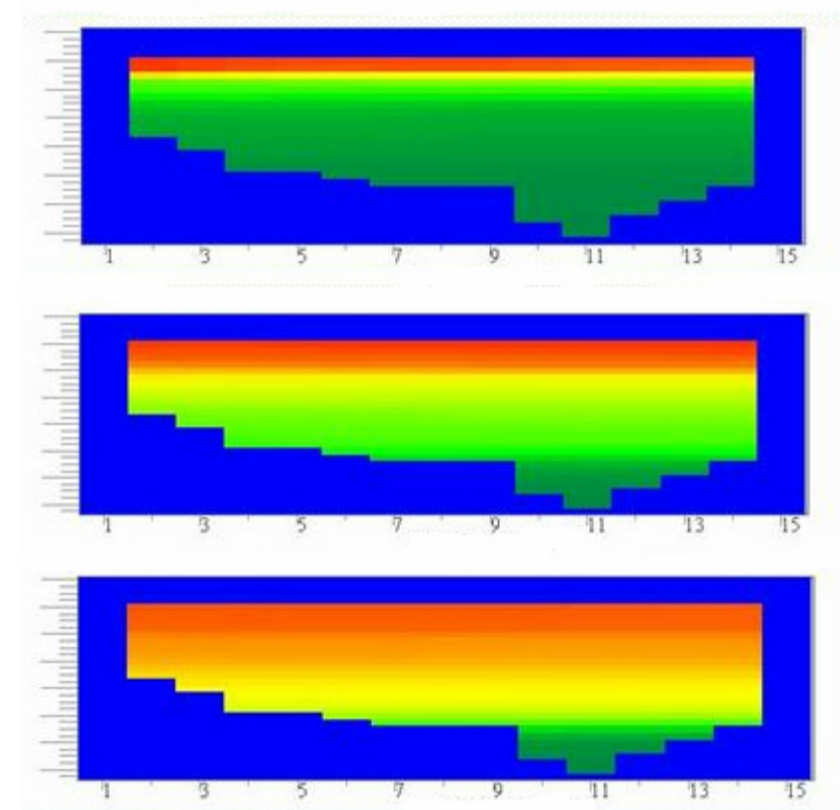




RAPPORT LNR 5005-2005

## Sikring av råvannskvalitet i Aurevann

Hydrologiske tiltak mot uønsket algevekst



Norsk institutt for vannforskning

## RAPPORT

## 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

## Midt-Norge

Postboks 1264 Pirsenteret  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 73 87 10 34 / 44  
Telefax (47) 73 87 10 10

Tittel Sikring av råvannskvalitet i Aurevann Hydrologiske tiltak mot uønsket algevekst	Løpenr. (for bestilling) 5005	Dato 15. april 2005
	Prosjektnr. Undernr. O-23036	Sider Pris 49
Forfatter(e) Torulv Tjomsland og Olav Skulberg	Fagområde Drikkevann	Distribusjon Fri
	Geografisk område Akershus	Trykket NIVA

## Oppdragsgiver(e)

Bærum kommune

## Oppdragsreferanse

Kristine Grünert

## Sammendrag

Aurevann er drikkevannkilde for Bærum kommune. En mulig masseutvikling av blågrønnalger i Aurevannmagasinet vil kunne medføre vannkvalitetsproblemer for drikkevannet. Følgende råd om tiltak er basert på feltobservasjoner og simuleringer med en matematisk vannkvalitetsmodell.

I mikroalgens vekstsesong om sommeren, hvor juli, august og september er særlig viktige, kan følgende tiltak være formålstjenlige for å redusere algeutviklingen, og dermed holde algekonsentrasjonen i råvannet så lav som mulig:

- Tappe dypvann fra magasinene oppstrøms, dvs. Småvann og Byvann, og helst også fra Trehørningen
- Holde høyeste regulerte vannstand i alle magasinene. Spesielt for Aurevann gjelder det å unngå å senke vann-nivået lavere enn en meter under høyeste regulerte vannstand.

Hvis det oppstår situasjoner med mulighet for masseutvikling av problemalgen *Anabaena lemmermannii*, er noen forholdsregler viktige:

- Det er spesielt nødvendig å praktisere tiltakene nevnt ovenfor nøye.
- Det dreier seg om å utnytte at denne arten under visse miljøforhold konsentrerer seg i overflatevannlaget på dagtid. I slike perioder kan man øke vannføringen i Småvannselva og tappe det øverste vannlaget ut av magasinet gjennom en overløpsordning på dammen.


## Fire norske emneord

1. Drikkevannsmagasin
2. Alger
3. Matematisk modell
4. Aurevann

## Fire engelske emneord

1. Drinking-water reservoir
2. Algae
3. Mathematical model
4. Aurevann

  
Torulv Tjomsland  
Prosjektleder

  
John Rune Selvik  
Forskningsleder

  
Øyvind Sørensen  
Ansvarlig

ISBN 82-577-4703-3



**Norsk institutt for vannforskning**

**Oslo**

## **Sikring av råvannskvalitet i Aurevann**

Hydrologiske tiltak mot uønsket algevekst

Oslo 15. april 2005

Prosjektleder: Torulv Tjomsland  
Olav Skulberg  
Camilla Blikstad Halstvedt  
Randi Skulberg  
Karin Ugland Sogn, Bærum Vann AS

---



## Forord

Rapporten er utarbeidet etter oppdrag fra Bærum kommune v/Kristine Grünert. Det har vært et godt samarbeid med Bærum Vann AS og Bærum kommune angående innsamling av data, feltarbeid og faglige diskusjoner. Sentrale personer har vært Jon Mobråten, Karin Ugland Sogn, Kristine Grünert og Siv Kjeldsen.

Utarbeidelsen av rapporten er gjort i samarbeid mellom Torulv Tjomsland og Olav Skulberg. Kjemiske og biologiske analyser ble utført ved NIVAs laboratorier i Oslo. Torulv Tjomsland har stått for arbeidet med hydrologi og modellering. Feltarbeidet ble foretatt av Camilla Blikstad Halstvedt. Karin Ugland Sogn, Bærum Vann AS har assistert under prøveinnsamlingen samt tilrettelagt data fra overvåkingen av vannverkets råvann. Randi Skulberg har analysert og karakterisert algematerialet.

Takk til alle som har hjulpet til med å få arbeidet utført.

Oslo, 15. april 2005

*Torulv Tjomsland*

---



# Innhold

<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Beskrivelse av området	8
<b>2. Tilstanden i Aurevann 2004</b>	<b>10</b>
2.1 Klima og hydrologi	10
2.2 Kjemisk og biologisk vannkvalitet	10
2.2.1 Fremherskende forhold	10
2.2.2 Observasjoner i 2004	12
2.2.3 Vannhygieniske faktorer	14
2.2.4 Bruk av in-situ målinger av algeforekomst	18
<b>3. Modellberegninger</b>	<b>19</b>
3.1 Beskrivelse av modellen	19
3.2 Kalibrering av modellen	19
3.3 Scenarier	28
<b>4. Diskusjon</b>	<b>35</b>
<b>5. Konklusjoner</b>	<b>40</b>
<b>6. Referanser</b>	<b>41</b>
<b>Vedlegg A Råvann</b>	<b>42</b>
<b>Vedlegg B Fluoroprobe observasjoner</b>	<b>47</b>

---





## Sammendrag

I 2002 ble det påvist masseutvikling av blågrønnalger i Aurevann. Dette er fotosyntetiske mikroorganismer som kan gi uønsket lukt og smak på drikkevannet. Blågrønnalger i den aktuelle gruppen kan dessuten under visse betingelser produsere toksiner som kan innebære helsefare i drikkevann.

Aurevann ligger i Bærum kommune øverst i Lommedalen. Aurevann er drikkevannkilde for ca. 60 000 innbyggere i Bærum. Overflatearealet er 0,22 km<sup>2</sup>. Oppstrøms Aurevann ligger magasinene Småvann, Byvann og Trehørningen. I tillegg blir det overført vann via tunnel fra Heggelivassdraget.

Hensikten med denne rapporten var å gi råd om tiltak for å minimalisere uønsket algeoppblomstring i Aurevann. Vi ønsket å finne ut hvordan en kontrollert utskiftning av vannmasser i Aurevann og magasinene oppstrøms kunne bidra til dette formålet. Dette ble gjort ved å kombinere feltobservasjoner fra 2004 med simuleringer i en matematisk vannkvalitetsmodell, CE-QUAL-W2.

Ved å holde algeinnholdet i Aurevann kontinuerlig lavt, vil dette sannsynligvis også redusere muligheten for uheldig oppblomstring av problemalgen *Anabaena lemmermannii*. Formålstjenlig råvannskvalitet er i betydelig grad avhengig av vannkvaliteten i magasinene oppstrøms. Forholdene i Småvann og Byvann er spesielt viktige.

I mikroalgenes vekstsesong om sommeren, hvor juli, august og september er særlig viktige, kan følgende tiltak være formålstjenlige til å redusere algeutviklingen, og dermed holde algekonsentrasjonen i råvannet så lav som mulig:

- Tapp dypvann fra Småvann og Byvann, helst også fra Trehørningen
- Hold høyeste regulerte vannstand i alle magasinene. Spesielt fra Aurevann gjelder det å unngå å senke vann-nivået lavere enn en meter under høyeste regulerte vannstand.

Når det oppstår situasjoner med mulighet for masseutvikling av problemalgen *Anabaena lemmermannii* er noen forholdsregler viktige:

- Det er spesielt nødvendig å praktisere tiltakene nevnt ovenfor nøye.
- Basert på kjennskapet til de spesielle egenskapene til *Anabaena lemmermannii* kan noen akutte tiltak bli foretatt. Det dreier seg om å utnytte at denne arten under visse miljøforhold konsentrerer seg i overflatevannlaget på dagtid. I slike perioder bør dette vannlaget bli forsøkt ført ut av magasinet gjennom en overløpsordning på dammen. Den praktiske gjennomføringen kan være: Øk vannføringen i Småvannselva med inntil 2,5 m<sup>3</sup>/s. La dette gå i damoverløp i Aurevann i 8 timer hvilket resulterer i at damnivået senkes 0,7 m når damlukene senkes 0,9 m i en bredde på 18 m. Den økte vanntilførselen bør være minst 1 m<sup>3</sup>/s, hvilket resulterer i en vannstands senkning på 0,3 m ved en senkning av damlukene på 0,4 m. Senkningen av damlukene må eventuelt gjøres etappevis for å unngå uheldig høye vannføringer og raske vannføringsendringer i elveløpet nedenfor dammen.

Når det er gjort et valg om realisering, bør det gjøres forsøk hvor det med observasjoner blir dokumentert hva som er effekten av tiltakene. Erfaringene som høstes gir da et grunnlag for en langsiktig manøvrering av vannsystemet til varig beste for vannforsyningen.

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

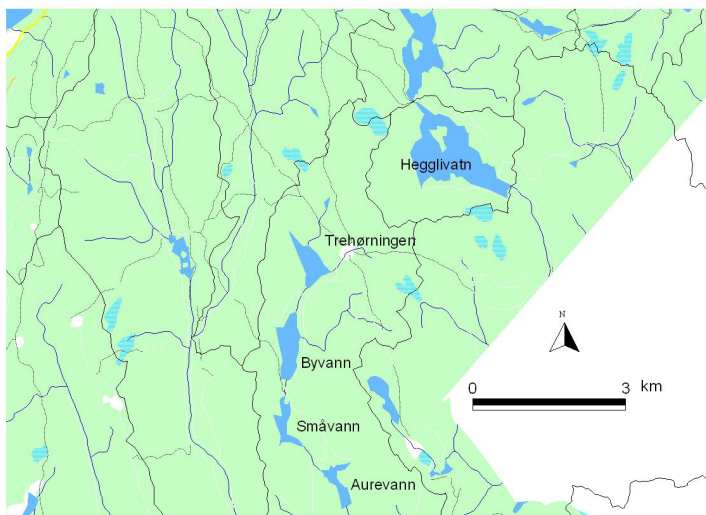
I 2002 ble det påvist masseutvikling av blågrønnalger i Aurevann. Dette er fotosyntetiske mikroorganismer som kan gi uønsket lukt og smak på drikkevannet. Blågrønnalger i den aktuelle gruppen kan dessuten under visse betingelser produsere toksiner som innebærer helsefare i drikkevann. Disse forhold gjorde det nødvendig med oppmerksomhet og føre-var handlinger knyttet til sikringen av råvannskvaliteten.

Hensikten med denne rapporten var å gi råd om tiltak for å minimalisere uønsket algeoppblomstring. Vi ønsket å finne hvordan en kontrollert utskiftning av vannmasser i Aurevann og magasinene oppstrøms kunne bidra til dette formålet.

For å kunne løse denne oppgaven var det nødvendig med god forståelse av Aurvannets hydrodynamikk, vannkjemi og biologi. Dette ble gjort ved å kombinere feltobservasjoner fra 2004 med simuleringer i en matematisk vannkvalitetsmodell.

## 1.2 Beskrivelse av området

Aurevann ligger i Bærum kommune øverst i Lommedalen. Aurevann er drikkevannkilde for ca. 60 000 innbyggere i Bærum. Overflateareal er 0,22 km<sup>2</sup>. Aurevann tilhører Trehørningsvassdraget. Oppstrøms Aurevann ligger magasinene Småvann, Byvann og Trehørningen. I tillegg blir det overført vann til Trehørningen via tunnel fra Heggelivatn, **Figur 1**.



**Figur 1.** Oversiktskart

Ved normal magasinifylling, som tilsvarer høyeste regulerte vannstand (HRV) på 275,5 m o.h., ligger vanninntaket i Aurevann på 14 meters dyp. Inntaket ligger nær dammen i sørenden. En vannføring på 0,485 m<sup>3</sup>/s gir en teoretisk oppholdstid på 47 døgn. Småvann har et overflateareal på 0,18 km<sup>2</sup>, teoretisk oppholdstid på 12 døgn og en reguleringshøyde på 7 m. Tilsvarende tall for Byvann er 0,48 km<sup>2</sup>, 105 døgn og 17 m. Trehørningen har en oppholdstid på 24 døgn.

Nedbørfeltet består av skog, karrige åser og innslag av myr. Det er liten fast bosetning og minimale forurensende aktiviteter.

## 2. Tilstanden i Aurevann 2004

### 2.1 Klima og hydrologi

Det ble satt opp en klimastasjon på dammen til Aurevann som registrerte med 10 minutters intervall i perioden 14. mai – 15. oktober. Det ble målt lufttemperatur, relativ fuktighet, vindstyrke og vindretning, **Figur 2 - Figur 3**. For resten av året benyttet vi data fra Det norske meteorologiske institutt sin klimastasjon på Blindern. På det kaldeste ble det registret temperaturer omkring  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sommeren hadde jevnlig temperaturer over  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , med spesielt varme perioder i mai og august. Dominerende vindretninger var på langs av vannet i begge retninger, dvs. nordlige og sørlige vinder. Vindstyrken var under 2,6 m/s, 4,0 m/s og 5,5 m/s i henholdsvis 50%, 75% og 90% av tiden. Høyeste observerte vindstyrke med en varighet på 10 minutter var 14 m/s. Vindstyrken var noenlunde jevnt fordelt i løpet av sommeren.

Midlere vanninntak var i 2004  $0,437\text{ m}^3/\text{s}$ . Dette var tilnærmet konstant hele året, **Figur 4**. Vannstanden var nær HRV hele året, avviket var under 1 m. Ved vannstand høyere enn HRV rant vannet i overløp over dammen. Dette var tilfelle under snøsmelteflommen om våren (mai) og i oktober. Tilløpet fra Småvannselva ble beregnet ut fra målinger av vanninntaket til vannverket og vannstanden i magasinet. Små vannstandsvariasjoner medførte at tilløpet i store trekk var det samme som driftsvannføringen.

Det ble hele året registrert vanntemperatur i råvannstunnelen til vannverket. Temperaturen varierte over året fra  $1,6$  til  $16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . I perioden 6. mai – 15. oktober ble det også registrert vanntemperatur i Småvannselva. Aurevann var isfritt i perioden 26. april – 22. november, **Figur 5**.

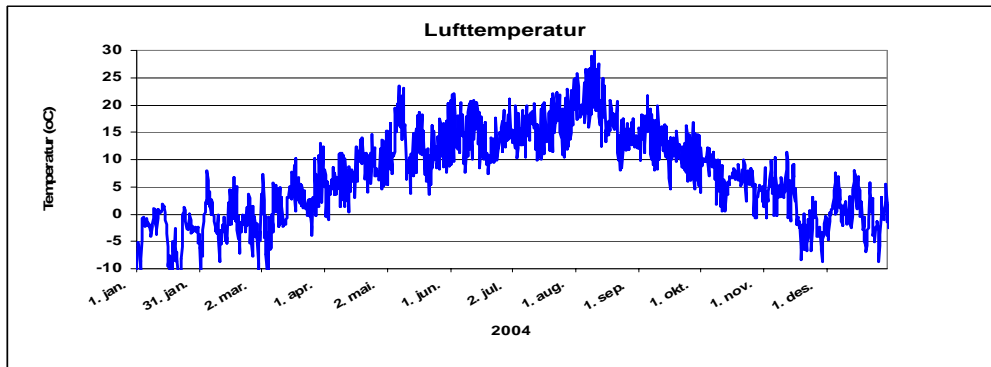
### 2.2 Kjemisk og biologisk vannkvalitet

#### 2.2.1 Fremherskende forhold

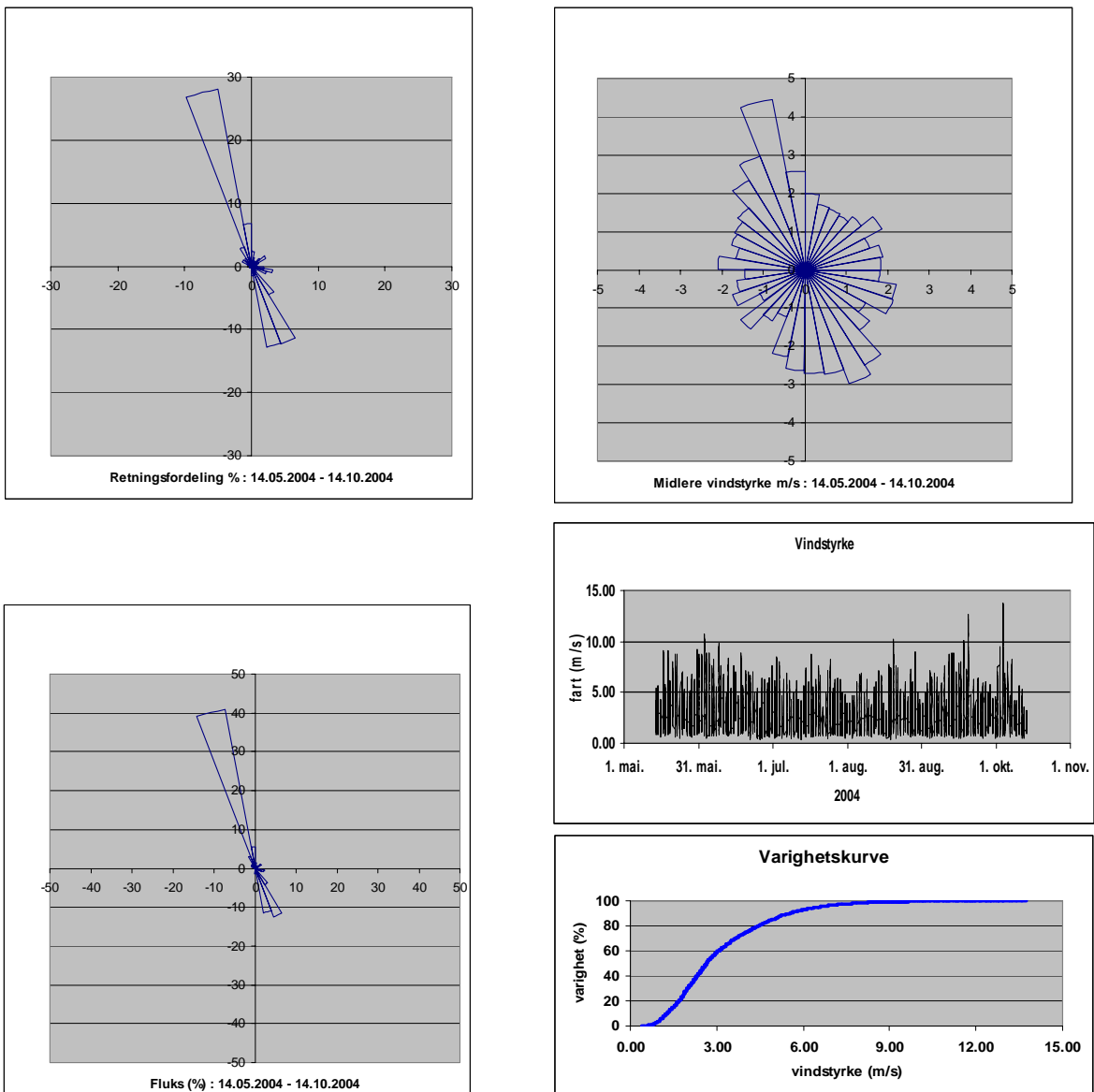
Trehørningsvassdragets vannkjemiske natur er godt kjent gjennom de tidligere omfattende undersøkelsene Bærum kommune har iverksatt. En oversikt over skriftlige kilder som sammenstiller resultatene er laget (2004 b). Erfaringen viser at den kjemiske kvaliteten har vært temmelig stabil når det gjelder hovedkomponentene i vannet (konduktivitet, pH, klorid, og total organisk karbon).

