemiske og sensoriske – som hittil er blitt analysert sjelden, eller det kan bli behov for analyser av parametre som pr. i dag ikke er dekket i drikkevannsforskriftens parameterliste. Installasjon av on-line

analyseinstrument, gjerne utstyr som allerede finnes på markedet til en relativt høy pris, kan bli ønskelig eller påkrevet på langt flere vannverk, f.eks. for TOC, AOC, UV-transmisjon og farge. Ny kunnskap gjennom nye, bedre og flere råvanns- og rentvanns-analyser kan medføre behov for tiltak ved vannverkene, f.eks. i vannbehandlingen.

Bedre kunnskap om det kjemiske kretsløp:

Det er ikke alle kjemiske kretsløp vi kjenner til i detalj. Vi må ta høyde for at det kan komme uforutsette endringer knyttet til et endret klima. Som eksempel fant NORKLIMA-prosjektet at den økte tilførselen av "gjødse" i form av økt nedbør og dermed økt nitrogennedfall i naturlige landskaper, kan bidra til redusert planteproduksjon i elver og innsjøer der fosfor er begrensende næringsstoff. Man regner med at forklaringen på dette ligger i at mer nitrogen fører til økt plantevekst på land, som igjen fører til at mindre næringsstoffer som fosfor og silisium, havner i vann, og slik reduseres planteveksten der.

Bedre kunnskap om vannverkenes evne til å tilpasse seg endrede forutsetninger:
PREPARED – EU-prosjekt vedr. klimakonsekvenser for VA-verk

Bedre kunnskap om forekomst og spredning av virus gjennom drikkevann:
VISK – Skandinavisk samarbeidsprosjekt

Bedre kunnskap om grunnvann og tilbakeholdelse av mikroorganismer i grunnen:
The Water Supply and Technology Platform (EU) – a common vision for water innovation.

Scenario 4:

Omstillingsbehov som følge av nye, generelle samfunnskrav.

Det forventes større krav i samfunnet til effektiv og miljøvennlig ressursbruk. Dette vil også smitte over på vannverkene – pumpeanlegg, behandlingsprosesser og generell drift. Konkrete forhold det kan bli fokus på, er:

- Energiøkonomisering – strømforbruk, energigjenvinning, transport.
- Slamproduksjon i vannbehandlingen – utslipp, håndtering og bruk.
- Biprodukter i drikkevannet etter kjemikalietilsats (klor, koagulanter, m.m.)

Videre forventes økt forbrukerbevissthet og økte krav til åpenhet og dokumentasjon av drikkevannsleveransen. Kundenes krav om god og trygg drikkevannskvalitet vil øke. Som følge av dette må vannverkseiere lage gode system og retningslinjer for informasjon til kunder og massemedia, og presentere og gi innsyn i data som tidligere var interne eller kun kommunisert til tilsynsmyndighetene.

4. Drikkevannsbehandling relatert til nye utfordringer

I denne delen av rapporten gjør vi en vurdering av hvordan dagens benyttede vannbehandlings- og desinfeksjonsmetoder i Norge vil kunne håndtere de definerte framtidige trusler og scenarioer. Videre vurderes også hvilke - i norsk sammenheng - nye vannbehandlingsmetoder og -sekvenser som kan bli aktuelle å ta i bruk framover.

Selv om vi har hatt store utfordringer på drikkevannssiden også i Norge, har vi vært forskånet for mange av de problemstillinger man har hatt i mange andre land. Dels har vi hatt god tilgang på vann de fleste steder, dels er den hygieniske råvannskvaliteten i Norge generelt god både sett i et globalt og europeisk perspektiv. De vannbehandlingsprosesser vi benytter, er dermed relativt enkle og rimelige – selv om vannverkseiere sikkert har sett utfordringene og kostnadene som store nok.

Spørsmålet er om vi allerede nå må begynne å tenke annerledes, samt utvide vår kompetanse innen drikkevannsbehandling. Vi trenger nødvendigvis ikke bygge om eller utvide eksisterende prosessanlegg i dag for noe som kan oppstå i framtiden, men vi bør tilrettelegge nye vannbehandlingsanlegg for en verre og mer ustabil råvannskvalitet enn de historiske data vi oftest baserer våre prosessvalg og vår dimensjonering på.

Det billigste på kort sikt trenger ikke bli billigst på litt lengre sikt. Marginale utbyggingsløsninger for å løse dagens problem, kan bli problematiske om kort tid. Feilvurderinger er dyrt. Ikke minst ved valg av drikkevannskilder må man tenke framtidsrettet. Det er normalt enda mer kostbart å velge feil drikkevannskilde enn å velge feil vannbehandlingsprosess. Eller for å si det på en annen måte: Valg av en potensielt dårlig drikkevannskilde kan etter hvert gi store utfordringer på vannbehandlingssiden.

4.1. Kort situasjonsbeskrivelse

Det har vært en storstilt utbygging av utvidede vannbehandlingsanlegg ved de fleste store vannverkene i Norge de siste årene for å gi abonnentene et sikrere og bedre drikkevann, og tilpasse seg drikkevannsforskriften og Mattilsynets krav.

De fleste av de større kommunale vannverkene, som alle (med ett unntak i Lillehammer) henter vann fra overflatevannkilder, har investert eller investerer nå i store koagulerings- og filtreringsanlegg for fargereduksjon og for – sammen med UV-desinfeksjon – å oppnå to hygieniske prosessbarrierer. Dette gjelder f.eks. ved hovedvannverkene i Harstad, Trondheim, Kristiansund, Ålesund, Molde, Bergen, Kristiansand, Arendal, Grimstad, Porsgrunn, Larvik og Oslo. I Fredrikstad, Sarpsborg, Moss (MOVAR) og Nedre Romerike har man hatt vannverk med koagulerings-filtrering i mange år.

Noen unntak finnes. For eksempel har Glitrevannverket i Drammen, Asker og Bærum vannverk, Hamar vannverk (HIAS), Eikernanlegget i Vestfold (VIV) og IVAR i Rogaland kilder og kildesikring som har gjort det tilstrekkelig med klordosering og nye UV-anlegg – dvs. to-trinns desinfeksjon – for å få vannverkene godkjent. Ved Skien vannverk med Norsjø som kilde har man valgt utvidet vannbehandling med ozonering/biofiltrering, karbonatisering, UV-desinfeksjon og kontinuerlig klorering for hygienisk sikring og fargereduksjon. I Kongsberg infiltrerer man råvann fra Numedalslågen i stedlige masser før det pumpes opp igjen som grunnvann, karbonatiseres, desinfiseres og distribueres til abonnentene.

Ved mange mindre vannverk har man funnet egnet grunnvann i løsmasser i passende nærhet, og gjennom pH-regulering og evt. desinfeksjon fått et godt og akseptabelt

drikkevann. Økende mangan- og jerninnhold har imidlertid vist seg å bli en utfordring ved mange grunnvannsverk.

Det er ikke få av de små og mindre overflatevannverk i Norge som har innført membranfiltrering for fargereduksjon og hygienisk sikring. Disse fungerer i mange tilfeller bra, men enkelte steder har tilslamming (fouling) med kapasitetsreduksjon som resultat, og membranbrudd og gjennomslag, medført alvorlige problem.

Fortsatt er det mange små, gjerne private vannforsyningssystem i Norge som ikke tilfredsstiller forskriftskrav. Det være seg fjellbrønnenanlegg med dårlig hygienisk sikring, eller tjern- og bekkeinntak uten noen form for behandling, knapt nok desinfeksjon. Disse vil være spesielt utsatt ved en forverring i råvannskvaliteten.

Vår klare erfaring er at Mattilsynets godkjenning og tilsynspraksis varierer fra sted til sted, og at vannverksgodkjenninger enkelte steder muligens er gitt på sviktende grunnlag og etter vurderinger det kan stilles spørsmålstegn ved. Det er utvilsomt mange godkjente vannverk som raskt vil få alvorlige drifts- og kvalitetsproblem dersom råvannskvaliteten endres f.eks. pga. ekstremværhendelser, økt avrenning og/eller mikrobiologisk forurensning.

4.2. Vannbehandlingsprosesser

Det finnes flere vannbehandlingsprosesser som benyttes på norske vannverk. Vi vil her fokusere på prosesser som endrer vannets fysiske karakter, så som å redusere innholdet av partikler og organisk stoff – herunder farge og turbiditet – i tillegg til å virke som hygienisk prosessbarriere. I Norge dreier det seg i all hovedsak om koaguleringsanlegg, ozonering/biofiltrering og membranfiltrering.

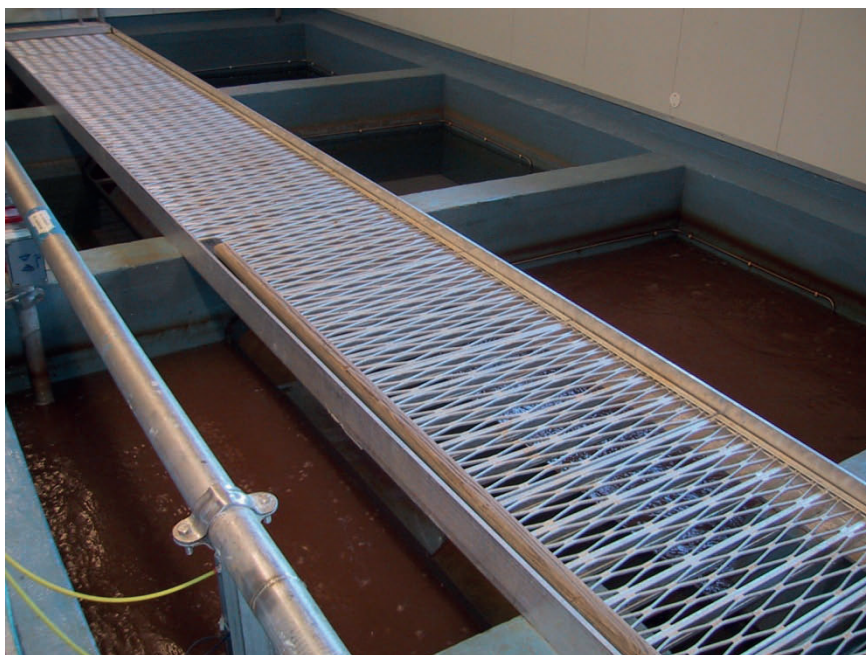
4.2.1. Koagulering og filtrering

Begreper og prosessutforming

Koagulering og filtreringsprosesser innebærer i hovedsak kontakt- og direktefiltreringsprosesser. I tillegg inngår Actiflo-prosess der man tilsetter finsand i tillegg til koagulant før slam-sedimentering og sluttfiltrering – slik som ved Oset vannverk i Oslo, i denne prosesskategorien.

Kontaktfiltrering omfatter prosesser der vannet behandles i et filter etter at man har tilsatt et koaguleringsmiddel (aluminium- eller jernsalt, evt. kitosan), mens direktefiltrering i tillegg har et flokkuleringstrinn mellom koagulering og filtertrinn.

De vanligst anvendte filtersenger består normalt av to eller flere ulike filtermedier, eksempelvis to-media (2-M) anthrasitt- og sandsenger, eller 3-M senger med anthrasitt, sand, og knust marmor. Som alternativ til anthrasitt kan anvendes Filtralite™, et materiale som også kan anvendes alene i to eller flere fraksjoner (filterlag) med ulik kornstørrelse og densitet (Filtralite Mono-multi™). Grunnet den store interne porøsiteten vil Filtralite-korn normalt gi lavere trykktap enn anthrasitt med samme korngradering og lagtykkelse.



Figur 2. Kontaktfilter under filterspyling.

Barriereeffekt og log-reduksjon i koagulering og filtreringsprosesser

Godt drevne koagulering og filtreringsprosesser vil normalt utgjøre en effektiv hygienisk barriere. Drikkevannsforskriftens veileder definerer følgende indikatorparametere og parameterverdier for god barriereeffekt i koaguleringsanlegg:

Tabell 3. Indikatorparametere for hygieniske barrierer i vannbehandlingsanlegg med koagulering (Mattilsynet 2005)

Aluminium	Milligram/l	< 0,15	Gjelder når aluminium benyttes som koaguleringsmiddel.
Jern	Milligram/l Fe	< 0,15	Gjelder når jern benyttes som koaguleringsmiddel.
Farge	Milligram/l Pt	< 10	Ved Al eller Fe koagulering bør verdien normalt være <5.
Totalt organisk karbon (TOC)	Milligram/l C	< 3,0	Skal i flg. tabell 3 i forskriften måles når levert vannmengde er større enn 10.000 m ³ /døgn. Ved mindre vannmengder er det valgfritt om man vil måle TOC eller COD-Mn. Indikatorverdien er den samme, men enheten blir forskjellig.
Turbiditet	FNU	< 0,2	Gjelder utløp fra hvert enkelt filter. Parameteren bør om nødvendig overvåkes kontinuerlig for hvert filter.
Partikkelantall	Antall partikler fra 2-400 mikrometer/ml	< 500	Gjelder utløp fra hvert enkelt filter. Parameteren bør om nødvendig overvåkes kontinuerlig for hvert filter.

Økte temperaturnivåer, økte nedbørmengder og økte nedbørsintensiteter vil kunne innebære nye og økte forekomster av mikroorganismer/patogener i vannkildene, noe som ytterligere forsterker behovet for effektive og stabile barrierer.

Effektive barrierer mot (høye log-reduksjoner av) ulike mikroorganismer og patogener er imidlertid betinget av at driften er optimal. Dette gjenspeiles i rapporterte data fra litteraturen der oppnådde log-reduksjoner av ulike mikroorganismer og patogener

(og/eller surrogatpartikler for slike) varierer mye fra forsøk til forsøk på grunn av ulike driftsforhold. Variasjonene er også store i løpet av en typisk filtersyklus, med redusert barriereeffekt/log-reduksjon under filtermodning og nær gjennombrudd. Barrieresvikten kan imidlertid bli mye verre i perioder med hel eller delvis svikt i koaguleringen. I det amerikanske lovverket gis kontakt- og direktefiltreringsprosesser en kredit på 2-log reduksjoner, mens konvensjonell filtrering (koagulering, flokkulering, sedimentering og filtrering) gis en 2,5 log kredit.

