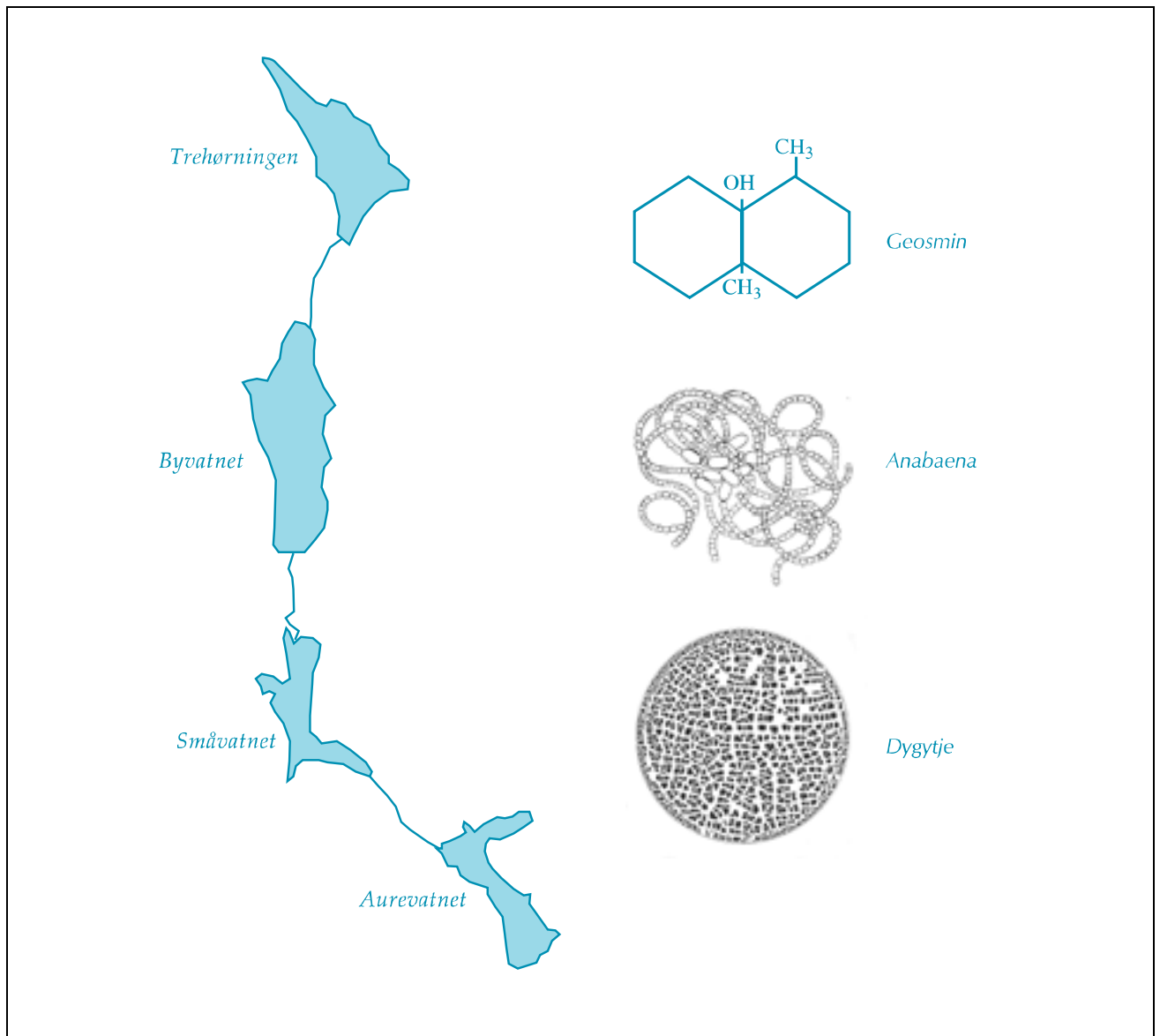


# Aurevatnsystemet: Sensorisk vannkvalitet og blågrønnalger

Hydrobiologiske undersøkelser  
2001-2003



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Aurevatnsystemet: Sensorisk vannkvalitet og blågrønnalger. Hydrobiologiske undersøkelser.	Løpenr. (for bestilling) 4774-2004	Dato 15. mars 2004
	Prosjektnr. Undernr. 90100/21242	Sider Pris
Forfatter(e) Olav Skulberg	Fagområde Hydrobiologi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Bærum, Akershus	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Bærum kommune / Kommunalteknisk seksjon	Oppdragsreferanse
---	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Lukt- og smakproblemer i vannforsyningen fra Aurevatnmagasinet, Bærum kommune, Akershus, behandles med grunnlag i en hydrobiologisk undersøkelse 2002-2003. Generelle forhold knyttet til sensorisk vannkvalitet og vannforekomstenes naturlige egenskaper beskrives. Undersøkelsen hadde primær oppmerksomhet på mikroorganismer med mulig produksjon av stoffskifteprodukter som kan forårsake lukt og smak på drikkevann. Resultatene viste at spesielt blågrønnalger i plankton (<i>Anabaena lemmermannii</i>) og bentos (arter av slekten <i>Lyngbya</i>) utgjorde aktuelle problemorganismer. Praktiske tiltak for sikring av råvannskvaliteten blir foreslått utprøvet, spesielt via kontrollert utskifting av vannmasser i Aurevatnet. Hensikten er bl.a. å motvirke uønsket masseutvikling av mikroalger i planktonet.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Drikkevann</li> <li>2. Lukt- og smakproblemer</li> <li>3. Cyanobakterier/blågrønnalger</li> <li>4. Kontrollert vannutskifting</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Drinking water</li> <li>2. Off-flavour problems</li> <li>3. Cyanobacteria/blue-green algae</li> <li>4. Hydraulic flushing</li> </ol>
---	---



Torulv Tjomsland  
Prosjektleder



Anne Lyche Solheim  
Forskningsleder



Nils Roar Sælthun  
Forskningsdirektør

# **Aurevatnsystemet: Sensorisk vannkvalitet og blågrønnalger.**

Hydrobiologiske undersøkelser

## Forord

Vannforsyningen til Bærum kommune fra Trehørningvassdraget med overføring fra Heggelivassdraget er basert på et naturlig rent overflatevann med lavt mineralinnhold og humuspreg.

Det har vært episodiske tilfeller med spesiell negativ lukt- og smakpåvirkning av drikkevannet. Denne rapporten behandler årsaker og sammenhenger til disse ulempene.

Oppgaven ble utført i samarbeid med Bærum kommune - Kommunalteknisk seksjon og Bærum Vann A/S. Det rettes takk til medarbeiderne for utmerket hjelp og interesse for å klarlegge problemet og finne løsninger.

Oslo, 10. januar 2004

*Olav Skulberg*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>The report in brief</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning og målsetning</b>	<b>8</b>
<b>2. Generelt. Litt om sensorisk vannkvalitet</b>	<b>8</b>
<b>3. Bakgrunnskunnskap om Aurevatnsystemet</b>	<b>9</b>
3.1. Tidligere undersøkelser	9
3.2. Litt om fysiografiske forhold	9
<b>4. Spesielt. Observasjoner og erfaringer 2002-2003</b>	<b>10</b>
4.1. Materiale og metoder	10
4.2. Organismer i søkelyset	10
4.2.1. I vannmassene (planktiske arter)	10
4.2.2. I begroingene (bentiske arter)	13
4.2.3. I sedimentene (peliske arter)	14
<b>5. Drøftelser og vurderinger</b>	<b>15</b>
<b>6. Henvisninger</b>	<b>16</b>

