



O-91043

UNDERSØKELSER AV VANNKVALITETEN I
BOLKESJØ (BOKKE) 1991
OG EN VURDERING AV
RESIPIENTKAPASITETEN

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.:	Undernr.:
O-91043	
Løpenr.:	Begr. distrib.:
2716	

Hovedkontor	Sørlandsavdelingen	Østlandsavdelingen	Vestlandsavdelingen	Akvaplan-NIVA A/S
Postboks 69, Korsvoll	Televeien 1	Rute 866	Breviksen 5	Søndre Tollbugate 3
0808 Oslo 8	4890 Grimstad	2312 Ottestad	5035 Bergen - Sandviken	9000 Tromsø
Telefon (47 2) 23 52 80	Telefon (47 41) 43 033	Telefon (47 65) 76 752	Telefon (47 5) 95 17 00	Telefon (47 83) 85 280
Telefax (47 2) 95 21 89	Telefax (47 41) 44 513	Telefax (47 65) 78 402	Telefax (47 5) 25 78 90	Telefax (47 83) 80 509

Rapportens tittel:	Dato:	Trykket:
Undersøkelser av vannkvaliteten i Bolkesjø (Bokke) 1991 og en vurdering av resipientkapasiteten.	20. mars 1992	NIVA 1992
	Faggruppe:	
	Vassdrag	
Forfatter(e):	Geografisk område:	
Pål Brettum	Telemark	
	Antall sider:	Opplag:
	40	50

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):
Notodden kommune, teknisk etat	

Ekstrakt:

Bolkesjø (Bokke) er en sur, humøs innsjø. I 1991 ble det foretatt fysisk-kjemiske, biologiske og bakteriologiske undersøkelser av vannmassene for å vurdere vannkvaliteten. Undersøkelsene viste at vannkvaliteten var god og at vannmassene var oligotrofe, det vil si næringsfattige. Også de bakteriologiske undersøkelsene viste at vannmassene ut fra et sanitærhygienisk synspunkt var meget gode. I tillegg til vannkvalitetsundersøkelsene ble det, på grunnlag av analyseresultatene foretatt en resipientkapasitetsvurdering av vannmassene i innsjøen for mottak av en eventuell økt belastning på det kommunale rensenanlegget. Med dagens rensing ligger kloakkbelastningen innenfor innsjøens resipientkapasitet. Belastningen bør ikke økes, da det er liten sikkerhetsmargin før en negativ utvikling kan forventes.

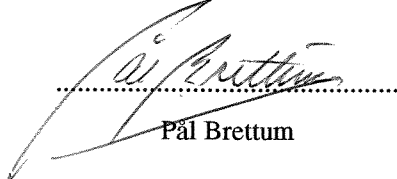
4 emneord, norske

1. Notodden kommune
2. Bolkesjø
3. Vannkvalitet
4. Resipientundersøkelser

4 emneord, engelske

1. Notodden
2. Lake Bolkesjø
3. Water quality
4. Recipient surveillance

Prosjektleder


Pål Brettum

For administrasjonen


Dag Berge

ISBN 82-577-2075-5

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

O-91043

UNDERSØKELSER AV VANNKVALITETEN I BOLKESJØ (BOKKE) 1991
OG
EN VURDERING AV RESIPIENTKAPASITETEN

Oslo, 20. mars 1992

Saksbehandler: Pål Brettum

INNHOOLD

1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	3
2. INNLEDNING	5
2.1 Bolkesjø og nedbørfeltet	5
2.2 Målsetting og undersøkelsesprogram.....	9
3. RESULTATER OG DISKUSJON	10
3.1 Nedbør- og temperaturforholdene i området.....	10
3.2 Tilførsler av avløpsvann til Bolkesjø og renseseffekt ved Bolkesjø renseanlegg	10
3.3 Fysisk-kjemiske forhold	13
3.3.1 Siktedyp og temperatur.....	13
3.3.2 Oksygen.....	16
3.3.3 pH, konduktivitet, turbiditet og farge	17
3.3.4 Næringssalter; fosfor og nitrogen	19
3.4 Planteplankton og klorofyll	23
3.4.1 Planteplankton.....	23
3.4.2 Klorofyll.....	25
3.5 Bakteriologiske forhold.....	26
4. VURDERING AV MULIGHETER FOR EVENTUELL ØKT BELASTNING PÅ BOLKESJØ AV AVLØPSVANN FRA RENSEANLEGGET.....	30
5. LITTERATUR	33

1. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Bolkesjø (Bokke) ble undersøkt gjennom perioden mars-oktober 1991 for å gi en beskrivelse av vannkvaliteten. Oppdraget er utført for Notodden kommune, Teknisk etat. Kommunen ønsket også å få en vurdering av innsjøen som resipient for mottak av avløpsvann fra kommunalt kloakkrenseanlegg. En slik vurdering er gitt.

Bolkesjø har et overflateareal på 0,47 km² og et nedbørfelt på 14,5 km². Den har et største dyp på 60m og en teoretisk oppholdstid på 420 døgn = 1,17 år. Innsjøen har avløp via Nauståa til Follsjå, som er vurdert som fremtidig drikkevannskilde for større befolkningskonsentrasjoner (Notodden og omegn). Vannmassene i Bolkesjø er sterkt humuspåvirket. Befolkning og aktiviteter i nedbørfeltet er i dag konsentrert til området nordøst for innsjøen. Den største belastningen på renseanlegget ved Bolkesjø kommer som avløpsvann fra Bolkesjøhotellene A/S.

De fysisk-kjemiske analysene viste verdier som en forbinder med sure, humuspåvirkete og oligotrofe (lite næringsrike) innsjøer. Sammenlignet med analyseresultater fra tidligere undersøkelser, særlig 1983 og 1987, var fosforkonsentrasjonene i 1991 betydelig mindre, noe som viser at det nye renseanlegget (1986) har hatt en god effekt på rensingen av fosfor. Ut fra de sparsomme observasjoner som finnes fra tidligere undersøkelser, kan det se ut som om nitrogeninnholdet, og særlig nitratinnholdet har økt noe. Dette kan henge sammen med en generell økning gjennom forurenset nedbør, men også at renseanlegget i mindre grad fjerner nitrogen fra avløpsvannet.

Sammensetning og mengde av planteplankton som ble registrert gjennom vekstsesongen 1991, viser, på samme måte som de kjemisk-fysiske analysene at vannmassene i Bolkesjø må betegnes som oligotrofe. Det ble ikke registrert arter som indikerer en eutrofierende utvikling i innsjøen.

Sanitær bakteriologisk har det skjedd en kraftig bedring av vannmassene i Bolkesjø sammenlignet med de analyseresultatene en har fra 1987. Det ble i 1991 bare ved to måletidspunkter registrert koliforme bakterier (37°C) i hovedvannmassene; 2 pr. 100 ml den 17. juni og 3 den 6. august. 6. august ble registrert 1 termotolerant koliform bakterie (44°C) pr. 100 ml, ellers ble slike bakterier ikke registrert ved analysene i 1991. Vurdert mot sanitær bakteriologiske vannkvalitetskriterier som er gitt for drikkevannskvalitet i råvann, tilfredsstillende Bolkesjø's vannmasser i dag praktisk talt vilkårene for god drikkevannskvalitet (klasse 1). I 1987 viste tilsvarende analyser en råvannskvalitet i klasse 2-3, det vil si uegnet som råvann for drikkevann.

Resipientkapasiteten i Bolkesjø er vurdert ut fra beregninger gjort ut fra forholdene i 1991. Øvre akseptable fosfortilførsel til Bolkesjø er beregnet til 98,2 kg P. Belastningen i 1991 ble beregnet å

være 95,3 kg P. Av dette utgjør belastningen fra renseanlegget i dag 5,7 kg P. Dette gir, ut fra forutsetningen om samme renseeffekt som i 1991, en mulighet til å øke belastningen på innsjøens vannmasser via avløpsvannet fra renseanlegget og diffus avrenning på omtrent 3 kg P pr. år før en når øvre akseptable nivå for fosforbelastning av innsjøen.

Ved dagens rensegrad på 97% skulle i utgangspunktet belastningen i renseområdet kunne økes med omkring 150 p.e. Imidlertid er det i dag bare 49% av avløpsvannet som når renseanlegget. Omkring halvparten av avløpsvannet blir å betrakte som diffus avrenning. Hvor mye av fosforet i dette avløpsvannet som når innsjøen er det ikke mulig å si, men den kan være relativt høy.