Man har imidlertid i liten grad undersøkt hvorvidt en NOM-kontrollert koagulering med høye koagulantdoser og streng pH-kontroll ("Enhanced coagulation") påvirker dette bildet. Ei heller har man undersøkt eventuelle effekter av en kontaktfiltrering, der adsorpsjon til filtersengens avsetninger av metallhydroksider synes å være en dominerende avskillingsmekanisme. Det faktum at man i Norge anvender NOM-kontrollert ("Enhanced") koagulering og kontaktfiltrering burde derved tilsi høyere log-reduksjoner.

Forsøk har vist at det er restkoagulantinnholdet (Al, Fe) som normalt er bestemmende for nødvendig koagulantdose på anlegg med 2-M anthrasitt-sandfiltre. I anlegg med 3M-filtre med alkalisk bunnlag og anlegg med separat alkalisk etterfiltrering vil det alkaliske laget normalt fjerne metallisk rest-koagulant effektivt. Dette gjelder i særlig grad Fe, og det bør derfor avklares i hvilken grad slike anlegg muliggjør redusert koagulantdosering uten at dette går på bekostning av barriereeffekt og log-reduksjoner.

Disse forholdene bør undersøkes nærmere i egne studier, gjerne i regi av Norsk Vann. De er ikke bare viktige i et drifts- og sikkerhetsperspektiv, men også i et bærekraftperspektiv der samfunnet setter stadig strengere krav til at ressursene anvendes effektivt, enten det dreier seg om kjemikalier, gasser, energi eller penger.

NOM-økning og koagulering

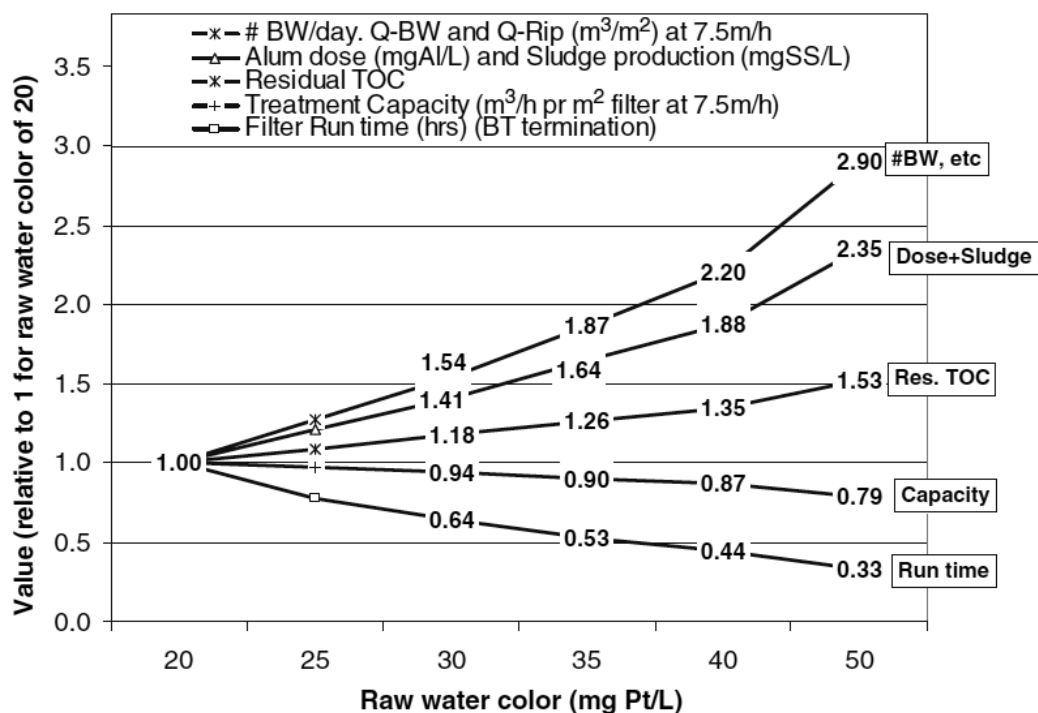
Flere studier har vist at råvannets innhold av naturlig organisk stoff (NOM) er bestemmende for koaguleringsforholdene. For norske råvannskilder med betydelig NOM-innhold og lav turbiditet (< 1-2 NTU) vil dette stort sett alltid være tilfellet.

Figur 3 viser resultater fra en lang rekke pilotforsøk med kontaktfiltrering av råvann med ulike NOM-innhold (fargetall) der man har kartlagt og kvantifisert effektene av økt råvannsfarge på noen sentrale drifts- og vannkvalitetsparametere. Forsøkene er basert på koagulering med aluminiumsulfat uten bruk av polymer, og 2-M anthrasitt-sandfiltrering med hastighet 7,5 m/time. Resultatene viser hvordan de angitte parameterverdier endres når råvannsfargen økes relativt til en utgangsfarge på 20 mg Pt/l.

Resultatene fra disse forsøkene viser at en økning av råvannsfarge fra 20 til eksempelvis 30 mg Pt/l vil medføre følgende (Eikebrokk *et al.* 2004):

- 1) Antall filtersykluser pr. døgn og mengde modningsvann øker med en faktor på 1,54.
- 2) Nødvendig koagulantdose og mengde produsert slam øker med en faktor på 1,41.
- 3) Rest-TOC øker med en faktor på 1,18 (etter at koagulantdosen er økt med 41 %).
- 4) Behandlingskapasiteten reduseres til 94 %, og filtergangtiden (terminert av gjennombrudd) reduseres til 64 % av de oppnådde verdier ved råvannsfarge 20.

Disse resultatene illustrerer fremtidige driftsmessige utfordringer i koagulerings- og filtreringsanlegg forårsaket av en klimadrevet økning av NOM-innholdet i norske vannkilder.



Figur 3. Kvantifiserte effekter av økt råvannsfarge på koagulering og kontaktfiltreringsforhold (Eikebrokk et al. 2004).

NOM sammensetning

Det er ikke bare *konsentrasjonen* av NOM målt som TOC, farge eller UV-absorbans som er bestemmende for dimensjonering og driftsforhold av ulike prosesser og for dannelse av ulike desinfeksjonsbiprodukter som eksempelvis trihalometaner (THM) og halogenerte eddiksyre (HAA). Også *sammensetningen* av NOM har stor betydning, og det er derfor i senere tid utført mye arbeid for å karakterisere NOM og knytte en slik karakterisering til behandlingsbarhet og optimaliserings tiltak.

I Norge er det særlig metoder for NOM-fraksjonering og bestemmelse av bionedbrytbar organisk karbon (BDOC) som er blitt anvendt i stadig større grad de siste 5-10 år som verktøy for diagnose og optimalisering av vannbehandlingsprosesser (Eikebrokk og Thorvaldsen, 2010).

En slik hurtigfraksjonering av NOM deler vannets oppløste organiske karbon (DOC) inn i fire ulike fraksjoner:

- 1) Svært hydrofob syre, VHA
- 2) Svakt hydrofob syre, SHA
- 3) Ladet hydrofilt materiale, CHA
- 4) Nøytralt hydrofilt materiale, NEU

VHA og SHA utgjøres av de typiske og sterkt fargede humus- og fulvussyrer som normalt dominerer DOC-innholdet (70-90 %) i de fleste norske vannkilder. De hydrofile fraksjonene er mer lavmolekylære og utgjøres av organisk materiale fra alger, bakterier, bakterierester, etc.

De typiske *hydrofobe humusfraksjoner* (VHA, SHA) vil i stor grad være bestemmende for nødvendige koagulantdoser og for dannelsen av desinfeksjonsbiprodukter som THM og

HAA. Disse fraksjoner utgjøres i hovedsak av organisk materiale (løvnedfall, etc) som brytes ned i nedslagsfeltet og transporteres til vannkilden. Siden de hydrofobe NOM-fraksjonene også er de mest fargede fraksjoner, vil innholdet av disse fraksjonene også være bestemmende for vannets UV-absorbans og UV-transmisjon, og derved for vannets UV-desinfiserbarhet.

De *hydrofile NOM-fraksjoner* (CHA, NEU) er mer lavmolekylære og mer biodegraderbare, og knyttes ofte til fouling av membraner og vekst/biofilmdannelse i ledningsnett. Mens VHA, SHA og CHA-fraksjonene alle normalt fjernes effektivt ved koagulering, vil NEU-fraksjonen bare fjernes i ubetydelig grad ved koagulering. Konsentrasjonen av NEU-fraksjonen i norske råvann er imidlertid normalt lav i dag, men dette kan endre seg med klimaet. Det er eksempelvis registrert vesentlig høyere andeler av hydrofil NEU i vannkilder (innsjøer og elver) i andre land i Europa.

Med utgangspunkt i data fra råvann og rentvann fra en rekke undersøkte vannverk i Norge er det påvist at potensialet for vekst/biofilmdannelse målt som BDOC korrelerer svært godt med vannets innhold av hydrofil NOM. For å kontrollere vekst på nettet synes det derfor spesielt viktig å begrense innholdet av ladet, hydrofil NOM (Eikebrokk og Thorvaldsen, 2010).

Klimaforandringene synes å innebære en tydelig trend til økende NOM-nivå i store deler av landet. Dette skyldes i hovedsak et økt NOM-reservoar grunnet økt temperatur og tilhørende økt biologisk omsetningshastighet, lengre vekstsesong, økt primærproduksjon i nedbørfeltene og en stadig høyere tregrense. Samtidig vil en økning i nedbørmengde og nedbørintensitet gi en økt transport av NOM fra nedbørfelt til vannkilde. I tillegg til økt NOM-reservoar og økt NOM-transport vil den pågående reduksjonen i sur nedbør medføre høyere pH og redusert utløsning av aluminium fra berggrunn og jordsmonn. Dette synes å innebære en reduksjon av den Al-genererte "naturlige" NOM-koaguleringen i vann og jord, noe som resulterer i økt NOM og farge i vannkildene (jf. figur 1).

Økt temperaturnivå vil også kunne gi oss et mer "europeisk" preg på våre vannkilder, med økte problemer knyttet til algevekst, lukt/smak og algetoksiner. Foruten et generelt økt NOM-innhold, innebærer dette også en mulighet for en økt andel hydrofil, mer bionedbrytbar og/eller lite koagulerbar NOM. En slik endring i NOM-sammensetning vil ikke bare påvirke forhold knyttet til valg av vannbehandlingsmetode, dimensjonering og optimalisering av driften, men vil også kunne kreve supplerende rensetrinn som eksempelvis aktivkull, ionebytte/MIEX, etc. for fjerning av lukt/smak, alger, algetoksiner, mv.

Det kan også bli langt mer aktuelt å kombinere koagulering og filtrering med en etterfølgende ozonering-biofiltreringsprosess siden disse metodene i betydelig grad fjerner ulike NOM-fraksjoner og slik sett utfyller hverandre.

Prosesstyring/driftskontroll

Klimaforandringene vil ikke bare innebære økte NOM-nivåer mange steder - de vil også medføre større årstidsvariasjoner og tilhørende økte utfordringer med hensyn til prosessstyring, særlig med hensyn til koagulantdose og koagulerings-pH. I dag foregår styringen av koaguleringsprosesser i stor grad manuelt, ut fra erfaring og data om råvanns- og rentvannskvalitet. En slik form for manuell prosessstyring vil vanskeliggjøres når de sesongmessige variasjoner øker med hensyn til såvel NOM-innhold som NOM-sammensetning.

En utilfredsstillende og for langsom tilpasning av prosessbetingelsene til den rådende råvannskvaliteten kan gi svikt i barriereeffektivitet og påvirke forholdene i ledningsnettet negativt med partikkelavsetninger og biofilmdannelse med dertil hørende risiko for økt overlevelse/vekst av patogener. Svikt i koaguleringen vil også påvirke etterfølgende

desinfeksjonstrinn negativt, med redusert UV-transmisjon, økt partikkelinnhold/turbiditet og økt forbruk av klor/ozon. Derved påvirkes også sikkerhetsnivået i hele vannforsyningssystemet negativt.

Dette innebærer at man må vurdere alternative former for sanntids (on-line) prosessstyring, som tar hensyn til sesongvariasjoner i så vel mengde som sammensetning av NOM og sørger for en kontinuerlig tilpasning av prosessbetingelsene til den rådende råvannskvaliteten og forholdene på ledningsnettet. En slik helhetlig tilnærming og optimalisering av hele vannforsyningssystemet er også i tråd med tankene bak WHO's arbeid med en mer helhetlig sikkerhetsplanlegging av vannforsyningssystemet fra kilde til tappekran (Water Safety Plan).

4.2.2. Ozonering og biofiltrering

Begreper og prosessutforming

Ozonering-biofiltrering anvendes i dag ved 15-20 vannverk i Norge. Følgende prosessstrinn vil normalt inngå: 1) Forbehandling (opsjon), 2) ozontilsats i én eller flere kontakttanker, 3) biofiltrering i en filterseng normalt bestående av aktivkull, sand og alkalisk masse, og 4) etterfølgende desinfeksjon, gjerne UV. Ozon produseres normalt på stedet fra ren oksygen eller luft.

Ozoneringssystemet dimensjoneres i dag normalt for en råvannsspesifikk ozoneringskapasitet, gjerne i området 1-2 mg O_3 /mg TOC. Biofilteret dimensjoneres normalt etter en kontakttid på 20-30 minutter, regnet på tom filterseng (Empty Bed Contact Time, EBCT).

Slike anlegg gir normalt en god reduksjon av farge og UV-absorbans, men en begrenset TOC-reduksjon, gjerne bare 20-30 %. Turbiditeten reduseres i noen grad.

Metodens fortrinn er i hovedsak at det ikke anvendes kjemikalier eller gasser ut over ozon, at slamproduksjonen er lav – og uten rester av metalliske koaguleringsmidler, lav tilbakespylingsfrekvens for biofilterne og tilhørende lavt spylevannsforbruk, samt marginalt behov for omfattende systemer for slambehandling og slamdisponering.