---

## Sammendrag

- Det er foretatt en innledende undersøkelse av hydrobiologiske forhold i Trehørningsvassdragets innsjøer som kan være årsak til lukt- og smakproblemer i drikkevannet fra Aurevatnmagasinet. Arbeidet ble utført i 2002-2003 som oppdrag for Bærum kommune, under ledelse av Kommunalteknisk seksjon / Vann og avløp - driftsavdelingen, og i samarbeid med Bærum Vann A/S.
- Rapporten gir en kort omtale av begrepet sensorisk vannkvalitet. En hovedkilde til problemene med drikkevannets lukt og smak er knyttet til mikrobielle sekundære stoffskifteprodukter. Relevante stoffer inngår i gruppen som betegnes VOBS - "volatile organic biogenic substances" - med persepsjonsterskel i konsentrasjonsområdet ~ 0,01 mikrogram per liter. Velkjente eksempler er geosmin og 2-methyl-isoborneol, stoffskifteprodukter som bl.a. dannes av spesielle blågrønnalger og aktinomyceeter.
- En oversikt presenteres av foreliggende skrifter angående limnologiske forhold i vannforekomstene som inngår i Aurevatnsystemet (Søndre Heggelivatn, Trehørningen, Byvatnet, Småvatnet og Aurevatnet). Tidligere undersøkelser går tilbake til perioden da vannverket ble etablert med Aurevatnet som råvannsmagasin (1955).
- Metodene benyttet ved feltarbeidet og til laboratorieundersøkelsene var de rutinemessige fremgangsmåter til NIVA. Materialet som ble bearbeidet omfattet vannprøver og mikroorganismer i vannmassene, i begroinger og sedimenter. Fotosyntetiske mikroorganismer og bakterier som kan være potensielle produsenter av lukt- og smakstoffer, hadde hovedoppmerksomhet.
- Aurevatnsystemet er preget av naturlig rent avrenningsvann (Tabell 1 og 2). Råvannet er svakt surt med tilfredsstillende lav turbiditet. Humusstoffer gir vannet en middels høy vannfarge. Mineralinnholdet er gjennomgående lavt, men jern- og manganforbindelser viser høye verdier.
- Mikroalgene som ble påvist i planktonet, er sammenstilt i Tabell 4. Blågrønnalger, grønnalger og gullalger utgjorde de fremtredende organismegruppene. Eksempler på vanlige arter var *Anabaena lemmermannii*, *Botryococcus braunii*, *Mallomonas caudata*, *Tabellaria flocculosa* og *Cryptomonas marsonii*.
- Mikroalgene som ble påvist i begroingssamfunn er sammenstilt i Tabell 5. Det var blågrønnalger, grønnalger og kiselalger som utgjorde de fremtredende organismegruppene. Vanlige arter med betydelig utbredelse i innsjøens strandsone var bl.a. *Lyngbya* sp. (2 µm), *Mougeotia* sp. (11 µm), *Microspora amoena* og *Tabellaria flocculosa*.
- Bunnslammet i dyppartiet av Aurevatnmagasinet besto av dygytje. Innholdet var en mørk, brungul substans av humuspartikler med utfelt jern, sammen med noe grovdetritus og skallfragmenter av kiselalger. Det var uten lukt av geosmin. Bakteriegrupper med arter som har stammer med mulig geosmindannelse - aktinomyceeter - ble påvist i kulturforsøk med slammet (Tabell 6). Det ble imidlertid ikke utvikling av geosmin-lukt hverken i kulturene med faste eller flytende medier. Jernbakterier av slekten *Leptothrix* var fremtredende organismer i anrikningskulturene.

- Resultatene av undersøkelsen indikerte at blågrønnalger i plankton og bentos var den primære årsak til geosmindannelse i Aurevatnmagasinet. De mest betydningsfulle organismene i 2002-2003 var hhv. *Anabaena lemmermannii* i de frie vannmassene, og arter av slekten *Lyngbya* i begroinger i strandsonen. Det er grunn til å fremheve forekomsten av blågrønnalger i planktonet som den potensielt mest betydningsfulle kilde til lukt- og smakproblemer knyttet til geosmin.
- Sommeren 2002 ble det registrert en oppblomstring av en geosmin-produserende populasjon av *Anabaena lemmermannii* i Aurevatnmagasinet. En markert påvirkning av råvannet gjorde seg gjeldende med geosmin. I denne aktuelle perioden ble det imidlertid ikke rapportert om usmak på drikkevannet. Renseanlegget/renseprosessene mestret situasjonen under de rådende forhold.
- Algevegetasjonen i Trehørningsvassdragets innsjøer viste i det store og hele en sammenfallende kvalitativ likhet. Men det gjorde seg gjeldende en gradvis økende frodighet og en større diversitet av mikroalger fra Trehørningen til Aurevatnet. Sammenliknet med forholdene beskrevet i tidligere NIVA-rapporter, kan en viss eutrofierende tendens nå merkes i Aurevatnsystemet. Dette kan skyldes ny tilførsel av plantenæringsstoffer fra Søndre Heggelivatnet.
- Undersøkelsen påviste at masseutvikling av problemalger periodisk kan finne sted i Aurevatnmagasinet. Dette kan dreie seg om stammer som medfører usmak på drikkevann. Forholdet gjør det nødvendig med oppmerksomhet og føre-var initiativ for sikring av råvannskvaliteten.
- Kontrollert utskiftning av vannmasser bør prøves ut som praktiske tiltak for å minimalisere omfanget av mulige algeoppblomstringer med skadelige virkninger for råvannets sensoriske og sunnhetsmessige kvaliteter. Overvåking av algeutvikling og sensorisk vannkvalitet bør foretas før og etter tiltaket.

## The report in brief

Title: The Aurevatn system: Sensoric water quality and blue-green algae

Year: 2004

Author: Olav Skulberg

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4450-6.

The Aurevatn-reservoir supports Bærum municipality (Akershus, Norway) with natural clean water used as raw water for the public water works. The catchment area is a forest-covered hilly landscape (ca 300-600 m above sea level) with some areas of bogs and other wetlands. The drainage basin is forming the river system Trehørningsvassdraget, including the lakes Trehørningen, Byvatnet, Småvatnet and Aurevatnet, and with a regulated contribution of water from the lake Heggelivatnet. The chemical water quality is characterized by low concentrations of suspended matter, relatively high values for colour and total organic carbon (humic water), and low content of minerals according to the type of bedrock. The dystrophic nature of the pelagic water is reflected in the species composition of the phytoplankton, dominated by cyanophytes, chlorophytes and chrysophytes in moderate development.

Episodic problems with off-flavours in the water supply have been experienced. The consumer complaints were linked to the presence of earthy-musty odours. Geosmin produced by microorganisms is the likely cause of these events. During 2002-2003 a hydrobiological investigation was made, aiming at the understanding of the causal relationship in question.

The results indicated that flavour contamination of the raw water originated from growth of microbes in the water mass and in benthic communities. Of primary concern was the planktic species *Anabaena lemmermannii*, with predominance of strains producing extracellular substances including geosmin. The potential importance of other cyanobacteria developing in the littoral zone was evaluated. Species of the genus *Lyngbya* with production of earthy odours were common in extensive areas on solid substrata (epilithic growth). Heterotrophic microbes of the actinomycetes group appear to be of relatively minor importance for the off-flavour production in the Aurevatn-reservoir.

An appropriate solution for minimizing the problem is put forward. A controlled, hydraulic flushing of surface water aiming at suppression of nuisance development of planktic cyanobacteria is proposed. Further monitoring of occurrence of episodes with off-flavours is also suggested.



# 1. Innledning og målsetning

Kommunalteknisk seksjon ved Vann og avløp - driftsavdelingen i Bærum kommune gjorde 14.03.2002 en henvendelse til NIVA om episodiske problemer knyttet til lukt/smak i vannforsyningen fra Aurevatnsystemet. Etter drøftelser av forholdene ble det planlagt en undersøkelse med innledende arbeid (NIVA, 26.04.2002). Hensikten var å klarlegge mulige årsaker til negativ lukt- og smakpåvirkning av drikkevannet.

Det ble foretatt feltundersøkelser med prøvetaking i perioden juni-september 2002 og 2003. Det praktiske arbeidet ble utført med bistand fra Bærum Vann A/S. Biologisk materiale og vannprøver ble analysert ved NIVAs laboratorier i Oslo. Resultatene som fremkom ble løpende meddelt og drøftet med Bærum kommune og Bærum Vann A/S (NIVA 29.07.02, 08.08.02).

En sammenfattende redegjørelse med tilråding om oppgaver som trengte spesiell oppmerksomhet ble laget (NIVA, 21.03.03).

I rapporten som med dette formidles blir problemstillingen lukt- og smakpåvirkning av drikkevannet og erfaringene fra de foretatte undersøkelsene i Aurevatnsystemet behandlet.

## 2. Generelt. Litt om sensorisk vannkvalitet

I moderne vannbehandling stilles det strenge krav til drikkevannets sansbare egenskaper, noe som sammenfattes i begrepet sensorisk vannkvalitet (Skulberg 1988).

