



O-93231

Tretjønn i Kristiansand

Vurdering av restaureringstiltak
mot eutrofiering

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-93231	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
2970	

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 69, Korsvoll	Televeien 1	Rute 866	Thornøhlensgt 55	Søndre Tollbugate 3
0808 Oslo 8	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5008 Bergen	9000 Tromsø
Telefon (47) 22 18 51 00	Telefon (47) 37 04 30 33	Telefon (47) 62 57 64 00	Telefon (47) 55 32 56 40	Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 22 18 52 00	Telefax (47) 37 04 45 13	Telefax (47) 62 57 66 53	Telefax (47) 55 32 88 33	Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel: Tretjønn i Kristiansand - Vurdering av restaureringstiltak mot eutrofiering.	Dato:	Trykket:
	15.11.93	NIVA 1993
Forfatter(e): Øyvind Kaste Bjørn Faafeng	Faggruppe:	Geografisk område:
	Eutrofi ferskvann	Vest-Agder
	Antall sider:	Opplag:
	27	50

Oppdragsgiver: Kristiansand kommune	Oppdragsg. ref.:
--	------------------

Ekstrakt:

Tretjønn har høye konsentrasjoner av alger, som i sommerhalvåret fører til misfarget vann og dårlig siktedyp. Eutrofieringen av Tretjønn skyldes tidligere kloakkpåvirkning, redusert vanngjennomstrømning og intern gjødsling fra sedimentene. Kristiansand kommune har foreslått å fjerne deler av sedimentene i tjønna for å bedre vannkvaliteten. NIVA advarer mot denne metoden da den har en rekke usikkerhetsfaktorer knyttet til praktisk gjennomføring, avlastningseffekt og miljøulemper for nedenforliggende vannforekomster. NIVA har i stedet foreslått en alternativ tiltakspakke som er rettet mot å unngå intern gjødsling fra sedimentet. Tiltakspakken går ut på å øke vanntilførselen, luften i bunnvannet og lede bunnvannet til innsjøens utløp. Den alternative tiltakspakken vil være relativt enkel å gjennomføre i praksis og vil ha små miljøulemper for nedenforliggende vannforekomster.

4 emneord, norske

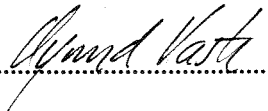
1. eutrofiering
2. algeoppblomstring
3. oksygenvinn
4. innsjørestaurering

4 emneord, engelske

1. eutrophication
2. algal blooms
3. oxygen deficiency
4. lake restoration

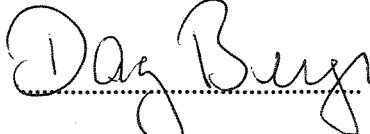
Prosjektleder

Øyvind Kaste



For administrasjonen

Dag Berge



ISBN-82-577-2395-9

Norsk institutt for vannforskning

O-93231

TRETJØNN I KRISTIANSAND

Vurdering av restaureringstiltak mot eutrofiering.

Dato: november 1993

Saksbehandler: Øyvind Kaste

Medarbeider: Bjørn Faafeng

For administrasjonen: Dag Berge

FORORD

Kristiansand kommune ønsker å gjennomføre tiltak for å bedre vannkvaliteten i Tretjønn og har søkt Fylkesmannen i Vest-Agder om å tappe ned innsjøen og fjerne forurensede sedimenter. Miljøvernavdelingen hos Fylkesmannen ønsket en nærmere utredning av det foreslåtte tiltaket i forhold til andre restaureringstiltak. I brev av 29.09.93 ble NIVA bedt av Kristiansand kommune om å vurdere ulike restaureringsmetoder for Tretjønn og komme med en anbefaling om tiltak for Tretjønn, med utgangspunkt i forslaget fra kommunen.

Ingeniørvesenet har vært formell oppdragsgiver for prosjektet, og Dag Tobiassen har vært kommunens kontaktperson. Undertegnede har vært NIVAs saksbehandler og har skrevet rapporten sammen med forskningsleder Bjørn Faafeng.

Grimstad, november 1993

Øyvind Kaste

INNHold

	Side
1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	
1.1. Dagens tilstand	4
1.2. Tiltak	4
1.3. Konklusjon	5
2. INNLEDNING	
2.1. Målsetning	6
2.2. Tretjønn	6
2.3. Dagens vannkvalitet	8
3. PROBLEMANALYSE	
3.1. Hva er problemet i Tretjønn ?	14
3.2. De viktigste årsakssammenhengene	14
4. VURDERING AV ULIKE RESTAURERINGSTILTAK	
4.1. Metode foreslått av Kristiansand kommune	16
4.2. Alternativ tiltakspakke	20
4.3. Samlet vurdering av de to tiltakspakkene	23
5. LITTERATUR	24
6. VEDLEGG	25

1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

1.1. Dagens tilstand

Hovedproblemet i Tretjønn er den høye konsentrasjonen av alger, som i sommerhalvåret fører til uestetiske forhold med misfarget vann og dårlig siktedyp. I de siste årene har vannet vært lite egnet som badevann grunnet de store algemengdene. Vannet er også blitt mindre attraktivt for andre bruksformer som fiske og rekreasjon. Den høye algekonsentrasjonen i Tretjønn skyldes høy fosforkonsentrasjon i innsjøens vannmasser. Dette har flere årsaker:

- * *Tidligere kloakpåvirkning*
- * *Redusert vanngjennomstrømning*
- * *Fosforutlekking fra dypvannssedimentet på grunn av oksygenfritt bunnvann*
- * *Fosforutlekking fra gruntvannssedimentet på grunn av høy pH (>8,4)*

De to sistnevnte faktorene medvirker i dag til at Tretjønn har intern gjødsling fra sedimentene. Innsjøen er derfor inne i en selvforsterkende eutrofieringsprosess som kan være uavhengig av ytre tilførsler av næringssalter. Avskjærende overvannsledninger rundt innsjøen har bidratt til å redusere gjennomstrømningen. Dette vil i seg selv ha forverret vannkvaliteten betraktelig.

1.2. Tiltak

Sedimenttiltak foreslått av Kristiansand kommune

Kommunen foreslår å senke innsjøen 2-4 meter og fjerne de øverste 10-20 cm av sedimentoverflaten i de nedtappede områdene ved å spyle disse inn i de resterende vannmasser. Vann og bunnslam pumpes videre til Vollevika silanlegg med utslipp til Topdalsfjorden. Målsetningen med tiltaket er at tjønna skal ha en akseptabel vannkvalitet innen badesesongen 1994.

En uttapping av de øverste 4 metrene i Tretjønn vil medføre en marginal økning i næringsstofftransporten til Gillsvann. Bunnsedimentene vil derimot føre til større miljømessige konsekvenser dersom de pumpes ut og ledes til Topdalsfjorden. Dersom en som eksempel pumper ut de øverste 10 cm av gruntvannssedimentet og dypvannssedimentet vil dette samlet tilsvare omlag 1150 p.e. fosfor/ år, 1650 p.e. nitrogen/ år og 7200 p.e. KOF/ år. Dersom dette pumpes ut i løpet av en måneds tid, vil korttidsbelastningen på Topdalsfjorden tilsvare det tolvdobbelte. Eksisterende belastning på Vollevika silanlegg er ca. 1600 p.e. (Dag Tobiassen, pers. medd.). Det høye organiske innholdet i sedimentet vil medføre stort oksygenforbruk utenfor anlegget i Vollevika, noe som vil kunne få betydelige biologiske konsekvenser i området.

Utspyling av gruntvannssedimenter som er foreslått, vil føre til en kraftig økning av belastningen på dypvannssedimentene og sterkt forverre dagens situasjon. Tiltaket vil heller ikke bidra til samlet å redusere den indre gjødslingen av sedimentet.

Alternativ tiltakspakke

NIVA vil foreslå en alternativ tiltakspakke rettet mot å unngå oksygenfritt bunnvann og for høy pH i overflatevannet. Den alternative tiltakspakken for Tretjønn består av følgende deler:

a) Øke vanntilførselen.

Vanngjennomstrømningen kan økes ved å lede en større del av overvannet fra det bebygde arealet inn i innsjøen eller tilføre rent vann fra kommunens drikkevannsnett, evt. i kombinasjon. Mengden tilført vann fra overvannsnett og drikkevannsnett bør tilsammen minst tilsvare avrenningen fra den bebygde delen av nedbørfeltet (ca. 310 m³ pr. døgn). Dette tiltaket vil øke gjennomstrømningen i innsjøen med omlag 80%. Et annet viktig tiltak er å hindre vannuttak fra Tretjønn til hagevanning e.l., dersom ikke dette raskt drenerer tilbake til tjønna. I en innledende fase bør Tretjønn gjennomspyles med rentvann for å fortynde forurensningene som i dag er løst i vannet.

b) Uttapping av bunnvann

En kontinuerlig uttapping av det næringsrike og oksygenfattige bunnvannet vil føre til en netto utførsel av næringssalter og føre til bedre oksygenforhold i dypområdene. Bunnvannet kan føres ut av innsjøen ved hjelp av en hevert som suger bunnvann til innsjøens utløp. Dersom ledningen legges til det dypeste punktet må ledningen være omlag 370 meter lang. Uttapping av bunnvann vil bety en beskjeden økning i næringsstofftransporten til nedenforliggende vassdrag.

c) Lufting av bunnvann

Et eksisterende kjølevannsuttak til Gimlekollen mediasenter kan brukes til å øke oksygenmetningen i bunnvannet i Tretjønn, og muligens også for å hindre en temperaturstratifikasjon i store deler av året. Den mest effektive løsningen vil være å ta vann fra dypvannet, luften det og føre det tilbake til dypområdet. En enklere, men noe mindre effektiv metode vil være å ta inn vann fra overflaten (som i dag) og føre det til dypt vann etter bruk.