Figur 4. Ozonering-biofiltreringsanlegg i lukket tanksystem.

Barriereeffekt i ozonerings- og biofiltreringsprosesser

Barriereeffekten i denne vannbehandlingsprosessen vil i hovedsak ligge i ozoneringstrinnet. Drikkevannsforskriftens veileder angir følgende barriere indikatorverdier for ozonering.

Tabell 4. Indikatorparametere for hygieniske barrierer i vannbehandlingsanlegg med ozonering (Mattilsynet 2005)

Rest ozon	Milligram/l O ₃	> 0,2	Rest ozon > 0,2 i vannet etter minimum 10 min kontakttid vil være en hygienisk barriere ovenfor bakterier og virus. Reaktorens utforming er vesentlig.
		> 5	Dersom råvannet inneholder mer bromid enn 50 ug/l, må dannelsen av bromat ved ozonering av vannet tas i betraktning. Dersom parasittene <i>Cryptosporidium</i> , <i>Giardia</i> og bakteriesporer også skal inaktiveres, bør rest ozon i vannet være > 5 etter minimum 10 min kontakttid.

Det er en viss uenighet om de angitte parameterkrav, se merknader i kap. 4.4.3, og verdiene vil ventelig bli revidert i neste utgave av veilederen.

Selv om barriereeffekten i all hovedsak er knyttet til den anvendte ozondosen (dvs. konsentrasjon ganger kontakttid), vil den anvendte ozondosen også påvirke vannkvaliteten og bionedbrytbarheten av vannets NOM-innhold. En av grunntankene bak metoden er jo at ozoneringen skal splitte store og biostabile NOM-molekyler og derved gjøre dem bionedbrytbare i det etterfølgende biofilteret.

NOM-økning, NOM-sammensetning og ozonering-biofiltrering

Flere studier har vist at råvannets NOM-innhold er bestemmende for anvendelsen av denne metoden, og at den primært bør anvendes der råvannets NOM-innhold/fargetall ikke er for høyt, gjerne < 30 mg Pt/l. Denne begrensningen er knyttet til det faktum at farge og UV-adsorbans fjernes relativt lett ved ozonering, med et ozonbehov som kan relateres til råvannsfargen.

Ozoneringen bryter dobbeltbindinger i NOM-molekylet, noe som bevirker at energi/lys ikke lenger absorberes av disse dobbeltbindingene. Derved reduseres fargen, og en farge < 10 mg Pt/l kan normalt oppnås dersom råvannsfargen er lav eller moderat som nevnt over.

Men ozoneringen gjør også at biodegraderbarheten (BDOC) av NOM øker, noe som i hovedsak synes å være forårsaket av at den biostabile VHA-fraksjonen transformeres til den langt mer bionedbrytbare CHA-fraksjonen. For å unngå at for mye bionedbrytbar NOM (særlig CHA) sendes ut på nettet og forårsaket kimtall/vekst/biofilmdannelse, må følgende være oppfylt:

- 1) Ozoneringen må være tilpasset vannets NOM, i særlig grad konsentrasjonen av VHA-fraksjonen.
- 2) Biofilteret må være dimensjonert for å redusere CHA-konsentrasjonen og det tilhørende vekstpotensialet (BDOC) i utløpsvannet til et nivå lavere enn 0,15-0,25 mg BDOC/l.

I en situasjon med økende NOM kan man derved lett komme i en skvis ved slike anlegg ved at kravet til fargetallsreduksjon krever en ozondose som skaper så mye CHA/BDOC at biofilteret ikke evner å fjerne dette i tilstrekkelig grad. Resultatet kan da bli bakteriell vekst/høye kimtall og biofilmdannelse på nettet.

Høye ozondoser vil også redusere vannets pH og gi økt mengde restozon i vannet. Det er viktig at anlegget utformes og drives slik at biofilteret ikke inhiberes av lav pH eller rest-ozon, noe som vil kunne redusere biofilterets "effektive" kontaktid og gi høyere resulterende BDOC-verdier enn ønskelig.

En klimadrevet økning av NOM-innhold aktualiserer behovet for en nærmere gjennomgang/revisjon av følgende forhold ved denne prosessen:

- 1) Revisjon av de generelle kriterier for utforming, dimensjonering og drift av prosessen slik at også kravet til biostabilitet ivaretas. Herunder inngår også krav til utforming av prosessen for å hindre mulig inhibering fra lav pH og/eller høy rest-ozonkonsentrasjon.
- 2) Optimalisering og styring av ozondosen ut fra råvannskvalitet slik at overdosering kan unngås, herunder også "unødig" dannelse av CHA og rest-ozon.
- 3) Revisjon av dimensjoneringskriteriene for biofilteret, spesielt kravet til oppholdstid (EBCT) for å oppnå et biostabilt utløpsvann.
- 4) Nærmere utredning/dokumentasjon av antatt gunstige kombinasjoner av vannbehandling og desinfeksjon, eksempelvis ozonering/biofiltrering og kloraminering.

4.2.3. Membranfiltrering

Effekt av membranfiltrering

Membranfiltrering som er brukt i Norge fram til nå, er med et par unntak basert på spiralmembraner av celluloseacetat (CA-membraner). Membranens nominelle poreåpning er normalt 0,002-0,004 μm (2-4 nm), dvs. i nedre del av ultrafiltreringsområdet. Anleggene opererer med driftstrykk på 4-6 bar.

Flere undersøkelser viser at membraner med porestørrelse < 10 nm vil filtrere bort de minste virus i tillegg til større mikroorganismer som bakterier og protozoer, ref. bl.a. "Driftserfaringer med membranfiltrering", Norsk Vann 160/2008 (Hem og Thorsen, 2008). Drikkevannsforskriftens veileder (Mattilsynet, 2005) sier da også at membraner med nominell poreåpning under 10 nanometer utgjør en hygienisk barriere mot bakterier, parasitter, bakteriesporer og virus.

I tillegg vil disse membranfilteranleggene redusere farge og partikkelinnhold i drikkevannet, og i Norge har nettopp fargefjerning vært hovedhensikten med installasjon av slike anlegg.



Figur 5. Membranfilteranlegg (med tverrstrøms spiralmembraner)

Driftsforhold

Norsk Vann rapport 160/2008 "Driftserfaringer med membranfiltrering" gir oversikt over de gode og dårlige sider med membranfiltreringsanleggene. Hovedutfordringene i drift av slike anlegg ligger i:

- 1) Beleggdannelse/fouling på membranoverflaten som reduserer kapasiteten og membranlevetiden kraftig (partikler i området 0,1-2 μm er viktigst mht. fouling).
- 2) Brudd i membranet eller i koblingen mellom membranelementene, og derigjennom brudd på hygienisk barriere.
- 3) Bakterievekst på baksiden av membranet.

Foulingproblemet kan unngås eller reduseres med mer omfattende forbehandling av råvannet, høyere tverrstrøms hastighet over membranoverflaten, og bedre rutiner for membranvask.

Brudd på hygienisk barriere må kontrolleres ved bedre og helst kontinuerlig drifts- overvåking (f.eks. online måling av farge i permeatet etter hvert membranrør), og om mulig med stans i vannproduksjon ved registrerte avvik.

Membranfilteranlegg er stort sett installert på mindre og små vannverk der råvannet har høyt humusinnhold, gjerne med tjern eller elver/bekker som kilde. Dette er nettopp vannkilder som vil være svært sårbare ved forverrede klimatiske forhold, bl.a. med følgende resultat:

- Generell økning av NOM og partikkelinnhold i råvannet.
- Økning av jern- og manganinnhold pga. økt tilslamming og anaerobe bunnforhold (gjelder i tjern).
- Raske endringer i råvannskvaliteten.

Disse forhold sammen med de svakheter membranfilteranlegg har, tilsier at driftstilsynet ved de aktuelle vannverkene bør bli langt bedre og mer omfattende enn det tradisjonelt har vært. En av grunnene til at membranfiltrering er blitt valgt, har jo vært mantraet om deres enkle drift og lave tilsynsbehov.

Videre tilsier den sannsynlige råvannsutviklingen at forbehandling av råvannet før membranfiltrering må bli vesentlig forbedret mange steder. Den vanlige forbehandling med trykksil med spalteåpning 50 µm er ikke – eller vil trolig ikke bli – tilstrekkelig.

Den store fordel med membranfilteranlegg er at raske endringer i råvannskvalitet i langt mindre grad påvirker rentvannskvaliteten sammenliknet med hva forholdet kan være for andre vannbehandlingsmetoder. Det sørger den rent fysiske og kjemikaliefrie partikkelfjerningen for.

Membranfilteranlegg må – eller i alle fall bør – suppleres med et etterfølgende kontinuerlig desinfeksjonstrinn, f.eks. UV, for å kunne sikre hygienisk akseptabel vannkvalitet ved mindre svikt i membraner. Små brister i membranet vil naturlig nok være vanskelig å fange opp, selv med en anbefalt forbedret rentvannsovervåkning.

Oppsummert vurdering av membranfiltrering

Membranfiltrering utgjør en god hygienisk prosessbarriere mot smittestoffer forutsatt at man har tette nok poreåpninger i membranene, og ikke får membranbrudd eller kortslutning i pakninger etc. Egnert, kontinuerlig overvåkning av rentvann fra hvert membranrør, og produksjonsstopp og alarm ved registrerte avvik, er sterkt å anbefale.

Forverring av råvannskvalitet vil fort medføre behov for relativt kostbare forbehandlingsanlegg for å begrense foulingproblemer.

Membranfilteranlegg bør dimensjoneres for en forventet fouling, dvs. med nødvendige kapasitetsreserver. Dette er i liten grad gjort til nå.

I tillegg er driftsoptimalisering, herunder gode rutiner for membranvask tilpasset det aktuelle råvann, og tilstrekkelig tverrstrøm over membranflaten, viktig for å kunne opprettholde kapasitet.

4.3. Adsorpsjonsprosesser

4.3.1. Filtrering i aktivt kull

Dersom man ser bort fra bruk av aktivt kullfiltre som biologisk filter i forbindelse med ozonering-biofiltrering, er adsorpsjonsprosesser, for eksempel i form av aktivt kull filtrering, relativt lite brukt i norsk vannbehandling. Enkelte vannverk som har belastede overflatevannkilder – for eksempel Sarpsborg vannverk, Vannsjø vannverk (Moss) og Nedre Romerike vannverk – benytter imidlertid aktivt kull filtrering. Når aktivt kull (GAC, Granular Activated Carbon) filtrering benyttes i Norge, er det per i dag primært som et etterpoleringstrinn der det er behov for fjerning av lukt- og smaksstoffer, eller i enkelte tilfeller for fjerning av toksiner eller mikroforurensninger.

I et klimaendringsscenario er det sannsynlig at behovet for bruk av adsorpsjonsprosesser generelt, og GAC-filtrering spesielt, vil øke. Høyere temperatur, våtere klima, større sesongvariasjoner, mer avrenning, osv, er alle faktorer som tilsier at tradisjonelle vannbehandlingsmetoder vil måtte suppleres med ytterligere poleringstrinn (for eksempel i form av en adsorpsjonsprosess) for å opprettholde en tilfredsstillende

vannkvalitet. Økt urbanisering, konsentrert industrialisering og intensivering av landbruk, vil også øke behovet for adsorpsjonsprosesser.

Eksempler på vannkvalitetsproblemer som aktualiserer bruk av adsorpsjonsprosesser, er:

- Økt biologisk aktivitet og algevekst som gir dannelse av lukt og smaksstoffer, som for eksempel geosmin og MIB.
- Dannelse av algetoksiner.
- Økt andel lav molekyllære og/eller hydrofile forbindelser som er vanskelig å fjerne i tradisjonelle prosesser.
- Økt innhold av organiske mikroforurensninger (pesticider og legemidler).
- Økt dannelse av desinfeksjonsbiprodukter.

I tillegg kan det være aktuelt å ha en adsorpsjonsprosess som benyttes i perioder med spesielle problemer, eller at man kun har den i beredskap.

Det betyr at det kan være svært aktuelt å oppgradere eksisterende anlegg med et aktivt kull poleringstrinn for å møte nye vannkvalitetsutfordringer. Som alternativ til GAC-filtre, kan det også benyttes PAC (Powder Activated Carbon). Dette kan være spesielt aktuelt der det er behov for en adsorpsjonsprosess kun i kortere perioder og man har muligheten til å integrere denne med en separasjonsprosess.

Alternative adsorpsjonsprosesser og prosesskombinasjoner

I tillegg til aktivt kull finnes det flere alternative adsorpsjonsmasser. Dette kan være generelle adsorpsjonsmasser eller masser som har høy affinitet til bestemte forbindelser. Eksempler er ulike tradisjonelle ionebytte prosesser, MIEX, zeolitter, enkelte mineraler, enkelte oksider eller hydroksider, osv.

Flere adsorpsjonsprosesser kan med fordel integreres med andre prosesser der det enten kan oppnås en synergi, eller det er praktisk rent prosesssteknisk. Eksempler på slike kombinasjoner kan for eksempel være: ozon/aktivt kull, annen oksidasjon/aktivt kull, biodegradering/aktivt kull, PAC/separasjon, PAC/kjemisk felling, osv.

Oppsummert vurdering av adsorpsjonsprosesser

Forverring av råvannskvaliteten vil medføre forbindelser i vannet som vanskelig vil fjernes effektivt i mange tradisjonelle behandlingsprosesser, og øke behovet for bruk av blant annet adsorpsjonsprosesser.

Man vil da trolig ha behov for mer kunnskap/informasjonsinnhenting om adsorpsjons-effekt overfor aktuelle forbindelser, adsorpsjonskapasiteter, bruk av alternative adsorpsjonsprosesser, effekt av prosessstekniske kombinasjoner, prosessoptimalisering, osv.