Før vi drikker vann, legger vi gjerne merke til vannets klarhet og fargepreg. Så snart vannet er tatt inn i munnen tilkjenner vi det seg gjennom flere stimuli. Vi føler berøringen i munnhulen, merker temperaturpåvirkningen og kjemiske forbindelser som gir lukt- og smaksinntrykk. Hjernen registrerer normalt helheten av disse sanseintrykkene før vannet svelges, og dette innebærer et vesentlig element i opplevelsen av å drikke vann for å stille tørsten.

Med utgangspunkt i den menneskelige lukte- og smakssans trekkes det opp praktiske retningslinjer for de mengder og konsentrasjoner av forskjellige stoffer som kan aksepteres for å tilfredsstille hygienisk god drikkevannskvalitet (Sävenhed 1986). Prinsipielt vil det være flere faktorer som er avgjørende for drikkevannets sensoriske kvalitet. Råvannets naturlige karakter er i regelen utslagsgivende. Men vannverkets rensetekniske behandling, og forholdene vannet utsettes for i fordelingsnettene vil også ha konsekvenser for sluttproduktet.

For vannverk med overflatevann/innsjøer som vannkilde vil det være nedbørfeltets geologiske natur, den biologiske tilstand og menneskelig påvirkning som samlet blir bestemmende for råvannets egenart. Samspillet mellom klimatiske faktorer og limnologiske prosesser fører til de dynamiske forandringer i vannets stofflige sammensetning og andre egenskaper. Enhver råvannskilde vil slik få sin spesielle sensoriske kvalitet. Og ulike organismsamfunn bidrar til å gi vannet forskjellig, naturpreget lukt og smak (Skulberg 1988).

Erfaring fra vannverkspraksis viser at det med få unntak er organiske stoffer som forårsaker vanlige problemer knyttet til drikkevannets lukt og smak (Zoetemar 1980). Det dreier seg ofte om relativt persistente forbindelser med konsentrasjonsverdier for lukt- og smak-sansing (persepsjon) i vann under 1 mikrogram per liter.

En relevant stoffgruppe betegnes på fagspråket VOBS - "volatile organic biogenic substances". Her inngår ulike organiske molekyler som er karakterisert med sine fysiske egenskaper for flyktighet, uansett deres kjemiske natur (Jüttner 1987). Flere av forbindelsene i denne stoffgruppen har en persepsjonsterskel i konsentrasjonsområdet 0,01 mikrogram per liter (Wood et al. 1983). De representerer sekundære stoffskifteprodukter dannet av mikroorganismer som kan utvikle seg i de frie vannmassene i råvannskilden (planktisk), i begroings-samfunn på overflater (bentisk) eller i slam (pelisk).

Det kan nevnes at det i naturlige vannforekomster vil være en årstidsvariasjon i produksjonen av VOBS, avhengig av suksesjonen av arter og fysiologisk aktivitet til organismene som utvikler seg. Forholdet innebærer at det i vannverkspraksis er nødvendig å ha oppmerksomhet på til dels raske endringer av sensorisk vannkvalitet i utsatte vannforsyninger.

## **3. Bakgrunnskunnskap om Aurevatnsystemet**

### **3.1. Tidligere undersøkelser**

Vannforsyningen til Bærum kommune fra Aurevatnsystemet har vært gjenstand for mange undersøkelser. Dette har fremskaffet viktige resultater som nå kommer til nytte i behandlingen av problemstillinger knyttet til den episodiske påvirkningen av drikkevannet med lukt- og smakstoffer. En kortfattet oversikt over skriftlige kilder vil bli gitt her.

Aurevatnsystemet omfatter innsjøene Trehørningen, Byvatnet, Småvatnet og Aurevatnet. Dessuten inngår Heggelivatnet via overføring av vann i tunnel til Trehørningen. Det ble tidlig foretatt limnologiske undersøkelser i disse lokalitetene (NIVA 1959, 1964, 1968). Rapporteringene gir holdepunkter om vannkvalitet og biologiske forhold som var fremherskende. Viktige informasjoner om planktonsamfunn og bakterieflora i tunnelen mellom Heggelivatnet og Trehørningen er dokumentert (NIVA 1968). Siden midten av 1960-årene - da ozonbehandling av råvannet ble tatt i bruk - oppsto betydelige problemer med begroing og slamførende drikkevann. Dette ga foranledning til undersøkelser som beskrev mikrobiell vekst og begroingspotensiale knyttet til råvannet og forskjellig renseteknisk behandlet vann (NIVA 1989, 1990, 1991). En episode med lukt- og smaksproblemer i 1990 ble drøftet knyttet til en befarig i august 1991 (NIVA 1991). Effekten av desinfeksjonsmidler på biofilm i ledningsnett er blitt undersøkt (Ormerod 1999). Videre er den baktericide effekten av UV-bestrålt vann fra Trehørningen blitt gjenstand for forskningsarbeid (Gjessing et al. 2003).

### **3.2. Litt om fysiografiske forhold**

Aurevatnsystemet er hovedsakelig preget av et nedbørfelt som skaper naturlig rent avrenningsvann.

Råvannet som benyttes i vannforsyningen, er svakt surt og har tilfredsstillende lav turbiditet. Vannets surhet er betinget av humusstoffenes syre-base-egenskaper. Humusstoffene er også årsaken til den høye vannfargen som kjennetegner råvannet. Mineralinnholdet er gjennomgående lavt, men konsentrasjonene av jern- og manganforbindelser er forholdsvis høye. Når det gjelder råvannets lukt- og smak, kan vannet stort sett beskrives som friskt med preg av en aroma fra myr og skog.

Trehørningsvassdragets kjemiske vannkvalitet - observert gjennom snart 50 år - har vært temmelig stabil gjennom tid når det gjelder kjemiske hovedkomponenter (TABELL 1). De fire innsjøene har, sett under ett, tilnærmet vannmasser med likeartet stofflig sammensetning (TABELL 2). Det samme har i stor grad gyldighet også for vannet som overføres fra Heggelivatnet (NIVA 1964).

Årsakene til de enkelte innsjøenes ulike kvalitative egenskaper og variasjonsmønstre, er vesentlig knyttet til bassengutformingen og fysiske forhold i forbindelse med vannmassenes oppholdstider (TABELL 3, data fra Bærum Vann A/S). Lokalitetenes egenart markerer seg i samspill med meteorologiske faktorer, årstidenes vekslinger og forløp av biologiske prosesser. Det vises til behandlingen av limnologiske relasjoner i tidligere NIVA-rapporter.

## **4. Spesielt. Observasjoner og erfaringer 2002-2003**

### **4.1. Materiale og metoder**

Det ble foretatt feltarbeid i vegetasjonsperioden 2002 (13.06., 23.07, 23.08 og 10.09). I 2003 ble det gjort sporadiske innsamlinger av prøver gjennom sommeren og høsten. Lokalitetene som hadde oppmerksomhet var Trehørningen, Byvatnet, Småvatnet og Aurevatnet. Det ble tatt prøver av de frie vannmasser og i strømmende vann ved innsjøenes utløpsområder. Feltarbeidet ble utført i henhold til vanlig praksis ved limnologiske undersøkelser (Vennerød 1984). Biologisk materiale ble bearbeidet på NIVAs laboratorier i Oslo. Binokularlupe og mikroskop ble brukt ved bestemmelse av organismene.

Kjemiske analyser. Metodene som ble benyttet var de rutinemessige for hydrokjemiske analyser ved instituttet (NIVA 2001).

Plankton. Materialet ble innsamlet i kvantitative prøver (sestonmetode, Skulberg 1978), via planteplanktonhåv (25 µm maskeåpning) og i sterilflasker (250 ml). Organismene ble undersøkt levende i forbindelse med feltobservasjonene. Materialet ble tatt vare på konservert med formalin (nøytralisert, 5% løsning). Oppdyrking av mikroalger og bakterier ble foretatt til systematiske studier.

Bentos. Det ble innsamlet prøver av begroingssamfunn i strandnære områder ved utløpet av innsjøene. Fremgangsmåten var tilpasset å tilveiebringe representativ biomasse av mikroalger (Christensen 1982). Materialet ble undersøkt levende i forbindelse med prøvetakingen, og benyttet til kulturforsk.

Sedimentprøver. Prøver av dyggtje ble samlet inn fra det dypeste parti av Aurevatnet i nærområdet til råvannsinntaket. Materialet ble benyttet til mikroskopisk analyse og kulturforsk for undersøkelse av eventuell forekomst av mikroorganismer med produksjon av luktmetabolitter (Rheinheimer 1976).