Råvannet som hentes fra Aurevann – med inntaksdyp 14 m – fremviser en vannkvalitet som stort sett faller sammen med forholdene i de øvrige innsjøene i nedbørfeltet. Vannet har lav ditet (ca. 0,30 FTU), det er svakt surt (pH, ca. 6,8), mineralinnholdet er gjennomgående lavt (konduktivitet, ca. 2,3 mS/m). Innholdet av organisk stoff er betydelig (TOC, ca. 6 mg C/l). Det består hovedsakelig av humus. Dette er årsaken til den høye vannfargen som kjennetegner råvannet (farge,  $>40\text{ mg Pt/l}$ ). Humus utgjør store og komplekse karbonmolekyler. De er vanlig knyttet til jern- og manganforbindelser, noe som også preger råvannet (jern,  $>50\text{ }\mu\text{g Fe/l}$ ; mangan,  $>20\text{ }\mu\text{g Mn/l}$ ). Akvatiske humusforbindelser er ofte årsak til kvalitetsproblemer i vannbehandlingsanlegg.

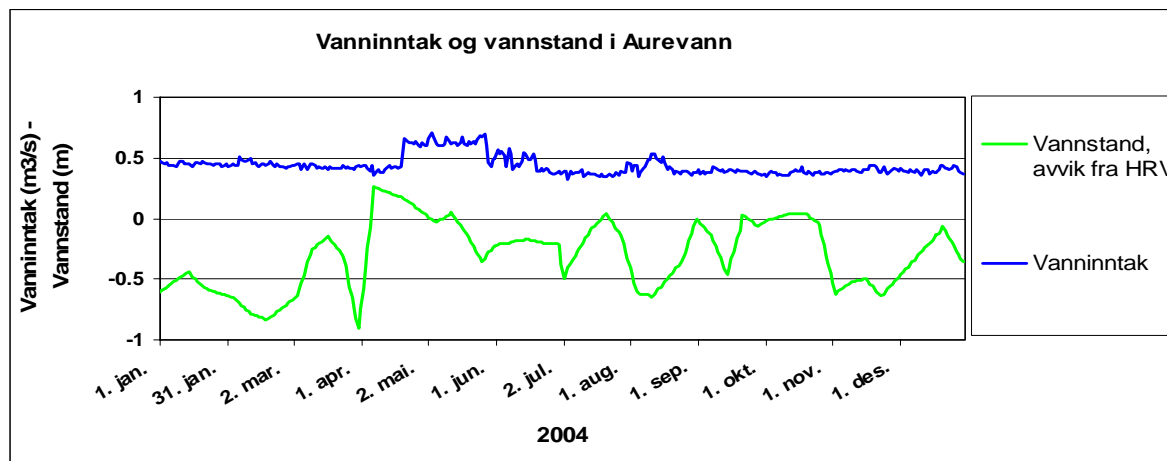
Vannmassene i Trehørningsvassdragets innsjøer er karakterisert av lave konsentrasjoner av fosforforbindelser (3-4  $\mu\text{g P/l}$ ). Innholdet av nitrogenforbindelser er gjennomgående høyt ( $>250\text{ }\mu\text{g N/l}$ ), noe



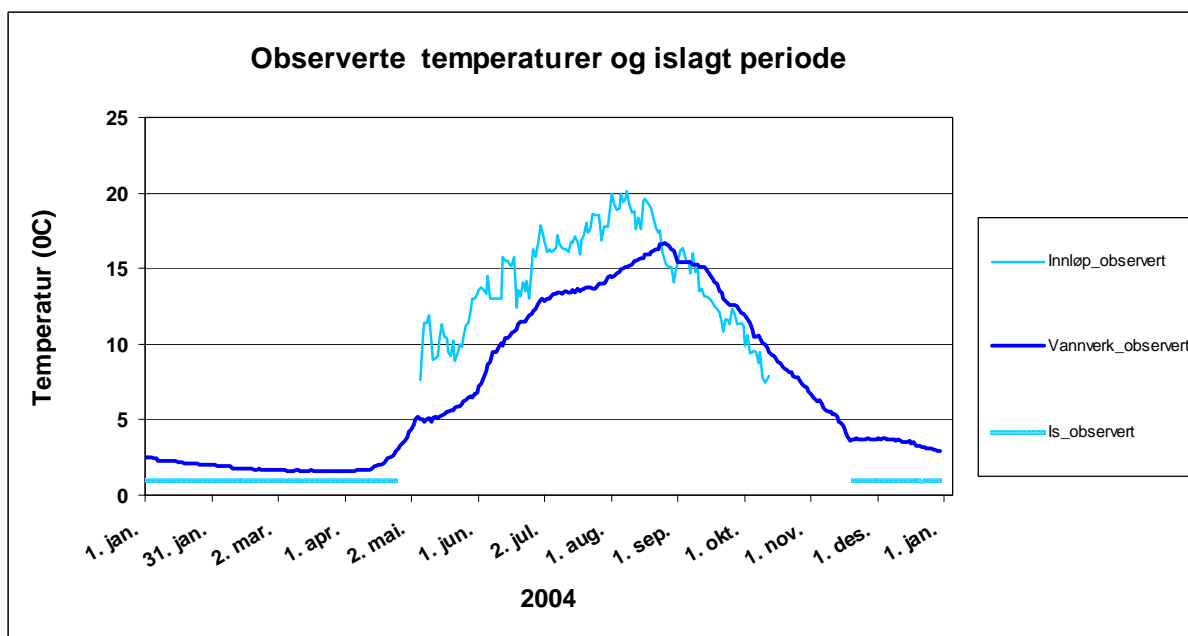
**Figur 2.** Lufttemperatur 14. mai-15. oktober 2004 observert ved Aurevann. For resten av tiden er det brukt data fra DNMI, Blindern.



**Figur 3.** Dominerende vindretninger om sommeren 2004 var på langs av vannet i begge retninger, dvs. nordlige og sørlige vinder. Vindstyrken under 2,6 m/s, 4,0 m/s og 5,5 m/s i henholdsvis 50%, 75% og 90% av tiden. Vindstyrken var noenlunde jevnt fordelt i løpet av sommeren.



**Figur 4.** Råvannsinntaket var nær konstant hele året. Vannstanden avvok mindre enn 1 m fra høyeste regulerte vannstand.



**Figur 5.** Det ble registrert vanntemperatur i råvannstunnelen til vannverket og i Småvannselva nær innløpet til Aurevann. Aurevann var isfritt i perioden 26. april – 22. november.

som har sammenheng med vannets fraksjoner av organisk stoff. Innsjøer av denne type betegnes på fagspråket for dystroft (Wetzel 1983), og gir grunnlag for et særpreget organismeliv. Aurevannets plankton er beskrevet med grunnlag i resultater behandlet i tidligere rapporter (Skulberg 2004). Innsjøen har et relativt stort artsutvalg av mikroalger, med betydelig forekomst av flagellater, grønnalger og blågrønnalger (cyanobakterier). Aurevannet og Småvannet har større diversitet av planktonarter sammenliknet med forholdene i Byvannet og Trehørningen.

### 2.2.2 Observasjoner i 2004

Det ble foretatt rutinemessige undersøkelser av vannkvaliteten til råvannet med hensyn til kjemiske- og bakteriologiske forhold. Resultatene er sammenstilt i Vedlegg A. Limnologiske feltundersøkelser ble foretatt i Aurevannet og Småvannselva i perioden mai-oktober. Prøvetakingen foregikk i et

.dybdeprofil over det dypeste området i råvannsmagasinet. Vannprøvene ble innsamlet i utvalgte dyp fordelt henholdsvis over og under spranglaget.

De kjemiske analyseresultatene er gjengitt i **Tabell 1**. Resultatene av den mikroskopiske bearbeidingen av planktonprøver (håvtrekk – 25 µm planktonsilduk) og av sestonfiltre (telling av kolonier med *Anabaena lemmermannii*) er sammenstilt henholdsvis i **Tabell 2 -Tabell 4**. Spesielle undersøkelser av forekomst av cyanotoksiner og stoffskifteprodukter (metabolitter) som medfører lukt- og smakpåvirkning i drikkevannet behandles i avsnitt 2.2.3.

Vårfullsirkulasjonen ble innledet i Aurevannet siste uke av april. Det skjedde en temperaturstigning i løpet av mai. Overflatevannet hadde 14. mai en temperatur på ca. 11 °C. Vannmassene viste da en lagdeling med sprangsjikt (termoklinområdet) i dybdeintervallet 14-16 m. Oksygenkonsentrasjonen var fra topp til bunn i innsjøen om lag 9 mg O/l. Dette gjenspeiler en godt utluftet vannmasse etter vårfullsirkulasjonen. Tilsvarende viste de kjemiske faktorene relativt homogene forhold gjennom hele vannmassen, med noen mindre konsentrasjonsendringer i termoklinområdet.

Fra prøvetakingen 14. mai kan enkelte stoffkonsentrasjoner nevnes. Totalfosfor var om lag 3 µg P/l, totalnitrogen 295-300 µg N/l og total organisk karbon 6,2-6,3 mg C/l. Disse verdiene ligger innenfor det normalt vannkjemiske variasjonsområdet for vannmassene i Aurevannmagasinet.

Den tidlige oppvarmingen etter vårfullsirkulasjonen preget utviklingen av organismelivet i de fri vannmassene (pelagialen). Algeplanktonet ble sterkt nedbeitet av rotatorier (*Kellicottia longispina*) og krepsdyr (calanoide- og cyclopoide copepoder; cladocerer). Spesielt kan nevnes stor forekomst av krepsdyret *Holopedium gibberum*, som er karakteristisk for Aurevannmagasinet. Når det gjelder mikroalger, var grønnalger og gullalger fremtredende i planktonet. Av kvantitativt viktige arter kan nevnes *Botryococcus braunii*, *Gemmelicystis neglecta*, *Crucigenia rectangularis* og *Stichogloea doederleinii*. Blågrønnalger hadde beskjedne utvikling i mai og juni. *Anabaena lemmermannii* ble observert 15. juni med sporadisk forekomst av kolonier. Ved prøvetakingen 5. juli var det en betydelig populasjon til stede (250 kolonier/l i overflateprøven innsamlet ved dam, Aurevannmagasinet).

Feltobservasjonene i juni viste at sprangsjiktet var beveget ned til om lag 16 meters dyp. Vanntemperatur i inntaksdypet for råvann var i området 7-8 °C. Det fant sted en oppvarming av vannmassene i Aurevannet. Ved observasjonene 13. juli hadde overflatevannet vanntemperatur på 18 °C. Sprangsjiktet endret seg lite gjennom sommeren, og hadde beliggenhet forholdsvis stabilt i dypet 15-17 m. De vannkjemiske forholdene varierte i liten grad. Totalfosfor viste verdier i konsentrasjonsområdet 3-5 µg P/l. Totalnitrogen hadde tilsvarende vekslinger i området 235-530 µg N/l, med de høyeste verdiene målt 13. juli. Dette er forhold som er vanlig å finne under sommersituasjonen i Aurevannet (Skulberg 2004).

En artsrik populasjon av mikroalger preget Aurevannet i sommermånedene. Etter kulminasjonen i begynnelsen av juli, avtok *Anabaena lemmermannii* i mengdemessig forekomst, **Tabell 3**. Ved prøvetakingen 12. august ble det registrert 10 kolonier/liter. Andre blågrønnalger hadde samtidig økende konsentrasjoner (*Chroococcus limneticus* og en ikke identifisert chroococcal art). Grønnalger var det fremtredende element i planktonet. Dominerende organismer i hovtrekket omfattet arter i slektene *Botryococcus*, *Quadrigula*, *Crucigenia* og *Elakatothrix*, **Tabell 2**.

Avkjølingen av vannmassene i Aurevannet preget ettersommeren og høsten. Feltobservasjonene 10. september viste at partialsirkulasjonen foregikk ned til 16 m dyp. Vanntemperaturen i det sirkulerende vannlaget var ca. 16 °C, de bunnære vannmassene hadde temperatur ned til 7,5 °C. Heller ikke i denne perioden var det nevneverdige endringer i konsentrasjonen av totalfosfor eller totalnitrogen som ble målt, **Tabell 1**.



Først ved prøvetakingen 14. oktober ble det registrert fullsirkulasjon i Aurevannet. Vanntemperaturen var da ca. 9 °C. Vannmassene hadde et lite mengdemessig innhold av plankton. *Anabaena lemmermannii* var fortsatt til stede. Flagellater var et typisk innslag i samfunnet, bl.a. arter av slekten *Mallomonas*. Spredt forekomst av blågrønnalger med arter av slektene *Snowella* og *Merismopedia* kan nevnes, **Tabell 2**

### 2.2.3 Vannhygieniske faktorer

Tre forhold har sentral interesse for vurderingen av den vannhygieniske situasjonen i Aurevannmagasinet. Det gjelder forekomsten av mikroorganismer som kan innebære smitte for sykdom, innhold i vannet av mulige biotoksiner, og stoffer som kan forårsake problemer knyttet til drikkevannets lukt og smak.

Bakteriologiske analyser ble i 2004 utført av LabNett. Resultatene er gjengitt i Vedlegg A. Med enkelte avvik – i september og oktober – var råvannet preget av beskjedne forekomst av *Escherichia coli* og *Clostridium perfringens*. Analysene av heterotrofe kim (kintall) viste verdier som er vanlige for overflatevann av Aurevannets natur.

Når det gjelder *E. coli*, har denne organismen naturlig tilstedeværelse i tarmsystemet til varmblodige vertebrater, og vil slik tilføres Aurevannet fra dyrelivet i nedbørfeltet. *Clostridium perfringens* – som kan gi infeksjoner hos dyr og mennesker – blir vanlig påvist vidt utbredt i prøver av jord og vann med organisk materiale. Denne bakterien omfatter både ikke-patogene og patogene stammer.

Blågrønnalgen *Anabaena lemmermannii* er en fremtredende art i Aurevannets plankton (Skulberg 2004). Dette er en velkjent problemorganisme for vannforsyninger gjennom sin dannelse av stoffskifteprodukter med mulige toksiske egenskaper og sensoriske påvirkninger av vann. Sommeren 2002 var det masseutvikling av *A. lemmermannii* i Aurevannet. Den dominerende stamme i innsjøen var da produsent av det utpregete lukt- og smaksstoffet geosmin.

Vannprøver fra 1 m dyp ble innsamlet i Aurevannet 13. juli 2004 til analyse av lukt- og smaksstoffer. Resultatene fremgår av **Tabell 4**. Både geosmin og 2-metylisoborneol ble påvist. Det var geosmin som preget lukten av vannprøven. Da *A. lemmermannii* var den dominerende algen i prøven, er det mest sannsynlig at den var årsaken til den sensoriske påvirkningen av vannet. Dette er også begrunnet ut fra at klonen av *A. lemmermannii* som er blitt isolert fra vassdraget har sterk karakteristisk lukt av geosmin. En kultur av denne organismen som ble analysert hadde for eksempel en geosminkonsentrasjon på >100 ng/l av stoffet.

I perioden 2002-2003 ble det foretatt flere analyser av cyanotoksiner i materiale med *A. lemmermannii* fra Trehørningvassdraget. Metoden som ble benyttet til toksinanalysen var basert på immunoassay for microcystin (ELISA-kit, Enviro Logix). Resultatene viste at en eventuell forekomst av microcystin var under påviselighetsgrensen (Skulberg 2004).

Materiale av planteplankton innsamlet i Aurevannet i juli 2004 hadde dominans av *A. lemmermannii*. Det ble påvist spor av microcystin i dette materialet. I skriv til Bærum kommune datert 16. juli (NIVA-notat, O-23036) ble det informert om forholdet. Analysene bekreftet at det var en toksinproduserende stamme av *A. lemmermannii* i vegetasjonsperioden 2004, **Tabell 4**. Konsentrasjonen av microcystin som ble registrert var betydelig lavere enn det som internasjonalt settes som tilrådelig praktisk grense for innhold i drikkevann (1,0 µg/ifølge WHO 1998, referert i Chorus and Bartram 1999).

**Tabell 1.** Vannkjemi og klorofyll i Aurevann og Småvannselva

Sted	TotP µg/L P	PO4-P µg/L N	TotN µg/L N	NH4-N µg/L N	NO3-N µg/L N	TOC/GFF µg/L C	TOC mg/L C	Fe/ICP mg/L	KLA/S µg/L
Aurevann 0 m	6		300			433	6.3	0.112	2.50
Aurevann 5 m	4		295			410	6.3	0.116	1.50
Aurevann 10 m	3		295			320	6.2	0.123	0.34
Aurevann 20 m	4		295			330	6.3	0.137	<0.31
Småvannselva	4		285			348	6.1	0.109	1.40
Aurevann 0 m	5	1	235	8	56	200	5.8	0.057	2.10
Aurevann 5 m	3	11	230	9	70	198	5.7	0.065	1.50
Aurevann 12 m	3	<1	250	8	73	198	5.9	0.066	0.70
Aurevann 20 m	4	1	290	15	96	251	6	0.124	0.73
Småvannselva	3	<1	240	7	54	176	5.9	0.071	1.80
Aurevann 0 m	4	1	530	14	42	259	6	0.063	1.30
Aurevann 5 m									0.80
Aurevann 14 m	4	<1	250	19	63				0.40
Aurevann 20 m	4	<1	295	25	107	195	6	0.106	<0.26
Småvannselva	4	<1	225	8	42	273	6.2	0.090	1.80
Aurevann 0 m	3	<1	220	<5	25	239	6.2	0.061	1.70
Aurevann 13 m	4	<1	250	13	46				1.10
Aurevann 20 m	5	1	305	16	115	295	6.1	0.137	0.55
Småvannselva	3	<1	260	<5	54	340	6.2	0.085	1.60
Aurevann 0 m	4	<1	250	13	39	277	6.2	0.089	1.40
Aurevann 5 m	3	<1	245	12	41				1.10
Aurevann 20 m	5	1	310	14	140	235	5.8	0.136	<0.6
Småvannselva	3	<1	245	8	43	262	6.5	0.093	1.80
Aurevann 0 m	4	<1	265	24	51				1.00
Aurevann 14 m	4	<1	260	17	54				0.91
Aurevann 21 m	5	1	300	8	150				0.54
Småvannselva	4	<1	255	14	50				1.00

**Tabell 2.** Planteplankton i Aurevann vegetasjonsperioden 2004.  
Observasjoner basert på sestonanalyser og mikroskopi av håvtrekk (25 µm)

PRØVETAKING	ARTSLISTE		ANMERKNINGER
	Dato 2004	Fremtredende forekomst	
14. mai	<i>Botryococcus braunii</i> <i>Dinobryon sociale</i> <i>Peridinium cf. pusillum</i>	<i>Cosmarium depressum</i> <i>Cryptomonas ovata</i> <i>Dinobryon cylindricum</i> <i>Gemellicystis neglecta</i> <i>Staruastrum paradoxum</i>	<i>Cyclopoide</i> og <i>calanoide</i> <i>copepoder.</i> Rotatorier av slektene <i>Kellicottia</i> og <i>Polyarthra</i>
15. juni	<i>Botryococcus braunii</i> <i>Dictyosphaerium</i> <i>simplex</i> <i>Stichogloea doederleinii</i>	<i>Anabaena lemmermannii</i> <i>Crucigenia rectangularis</i> <i>Mallomonas caudata</i> <i>Nephrocytium lunatum</i> <i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Quadrigula pfitzeri</i>	Masseforekomst av <i>Holopedium</i> <i>gibberum</i> Rotatorier av slektene <i>Kellicottia</i> og <i>Polyarthra</i>
13. juli	<i>Anabaena lemmermannii</i> <i>Botryococcus braunii</i> <i>Crucigenia</i> <i>rectangularis</i>	<i>Chroococcus limneticus</i> <i>Elakatothrix gelatinosa</i> <i>Gomphosphaeria cf.</i> <i>pusilla</i> <i>Merismopedia cf. glauca</i> <i>Mallomonas caudata</i> <i>Tabellaria flocculosa</i>	Rotatorier av slektene <i>Kellicottia</i> og <i>Polyarthra</i>
12. august	<i>Botryococcus braunii</i> <i>Chroococcus limneticus</i> <i>Crucigenia</i> <i>rectangularis</i>	<i>Dictyosphaerium</i> <i>simplex</i> <i>Gomphosphaeria cf.</i> <i>pusilla</i> <i>Nephrocytium lunatum</i> <i>Quadrigula pfitzeri</i> <i>Stichogloea doederleinii</i> <i>Woronichinia</i> <i>naegeliana</i>	Rotatorier av slektene <i>Conochilus</i> , <i>Kellicottia</i> og <i>Polyarthra</i>
10. september	<i>Crucigenia</i> <i>rectangularis</i> <i>Chroococcus limneticus</i> <i>Quadrigula pfitzeri</i>	<i>Anabaena lemmermannii</i> <i>Botryococcus braunii</i> <i>Dictyosphaerium</i> <i>simplex</i> <i>Dinobryon sociale</i> <i>Elakatothrix gelatinosa</i> <i>Kirchneriella</i> <i>subsolitaria</i>	Rotatorier av slektene <i>Kellicottia</i> og <i>Polyarthra</i>
14. oktober	<i>Botryococcus braunii</i> <i>Snowella lacustris</i> <i>Quadrigula pfitzeri</i>	<i>Anabaena lemmermannii</i> <i>Chroococcus limneticus</i> <i>Dictyosphaerium</i> <i>simplex</i> <i>Elakatothrix gelatinosa</i> <i>Kirchneriella</i> <i>subsolitaria</i> <i>Merismopedia cf. glauca</i>	Rotatorier av slektene <i>Kellicottia</i> og <i>Keratella</i>

**Tabell 3. Forekomst av *Anabaena lemmermannii* i Aurevann 2004**

Telling av kolonier på sestonfiltre, 100 ml. Angitt som kolonier per liter.  
Metode Skulberg 1978

Dyp m	14.05.04	15.06.04	13.07.04 *	12.08.04 **	10.09.04	14.10.04
0			90	10		<10
1	<10	<10			20	
5	<10		<10	<10		
6		<10				
10	<10					
12		<10				
13				<10	<10	
14			<10			<10
16					<10	
20	<10	<10	<10		<10	
21						<10

\* 05.07.04 210 kolonier per liter i overflatevann ved inntaksområdet for råvann

\*\* 12.08.04 Stor forekomst av blågrønnalgen *Chroococcus limneticus* i Aurevann.