Ved lavere rensegrad, f.eks. 95%, vil belastningen fra renseanlegget øke fra 5.7 til 9.5 kg P, altså mer enn den beregnede ledige kapasitet på 3 kg P. Dette betyr at det ikke vil være rom for utvidelse ved denne rensegraden.

Tilsvarende vil den ledige kapasitet på 3 kg P bli borte dersom tilførselsgraden til renseanlegget (ledningsnett) økes fra 49% til 75%.

Med den sikkerhetsmargin som en bør legge i systemet vil dette si at det ut fra dagens forhold ikke er tilrådelig å øke belastningen på renseanlegget med avløpsvann fra flere personer.

2. INNLEDNING

2.1 Bolkesjø og nedbørfeltet

Bolkesjø (320 m o.h.) og dets nedbørfelt ligger i grunnfjellsområdet, med granitter og gneiser som er sure og tungt løselige bergarter. Et tynt lag av løsmasser i form av morenemasse dekker deler av nedbørfeltet.

Innsjøen har avløp via Nauståa til Follsjå, som er vurdert som fremtidig drikkevannskilde. Øvre delene av nedbørfeltet består av snaufjell og for en stor del myrområder. Snaufjellsområdene utgjør 20-25% av hele nedbørfeltet. Det tynne løsmasselaget og de tungtløselige bergartene gir liten utvasking av salter. Vannmassene har derfor en liten bufferkapasitet. Tilførsler gjennom sur nedbør og utvasking fra myrområdene gjør vannmassene sure og humusinnholdet er stort.

I nedbørfeltet ligger to store hoteller, Gran og Bolkesjø, som i dag går under betegnelsen Bolkesjøhotellene A/S. Hotellene har siden 1986 utvidet bruksarealet i området med ca 200 da til hotell- og forretningsformål, men dette har pr. i dag ikke gitt økte belastninger på innsjøen. Av opplysninger gitt i "Utslippssøknad for Tinnåa med sidevassdrag. Del 5: Bolkesjø" utarbeidet av ingeniør Vidar Tveiten A/S i 1986, har Bolkesjø hotell et normalt belegg på 350 gjester og et maks. belegg på 430 med et gjennomsnittsbelegg på årsbasis på 50%. Gran hotell har et normalt belegg på 160 gjester og et maks. belegg på 200 med et gjennomsnittsbelegg på årsbasis på 30%. Hotellene har samlet en fastboende betjening på 100 personer, og en ikke fastboende betjening på omkring 70 personer. I området ligger det fire gårdsbruk som drenerer til Bolkesjø hvorav tre er i daglig drift. Disse tre har tilsammen ca 140 da dyrket mark som benyttes til grasproduksjon. I 1986 besto husdyrholdet på disse gårdene av 14 storfe og 23 vinterforete sau. Det fjerde bruket, med 5 da engmark, er regulert til boligformål. Utenom hotellene bor det ca 75 personer i området. Bosetningen er konsentrert i området rundt hotellene og ved riksvei 37. Hotellene og den omkringliggende bebyggelse blir forsynt av et kommunalt vannverk, Bolkesjø vannverk, som benytter Replitjønn som kilde.

Som det fremgår av opplysningene ovenfor er det hotellene som i dag representerer den største belastningen på renseanlegget ved Bolkesjø. Nytt renseanlegg ble bygget i 1986. Det er et mekanisk/kjemisk fellingsanlegg (primærfelling) og er dimensjonert for 700 p.e., men kan ta i mot korttidsbelastninger tilsvarende 1200 p.e.

I figur 1 er gitt en kartskisse av Bolkesjø og dens nedbørfelt. Bolkesjø har avløp via Nauståa til Follsja. Bjøru og Brandtzæg (1990) utførte grundig opplodding og beregning av dybdeforholdene i Bolkesjø i 1987.

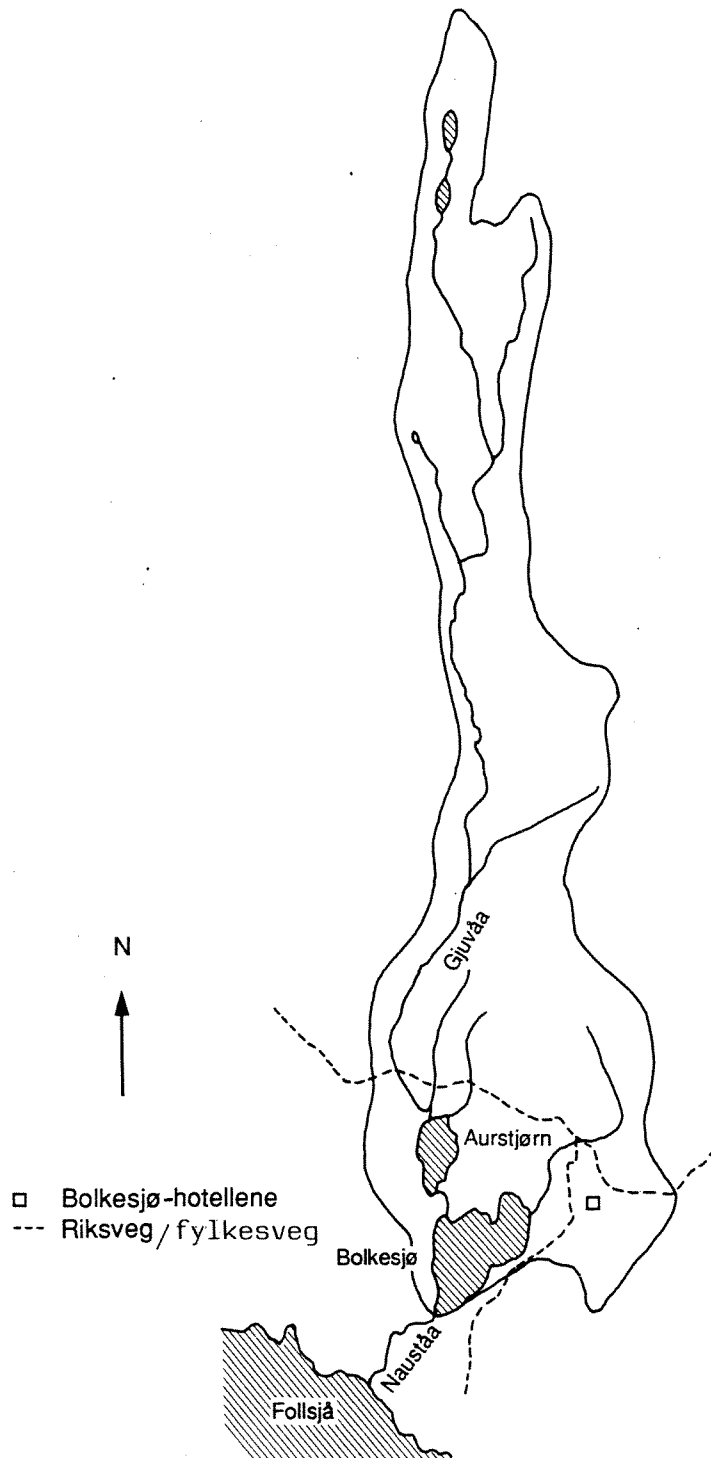


Fig. 1 Kartskisse over Bolkesjø og dens nedbørfelt

Dybdekartet i figur 2 er tatt fra deres rapport. Prøvetakingsstasjonen for prøvetakingen i 1991 er tegnet inn på kartet. I samme figur er også tegnet inn den hypsografiske kurve for innsjøen, det vil si areal- og volumkurve. Forøvrig er en del morfometriske og hydrologiske data for Bolkesjø sammenstilt i tabell 1.