Kulturforsk. Det ble foretatt orienterende kulturforsk med oppdyrking av mikroalger, sopp og bakterier for påvisning og bestemmelse av relevante organismer. Metodene som ble benyttet var de vanlige i mikrobiologisk kulturteknikk (Stein 1973, Penn 1991).

### **4.2. Organismer i søkelyset**

Negativ påvirkning av drikkevanns sensoriske vannkvalitet er i stor utstrekning primært betinget av biologiske årsaker. Det kan da dreie seg om organiske forbindelser produsert av mikroorganismer som lever i de frie vannmassene, er knyttet til overflater eller utvikler seg i sedimenter. Med grunnlag i dette resonnement ble undersøkelsene rettet mot forekomst av potensielle problemorganismer i Aurevatnsystemets innsjøer og på strekninger med strømmende vann.

#### **4.2.1. I vannmassene (planktiske arter)**

Planktonet i Aurevatnet har et relativt stort artsutvalg av mikroalger. I TABELL 4 er det gitt en oversikt over arter som ble påvist ved undersøkelsen i 2002-2003. Organismesamfunnet var preget av

betydelig forekomst av blågrønnalger, grønnalger og flagellater av forskjellig systematisk tilhørighet. Et påtakelig forhold var det beskjedne innslag med kiselalger som gjorde seg gjeldende. Det var en markert likhet i den kvalitative sammensetning av algeplanktonet i Aurevatnsystemets innsjøer. Likevel var det tydelig en større diversitet i Aurevatnet og Småvatnet, sammenliknet med forholdene i Byvatnet og Trehørningen.

I TABELL 4 er det gjort en fremheving av slekter med arter av mikroalger som er beskrevet å kunne forårsake lukt- og smaksproblemer i drikkevann (Wood et al. 1983, Anderson & Quartermaine 1998, Ridal et al. 1999, Durrer et al. 1999). Det er altså relativt mange arter i planktonet som besitter potensiell mulighet til å påvirke vannets lukt- og smaksintrykk med sine stoffskifteprodukter. Imidlertid inngår flere faktorer som direkte/indirekte er medbestemmende for om slik bioaktivitet kan gjøre seg gjeldende i en grad av praktisk, vannverksmessig betydning. En viktig forutsetning er det bl.a. at organismen kan danne masseutvikling i råvannsmagasinet. En slik episode inntraff sommeren 2002.

Utdrag fra Notat O-21242 (21.03.2003) er gjengitt i det følgende. Det beskriver forholdene i Aurevatn i perioden juni-september 2002:

*"Juni. 13.06. ble det konstatert ekstensiv utvikling av plankton i Aurevatnet med bl.a. rik forekomst av alger (stor diversitet). Også i Småvatnet gjorde denne situasjonen seg gjeldende, mens Byvatnet og Trehørningen hadde mer beskjedne fremvekst av plankton. Det ble påvist en begynnende blågrønnalgeutvikling i vannmassene i Aurevatnet med Anabaena lemmermannii.*

*Juli. 23.07. var det masseutvikling av blågrønnalger (vannblomst) i Aurevatnet. Kolonier av opp til millimeterstore fnokker preget overflatelaget i innsjøen. Vanntemperaturen var 19,5° C. Vinddrevne vannstrømmer førte til anrikning av blågrønnalger i utstrakte striper og flak-liknende dannelser i strandnære områder. Ved prøvetakingen ble det konstatert markert lukt av geosmin fra materialet av blågrønnalger. Mikroskopering avklarte at det var arten Anabaena lemmermannii som utviklet seg.*

*Prøver av overflatevann, råvann og behandlet vann ble undersøkt ved å telle kolonier basert på sestonfilter-metoden.*

*Konsentrasjonene av kolonier med A. lemmermannii var:*

<i>Overflatevann</i>	<i>Råvann</i>	<i>Behandlet vann</i>
<i>71000/liter</i>	<i>3200/liter</i>	<i>0/liter</i>

*Dette representerer en betydelig populasjon i Aurevatnet, da koloniene var store i volum, og samtidig var det tallrik forekomst av frie trichomer av A. lemmermannii i prøvene av overflatevann og råvann. I prøven av behandlet vann ble ikke enkeltrichomer funnet.*

*Da arten A. lemmermannii kan opptre med fysiologiske stammer med produksjon av cyanotoksiner, ble det foretatt toksinanalyse basert på bruk av ELISA-testkit (Envirologix Inc.). Resultatet av bestemmelsen viste at microcystin ikke ble påvist med denne metoden som har en deteksjonsgrense angitt til 0,2-0,5 µg/liter.*

*August. 23.08. viste prøvetakingen at populasjonen av A. lemmermannii var vesentlig redusert. Det var nå en dominans av grønnalger som preget algeplanktonet i Trehørningsvassdragets innsjøer, men blågrønnalger av ordenen Chroococcales gjorde seg også gjeldende sammen med flagellater.*

*September. 10.09. ble det i vannprøvene bare påvist sporadiske kolonier av A. lemmermannii i vannmassene i Aurevatnet. Det var betydelig utvikling av zooplankton, og nedbeitingen av mikroalger var framtreddende."*

Det er viktig å konstatere at det i denne perioden med dominerende forekomst av blågrønnalgen *A. lemmermannii* med produksjon av geosmin, ikke ble rapportert om lukt- og smakproblemer for drikkevannet (informasjon fra Bærum Vann AS).

Sommeren 2003 ble det ikke registrert noen masseutvikling av *A. lemmermannii* i Aurevatn. I løpet av høsten gjorde det seg imidlertid gjeldende en fremvekst av denne blågrønnalgen i Søndre Heggelivatn. Materiale av vannblomst ble sikret av Bærum Vann AS - innsamlet 14.10, hhv. 17.10.2003. Det ble analysert og resultatene kommentert i brev til Bærum kommune (NIVA 04.11.2003). Nedenfor gjengis et utdrag fra brevet av relevant interesse:

*" Den mikroskopiske analysen fastslo at det var et vannblomstmateriale av blågrønnalgen Anabaena lemmermannii som forelå. Typiske utviklingsstadier med akineter og heterocyster ga sikre holdepunkter for artsbestemmelsen. Utviklingen av akineter ("hvilesporer") viste at populasjonen var i overgang til et overvintringsstadium. En markert lukt av geosmin (trans-1, 10-dimetyltrans-9 decalol) var påtakelig ved håndteringen av materialet.*

*Som vi tidligere har drøftet er A. lemmermannii en art av blågrønnalger som har fysiologiske stammer som kan produsere levergifter (microcystiner) og nervegifter (anatoksiner). Det ble foretatt laboratorieanalyser på NIVA av prøvene fra Søndre Heggelivatn innsamlet 14.10. og 17.10. 2003. Metoden som ble benyttet, var toksinanalyse basert på immunoassay for microcystin (ELISA-kit, Enviro Logix). Resultatet viste at en eventuell forekomst av microcystin var under påviselighetsgrensen for metoden (<0,5 ppb), dvs. uten praktisk betydning for vannforsyningen. Videre kjemiske analyser av microcystiner og andre mulige cyanotoksiner produsert av A. lemmermannii, blir foretatt ved Nasjonalt folkehelseinstitutt.*

*Det foreligger resultater fra spredte undersøkelser av planteplankton i Søndre Heggelivatn fra årene 1958, 1959, 1961 og 1962 (Holtan & Skulberg 1964). Resultatene viste da at de limnologiske forhold i innsjøen i hovedtrekkene var lik de som preget innsjøene i Trehørningsvassdraget. Og Anabaena lemmermannii - som den gang ble betegnet A. flos-aquae - ble også rapportert i planktonet fra Søndre Heggelivatn i denne tidsperioden.*

*Når det gjelder masseforekomsten i oktober inneværende år av A. lemmermannii, er det nærliggende å tilskrive dette fenomenet de meteorologiske faktorene gjennom ettersommeren og høsten. Under de rådende forhold har det vært en langsom avkjøling av vannmassene, noe som har gitt A. lemmermannii konkurransefordeler. Et interessant spørsmål er hvorfor det ble en slik utvikling i Søndre Heggelivatn, mens f.eks. Aurevatnet ikke fikk en tilsvarende oppblomstring dette året."*

Siden blågrønnalgen *A. lemmermannii* er en så betydningsfull organisme i planktonet i Aurevatnet, kan en nærmere omtale være på sin plass. Med sin trådformige, sammenflokede struktur danner den kolonier med karakteristisk utseende i vannet. Enkle, fri trichomer - lange buktede tråder - er også vanlige, cellebredde 4-8 µm, cellelengde 5-8 µm. Cellene er av prokaryot natur og rommer gassvakuoler. Det som skiller *A. lemmermannii* fra nærstående former innenfor gruppen *Anabaena flos-aquae*, er de lange kjeder av akineter og heterocyster som vanlig dannes i sentrum av koloniene. Det er en typisk nitrogenbindende organisme, prosesser som er knyttet til heterocyster (Skulberg 1988).