**Tabell 4. Analyse av sekundære metabolitter dannet av *Anabaena lemmermannii***

Stoffkategori	Vannprøve m/dominans av <i>A. lemmermannii</i>	Klonkultur av <i>A. lemmermannii</i>
Lukt og smaksstoffer* (VOBS- Volatile organic biogenic substances, Jüttner 1987)	Prøvetaking, 13.07.2004  Geosmin: ~ 10 ng/liter 2-Metylisoborneol: <2 ng/liter	NIVA-CYA 462/2  Geosmin: >100 ng/liter 2-Metylisoborneol: Ikke påvist
Påvisning av cyanotoksiner**	A Prøvetaking 13.07.2004	B NIVA-CYA 462/2
A Immunoassay	Microcystin: 0,4 µg/l	Microcystin: < 0,1 µg/l
B Massespektrografi		

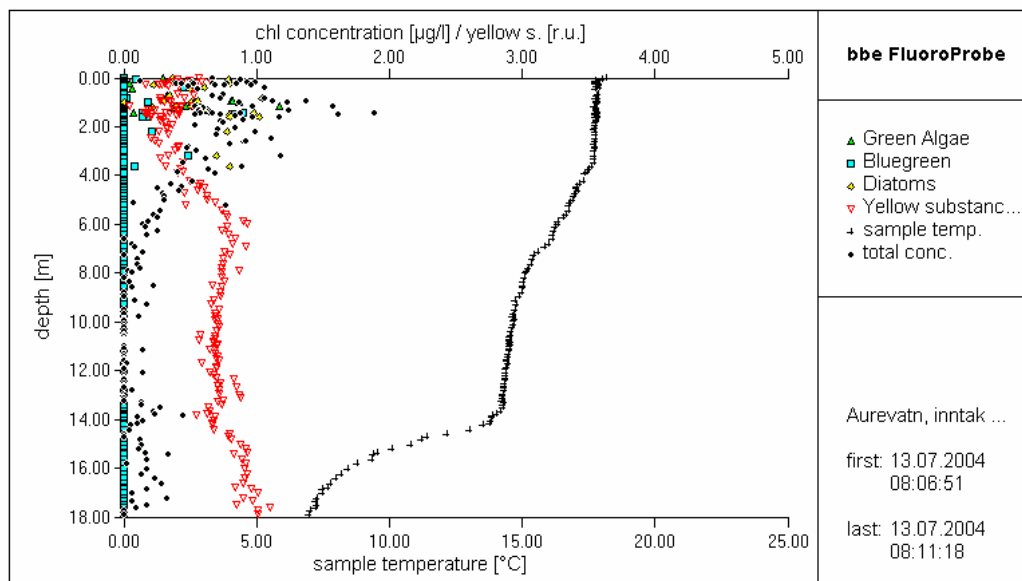
\*Metode: Ekstraksjon med SPME-fiber og bruk av gasskromatograf,  
GC/MS i SIM mode

\*\*Metode: A ELISA-kit. Biosense-Bergen  
B Massespektrografi LC/MS. Instrument Waters LC system, forbundet med en  
Micromass Platform 2 MS detektor.

## 2.2.4 Bruk av in-situ-målinger av algeforekomst

Det ble i 2004 foretatt innledende arbeid med anvendelse av et nytt instrument til måling av alger i Aurevann. Betegnelsen på instrumentet er FluoroProbe (BBE, Moldaenkr e-Kil). Prinsippet for metoden er at algenes fotosyntetiske pigmenter gir en fluorescens som kan registreres og karakteriseres. Alger i de ulike systematiske klassene har pigmenter som er kvantifiserbare, og som skiller mellom klasser. Ved å benytte algenes eksitasjonsspektra i fluorescens er det mulig å bestemme innhold av fremherskende alger i en vannmasse. Instrumentet kan senkes ned i vannet, og beskriver slik et innsjøprofil ut fra rådende konsentrasjoner av mikroalger.

Eksempel på observasjoner foretatt med instrumentet er vist i **Figur 6** og i de grafiske diagrammene i 6.Vedlegg B. Registreringene som ble gjort, omfatter temperatur, humusstoffer, total klorofyll, grønnalger, blågrønnalger og gullalger. Erfaringene som ble gjort var at de registrerte algeverdiene var for lave i forhold til usikkerheten til at vi kunne benytte de kvantitative verdiene for hver enkelt algetype. Metoden ga imidlertid nyttig informasjon om totalt algeinnhold og særlig hvordan dette var fordelt nedover i vannmassene. De totale konsentrasjonene var av samme størrelse som de observerte. For eksempel var det i juli maksimum konsentrasjoner mellom 0 og 2 m, og lite under 4 meters dyp hvilket var rimelige verdier i forhold til observasjonene, **Tabell 1**.



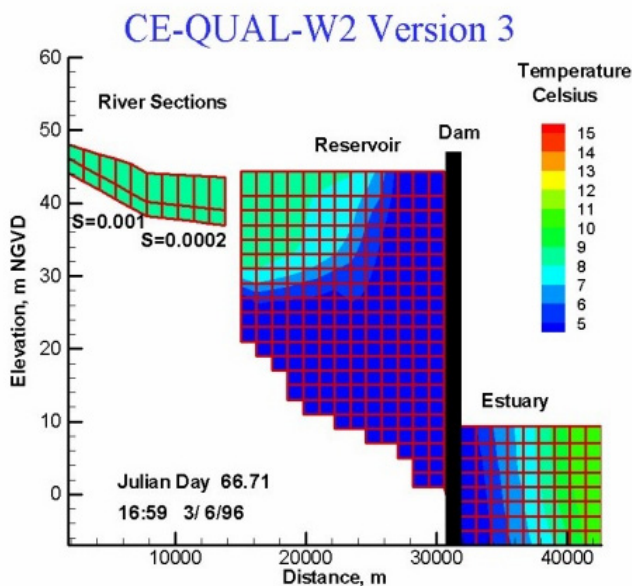
**Figur 6.** Registreringene som ble gjort omfatter temperatur, humusstoffer (yellow substances), total klorofyll, grønnalger, blågrønnalger og gullalger (her feilaktig betegnet som diatomører).

## 3. Modellberegninger

### 3.1 Beskrivelse av modellen

Modellen CE-QUAL-W2 beregner miljøfaktorer som funksjon av klima, vannføring og vannkvalitet i tilløp, og vannføring i utløp (Cole and Wells 2002), **Figur 7**. Modellen kan beregne strømhastighet, temperatur, istykkelse, oksygeninnhold, partikkelkonsentrasjon, vannkjemi, gass, utveksling med sedimenter, konsentrasjoner av alger, bakterier m.m.

Modellen er todimensjonal. Resultatene blir beregnet med et vilkårlig valgt tidsskritt, for utvalgte dybdeprofiler i innsjøens lengderetning (x-z retning). Verdiene representerer midlere forhold på tvers av lengderetningen (y-retningen). Modellen er følgelig godt egnet for simuleringer i langstrakte innsjøer. Modellen tar hensyn til ulike former for damoverløp, uttak via tunneler og tilførsler via elver og grunnvann m.m.



**Figur 7.** Modellen CE-QUAL-W2 kan beregne temperatur, is, algekonsentrasjoner m.m. med et vilkårlig valgt tidsskritt, for utvalgte dybdeprofiler i elver, innsjøer og estuarier. Verdiene representerer midlere forhold på tvers av lengderetningen. For Aurevann blir kun innsjømodulen benyttet, se "Reservoir" i eksemplet med temperatur på figuren.

### 3.2 Kalibrering av modellen

Modellen ble kalibrert/testet mot observerte data for 2004. Simulerte temperaturer viste godt samsvar med de registrerte, **Figur 8** og **Figur 9**. Dette gjaldt både overflatevann, dypvann og driftsvann. Avviket var sjeldent over 1 °C. God overenstemmelse mellom observerte og simulerte temperaturer vitner om at modellen gir et troverdig gjengivelse av Aurevannets hydrodynamikk.

Imidlertid var det et systematisk avvik på vårparten, hvor simulerte temperaturer i råvannet steg tidligere enn de observerte. Vi ser at de simulerte temperaturene steg raskt like etter at isen ble borte. Dette er rimelig da isdekket inntil da har hatt en isolerende effekt. Avviket skyldes for tidlig isløsning i modellen. Grunnen er trolig at modellen ikke tar hensyn til snø over isen. Dette avviket hadde ingen praktisk betydning for de følgende simuleringene av algeforekomst.

Om vinteren var det kaldt vann med temperaturer nær 0°C i overflaten og varmere og dermed tyngre vann dypere ned, **Figur 10**. (Plasseringen av innløp, vanninntak m.m. er kun beskrevet på denne figuren.) I april økte temperaturen til omkring 4°C med tilhørende sirkulasjon i vannmassene. Etter isløsningen steg temperaturen raskt i overflaten. Utover sommeren ble dette varmere overflatelaget stadig tykkere. Temperaturgradienten i bunnen av overflatelaget gjorde vannmassene stabile og motvirket vertikal transport fra overflaten til vanninntaket på 14 meters dyp. Ved avtagende lufttemperaturer utover høsten sank avkjølt overflatevann stadig lenger ned mot bunnen og bidro til at økende del av dybdeprofilen sirkulerte. Etter at hele profilet oppnådde 4°C ut i november ble det igjen dannet kaldt overflatelag og stabile vannmasser.

Vannet fra Småvannselva lagret seg inn i Aurevann i det nivået hvor det var tilsvarende temperatur, **Figur 8** og **Figur 11**. Det vil si at i hele den isfrie del av året lagret det seg inn i varierende dybde under overflaten. Vanligvis dypere dess lenger vi kom utover sommeren. Dette vannet nådde i stor grad vanninntaket uten å blande seg med overflatelaget.

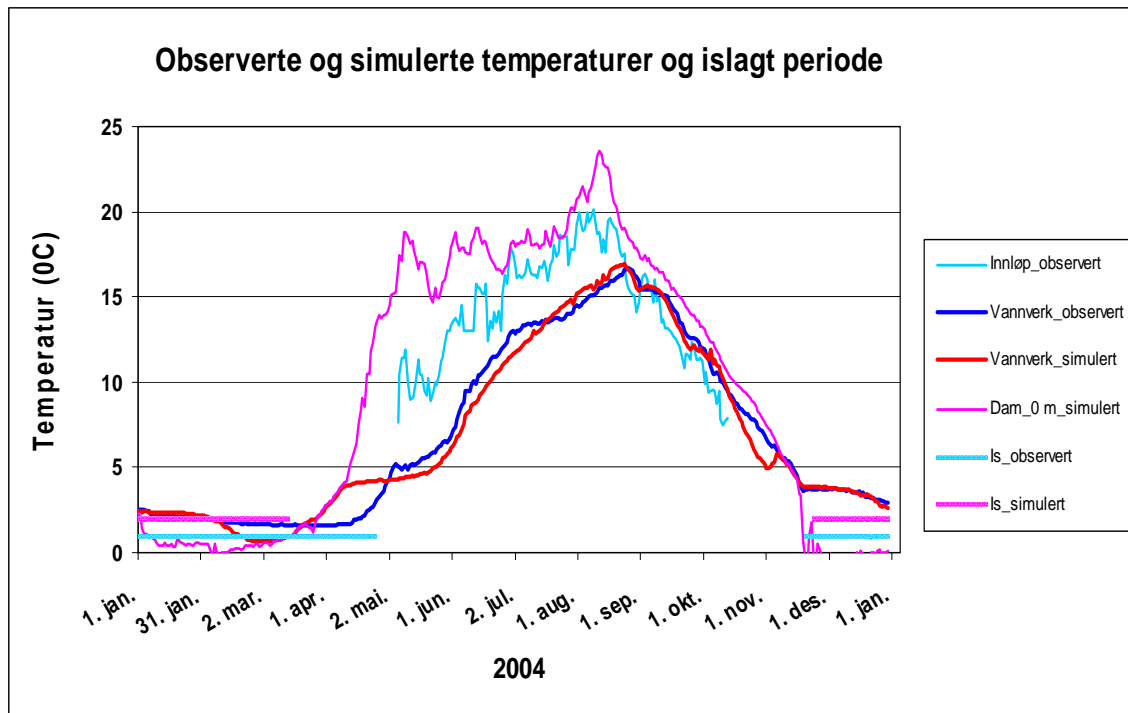
I modellen gis ulike algegrupper egenskaper. Det gis koeffisienter som beskriver maksimum vekst under optimale betingelser og hvordan denne veksten begrenses som funksjon av temperatur, begrenset tilgang på fosfor, nitrogen, lys m.m. Slike koeffisienter, som angir hastigheten på ulike prosesser som bestemmer algens vekst og innbyrdes konkurranse, kan kun i en viss utstrekning finnes i litteraturen. Det er følgelig nødvendig med observerte data fra selve innsjøen som modellen kan kalibreres mot. Det vil si at ulike koeffisienter som beskriver disse egenskapene systematisk ble endret inntil det ble oppnådd tilstrekkelig god overenstemmelse med observerte verdier. Det endelige resultat av kalibreringen er vist på **Figur 12 - Figur 14**.

Det observerte algeinnholdet var gjennomgående lavt hele sommeren. På grunn av meget lave konsentrasjoner, ble det ikke utført kvantitative analyser av de enkelte algegruppene. I mangel av data å kalibrere modellen mot, benyttet vi kun to alger i modellen. Den ene vokste bra når vannet var kaldt om våren, og den andre representerte "middelalgen" som ble dominerende utover sommeren.

Simulerte verdier av algeinnhold målt som klorofyll viste overveiende bra samsvar med observerte verdier.

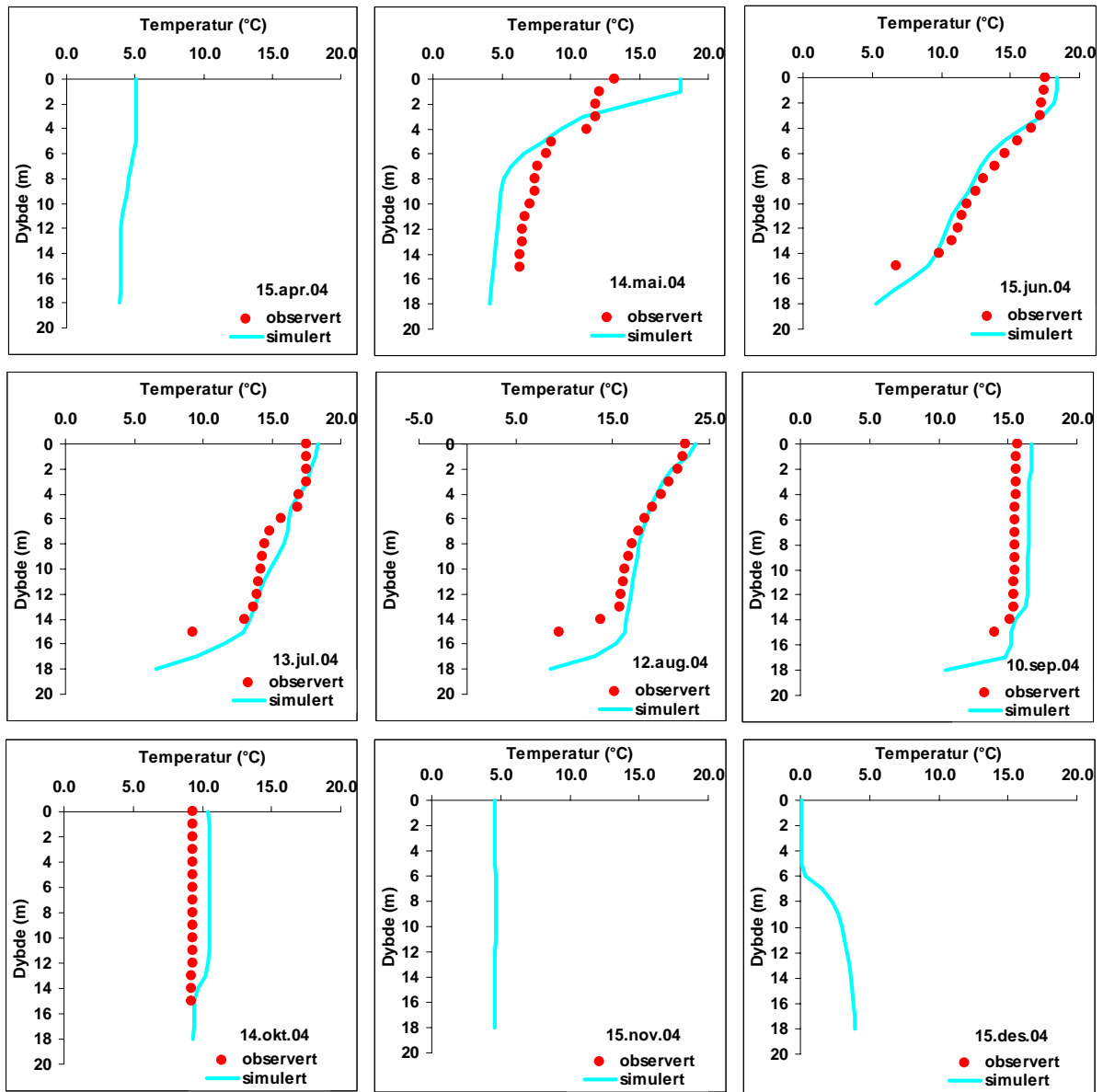
I løpet av sommeren ble det gradvis økende algekonsentrasjoner nedover i vannmassene. I modellen foregikk algeveksten hovedsakelig i de øverste fem meterene. Høyt humusinnhold og dermed rask lyssvekking bidro til dette. Dypere ned var algene vanligvis lysbegrenset, slik at tapsprosesser som respirasjon og sedimentasjon ble dominerende. Algene nådde vanninntaket ved å følge innløpsvannet fra Småvannselva, følge vertikale strømminger og ved sedimentasjon. Vi merker oss at klorofyllinnholdet i Småvannselva var av samme størrelse som i overflatelaget i Aurevann, **Tabell 1**.

Modellen syntes å være pålitelig angående hydrodynamikk, innlagring, stabilitet, vertikal transport m.m. Slike beregninger er basert på stort sett velkjente fysiske lover, og har i liten grad behov for kalibreringsdata. Usikkerheten øker ved simulering av alger. Imidlertid ble resultatene ansett som tilfredstillende for å kunne gjennomføre formålstjenlige scenarier.