**Tabell 1 Morfometriske og hydrologiske data for Bolkesjø
(De fleste data tatt fra Bjøru og Brandtzæg 1990)**

Innsjøens beliggenhet	Notodden kommune, Telemark
Høyde over havet	320 m
Areal nedbørfelt totalt	14,5 km ²
Overflateareal av Bolkesjø	467990 m ² = 0,47 km ²
Største målte dyp	60 m
Middeldyp	20,36 m
Volum	9528000 m ³
Tilrenning i året	8118144 m ³
Tilrenning fra renseanlegg 1991	39650 m ³
Samlet tilrenning i 1991	8157794 m ³
Teoretisk oppholdstid	420 døgn = 1,17 år

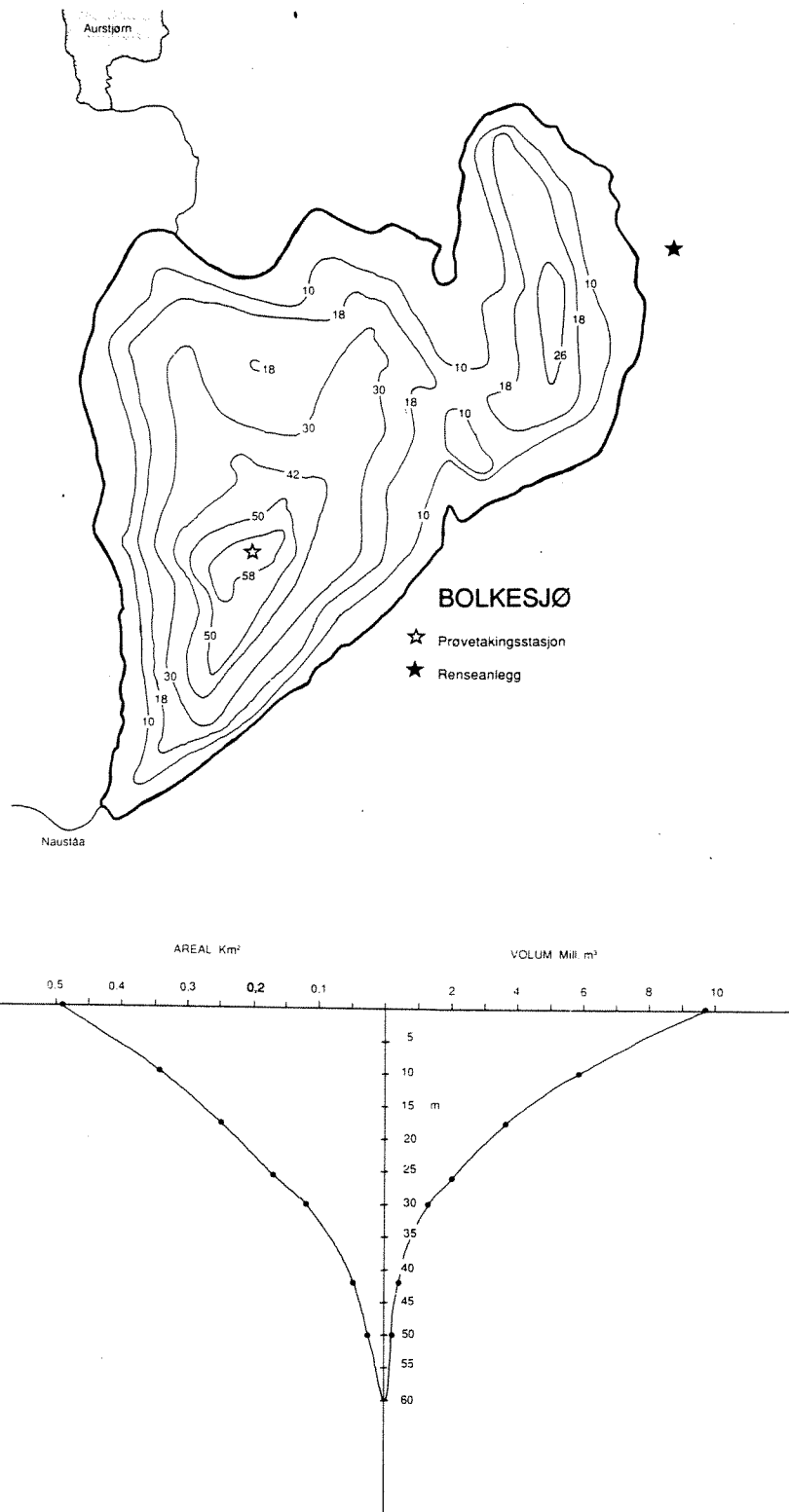


Fig. 2 Dybdekart med tilhørende areal- og volumkurve for Bolkesjø.

2.2 Målsetting og undersøkelsesprogram

Målsettingen med undersøkelsen av Bolkesjø (Bokke) i 1991 har vært, på grunnlag av analyse av innsamlete vannprøver fra innsjøen, å foreta en beskrivelse av vannkvaliteten. Videre har målsetningen vært å vurdere Bolkesjø's kapasitet som resipient for ytterligere tilførsler av avløpsvann fra planlagte utbygningssområder i nedbørfeltet og hvilke betingelser som eventuelt må oppfylles for at en slik økning ikke skal føre til negative følger for vannkvaliteten i innsjøen.

Undersøkelsesprogrammet omfattet prøvetaking på i alt 7 prøvetakingstidspunkter fordelt med 6 observasjoner i sommerhalvåret og en observasjon om vinteren. Prøvene var i hovedsak blandprøver av vannmassene i de øverste 6 m og analyseprogrammet omfattet analyse av pH, konduktivitet, turbiditet, farge, totalfosfor, fosfat, totalnitrogen og nitrat. Parallelt ble samlet inn prøver for kvantitative analyser av planteplanktonmengde og -sammensetning og klorofyll. Ved alle tidspunkter ble siktedyp målt og det ble gjennomført temperaturmålinger i ulike dyp ned til 20 m dyp på de fleste tidspunktene og ned til 50 m dyp ved to prøvetakingstidspunkter, 25. mars og 20. august.

På disse to tidspunktene ble det i tillegg samlet inn og analysert på kjemiske parametre i prøver samlet fra ulike dyp ned til 50 m dyp. Fra samme dyp ble det også samlet inn prøver for analyse av oksygeninnhold.

Ved hvert prøvetakingstidspunkt ble det samlet inn bakteriologiske prøver fra 2 m dyp. På enkelte tidspunkt ble det også analysert på bakteriologiske prøver samlet i utløpet. Ved vurderingen av vannkvaliteten i Bolkesjø i dag, og den utvikling som har skjedd, er resultatene for 1991 sammenstilt med det som har vært tilgjengelig av analyseresultater fra tidligere undersøkelser i innsjøen.

Dette har vært NIVA-rapporter fra 1970, 71, 72, og undersøkelser ved Telemark Distriktshøgskole utført av Alvdis Roulund i Bolkesjø i 1982. Videre upubliserte analysedata av analyser utført ved NIVA for 1983 og hovedoppgave ved Telemark Distriktshøgskole utført av Bjøru og Brandtzæg i Bolkesjø i 1987.

3. RESULTATER OG DISKUSJON

3.1 Nedbør- og temperaturforholdene i området

I figur 3 er stilt opp månedssummer av nedbør i 1991 for den meteorologiske målestasjonen på Kongsberg (data fra Meteorologisk institutt). I samme figur er også vist månedsmiddel for lufttemperatur fra samme stasjon. For begge parametre er det tatt med normalverdien for området.

Som det fremgår av figuren var det i området største delen av vekstsesongen mai-oktober nedbørmengder godt under det normale. Bare i juni kom det en del mer nedbør enn normalt. Årssummen for nedbør i 1991 var 641 mm, mens normalen for denne stasjonen er 807 mm, noe som viser at det også på årsbasis var betydelig mindre nedbør i området i 1991 enn normalt.

Ser en på lufttemperaturen viser denne at ettervinteren og våren (mars-april) tildels var betydelig mildere enn normalt. Også det meste av vekstsesongen mai-oktober hadde middeltemperaturer over det normale, med unntak av juni. Dette henger sannsynligvis sammen med at det denne måneden var markert mer nedbør enn normalt, noe som fører til avkjøling av luftmassene.

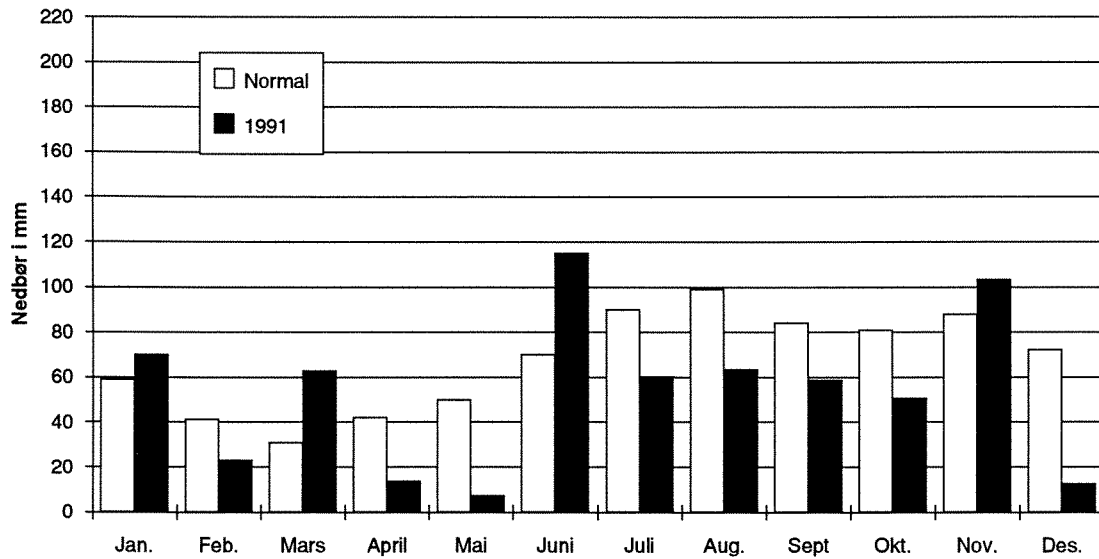
3.2 Tilførsler av avløpsvann til Bolkesjø og renseeffekt ved Bolkesjø renseanlegg