Blågrønnalger av slekten *Anabaena* er velkjente problemorganismer for vannforsyninger (Skulberg 1988, Chorus & Bartram 1999). De kan medføre ulemper for den rensetekniske behandlingen av vannet (bl.a. vanskeligheter med filtreringsprosesser), og de kan gi negativ påvirkning av vannkvaliteten via toksindannelse og andre sekundære stoffskifteprodukter.

*A. lemmermannii* kan opptre med fysiologiske stammer som produserer luktstoffet geosmin. Dette har vært et praktisk problem ved flere norske vannverk.

Også giftproduserende stammer er vanlig utbredt. De aktuelle giftstoffene som denne organismen kan danne betegnes cyanotoksiner, og omfatter flere kategorier kjemiske forbindelser. Basert på forgiftningssymptomer kan de deles i tre grupper - levergifter (microcystiner), nervergifter (anatoksiner) og uspesifikke gifter (med protraisert virkning). Microcystiner er bl.a. knyttet til *A. lemmermannii*. Verdens helseorganisasjon (WHO) setter en konsentrasjon tilsvarende 1 µg microcystin-LR per liter som grenseverdi for helsefare i drikkevann (Chorus & Bartram 1999). I perioden 2002-2003 ble det ikke påvist produksjon av microcystin i populasjonen i Aurevatn.

*A. lemmermannii* fra Aurevatnsystemet er blitt isolert og holdes i kultur i NIVAs kultursamling av alger. Det ligger dermed tilrette for forsøk som kan klarlegge betingelser for dannelsen av uønskede sekundære stoffskifteprodukter.

Det er et variert utvalg med arter av blågrønnalger som forekommer i Aurevatnets plankton (TABELL 4). Av disse har slekten *Merismopedia* to arter med spesiell interesse i relevant forbindelse. Begge - *M. glauca* og *M. tenuissima* - hører til ultraplanktonet, dvs. i størrelseskategorien 0,5-10 µm. De utgjør typeorganismer for dystrofe lokaliteter (med preg av humusstoffer) og er viktige gjennom sin mengdemessige utvikling. Lite er kjent om deres sensoriske påvirkning av vannkvalitet, men det er rapportert problemer for vannforsyninger i forbindelse med oppblomstringer (Føyn 1952).

#### **4.2.2. I begroingene (bentiske arter)**

Dette omfatter et stort arbeidsfelt for undersøkelser. Bare spredte innsamlinger av prøver ble gjort ved dette innledende arbeidet. Imidlertid representerer materialet som er analysert fremtredende bentiske organismsamfunn i strandnære områder av innsjøene i Trehørningsvassdraget. Spesiell oppmerksomhet fikk organismer som blir vurdert å ha egenskaper knyttet til dannelsen av lukt- og smakstoffer.

I TABELL 5 er det gitt en oversikt over vanlige bentiske alger som ble påvist ved den mikroskopiske bearbeidingen. I enkle oppdyringsforsøk ble det foretatt observasjoner av utviklingsstadier til hjelp ved identifikasjon. Noen hovedinntrykk av forekomsten av begroingsalger vil bli formulert i det følgende.

Det var til dels frodig utvikling av alger som ble observert. De fremtredende artene representerte klassene grønnalger, kiselalger og blågrønnalger. Mens kiselalger var relativt sparsomt til stede i algeplanktonet, hadde de bentiske organismsamfunn en allsidig flora av kiselalger. Også blågrønnalgene var til stede med forholdsvis stort artsutvalg. Et spesielt viktig element av blågrønnalger utgjorde slekten *Lyngbya*, med ekstensiv forekomst i begroinger på fast underlag (steiner, fjelloverflater). Ved prøvetakingen ble det på flere lokaliteter registrert markert lukt av geosmin knyttet til begroinger med *Lyngbya*.

Gjennomgående ble det lagt merke til en relativt tiltakende utvikling av begroingsalger - og større diversitet - på de undersøkte lokalitetene nederst i vassdraget (økende forekomst fra Trehørningen og ned til Aurevatnet). Det er viktig å understreke at algevegetasjonen utgjorde arter som karakteristisk er knyttet til rent vann (katharobe og oligosaprobe organismer, Palmer 1959). På samme måte som for algeplanktonet, omfattet de bentiske samfunn flere slekter med arter som er beskrevet å kunne produsere lukt- og smakstoffer av betydning for negativ påvirkning av drikkevann (TABELL 5).

Også av bentos ble det gjort isoleringer av viktige organismer til videre undersøkelser. To arter av blågrønnalger er vellykket fremskaffet til NIVAs kultursamling. Det gjelder: *Lyngbya* sp. (6 µm) og *Komvophoron* sp. (2,5 µm).

#### 4.2.3. I sedimentene (peliske arter)

Dette omfatter organismer som er knyttet til slamavsetninger i innsjøens bunn- og strandområder. Når det gjelder vannforsyninger, kan slike organismesamfunn være årsak til lukt- og smaksproblemer for drikkevannsforsyninger (Kutzner 1981).

Det ble innsamlet materiale av bunnslam fra Aurevatnet i det dypeste parti av innsjøen som ligger nærmest inntaksstedet for råvannet. Prøven var finpartikulær, av mørk farge og med en svak frisk (ikke rått) lukt. Strukturanalyse av materialet viste at det var et sediment av type dygytje (Lundqvist 1927, Rheinheimer 1976). Forholdet mellom organisk stoff og mineraler i dygytje brukes som et viktig kriterium ved karakteriseringen av sedimenttyper (gradient fra dy til gytje). Komponenter som er tungt nedbrytbare består av lignin-humussubstanser. Disse stoffene bidrar bl.a. til det gulaktig-brune fargepreget på slammet. Det var forekomst av tomme frustuler (kiselskall) av diatoméer - arter av bl.a. slektene *Melosira*, *Eunotia*, *Pinnularia*, *Surirella*, *Tabellaria* - sammen med partikler av grovdetritus. Humuspartikler med utfelt jern var fremtredende i bunnslammet. Den aktuelle prøven av dygytje var uten lukt av geosmin.

Materiale av bunnslammet ble benyttet i anrikningskulturer for å belyse tilstedeværelse av levedyktige mikroorganismer. Mediene som ble benyttet, og organismene som ble påvist fremgår av TABELL 6. Det gjorde seg gjeldende en langsom fremvekst av prokaryote og eukaryote mikroorganismer. Bare et lite antall ble nærmere identifisert. Noen lukt av geosmin ble ikke registrert hverken i kulturene med faste eller flytende medier.

Innenfor slektene av aktinomyceter ("strålesopp") som ble påvist - *Actinomyces* og *Streptomyces* - er det flere velkjente arter som kan forårsake lukt- og smaksproblemer i vannforsyninger (Kutzner 1981). Disse organismene regnes vanlig å stamme fra terrestriske samfunn - jordorganismer - og har overlevelse som arthrosporer i akvatiske sedimenter. Bare videregående kulturstudier kan eventuelt avklare mulig forekomst av slike arter i Aurevatnets dygytje.

I et orienterende forsøk ble det gjort observasjoner av interesse for forståelsen av organismeforekomst i bunnslammet (se FIGUR 1, med tilhørende tekst). Organisk stoff dominerer i dygytje. Dette representerer utfelte humusstoffer, og forekommer som større eller mindre fortykninger med brunaktig farge i sedimentet. I tørr tilstand er fargen nærmest svart (se sestonfilter, FIGUR 2). Det tungt nedbrytbare materialet ga mulighet for vekst av spesielle arter bakterier og sopp, men det skjedde i sakte tempo. Et innhold av jernforbindelser viste seg ved fremveksten av bakteriene i slekten *Leptothrix*, organismer som oksiderer toverdige jern til treverdige jern. Også fotosyntetiske mikroorganismer kom til utvikling (arter av slektene *Pseudanabaena* og *Chlorococcum*). Dette representerer mikroalger som trolig var til stede i prøven i form av sporestadier/hvileceller, og først spirer frem når ytre betingelser gir muligheter. Det kan nevnes at artene i slekten *Pseudanabaena* blir betegnet å være ubikvister, organismer som gjerne vokser frem i kulturer fra mange forskjellige prøvetyper, også av bunnslam fra innsjøer.