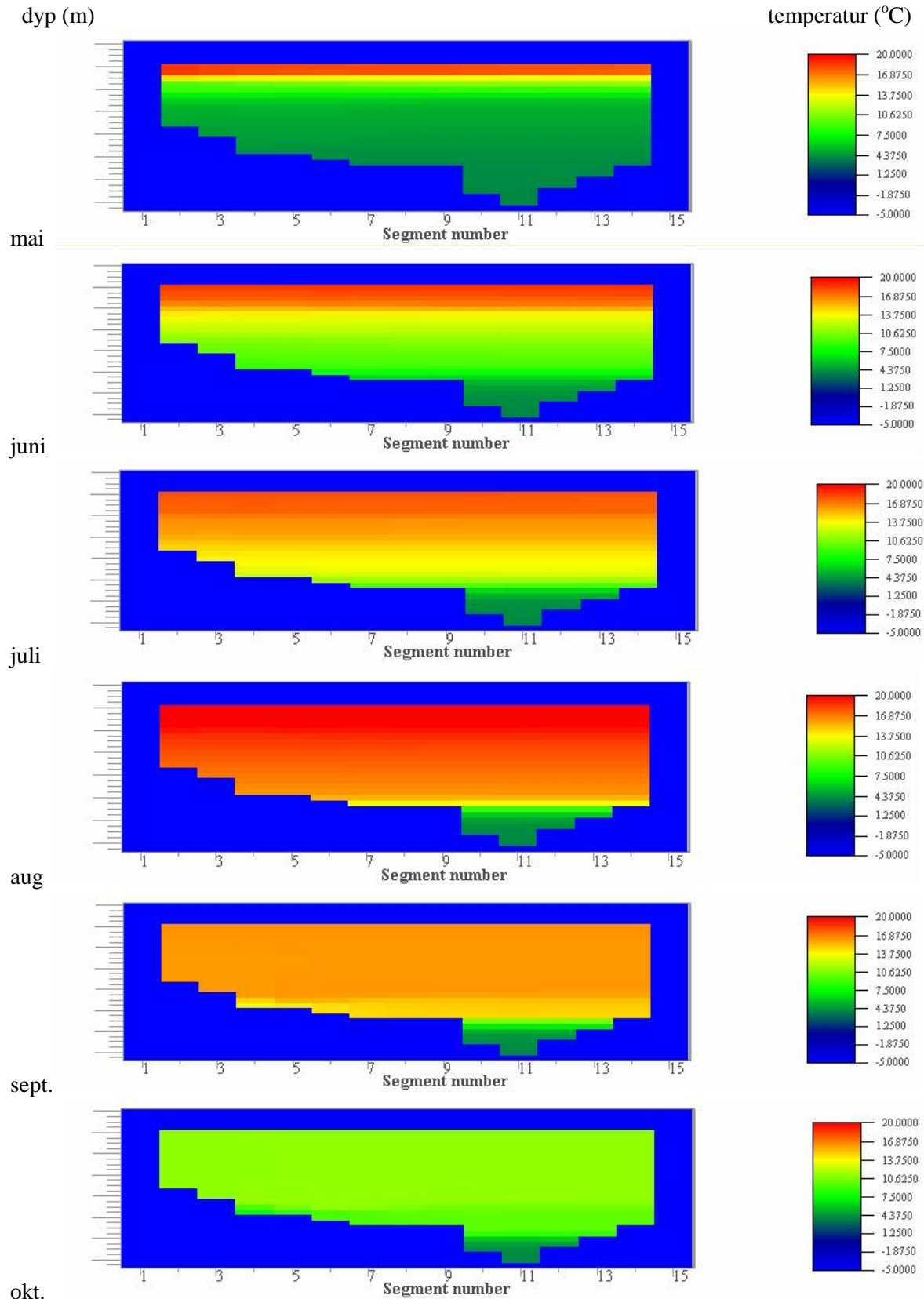


**Figur 8.** Det var overveiende godt samsvar mellom observerte og registrerte temperaturer i vanninntaket. Modellen ga en for tidlig isløsning. Temperaturen i innløpselva var kaldere enn overflatevannet i Aurevann, noe som medfører innlagring på dypt vann.

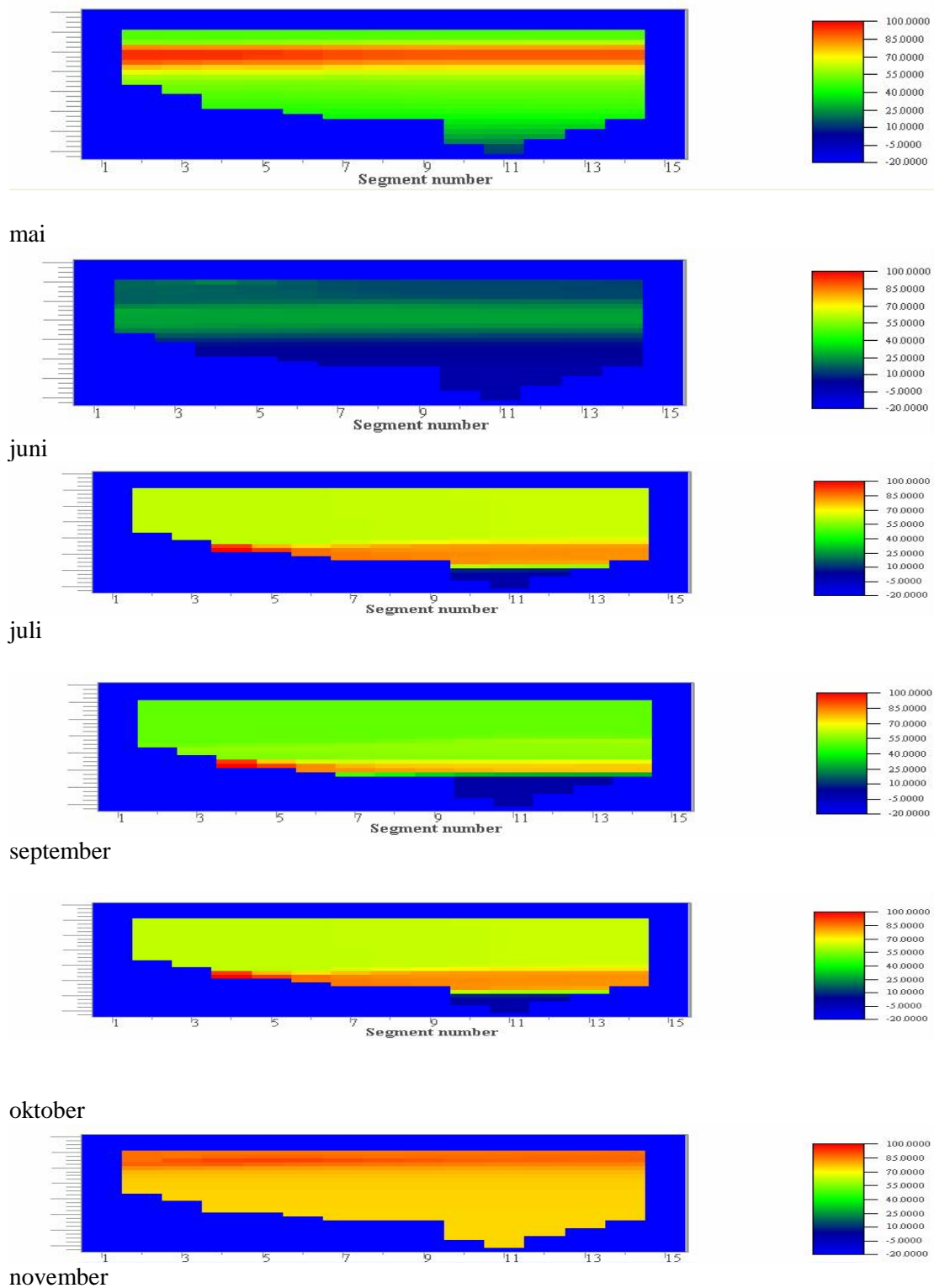




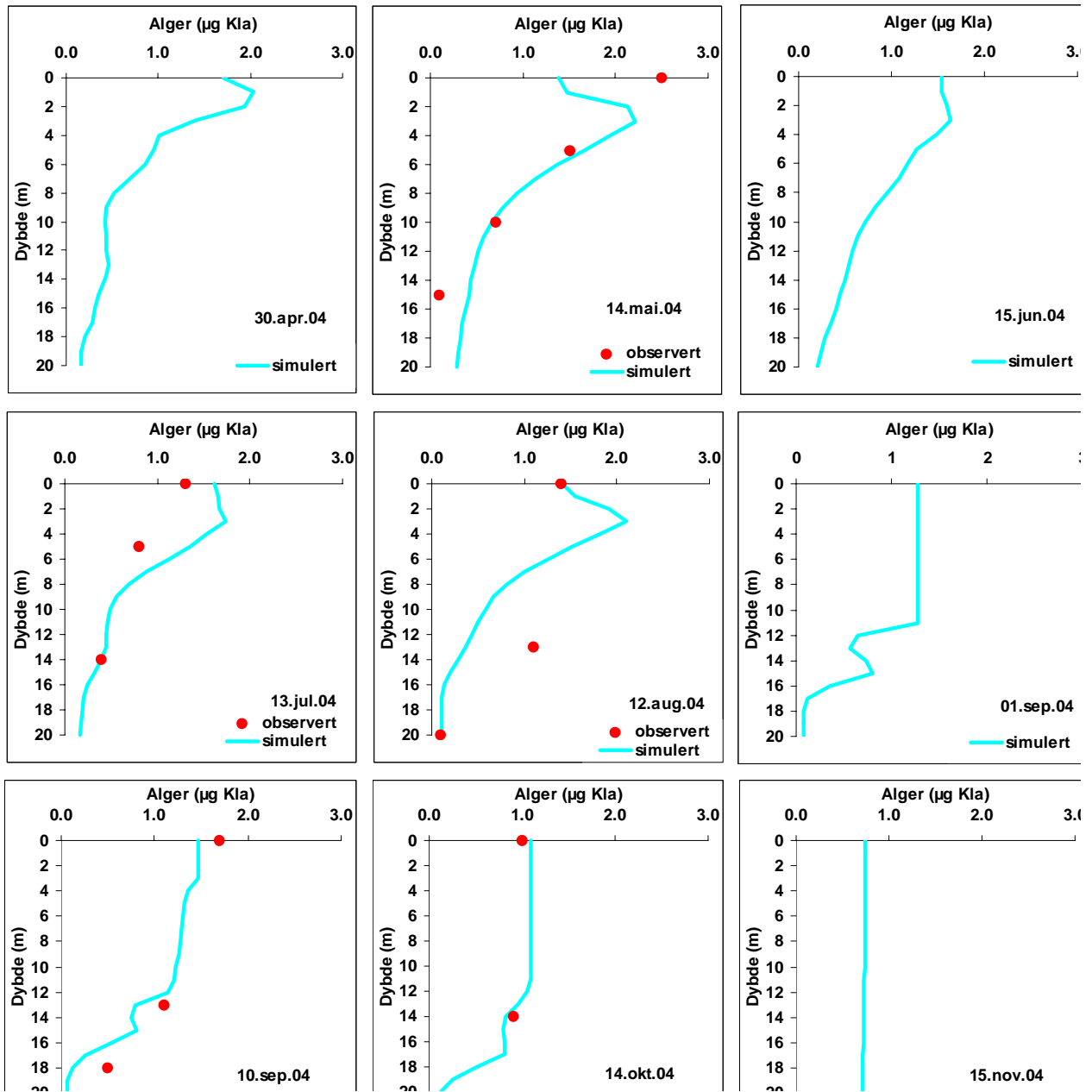
**Figur 9.** Simulerte temperaturprofiler viste godt samsvar med observerte verdier.



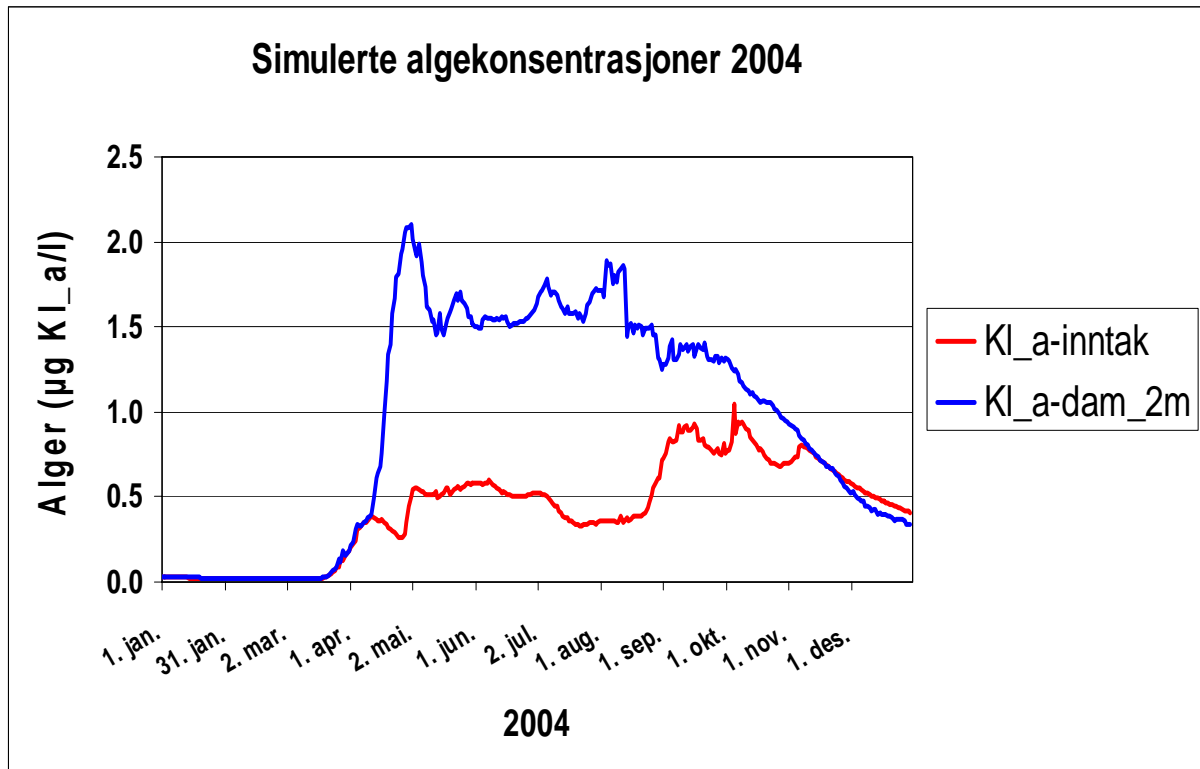
**Figur 10.** Simulert temperatur i Aurevann 2004. Lengde-dybdesnitt av Aurevann. Småvannselvas innløp i segment 4, vanninntak i segment 12 og dam i segment 14. Vanninntak 14 m. Dybdeskala til venstre i meter, temperatur til høyre i °C.



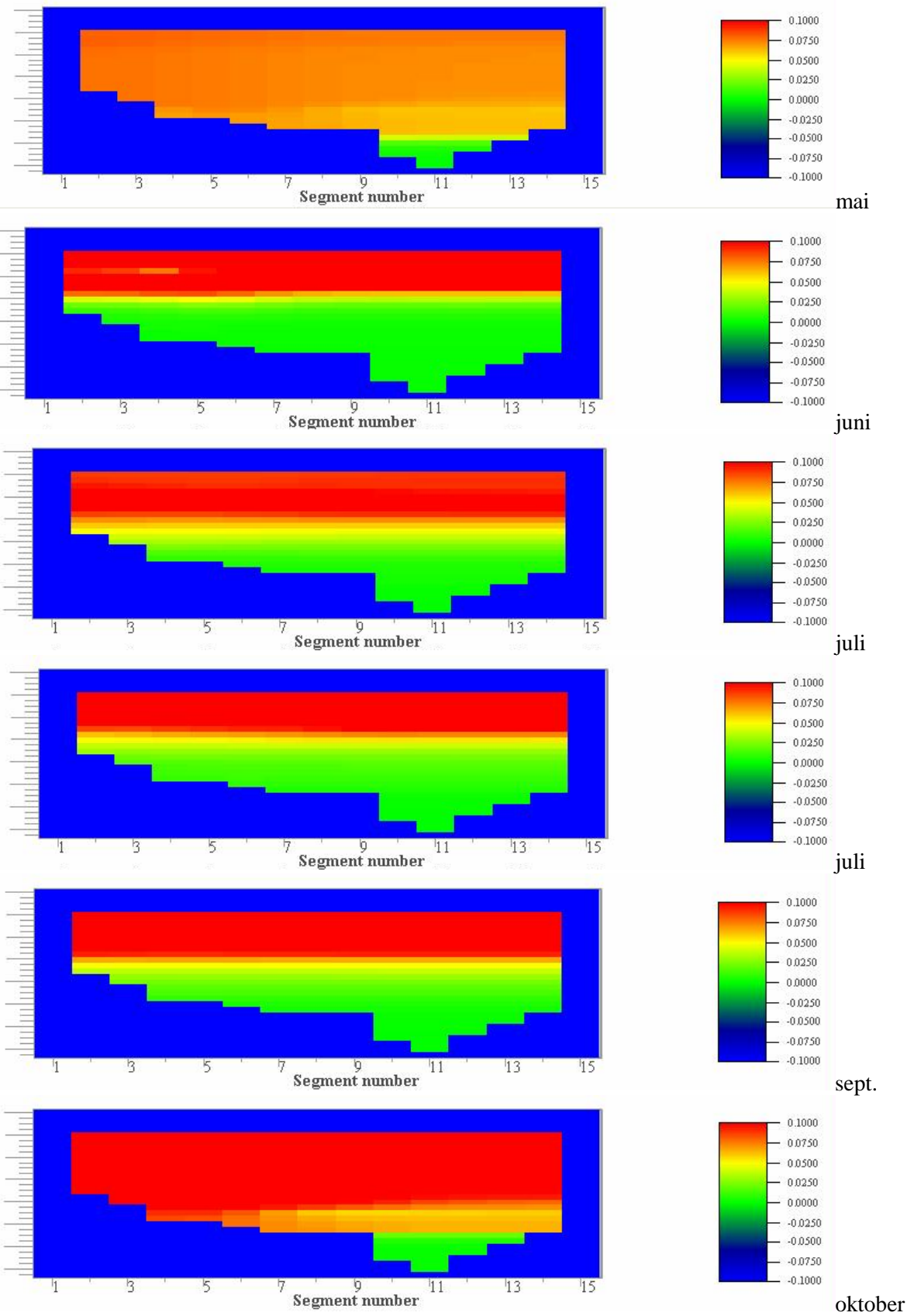
**Figur 11.** Simulert innlagring 2004 ved bruk av et tenkt sporstoff tilført via Småvannselva. (Småvannselva gis en konsentrasjon lik 100). Vannet fra Småvannselva ble vanligvis lagret inn under overflaten i Aurevann.



**Figur 12.** Simulerte dybdeprofiler av algeinnhold, målt som klorofyll, viste hovedsakelig godt samsvar med observerte verdier.



**Figur 13.** Simulerte algekonsentrasjoner 2004 i overflatevannet ved dammen (dyp= 2 m), og i råvannet til vannverket.



Figur 14. Simulert algekonsentrasjon ( $\mu\text{g}$  klorofyll/l / 10) 2004

### 3.3 Scenarier

I det følgende omtales resultatene av flere simulerte scenarier. Hensikten med scenariene var å forstå de prosessene som bestemmer algeinnholdet i råvannet og dermed kunne vurdere praktiske tiltak.

I de følgende figurene representerer kurver merket 2004 tilstanden slik den var ut fra kalibrerte simuleringresultater. Det er algeinnholdet i dypvanninntaket, som vi ønsker å redusere permanent, eller i det minste i perioder med uønsket algeoppblomstring. I det følgende blir det presentert kurver for vanninntak og overflatevann. Med overflatevann menes 2 meters dyp, hvilket representerer middelveidien i de øverste 4-5 metrene. Kurvene gjelder for overflaten ved dammen nær vannverksinntaket.

#### **Hvordan ville forholdene i Aurevann vært om det kun var damoverløp, dvs. tilnærmet som en naturlig innsjø?**

Vanninntaket ble antatt stengt og vannet rant kun over dammen. Scenariet viser at vi ville fått varmere overflatevann og kaldere bunnvann, større vertikale temperaturgradienter og mer stabile vannmasser, **Figur 15 - Figur 16**. Vanninntaket hadde ikke noen betydning for lengden av den isfrie perioden. Også algeinnholdet ville blitt betydelig annerledes. Høyere konsentrasjoner i overflaten og betydelig lavere konsentrasjoner i vanninntaksnivået, **Figur 17**, se kurven merket damoverløp. Scenariet kan langt på vei være representativt for magasinene oppstrøms i Trehørningvassdraget.