Som nevnt tidligere ble nytt renseanlegg med mekanisk/kjemisk felling (primærfelling) bygget i 1986 for avløpsvann til Bolkesjø. Nedenfor er gitt den gjennomsnittlige renseeffekten av fosfor, organisk stoff og suspendert stoff i renseanlegget ut fra data mottatt fra Teknisk etat, Notodden kommune. Tallene for gjennomsnittlig prosentvis renseeffekt baserer seg på jevnlig målinger gjennom året av innholdet for de nevnte parametre i vann som kommer inn til anlegget og vann som forlater anlegget til innsjøen etter rensing. For fosfor er benyttet data for 1991, for organisk stoff og suspendert stoff for 1990, da man midt i sesongen 1991 startet en annen metode for beregninger enn tidligere.

Tabell 2 Renseeffekt på renseanlegget ved Bolkesjø i prosent

	Totalfosfor	Organisk stoff	Suspendert stoff
Gjennomsnitt	97	78	95
Maksimum	99	92	99
Minimum	95	68	90

Månedssummer for nedbør 1991



Månedsmiddel for luft-temperatur 1991

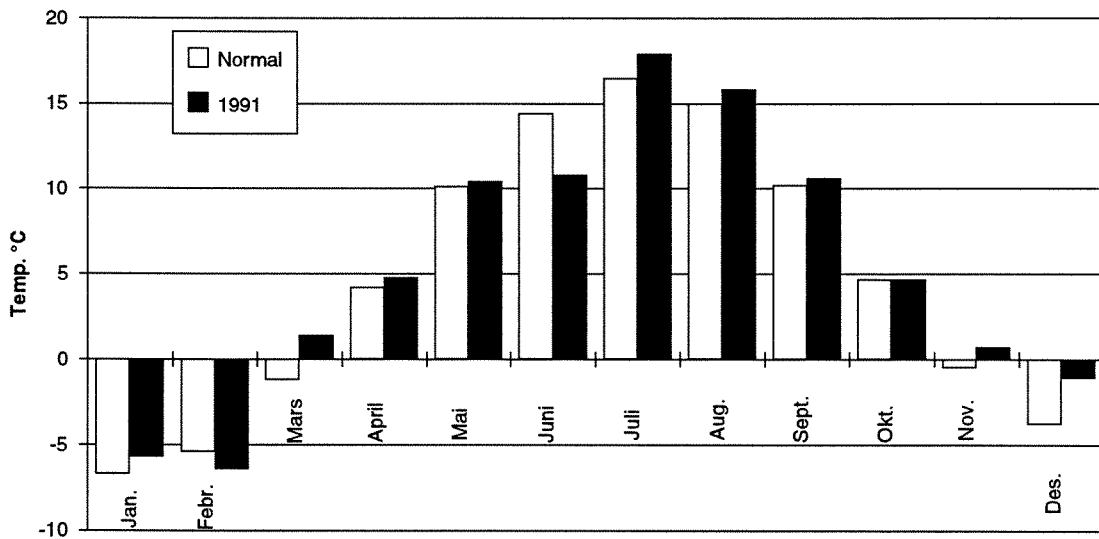


Fig. 3 Månedssum for nedbør og månedsmiddel for temperatur, sammen med normalen, på Kongsberg meteorologiske målestasjon i 1991.

Som tallene i tabellen viser har renseanlegget i 1991 hatt en meget god renseeffekt på avløpsvannet. En effekt for fosfor på 97% og for suspendert stoff på 95% betegner et veldrevet og godt anlegg. Renseeffekter på organisk stoff på 78% må også betegnes som godt, selv om en tilkopling til anlegget av et biologisk rensetrinn ville kunne øke effekten på denne parameteren ytterligere.

Avløpsvannet fra renseanlegget tilføres vannmassene i Bolkesjø på ca 14 m dyp, altså godt under sprangsjiktet som ligger i området 4-7 m (se kap. 3.3.1).

I 1991 ble det tilført Bolkesjø's vannmasser i alt $39650 \text{ m}^3 \approx 40000 \text{ m}^3$ rensset avløpsvann via renseanlegget. Dette inneholdt i gjennomsnitt:

Fosfor:	142 mg P/m ³	(snitt av målinger i 1991)
Organisk stoff:	63000 mg/m ³	(snitt av målinger i 1990)
Suspendert stoff:	9600 mg/m ³	(snitt av målinger i 1990)

som gir en tilførsel til Bolkesjø's vannmasser i 1991 på:

Fosfor:	5,7 kg P
Organisk stoff:	2520 kg
Suspendert stoff:	384 kg

3.3 Fysisk-kjemiske forhold

3.3.1 Siktedyp og temperatur

Siktedyp

Siktedypet er et grovt mål på lysgjennomtrengeligheten i vannet. Stort partikkelinnhold som ved stort innhold av planktonalger, breslam og erosjonspartikler vil redusere siktedypet kraftig, det samme vil stort humusinnhold. I humuspåvirkete innsjøer vil siktedypet normalt variere i stor grad med nedbøren med en viss forsinkelse avhengig av mengde nedbør og jordsmonnets metning av vann. Stor nedbør fører mye humus til innsjøen fra nedbørfeltet sammen med erosjonspartikler og dermed nedsettes sikten. I tørrere perioder vil det være mindre tilførsel fra nedbørfeltet og en del sedimentering i innsjøen, og dermed større siktedyp, særlig gjelder dette sommer-høstperioder. Figur 5 viser variasjonene i siktedyp i årene 1982, 1983, 1987 og 1991.

Juni var den mest nedbørrike måned i 1991, og således burde siktedypet bli mindre enn hva som ble målt i mai, da det omtrent ikke falt nedbør hele måneden. Antakelig har avsmeltningen i nedbørfeltet hatt størst innvirkning på siktedypet, med stor avsmelting og tilførsel i mai. Dette har påvirket siktedypet i større grad enn den nedbøren som falt før prøvetakingstidspunktet i juni.

Figuren viser videre at det i 1982 var siktedyp mellom 3 og 4 m i perioden juni-august, mens det i 1987 var betydelig mindre siktedyp. I overgangen juli-august 1987 var siktedypet helt nede i 1,90 m. Sammenligner en med nedbørdata fra Meteorologisk Institutt, viser disse at det i 1982 i juni, juli og august, og særlig i juni, var nedbør langt under det normale, mens det i 1987 tildels var kraftig over normalen i sommermånedene.

Med de algemengder som er registrert i Bolkesjø (se klorofyllverdier avsnitt 3.4.2) har algene liten innvirkning på siktedypet, slik at det i første rekke er humus og erosjonspartikler som påvirker sikten.

Temperatur

Parallelt med innsamling av prøver for fysisk-kjemiske analyser ble det utført målinger av vanntemperaturen i ulike dyp. Ved to av datoene, 21. mars og 20. august, ble det målt ned til 50 m dyp, de andre datoene ned til 20 m dyp. Målingene er vist i tabell 4 (vedlegg) og figur 5.

Normalt vil dype innsjøer ha en ganske stabil sjiktning om sommeren med varmere vann i overflaten og de øverste vannlag, og kaldere bunnvann, og med en mer eller mindre markert mellomsone,

sprangsjiktet, der temperaturen synker raskt over en kort vertikalavstand. Dess mer markert dette sprangsjiktet er, jo mindre utveksling vil det være mellom vannmassene over og under sprangsjiktet.

Som figuren viser var vårsirkulasjonen ferdig før målingene 21. mai, og målingene viser at en sjiktning av vannmassene da var startet. Alle målingene fra sommer- og tidlig høst viser en markert sjiktning med et sprangsjikt rundt 4-7 m dyp. Ved målingene fra 15. oktober var ennå ikke høstsirkulasjonen kommet i gang. Vannmassene i overflatelagene hadde da en temperatur på 9°C, men sjiktningen var på vei til å brytes ned. Høstsirkuleringen kom sent i 1991. I det hele tatt ser det ut som om fine værforhold med stor innstråling og relativt rolige vindforhold samt liten nedbør ga kraftig sjiktning av vannmassene dette året det meste av sommer- og høstsesongen. Det veletablerte sprangsjiktet store deler av vekstsesongen førte til at det var liten utveksling mellom de noe næringsrikere dyplagene i hypolimnion og lyslagene i epilimnion der algeveksten foregår.