## 5. Drøftelser og vurderinger

Det ble i 2002-2003 foretatt en innledende studie i Aurevatnsystemet av hydrobiologiske forhold som har årsakssammenheng med den sensoriske drikkevannskvaliteten. De fremkomne resultatene er basert på et beskjedent arbeid med prøvetaking og laboratorieanalyser. Likevel kan de gi en formålstjenlig bakgrunn for vurderinger av de episodiske problemene som har gjort seg gjeldende knyttet til lukt/smak i drikkevannsforsyningen.

Undersøkelsen viser at mikroorganismer som kan produsere stoffskifteprodukter med negativ - uønsket - påvirkning av drikkevann er vanlige i Aurevatnet og de øvrige vannforekomstene i råvannssystemet. De aktuelle organismene kan utvikle seg i de frie vannmassene, i begroingsamfunn eller være knyttet til sedimentene. Resultatene så langt indikerer at det i første rekke er enkelte spesielle organismer i plankton og bentos som er viktige årsaker til usmak på drikkevann. Selv om sedimentene i Aurevatnmagasinet (dygytje) ikke kan fritas som mulig årsak til slike problemer, ble det f.eks. i denne undersøkelsen ikke påvist geosmindannelse i sedimentenes organismsamfunn. Derimot ble det konstatert utvikling av potente geosminproduserende mikroorganismer både i innsjøens plankton og i bentos.

Basert på kunnskapen om de limnologiske forhold i Aurevatnsystemet er det grunnlag til å fremholde bestemte fotosyntetiske mikroorganismer i planktonet som de primære årsaker til lukt/smakpåvirkning av vannet. Dette begrunnes både med planktonalgenes mengdemessige utvikling og deres direkte tilstedeværelse i råvannet.

Under masseutvikling av blågrønnalgen *Anabaena lemmermannii* om sommeren 2002 (Aurevatnet) og høsten 2003 (Søndre Heggelivatn) var det geosminproduserende stammer som dannet populasjonene. Markert lukt av geosmin gjorde seg gjeldende både ved innsamlingen av prøvene og under bearbeidingen av materialet i laboratoriet.

Organismer i begroingsamfunn vil på en mer indirekte måte kunne gi uheldige påvirkninger av drikkevannet med lukt og smak. I nærområdet til inntaksstedet i Aurevatnet for råvann til vannforsyningen ble det i 2002 påvist vegetasjon med bentiske blågrønnalger (arter i slekten *Lyngbya*) med produksjon av geosmin. Det er i mange offentlige vannforsyninger internasjonalt rapportert om praktiske problemer med usmak på drikkevann knyttet til begroinger av denne typen (Wood et al. 1983). Lukt- og smakstoffene blir skilt ut i vannmassene som har kontakt med blågrønnalgene, og kan transporteres i vannstrømmene til vanninntaket. Bentiske organismsamfunn med arter av *Lyngbya* som framtreddende blågrønnalge var vanlig å finne på strandnære områder i alle Trehørningsvassdragets innsjøer. Det er særlig på steinoverflater og berghammere de har sine vokseplasser.

Både når det gjelder plankton og bentos vil det gjøre seg gjeldende variasjoner i produksjon av lukt- og smakstoffer knyttet til årstider, organismenes livssyklus og deres mengdemessige opptreden. Stoffene det dreier seg om - f.eks. geosmin og 2-methylisoborneol - vil forekomme både som løst i vannmassene og partikkelbundet. Biologisk aktivitet til invertebrater som beiter på mikroalgene kan være en medvirkende årsak til frigjøringen av lukt- og smakstoffer til vannet (Durrer et al. 1999). Den viktigste faktor for nedbrytningen av disse stoffene - vannets selvrensningsevne - er forekomsten av pelagiske bakterier som nyttiggjør seg forbindelsene.

Når et råvann som er belastet med uheldige lukt- og smakstoffer blir brukt i vannverket, er det et spørsmål i hvilket omfang den rensetekniske behandlingen reduserer eller fjerner de relevante stoffene. Det ble en viktig erfaring som framkom ved denne undersøkelsen. I perioden juni-august 2002 var Aurevatnmagasinet preget av vannmasser med en geosmin-produserende populasjon av



*Anabaena lemmermannii*. Under de fremherskende forhold - med betydelig geosminpåvirket råvann - ble det ikke registrert usmak på drikkevannet. Dette viser at renseanlegget/reanseprosessene mestret situasjonen med å bringe konsentrasjonen av geosmin ned under grensen for sensorisk merkbarhet.

Algevegetasjonen i Trehørningsvassdragets innsjøer hadde hovedsakelig en likeartet kvalitativ sammensetning. Det gjelder så vel i plankton som bentos (Tabell 4 og 5). Dette er i overensstemmelse med vannmassenes kjemiske natur som preger hele Aurevatn-systemet (Tabell 2). Imidlertid var det en gradvis økende frodighet og en større diversitet som ble observert fra Trehørningen og videre nedstrøms. Spesielt i Småvatnet og Aurevatnet var forholdet tydelig. Det kan også nevnes at sammenliknet med algevegetasjonen beskrevet i tidligere NIVA-rapporter (se avsnitt 3), er det nå merkbart med en eutrofierende tendens i Aurevatnsystemet. Det er rimelig å sette dette i sammenheng med endringer i tilførsler av plantenæringsstoffer i organisk materiale forårsaket av de nye hydrologiske betingelser etter overføringen av vann fra Søndre Heggelivatnet (Otnes & Sværen 1983, Turner et al. 2003). Det blir viktig å fremskaffe bedre holdepunkter om manøvreringen av elv-innsjø-systemet. Målsettingen bør være å operere Aurevatnsystemet som et helhetlig økologisk system (Zalewski 2002).

De hydrologiske faktorer knyttet til vannutskiftning, oppholdstider og vannstandsvekslinger er avgjørende forutsetninger for innsjøsystemets organismeutvikling (Findenegg 1965). Når det gjelder sikring av råvannskvalitet og føre-var tiltak for å minimalisere skadelige konsekvenser - sensoriske og sunnhetsmessige - for vannforsyningen, bør kontrollert utskiftning av vannmasser prøves ut i Aurevatnsystemet (NIVA 16.06.03, 29.09.03). Forholdene synes teknisk å ligge til rette for dette.

## 6. Henvisninger

- Anderson, B.C. & Quartermaine, L.-K. (1998): Tastes and odors in Kingston's municipal drinking water: A case study of the problem and appropriate solutions. *J. Great Lakes Res.*, 24(4). pp. 859-867.
- Chorus, I. & Bartram, J. (eds.) (1999): Toxic cyanobacteria in water. World Health Organization. E. & FN Spon, London. 416 pp.
- Christensen, T. (1982): Alger i naturen og i laboratoriet. Nucleus, ISBN 87-87661-37-3. 136 pp.
- Durrer, M.; Zimmermann, U. & Jüttner, F. (1999): Dissolved and particle-bound geosmin in a mesotrophic lake (Lake Zürich): Spatial and seasonal distribution and the effect of grazers. *Wat. Res.* Vol. 33, No. 17. pp. 3628-3636.
- Findenegg, I. (1965): Factors controlling primary productivity, especially with regard to water replenishment, stratification, and mixing, pp. 104-119, in Goldman, C.R.: Primary productivity in aquatic environments. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 18 suppl., University of California Press. Berkely.
- Føyn, B. (1952): Svartediket. Et vest-norsk oligotroft ferskvann. *Univ. Bergen, Årb. naturv. R.*, Nr. 18. pp. 1-21.
- Gjessing, E.; Loennechen, H.B. & Liltved, H. (2003): Baktericid effekt av UV-bestrålt drikkevann. *Vann*, Nr. 2, 2003. pp. 183-192.