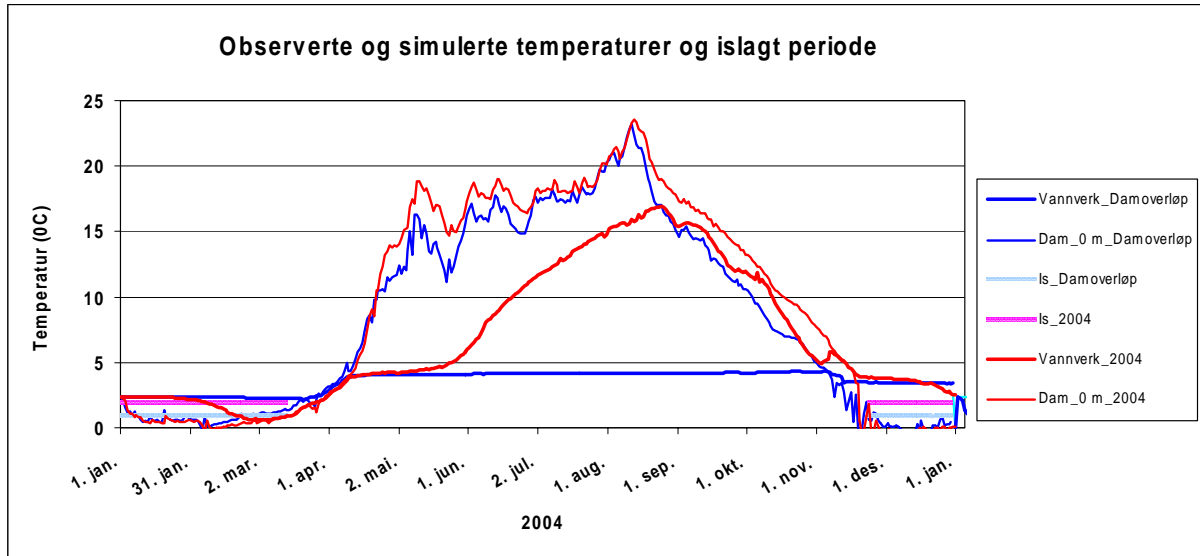
#### **Hvilken effekt ville det hatt om vann fra Småvannselva ble innlagret i overflaten av Aurevann?**

Observasjoner og kalibreringsresultatene viser at vannet fra Småvannselva lagres inn under overflaten i Aurevann. Dette skyldes at det tappes kaldt dypvann fra Byvann, som riktignok varmes opp på veien gjennom Småvann, men fortsatt er betydelig kaldere enn overflatevannet i Aurevann. I det følgende scenariet kan vi tenke oss at det ble tappet overflatevann både fra Byvann og Småvann.

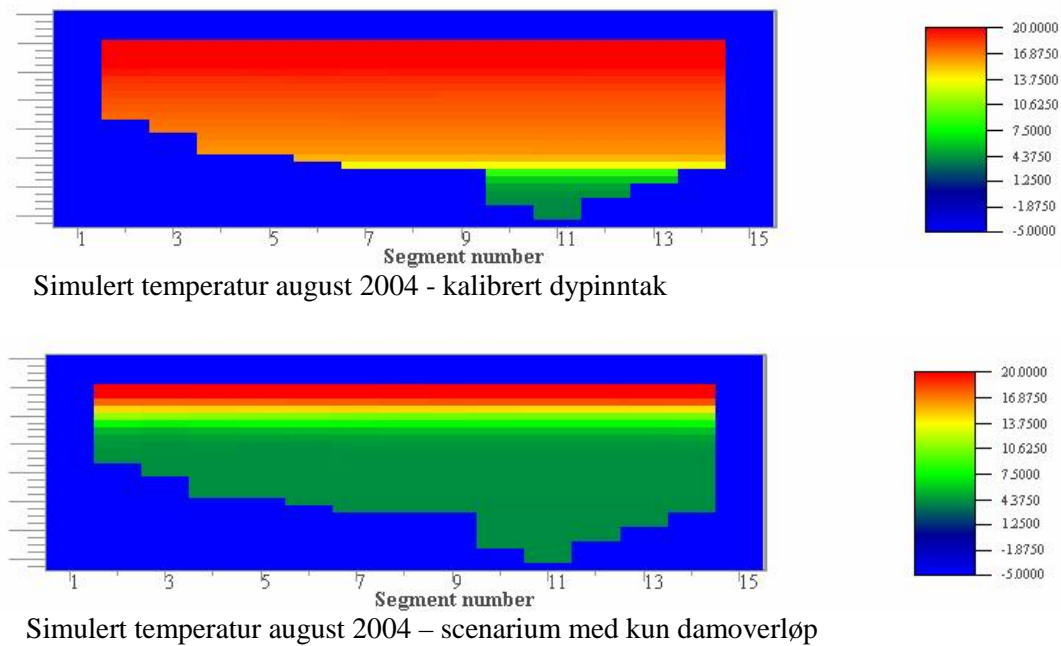
Vanntemperaturen i Småvannselva ble gitt samme verdi som overflatelaget i Aurevann. Ellers var alt likt med kalibrert simulering 2004. Algeinnholdet i overflaten ble betydelig høyere enn kalibrert 2004, dog lavere enn ved kun damoverløp. Konsentrasjonene i vanninntaket kan likevel sies å være omtrent de samme eller eventuelt litt høyere, **Figur 17**.

#### **I hvilken grad påvirker algeinnholdet i Småvannselva råvannet?**

I følge modellen vokser algene kun i de øverste metrene av Aurevann. På dagtid var det fosfor som begrenset veksten der. Dypere enn fem meter dominerte de heterotrofe, dvs. reduserende, prosessene over veksten. Dette på grunn av mangel på lys. Det vil si at algeinnholdet ble redusert gradvis fra produksjonslaget i overflaten ved transport eller sedimentasjon nedover til vanninntaket. Tilsvarende gjaldt for algene som ble tilført via Småvannselva. Størstedelen av sommeren ble dette vannet lagret inn under det øvre vekstlaget i Aurevann, slik at kun de tapsprosessene fikk virke på sin vei mot vanninntaket. Vi tok igjen utgangspunkt i kalibrert simulering 2004. Den eneste forskjellen var at algene ikke fikk anledning til å formere seg i det hele tatt i Aurevann, kun tapsprosessene fikk virke. Det vil si at simulert algeinnhold kun representerte tilførselene fra Småvannselva. I følge simuleringresultatene ble algeinnholdet i råvannet i stor grad påvirket av algeinnholdet i vannet fra Småvannselva, faktisk mer enn fra overflaten, **Figur 18**. Overflatelaget ble i liten grad påvirket av elvetilførselen. Vi skal ikke diskutere forutsetningene og resultatene i detalj av dette hypotetiske scenariet. Scenariet tyder imidlertid på at algeinnholdet i Småvannselva i stor grad påvirker råvannet. Dette gjelder uansett ved dypinnlagring, eller ved overflateinnlagring som i forrige scenarium. Dersom tilførselene fra Småvannselva hele tiden ble tilført overflaten, ville dette ha ført til økt algevekst der, dermed ville den vertikale transporten nedover mot vanninntaket øke. Konsentrasjonene i råvannet ville blitt omtrent det samme som om Småvannselva lagret seg inn på dypt vann.

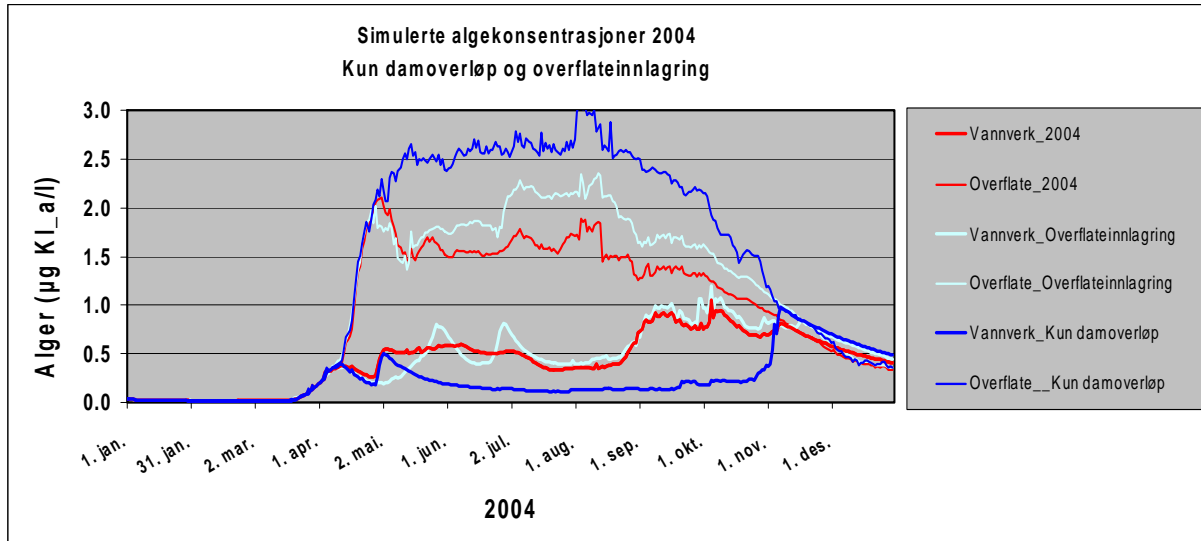


**Figur 15.** En naturlig innsjø ville innebære kaldere bunnvann og uendret islagt periode.

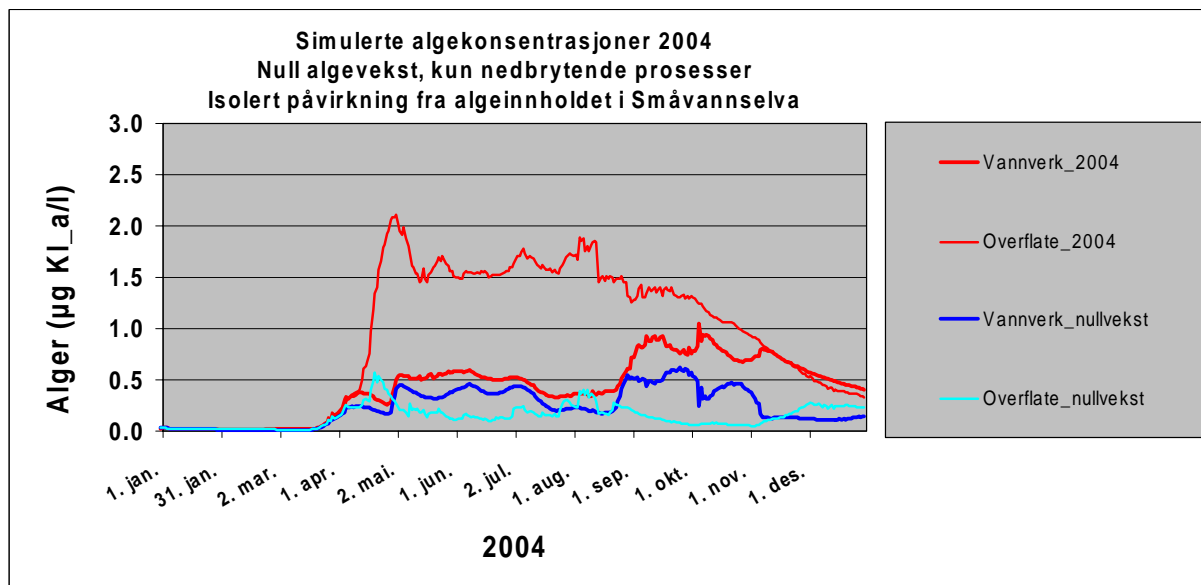


**Figur 16.** Kun damoverløp/naturlig innsjø ville innebære større temperaturgradienter og mer stabile vannmasser.





**Figur 17.** Kun damoverløp/naturlig innsjø ville gitt større algeinnhold i overflaten og lavere i dypvannet. Dersom Småvannselva ble innlagret i overflaten ville algeinnholdet i overflaten økt, mens forholdene i råvannet ville blitt lite endret.



**Figur 18.** Algeinnholdet i Småvannselva påvirker forholdene i råvannet i betydelig grad.

### De høyeste algekonsentrasjonene finnes i overflatelaget. Hvilken effekt vil det ha å tappe dette overflatelaget over dammen?

Vannføringen i Småvannselva ble i modellen økt, i forhold til kalibrert simulering 2004, med henholdsvis 0,5 m<sup>3</sup>/s og 1,0 m<sup>3</sup>/s i perioden juni, juli, august og september. Det ekstra tilløpet rant over dammen. Dette førte til økt algevekst i overflatevannet og nær uendrede verdier i råvannet, **Figur 19**. Største ekstra påslipp, ga størst algeinnhold i overflatelaget. Et damoverløp på 1 m<sup>3</sup>/s i 2,5 døgn tilsvarer et vannvolum lik den øverste meteren i Aurevann. Modellen viste at damoverløpet overveiende trakk vann fra de øverste 3 meterene. Det vil si at dette laget ideelt sett ble skiftet ut i løpet av en uke. Likevel hadde dette ingen reduserende virkning på algeinnholdet. Forholdet skyldtes at algenes produksjon var større enn reduksjonen pga. tappingen. Medvirkende årsak er trolig at ekstra vanntilførsel også førte til ekstra tilførsel av fosfor som var vekstbegrensende.

Vi prøvde deretter å fjerne det algerike overflatelaget kun ved tapping over dammen.

Tilløpsvannføringen i Småvannselva var som i 2004, nær 0,5 m<sup>3</sup>/s, det samme som i vanninntaket, mens damoverløpet var 1 m<sup>3</sup>/s. Dette skjedde i fra midt i juni. Nedtapping med 1,5 m og 6 m skjedde i løpet av henholdsvis 2,5 dager og 10 dager. Ved senkning av vannstanden utgjorde 2/3 damoverløp og resten vanninntaket. Det vil si at henholdsvis 1 m og 4 meter av overflatelaget ble tappet over dammen. Dette førte til høyere algekonsentrasjoner både i overflaten og i vanninntaket, **Figur 20**. Grunnen til høyt algeinnhold nær overflaten var som i forrige scenarium større vekst enn det som ble fjernet ved damoverløp. Trolig har dette også sammenheng med tilgang på fosfor. Dersom overflatelaget forsvinner vil det nye overflatevannet som trenger opp være relativt fosforrikt. Økningen av aøger i vanninntaket var spesielt stor ved den største nedtappingen. Dette har sammenheng med redusert avstand mellom vanninntak og overflate og dermed økt utveksling. Dette virker rimelig sammenliknet med observasjonsverdier 2004. Algeinnholdet var for eksempel langt høyere på 8 m enn på 14 m, **Figur 12**. I følge scenariet bør man for å holde lave algeverdier i vanninntaket, og spesielt i perioder med uønsket algevekst, holde en høy vannstand. Redusert vannstand på over en meter vil trolig føre til et merkbart økt algeinnhold i råvannet.

### Hvordan kan magasinene i Småvann og Byvann utnyttes for å påvirke algeinnholdet i vannverksinntaket?

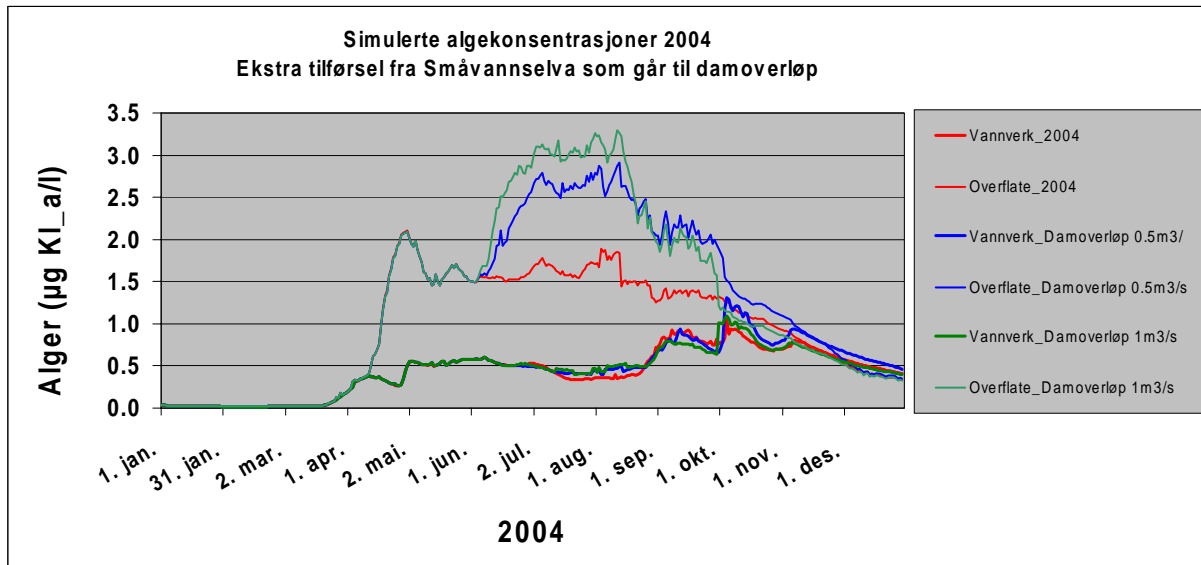
For enkelthetsskyld utførte vi simuleringer for Byvann og Småvann ved å bruke modelloppsettet for Aurevann med enkelte korreksjoner. Byvann har en regulerings høyde på 17 m. Et kontinuerlig vanninntak på 17 m i Byvann ble antatt å være det samme som simulerte verdier for Aurevann i et tenkt vanninntak på 17 m. For Småvann ble vannstanden i tillegg tilpasset magasin volumet, hvilket tilsvarer syv meters nedtapping av Aurevann. Uttaksdybden var på laveste regulerte vannstand, 7 m.

De lave temperaturene i vannet i løpet av sommeren til ut i august fra et dypvannsinntak i Byvann, ble opprettholdt ved transport gjennom Småvann, dersom også Småvann ble tappet fra bunnen, **Figur 21-Figur 24**. Dersom det ble nyttet damoverløp i Småvann ville temperaturen blitt betydelig høyere. Dersom vi benyttet damoverløp i både Byvann og Småvann ville temperaturen steget ytterligere. Observerte temperaturer 2004 i Småvannselva tyder på at simuleringresultatene kan være rimelige, da det ble nyttet damoverløp fra Småvann og til dels dypinntak fra Byvann. Temperaturene endrer seg trolig lite i vannmassene ved transport i Småvannselva mellom Småvann og Aurevann.

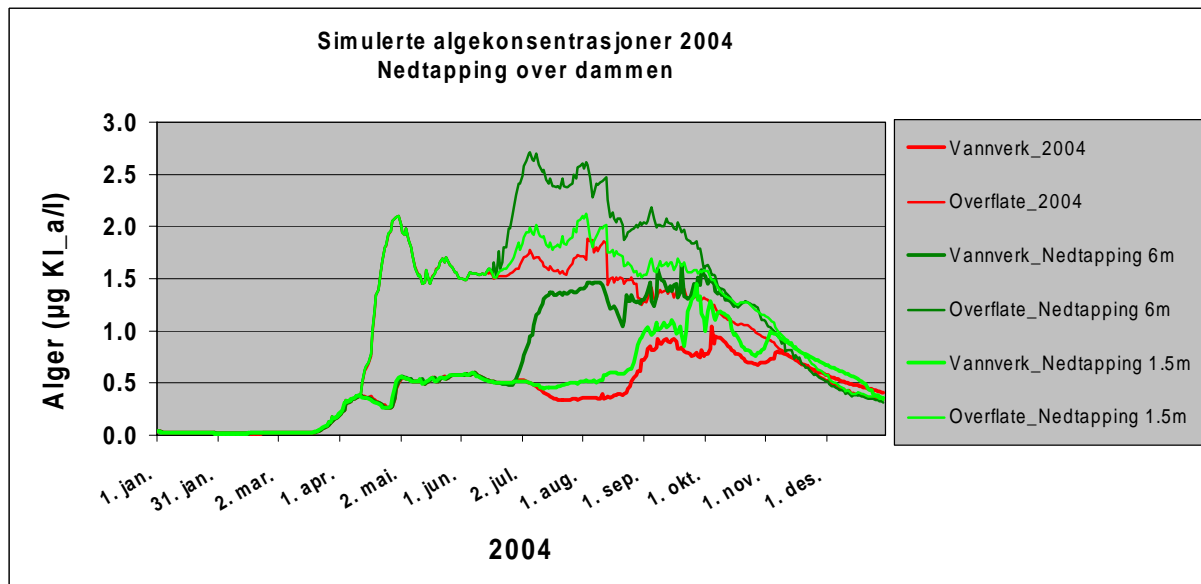
Det antas påslipp av bunnvann fra Byvann (dyp 17 m). Manøvreringen av magasinene har først og fremst betydning for algeinnholdet i perioden mai-september, **Figur 22**. De lave algekonsentrasjonene fra Byvann øker langt mer ved transport gjennom Småvann dersom det nyttes damoverløp enn ved dypvanninntak. Konsentrasjonene i damoverløpet økte ytterligere noe hvis også Byvann ble tappet ved damoverløp. Observerte verdier 2004 i Småvannselva tyder på at simuleringene kan være realistiske.