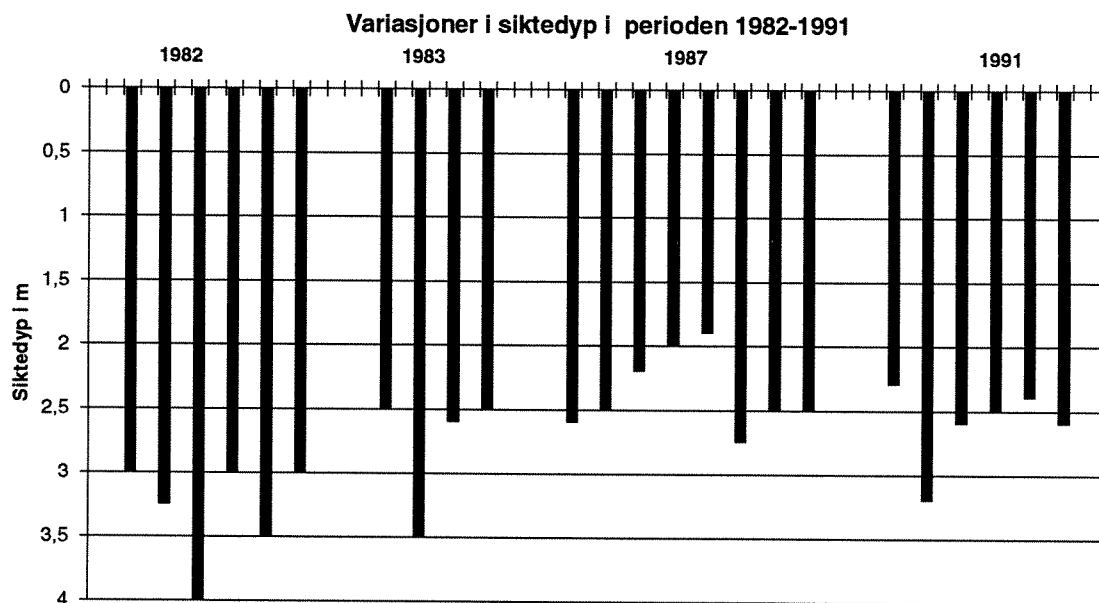


Fig. 4 Variasjoner i siktedyp i Bolkesjø i perioden 1982-1991.

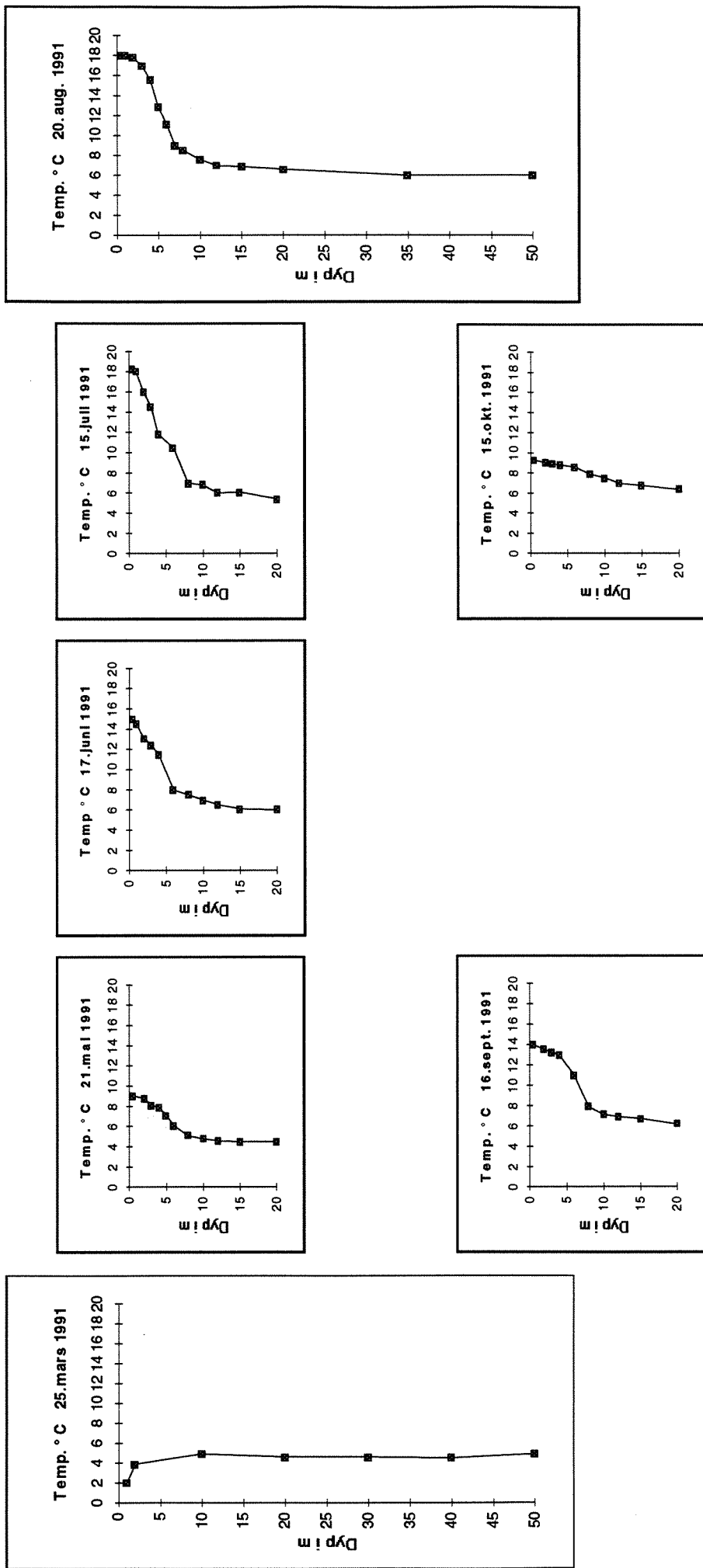


Fig. 5 Vertikalvariasjoner i temperatur i Bolkesjø ved ulike tidspunkter i 1991.

3.3.2 Oksygen

Oksygenmålinger ble foretatt ved to tidspunkter i 1991, 25. mars, mens isen lå på innsjøen, og 20. august, da sjiktningen av vannmassene ble antatt å være størst, altså i situasjonen for vinter- og sommerstagnasjon.

Måleresultatene for oksygeninnholdet og metningsprosenten for oksygen ved disse to datoene er gitt i tabell 5 (vedlegg) og figur 6. Som figuren viser var det 25. mars under 50% metning av oksygen under ca 35 m dyp, og i 50 m dyp var det en metning på bare 15% på dette tidspunktet. Dette er en betydelig reduksjon selv om den ikke er alarmerende, da en må regne med en sterk reduksjon av oksygeninnholdet i en så humuspåvirket sjø som Bolkesjø er.

Ved målingen 20. august var det bare under ca 40-45 m dyp det ble registrert mindre enn 50% metning, med minimum på 50 m dyp med 40% metning. I overflatelagene ble det målt henholdsvis 84 og 89% metning de to datoene. At det ikke ble målt større metning i disse vannlagene i august kan nok skyldes, som antydnet hos Bjøru og Brandtzæg (1990), at det var stor tetthet av dyreplankton i forhold til planteplankton (respirasjon). Riktignok ble dyreplanktonforholdene ikke undersøkt ved den foreliggende undersøkelse, men det er vanlig at dyreplanktonet har en større biomasse i forhold til planteplanktonet i humøse sammenlignet med mindre humøse innsjøer. Viktigste årsak til det relativt lave oksygeninnholdet i de øvre vannsjikt ligger i at det store humusinnholdet fører til større bakteriell virksomhet og oksygenforbruk ved nedbrytning.