- Holtan, H. & Skulberg, O. (1964): Søndre- og Nordre Heggelivatn. En limnologisk undersøkelse. NIVA-rapport O-106, Oslo.
- Johansen, D.A. (1940): Plant Microtechnique. Mc. Graw-Hill Book Company, New York. 523 pp.
- Jüttner, F. (1987): Volatile organic substances. In: The Cyanobacteria, (eds. P. Fay & C. Van Balen), pp. 453-469. Elsevier, Amsterdam.
- Kutzner, H.J. (1981): The family Streptomycetaceae. In: The Prokaryotes, eds.: Mortimer P. Starr, Heinz Stolp, Hans G. Trüper, Albert Balows & Hans G. Schlegel. Springer-Verlag, Berlin. pp. 2028-2090.
- Lundqvist, G. (1927): Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart. 124 pp.
- Norsk institutt for vannforskning (1959): Rensing av drikkevann fra Trehørningsvassdraget i Bærum, Rapport, O-31. Oslo.
- Norsk institutt for vannforskning (1964): Søndre-og Nordre Heggelivatn. En limnologisk undersøkelse. Rapport, O-106. Oslo
- Norsk institutt for vannforskning (1968): Undersøkelse av begroing på veggene i tunnelen mellom Trehørningen og Heggelivatn i Bærum. Rapport, M2-3 1A/68. Oslo.
- Norsk institutt for vannforskning (1989): Begroingspotensiale i drikkevann. Bærum vannverk. Rapport, O-88201. Oslo.
- Norsk institutt for vannforskning (1990): Slamdannelse i råvann og rensset vann fra Aurevatn. Bærum vannverk. Rapport, O-90110. Oslo.
- Norsk institutt for vannforskning (1991a): Slamdannelse i råvann og rensset vann fra Aurevatn. Retesting desember 1990. Rapport, O-90228. Oslo.
- Norsk institutt for vannforskning (1991b): Bærum vannverk. Befaringsundersøkelse med tanke på å avdekke årsak til lukt- og smaksproblemer. Rapport, O-91126. Oslo.
- Norsk institutt for vannforskning (2001): Metoder for kjemiske vannanalyser.
- Norsk institutt for vannforskning (2002): Geosmin etc. i drikkevann. Bærum kommune. Brev, 26.04.2002. O-90100. Oslo
- Norsk institutt for vannforskning (2002): Utvikling av blågrønnalger i Aurevatnet sommeren 2002. Notat, 29.07.2002. O-21242. Oslo.
- Norsk institutt for vannforskning (2002): Hydrobiologisk undersøkelse 2002 - Aurevatnet etc. videre fremføring av arbeidet. Notat, 08.08.2002. O-21242. Oslo.
- Norsk institutt for vannforskning (2003): Aurevatnet - Sensorisk vannkvalitet og blågrønnalger. Hydrologiske undersøkelser 2002. Tilbakeblikk på observasjoner og resultater. Notat, 21.03.2003. O-21242. Oslo.
- Norsk institutt for vannforskning (2003): Aurevatnet - Overvåking og sikring av råvannskvalitet/grunnlag for praktiske tiltak. Notat, 16.06.2003. O-21242. Oslo

- Norsk institutt for vannforskning (2003): Aurevatnsystemet - høstoppblomstring 2003. Brev til Bærum kommune, 04.11.2003. 2 pp.
- Norsk institutt for vannforskning (2003): Prosjekt Aurevatnet - Sikring av råvannskvalitet / modellering av vannutskiftning, algevekst etc. Notat, 29.09.2003. O-21242. Oslo.
- Ormerod, K.S. (1999): Effekt av desinfeksjonsmidler på biofilm i ledningsnett. Vann, Nr. 2, 1999. pp. 390-398.
- Otnes, J. & Sværen, A. (1983): Vassdragsregulerings virkning på naturmiljøet. Vannstand- og vannføringsforhold. Norsk Hydrologisk Komité. ISBN 82-554-0373-6. 27 pp.
- Palmer, C.M. (1959): Algae in water supplies. U.S. Department of Health, Education and Welfare. Cincinnati, Ohio. Public Works, vol. 86, no 6. pp. 107-120.
- Penn, C (1991): Handling laboratory microorganisms. Open University Press, Milton Klynes, Philadelphia. 160 pp.
- Rheinheimer, G. (1976): Aquatic microbiology. John Wiley & Sons, London. 184 pp.
- Ridal, J.J.; Brownlee, B. & Lean, D.R.S. (1999): Occurrence of the odor compounds, 2-methylisoborneol and geosmin in Eastern Lake Ontario and the Upper St. Lawrence River. J. Great Lakes Res., 25(1). pp. 198-204.
- Skulberg, O.M. (1978): Sestonundersøkelser ved vassdragsundersøkelser. Fauna, 31: pp. 48-54.
- Skulberg, O.M. (1988): Chemical ecology and off-flavour substances. Wat. Sci. Tech. 20 (8/9): 167-178.
- Stein, J.R. (ed.) (1973): Handbook of phycological methods. Culture methods and growth measurements. The University Press, Cambridge. 448 pp.
- Sävenhed, R. (1986): Chemical and sensory analysis of off-flavour compounds in drinking water. Linköping Studies in Art and Science. No. 3. I-VI, ISBN 91-7372-969-8.
- Turner, B.L., Baxter, R. & Whitton, B.A. (2003): Nitrogen and phosphorus in soil solutions and drainage streams in Upper Teesdale, northern England: Implications of organic compounds for biological nutrient limitation. The Science of the Total Environment, 314-316, pp. 153-170.
- Vennerød, K. (1984): Vassdragsundersøkelser - en metodebok i limnologi. Universitetsforlaget, Oslo. 283 pp.
- Wood, S.; Williams, S.T. & White, W.R. (1983): Microbes as source of earthy flavours in potable water. A review. International Biodeterioration Bulletin. ISSN 0020-6164. 19(3/4). pp. 83-97.
- Zalewski, M. (2002): Ecohydrology - the use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources. Hydrol. Sci. 47, pp. 825-834.
- Zoetman, B.C.J. (1980): Sensory Assessment of Water Quality. Pergamon Press, Oxford. 148 pp.

TABELL 1. Karakteristiske verdier for konsentrasjoner av kjemiske forbindelser i Aurevatnsystemet.  
(Data: Norsk institutt for vannforskning)

Faktor	Benevning	Aurevatnet				Heggelivatnet
		1957 sept.	1968 feb.	1991 aug.	2003 sept.	2003 sept.
Surhetsgrad	pH	6,0	6,8	6,5	6,5	7,0
Konduktivitet	mS/m	2,4	2,9	2,7	2,1	2,8
Farge (filtrert)	mg Pt/l	35	40	26	35	30
Tot.fosfor	µg P/l	-	3	4	3	4
Tot.nitrogen	µg N/l	-	328	324	235	257
Tot. organisk karbon (TOC)	mg C/l	*(86)	6,2	4,8	5,3	4,8
Klorid	mg Cl/l	-	-	-	0,87	0,81
Jern	µg Fe/l	130	100	56	101	-
Mangan	µg Mn/l	50	30	20	16	-

\* COD, permanganatmetoden, , ml N/100 KMnO<sub>4</sub>/l - (Vennerød 1984)

TABELL 2. Vannkjemiske forhold i Trehørningsvassdragets innsjøer.  
(Data: Norsk institutt for vannforskning)

Faktor	Benevning	Trehørningen		Byvatnet		Småvatnet		Aurevatnet	
		1991 15.08	2003 08.09	1991 15.08	2003 08.09	1991 15.08	2003 08.09	1991 15.08	2003 08.09
Surhetsgrad	pH	6,7	6,8	6,6	6,7	6,5	6,7	6,5	6,5
Konduktivitet	mS/m	2,7	2,1	2,5	2,1	2,8	2,0	2,7	2,1
Farge (filtrert)	mg Pt/l	26	38	28	37	26	36	26	35
Tot.fosfor	µg P/l	4	4	3	4	4	4	4	3
Tot.nitrogen	µg N/l	272	263	318	250	324	235	324	235
Tot. organisk karbon (TOC)	mg C/l	4,6	5,8	4,8	5,5	4,8	5,5	4,8	5,3
Klorid	mg Cl/l	-	0,84	-	0,83	-	0,86	-	0,87

TABELL 3. Innsjøenes hydrologiske dimensjoner.<sup>1)</sup>  
(Data: Bærum Vann A/S)

Lokalitet	Innsjøvolum mill. m <sup>3</sup>	Vannmassenes teoretiske oppholdstid (døgn)
Trehørningen	0,99	24
Byvatnet	4,40	105
Småvatnet	0,50	12
Aurevatnet	1,98	47

<sup>1)</sup> Avrenning: 15,3 mill. m<sup>3</sup>/år.

TABELL 4 Aurevatnsystemet. Vanlige mikroalger i innsjøenes frie vannmasser. I Aurevatnet, II Småvatnet, III, Byvatnet og IV Trehørningen.  
+ Arter påvist ved undersøkelsen 2002-2003.  
(\* ) Arter som er beskrevet å kunne forårsake lukt- og smakproblemer i drikkevann.