Algekonsentrasjonene i vannverksinntaket i Aurevann ville hele sommeren blitt lavere ved å nytte dypvanninntak både i Byvann og Småvann, **Figur 23**. Forbedringen ville blitt ytterligere litt større ved

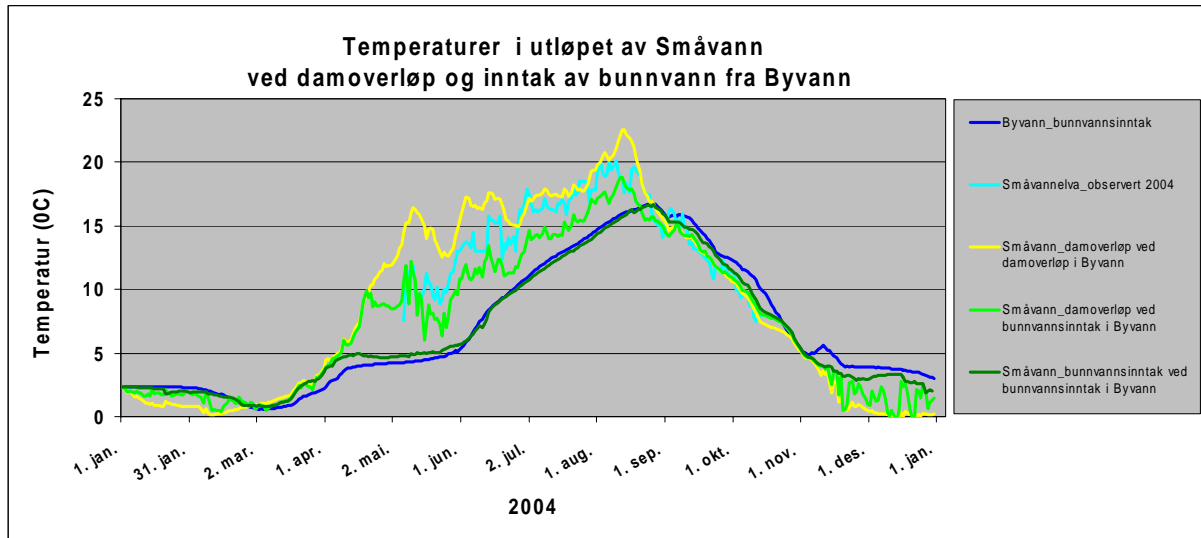
å lede vann fra dypet av Byvann direkte til Aurevann, **Figur 24**. Et slikt scenarium tilsvarer at Småvannmagasinet ikke benyttes.



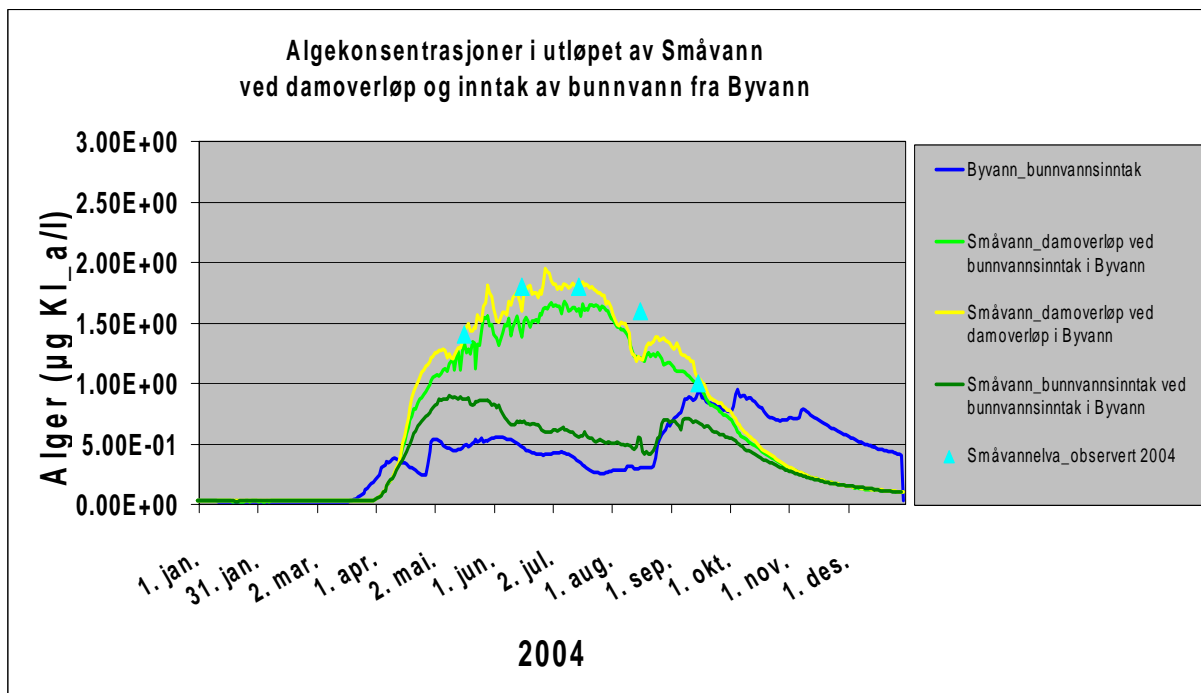
**Figur 19.** Økt vannføring i Småvannselva i overløp over dammen førte til økte algekonentrasjoner i overflaten og ubetydelige forskjeller i råvannet.



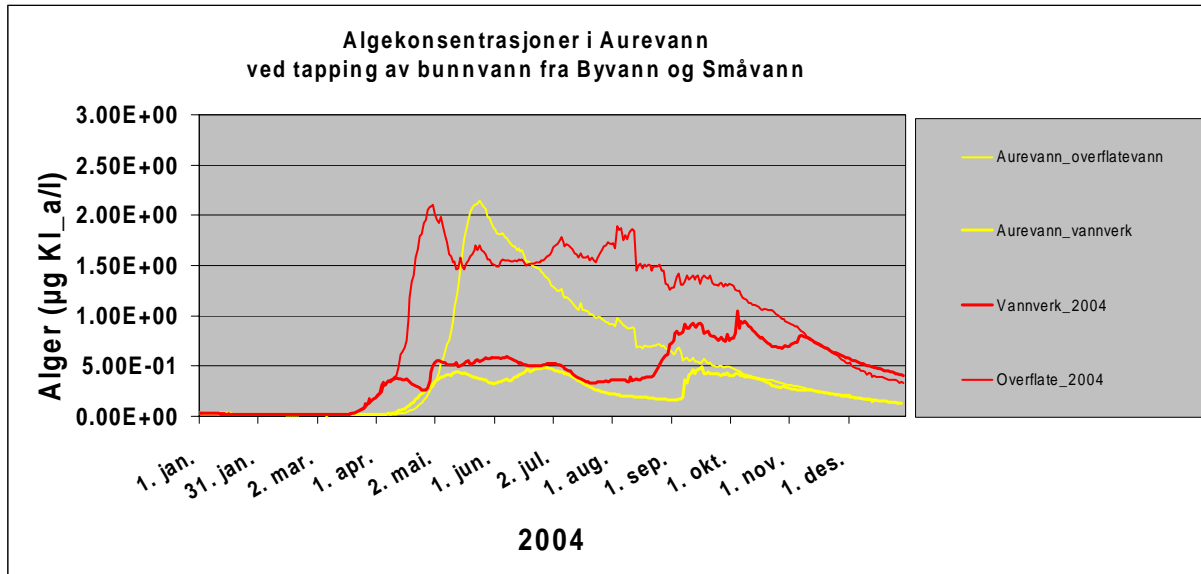
**Figur 20.** Ekstra nedtapping av Aurevann over dammen førte til økte algekonentrasjoner både i overflaten og i råvannet.



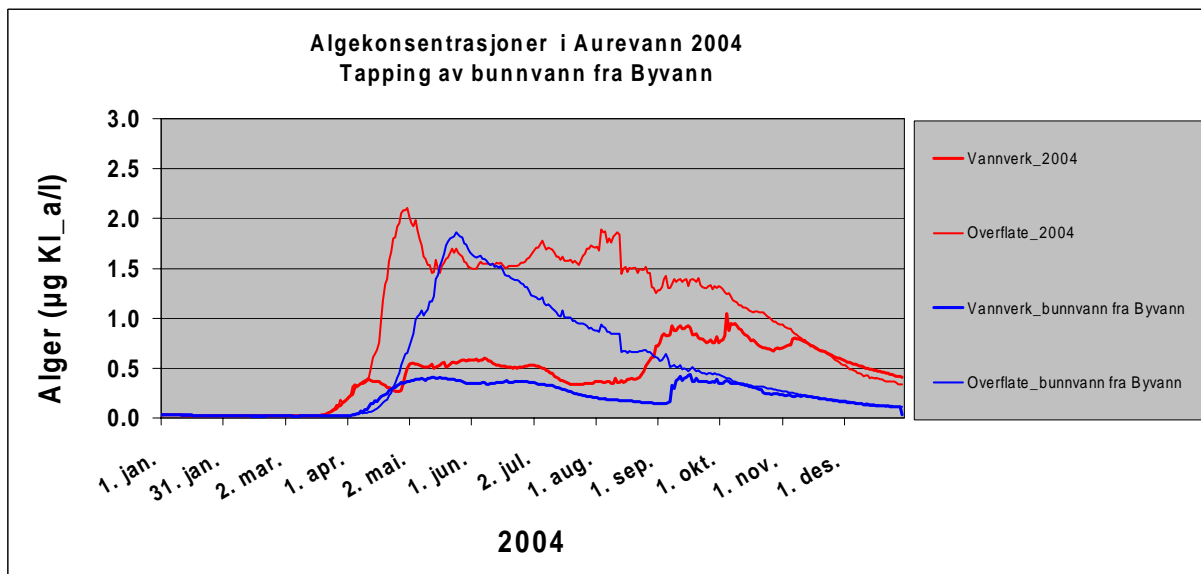
**Figur 21.** De lave temperaturene i bunnvannet fra Byvann ble i størstedelen av sommeren opprettholdt ved vanntransport gjennom Småvann, dersom det også der ble tappet bunnvann.



**Figur 22.** Vi antok påslipp av bunnvann fra Byvann (dyp 17 m). De lave algekonentrasjonene fra Byvann økte langt mer ved vanntransport gjennom Småvann, dersom det ble benyttet damoverløp enn ved dypinntak. Dette gjaldt for størstedelen av sommeren.



**Figur 23.** Vi antok påslipp av bunnvann fra Byvann (dyp 17 m) og Småvann (dyp 7 m). Algekonsentrasjonene i Aurevann ble redusert i forhold til verdier i 2004 i nesten hele året.



**Figur 24.** Dersom påslippet fra Byvann hadde blitt ledet direkte til Aurevann/Småvannselva ville algekonsentrasjonene blitt lavere enn ved vanntransport gjennom Småvann.

## 4. Diskusjon

Algeutviklingen i Aurevannet i 2004 medførte ikke kvalitetsproblemer for vannforsyningen til Bærum kommune. Populasjonen av blågrønnalgen *Anabaena lemmermannii* i de frie vannmassene var på forsommeren dominert av en geosmindannende stamme. Det ble påvist spor av microcystin i materialet av *A. lemmermannii*, men konsentrasjonen av toksinet i vann var på et nivå vesentlig lavere enn hva som har praktisk helsemessig betydning. Det ble ikke rapportert usmak på drikkevannet i den aktuelle perioden.

Vannmassene i Aurevannmagasinet utgjør et naturlig rent avrenningsvann fra nedbørfeltet. Ut fra de kjemiske og biologiske egenskaper som gir vannet den dystrofe ( se avsnitt 2.2.1) karakter, blir det et relativt stort artsutvalg som får utvikling i planktonet. Imidlertid representerer populasjonen gjennomgående en liten biomasse. Det viste seg for eksempel ikke hensiktsmessig å utføre *in situ*-målinger av algekonsentrasjonene ved hjelp av fluorescens-metoden (se avsnitt 2.2.4). I alle fall ikke i den hensikt å kvantifisere de ulike algegruppene.

De biologiske data fra vegetasjonsperioden 2004 ga ikke anledning til å kalibrere vannkvalitetsmodellen (CE-QUAL-W2) på kvantitativ måte. Konsentrasjonene, målt ved fluoroproben, var for små i forhold til usikkerheten. Ved modellberegningene ble det valgt ut en "gjennomsnittsalge", henholdsvis for vårsituasjonen – med god vekst i kaldt vann -, og for sommermånedene – med sine miljøbetingelser for vekst.

I følge modellen vokser algene kun i de ca. fem øverste meterene av Aurevann. På dagtid var det fosfor som begrenset veksten der. Dypere enn fem meter dominerte tapsprosesser over veksten, på grunn av mangel på lys. Det vil si at algeinnholdet gradvis ble redusert fra produksjonslaget i overflaten ved transport eller sedimentasjon nedover til vanninntaket. Tilsvarende gjaldt for algene som ble tilført via Småvannselva. Størstedelen av sommeren ble dette vannet lagret inn under det øvre vekstlaget i Aurevann, slik at kun de tapsprosessene fikk virke på algenes vei mot vanninntaket. Scenariet tyder imidlertid på at algeinnholdet i Småvannselva i stor grad påvirker råvannet, kanskje mer enn produksjonen i overflaten. Dette gjelder uansett ved dypinnlagring, eller ved overflateinnlagring av vann fra Småvannselva. Tilførsler i overflaten av alger og fosfor fra Småvannselva førte ifølge modellen til økt algevekst i overflaten. Dette førte igjen til økt vertikal transport, og et omtrent tilsvarende resultat for algeinnholdet i vanninntaket som ved dypinnlagring.

Det betyr at det er viktig å tilføre algefattig og helst kaldt vann via Småvannselva. Dette oppnås best ved å tappe vann fra laveste regulerte vannstand i Småvann, Byvann og gjerne også fra Trehørningen.

På grunn av stort magasinivolum og stor reguleringshøyde har dypvannet i Byvann rimeligvis lavere algeinnhold enn Aurevann og Småvann. Et bedre alternativ, men mer kostbart ville vært å nytte dette vannet som vannverksinntak i "kritiske" perioder, eller lede det direkte til Småvannselva.

Som en alternativ strategi kunne man normalt nytte damoverløp i alle magasinene. Dette ville føre til høyere overflatekonsentrasjoner i Aurevann og kun noe høyere, men fortsatt akseptable verdier i råvannet. Dette ville gitt spesielt lave algekonsentrasjoner i dypvannet til Byvann og Småvann, som dermed kunne utnyttes i en krisesituasjon. Denne strategien ville vanligvis gitt noe dårligere vannkvalitet både med hensyn til alger og temperatur, men ha en større forbedrende virkning dersom det skulle bli en uheldig oppblomstring av blågrønnalger. Strategien er risikabel, da jevnlig høyere algekonsentrasjoner i overflaten kan legge forholdene bedre til rette for en oppblomstring av blågrønnalger. Vi vil derfor ikke anbefale denne strategien.

De høyeste algekonsentrasjonene finnes i overflatelaget. Simuleringer, hvor det øverste laget ble fjernet ved å tappe ekstra vann over dammen, tydet på at dette ikke hadde noen positiv effekt. Økt påslipp fra Småvann til damoverløp ga høyere algeinnhold i overflaten og nær uforandrede verdier i råvannet. Algene formerte seg raskere enn det som ble fjernet ved damoverløp. Trolig hadde dette sammenheng med at også fosfortilførselene økte. Ved å nytte damoverløp hvor vannet kun ble tatt fra magasinet, dvs. ikke ekstra tilførsler via Småvannselva, førte redusert vannstand til økte algekonsentrasjoner både på overflaten og i vanninntaket. Dette på grunn av kortere vertikal transportavstand fra overflaten til vanninntaket.

Scenariet viser at det er viktig å holde vannstanden nær høyeste regulerte vannstand om sommeren. Dette gjelder også magasinene Småvann og Byvann og eventuelt Trehørningen for å oppnå lave algekonsentrasjoner i tilløpet via Småvannselva.

Blågrønnalgen *A. lemmermannii* har egenskaper som på flere måter er avvikende fra andre planktonalger (Oliver and Ganf 2000). Noen spesialiteter den innehar kan nevnes. Den har utpreget evne til å anrike og lagre fosforforbindelser i cellene. Samtidig er den i stand til å benytte luftnitrogen som nitrogenkilde. Ved hjelp av gassvesikler kan *A. lemmermannii* regulere sin spesifikke vekt. Denne mekanismen utnyttes til å kunne foreta bevegelser opp eller ned i vannsøylen for å oppnå best mulig vekstbetingelser. *A. lemmermannii* kan for eksempel befinne seg nær vannoverflaten hvor det om dagen er gode lysbetingelser. De produserer da organisk stoff som gjør algen tyngre, og den synker til dypere nivåer i innsjøen, der det er tilgang på næringsstoffer. Forholdet innebærer at *A. lemmermannii* vil ha et ulikt utbredelsesmønster i vannmassene i løpet av døgnet. Kjennskapet til hvor de høyeste konsentrasjonen av denne problemalgen befinner seg, kan være viktig kunnskap for å tilpasse operasjonen med tapping av overflatevann som beste mulige effektive virkemiddel for å unngå masseutvikling.

Selv om en fjerning av overflatevannet ved damoverløp ikke synes å ha noen reduserende effekt på modellert algeinnhold, kan dette likevel være et aktuelt tiltak. Vi hadde ikke mulighet for å ta hensyn til *A. lemmermannii* sin spesielle egenskaper til å manøvrere vertikalt i modellen. Særlig på dagtid kan det være langt større konsentrasjoner av *A. lemmermannii* enn "gjennomsnittsalgen" som vi modellerte. Det vil si at det kan være gunstig å la vann gå som damoverløp spesielt på dagtid. Om natten har en slik tapping liten effekt, eller virker sannsynligvis mot sin hensikt.

Et tiltak kan være å slippe på ekstra vann fra Småvann til Småvannselva og/eller redusere vannstanden. Simuleringene viste at vannet fra damoverløpet fortrinnsvis ble hentet fra de øverste 2-3 meterene slik at det er gode muligheter for å fjerne algeansamlinger i overflaten. Praktiske årsaker gjør det lettere å regulere damoverløpet ved manuelle tiltak på dammen i Aurevann enn i Småvann. Man kan øke vannføringen ut av Småvann, dvs. i tillegg til vannverksinntaket, og holde denne vannføringen uforandret. Damoverløpet kan så reguleres ved å demme opp Aurevann om natten og redusere overløpshøyden igjen om dagen. En ekstra tilførsel, dvs. utover vannverksinntaket, på 2,5 m<sup>3</sup>/s i løpet av et døgn tilsvarer et overflatelag på 1 m ved fullt magasin, **Tabell 5**. Dersom vi velger å demme opp gjennom halve døgnet, øker vannstanden med 0,5 m. Velger vi å demme opp i 16 timer og ha åpent damoverløpet i 8 timer, øker vannstanden med 0,7 m. I følge simuleringene bør man være varsom med å senke vannstanden ytterligere, da dette fører til en generell økning av algeinnholdet i råvannet. Det er vanskelig å fastsette en bestemt midlere vannføring som er optimal for formålet. Vi mener at det ikke bør overskride en nedtapping på 1 m. Kanskje kan 0,5 m<sup>3</sup>/s som krever kun 0,2 meters reguleringshøyde gjøre god nytte. De nedoverrettede strømmene som forårsakes av vanninntaket skjer i størst utstrekning nær dammen. Dette passer bra med at overflatevannet i denne delen av Aurevann i størst grad blir fjernet ved damoverløp. Damoverløpets størrelse må i praksis prøves ut i perioder med algeoppblomstring, slik at man ved målinger kan vurdere effekten.

**Tabell 5.** Reguleringshøyde ved ulike ekstra påslipp til i Småvannselva og valgt periode med damoverløp.

Ekstra konstant påslipp av vann til Småvannselva	Mektighet av overflatelag til damoverløp per døgn	Økt vannstand ved magasinering 12 timer damoverløp 12 timer	Økt vannstand ved magasinering 16 timer damoverløp 8 timer
m <sup>3</sup> /s	m	m	m
5	2	1	1,3
2,5	1	0,5	0,7
1,0	0,4	0,2	0,3
0,5	0,2	0,1	0,2

Dersom alt vann over damluken rant ut i løpet av tidsrommet hvor damoverløpsluken var åpen, ville reguleringshøyden være lik den økte vannstanden i magasineringsperioden, **Tabell 5**. Hvor mye av vannet som renner ut er avhengig av åpningen som er tilgjengelig. Vi ønsket følgelig å beregne den reelle reguleringshøyden ved ulike alternative påslipp og overløpsbredde.