1.3. Konklusjon

Restaureringsmetoden som er foreslått av Kristiansand kommune har en rekke usikkerhetsfaktorer knyttet til både den praktiske gjennomføringen, avlastningseffekt og miljøulemper for nedenforliggende vannforekomster. NIVA vil derfor advare mot denne.

Den alternative tiltakspakken som NIVA har foreslått, vil være relativt enkel å gjennomføre i praksis og vil ha små miljøulemper for nedenforliggende vannforekomster.

2. INNLEDNING

2.1. Målsetning

1. Gi en kort oppsummering av dagens tilstand og lokale målsetninger for vannkvaliteten.
2. Belyse de viktigste årsaker til den dårlige vannkvaliteten i Tretjønn.
3. Vurdere ulike restaureringsmetoder og komme med anbefaling om restaureringstiltak for Tretjønn, med utgangspunkt i et forslag fra Kristiansand kommune.
4. Innenfor de økonomiske rammene beregne belastning (næringssalter og organisk stoff) og vurdere konsekvenser for nedenforliggende vassdrag ved valgt restaureringsmetode.

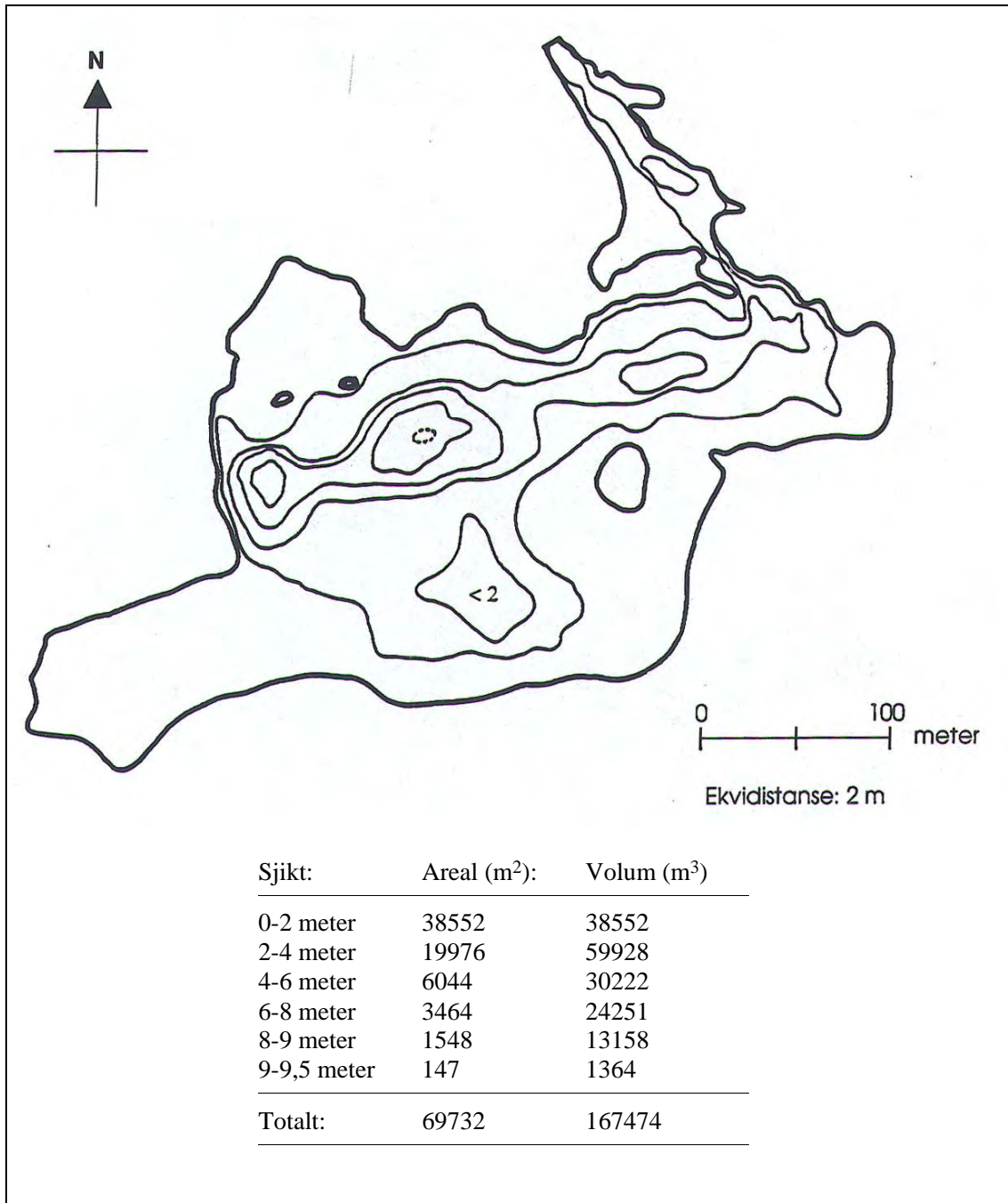
2.2. Tretjønn

Tretjønn ligger 77 m.o.h. i boligområdet Gimlekollen i Kristiansand kommune. Innsjøen ligger øverst i et vassdrag som drenerer til Topdalsfjorden via Svarttjern og Gillsvannet. Innsjøen har et overflateareal på 0,07 km² og største dyp er 9,5 m (Andersen 1993, fig.1). Volumet av innsjøens vannmasser kan ut fra dybdekartet beregnes til ca. 170.000 m³. Dette gir et middeldyp i innsjøen på ca. 2,5 meter. Store deler av innsjøen (ca 80%) er grunnere enn 4 meter, og omlag 55% er grunnere enn 2 meter.

Innsjøens naturlige nedbørfelt er ca. 0,26 km². Avrenningen i området er i følge NVEs avrenningskart ca. 30 l/sek/km². Dette gir en teoretisk oppholdstid for vannet i innsjøen på ca. 8,3 mnd. (tab.1).

Tabell 1. Morfometriske og hydrologiske data for Tretjønn.

Areal, innsjø:	0,07 km ²
Areal, nedbørfelt	0,26 km ²
Største dyp:	9,5 m
Volum, vannmasser	170.000 m ³
Middeldyp:	2,5 m
Årlig avrenning:	30 l/sek/km ²
Teoretisk oppholdstid:	0,69 år (ca. 8,3 mnd.)



Figur 1. Dybdekart for Tretjønn (etter Andersen 1993).

Store deler av nedbørfeltet består av privatboliger og veier. Det meste av bebyggelsen rundt vannet er etablert i løpet av de siste 20 årene. Utbyggingen i området har medført at nedbørfeltet til Tretjønn har minsket betydelig. Ut fra økonomisk kartverk utgjør innsjøen, samt arealet innenfor nærmeste bilvei et nedbørfelt på ca. 0,14 km². Innenfor dette området vil all avrenning gå mot innsjøen. Resten av det opprinnelige nedbørfeltet (ca. 0,12 km²) dekkes av privathus,

veier og åpne plasser hvor store deler av avrenningen går til kommunens overvannsnett og dirigeres utenom Tretjønn. Dersom en antar at all avrenning fra det bebygde området ledes utenom Tretjønn, vil den teoretiske oppholdstiden for vannet i innsjøen nå trolig være omkring 1 år og 4 måneder, dvs. mer enn 80% lengre enn før utbyggingen.

Gimlekollen mediasenter ligger i nordenden av vannet og bruker vann fra Tretjønn til kjølevann. Dette anlegget bruker i følge Fylkesmannen i Vest-Agder en vannmengde tilsvarende 4 l/s, eller 15 m³/døgn. Ca. 95% av dette vannet blir ledet tilbake til innsjøen etter bruk. Det øvrige vannet, omlag 0,75 m³/døgn går til det kommunale avløpsnett. Inntaket til anlegget ligger i en bukt i den nordvestre delen av innsjøen, ca. 40 meter fra land og på 2,5-3,5 meters dyp. Utløpet ligger i samme bukt, omlag 10 meter fra land og på 1-1,5 meters dyp.

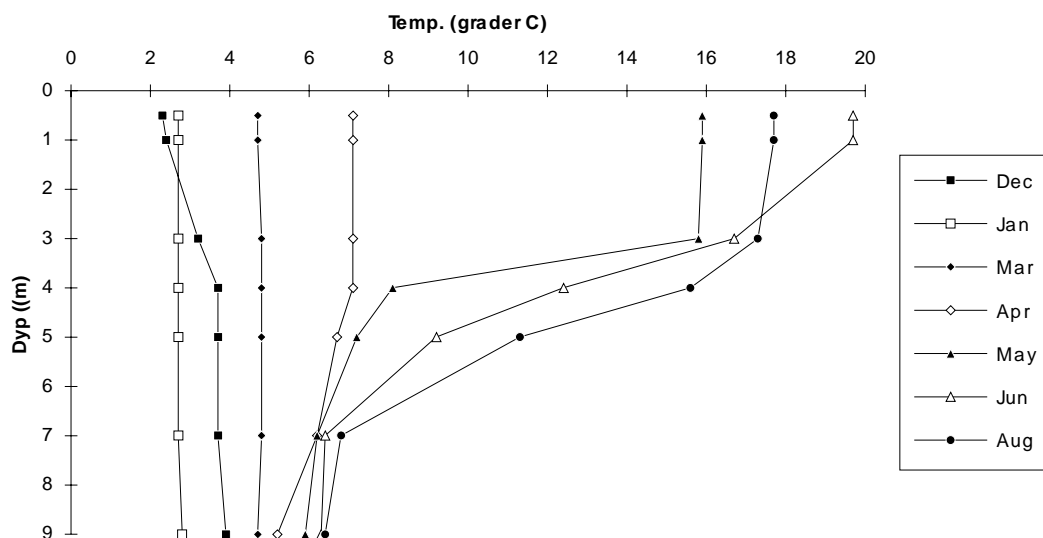
Tretjønn har på grunn av sin sentrale beliggenhet betydelige brukerinteresser i form av bading, fiske og rekreasjon.