Organisme	I	II	III	IV
<b>BLÅGRØNNALGER</b>				
<i>Anabaena lemmermannii</i> (*)	+	+	+	+
<i>Anabaena tenericaulis</i>			+	+
<i>Aphanothece cf. minutissima</i>		+		
<i>Chroococcus limneticus</i>	+	+		+
<i>Merismopedia glauca</i>		+		
<i>Merismopedia tenuissima</i>	+	+	+	+
<i>Oscillatoria formosa</i> (*)	+			
<i>Pseudanabaena limnetica</i>		+		
<i>Tychonema bornetii</i> (*)		+		
<i>Woronichinia naegeliana</i>	+			
<b>GRØNNALGER</b>				
<i>Botryococcus braunii</i>	+		+	+
<i>Closterium cf. setaceum</i>	+	+		
<i>Closterium leibleinii</i>		+		
<i>Cosmarium undulatum</i>		+		
<i>Gemellicystis neglecta</i>	+	+	+	
<i>Monoraphidium griffithii</i>	+	+	+	
<i>Oocystis submarina</i>	+	+		+
<i>Quadrigula pfitzeri</i>	+		+	
<i>Staurastrum lunatum</i>	+	+		
<b>GULLALGER</b>				
<i>Bitrichia chodatii</i>			+	+
<i>Chromulina sp.</i>		+		
<i>Dinobryon borgei</i>	+	+	+	+
<i>Dinobryon crenulatus</i>	+			
<i>Dinobryon sociale</i> (*)	+	+		+
<i>Mallomonas caudata</i>	+	+	+	+
<i>Mallomonas elongata</i>			+	
<i>Ochromonas sp.</i> (*)	+	+	+	
<i>Pseudokephyrion entzii</i>	+	+		
<i>Stichogloea doederleinii</i>	+	+	+	
<i>Synochromonas perlata</i>				+
<i>Synura sphagnicola</i> (*)	+	+		
<i>Uroglena americana</i> (*)			+	+
<b>KISELALGER</b>				
<i>Cyclotella kützingiana</i> (*)			+	
<i>Melosira granulata</i>	+		+	+
<i>Synedra ulna</i>	+	+		
<i>Tabellaria flocculosa</i>	+	+	+	+
<b>DIVERSE FLAGELLATER</b>				
<i>Ceratium hirundinella</i>	+		+	+
<i>Cryptomonas marsonii</i> (*)	+	+	+	+
<i>Cryptomonas ovata</i>	+	+	+	
<i>Gymnodinium lacustre</i>			+	+
<i>Peridinium inconspicuum</i> (*)	+	+	+	+
<i>Rhodomonas lacustris</i>	+			
<i>Trachelomonas volvocina</i>	+	+		

TABELL 5 Aurevatnsystemet. Eksempler på vanlige alger i begroingsamfunn. I Aurevatnet, II Småvatnet III, Byvatnet og IV Trehørningen.  
+ Arter påvist ved undersøkelsen 2002-2003.  
(\* Arter som er beskrevet å kunne produsere lukt- og smakproblemer i drikkevann.

Organisme	I	II	III	IV
<b>BLÅGRØNNALGER</b>				
<i>Aphanocapsa cf. pulchra</i>		+		
<i>Calothrix braunii</i>	+	+	+	
<i>Lyngbya (2 µm) sp.</i> (*)	+	+	+	+
<i>Lyngbya (4 µm) sp.</i> (*)	+	+	+	+
<i>Lyngbya cf. perelegans</i> (*)	+	+		
<i>Oscillatoria formosa</i> (*)	+	+		
<i>Oscillatoria tenuis</i> (*)	+	+		
<i>Phormidium cf. inundatum</i>	+	+		
<i>Dichothrix cf. baueriana</i>	+		+	+
<i>Tolypothrix cf. tenuis</i>		+		
<i>Tychonema bornetii</i> (*)	+	+		
<b>GRØNNALGER</b>				
<i>Bulbochaete (18 µm) sp.</i>		+	+	
<i>Geminella minor</i>			+	+
<i>Mesotaenium cf. chlamydosporum</i>			+	+
<i>Microspora amoena</i>		+	+	+
<i>Mouegotia (11µm) sp.</i>	+	+	+	+
<i>Mougeotia cf. capucina (20 µm)</i>		+	+	
<i>Oedogonium (15 µm) sp.</i>	+	+		
<b>KISELALGER</b>				
<i>Eunotia arcus</i>	+		+	+
<i>Frustulia rhomboides</i>		+	+	
<i>Navicula cf. tuscula</i>		+		+
<i>Pinnularia cf. borealis</i>		+	+	
<i>Tabellaria flocculosa</i>	+	+	+	+
<b>DIVERSE FLAGELLATER</b>				
<i>Chlorobotrys cf. regularis</i>				+
<i>Tribonema cf. viride</i>		+	+	

TABELL 6. Dyggtje. Oppdyrking av mikroorganismer for identifikasjon.

Organismer/Medier	Medier	1) Difco-AC Broth 2) Czapek's agar (Johansen 1940) 3) Sterilt vann (Aurevatn)
Blågrønnalger 3)		Pseudanabaena cf. catenata Komvophoron sp.
Aktinomyceter 2)		Actinomyces sp. Streptomyces sp.
Jernbakterier 3)		Leptothrix ochracea Leptothrix discophora Siderocapsa geminata
Sopp 1)		Lemoniera cf. aquatica *
Grønnalger 3)		Chlorococcum cf. echinozygotum**

\* Hyphomycetes (Fungi imperfecti)

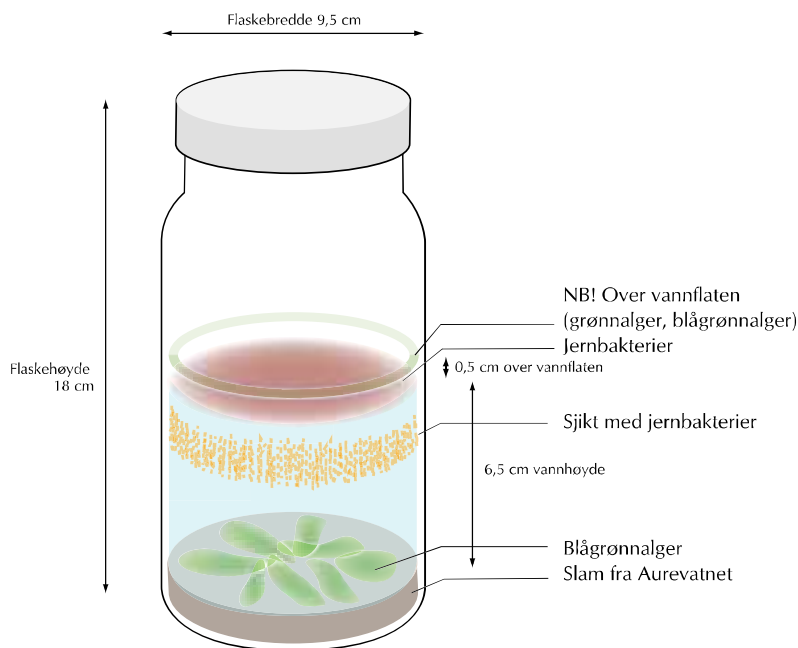
\*\* Aerofyttisk organisme



FIGUR 1. Forsøk med oppdyrking av mikroorganismer fra dyggtje.

Dyggtje fra dypeste parti av Aurevatnet ble eksponert i et glass med lokk i dagslys (vestvindu) neddykket under vann (6,5 cm vannhøyde). Det utviklet seg blågrønnalger (*Pseudanabaena*) på slamoverflaten. To sjikt med jernbakterier fremkom, henholdsvis på vannoverflaten (*Leptothrix ochracea*) og noen centimeter under vannoverflaten (*L. dischophora*). Som en ring av vegetasjon på glassveggen - 0,5 cm over vannflaten - dannet det seg begroing av mikroalger (*Pseudanabaena*, *Chlorococcum*). Observasjonstiden var ca 4 uker.

Det ble ikke registrert noen lukt av geosmin i glasset under forsøksperioden.



FIGUR 2. Eksempel på sestonfilter med inntørket dyggtje.

Humusstoffene i materialet er i fersk (våt) tilstand gulaktig-brune av farge, også ved makroskopisk betraktning. Når de tørker, fremtrer et nærmest svart preg av sedimentet.