Vannføringen,  $Q$  (m<sup>3</sup>/s), som funksjon av overløpets bredde,  $B$  (m), vannhøyde over lukens bunn,  $H$  (m), er gitt ved formelen:

$$Q = 2/3 \cdot K \cdot B \cdot H^{2/3} \cdot \sqrt{2g}$$

$K$  er en koeffisient som gir uttrykk for overløpets utforming,  $K$  er gitt verdien 0,6.  $g$  er tyngdens akselerasjon lik 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Formelen er ikke verifisert for damoverløpet til Aurevann, men bør være tilstrekkelig nøyaktig for formålet. Vi tar utgangspunkt i at damoverløpet består av seks luker hver med bredde på 3 m. Ved en total damoverløpsbredde på 18 m blir vannføringskurven for damoverløpet som vist i

**Figur 25.** Vannføringen er proporsjonal med overløpsbredden, f.eks er vannføringen ved 9 meters overløpsbredde halvdelen av ved 18 m.

Vannbalansen for Aurevann kan beskrives ved likningen:

$$(\text{Vannføring}_{\text{inn}} - \text{Vannføring}_{\text{ut}}) \cdot \text{Tid} = \text{Vannstandsending} \cdot \text{Areal}_{\text{innsjø}}$$

Vi antok at innsjøens areal var 0,22 km<sup>2</sup>, dvs. at beregningene gjelder for vannstander nær høyeste regulerte vannstand.

Ved en numerisk løsning av denne likningen ved ulike alternativer, kom vi fram til de resultatene som er presentert i **Figur 26**. Ved en vannstand på 1 m over damluken vil vannstanden innstille seg nær likevekthøyden i løpet av 8 – 12 timer dersom hele overløpets bredde på 18 meter nyttes. Dersom overløpets bredde var 9 m ville en større del av vannet forblitt i magasinet.

Dersom damoverløpets bredde er 18 m, det ekstra påslippet i Småvannselva er 2,5 m<sup>3</sup>/s og damoverløpets varighet er 8 timer, blir vannstandsendingen 0,7 m, dvs. nær øvre grense for ønskelig vannstandsending. Påslipp med 5 m<sup>3</sup>/s gir tilsvarende vannstandsending ved damoverløp i 12 timer, **Tabell 6**. Dersom overløpets bredde var kun 9 m, vil det være nødvendig med en noe høyere reguleringshøyde, **Tabell 7**.

Det er trolig gunstig å tappe magasinet på kortere tid for å få transportert ut algeansamlinger. Beregningsoverslaget viser at et damoverløp på 18 m er tilstrekkelig for å ta unna opp til ca. 2,5 m<sup>3</sup>/s



på 8 timer. Selv om en bredde på 9 m vil gjøre god nytte, er det gunstig å nytte full bredde på overløpet.

I praksis må det tas hensyn til hvor stor vannføring, og hvor raske endringer som det er hensiktsmessig å slippe over dammen av hensyn til elva nedenfor dammen. Dette angår elveløpets kapasitet, biologisk miljø m.m. Arealet under kurven, som viser vannføring som funksjon av tid på **Figur 26**, representerer vannvolumet som til en hver tid har rent over dammen. Ser vi på kurven uten ekstra vannføring i Småvannselva, dvs. ren tapping av magasinet, så renner ca. halvdel av vannet ut i løpet av et par timer, og kun en mindre del fra seks timer og utover. Dersom det er ekstra påslipp til Småvannselva, vil vannstanden etter hvert innstille seg på et høyere nivå, jmf. vannføringskurven. Det betyr at vi ikke trenger å slippe på uønsket store vannføringer i starten. Vi kan holde igjen de første timene og fordele dette utover uten at totale vannvolumet som fjernes blir særlig endret. For eksempel vil en ekstra konstant vannføring på 1 m<sup>3</sup>/s medføre et damoverløp i 8 timer på 3 m<sup>3</sup>/s gjennomsnitt. Ved maskinell fjernstyring kunne man kontinuerlig senke damlukene slik at dette ble oppfylt. Ved manuell åpning av lukene må dette utføres i passende intervaller slik at vannføringen tilfredstiller miljøkravene i vassdraget nedstrøms.

Da algekonsentrasjonene generelt sannsynligvis vil øke i overflatelaget ved ekstra vanntilførsel, kan det være risikabelt med en såpass høy ekstra vannføring i Småvannselva som 5 m<sup>3</sup>/s.

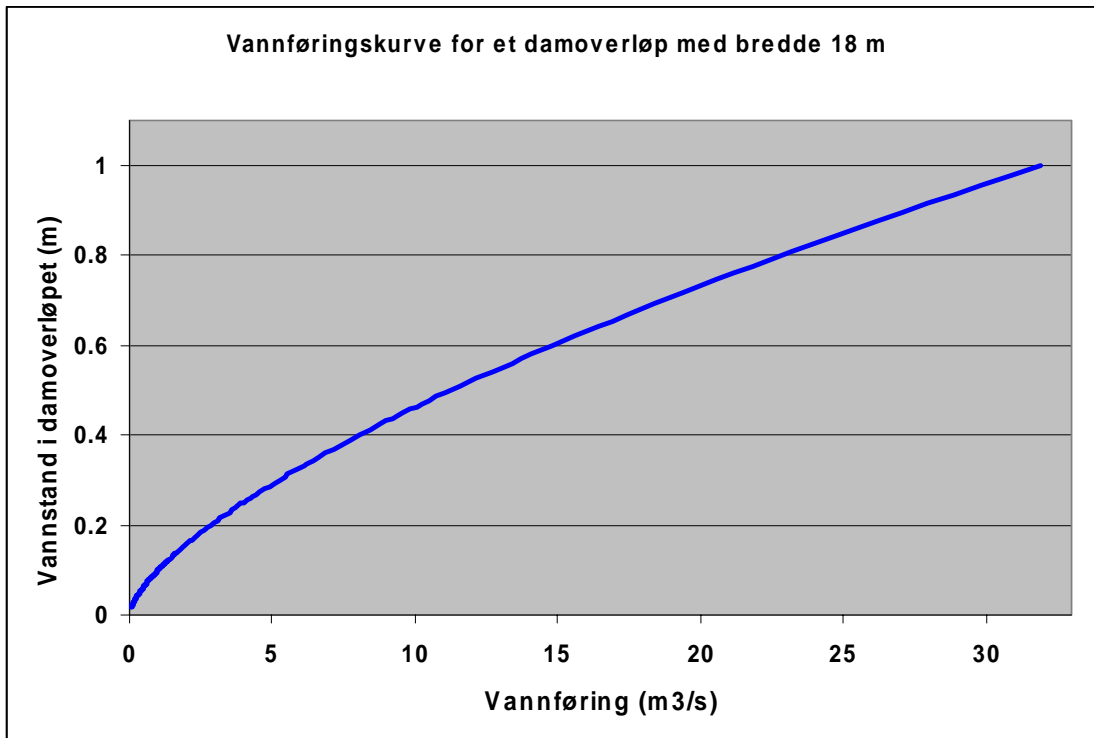
Den vannføringskurven som er benyttet samt vannstandssenkning som funksjon av tiden, anses som tilstrekkelig nøyaktige for de vurderingene vi har gjort her. Resultatene vil være et godt utgangspunkt for å manøvrere lukene for å oppnå en ønsket utskiftning av overflatelaget. Ved praktisk bruk kan man justere denne tappe- fyllingsprosedyren. Dersom man senker damlukene med en gitt høyde i løpet av 8 timer og ikke fyller dette opp igjen innen neste tapping dager etter, kan man prøve en litt mindre senkning neste gang. Eller motsatt, dersom det inntreffer damoverløp innen fyllingsperioden, kan man senke lukene litt ekstra neste gang.

**Tabell 6.** Reguleringshøyde dersom bredden på damoverløpet er 18 m.

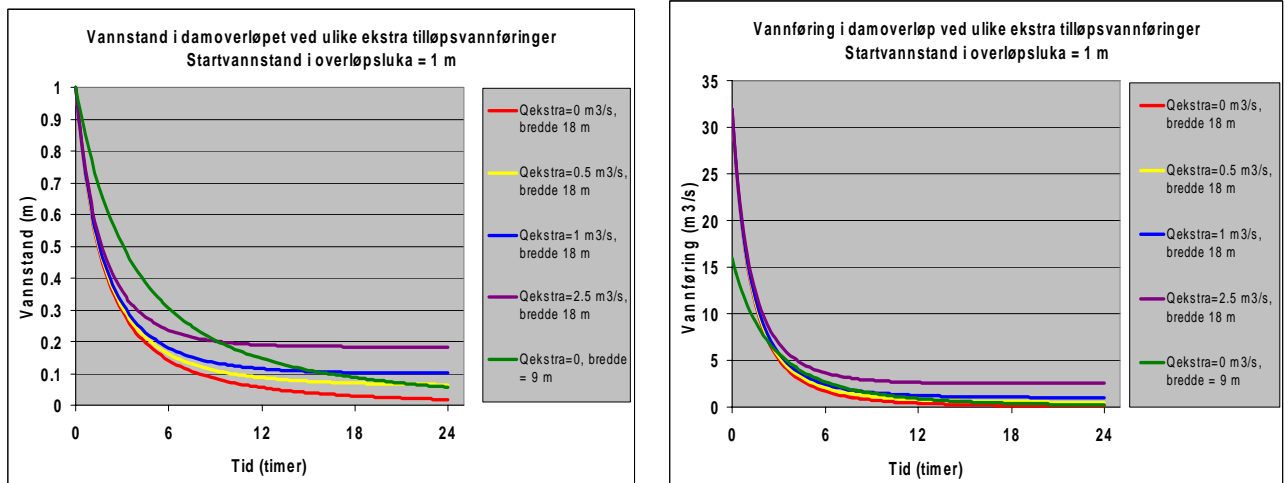
Ekstra konstant påslipp av vann til Småvannselva	Vannstand i overløpet ved stasjonære forhold Jmfr vannf.kurven	Magasinerings 12 timer Damoverløp 12 timer Hmin - Hmaks	Magasinerings 16 timer Damoverløp 8 timer Hmin - Hmax
m <sup>3</sup> /s	m	m	m
5	0,29	0,3 – 1,0	0,3 – 1,6
2,5	0,16	0,2 – 0,7	0,2 – 0,9
1,0	0,10	0,1 – 0,3	0,1 – 0,4
0,5	0,06	0,1 – 0,2	0,1 – 0,3

**Tabell 7.** Reguleringshøyde dersom bredden på damoverløpet er 9 m.

Ekstra konstant påslipp av vann til Småvannselva	Minste vannstand ved stasjonært damoverløp Jmfr. vannf.kurven	Magasinerings 12 timer Damoverløp 12 timer Reguleringshøyde	Magasinerings 16 timer Damoverløp 8 timer Reguleringshøyde
m <sup>3</sup> /s	m	m	m
5	0,46	0,5 – 1,5	0,6 – 1,9
2,5	0,29	0,3 – 0,8	0,4 – 1,1
1,0	0,16	0,2 – 0,4	0,2 – 0,6
0,5	0,10	0,1 – 0,2	0,1 – 0,3



**Figur 25.** Teoretisk beregnet vannføringskurve for et damoverløp på 18 m. Vannføringen er proporsjonal med overløpsbredden, f.eks vannføring ved en bredde på 9 m er halvdelen av ved 18 m.



**Figur 26.** Fall i vannstand og vannføring ved åpning av damlukene med en vannstand på 1 m ved ulike ekstra vannføring i Småvannselva, dvs. tillegg til vannverksinntaket.

## 5. Konklusjoner

- Vegetasjonsperioden 2004 var preget av moderat utvikling av planktonalger i Aurevannet. En tidlig oppvarming av vannmassene etter vårfullsirkulasjonen preget fremveksten av mikroalger. Populasjonen av blågrønnalgen *Anabaena lemmermannii* kulminerte i mengdemessig forekomst i begynnelsen av juli. 210 kolonier per liter ble registrert ved inntaksområdet for råvann 5. juli (til sammenlikning kan nevnes at konsentrasjonen av *A lemmermannii* under masseutviklingen i juli 2002 var 71 000 kolonier per liter).
- Det ble i 2004 ikke rapportert problemer knyttet til mikroalger i Aurevannmagasinet for drikkevannforsyningen til Bærum kommune. Imidlertid var *Anabaena lemmermannii* produsent av lukt- og smakstoffet geosmin med markert påvirkning av råvannet. Usmak på drikkevann ble ikke registrert, og forholdet anskueliggjør at renseanlegget/reseprosessen mestret situasjonen i den aktuelle perioden.
- Materiale av populasjonen med *A. lemmermannii* ble funnet å inneholde microcystin. Konsentrasjon av toksinet i vann var i et nivå vesentlig lavere enn hva som har praktisk helsemessig betydning.
- Ved å holde algeinnholdet i Aurevannet kontinuerlig lavt, vil dette sannsynlig også redusere muligheten for uheldig oppblomstring av problemalgen *A. lemmermannii*. De utførte modellberegninger med CE-QUAL-W2 viser at formålstjenlig råvannskvalitet i betydelig grad er avhengig av vannkvaliteten i magasinene oppstrøms i Trehørningsvassdraget. Spesielt er forholdene i Småvann og Byvann viktige.
- I mikroalgernes vekstsesong om sommeren, hvor juli, august og september er særlig viktige, kan følgende tiltak være formålstjenlige for å redusere algeutviklingen, og dermed holde algekonsentrasjonen i råvannet så lav som mulig:
  - Tappe dypvann fra Småvann og Byvann, helst også fra Trehørningen
  - Holde høyeste regulerte vannstand i alle magasinene. Spesielt fra Aurevann gjelder det å unngå å senke vann-nivået lavere enn 1 meter under høyeste regulerte vannstand.
- Hr det oppstår situasjoner med mulighet for masseutvikling av *A. lemmermannii* er noen forholdsregler viktige:
  - Det er spesielt nødvendig å praktisere tiltakene nevnt ovenfor nøye.
  - Basert på kjennskapet til de spesielle egenskapene til *A. lemmermannii* kan noen akutte tiltak bli foretatt. Det dreier seg om å utnytte at denne arten under visse miljøforhold konsentrerer seg i overflatevannlaget på dagtid. I slike perioder bør dette vannlaget bli forsøkt ført ut av magasinet gjennom en overløpsordning på dammen. Den praktiske gjennomføringen kan være:  
Øk vannføringen i Småvannselva med inntil 2,5 m<sup>3</sup>/s. La dette gå i damoverløp i 8 timer på dagtid, hvilket resulterer i at damnivået senkes 0,7 m ved at damlukene senkes 0,9 m i en bredde på 18 m. Maksimum ekstra vanntilførsel bør neppe overstige 2,5 m<sup>3</sup>/s. Minimum ekstra vanntilførsel bør trolig være minst 1 m<sup>3</sup>/s, hvilket resulterer i en vannstandsengkning på 0,3 m ved en senkning av damlukene på 0,4 m. Senkningen av damlukene må eventuelt gjøres etappevis for å unngå uheldig høye vannføringer og raske vannføringsendringer i elveløpet nedenfor dammen.
- De hydrologiske tiltakene som er omtalt bør drøftes videre. Når det er gjort et valg om realisering, bør det gjøres forsøk hvor det med observasjoner blir dokumentert hva som er effekten av tiltakene. Erfaringene som høstes gir da et grunnlag for optimalisering av tiltakene med tanke på en langsiktig operering av vannsystemet til varig beste for vannforsyningen.

## 6. Referanser

- Chorus, J. and Bartram, J. (eds.) 1999. Toxic cyanobacteria in water. World Health Organization. E. & FN Spon, London. 416 pp.
- Cole, T. M. Wells and S. A. 2002. CE-QUAL-W2 A two dimensional, Lateral Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.1. User manual. U.S. Army Corps of Engineers, Wasington, DC. (<http://www.ce.pdx.edu/w2>).
- Jüttner, F. 1987. Volatile organic substances. In: The Cyanobacteria, eds. P.Fay & C. Van Balen, p. 453-469. Elsevier, Amsterdam.
- Oliver, R. L. and Ganf, G. G. 2000. Freshwater Blooms. In: The Ecology of Cyanobacteria. Their Diversity in Time and Space, eds. B.A. Whitton & M. Potts, p. 149-194. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Skulberg, O. M. 1978. Sestonobservasjoner ved vassdragsundersøkelser. Fauna 31. p. 48-54.
- Skulberg, O. M. 2004. Aurevatnsystemet: Sensorisk vannkvalitet og blågrønnalger. Hydrobiologiske undersøkelser 2001-2003. Rapport LNR 4774-2004, 24s. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Skulberg, O. M. 2004. Hydrobiologiske forhold. Aurevatnet – forsommeren 2004. Notat 16. juli 2004. O-23036. 2s, Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Wetzel, R. G. 1983. Limnology. W.B. Saunders Company, Philadelphia. 743 pp.

## Vedlegg A. Råvann

### Analyseresultater fra internt overvåkingsprogram 2004.

Analyseresultater Råvann		Middelverdi ± std.avvik	Variasjonsbredde
N=105	pH	6,48 ± 0,12	6,00 – 6,86
N=104	Turbiditet	0,36 ± 0,06 FNU	0,22 – 0,51
N=112	Fargetall	47 ± 3 mgPt/L	37 – 53
N=81	Koli.bakt.	9 ± 26 mpn	0 – >200
N=81	<i>E.Coli</i>	6 ± 21 mpn	0 – 165

### RÅVANN 2004

Dato	KB, Colilert MPN/100ml	E.coli Colilert MPN/100ml	Intestinale enterokokker /100ml NS 4793	Clostridium. perfingens /1000ml NMKL 95	Kimtall 22°C, 3d /ml NS 6222	Temp. målt internt	Lukt se merknad
26.01.2004	1	0	0	0	61	2,0	ok
23.02.2004	0	0	0	1	38	1,7	ok
22.03.2004	3	3	0	0	3	1,6	ok
19.04.2004	3	0	0	2	200	2,1	ok
18.05.2004	0	0	0	0	55	5,5	ok
14.06.2004	0	0	0	2	19	10,4	ok
19.07.2004	1	0	0	0	23	13,6	ok
09.08.2004	0	0	0	0	50	15,1	ok
06.09.2004	31	11	11	0	220	15,4	ok
04.10.2004	12	8	0	0	290	11,4	ok
01.11.2004	5	4	0	0	81	6,7	ok
29.11.2004	2	0	0	0	36	3,7	ok
<b>Antall</b>	12	12	12	12	12	12	
<b>Største</b>	31	11	11	2	290	15,4	
<b>Minste</b>	0	0	0	0	3	1,6	
<b>Middel</b>	4,8	2,2	0,9	0,4	89,7	7,4	
<b>Std.avvik</b>	9	4	3	0,8	93	5	

#### Merknad:

Lukt: Vannflasken varmes opp til ca. 35 °C, rystes godt og det luktes direkte ned i flasken i det korken skrues av. Ok betyr ubetydelig eller svak lukt av myr.