2.3. Dagens vannkvalitet

Vannkvaliteten i Tretjønn er undersøkt i 1992 og 1993 av vannlaboratoriet ved ADH i Kristiansand og Næringsmiddeltilsynet i Vest-Agder. Resultatene er tidligere rapportert av Andersen (1993).

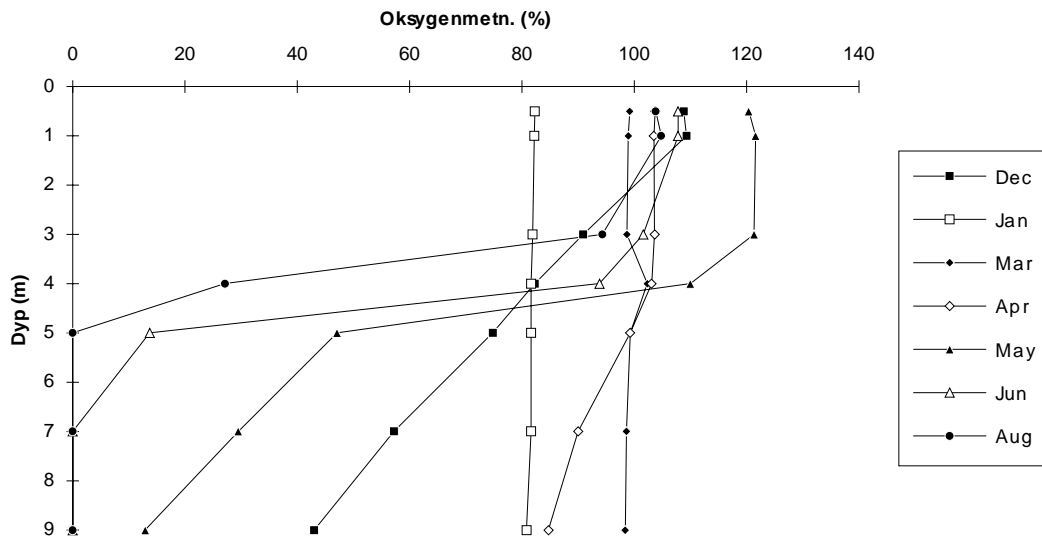
Temperatur

Innsjøen har en stabil temperatursjiktning om sommeren. I august 1993 var temperaturen 17,7 °C på 1 meters dyp og 6,4 °C på 9 meters dyp. Termoklinen (sprangsjiktet) lå mellom 3 og 4 meter i mai og sank i juni og august til henholdsvis 4 og 5 meter (fig.2).



Figur 2. Temperaturfordeling i Tretjønn 29.12.92 - 06.08.93. Fra Andersen (1993).
Oksygenmetning

Under vårfullsirkulasjonen i mars 1993 var hele vannmassen fra 1 til 9 meter 100% mettet med oksygen (fig.3). Så snart innsjøen viste tegn på sjiktning på forsommeren, begynte oksygenet å avta i bunnområdene. I mai var det bare ca. 13% metning på 9 meters dyp, og i juni var det oksygenfritt på både 7 og 9 meters dyp. I august var det oksygenfritt under 5 meters dyp.



Figur 3. Oksygenmetning i Tretjønn 29.12.92 - 06.08.93. Fra Andersen (1993).

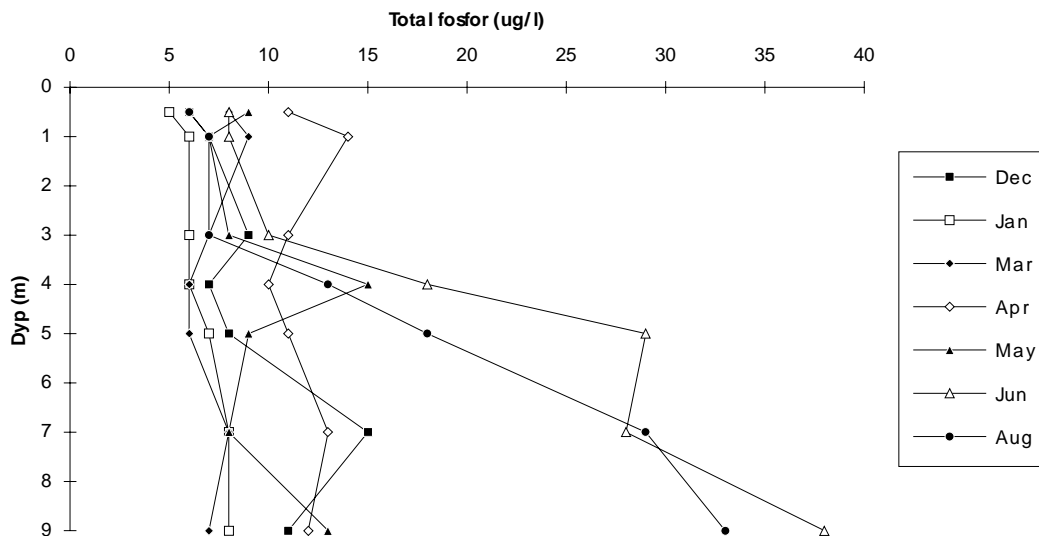
pH

Målinger foretatt av næringsmiddeltilsynet i Vest-Agder viser svært høye pH-verdier i produksjonssesongen (9,3-10,0 i mai 1992). Dette skyldes høy algeproduksjon. Høye pH verdier (over 8,4) kan forårsake utlekking av fosfater fra sedimentoverflaten i gruntområdene (Andersen 1975, Sanni 1986).

Total fosfor

I perioden desember 1992 til mai 1993 lå konsentrasjonen av total fosfor i området 5-15 $\mu\text{gP/l}$ i alle sjikt av innsjøen (fig.4). I juni og august var konsentrasjonen markert høyere i bunnvannet enn i overflatevannet. Fosforkonsentrasjonen i overflatevannet var forøvrig så lav i forhold til de målte klorofyllverdiene at det kan stilles spørsmål om de målte fosforverdiene er for lave. Områdene med høy fosforkonsentrasjon i bunnvannet sammenfaller godt i tid og rom med områdene som hadde oksygenfritt vann, og er en klar indikasjon på at det lekker fosfor fra sedimentet. Konsentrasjonen av løst tilgjengelig fosfor (fosfat) var relativt lav i den undersøkte perioden. De avtakende konsentrasjonene utover i produksjonssesongen skyldes trolig opptak i, og sedimentasjon av alger.

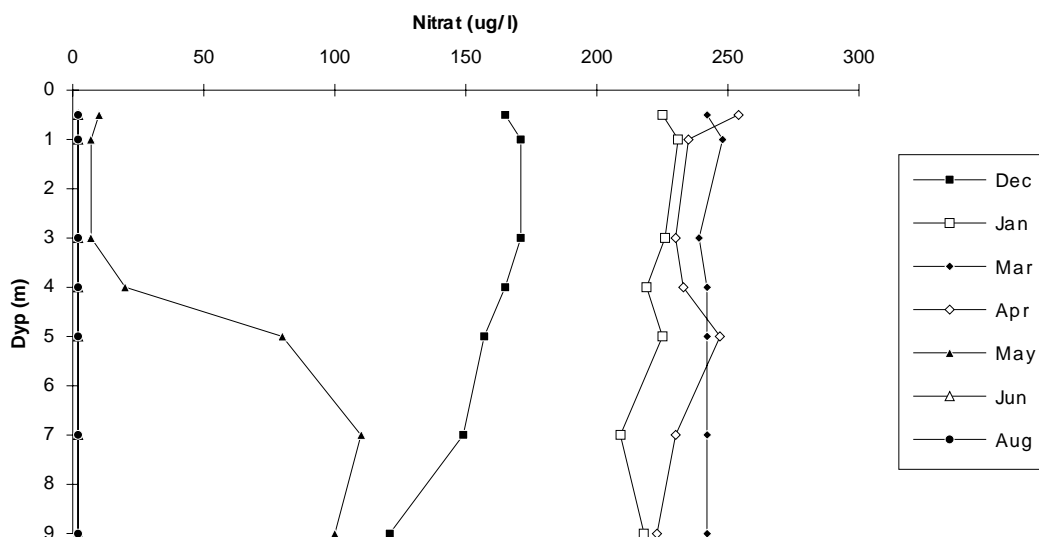
Den midlere innsjøkonsentrasjonen (fra 0,5 til 9 meters dyp) av totalfosfor varierte mellom 9 og 20 $\mu\text{g/l}$. Dette tilsvarer tilstandsklasse II til III i SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet i innsjøer (Holtan og Rosland 1992). Klasse II og III er i dette systemet karakterisert som hhv. "mindre god" og "nokså dårlig". De høyeste middelkonsentrasjonene ble registrert i sommermånedene juni og august.