4.4. Desinfeksjonsprosesser

Presenterte scenarier tilsier at vi kan forvente patogener i våre drikkevannskilder som vi ikke har måttet håndtere, eller ikke har vært godt kjent med, tidligere. Vi kan også regne med forringelser av råvannskvaliteten i form av økt NOM, alger, turbiditet, m.v. som kan påvirke vannbehandlings- og desinfeksjonsprosessene negativt. Kan vi være trygge på at dagens desinfeksjonsanlegg, dvs. UV-anlegg, klordesinfeksjon og evt. ozon, kan gi oss god nok trygghet? Er flertrinns desinfeksjon som er blitt akseptert som tilstrekkelig vannbehandling en del steder, virkelig tilstrekkelig?

Svarene på dette avhenger selvsagt av hva slags mikrober som kommer i drikkevannskildene, hva slags øvrig vannbehandling man har, og hvorvidt man driver anleggene optimalt. Vi vil her forenkle bildet noe, og i første omgang se på prosessstrinnene hver for seg.

4.4.1. UV-desinfeksjon

UV-desinfeksjon er en enkel vannbehandling som normalt krever lite driftstilsyn. UV-anlegg har derfor vært mye brukt på mindre vannverk, men er nå også innført på de fleste større vannverkene i Norge. Etter at typegodkjenning basert på biodosimetriske tester med stråledose $> 40 \text{ mWs/cm}^2$ ble innført som basis i Norge, er UV-anleggene på markedet blitt langt større, tryggere og også egnet for inaktivering av bakteriesporer. Desinfeksjonseffekt mot alle mikroorganismer er med dette blitt økt i forhold til UV-aggregat med gammel godkjenning (gjennomsnitts stråledose $> 30 \text{ mWs/cm}^2$), dvs. at sjansen for at også lettdrepte bakterier eller virus slipper gjennom bestrålingen pga. partikler i vannet eller for høy vannproduksjon, er redusert.



Figur 6. UV-anlegg (av lavtrykks type)

Effekt av UV-bestråling

Bestråling med UVC-lys gjør at mikroorganismer får ødelagt sitt arvemateriale. Stråledoser som er nødvendig for 3-log inaktivering, dvs. 99,9 % uskadeliggjøring, er for ulike organismer omtrent slik, jf. Norsk Vann rapport 164/2008 (Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann) og NORVAR-rapport 147/2006 (Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann):

- | | | |
|--|-----------------------------|--------------------------|
| - Vanlige patogene bakterier (snitt): | 2-8 mWs/cm ² | |
| - Vanlige patogene virus (snitt): | 20-30 mWs/cm ² | |
| - Adenovirus (type 2, 15, 40 og 41): | 125 mWs/cm ² | |
| - <i>Cryptosporidium</i> parasitter: | ca. 13 mWs/cm ² | |
| - <i>Giardia</i> parasitter: | ca. 11 mWs/cm ² | |
| - <i>C.perfringens</i> sporer: | ca. 33 mWs/cm ² | (kun 2 log inaktivering) |
| - Sulfittreduserende clostridium sporer: | ca. 111 mWs/cm ² | (kun 2 log inaktivering) |

Tallene viser at adenovirus og sulfittreduserende klostridiesporer tåler mer UV-bestråling enn det UV-anleggene er godkjent for, og vi bygger inn i våre vannbehandlingsanlegg.

Det er noe usikkerhet i flere av disse tallene. Bl.a. kan refereres til inaktiveringsforsøk på *C.perfringens* sporer som ble gjort ved Folkehelseinstituttet i 2005 på vannprøve fra fekal forurenset bekk. Hele 70 mWs/cm² med UV-lys var nødvendig for 1,5 log inaktivering (Lund og Ormerod, 2005).

Driftsforhold

God drift av UV-anlegg krever at vannet har lite partikler og lav farge, og at jerninnhold og kalkinnhold er ganske lavt. Rett nok finnes UV-aggregat som er godkjent for høye fargetall og lav UV-transmisjon, men sjansen for beleggdannelse og problematisk drift der vannkvaliteten er fysisk dårligere, er absolutt til stede.

Generelt vil vi tilrå at drikkevannsforskriftens krav til farge, turbiditet og jerninnhold minst må overholdes for god drift av UV-anlegg, dvs. farge < 20 (helst < 10), turbiditet < 1 FNU og jern < 0,2 mg/l (helst < 0,1 mg/l). Videre anbefales at kalsiuminnholdet i vannet er < 20-30 mg Ca/l.

Dette er forhold som etter vår oppfatning gjelder uavhengig av UV-anleggets dimensjonering, og uavhengig av installerte rengjørings- og vaskesystemer.

Et scenario med høyere NOM-nivå og partikkelinnhold i råvannet og større, hyppigere og raskere endringer i råvannskvaliteten er ikke heldig for UV-desinfeksjonen og driften av UV-anlegg. Innføring av gode overvåkningsrutiner kan bedre dette.

Dessuten: Et "villere" klima kan medføre oftere forstyrrelse på strømmettet, noe som er lite gunstig for UV-anleggene. For å unngå at UV-faller ut eller tar skade ved spenningsdipper og raske strømutfall anbefales at strømforsyningen til UV-anleggene går gjennom UPS (Uninterruptible Power Supply).

UV-anlegg i selvfallslinje skal og bør tilknyttes strømforsyning fra et permanent reservekraftanlegg som starter automatisk ved strømbrudd, i tillegg til UPS for å hindre korte strømbortfall i overgangsfasen.

Oppsummert vurdering av UV

UV-desinfeksjon utgjør en god hygienisk barriere mot det som i dag er forekommende patogener i norske drikkevannskilder. Det forutsettes at anleggene er tilstrekkelig dimensjonert, er biodosimetrisk testet, og overvåkes og driftes korrekt. Dessuten er det oftest avgjørende for UV-anleggets funksjon at etablert forbehandling fungerer godt – utfall eller større gjennombrudd i foregående vannbehandlingstrinn medfører fort overbelastning av UV-anlegget.

Det er viktig å ha god kontroll med UV-ståledosen, dvs. vannføringen gjennom anlegget, vannets UV-transmisjon og registrert UV-intensitet. Likeledes er det nødvendig å holde kvartsglass (og sensorglass) rene gjennom tilstrekkelige vaskesystemer og -prosedyrer.

Man kan ikke se helt bort fra at det i framtiden vil komme patogener, vannbårne virus til Norge som er mer resistente mot UV, og som krever høyere UV-stråledoser enn det vi bygger inn i våre UV-anlegg i dag.

4.4.2. Klordesinfeksjon

Effekt av klorering

Klor, det være seg natriumhypokloritt, kalsiumhypokloritt eller klorgass, gir i korrekt dose god desinfeksjonseffekt mot bakterier og virus når det kan foreligge som fritt klor i vannet. Parasitter og bakteriesporer uskadeliggjøres imidlertid ikke i tilstrekkelig grad med de klordoser som er normale og akseptable i drikkevannforsyningen.

Klor som underklorstyring (dominerende ved $\text{pH} < 7$) er mer effektiv enn klor som hypoklorittion (dominerende ved $\text{pH} > 8$).

Undersøkelser viser at fekale virus overfor fri klor er mer resistente enn fekale bakterier, og at virus lett knytter seg til og kan bli beskyttet av organiske partikler (White, 1999). Turbiditeten bør holdes < 1 FNU når klor skal være hygienisk barriere mot virus.

Klor reagerer med organisk stoff i vannet, og jo høyere NOM-nivå og mer partikler man har, jo mer bundet klor og klororganiske forbindelser dannes. Dette går utover desinfeksjonsevnen. I tillegg dannes helsebetenkelige biprodukter som trihalometaner og halogenerte eddiksyrer, om enn normalt i ufarlige konsentrasjoner i norsk drikkevann.

Drikkevannsforskriftens veileder (Mattilsynet, 2005) setter krav til fri klorrest $> 0,05$ mg Cl/l etter minst 30 min. kontakttid for å være hygienisk barriere. Med dette som basis kan også Ct-beregninger (klorkonsentrasjon x kontakttid) i driftssituasjon anvendes for å finne den til enhver tid optimale dose, ref. "Optimal desinfeksjonspraksis fase 2", Norsk Vann 169/2009 (Ødegaard, Østerhus og Melin, 2009).



Figur 7. Klordoseringsanlegg (for natriumhypokloritt)

Driftsforhold

Raskere og kraftigere variasjoner i råvannskvaliteten vil ha følger for praktisk klordesinfeksjon. Der man doserer klor direkte på råvann, eller der klorering følger etter et sårbart, foregående behandlingstrinn, er det fort gjort å glippe på nødvendig klordose, ikke minst i selve endringsfasen. Dette er et kjent fenomen f.eks. når sirkulasjon

begynner i en innsjøvannkilde eller der man tar ut drikkevann fra en elv. Kontinuerlig overvåkning av råvannskvalitet og klorrest og automatikk som gjør at vannproduksjonen stanser og det utløses alarm ved avvik, er her nødvendig.

Vi må forvente at problem med utilfredsstillende klorering og driftsstopp ved avvik vil oppstå oftere. Som regel er det også slik at innført forbehandling – som i prinsipp skal stabilisere den etterfølgende desinfeksjon – også kan være sårbar for råvannsendringer (ref. kap. 4.2).

En delvis løsning som verken er særlig populær eller bærekraftig, kan være å sette den vanlige klordose radikalt opp for å møte uventede situasjoner og endringer i råvannskvaliteten.

Både som følge av erfaringer fra praktisk drift av kloringsanlegg, kunnskapen om klorens virkning, dens begrensede inaktiveringseffekt mot en del mikroorganismer og framtidige utfordringer på råvannssiden, vil vi fraråde bruk av klor som eneste desinfeksjons- og vannbehandlingstrinn på norske vannverk.

Sammen med annen behandling har klor fortsatt en viktig rolle i vannforsyningen, både for desinfeksjon av bakterier og virus - herunder også eventuelle adenovirus, og for å dempe bakterievekst på ledningsnettet. For det siste kan overgang til kloramin for sekundær-desinfeksjon være et godt alternativ.

Oppsummert vurdering av klor

Klor utgjør ikke noen hygienisk barriere mot parasitter og bakteriesporer. I forhold til utfordringer mht. mikrobiologisk forurensing vil klorering hovedsakelig være et nyttig og kanskje nødvendig supplement til først og fremst UV-desinfeksjon.

Kontroll med klordose, klorrest og beskaffenheten på vannet som skal desinfiseres, er avgjørende for kloreringens funksjon. Her som for UV-desinfeksjon, blir det viktig at etablert forbehandling fungerer godt.

Bruk av kloramin for bedre å dempe bakterievekst på nett antas bli mer aktuelt framover. Det kan kanskje også være av interesse for å redusere muggsopp i vannet.

4.4.3. Ozondesinfeksjon

Effekt av ozonering

Ozonering med primærhensikt å desinfisere drikkevann er lite brukt i Norge. Grunnen til det har vært at det kraftige oksydasjonsmiddelet også spalter humus og større organiske komponenter til lettnedbrytbart materiale med etterfølgende bakterievekst på nett som resultat. Ozon uten kontrollert etterbehandling er derfor ikke å anbefale (ref. kap. 4.2.2).

Når det er sagt, er ozon utvilsomt et meget godt desinfeksjonsmiddel. Ct-verdi (ozonkonsentrasjon x kontakttid) er et anbefalt brukt verktøy ved bestemmelse og kontroll av ozondose, ref. "Optimal desinfeksjonspraksis fase 2", Norsk Vann 169/2009.

For å anskueliggjøre: Gjennom laboratorieforsøk med desinfeksjon med ozon og fritt klor har man funnet nødvendige Ct-verdier for 2 log inaktivering av ulike mikroorganismer ved 5 °C (Le Chevalier and Au, 2004. Oppenheimer et al, 2000). Disse er vist i tabell 5 under.

Tabell 5. Ct-verdier for 2 log inaktivering av ulike mikroorganismer ved 5 °C (Le Chevalier and Au, 2004. Oppenheimer et al, 2000)

Organismer	Ozon (mg O ₃ min/l)	Fritt klor som HOCl (mg Cl min/l)
<i>E. coli</i> bakterier	0,02	0,05
Poliovirus 1	0,2	2,5
<i>Giardia</i>	0,6	50-150
<i>Cryptosporidium</i>	40	>5000

Normal ozondose på 2-4 mg O₃/l, avhengig av vannets TOC-innhold, vil med 10 min. kontakttid være en god barriere mot patogene bakterier, virus, *Giardia* parasitter og også bakteriesporer, men ikke mot *Cryptosporidium* parasitter. Som en ser over, er ozon et langt mer effektivt desinfeksjonsmiddel enn fritt klor.

I drikkevannsforskriftens veileder (Mattilsynet, 2005) er det satt følgende grenser for ozonrest etter 10 min. for å kunne betraktes som hygienisk barriere:

- mot bakterier og virus: > 0,2 mg O₃/l
- mot parasitter og bakteriesporer: > 5 mg O₃/l

Veilederen stemmer ikke overens med nevnte Ct-betraktning og reell inaktivering for *Giardia* og bakteriesporer. Veilederen er her litt villedende. For *Cryptosporidium* stemmer imidlertid drikkevannsforskriftens veileder godt med f.eks. USEPA sin grenseverdi.

Driftsforhold

For ozon som desinfeksjonsmiddel gjelder de samme sårbarheter overfor raske endringer i vannkvalitet som for klor.

Ozon må i praksis tilsettes foran et filter/biofilter pga. biproduktene etter reaksjon med organisk stoff. Det vil si at ozon i motsetning til klor normalt tilsettes på råvannssiden. Dette gjør desinfeksjonseffekten mer sårbar, i alle fall dersom man doserer ozon marginalt eller optimalt ut fra normal vannkvalitet. Det må dermed også her settes krav til overvåkning av råvannskvalitet og ozonrest, og produksjonsstopp og alarmering ved avvik.

Der man benytter overflatevannkilder med noe ustabil vannkvalitet, og man velger å bruke ozon til primærdesinfeksjon, kan med fordel ozonet tilsettes etter et behandlingstrinn der organisk stoff reduseres, f.eks. med koagulering/direktefiltrering, og før et biologisk sluttfilter med f.eks. aktivt kull eller knust lettklinker.