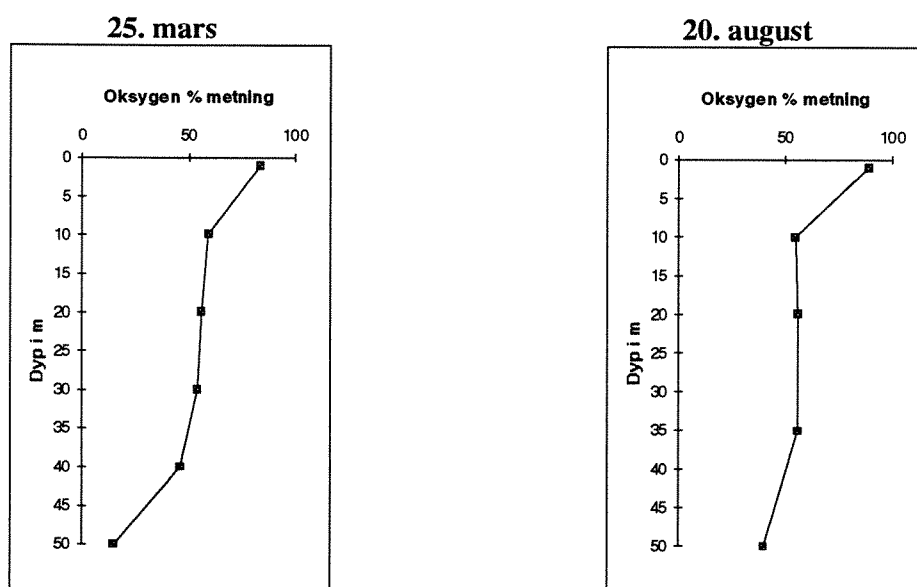


Fig. 6 Oksygenmetninger i Bolkesjø 25. mars og 20. august 1991

3.3.3 pH, konduktivitet, turbiditet og farge

Analyseresultatene for 1991 for pH, konduktivitet, turbiditet og farge er sammenstilt i tabell 6 fra blandprøvene og tabell 7 for vertikalseiene 25. mars og 20. august (vedlegg). I figur 7 er sammenstilt resultatene av de målinger fra Bolkesjø som er utført i perioden 1970-1991 for disse parametrene for sammenligningens skyld. Analysene for 1991 er utført etter Norsk standard (NS).

pH

Som figur 7 og tabell 6 (vedlegg) viser lå pH i Bolkesjø i 1991 mellom 5,03 og 5,40. Dette viser at vannmassene er sure, noe som ikke er urimelig i et så humuspåvirket vann. Ser en på de målingene som er tilgjengelig fra tidligere ser det ut som om pH hele perioden har variert mellom 5 og 5,5, uten at en kan registrere noen ytterligere effekt på pH-målingene av eventuell økt forsuring i perioden, med forbehold i det sparsomme observasjonsmaterialet fra 1970-årene.

Konduktivitet

Konduktiviteten (spesifikke elektrolyttiske ledningsevne), som er et mål på vannets innhold av løste ioner, vil reflektere geologiske forhold i nedbørfeltet og også menneskelige aktiviteter. Dessuten vil nedfall fra sur nedbør kunne påvirke konduktiviteten, særlig gjennom økt nitrogeninnhold og H⁺-ioner. Variasjonene i konduktivitet i Bolkesjø i perioden 1970-91 er vist i figur 7 og analyseverdiene for 1991 i tabell 6 (vedlegg). Konduktiviteten vil variere naturlig gjennom sesongen avhengig av vannføringen, det vil si nedbørforholdene og avsmelting i nedbørfeltet. I store trekk kan det virke som om konduktiviteten har økt noe gjennom perioden fra i hovedsak rundt 1,5-1,6 µS/m i 1982 og delvis også i 1970-årene til mellom 2 og 2,5 i den senere perioden. Dette kan blant annet skyldes større nitrogeninnhold som følge av økt sur nedbør, selv om forsuringen ikke ble registrert i pH-verdiene. Imidlertid ligger verdiene i hele perioden innenfor de verdier som en må forvente i denne type av næringsfattige, humuspåvirkete innsjøer.

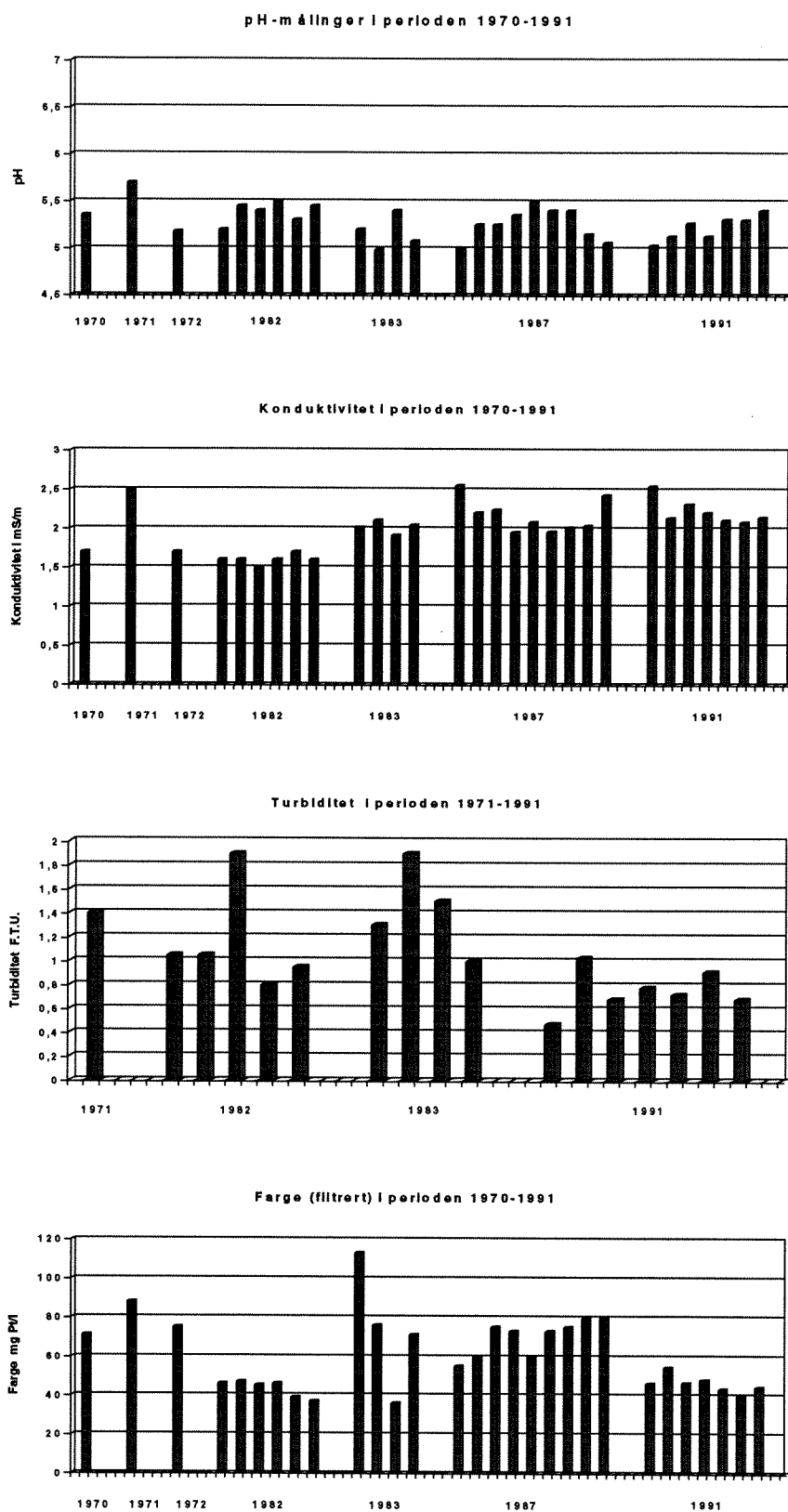


Fig. 7 Målinger av pH, konduktivitet, turbiditet og farge i Bolkesjø i perioden 1970-1991.

Turbiditet

Turbiditeten er et mål på vannets "grumsethet" og er hovedsakelig bestemt av partikulært materiale i vannmassene. Registrerte observasjoner for turbiditet i Bolkesjø i perioden 1971-91 er vist i figur 7 og analyseresultatene for 1991 er gitt i tabell 6 (vedlegg).

Figuren viser at turbiditeten i gjennomsnitt var noe lavere i 1982 enn for de første observasjonene i 1983. Dette avspeiler nok i første rekke avrenningsforholdene til Bolkesjø. Sammenligner en imidlertid verdier fra 1982, som var en svært tørr sommer, med 1991, som også i store trekk var forholdsvis nedbørfattig, synes det som om partikkelinnholdet var lavere jevnt over i 1991. En årsak kan være bedre renseeffekt på renseanlegget og dermed mindre tilførsler til vannmassene av partikler fra avløpsvann.