Figur 4. Total fosfor i Tretjønn 29.12.92 - 06.08.93. Fra Andersen (1993).

Nitrogen

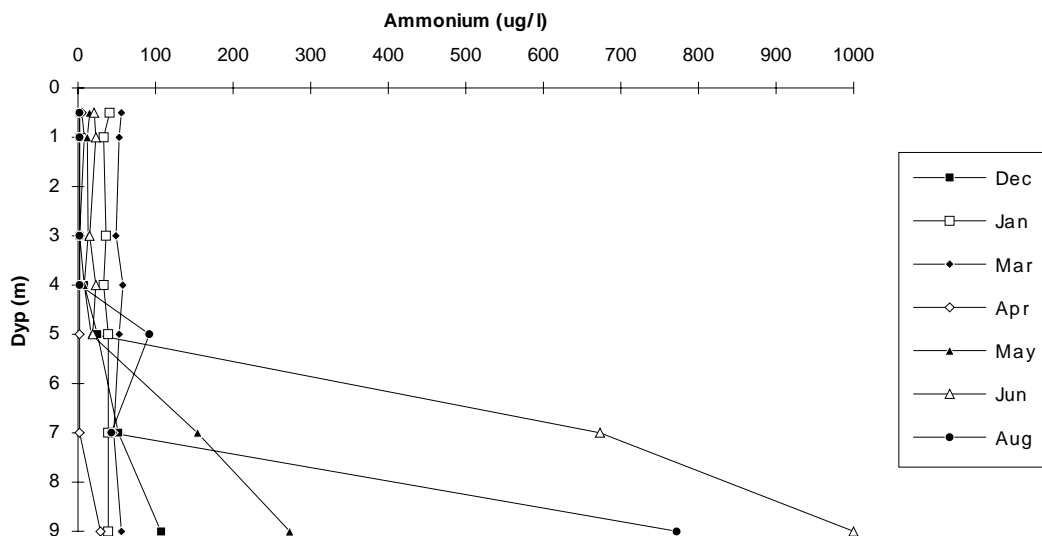
Nitratverdiene lå i størrelsesområdet 120-250 $\mu\text{g/l}$ fram til og med april 1993 (fig.5). I mai minket nitrat-konsentrasjonen kraftig i de øverste vannlagene. Nedgangen var noe mindre fra 5 meter og dypere. I juni og august ble det ikke registrert målbare konsentrasjoner av nitrat i noe dyp av innsjøen. Årsaken til at nitraten forsvinner i bunnvannet er de oksygenfrie forholdene som reduserer nitrat til ammonium eller til fri nitrogen (denitrifikasjon). I overflatevannet forbrukes nitraten av alger som har rikelig tilgang på fosfater fra sedimentene. Det kan derfor se ut som algene i Tretjønn er begrenset på nitrogen i deler av sommerhalvåret, noe som er normalt i forurensede innsjøer.



Figur 5. Nitrat-nitrogen i Tretjønn 29.12.92 - 06.08.93. Fra Andersen (1993).

Ammonium-konsentrasjonen i bunnvannet var svært høy i perioden mai til august 1993 (fig.6). Fra å ha ligget på verdier omkring 25-50 $\mu\text{gN/l}$ i perioden januar-april økte den til 1000 $\mu\text{gN/l}$ i juni. Økningen av ammonium sammenfaller med avtakende oksygenkonsentrasjon i samme tidsrom og viser tydelig at nitrat reduseres til ammonium i oksygenfritt miljø. Den totale konsentrasjonen av nitrogen øker utover sommeren i innsjøens dypvann. Dette kan skyldes dødt organisk materiale (spesielt alger) som synker ned fra innsjøens produksjonssjikt, eller som virvles opp fra sedimentet.

Den midlere innsjøkonsentrasjonen (fra 0,5 til 9 meters dyp) av totalnitrogen varierte mellom 380 og 570 $\mu\text{g/l}$. Dette tilsvarer tilstandsklasse II til IV i SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet i innsjøer (Holtan og Rosland 1992). Klasse II og IV er i systemet karakterisert som hhv. "mindre god" og "dårlig". Den høyeste middelkonsentrasjonen av totalnitrogen ble målt i mars.



Figur 6. Ammonium-nitrogen i Tretjønn 29.12.92 - 06.08.93. Fra Andersen (1993).

Organisk stoff

Tretjønn er svært rik på organisk stoff. TOC-verdiene ligger i størrelsesområdet 7-17 mg C/l, noe som tilsvarer tilstandsklasse IV og V (hhv. "dårlig" og "meget dårlig") i SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann (Holtan og Rosland 1992). Dette er organisk materiale som er produsert i innsjøen eller tilført fra nedbørfeltet. Det kan registreres en økning av TOC i alle vannsjikt i sommerhalvåret. Dette tyder på at en betydelig del av det organiske materialet blir produsert i innsjøen, hovedsaklig av alger. Innsjøen kan også være påvirket av endel humus fra nedbørfeltet.

Klorofyll

Det ble i 1993 tatt prøver for klorofyll-analyse i april, mai og juni. Resultatene viste svært høye verdier for alle disse prøvene (10-35 µg/l). Dette tilsvarer tilstandsklasse IV til V i SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet i innsjøer (Holtan og Rosland 1992). Klasse IV og V er i systemet karakterisert som hhv. "dårlig" og "meget dårlig".

Konsentrasjonene er mye høyere enn en kan forvente ved de målte konsentrasjonene av totalt fosfor i innsjøen. De høye algekonsentrasjonene tyder at algene har god tilgang på næringsstoffer via intern frigivelse fra sedimentene. Algen *Gonyostomum semen*, som er observert i innsjøen tidligere, har evnen til å bevege seg vertikalt i innsjøen og kan dermed nyttiggjøre seg den høyere næringsstoffkonsentrasjonen i bunnvannet (Cronberg og medarb. 1988). I november 1993 var algesamfunnet dominert av grønnalgen *Cosmarium sphagnicolum* var. *pachygonium*.

Bakterier

Næringsmiddeltilsynet i Vest-Agder har foretatt målinger av termostabile koliforme bakterier (sikre tarmbakterier) den 25.05.92 og 16.08.93. Dette gir bare øyeblikksbilder av de bakteriologiske forholdene i innsjøen. Folkehelsas krav til prøvetaking for badevannskontroll er 5 prøver i løpet av en 30-dagers periode i badesesongen. Resultatene fra 1992 viste kun 1 termostabil koliform bakterie pr. 100 ml i to prøver fra innsjøen. I 1993 var de hygieniske forholdene dårligere. Fordelt på fire prøver ble det funnet h.h.v. 8, 49, 34 og 49 termostabile bakterier pr. 100 ml vann. I SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann går grensen for godt egnet badevann på 50 termostabile koliforme bakterier (Holtan og Rosland 1992). Resultatene viser at innsjøen i perioder påvirkes av fersk fekal forurensning. Påvirkningen er imidlertid såpass liten at en del av det kan skyldes påvirkning fra ville dyr (pattedyr og fugler), men noe lekkasje og overløp fra avløpsnett er også sannsynlig.

Sedimenter

Sedimentanalysene er basert på prøver tatt med bunngrabb på 2, 5 og 8 meters dyp i innsjøen. I det løse sedimentet i Tretjønn fikk bunngrabben med seg omlag de øverste 5 cm. Analysene viser at de øverste centimetrene av sedimentet var svært vannholdig. Tørrstoffinnholdet lå på omkring 6-7% av sedimentets våtvekt. (tab.2). Dypvannssedimentet hadde noe mindre gløderest (mer organisk stoff) enn sedimentene på grunt vann. Dette kan komme av at dypvannssedimentet mottar de største mengdene av innsjøproduert organisk stoff. Forholdet illustreres også av at det kjemiske oksygenforbruket i sedimentet øker mot dypet i innsjøen.

Tabell 2. Analyser av sedimentprøver tatt med grabb den 18. okt. 1993. Resultatene for 5 og 8 meters dyp består av 2 paralleller. Forkortelser: Tør=tørrvekt, våt=våtvekt.

Innsjødyb (m)	Tørrstoff (% av våt)	Gløderest (% av tør)	Tot-P (g/kg tør)	Tot-N (g/kg tør)	KOF _{Cr} (g O ₂ /kg tør)	Jern (g/kg tør)
2	6,7	59,4	1,4	12,2	480	83,6
5	6,0	51,2	1,5	12,7	670	31,2
8	7,2	48,5	1,4	26,1	720	11,3

Fosforinnholdet i sedimentet var omlag 1,5 g/kg tørrvekt både på grunt og dypt vann. Nitrogenkonsentrasjonen var over dobbelt så stor i dypvannsedimentet som på 2 og 5 meters dyp i innsjøen. Konsentrasjonen av jern i sedimentet avtok kraftig mot de dypere liggende områdene i innsjøen. Dette kan skyldes at jern har lekket ut fra sedimentet og gått i vannløsning under anaerobe forhold. Samme mekanisme kan være årsak til at fosforinnholdet i sedimentet ikke øker med innsjødyppet. Under aerobe forhold vil fosfor som har vært bundet til jern i sedimentet kunne gå i vannløsning sammen med toverdige jern.

Det ble hentet inn en sedimentsøyle fra 9,5 meters dyp for visuell bedømmelse. Denne viste at de øverste ca. 5 cm hadde mørke utfellinger av jernsulfid, som indikerer oksygenfrie forhold.