Risikoen for hyppigere forstyrrelser på strømmettet vil også påvirke driften av ozongeneratorer, som er sårbare for spenningsfall og spenningsvariasjoner. For å unngå problem bør strømforsyningen til ozongeneratorene gå gjennom UPS.

Oppsummert vurdering av ozon

Ozon er et godt desinfeksjonsmiddel mot bakterier, virus, bakteriesporer og de fleste parasitter, dog ikke mot bl.a. *Cryptosporidium*.

Kontroll med ozondose, ozonrest og beskaffenheten på vannet som skal desinfiseres, er avgjørende for ozondesinfeksjonen.

I forhold til framtidige utfordringer mht. mikrobiologisk forurensing kan ozonering være et nyttig supplement til først og fremst UV-desinfeksjon.

4.5. Grunnvannsbehandling

Grunnvannsutttak fra løsmasser, samt borebrønner i fjell, kan gi drikkevann av meget god hygienisk kvalitet. Det forutsetter lite forurensing i den kritiske del av infiltrasjonsområdet, og godt filtrerende løsmasser. Et tettere og naturlig beskyttende løsmasselag av leire eller silt over et mer vannførende lag i grunnen er en klar fordel som sikkerhet mot uønsket inntrenging av overflatevann. I Norge ligger mange løsmassebrønner nær elvebredden, og infiltrasjon fra elva kan her bidra vesentlig til grunnvannsforsyningen.

4.5.1. Enkle prosessløsninger

Et typisk norsk trekk er lav pH og høyt CO₂-innhold i grunnvannet. Enkle prosess tekniske løsninger med lufting og filtrering i marmorfilter evt. tilsats av base er derfor mye utbredt ved grunnvannsverk.

Alle godkjenningsspliktige grunnvannsverk skal som minimum ha et desinfeksjonsanlegg stående i beredskap. I praksis installeres da noen enkle kloreringsanlegg. Dersom slike beredskapsanlegg ikke testes og driftes ved jevne mellomrom, stiller vi spørsmål ved deres reelle nytte når de virkelig trengs. Det er da fare for at klorkonsentrasjonen er blitt sterkt redusert (om man ikke skaffer til veie "fersk vare"), teknisk svikt i doseringsutrustningen, eller feilinnstillinger pga. manglende kunnskap hos operatør.

Pga. dette og ikke minst for å ha en reell hygienisk barriere nr. 2 til daglig, har man ved mange grunnvannsverk – selv med godt og stabilt råvann – innført UV-desinfeksjon. Et klart og partikkelfritt grunnvann egner seg meget godt for UV-anlegg, forutsatt at ikke jern- eller kalsiuminnholdet er for høyt.

4.5.2. Sårbarhet og utfordringer i grunnvannsforsyningen

Løsmassebrønner

Av kapasitetsmessige årsaker forutsetter ofte grunnvannsforsyning ved mellomstore og selv mindre vannverk at grunnvannet tas ut i løsmassebrønner. Topografien tilsier dermed gjerne at brønnetablering skjer nær elver eller innsjøer i dalbunn eller i deltaformasjoner. Selv om brønnene ikke nødvendigvis påvirkes av overflatevannet i normale tilfeller når grunnvannsgradienten faller mot den åpne vannflaten, er mange brønner flomutsatt.

Det innbærer både at gradienten kan snu og i verste fall at flomvann trenger direkte inn i brønnen eller dens nærmeste område. Brønnens sårbarhet avhenger av hvorvidt det er gode og tette lag over de grunnmasser vannet tas ut fra.

Det er et spørsmål hvorvidt den enkle vannbehandling som normalt er innført ved disse grunnvannsverkene klarer å håndtere antatt hyppigere og kraftigere flomsituasjoner.

I enkelte fagmiljø stilles nå store spørsmål ved den tidligere allment aksepterte grense på 60 døgns oppholdstid for vannet i grunn som hygienisk barriere mot alle patogener (van der Wielen et al, 2008. Schijven and Hassamizadeh, 2000). Forestående ny kunnskap på dette felt vil kunne gi nye utfordringer, som f.eks. behov for kontinuerlig desinfeksjon, og i verste fall ytterligere hygieniske prosessbarrierer ved enkelte grunnvannsverk.

Fjellbrønner

Fjellbrønner har ofte begrenset kapasitet, og kapasiteten kan fort endre seg over tid. Det er mange hus og etter hvert hytter i spredt bygde områder som forsynes fra borebrønner i fjell. Vannkvaliteten og den hygieniske sikringen er variabel fra sted til sted. Så lenge disse forsyningssystemene i de fleste tilfeller ikke er godkjenningsspliktige, og eiet og drevet i privat regi, er myndighetenes kontroll liten eller helt fraværende.

Den største svakhet med fjellbrønner er at man ikke vet presis hvor vannet kommer fra. Forurensing lengre vekk kan renne i sprekkesoner i fjellet og raskt komme fram til brønnen. Forventet økt nedbør og avrenning gjør at mange fjellbrønner vil bli mer utsatt for forurensing. Større klimatiske variasjoner som medfører perioder med lengre tørrvær eller lang frost, kan føre til at tidligere vannrike brønner tørker inn.

Godkjenningsspliktige fjellbrønnanlegg bør etter vår oppfatning ikke godkjennes uten kontinuerlig desinfeksjon, i alle fall ikke dersom begrepet "to hygieniske barrierer" i drikkevannsforskriften skal ha reell mening.

Jern og mangan

Mange grunnvannsverk har i dag et høyt jern- og manganinnhold, der drikkevannsforskriftens kravgrense på hhv. 0,2 mg Fe/l og 0,05 mg Mn/l overskrides. Årsaken til dette er anaerobe forhold i grunnen forårsaket av nedbrytning av organisk stoff i infiltrasjonssona og/eller i løsmassene. Redusert, oksygenfattig vann løser opp bundet jern og mangan som finnes naturlig i grunnen.

Tendensen synes å være at problemet med jern og mangan blir stadig større, dvs. flere og flere løsmasse- og fjellbrønnanlegg leverer et vann som gir bruksmessige problem pga. utfelling av jern eller mangan i distribusjonsnettet. Kan et forventet varmere klima med varmere grunnvann og økt organisk vekst, og derav økt mengde nedbrytingsprodukt i infiltrasjonssona, forverre dette?

Jern kan relativt enkelt fjernes fra vannet med lufting og filtrering, gjerne i et marmorfilter. For å fjerne mangan trengs mer omfattende tiltak, f.eks.:

- Ozonering og filtrering (god oksidering og utfelling av mangan)
- Manganfjerning i biofilter (kan virke enkelte steder, trolig pH-avhengig)
- Kaliumpermanganattilsats og filtrering (kan passe på mindre anlegg)
- Ionebytting med natriumkloridsalt som regenerator (kan passe på mindre anlegg)

Oppsummert vurdering

For å bedre den hygieniske sikkerhet i grunnvannsforsyningen, og redusere problemer som kan oppstå ved forverrede klimatiske forhold, bør man vurdere kontinuerlig desinfeksjon ved langt flere grunnvannsverk enn det man gjør i dag. Dette er normalt et rimelig tiltak. For fjellbrønnanlegg anbefales at kontinuerlig desinfeksjon innføres som en regel. Der grunnvann hentes fra løsmasser, kan behovet for bedre hygienisk sikring i vannbehandlingen fortsatt vurderes ut fra de stedlige løsmasseforhold og faren for rask inntrenging av overflatevann.

Flomutsatte brønner bør sikres bedre mot inntrenging av overflatevann f.eks. ved at brønntoppen løftes høyere og ved å legge tette masser rundt.

Ved utsatte grunnvannsverk bør man ha kontinuerlig overvåkning av råvannskvaliteten (farge, turbiditet og temperatur) for om mulig å stanse vannproduksjon og utløse alarm ved forverret råvannskvalitet.

Varmere klima kan trolig medføre økt problem med jern og mangan. Mer omfattende behandlingsanlegg ved flere grunnvannsverk, spesielt ved behov for manganfjerning, må påregnes.

4.6. Endringer i vannbehandlingen

4.6.1. Vurderinger av de siste års prosessutbygginger

Vedrørende den storstilte utbygging av nye prosessanlegg som er gjort ved vannverkene i Norge de senere årene, vil vi stille følgende spørsmål:

Har vi valgt prosessløsninger som også kan møte kommende utfordringer?
Har vi reelt dimensjonert prosessenhetene for en forventet dårligere råvannskvalitet?
Og har vi gjennomført optimaliseringsstudier slik at begrensninger og muligheter i eksisterende anlegg er kartlagt - kort sagt: Kjenner vi vårt anlegg godt nok?

Vi skal forsøke å svare generelt ut fra vunnet erfaring, informasjonsinnhenting og vurderinger bl.a. gjort i SINTEF-regi (ref. kap. 4.2 og figur 3).

Kontaktfiltreringsanlegg

Flere anlegg av denne type har følgende prosessflyt: 1) Jernkloridtilsats, 2) filtrering i flermedia filter med alkalisk bunnlag, 3) UV-desinfeksjon og 4) kloreringsanlegg i beredskap.

Slike ett-trinns filtreringsanlegg med diskontinuerlig spyling har den store fordel at de er kompakte og relativt rimelige å bygge. Med god filterstyring kan de håndtere de fleste typisk norske råvann opp til et visst kvalitets- og kapasitetsnivå. Kombinasjonen av lav koagulerings-pH og alkalisk filtrering er gunstig på grunn av en rask oppløsning av kalsiumkarbonat og en effektiv oppsamling av restkoagulant.

Tendensen har imidlertid vært at flere av anleggene er bygd vel kompakte og uten reserver, dette dels for å tilpasse løsningen inn i gamle filterbasseng beregnet for ren karbonatisering. Anleggene har dermed lave filterhøyder, begrenset filtervolum og høye filtreringshastigheter ved dimensjonerende produksjonskapasitet. Videre kan buffervolumene (rentvannstanker, spylebassenger, m.m.) være for knappe.

Forverret råvannskvalitet vil medføre høyere koagulantdose og mer slamansamling i filteret, og det er her disse anleggene fort kan få sin begrensning. Hyppigere filterspylinger og derved økt frekvens på tilbakespylinger og filtermodninger, m.v. vil redusere produksjonskapasitet betydelig. En filterdrift med utsettelse av spyletidspunkt til man nærmer seg tidspunktet for filtergjennombrudd, eller for rask innsetting av et filter i produksjon etter avsluttet spyling, kan gi flere brudd på de hygieniske barrierene – ikke bare i selve kontaktfiltreringen, men i verste fall også i etterfølgende sluttdesinfeksjon.

Videre vil raske variasjoner i råvannskvaliteten gi utfordringer mht. raskt omstilling av driftsbetingelser, primært koagulantdose og regulering av koagulerings-pH.

Økt filtervolum og filteroverflate, optimalisering av koagulantdose, forbedret hydraulisk fordeling i parallelle filter, justeringer i filterspyling og intensivert driftsovervåkning vil gi sikrere produksjon. Kort sagt vil man måtte optimalisere anleggene bedre - og oftere - enn før.

Ozonering-biofiltreringsanlegg

Denne prosessløsningen har sin akilleshæl i biofilteret der hensikten er i så stor grad som mulig å redusere det lett nedbrytbare organiske stoffet (BDOC) etter ozoneringen, for slik å unngå kraftig bakterievekst på ledningsnettet (ref. kap. 4.2.2).

Erfaringene etter noen år med denne prosessløsningen – på råvann med ulikt organisk innhold – tilsier at ozonering-biofiltrering neppe er egnet der råvannet har høyere farge enn 30 eller høyere TOC-innhold enn 5 mg/l.

Videre tilsier erfaringene at noen anlegg av denne typen kan ha problemer med vekst på nettet. Eksisterende kriterier for biofilterdimensjonering – også med hensyn til biostabilitet i utløpsvannet – bør derfor revideres. Muligens bør biofilteret dimensjoneres for en høyere kontakttid (EBCT) enn det som har vært benyttet hittil. Optimalisering av pH (til 7,5-8), optimalisering av ozondosen og sikring mot inhiberende restozon i biofilteret er også viktige forhold.

Dersom man ved vannverk basert på ozonering-biofiltrering får en langvarig forverring av råvannskvaliteten mht. organisk stoff, vil man kunne få store driftsmessige problem.

Anlegg med kun to-trinns desinfeksjon (UV og klor)

To-trinns desinfeksjon med UV og klor vil alene ikke være egnet vannbehandling dersom NOM- og partikkelinnholdet øker merkbart i råvannet. Det stilles også spørsmål ved uavhengigheten mellom UV og klor. Vi kan belyse det slik:

- Ved en økning i vannets farge eller partikkelinnhold blir UV-anleggets kapasitet merkbart redusert, samtidig som klorens desinfeksjonseffekt blir vesentlig redusert.
- Ved et utfall i UV-desinfeksjon, vil ikke vannverket ha noen hygienisk prosessmessig sikring mot parasitter og bakteriesporer.

Denne enkle prosessoppbyggingen er derfor kun egnet der man har svært god kontroll med råvannets kvalitet og utvikling, og med de potensielle forurensningskildene. Spørsmålet er om man reelt vil klare å ha – og opprettholde – en god nok kontroll?

Vi stiller også spørsmål ved om UV-trinnet er utbygd med de nødvendige reserver, og dimensjonert for tilstrekkelig lave UV-transmisjoner, alle steder.

4.6.2. Konsekvenser for nye vannbehandlingsanlegg

Når man vurderer nye vannbehandlingsanlegg, ikke minst for overflatevannkilder, bør man ta høyde for en verre råvannskvalitet enn det man historisk har registrert, enten ved at man bygger inn og dimensjonerer for dette i utbyggingsprosjektet, eller ved at man tilrettelegger for en framtidig prosessutvidelse.

Det er også sannsynlig at ny kunnskap i seg selv gjør at myndighetene setter strengere krav til drikkevannskvalitet og vannbehandling.

Å ha bygd et nytt vannbehandlingsanlegg med for liten reell kapasitet å gå på, eller kanskje med feil prosess, gjør sjelden at den samlede økonomiske oppsummering etter andre eller tredje gangs om-/utbygging blir positiv opp mot tidlig hensyntagen og en "føre var"-utbygging.