Farge

Vannets egenfarge (målt som mg Pt/l) er en verdi for å karakterisere vannets innhold av humus. Ofte er fargen korrelert til prøvens innhold av organisk materiale (humus) og metallene jern og mangan. Suspendert materiale vil påvirke vannets farge, derfor er fargeverdiene gitt ut fra målinger av filtrerte vannprøver. I Bolkesjø er det humusinnholdet som i alt vesentlig bestemmer fargen, og denne varierer med nedbørforholdene, slik at fargeverdiene normalt er størst når det er stor tilførsel til innsjøen fra nedbørfeltet og minst i tørre perioder med liten tilførsel. Registrerte variasjoner i farge i Bolkesjø i perioden 1970-91 er vist i figur 7 og analyseresultatene for 1991 er gitt i tabell 6 (vedlegg).

1991 var en meget tørr sommer, i likhet med sommeren 1982 (se avsnitt 3.1). Fargeverdiene disse årene var da også lavere enn for de andre årene med mer nedbør. I 1982 lå verdiene mellom 35-45 mg Pt/l og i 1991 mellom 40-50 mg Pt/l, mens den i det mer nedbørrike året 1987 lå mellom 50 og 80 mg Pt/l. Resultatene fra 1983 viser en jevn nedgang fra første måling i midten av juni etter kraftig nedbør og avrenning i mai, med høye fargetall, til minimum i august etter lite nedbør i juli og august, og en oppgang igjen i slutten av september etter sterk nedbør den måneden.

3.3.4 Næringssalter; fosfor og nitrogen

Næringssaltene fosfor og nitrogen sammen med en del sporstoffer, er de viktigste faktorene utenom lystilgangen som er med å bestemme primærproduksjonen i vannmassene, det vil si planteplanktonmengde og sammensetning. I de fleste norske innsjøer er det som oftest fosfor som er den begrensende vekstfaktor.

Det er bare en liten del av vannmassenes totale innhold av fosfor (totalfosfor) ved naturlige tilførsler som er løst reaktivt og direkte tilgjengelig for plantevekst. Denne fraksjonen betegnes fosfat-fosfor og består hovedsakelig av ortofosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$). Ved utslipp og avrenning til vannmassene fra menneskelig aktivitet gjennom jordbruksaktivitet og kloakkvann vil denne fosforfraksjonen øke og føre til økt planteplanktonvekst. Ved tiltak for å rense kloakkvann har en derfor først og fremst lagt vekt på å fjerne fosfor fra avløpsvannet før det føres til innsjøens vannmasser. Den rensanleggstypen som er innstallert ved Bolkesjø fjerner lite nitrogen, noe som, sammen med en økning gjennom sur nedbør, har ført til økning av nitrogeninnholdet. Ved aerobe forhold er det i første rekke nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) som planteplanktonet benytter til veksten. Selv om det er fosfatinnholdet som bestemmer den totale algemengden i første rekke, kan et økt nitratinnhold føre til en endring i algesammensetningen.

Analysene av fosfor og nitrogen er utført etter Norsk Standard (NS).

Fosfor

Fosforkomponenter som totalfosfor og fosfat ble analysert på alle blandprøver samlet i 1991 i Bolkesjø. 25. mars og 20. august ble det også analysert på prøver fra ulike dyp i tillegg til blandprøvene. Analyseresultatene er gitt i tabellene 6 og 7 i vedlegg. I figur 8 er analyseresultatene for fosfor i blandprøvene (totalfosfor og fosfat) fremstilt og sammenstilt med tilsvarende verdi fra tidligere undersøkelser.

Totalfosfor varierte i 1991 mellom 4.5 og 8 $\mu\text{g P/l}$ gjennom sesongen og ortofosfat mellom 1 og 2 $\mu\text{g P/l}$. Dette tilsvarer omtrent de verdier en vanligvis registrerer i oligotrofe (næringsfattige) innsjøer. Verdiene for 1991 var i gjennomsnitt markert lavere for totalfosfor enn det som ble registrert i 1987 og i enda større grad sammenlignet med 1983. Ortofosfat ble bare analysert på prøvene fra 1983 og 1991, og også her ble det registrert noe lavere verdier i 1991. Analyseverdiene for 1982 (Roulund 1982) er ikke tatt med da disse virket merkelig lave for enkelte tidspunkter i 1 m og 5 m dyp.

Ser en på verdiene for fosfor i de to vertikalseriene fra 25. mars og 20. august 1991, altså i perioder med maksimal sjiktning av vannmassene, viser disse, spesielt for ortofosfat, maksimumsverdier i 30-35 m dyp, med 4-5 $\mu\text{g P/l}$. For totalfosfor var det en kraftig økning av verdiene ned mot bunnen (50 m), noe som viser opphopingen av humusstoffer her.

Nitrogen

Også nitrogen som totalnitrogen og nitrat ble analysert på alle prøvene samlet i 1991, både blandprøvene og vertikalseriene. Analyseresultatene er gitt i tabellene 6 og 7 i vedlegget. Figur 8 viser

variasjonene i totalnitrogen og nitrat for 1991 og er sammenstilt med tilsvarende verdier fra tidligere undersøkelser.

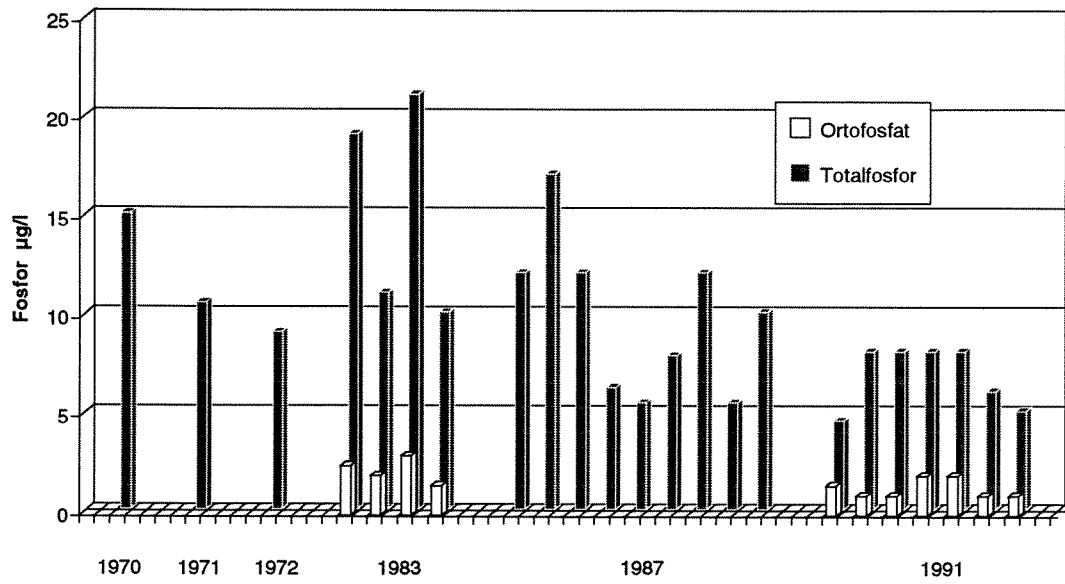
Totalnitrogen varierte i 1991 mellom 486 og 318 $\mu\text{g N/l}$ og nitrat mellom 212 og 98 $\mu\text{g N/l}$. Også disse verdiene ligger innenfor det nivå en vanligvis registrerer i oligotrofe innsjøer, selv om både totalnitrogen og nitrat ser ut til å ha hatt en økende tendens når en sammenligner med analyseresultatene fra tidligere år. Enkeltresultatet fra august 1983 viser riktignok en ekstrem høy totalnitrogenverdi på hele 800 $\mu\text{g N/l}$, som det er vanskelig å gi noen fornuftig forklaring på.

Som nevnt tidligere kan økningen i nitrogen være en generell økning gjennom forurenset nedbør som har vist seg å inneholde økende nitrogenmengder, men det kan også skyldes økte mengder gjennom avløpsvann fra rensesanlegget. Anlegget renses effektivt fosfor, men ikke nitrogen.

At det har vært en økning i nitrogen i forhold til fosfor ligger også i det faktum at mens forholdet mellom gjennomsnittsverdien for totalnitrogen og totalfosfor i 1987 (Bjørø og Brandtzæg) var 28:1, var de tilsvarende verdier for 1991, 53:1.

Ser en på vertikalseiene, viser disse ingen markerte økninger i dypvannet, og også for nitrat, var verdiene på omtrent samme nivå i de ulike dyp. Et unntak var 1 m dyp 20. august da verdien for nitrat var 42 $\mu\text{g N/l}$, noe som skyldes forbruket ved algevekst i de øverste vannlag på denne tiden.