Oppsummering

Hovedproblemet i Tretjønn er den høye konsentrasjonen av næringssalter og organisk stoff. Dette fører til misfarging av vannet og høyt partikkelinnhold på grunn av stor algeproduksjon. Den store produksjonen av organisk materiale fører til høyt oksygenforbruk i dypvannet.

3. PROBLEMANALYSE

3.1. Hva er problemet i Tretjønn ?

Hovedproblemet i Tretjønn er den høye konsentrasjonen av alger, som i sommerhalvåret fører til uestetiske forhold med misfarget vann og dårlig siktedyp (Andersen 1993). I de siste årene har vannet vært lite egnet som badevann grunnet de store algemengdene. I 1991 påviste NIVA algen *Gonyostomum semen* i Tretjønn. Dette er en stor flagellat som i store konsentrasjoner kan medføre kløe og irritert hud ved bading (Hongve og medarb. 1988). En vet fra før at *Gonyostomum* trives i myrpåvirkede innsjøer med relativt rik tilgang på næringssalter (Cronberg og medarb. 1988).

De lite estetiske forholdene i Tretjønn gjør området mindre attraktivt for fiske og øvrig rekreasjon. Aure som tidligere er satt ut i innsjøen, vil ha dårlige levevilkår under dagens forhold. De store algemengdene i Tretjønn er også hovedårsaken til den observerte tilslammingen av den opparbeidede sandstranden i området. Det lave forholdstallet mellom fosfor og nitrogen i sommerhalvåret medfører en risiko for masseoppblomstring av blågrønnalger.

3.2. De viktigste årsakssammenhengene

De store algemengdene skyldes rik tilgang på næringssalter i innsjøens vannmasser. Den høye næringsstoffkonsentrasjonen i Tretjønn har flere årsaker:

Tilførsler fra nedbørfeltet

Innsjøen er tidligere belastet med kloakkvann fra utette avløpsledninger. Dette har gjennom årenes løp akkumulert i sedimentene. I dag er lekkasjene fra kloakknettet utbedret (Dag Tobiassen, pers.medd.) og tilførslene av næringssalter til innsjøen skal være små. For å bli kvitt problemalgen *Gonyostomum semen* er det i tidligere arbeider (Faafeng 1993a) anbefalt at konsentrasjonen av totalfosfor reduseres til under 10 µg/l.

Vannets oppholdstid i innsjøen

Den dårlige vanngjennomstrømningen i innsjøen er en viktig årsak til den høye næringssaltkonsentrasjonen og de store algemengdene i Tretjønn. Store deler av det naturlige nedbørfeltet er bebygd, og avrenningsvannet samlet opp i kommunens overvannsnett. Tilsiget til innsjøen er derfor sterkt redusert, slik at det tar lang tid å fornye vannet i innsjøen (lang teoretisk oppholdstid). Næringssaltene vil dermed ha liten fortykning og lang oppholdstid i vannet, noe som øker utnyttelsesgraden i forbindelse med algeproduksjon. Liten gjennomstrømning vil også medføre at en stor mengde næringsstoffer vil synke til bunns i stedet for å føres ut av innsjøen. Det begrensede vanntilsiget til Tretjønn medfører i dag at innsjøen er svært sårbar for forurensninger og må regnes som uegnet som resipient.

Fosforutlekking fra sedimentet på grunn av oksygenfritt bunnvann

Den høye næringssaltkonsentrasjonen i Tretjønn har medført stor produksjon av alger og andre organismer. Når disse organismene dør, vil de synke til bunns og brytes ned under forbruk av oksygen. I perioder når vannmassene er termisk sjiktet (vinter og sommer) fører det høye oksygenforbruket i Tretjønn til at bunnvannet blir fritt for oksygen og det dannes giftig hydrogen-sulfidgass.

Så lenge det er oksygen til stede i bunnvannet vil store mengder fosfor kunne bindes i sedimentet, adsorbent til $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (jernhydroksyd) eller som FePO_4 (jernfosfat). I perioder med oksygenfritt bunnvann vil Fe^{3+} i sedimentet kunne reduseres til vannløselig Fe^{2+} . Dette medfører at fosfat vil lekke fra sedimentet og ut i vannmassene sammen med de reduserte Fe^{2+} -ionene. Dersom det er rikelig med uorganisk svovel til stede og sterkt reduserende forhold, vil de reduserte jern-ionene felles ut og synke til sedimentoverflaten som jernsulfid (FeS). I sirkulasjonsperioder når oksygen blandes inn i bunnvannet, vil noe av fosfatet kunne forbli i løsning i mangel på oksydrte jern-ioner å felles med. Det gjenværende fosfatet kan derfor i løpet av sirkulasjonsperioden blandes i hele vannmassen og gjøres tilgjengelig for algevekst (Mortimer 1941/42).

Fosforutlekking fra sedimentet på grunn av høy pH

En annen intern gjødslingsprosess oppstår under høy algeproduksjon om sommeren. Stor produksjon (høy fotosynteseaktivitet) medfører forbruk av CO_2 og derved en stigning i innsjøens pH. Ved pH-verdier over ca. 8,4 vil fosforets bindingsevne til sedimentet avta (Andersen 1975, Sanni 1986). Ved store algekonsentrasjoner kan derfor høy pH medføre utlekking av fosfat fra sedimentene og forårsake ytterligere økt algeproduksjon.

Selvforsterkende eutrofieringsprosess

Med de to prosessene som er beskrevet ovenfor frigjøres det derfor trolig fosfater fra hele sedimentoverflaten i Tretjønn. Innsjøen kan derfor være inne i en selvforsterkende eutrofieringsprosess som i stor grad er uavhengig av de ytre tilførselene av næringssalter. Frigivelsen av fosfater fra sedimentene har medført et så stort forbruk av nitrater at algene i innsjøen i deler av året er begrenset på nitrogen. Dette medfører fare for at det kan oppstå masseoppblomstringer av nitrogenfikserende blågrønnalger.

4. VURDERING AV ULIKE RESTAURERINGSTILTAK

4.1. Tiltak foreslått av Kristiansand kommune

Metodebeskrivelse

Kristiansand kommune har i brev til Fylkesmannen i Vest-Agder av 21. september 1993 søkt om nedtapping av innsjøen og fjerning av sediment for å bedre vannkvaliteten. Kommunenes forslag til tiltak er kort beskrevet nedenfor:

Innsjøen tappes først 2-4 meter ved hjelp av en hevert over dammen. Deretter fjernes de øverste 10-20 cm av sedimentoverflaten i de nedtappede områdene ved å spyle disse inn i de resterende vannmasser. Vann og bunnslam pumpes så sammen fra to lavpunkt og inn på kommunes spillvannnett i Bergtoras vei og Gimlekollen.

Denne vann/slam-blandingen ledes til Vollevika silanlegg og slippes ut på 27 meters dyp i Topdalsfjorden. Det opplyses fra kommunen at silanlegget er så grovt at vann/slam-blandingen i sin helhet vil bli tilført fjorden (Dag Tobiassen, pers. medd.). Tretjønn fylles så med rentvann fra kommunens rentvannnett, samt naturlig tilsig. Kommunen tar sikte på å fylle opp tjønna relativt raskt til en minimumsvannstand for å etablere et vannspeil. De vil senere fylle på videre avhengig av nedbørsituasjonen. Målsetningen er at tjønna skal ha en akseptabel vannkvalitet innen badesesongen 1994. Parkvesenet vil sette ut fisk i den grad dette er nødvendig.

Kommunen ønsker å sette igang operasjonen så snart som mulig og har som målsetning å gjennomføre tiltaket i løpet av en tremåneders periode.

Kostnader og effektivitet

Kristiansand kommune har kostnadsberegnet det skisserte sedimenttiltaket til i alt 200.000 kr. Fjerning av næringsrikt sediment vil være et engangstiltak som kan gi positive resultater på kort sikt. Det er imidlertid vanskelig å forutsi effekten på forhånd. Vannkvaliteten i innsjøen vil etter et eventuelt sedimenttiltak fortsatt påvirkes av de samme ytre faktorer som før, og den lave gjennomstrømningen i Tretjønn vil medføre at innsjøen vil være svært sårbar for nye og tidligere forurensninger.

Kommunen har foreslått å fjerne de øverste 10-20 cm av sedimentet i gruntområdene ved å senke vannspeilet og spyle dem inn i dypvannsbassenget. Det er vanskelig å forutsi den gjennomsnittlige tykkelsen på sedimentet i disse områdene, da sedimentasjons- og strømningsforhold er lite kjent. Dessuten kan bunnlevende vannplanter (spesielt mose) binde sedimentet og vanskeliggjøre utspyling. Dersom en antar at en får fjernet 10 cm av sedimentet i strandområdene på 0-4 meters dyp, og antar et gjennomsnittlig fosforinnhold i sedimentet på 1,5 g/kg tørrstoff (tab.2), vil en kunne fjerne omlag 590 kg fosfor (tab.3). Tilsvarende vil omlag 4700 kg nitrogen kunne fjernes antatt et nitrogeninnhold i sedimentet på 12 g/kg tørrstoff.