Ved å ha bygd prosessanlegget marginalt vil man dessuten unødige fort kunne komme opp i driftsproblem, og få større og mindre avvik i drikkevannskvalitet og hygienisk sikring. Dette kan resultere i at Mattilsynets godkjenning blir trukket tilbake.

Vi vil igjen stresse viktigheten av å kjenne sitt anlegg og sin prosess – en kunnskap som best kan innhentes i optimaliseringstiltak og -forsøk på anlegget.

4.6.3. Konsekvenser ved overflatevannkilder

Forventet utvikling med bl.a. hyppigere episoder med høy nedbørsintensitet, økt avrenning og nye patogener gjør det enda viktigere enn før å ha god kontroll med kilde og nedbørsfelt. Man må opprettholde og styrke kildebeskyttelsen for å sikre det best mulige utgangspunkt for framtidig vannbehandling.

En kort oppsummering av sannsynlige konsekvenser for vannbehandlingsanlegg for overflatevannkilder:

- 1) Flere hygieniske delbarrierer må bygges inn i prosessanlegget:
 - Flere "rene" desinfeksjonstrinn (klor, UV, ozon) med ulike effekter for å kunne uskadeliggjøre ulike mikroorganismer.
 - Utvidede prosessløsninger så som koagulering-filtrering, ozonering-biofiltrering, membranfiltrering for å oppnå multiple barrierer og god forbehandling før desinfeksjonstrinn slik at desinfeksjonseffekten blir stabil og effektiv.
- 2) Økt organisk innhold og/eller turbiditet i råvannet medfører behov for:
 - Flere behandlingsanlegg for dette, f.eks. koagulering-filtrering, ozonering-biofiltrering, membranfiltrering.
 - Kapasitetsutvidelse av eksisterende prosessanlegg for å håndtere større slammengder og unngå gjennomslag.
 - Flere filtertrinn, f.eks. innføring av poleringsfilter for kontroll mot slamslipp fra foregående kontaktfiltreringsanlegg.
 - Flere prosesstrinn, f.eks. kontaktfiltrering etterfulgt av ozonering-biofiltrering, eller to-trinns membranfiltrering (mikrofiltrering og ultra-/nanofiltrering).
 - Optimalisert drift.
- 3) Eventuelle problemer med lukt/smak og algetoksiner kan trolig håndteres ved:
 - Aktivt kullfilter, normalt som siste filtertrinn blant flere.
 - Ozontilsats i kombinasjon med biofilter.
- 4) Større og raskere variasjon i råvannskvalitet medfører behov for:
 - Økt drifttilsyn.
 - Utvidede overvåkningsanlegg for rå- og rentvannskontroll primært for å sikre at utilstrekkelig desinfisert vann ikke kommer ut på nett.

- Mer "intelligent" prosessstyring, som f.eks. automatisert styring av doseringsmengder og filterdrift etter signal fra dokumentert korrekte og dublerede on-line vannanalyseinstrument.
 - Optimalisert drift.
- 5) Mer komplekse vannbehandlingsanlegg vil igjen medføre:
- Større krav til kompetanse i driftsorganisasjonen.
 - Økt behov for kunnskap hos vannverkets/kommunens administrasjon og eksterne rådgivere.
 - Kanskje andre/større organisasjoner basert på samarbeid mellom flere kommuner.

4.6.4. Konsekvenser ved grunnvannskilder

Også for grunnvannsverk vil god kontroll med nedbørsfelt og infiltrasjonsområde bli viktigere og viktigere framover.

For vannbehandlingen kan konsekvenser være:

- 1) Kontinuerlig desinfeksjon på flere grunnvannsverk.
- 2) Prosess for jern- og manganfjerning på flere grunnvannsverk.
- 3) Økt drifttilsyn og utvidet overvåkning av rå- og rentvannskvalitet.

4.6.5. Nye prosessløsninger

Nye utfordringer medfører selvsagt at det er et potensial for nye prosessløsninger. Siden man i et klimaendringsscenario ser for seg store og plutselige variasjoner i råvannskvalitet, vil det være behov for mer robuste totalprosesser.

Eksempler på en ny prosess som kombinerer eksisterende prosesser til en egen mer robust prosess er:

- Koagulering-membranfiltrering (mikrofiltrering eller ultrafiltrering)

Proessen vil i teorien være mindre følsom overfor variasjoner i hydraulisk og/eller stoffbelastning enn koagulering og tradisjonell filtrering, samtidig som den vil være mindre utsatt for fouling enn tradisjonell nanofiltrering.

En annen følge av endrede vannkvalitetsutfordringer, er at man i større grad vil måtte skreddersy prosessløsningen til å kunne håndtere spesifikke problemer. Dette er spesielt aktuelt som poleringstrinn for fjerning av mikroforurensninger, lukt og smaksstoffer, osv:

- Oksidasjon og avanserte oksidasjonsprosesser
 - Lav bølgelengde UV (vakuum UV) eller katalytisk UV
 - UV/hydrogen peroksid
 - Ozon/UV
 - Katalytisk ozonering
 - Ozon/hydrogen peroksid

- Adsorpsjonsprosesser
 - Nye adsorpsjonsprosesser som for eksempel MIEX, zeolitter, osv.
 - Skreddersydde løsninger som for eksempel spesifikke ionebyttemasser.
- Biologiske prosesser
 - Prosesser der biologien er tilpasset forbindelsene som skal fjernes.

En tredje aktuell kategori er desinfeksjonsprosesser der man kombinerer ulike prosesser for å oppnå en synergieffekt som medfører at den totale effekten er bedre enn summen av de enkelte effektene. Dette kan være spesielt aktuelt der man frykter forekomst av resistente patogener, eller har en vannkvalitet som kan forstyrre en av de aktuelle desinfeksjonsprosessene. Eksempler på slike kombinasjoner er:

- Kombinert desinfeksjon
 - Fler-trinns desinfeksjon der ulike kjente desinfeksjonsmetoder kombineres.
 - Kombinasjon av oksidasjon og desinfeksjon.
 - Alternative desinfeksjonsmetoder som er lite brukt i Norge (for eksempel klordioksid)

Felles for alle disse prosessene eller prosesskombinasjonene er at man har relativt lite kunnskap om dem, og om hvordan de bør driftes og virker i ulike sammenheng. Det er derfor et stort forsknings- og utviklingsbehov før disse prosessene kan tas i bruk og utnyttes optimalt.

5. Forslag til nye FoU-prosjekter

Ut fra de vurderinger som er anskueliggjort tidligere i rapporten, er det identifisert FoU-behov innenfor flere viktige områder. Vi fokuserer her på det som er kommende utfordringer innen norsk drikkevannsforsyning, primært begrenset til utvikling i vannkilder, potensielle kildeforurensinger og vannbehandlingstiltak.

Nedenfor presenterer vi prosjektforslag i prioritert rekkefølge med mål og tema for hvert prosjekt. En del viktige tema som berører kommende utfordringer, er allerede dekket i gjennomførte og igangsatte FoU-prosjekt, og blir derfor ikke tatt med her. Som eksempel kan nevnes det pågående VISK-prosjekt som tar for seg virusspredning til drikkevannskilder, risikovurdering av smitte via vannforsyning og tiltak mot virus i drikkevannet.

1) Foresight vurdering av ulike drikkevannskilder

Mål

Framskrive utvikling i ulike typer drikkevannskilder som grunnlag for preventiv tiltaksvurdering på vannverk. Tips og veiledning til hvilke hensyn som skal tas i forbindelse med dimensjonering av vannbehandlingsprosesser for framtidige scenarier.

Tema

Kildeutvikling ut fra gitte bakgrunnsscenario for innsjøer, tjern, elver og grunnvann.
Endringsretning og endringshastighet.
Risikovurdering mht. drikkevannsforsyningen.
Casevurderinger med foresight vurdering for noen konkrete vannverk (som eksempler).

2) Krav til vannbehandling i møtet med forverret råvannskvalitet

Mål

Øke robustheten og sikre akseptabel vannkvalitet ved vannbehandlingsanlegg.

Tema

2-3 ulike scenarier basert på prosjekt 1.
Nye krav til/anbefalinger om vannbehandling pga. endret råvannskvalitet.
Systemanalyse av vannbehandlingsprosessene i norske anlegg, og identifisering av mangler.

3) Optimaliseringsmuligheter for, og dokumentasjon av barriereeffekter ved, kontaktfiltreringsanlegg i møtet med forverret råvannskvalitet.

Mål

Forlenge levetiden, øke robustheten og sikre akseptabel vannkvalitet til nyere, etablerte vannbehandlingsanlegg basert på kontaktfiltrering.

Tema

Optimaliserings- og styringsmessige tiltak ved kontaktfiltreringsanlegg for å kunne håndtere råvann med høyere NOM-nivå og turbiditet, og større og raskere kvalitetsvariasjoner.

Hygieniske barriereeffekter i ulike driftssituasjoner og -sykluser, og hvordan dokumentere disse.

Kvalitetsovervåkning og automatiserte korreksjoner ved avvik og før avvik skjer. Kapasitetsøkning og redusert slamansamling i filter samtidig med sikker rentvannskvalitet.

4) Optimaliseringsmuligheter for ozonering-biofiltreringsanlegg i møtet med forverret råvannskvalitet.

Mål

Forlenge levetiden, øke robustheten og sikre akseptabel vannkvalitet ved nyetablerte vannbehandlingsanlegg basert på ozonering-biofiltrering.

Tema

Optimaliseringstiltak ved ozonering-biofiltreringsanlegg for å kunne håndtere råvann med høyere NOM-nivå og raskere kvalitetsvariasjoner.

Prosessmessige tiltak for å unngå uakseptabel BDOC-rest i behandlet vann.

Kvalitetsovervåkning og automatiserte korreksjoner ved avvik og før avvik skjer.

5) Forbedret forbehandling for membranfilteranlegg i dag og i møtet med forverret råvannskvalitet.

Mål

Øke robusthet, kapasitet og levetid for membraner ved en optimalisering av forbehandlingen.

Tema

Metoder for forbehandling.

Effekt på fouling av ulike typer forbehandling.

Konsekvenser for forbehandling og membranlegg av forverret råvannskvalitet.

6) Nye, aktuelle vannbehandlingsprosesser og prosesskombinasjoner for drikkevannsbehandling (forprosjekt)

Mål

Finne egnede, nye vannbehandlingsløsninger for norske forhold, tilpasset råvann med høyt og variabelt innhold av NOM og turbiditet, og større krav til hygieniske prosessbarrierer. Forstudie som grunnlag for videre vurderinger og eventuelle pilotforsøk.

Tema

Prosessutvikling og praktiske erfaringer med vannbehandling fra andre land med samme problemstillinger som oss.

Nye, aktuelle enhetsprosesser.

Flertrinns prosessløsninger for membranfiltrering.

Flertrinns prosessløsninger for koagulering, ozonering og filtrering.

Kunstig infiltrasjon som behandlingstrinn.

Kost/nytte-vurdering av alternative prosesskombinasjoner.

7) Vekstbetingelser og begroing av opportunistiske patogener i ledningsnettet, og vannbehandlingstiltak for å motvirke dette.

Mål

Trinn 1: Avklare hvorvidt oppvekst av opportunistiske patogener i ledningsnettet er et potensielt problem i Norge. (Videreføring av Norsk Vann prosjekt "Optimalisering av biostabilitet i ledningsnettet")

Trinn 2: Avklare vannbehandlingens betydning for slik begroing, og finne prosessstiltak for å forhindre dette.

Tema trinn 1

Analysering av faktisk oppvekst av patogener i norske ledningsnett.
Betingelser for begroing.

Tema trinn 2

Dagens benyttede vannbehandlingsløsninger i forhold til vekstpotensial for patogener i behandlet vann (kontaktfiltrering, ozonering/biofilterering, membranfiltrering, primærklorering).

Sekundærdesinfeksjonsløsninger egnet for å forhindre ettervekst av patogener på ledningsnettet.

8) Algetoksiner og vannbehandlingstiltak

Mål

Avklare hvordan man vannbehandlingsteknisk kan løse et eventuelt problem med Cyanobakterier og algetoksiner i råvann, relatert til eksisterende norske prosessanlegg.

Tema

Penetreringsfare for algetoksiner i vanlige norske vannbehandlingsanlegg.
Erfaring med vannbehandlingstiltak mot algetoksiner i andre land.
Etablering av, og datainnsamling fra, pilotforsøk med filtrering i aktivt kull, ozonering/aktivt kull, m.m..
Prosessoppbygging og dimensjonering av prosessanlegg for sikker fjerning av algetoksiner fra norsk råvann.

9) Muggsopp og vannbehandlingstiltak

Mål

Avklare hvordan man vannbehandlingsteknisk kan redusere faren for muggsopp i drikkevannet.

Tema

Betingelser for muggsoppdannelse i kilde og ledningsnett.
Vannbehandling som fjerner/reducerer muggsoppinnhold i drikkevannet.
Sekundærdesinfeksjonsløsninger for å hindre ettervekst av muggsopp på nett
– kjemikalievalg, virkning og doseringsmengder.

10) Metoder for genotyping og bestemmelse av viabilitet av Crypto og Giardia.

Mål

Framskaffe analysemetoder for realitetsundersøkelse av levende og skadelig innhold av *Cryptosporidium* og *Giardia* parasitter i drikkevann.

Tema

Kunnskap om analysemetoder i andre land.
Behov for bedre analyse-/målemetoder i Norge.
Anbefalt analysemetode.
Vurdering av evt. kommersiell interesse.

11) Optimalisering av grunnvannsanlegg

Mål

Sikre betryggende og akseptabel drikkevannskvalitet fra større grunnvannsverk i møtet med kommende utfordringer.

Tema

Flom og flomsikring.

Endringer i råvannskvalitet.

Vannbehandling for å fjerne jern og mangan.

Desinfeksjon og hygienisk sikring.