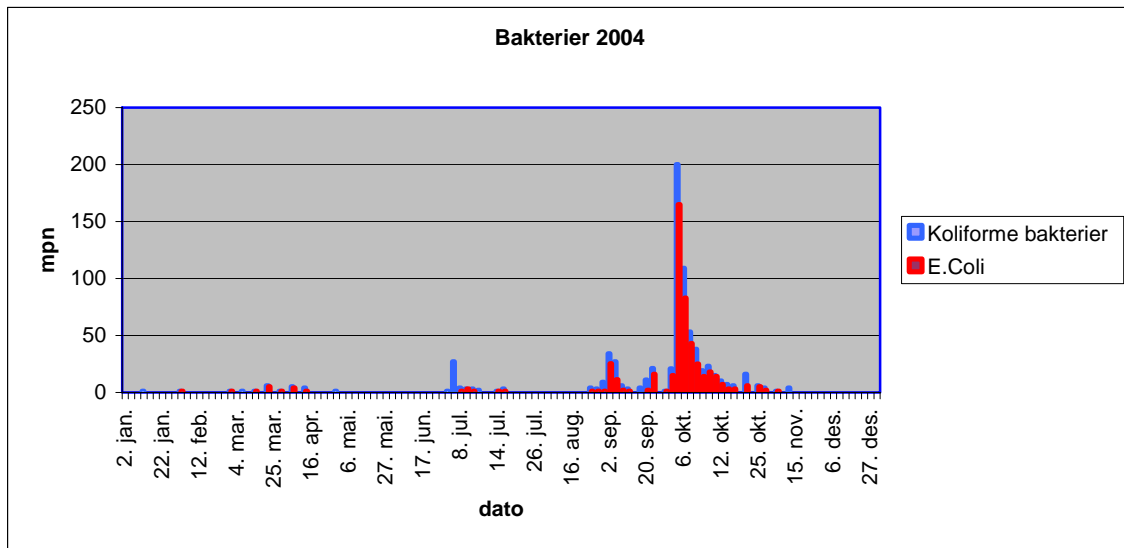
**Aurevann råvannstunnel 2004**

Dato	PH	TURB. FTU	KOND mS/m	FARG-U mg Pt/l	FARG. mg Pt/l	ALK-4 mmol/l	Klorid mg Cl/l	TOC mgC/l	Orto-P µg/L	TP,lav µgP/l
26.01.2004	6,60	0,3	2,3	49	44	0,08	1,1	6,50	1,0	3,4
23.02.2004	6,60	0,25	2,4	50	46	0,09	1,1	6,40	1,0	3,2
22.03.2004	6,70	0,25	2,5	49	45	0,10	0,91	6,50	<1,0	3,5
19.04.2004	6,55	0,30	2,2	55	50	0,08	0,95	7,20	1,0	3,7
18.05.2004	6,45	0,35	2,1	55	50	0,07	0,91	6,30	<1,0	3,3
14.06.2004	6,55	0,30	2,1	48	43	0,08	0,87	6,00	1,0	2,9
19.07.2004	6,65	0,45	2,2	51	44	0,09	0,90	5,90	1,0	3,9
09.08.2004	6,55	0,55	2,3	51	43	0,09	0,75	6,30	1,6	4,2
06.09.2004	6,60	0,50	2,3	51	45	0,09	0,82	6,40	1,4	4,3
04.10.2004	6,70	0,45	2,2	56	48	0,09	0,95	6,70	1,2	4,0
01.11.2004	6,60	0,40	2,1	55	49	0,08	1,06	7,40	<1,0	3,9
29.11.2004	6,55	0,30	2,1	50	43	0,09	0,97	6,80	1,4	3,5
<b>Antall</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
<b>Middel</b>	<b>6,59</b>	<b>0,37</b>	<b>2,2</b>	<b>52</b>	<b>46</b>	<b>0,09</b>	<b>0,9</b>	<b>6,53</b>	<b>1,0</b>	<b>3,9</b>
<b>Std.avvik</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>	<b>0,1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0,01</b>	<b>0,1</b>	<b>0,44</b>	<b>0,4</b>	<b>1,2</b>
<b>Minste</b>	<b>6,45</b>	<b>0,25</b>	<b>2,1</b>	<b>48</b>	<b>43</b>	<b>0,07</b>	<b>0,8</b>	<b>5,90</b>	<b>&lt;1,0</b>	<b>&lt;1,0</b>
<b>Største</b>	<b>6,70</b>	<b>0,55</b>	<b>2,5</b>	<b>56</b>	<b>50</b>	<b>0,10</b>	<b>1,1</b>	<b>7,40</b>	<b>1,6</b>	<b>5,3</b>

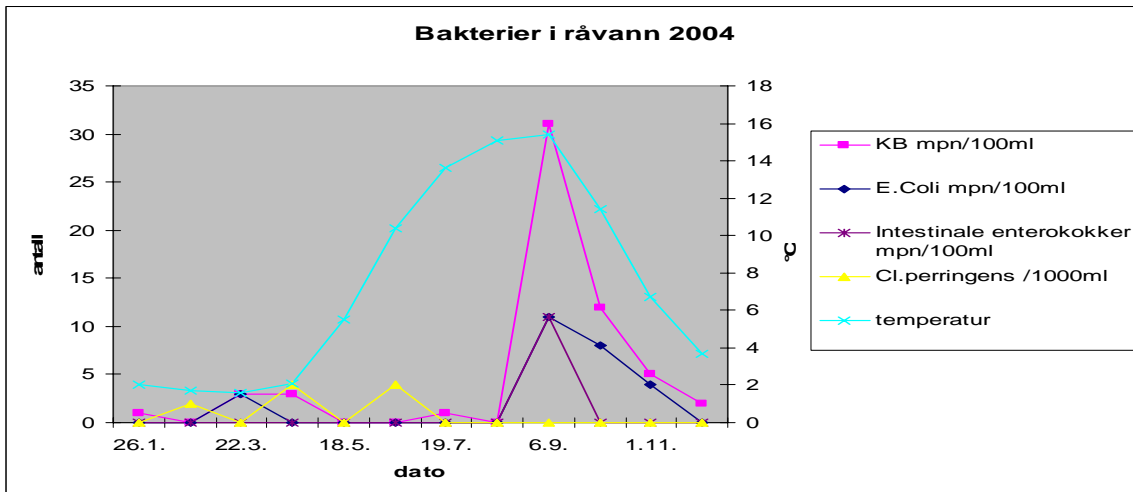
**OBS!!** For resultater mindre enn deteksjonsgrensen er resultatet satt inn som halve deteksjonsgrensen ved beregningen av middelverdi og standard avvik

**Aurevann råvannstunnel 2004**

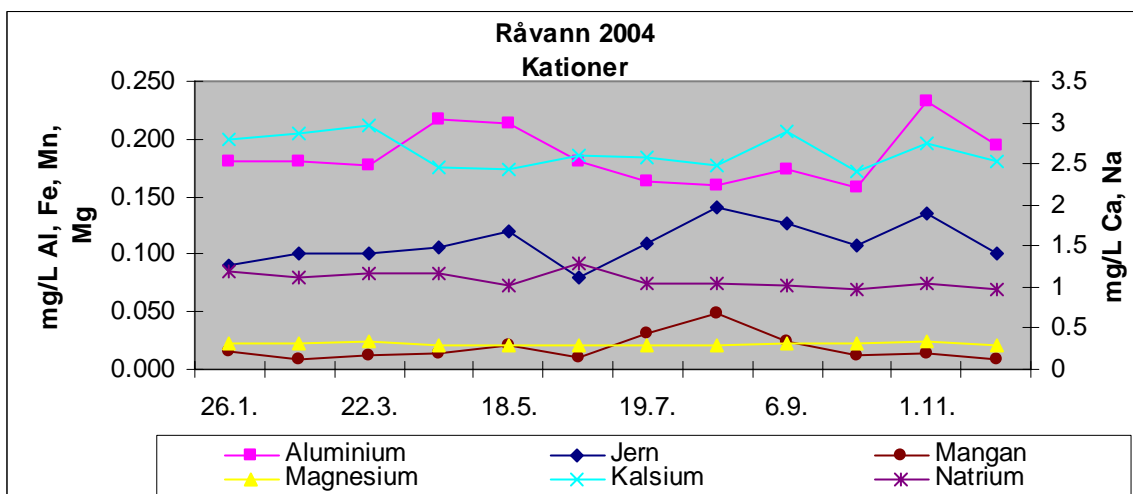
Dato	NO3+NO2 mg N/l	NH4-N mg N/l	Al,AAS µg Al/l	Sulfat mg SO4/l	TN mg N/l	Fe mg Fe/l	Mn mg Mn/l	Ca mg Ca/l	Mg mg Mg/l	Na mgNa/L
26.01.2004	0,094	0,016	180	1,6	0,320	0,090	0,016	2,8	0,313	1,18
23.02.2004	<b>0,830</b>	0,014	180	1,9	<b>1,000</b>	0,100	0,009	2,87	0,316	1,12
22.03.2004	<b>0,596</b>	0,017	177	2,26	<b>0,650</b>	0,100	0,012	2,96	0,33	1,16
19.04.2004	0,105	0,023	217	2,2	0,337	0,106	0,014	2,45	0,29	1,16
18.05.2004	0,530	0,020	213	2,09	0,720	0,119	0,021	2,43	0,290	1,02
14.06.2004	0,120	0,015	181	2,08	0,274	0,080	0,011	2,59	0,297	1,30
19.07.2004	0,119	0,024	164	2,09	0,304	0,110	0,031	2,57	0,290	1,05
09.08.2004	0,055	0,026	159	1,98	0,261	0,140	0,048	2,49	0,293	1,04
06.09.2004	0,051	0,023	174	1,85	0,259	0,126	0,024	2,89	0,320	1,01
04.10.2004	0,059	0,019	158	2,02	0,296	0,107	0,013	2,40	0,31	0,97
01.11.2004	0,065	0,017	232	1,94	0,401	0,135	0,014	2,74	0,33	1,04
29.11.2004	0,071	0,021	195	1,93	0,275	0,101	0,008	2,53	0,3	0,98
<b>Antall</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
<b>Middel</b>	<b>0,225</b>	<b>0,020</b>	<b>186</b>	<b>2,00</b>	<b>0,42</b>	<b>0,11</b>	<b>0,018</b>	<b>2,64</b>	<b>0,307</b>	<b>1,086</b>
<b>Std.avvik</b>	<b>0,267</b>	<b>0,004</b>	<b>24</b>	<b>0,17</b>	<b>0,24</b>	<b>0,02</b>	<b>0,011</b>	<b>0,20</b>	<b>0,015</b>	<b>0,099</b>
<b>Minste</b>	<b>0,051</b>	<b>0,014</b>	<b>158</b>	<b>1,60</b>	<b>0,26</b>	<b>0,08</b>	<b>0,008</b>	<b>2,40</b>	<b>0,290</b>	<b>0,970</b>
<b>Største</b>	<b>0,830</b>	<b>0,026</b>	<b>232</b>	<b>2,26</b>	<b>1,00</b>	<b>0,14</b>	<b>0,048</b>	<b>2,96</b>	<b>0,330</b>	<b>1,300</b>



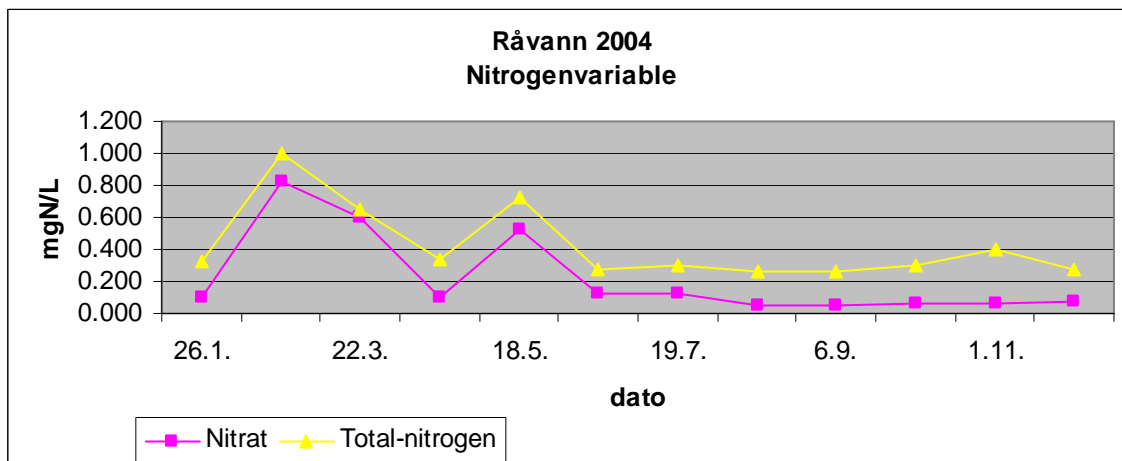
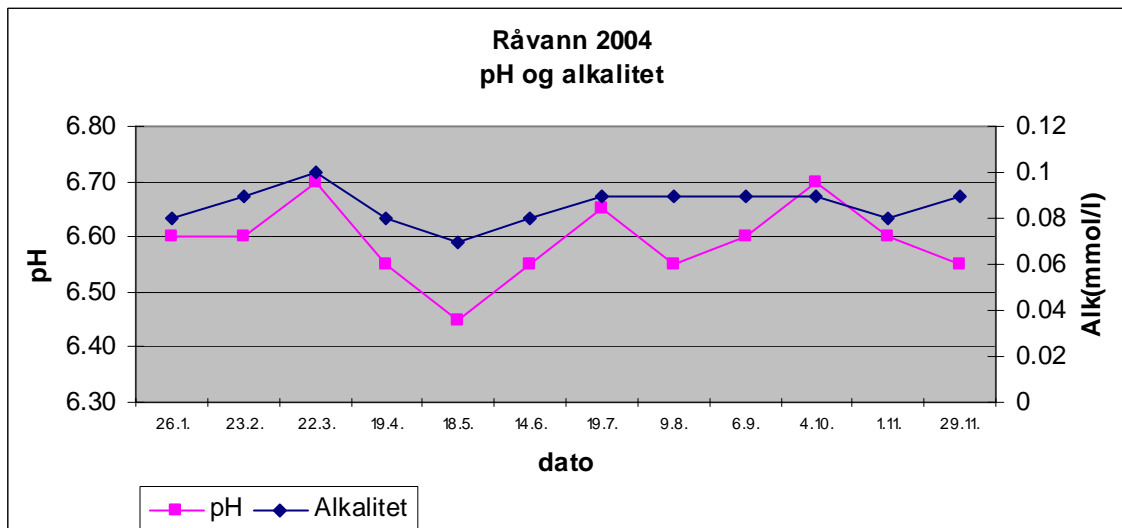
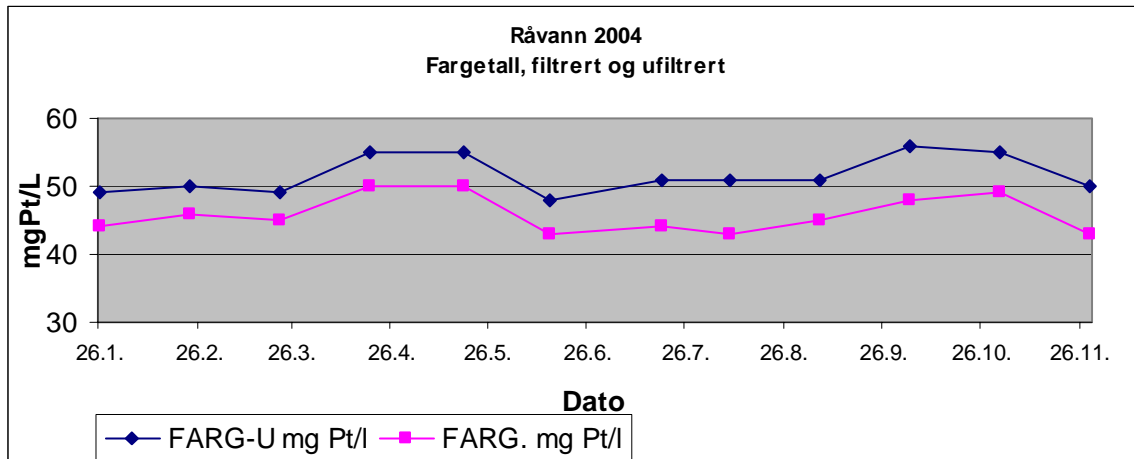
Bakterieinnholdet i råvannet var høyt i nedbørrike perioder om høsten ellers lavt.



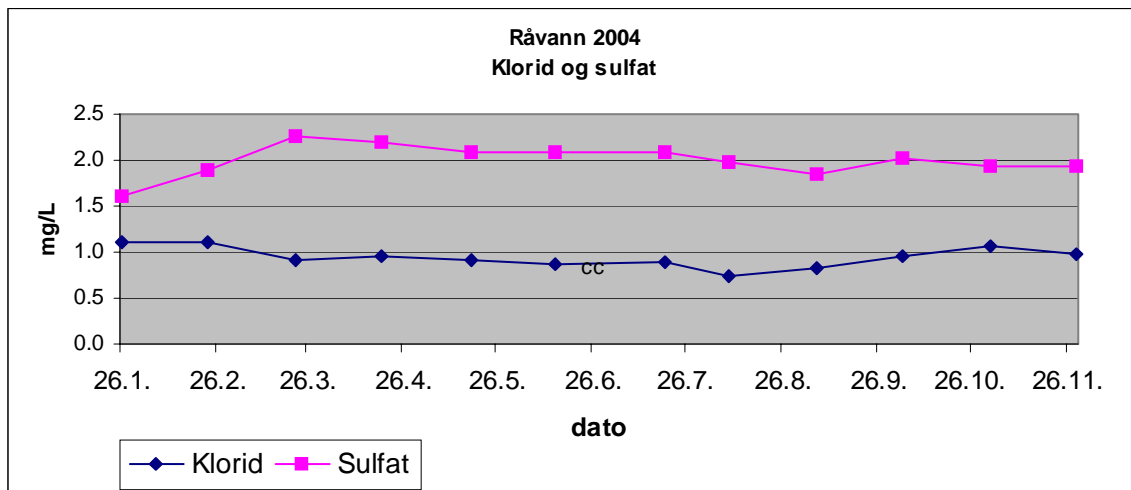
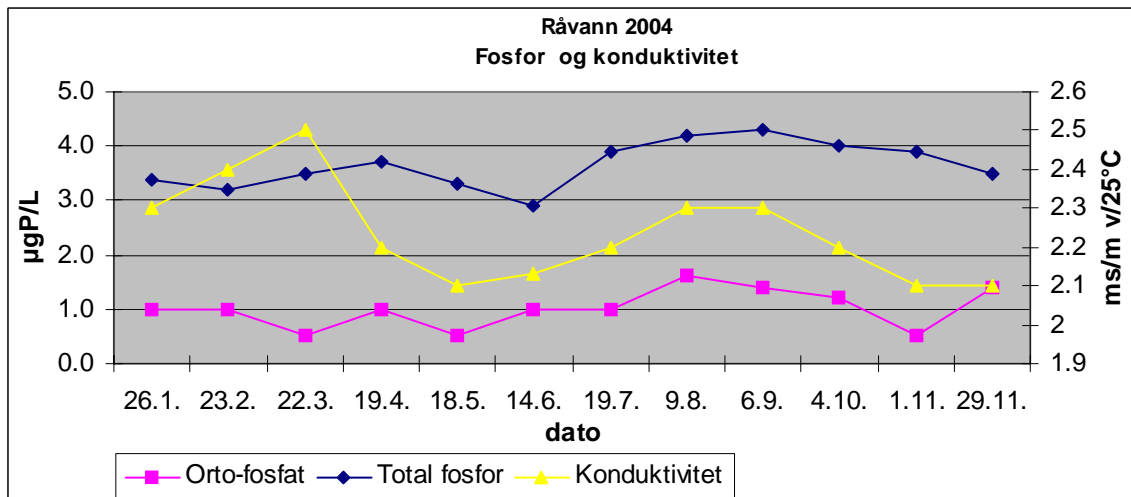
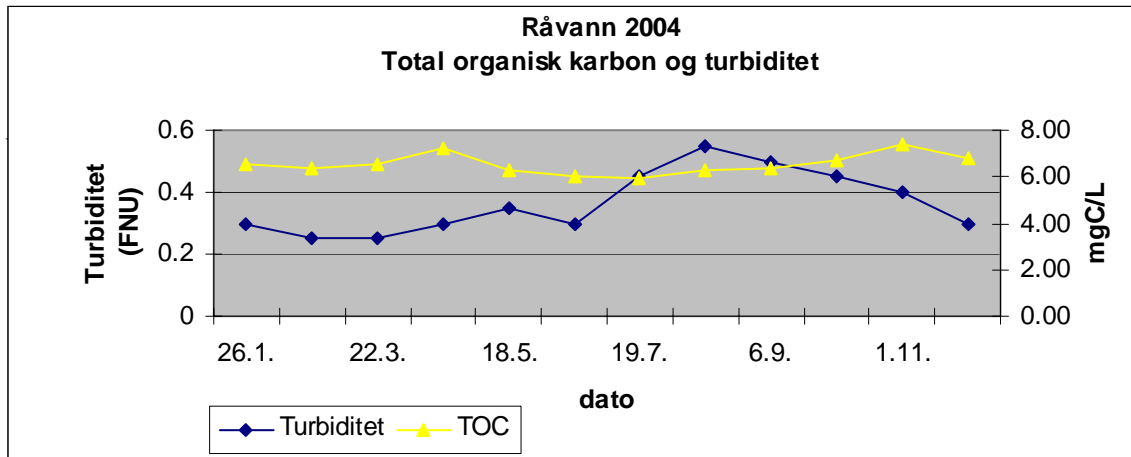
Bakterier i råvannet 2004



Kationer







## Vedlegg B. Fluoroprobe observasjoner

Fluoroprobe-dataene gjelder for et dybdeprofil ved vanninntaket.

Registreringene som ble gjort omfatter temperatur, humusstoffer (yellow substances), total klorofyll, grønnalger, blågrønnalger og gullalger (her feilaktig betegnet som diatomer).