Det er vanlig å finne de mest næringsrike sedimentene i dypområdene, hvor sedimentasjonen av innsjøproduisert organisk materiale er størst. På grunn av anaerobt bunnvann i deler av året vil en stor del av den indre gjødslingen i Tretjønn komme fra dypvannssedimentene. Sedimentanalyser viser at de øverste 5 cm av dypvannssedimentet i Tretjønn hadde mørke utfellinger av jernsulfid, som indikerer okygenfrie forhold. I andre næringsrike innsjøer som Gjersjøen og Årungen, er det målt en årlig sedimentasjon på henholdsvis 4-6 og 9 mm (Skogheim 1976, Skogheim og Erlandsen 1984). For å fjerne den delen av sedimentet i Tretjønn som er akkumulert de siste 15-20 år bør en derfor trolig fjerne omlag 10-20 cm av det øverste sedimentlaget dersom en skal være relativt sikker på å få med den mest næringsrike delen. En bør være oppmerksom på at dersom gruntvannsedimentet spyles til dypvannsbassenget, vil dette slammet synke raskt og dekke de eksisterende dypvannssedimentene. Det kan derfor bli vanskelig å få ut vesentlige deler av de forurensede sedimentene med den metoden som er skissert.

Dersom en f.eks. fjerner 10 cm av sedimentet i områder som ligger under fire meters dyp i innsjøen (ca. 11000 m²) vil dette tilsvare et volum på ca. 1120 m³. Ved en gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon i denne delen av sedimentet på 1,5 g/kg tørrvekt (tab.2) tilsvarer dette omlag 120 kg fosfor (tab.3). En gjennomsnittlig nitrogenkonsentrasjon på 12 g/kg tørrvekt vil gi omlag 2100 kg nitrogen i dette sedimentlaget.

Tabell 3 Anslagsvis innhold av næringsstoffer og organisk stoff i sedimentet i Tretjønn, basert på prøver tatt med bunngrabb (ca. 0-5 cm ned i sedimentet). Beregninger for sedimentsjikt 5-10 cm er usikre p.g.a. av manglende data.

Sedimentareal (m ²)	Sed. dyp (m)	Volum (m ³)	Tørrvekt (1000 kg)	Tot-P (kg)	Tot-N (kg)	KOF (1000 kg O ₂)
Grunt vann, 0-4 m* 58528	0-0,1	5853	392	588	4704	188
Dypt vann, 4-9,5 m** 11203	0-0,1	1120	81	122	2106	58

* Beregningsgrunnlag: Tot-P: 1,5 g/kg tørrst., Tot-N: 12 g/kg tørrst., KOF: 480 g O₂/kg tørrst.

** Beregningsgrunnlag: Tot-P: 1,5 g/kg tørrst., Tot-N: 26 g/kg tørrst., KOF: 720 g O₂/kg tørrst.

Miljømessige konsekvenser for nedenforliggende vassdrag.

Gillsvann

En uttapping av de øverste 4 metrene i Tretjønn vil medføre en viss økning i næringsstofftransporten til Gillsvann. En fosforkonsentrasjon i Tretjønn på 10-20 µg/l vil medføre en transport på 1-2 kg fosfor dersom innsjøen senkes 4 meter (tab.4). Dette tilsvarer omlag 1,6 - 3,2 person-ekvivalenter (p.e.) pr. år (Holtan og Åstebøl 1990). Ved en nitrogenkonsentrasjon på 400-600 µg/l i de fire øverste metrene i Tretjønn vil det transporteres ut 40-60 kg nitrogen til nedenforliggende vassdrag. Dette tilsvarer omlag 9-13 p.e./år. Næringsstoffkonsentrasjonen i overflatevannet varierer med årstiden og vil være vil være høyest i sirkulasjonsperioder da skjer en innblanding av næringsrikt bunnvann.

Tabell 4 Totalt innhold av næringsstoffer i overflatevannet, fra 0-4 meters dyp.

(volum 98.000 m³)

[Tot-P] (µg/l)	Tot-P (kg)	p.e. / år	[Tot-N] (µg/l)	Tot-N (kg)	p.e. / år
10	0,98	1,6	400 µg/l	39,2	8,9
15	1,47	2,4	500 µg/l	49,0	11,2
20	1,96	3,2	600 µg/l	58,8	13,4

Gillsvann har et overflateareal på omlag 1,1 km². Ingeniørvesenet i Kristiansand opplyser at maksimumsdypet i innsjøen er omlag 15 meter, men at det er store områder hvor vannet er under 3 meter dypt (Dag Tobiassen pers.medd.). Dersom en antar et gjennomsnittsdyp på ca. 5 meter vil dette gi et vannvolum på ca. 5,5 mill. m³. Dersom en fordeler 1,5 kg fosfor og 50 kg nitrogen jevnt i dette vannvolumet vil det bety en marginal økning i næringsstoffkonsentrasjonen på under 0,3 µg P/l og under 10 µg nitrogen pr. liter. Gillsvann får i perioder innslag av saltvann fra Topdalsfjorden og har oksygenfritt vann under ca. 7-10 meters dyp (Dag Tobiassen, pers.medd.).

Vollevika, Topdalsfjorden

I følge kommunens forslag skal bunnvann samt sediment fra innsjøen pumpes via kommunens spillvannsnett til Vollevika silanlegg og slippes ut på 27 meters dyp i Topdalsfjorden. Næringsstoffinnholdet i bunnvannet vil variere mye over året og vil være høyest i stagnasjonsperiodene vår og sommer. Mengden av næringsstoffer i bunnvannet vil være marginalt i forhold til innholdet i sedimentet og er følgelig ikke tatt med i beregningene nedenfor.

Dersom en pumper ut de øverste 10 cm av både gruntvannssedimentet og dypvannssedimentet, vil dette samlet tilsvare omlag 1150 p.e. fosfor/ år, 1650 p.e. nitrogen/ år og 7200 p.e. KOF/ år. Dersom dette pumpes ut i løpet av en måneds tid, vil korttidsbelastningen på Topdalsfjorden tilsvare det tolvdobbelte. Eksisterende belastning på Vollevika silanlegg er ca. 1600 p.e. (Dag Tobiassen, pers. medd.). Det er verdt å merke seg det høye organiske innholdet i sedimentet. Dette vil medføre stort oksygenforbruk utenfor anlegget i Vollevika, noe som vil kunne ha betydelige konsekvenser for biologien i området.

Usikkerhet / risiko

Under sediment-prøvetaking den 18.10.93 viste det seg å være stor forekomst av kortskuddsplanter og vannmoser i enkelte områder på grunt vann. Dersom det er en stor forekomst av disse plantene på større deler av gruntområdene, kan det skape store vansker for utspylingen av sedimentet.

Dersom gruntvannssedimentet spyles til dypvannsbassenget, vil dette slammet synke relativt raskt og dekke de eksisterende dypvannssedimentene. Bare den mest finpartikulære delen av sedimentet vil holde seg lenge nok i løsning til at den kan pumpes ut med bunnvannet. Ved å pumpe ut denne vann/slam-blanding vil derfor bare få med små mengder sediment og følgelig vil det oppnås liten avlastningseffekt.

Utstyret som er beskrevet i brev fra Kristiansand kommune egner seg neppe til å pumpe ut fast sediment som ligger på innsjøbunnen. Hvorvidt prosjektet skal lykkes er avhengig av at en får

med seg minst 10-20 cm av sedimentet i de dypeste områdene. Det er i dette området det først og fremst vil forekomme en utlekking av næringsstoffer p.g.a. av oksygenfritt bunnvann.

Dersom de eksterne tilførslene til innsjøen er for høye, vil sedimenttiltak bare ha kortvarig effekt. Før et slikt tiltak settes i gang bør en derfor ha redusert alle mulige eksterne forurensningskilder på forhånd. Bakterieprøver tatt sommeren 1993 kan tyde på at det fortsatt kan være en viss kloakkbelastning på Tretjønn.

Mudring av sedimentet er et midlertidig tiltak som ikke bedrer vannkvaliteten, dersom de eksterne tilførslene er for store eller gjennomstrømningen er for dårlig. Sedimenttiltak vil trolig være effektivt på kort sikt dersom en får med seg de mest næringsrike sjiktene, men i Tretjønn vil en være avhengig av andre støttetiltak for at forbedringen skal bli varig. Et av de viktigste støttetiltakene er å øke vanngjennomstrømningen i innsjøen.

En nedtapping og mudring i Tretjønn vil under anleggsperioden kunne medføre luktulempet for befolkningen i området.

Det er usikkert om innsjøen rekker å klarne på den korte tiden fra tiltaket er gjort til badesesongen starter. Med den lave gjennomstrømningen kan muligens vannkvaliteten og sikten i vannet være dårlig i en periode p.g.a. partikulært materiale.

4.2. Alternativ tiltakspakke

Den alternative tiltakspakken er satt sammen på bakgrunn av metodebeskrivelser i Faafeng (1993b) og er rettet mot å unngå de to sannsynlige hovedårsakene til utlekking av næringsalter fra sedimentet:

- oksygenfritt bunnvann
- høy pH i overflatevannet (> 8,4)

Før en vurderer å gjennomføre restaureringstiltak i en innsjø må en imidlertid forsikre at alle eksterne tilførsler er redusert tilstrekkelig til at det kan oppnås akseptabel vannkvalitet.

Den alternative tiltakspakken for Tretjønn:

a) Øke vanntilførselen

Gjennomstrømningen i innsjøen kan økes ved å lede en større del av overvannet fra det bebygde arealet inn i innsjøen. Avrenning fra gater, veier og åpne plasser vil i mange tilfeller ikke være mer forurenset enn at avløpet kan gå gjennom innsjøen. Før en leder overvann inn i innsjøen må en forsikre seg om at det ikke er noen feilkoblinger eller lekkasjer av avløpsvann til overvannsnett. Veien som går på sørsiden av Tretjønn blir saltet om vinteren (Dag Tobiassen, pers. medd.), men det er neppe store nok mengder til at saltet kan legge seg i bunnen av innsjøen og føre til en mer stabil sjiktning.