6. Referanser

Ainsworth, R. 2004. Safe piped water. WHO-rapport. Padstow, Cornwall, UK. ISBN 92 4 156251 X

Danilenko, A., Dickson, E., Jacobsen, M. (2010). Climate change and urban water utilities: challenges and opportunities. Water working notes No. 24. Water Sector Board of the Sustainable Development Network of the World Bank Group.

Eikebrokk, B. og Thorvaldsen, G. (2010). NOM-fraksjonering og BDOC-analyser: Effektive verktøy for diagnose av vannbehandlingsprosesser og vurdering av optimaliseringstiltak? VANN, Nr. 2, 201-212

Eikebrokk, B. (2009). Klimaeffekter og vannforsyning. Fagdag om Klimaendringer og fremtidige utfordringer knyttet til råvannskvalitet og vannbehandling, Colifast AS og IVAR IKS , Ålgård, 11. november 2009

Eikebrokk, B., Ræstad, C., Hem, L.J. og Gjerstad, K.O. (2008). Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann. Norsk Vann-rapport 164/2008. ISBN 978-82-414-0300-2 ISSN 1504-9884 (trykt utgave). ISSN 1890-8802 (elektronisk utg.)

Eikebrokk, B., Gjerstad, K.O., Hindal, S., Johanson, G., Røstum, J. og Rytter, E. (2006). Giardia-utbruddet i Bergen høsten 2004 – Rapport fra det eksterne evalueringsutvalget, mai 2006. www.bergen.kommune.no

Eikebrokk, B., Vogt, R. D. and Liltved, H. (2004). NOM-increase in Northern-European source waters: discussion of possible causes and impacts on coagulation-contact filtration processes. *Water Science and Technology: Water Supply*, Vol. 4, No. 4, 47-54.

EMA (2006). Guideline on the environmental risk assessment of medicinal products for human use. European Medicines Agency, London.

EU (1998). Council directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption.

Frengstad, B., Banks, D., Skrede, Aa. M., Krog, J. R., Siewers, U., Strand, T. (2002). The hydrochemistry of crystalline bedrock groundwater in Norway. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin* 439, 87-98.

Folkehelseinstituttet (2004). Vannforsyningens ABC, kapittel B – Vannkvalitet.

Folkehelseinstituttet (2009). Rapport 2009:2. Miljø og helse – en forskningsbasert kunnskapsbase.

Forsberg, C. (1992). Will an increased greenhouse impact in Fennoscandia give rise to more humic and coloured lakes? *Hydrobiologia*, 229, 51–58.

Grey, N. F. (2008). Drinking water quality. 2nd ed. Cambridge University Press, UK.

Grung, M., Källqvist, T., Sakshaug, S., Skurtveit, S., Thomas, K. V. (2007). Environmental assessment of Norwegian priority pharmaceuticals based on the EMA guideline. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 71, 328-340. Elsevier Inc.

Guillot, E. and Loret, J.F. (2010). Waterborne Pathogenes: Review for the drinking water industry. Global Water Research Coalition (GWRC) report. ISBN 13 9781843391791, IWA Publishing, London, UK.

Hageskal, G., Lima, N., Skaar, I. (2009). The study of fungi in drinking water. *Mycological Research* 113, 165-172. The British Mycological Society.

Hageskal, G., Vrålstad, T., Knutsen, A. K., Skaar, I. (2008). Exploring the species diversity of *Trichoderma* in Norwegian drinking water systems by DNA barcoding. *Molecular Ecology Resources* 8, 1178 – 1188. Blackwell publishing Ltd.

Hageskal, G. (2008). Muggsopp i norsk drikkevann – forekomst og utbredelse i distribusjonssystemet. Vann – 1 – 2006.

Hageskal, G., Gaustad, P., Heier, B. T., Skaar, I. (2006). Occurrence of moulds in drinking water. *Journal of Applied Microbiology* ISSN 1364-5072. The Society for Applied Microbiology.

Hageskal, G., Knutsen, A. K., Gaustad, P., Sybren de Hoog, G., Skaar, I. (2006). Diversity and significance of mould species in Norwegian drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, Dec. 2006, p. 7586-7593. American Society for Microbiology.

Hanssen – Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandsven, S., Sorteberg, A., Sundby, S., Vasskog, K., Ådlandsvik, B. (2009). Klima i Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU klimatilpassning, Norsk klimasenter, september 2009, Oslo.

Hem, L. J. (2002). Potential water quality deterioration of drinking water caused by leakage of organic compounds from materials in contact with the water. *Proceedings, 20th NoDig conference*, Copenhagen May 28-31 2002.

Hem, L. J., Thorsen, T. (2008). Driftserfaringer med membranfiltrering. Norsk Vann Prosjektrapport 160/2008.

IPCC (2008). *Climate Change and Water: Technical Paper*. (B.C. Bates, Z.W. Kundzewicz, S. Wu & J.P. Pautikof, editors). IPCC Secretariat, Geneva.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. An Assessment of the IPCC. A Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Adopted section by section at IPCC Plenary XXVII, Valencia, Spain, Nov. 12-17.

Keil, F., Bechmann, G., Kümmerer, K., Schramm, E. (2008). Systemic risk governance for pharmaceutical residues in drinking water. *GAIA* 17/4 (2008): 355-361.

Kümmerer, K. (2009). The presence of pharmaceuticals in the environment due to human use – present knowledge and future challenges. *Elsevier*.

LeChevalier, M. W., Au, K-K. (2004). *Water Treatment and Pathogen Control. Process efficiency in achieving safe drinking water*.

Liltved, H. (2002). Vannbehandling og drikkevannskvalitet, Kursdagene NTNU Trondheim, Januar 2002. ISBN 82-566-1008-5, pp. 41-54.

Mattilsynet (2005). Veiledning til Drikkevannsforskriften av 4. desember 2001, Versjon 2, September 2005

Means, E. G., Laughier, M. C., Daw, J., A. & Owen, D., M. (2010) Impacts of Climate Change on Infrastructure Planning and Design: Past Practices and Future Needs. *Peer-Reviewed. Jour. AWWA*, 102:6

Means, E. G., Ospina, L., West, N., and Patrick, R. (2006). A Strategic Assessment of the Future of Water Utilities. AWWA Res. Fdn., Denver.

Miles, J., Means, E., Dixon, L., Bruebeck, T., Manning, A. & Patrick, R. (2001). Manager to Manager: Planning for the Effects of Climate Change. *Jour. AWWA*, 93:10:34

NORKLIMA (2009). Klima og nitrogen endrer produksjon i innsjøer. Fakta fra NORKLIMA. Nr. 3. Norges Forskningsråd.

Norvar (2005). Hormonhermere i drikkevann. VA-fakta V5 vannforsyning.

Nygård, Gondrosen, Lund (2003). Sykdomsutbrudd forårsaket av drikkevann i Norge. Tidsskrift Norsk Lægeforening. 123 3410-3413

Oppenheimer, J. A., Aieta, E. M., Trussel, R. R., Jacangelo, J. G., Najm, I. N. (2000). Evaluation of *Cryptosporidium* Inactivation in Natural Waters.

Ormerod, K., Lund, V. (2004). Vannbehandling som hygienisk barrier mot *Cryptosporidium*, *Giardia* og bakteriesporer. VANN (1) 24-40.

Prüss-Üstün, A., Bos, R., Gore, F., Bartram, J. (2008). Safer water, better health: costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. World Health Organization, Geneva.

Robertson, L. J. og Gjerde, B. (2001). Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in raw water in Norway, Scand J Public Health, 29, 200-207.

Robertson, L. J., Hermansen, L., Gjerde, B. K. (2006). Occurrence of *Cryptosporidium* Oocysts and *Giardia* Cysts in Sewage in Norway. Applied and Environmental Microbiology, vol. 72 (8) 5297-5303.

Schijven, J. F., Hassamizadeh, S. M. (2000). Crit. rev. environ. sci. tech. nr. 31, 49-125.

Sjevraak, I. (2000). Utlekking av organiske forbindelser fra materialer i kontakt med drikkevann. Vann, 2, 141-144.

Sjevraak, I., Due, A., Gjerstad, K. O., Herikstad, H., (2002). Volatile organic compounds migrating from plastic pipes (HDPE, PEX and PVC) into drinking water. Submitted, Water Research.

Svenskt Vatten (2007). Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat. Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen. Meddelande M 135.

Taylor L. M., Latham S. M., & Woolhouse M. E. J., (2001). Risk Factors for Human Disease Emergence. Philosophical Transactions of the Royal Society of London – B, 356: 983-989

Tjomsland, T., Rohrlack, T., (2008). Simulated effects on hydrophysics and water quality in lakes due to climate change. Report No: 26160. Norwegian Institute for Water Research (NIVA).

Tveit, I., Søbstad, Ø., Kalland, I., Seim, A., Arnesen, R.Ø., Fennel, P. (2005). *Giardia* utbruddet i Bergen høsten 2004. Rapport Bergen 18. februar 2005.

USEPA (1999). Microbial and Disinfection Byproduct Rules Simultaneous Compliance Guidance Manual. Rapport EPA 815-R-99-015, USA.

USEPA (2005). Public Water Supply Distribution Systems: Assessing and reducing Risks. Washington DC, USA. ISBN 0-309-09628-6.

Van der Wielen, P., Senden, W., Medema, G. (2008). Environmental Science and Technology nr. 42, 4589-4594.

Vitenskapskomiteen for mattrygghet (2009). Kombinerte effekter av kjemiske stoffer i mat og drikke. www.vkm.no

Vitenskapskomiteen for mattrygghet (2009). Risikovurderinger av parasitter i norsk drikkevann. ISBN: 978-82-8082-342-7

World Health Organization (2004). Pathogenic mycobacteria in water – A Guide to Public Health Consequences, Monitoring and Management. Padstow, Cornwall, UK. ISBN 92 4 156259 5.

World Health Organization (2003). Emerging Issues in Water and Infectious Disease. Geneva, Switzerland. ISBN 92 4 159082 3

Ødegaard, H., Fiksdal, L., Østerhus, S. (2006). Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann. Norvar Prosjektrapport 147/2006.

Ødegaard, H., Østerhus, S., Melin, E. (2009). Optimal desinfeksjonspraksis fase 2. Norsk Vann Prosjektrapport 169/2009.

Kilder internett

www.fass.se.

Svensk miljöklassifisering av läkmedel. LIF-de forskande läkmedelsföretagen.

www.iom.int/jahia/Jahia/about-migration/lang/en
International Organization for Migration

www.klimakommune.no
Klimatilpassninger i norske kommuner

www.kreftregisteret.no

www.legemiddelforbruk.no

www.matportalen.no
Informasjon om mat fra offentlige myndigheter

www.miljostatus.no
Miljøstatus i Norge. Klima- og forurensningsdepartementet.

www.ssb.no/magasinet , Statistisk sentralbyrå

www.unwto.org/index.php , World Tourism Organization

www.techneau.eu
Rapporter og dokumentasjon fra EU-prosjektet Techneau – det hittil største EU-prosjektet om drikkevann

www.sintef.no , SINTEF, Norge

Utgitte Norsk Vann Rapporter

(Tidligere kalt NORVAR-rapporter)

20. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Sluttrapport
- 20a. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Aerob og anaerob behandling
- 20b. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Kalking. Kompostering
- 20c. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Slamavvanning
- 20d. Slambehandling og -disponering ved større kloakkrenseanlegg. Termisk behandling av kloakkslam
21. NORVAR's årsberetning 1991
22. EDB i VAR-teknikken. Fase 1 - kravspesifikasjoner m.m. Status-beskrivelse og forslag til videre arbeid (*Utgått*)
- 23a. Internkontroll for VA-anlegg. Mal for internkontroll-håndbok for VA-anlegg.
- 23b. Internkontroll for VA-anlegg. Internkontrollhåndbok for avløpsanlegg. Eksempel fra Fredrikstad og omegn avløpsanlegg
- 23c. Internkontroll for VA-anlegg. Internkontrollhåndbok for vannverk. Eksempel fra Vansjø vannverk
- 23d. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg. Informasjon, avvik og tiltak, verne- og sikkerhetsarbeid, opplæring
- 23e. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg. HMS ved vannbehandlingsanlegg
- 23f. Aktivitetsstyrende håndbok for VA-anlegg. HMS ved avløpsrenseanlegg
- 23g. Interkontroll for VA-anlegg. Eksempel på driftsinstruks Oltedalen kloakkrenseanlegg
- 23h. Internkontroll for VA-anlegg. Eksempel på driftsinstruks Smøla vannverk
- 23i. Internkontroll for VA-anlegg. Internkontroll for VA-transportsystemet. Eksempel fra Nedre Eiker kommune
24. NRV-prosjekt. Korrosjonskontroll ved vannbehandling med mikronisert marmor
25. Mal for prosessoppfølging av anlegg for stabilisering og hygienisering av slam
26. Installasjon av gassmotor for strømproduksjon ved rensanlegg
27. Mottak og behandling av avvannet råslam ved rensanlegg som hygieniserer og stabiliserer slam i væskeform
28. Slam på grøntarealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt
29. Regnvannsoverløp
30. Utvikling og uttesting av datasystem for informasjonsflyt i VA-sektoren (*Utgått*)
31. PRO-VA, Brukerklubb for prosess-styresystemer, drift- og fjernkontroll for VA-anlegg. Oversikt pr.1993. Leverandører, produkter, konsulenter (*Utgått*)
32. Bruk av statiske metoder (kjemometri) for å finne sammenhenger i analyseresultater for avløpsvann
33. Evaluering av enkle rensemetoder. Slamavskillere
34. Evaluering av enkle rensemetoder. Siler/finnister
35. Kravspesifikasjon og kontrollprogram for VA-kjemikalier (*Utgått*)
36. Filter som hygienisk barriere
37. EU/EØS, konsekvenser for Norges vannforsyning
38. NORVAR-prosjekter 1992/93 (*Utgått*)
39. Implementering av EDB-basert vedlikeholdssystem. Erfaringer fra referanseprosjekt knyttet til pilot-prosjekt ved Bekkelaget rensanlegg (*Utgått*)
40. Driftsassistanter for avløp. Utredning om rolle og funksjon fremover
41. Metri-tel. Kommunikasjonsmedium for VA-installasjoner. Erfaringer fra prøveprosjekt i Sandefjord kommune (*Utgått*)
42. Industriavløp til kommunalt nett. Evaluering av utførte industrikartleggingsprosjekt.
43. Korrosjonskontroll ved Hamar vannverk
44. Slam på grøntarealer. Erfaringer fra et demonstrasjonsprosjekt. Vekstsesongen 1994
45. Forsøk med forfelling og felling i 2 trinn med polyaluminium-klorid høsten 1993 Kartlegging av slam- slamvannsstrømmer med og uten forfelling 1993-94
46. Renovering av avløpsledninger. Retningslinjer for dokumentasjon og kvalitetskontroll
47. Strategidokument for industrikontroll
48. NORVAR og miljøteknologi. Forprosjekt
49. Grunnundersøkelser for infiltrasjon - små avløpsanlegg. Forundersøkelse, områdebefaring og detaljundersøkelse ved planlegging og separate avløpsanlegg (*Erstattet av 178/10*)
50. Rørinspeksjon i avløpsledninger. Rapporteringshåndbok (*Erstattet av 145/05*)
51. Slambehandling
52. Bruk av slam i jordbruket
53. Bruk av slam på grøntarealer
54. Rørinspeksjon av avløpsledninger. Veileder (*Erstattet av 145/05*)
55. Vannbehandling og innvendig korrosjonskontroll i vannledninger
56. Vannforsyning til næringsmiddelindustrien. Krav til kvalitet. Vannverkenes erstatningsansvar ved svikt i vannleveransen
57. Trykkreduksjon. Håndbok og veileder
58. Karbonatisering på alkaliske filter
59. Veileder ved utarbeidelse av prosessgarantier
60. Avløp fra bilvaskeanlegg til kommunalt rensanlegg
61. Veileder i planlegging av fornyelse av vannledningsnett
62. Veileder i planlegging av spyling og pluggkjøring av vannledningsnett
63. Mal for godkjenning av vannverk
64. Driftserfaringer fra anlegg for stabilisering og hygienisering av slam i Norge
65. Forslag til veileder for fettavskillere til kommunalt avløpsnett
66. EØS-regelverket brukt på anskaffelser i VA-sektoren
67. Filter som hygienisk barriere - fase 3
68. Korrosjonskontroll ved Stange vannverk
69. Evaluering av enkle rensemetoder, fase 2. Siler/finnister
70. Evaluering av enkle rensemetoder, fase 2. Store slamavskillere samt underlag for veileder
71. Evaluering av enkle rensemetoder, fase 3. Veileder for valg av rensemethode ved utslipp til gode sjøresipienter
72. Utviklingstrekk og utfordringer innen VA-teknikken. Sammenstilling av resultatet fra arbeidet i NORVARs gruppe for langtidsplanlegging i VA-sektoren
73. Etablering av NORVARs VA-infotorg. Bruk av internett som kommunikasjonsverktøy (*Utgått*)
74. Informasjon fra NORVARs faggruppe for EDB og IT. Spesialrapport - 5. Utgave Beskrivelse av 34 EDB-programmer/Moduler for bruk i VA-teknikken (*Erstattet av 133/03*)
75. NORVARs faggruppe for EDB og IT. IT-strategi i VA-sektoren. (*Erstattet av 133/03*)
76. Dataflyt-klassifisering av avløpsledninger. (*Erstattet av 150/07*)
77. Alternative områder for bruk av slam utenom jordbruket. Forprosjekt
78. Alternative behandlingsmetoder for fettslam fra fettavskillere
79. Informasjonssystem fordrikkevann, forprosjekt
80. Sjekkliste/veiledninger for prosjektering og utførelse av VA-hoved og stikkledninger - sanitærinstallasjoner
81. Veileder. Kontrahering av VA-tekniske prosessanlegg i totalentreprise
82. Veileder for prøvetaking av avløpsvann
83. Rørinspeksjon med videokamera. Veiledning/rapportering (*Erstattet av 145/05*)
84. Forfall og fornyelse av ledningsnett
85. Effektiv partikkelseparasjon innen avløpsteknikken
86. Behandling og disponering av vannverksslam. Forprosjekt
87. Kalsiumkarbonatfiltre for korrosjonskontroll. Utprøving av forskjellige marmormasser
88. Vannglass som korrosjonsinhibitor. Resultater fra pilotforsøk i Orkdal kommune
89. VA-ledningsanlegg etter revidert plan- og bygningslov
90. Actiflo-prosjektet ved Flesland ra
91. Vurdering av "slamfabrikk" for Østfold
92. Informasjon om VA-sektoren - forprosjekt
93. Videreutvikling av NORVAR. Resultatet av strategisk prosess 1997/98
94. Nettverksamarbeid mellom NORVAR, driftsassistanter og kommuner
95. Veileder for valg av riktige sensorer og måleutstyr i VA-teknikken

96. Rist- og silgods - karakterisering, behandlings- og disponeringsløsninger
97. Slamforbrenning (VA-forsk 1999-11). (Samarbeidsprosjekt med VAV)
98. Kvalitetssystemer for VA-ledninger. Mal for prosessen for å komme fram til kvalitetssystem som tilfredsstiller kravene i revidert plan- og bygningslov
99. Veiledning i dokumentasjon av utslipp
100. Kvalitet, service og pris på kommunale vann- og avløpstjenester
101. Status og strategi for VA-opplæringen
102. Oppsummering av resultater og erfaringer fra forsøk og drift av nitrogenfjerning ved norske avløpsrenseanlegg
103. Returstrømmer i renseanlegg. Karakterisering og håndtering
104. Nordisk konferanse om nitrogenfjerning og biologisk fosforfjerning 1999
105. Sjekkliste plan- og byggeprosess for silanlegg
106. Effektiv bruk av driftsinformasjon på renseanlegg/mal for rapportering
107. Utslipp fra mindre avløpsanlegg. Teknisk veiledning. Foreløpig utgave
108. Data for dokumentasjon av VA-sektorens infrastruktur og resultater
109. Resultatindikatorer som styringsverktøy for VA-ledelsen
110. Veileder i konkurranseutsetting. Avtaler for drift og vedlikehold av VA-anlegg
111. Eksempel på driftsinstruks for silanlegg. Cap Clara i Molde kommune
112. Erfaringer med nye renseløsninger for mindre utslipp
113. Nødvendig kompetanse for drift av avløpsrenseanlegg. Læreplan for driftsoperatør avløp
114. Nødvendig kompetanse for drift av vannbehandlingsanlegg. Læreplan for driftsoperatør vann
115. Pumping av avløpsslam. Pumpetyper, erfaringer og tikk
116. Scenarier for VA-sektoren år 2010
117. VA-juss. Etablering og drift av vann- og avløpsverk sett fra juridisk synsvinkel (*Erstattet av 134/03*)
118. Veiledning for kontrahering av rådgivnings- og prosjekteringstjenester innen VAR- teknikk (*Erstattet av 138/04*)
119. Omstruktureringer i VA-sektoren i Norge En kartlegging og sammenstilling
120. Strategi for norske vann- og avløpsverk. Rapport fra strategiprosess 2000/2001
121. Kjøkkenavfallskverner for håndtering av matavfall. Erfaringer og vurderinger
122. Prosessen ved utarbeidelse av miljømål for vannforekomster. Erfaringer og råd fra noen kommuner
123. Utslipp fra mindre avløpsanlegg. Veiledning for utarbeidelse av lokale forskrifter
124. Nødvendig kompetanse for legging av VA-ledninger. Læreplan for ADK 1
125. Mal for forenklet VA-norm
126. Organisering og effektivisering av VA-sektoren. En mulighetsstudie
127. Vassdragsforbund for Mjøsa og tilløpselvene - en samarbeidsmodell
128. Bruk av resultatindikatorer og benchmarking i effektivitetsmåling av kommunale VA-virksomheter. Erfaringer og anbefalinger fra et prøveprosjekt
129. Røriinspeksjon med videokamera. Veiledning/rapportering hovedledninger
130. Gjenanskaffelseskostnadene for norske VA-anlegg
131. Effektivisering av avløpssektoren
132. Forslag til nytt system for prosjektvirksomheten i NORVAR
133. IT-strategi for VA-sektoren. Veiledning
134. VA-JUS. Etablering og drift av vann- og avløpsverk sett fra juridisk synsvinkel (*Oppdateres årlig på www.norskvann.no*)
135. Vannledningsrør i Norge. Historisk utvikling. 26 dimensjonstabeller
136. Hygienisk barrierer og kritiske punkter i vannforsyningen: Hva har gått galt?
137. Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbasseng (*erstattet av 181/2011*)
138. Veiledning for kontrahering av rådgivnings- og prosjekteringstjenester innen VAR-teknikk. Revidert utgave
139. Erfaringer med klorering og UV-stråling av drikkevann
140. NORVARs videre arbeid med slam. Strategisk plan for prosjektvirksomhet, informasjon og kommunikasjon. Forprosjekt
141. Trenger Norge en VA-lov? Drøfting av behovet for en egen sektorlov for vann og avløp
142. NORVARs benchmarkingsprosjekt 2004 Presentasjon av målesystem og resultater for 2003 ed analyse av datamaterialet
143. Kartlegging av mulig helserisiko for abonnenter berørt av trykkløs vannledning ved arbeid på ledningsnettet
144. Veiledning i overvannshåndtering (*Erstattet av 162/08*)
145. Inspeksjonsmanual for avløpssystemer. Del 1 – Ledninger
146. Bærekraftig vedlikehold. Betrakninger av utvalgte problemstillinger knyttet til langsiktig forvaltning av vannledningsnett
147. Optimal desinfeksjonspraksis for drikkevann
148. Veiledning i utarbeidelse av prøvetakingsprogrammer for drikkevann
149. Tilførsel av industrielt avløpsvann til kommunalt nett. Veiledning
150. Dataflyt – Klassifisering av avløpsledninger
151. Veiledning for vedlikeholdssystemer (FDV)
152. Veiledning for anskaffelse av driftskontrollsystemer i VA-sektoren
153. Norm for symboler i driftskontrollsystemer for VA-sektoren
154. Norm for tagkoding i VA-anlegg
155. Norm for merking og FDV-dokumentasjon i VA-sektoren
156. Veiledning for oljeutskilleranlegg
157. Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam. Resultater fra undersøkelsen i 2006/07
158. Termoplastrør i Norge – før og nå
159. Håndbok i kildeprosjekt i avløpssystemet
160. Driftserfaringer med membranfiltrering
161. Helsemessig sikkert vannledningsnett
162. Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering
163. Veiledning for innhenting og evaluering av tilbud på analyseoppdrag
164. Veiledning for UV-desinfeksjon av drikkevann
165. Innsamlingsverktøy for vedlikeholdsdata
166. Tiltak for å bedre fosforfjerningen på kjemiske renseanlegg
167. Veiledning for kjøp av VA-kjemikalier
168. Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg
169. Optimal desinfeksjonspraksis fase 2
170. Veileder til god desinfeksjonspraksis
171. Erfaringer med lekkasjekontroll
172. Trykktap i avløpsnett
173. Veiledning for bruk av støpejernsrør
174. Hygienisering av avløpsslam. Langtidslagring og enkel rankekompostering. Resultater fra 3 års valideringstesting
175. Vann og avløp for nye i bransjen – læreplan E-læring og samlinger
176. Statlige gebyrer og avgifter på de kommunale VAR-tjenestene
177. Drikkevannskvalitet og kommende utfordringer – problemoversikt og status

Rapportserie B:

- B1: Effektive VA-organisasjoner og tilfredse brukere. Forprosjekt
- B2: PressurePuls for deteksjon av lekkasje på vannledninger.
- B3: Kvalitetsheving av nye VA-ledningsanlegg. Kartlegging og tiltaksforslag
- B4: Vannkvalitet i ledningsnett – Problemoversikt og status. Forprosjekt.
- B5: Utslipp fra bilvaskehaller
- B6: Kommunikasjonsstrategi for NORVAR og norske vann og avløpsverk
- B7: Sandnesmodellen. Eksempel på system for kommunikasjon og virksomhetsstyring
- B8: Forprosjekt energinettverk i VA-sektoren
- B9: Utvikling av et system for spørreundersøkelser blant VA-kundene
- B10: Vannkilden som hygienisk barriere
- B11: Økonomiske forhold i interkommunalt VA-samarbeid – praksis og kjøreregler
- B12: Drikkevann i media
- B13: Silslam – mengder, behandlingsløsninger og bruksområder. Forprosjekt.
- B14: Klimatilpasningstiltak i VA-sektoren - forprosjekt

Rapportserie C:

- C1: Sårbarhet i vannforsyningen
- C2: Stoff for stoff – kilde for kilde. Kvikksølv i avløpsnettet
- C3: Samarbeid om økt bruk av avløpsslam på grøntarealer
- C4: Effekter av bruk av matavfallskverner på ledningsnett, renseanlegg og avfallsbehandling
- C5: Økt sikkerhet og beredskap i vannforsyningen - veiledning

De mest aktuelle rapportene ligger som PDF-filer på www.norskvann.no



- Norsk Vann er en ikke-kommersiell interesseorganisasjon for vann- og avløpssektoren (VA-sektoren). Organisasjonen skal bidra til å oppfylle visjonen om rent vann ved å sikre VA-sektoren funksjonelle rammevilkår og legge til rette for kunnskapsutvikling og kunnskapsdeling.
- Norsk Vann eies av norske kommuner, kommunalt eide VA-selskaper, kommunenes driftsassistanser for VA og noen private andelsvannverk. Norsk Vann representerer ca 360 kommuner med over 95 % av landets innbyggere. Virksomheten finansieres i hovedsak gjennom kontingenter fra medlemmene.
- Norsk Vann styres av eierne gjennom årsmøtet og av et styre sammensatt av representanter fra eierne.

- I Norsk Vanns prosjektsystem gjennomføres hvert år prosjekter for ca. 6 mill. kroner
- Det er praktiske og aktuelle spørsmål innenfor vann- og avløp som utredes
- Deltakerne foreslår prosjekter, styrer gjennomføringen og får full tilgang til alle resultater