Som et supplement bør det vurderes å tilføre rent vann fra det kommunale drikkevannsnett til Tretjønn. Mengden tilført vann fra overvannsnett og drikkevannsnett bør tilsammen tilsvare minst avrenningen fra den bebygde delen av nedbørfeltet (ca. 0,12 km²). I en innledende fase bør Tretjønn gjennomspyles med rentvann for å fortynne forurensningene som i dag er løst i vannet.

Et annet viktig tiltak er å hindre vannuttak fra Tretjønn til hagevanning e.l.. Uttak av vann fra innsjøen kan ikke tilrådes med mindre vannet tilbakeføres i samme kvantitet og kvalitet.

b) Uttapping av bunnvann

En uttapping av det næringsrike og oksygenfattige bunnvannet vil føre til en netto utførsel av næringsalter og føre til bedre oksygenforhold i dypområdene. Bunnvannet kan føres ut av innsjøen ved hjelp av en hevert som suger bunnvann til innsjøens utløp. Kapasiteten på heverten må tilpasses framtidig tilrenning til Tretjønn. Metoden er enkel, pålitelig og rimelig og krever svært lite vedlikehold (Faafeng 1993b). En ulempe med metoden er at den kan føre til en viss økning i belastningen på nedenforliggende vassdrag.

c) Lufting av bunnvann

I Tretjønn bruker Gimlekollen Mediasenter vann fra Tretjønn til kjølevann. Det uttatte vannet tappes tilbake til innsjøen etter bruk. Dette vannuttaket kan brukes til å øke oksygenmetningen i bunnvannet i Tretjønn, og muligens også for å hindre en temperaturstratifikasjon i større deler av året. Den mest effektive løsningen vil være å ta vann fra dypvannet, luften det og føre det tilbake til dypområdet. Oksygenmetningen og

temperaturen i bunnvannet vil på denne måten øke. Temperatur-sjiktningen vil samtidig bli mer ustabil. En enklere, men noe mindre effektiv metode vil være å beholde dagens inntak på 2,5-3,5 meters dyp, men føre utløpsledningen til dypvannet.

Kostnader og effektivitet

Dersom det skal tilføres vann tilsvarende den naturlige avrenningen for det bebygde arealet vil dette tilsvare ca. 310 m³ pr. døgn. Dette vil øke gjennomstrømningen (teoretisk oppholdstid) i innsjøen med omlag 80%. Avledning av overvann fra den bebygde delen av nedbørfeltet vil kunne gjennomføres uten store kostnader for kommunen (Dag Tobiassen, pers. medd.). Kvaliteten på overvannet må kontrolleres før det tillates å slippes ut i innsjøen. Dersom det skal brukes rent vann fra kommunens drikkevannsnett vil dette medføre en viss kostnad pr. m³ tilført vann. Eventuelle tilførsler fra drikkevannsnettet kan f.eks. reguleres til visse tider på året og visse tider på døgnet.

Ekstra tilførsler av rent vann vil fortynne nærings salt-konsentrasjonen i innsjøen og derved bidra til å redusere alge mengdene. Redusert alge mengde vil minske faren for fosforutlekking fra sedimentene p.g.a. høy pH og vil føre til redusert tilførsel av dødt organisk materiale til innsjøens bunnområder. Som et ekstra virkemiddel for å unngå oksygenfritt bunnvann i stagnasjonsperioder, kan en tilføre vann fra kommunens drikkevannsnett direkte til bunnvannet. Dersom temperaturen på det tilførte vannet ligger i intervallet 4-6 °C, vil det innlagres i dypvannet og øke oksygenmetningen. Dersom vann med høyere temperatur tilføres bunnvannet, vil dette ved siden av å øke oksygenmetningen også bidra til å destabilisere sjiktningen i innsjøen.

Ved avtapping av bunnvannet i innsjøen bør det legges en ledning fra dypområdene til utløpet av innsjøen. Dersom ledningen legges til det dypeste punktet må ledningen være omlag 370 meter lang. Legging av en 370 meter lang ledning med en diameter på 20 cm er av kommunen tidligere kostnadsberegnet til 170.000 kr. En ledning med mindre diameter vil trolig også ha kapasitet til å kunne ta unna en vannmengde tilsvarende naturlig avrenning fra innsjøen. Tiltaket vil redusere reservoaret av næringsstoffer i bunnvannet som kan gjøres tilgjengelig for alger ved neste sirkulasjonsperiode. En støttømming av bunnvannet med påfølgende oppfylling med rent vann kan være et aktuelt akutt-tiltak i perioder med stagnerende og oksygenfritt bunnvann.

En endret lokalisering av inntak og uttak for kjølevannsanlegget til Gimlekollen mediasenter vil trolig kunne inngås som en avtale med bedriften, eller eventuelt legges inn som en del av konsesjonsvilkårene fra Fylkesmannen. Kostnader ved tiltaket vil variere avhengig av hvilken løsning som velges. Den billigste løsningen vil trolig være å beholde dagens inntak, men forlenge utløpsledningen til dypvannet. Dersom vanninntaket skal legges til dypområdet vil vannet måtte luftes før det slippes inn på kjølesystemet for å unngå korrosjon. Bruk av kjølevannsanlegget til Gimlekollen mediasenter til å lufte bunnvannet vil trolig være et rimelig og effektivt tiltak for å øke oksygenmetningen og destabilisere sjiktningen i innsjøen.

Miljømessige konsekvenser for nedenforliggende vassdrag

I 1993-undersøkelsen inneholdt bunnvannet i Tretjønn på det meste 38 µg/l totalfosfor og 1300 µg/l totalnitrogen. Dersom en tappet ut alt vann under 6 meters dyp og antok en middelkonsentrasjon av totalfosfor og totalnitrogen på h.h.v. 40 µgP/l og 1300 µgN/l, ville dette tilsvare ca. 1,6 kg fosfor og ca. 50 kg nitrogen. Omregnet til personekvivalenter blir dette små tall, men ved en støttømming bør det vurderes å kjøre vannet inn på det kommunale kloakksystemet.

Ved kontinuerlig uttapping av bunnvann gjennom et år vil det være vanskelig å beregne næringsstofftransporten til nedenforliggende vassdrag. Konsentrasjonen i bunnvannet er høyest i stagnasjonsperiodene, men det er samtidig da avrenningen er minst. I perioden desember 1992 til august 1993 var middelkonsentrasjonen av totalfosfor og totalnitrogen i dypvannet (5 - 9,5 meter) h.h.v. 15 µgP/l og 530 µgN/l. Dersom dette var årsmiddelverdien ville transporten ut av innsjøen ved naturlig avrenning bli 3,7 kg fosfor og 130 kg nitrogen. I overflatelaget (0,5-4 meter) var middelkonsentrasjonen for perioden desember 1992 - august 1993 ca. 8,5 µg/l totalfosfor og ca. 400 µg/l totalnitrogen. Dersom dette var årsmiddelkonsentrasjonen ville transporten ut av innsjøen bli omlag 2 kg fosfor og 98 kg nitrogen ved naturlig avrenning. Økningen av næringsstofftransporten ved dykking av utløpet er derfor relativt beskjedent.

Pga. at mye av overvannet fra bebyggelsen i området går til kommunens overvannsnett vil den virkelige avrenningen og dermed næringsstofftransporten være en god del lavere enn regneeksemplene ovenfor.

Tiltakene ovenfor vil på kort sikt kunne medføre en viss økning i næringsstofftransporten ut av Tretjønn. Mengdene transportert materiale vil imidlertid være så små at det ikke vil få nevneverdige konsekvenser for trofosituasjonen nedover i vassdraget. Det vil dessuten være en viss retensjon av næringssalter på vei ned til Gillsvann. Lav oksygenkonsentrasjon i utløpsvannet vil kunne ha visse økologiske konsekvenser i den øverste delen av utløpsbekken. På lengre sikt vil avlastningstiltakene i Tretjønn redusere fosforutlekkningen fra sedimentene, slik at belastningen på nedenforliggende vassdrag vil avta.

Usikkerhet / risiko

Den alternative tiltakspakken består av relativt begrensede inngrep i innsjøsystemene. Kostnader forbundet med tiltak vil i stor grad være engangsinvesteringer, med unntak av eventuell tilførsel av rent vann fra kommunens drikkevannsnett.

Graden av suksess ved bruk av de skisserte tiltakene er avhengig av hvor store de eksterne menneskeskapte forurensningstilførslene er. Dersom disse tilførslene er lave, vil tiltakene skape varig bedre oksygenforhold i bunnvannet og derved redusere den innsjøinterne utlekkningen av næringssalter til vannmassene.

4.3. Samlet vurdering av de to tiltakspakkene

Det knytter seg en god del usikkerhetsfaktorer til sedimenttiltaket som er foreslått av Kristiansand kommune. Tiltaket er rettet mot gruntvannssedimentene, mens det trolig er dypvannssedimentene som representerer det største problemet for vannkvaliteten i Tretjønn. Ved å senke innsjøen og spyle gruntvannssedimentene ut i de dypere lagene av innsjøen vil dessuten dypvannssedimentene dekkes ytterligere av forurenset slam.

Utspyling av gruntvannssedimentene vil være vanskelig p.g.a. planter og planterøtter som binder sedimentet. En stor del av gruntvannsslammene som er tenkt spylt ut på dypt vann vil i tillegg neppe holde seg suspendert så lenge at det kan pumpes videre til Vollevika silanlegg som en vann/slam-blanding. Pumpeutstyret som er tenkt brukt er trolig ikke egnet til å suge ut slam fra selve sedimentoverflaten. Utpumping av sediment fra Tretjønn vil kunne ha negative konsekvenser for Topdalsfjorden utenfor Vollevika silanlegg ved at det tilføres næringsstoffer og store mengder organisk stoff.

Den alternative tiltakspakken er rettet inn mot å unngå oksygenfritt bunnvann og høy pH i overflatevannet, som er hovedårsakene til utlekking av næringsalter fra sedimentet. Den alternative tiltakspakken består av relativt begrensede inngrep i innsjøsystemene. Kostnader forbundet med tiltak vil i stor grad være engangsinvesteringer, med unntak av eventuell tilførsel av rent vann fra kommunens drikkevannsnett. Belastningen på nedenforliggende vassdrag ved den alternative tiltakspakken vil generelt være små.

Konklusjon:

Restaureringsmetoden som er foreslått av Kristiansand kommune har en rekke usikkerhetsfaktorer knyttet til både den praktiske gjennomføringen, avlastningseffekt og miljølemper for nedenforliggende vannforekomster. NIVA vil derfor advare mot denne.

Den alternative tiltakspakken som NIVA har foreslått, vil være relativt enkel å gjennomføre i praksis og vil ha små miljølemper for nedenforliggende vannforekomster.

5. LITTERATUR

- Andersen, D.O. (1993). Tretjønn - resipientundersøkelse 1993. ADH-vannlaboratoriet, 25 s.
- Andersen, J.M. (1975). Influence of pH on release on phosphorus from lake sediments. Arch. hydrobiol. 76, 411-419.
- Cronberg, G., Lindmark, G. og Bjørk, S. (1988). Mass development of the flagellate *Gonyostomum semen* (Raphidophyta) in Swedish forest lakes - an effect of acidification ? Hydrobiologia 161: 217-236.
- Faafeng, B. (1993a). Isesjø i Østfold. Tiltak for bedring av vannkvaliteten. NIVA-rapport, løpenr. 2929, 66 s.
- Faafeng, B. (1993b). Restaureringsstrategi for eutrofierte innsjøer. NIVA-rapport, løpenr. 2857, 73 s.
- Holtan, H. og D. Rosland. 1992. Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. SFT-veiledning nr. 92:06, TA-905/1992, 32 s.
- Holtan, H. og Åstebøl, S.O. (1990). Håndbok i innsamling av data om forurensningstilførsler til vassdrag og fjorder. Revidert utgave. NIVA / JORDFORSK-rapport, løpenr. 2509, 53 s
- Hongve, D., Løvstad, Ø. og Bjørndalen, K. (1988). *Gonyostomum semen* - a nuisance to bathers in Norwegian lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 23: 430-434.
- Mortimer, C.H. (1941/42). The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. J. Ecol. 29: 280-329 / 30: 147-201.
- Sanni, S. (1986). Utveksling av fosfat mellom sediment og vann i Årungen. Årsakssammenhenger, kvantifisering og innsjømetabolsk betydning. Limnos 1-2: 1-8.
- Skogheim, O.K. (1976). Recent hypolimnetic sediments in Lake Gjersjøen, a eutrophicated lake in SE Norway. Nordic hydrol. 7, 115-134.
- Skogheim, O.K. og Erlandsen A.H. (1984). The eutrophication of Lake Årungen as interpreted from paleolimnological records in sediment cores. Vann 4-84, 451-463.

6. VEDLEGG

6.1. Fysiske og kjemiske vannanalyser.

(analysert av ADH og rapportert av Andersen (1993)).

Temperatur, °C

	29.12.92	18.01.93	19.03.93	20.04.93	18.05.93	30.06.93	06.08.93
0,5 meter	2,3	2,7	4,7	7,1	15,9	19,7	17,7
1 meter	2,4	2,7	4,7	7,1	15,9	19,7	17,7
3 meter	3,2	2,7	4,8	7,1	15,8	16,7	17,3
4 meter	3,7	2,7	4,8	7,1	8,1	12,4	15,6
5 meter	3,7	2,7	4,8	6,7	7,2	9,2	11,3
7 meter	3,7	2,7	4,8	6,2	6,2	6,4	6,8
9 meter	3,9	2,8	4,7	5,2	5,9	6,3	6,4

O₂-metning (%)

	29.12.92	18.01.93	19.03.93	20.04.93	18.05.93	30.06.93	06.08.93
0,5 meter	108,8	82,3	99,2	103,7	120,4	107,8	103,8
1 meter	109,3	82,2	98,9	103,5	121,6	107,8	104,8
3 meter	90,9	81,9	98,7	103,6	121,3	101,6	94,3
4 meter	82,3	81,6	102,3	103,1	110	93,8	27,1
5 meter	74,8	81,6	99,3	99,3	47,1	13,7	0
7 meter	57,2	81,6	98,6	90	29,5	0	0
9 meter	43	80,8	98,4	84,7	12,9	0	0

Total fosfor (µP/l)

	29.12.92	18.01.93	19.03.93	20.04.93	18.05.93	30.06.93	06.08.93
0,5 meter	6	5	8	11	9	8	6
1 meter	7	6	9	14	7	8	7
3 meter	9	6	7	11	8	10	7
4 meter	7	6	6	10	15	18	13
5 meter	8	7	6	11	9	29	18
7 meter	15	8	8	13	8	28	29
9 meter	11	8	7	12	13	38	33

Fosfat ($\mu\text{gP/l}$)

	29.12.92	18.01.93	19.03.93	20.04.93	18.05.93	30.06.93	06.08.93
0,5 meter	5,5	3,5	5	2	3	2	1
1 meter	5,5	3	4	3	1	2	1
3 meter	6	3	4	3	1	2	1
4 meter	4,5	5	5	3	3	2,5	2
5 meter	5,5	3	4	3	2	5,5	2
7 meter	13,5	3,5	4	4	1	3,5	3
9 meter	8	5	4	3	2	5,5	3

Tot-nitrogen ($\mu\text{gN/l}$)

	29.12.92	18.01.93	19.03.93	20.04.93	18.05.93	30.06.93	06.08.93
0,5 meter	321	405	591	484	300	266	290
1 meter	404	413	576	484	310	263	288
3 meter	416	416	635	488	330	282	277
4 meter	412	427	524	484	390	346	328
5 meter	404	424	524	484	430	448	381
7 meter	408	424	563	493	430	950	582
9 meter	387	413	563	491	480	1300	

Nitrat ($\mu\text{gN/l}$)

	29.12.92	18.01.93	19.03.93	20.04.93	18.05.93	30.06.93	06.08.93
0,5 meter	165	225	242	254	10	2	2
1 meter	171	231	248	235	7	2	2
3 meter	171	226	239	230	7	2	2
4 meter	165	219	242	233	20	2	2
5 meter	157	225	242	247	80	2	2
7 meter	149	209	242	230	110	2	2
9 meter	121	218	242	223	100	2	2

Ammonium ($\mu\text{gN/l}$)

	29.12.92	18.01.93	19.03.93	20.04.93	18.05.93	30.06.93	06.08.93
0,5 meter	2	41	56	5	15	21	2
1 meter	2	33	53	8	12	23	2
3 meter	2	36	49	2	13	15	2
4 meter	8	33	58	2	8	23	2
5 meter	25	39	53	2	17	19	92
7 meter	52	39	46	2	154	673	43
9 meter	107	39	56	29	273	1000	772

Turbiditet (FTU)

	29.12.92	18.01.93	19.03.93	20.04.93	18.05.93	30.06.93	06.08.93
0,5 meter	3,1	2,8	2,4	2	2,3	2,3	2,5
1 meter	3,1	2,6	2,5	2	2,2	2,5	2,5
3 meter	3,4	2,8	2,8	2	2,3	3,1	2,5
4 meter	3,5	3	3,1	2,1	3	6,3	4,2
5 meter	3,5	2,9	2,5	2,2	2,7	10,5	5,4
7 meter	3,5	3	2,5	2	1,8	4,2	11
9 meter	3,7	2,9	2,6	2	2,4	4,3	11

Tot. org. karbon (mC/l)

	29.12.92	18.01.93	19.03.93	20.04.93	18.05.93	30.06.93	06.08.93
0,5 meter	13,2	10,1	10,4	9,3	11,9	15,7	14,7
1 meter	12,3	10	7,3	8,7	12,8	16,6	15,1
3 meter	11,1	9,3	9,7	9,9	12,5	15,9	14,7
4 meter	11,6	8,4	7,3	9,5	10,1	15,3	12,1
5 meter	10,2	10,4	11,3	9,6	9,4	17,2	13,8
7 meter	11,6	8,6	11,8	8,8	7,4	10,3	12,6
9 meter	11	8,2	10,5	9,7	7,3	10,5	13,5

Klorofyll a ($\mu\text{g/l}$)

	29.12.92	18.01.93	19.03.93	20.04.93	18.05.93	30.06.93	06.08.93
0,5 meter							
1 meter				20,6	25,7	10,6	
3 meter				20,9	34,5	13,6	
4 meter							
5 meter							
7 meter							
9 meter							

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69 Korsvoll, 0808 Oslo
Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2395-9