Totalfosfor og ortofosfat i perioden 1971-1991



Totalnitrogen og nitrat i perioden 1970-1991

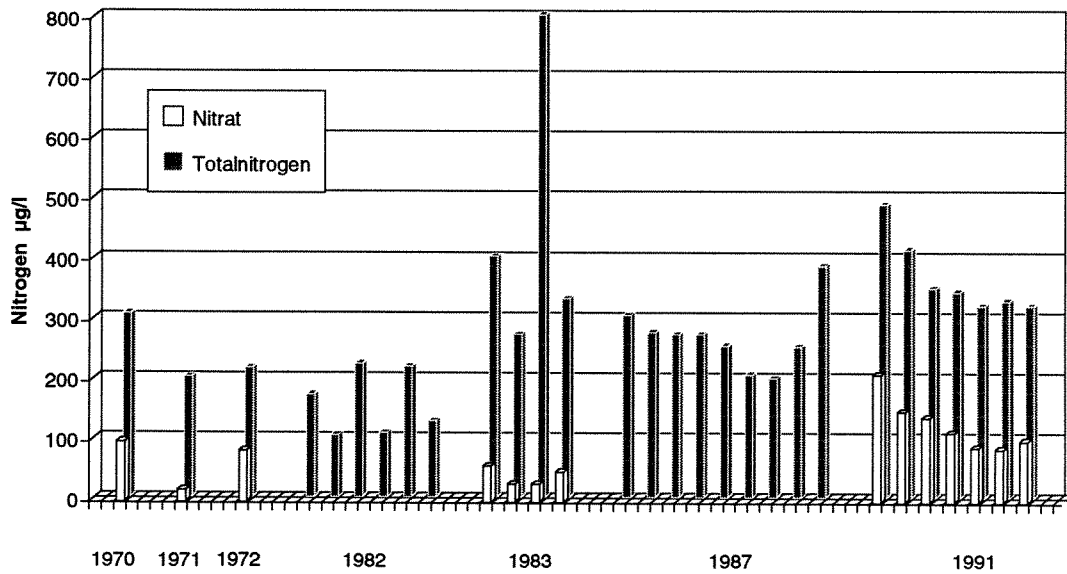


Fig. 8 Verdier av fosfor og nitrogen i Bolkesjø i perioden 1970-1991.

3.4 Planteplankton og klorofyll

3.4.1 Planteplankton

Kjennskapet til artssammensetning, fordelingsmønster, suksesjon og mengdevariasjoner av planteplankton gir informasjon om vannkvaliteten i en innsjø og forandringer i denne. Endringer i miljøet i innsjøen vil relativt raskt spores i det algesamfunnet en til enhver tid registrerer, fordi mange planteplanktonarter har forholdsvis snevre toleransegrenser med hensyn til flere miljøfaktorer. Ved en eutrofierende utvikling (økt næringssaltkonsentrasjon og økt produksjonspotensiale) i vannmassene, vil en først registrere dette ved en markert økning i mengden av alger totalt. Går den eutrofierende utviklingen videre, vil en, foruten en økning i mengden av alger også få en endring i artssammensetningen.

I oligotrofe (næringsfattige) innsjøer vil artssammensetningen være relativt divers, det vil si at algesamfunnet består av mange arter uten at noen arter eller grupper vanligvis dominerer. I eutrofe (næringsrike) innsjøer vil planteplanktonet ofte være dominert av en eller noen få arter til enhver tid.

Fra Bolkesjø ble det i 1991 samlet inn kvantitative planteplanktonprøver 6 ganger fordelt over vekstsesongen mai-oktober. Prøvene var blandprøver fra vannsjiktet 0-6 m dyp, og ble samlet inn i området over største dyp i innsjøen. Selv om en ikke får med alle variasjonene i planteplanktonet gjennom vekstsesongen, skulle de 6 prøveseriene gi et rimelig godt bilde av planteplanktonsuksesjonen gjennom sesongen. Analyseresultatene er gitt i tabell 8 i vedlegget, og er fremstilt i figur 9. Analysemetodene er beskrevet hos Brettum (1984).

Som figuren og tabellen viser ble maksimum planteplanktonmengde i vannmassene i 1991 registrert i august med $635 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ og gjennomsnittsvolumet for sesongen var $278 \text{ mm}^3/\text{m}^3$. Etter at det frem til august hadde vært svært lite planteplanktonalger i prøvene, med relativt jevn fordeling blant arter innen gruppene Chrysophyceae (gullalger), Chlorophyceae (grønnalger) og Cryptophyceae, ble det en dominans på dette tidspunktet av en blågrønnalge (Cyanophyceae) Merismopedia tenuissima.

I motsetning til de fleste planktoniske algeformene innen gruppen blågrønnalger, er denne arten typisk for oligotrofe (næringsfattige) innsjøer, men har en tendens til å dukke opp når nitratmengden øker, selv om mengden av totalfosfor og totalnitrogen ikke viser vesentlige økninger, og vannmassene derfor fremdeles er å betrakte som oligotrofe.

Artssammensetningen, registrert maksimum og gjennomsnittsvolum for vekstsesongen er typisk for oligotrofe innsjøer (Brettum 1989), selv om verdiene ligger i øvre del av dette nivå, og nær grensen mot det oligomesotrofe.

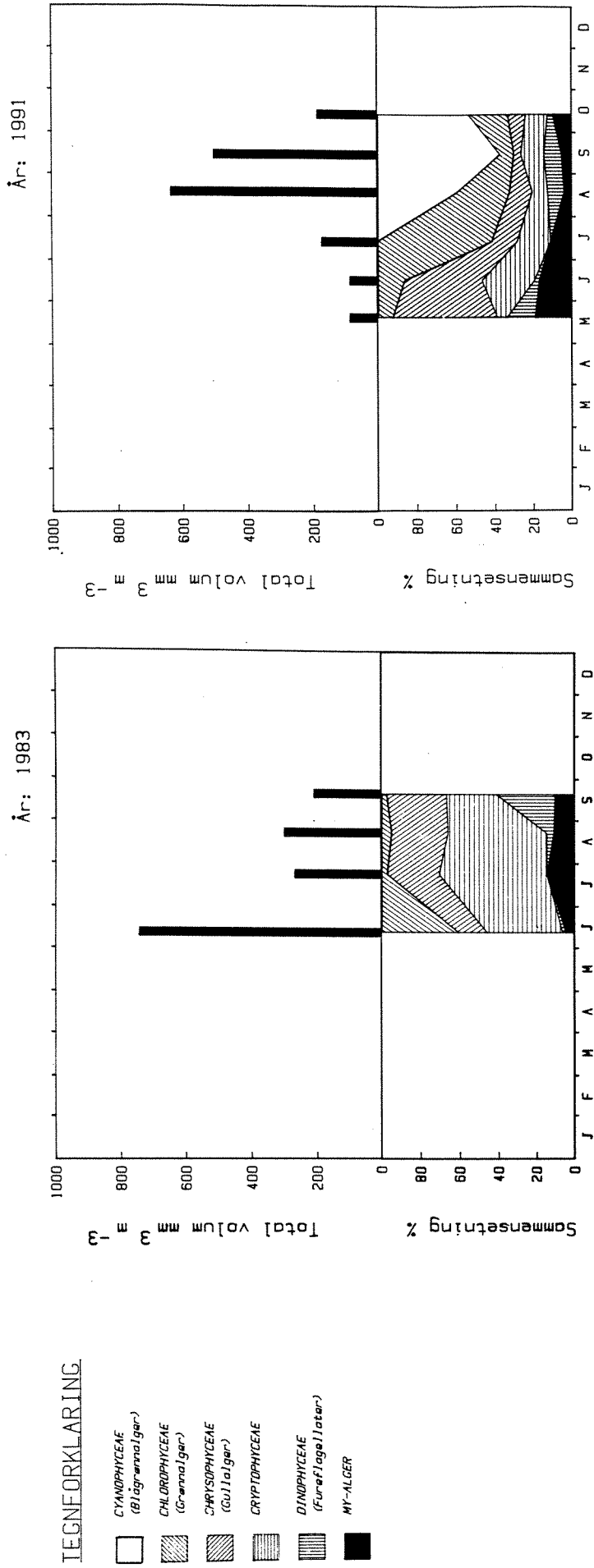


Fig. 9 Variasjoner i totalvolum og sammensetning av planteplankton i Bolkesjø i 1983 og 1991.

I 1983 ble det samlet inn og analysert kvantitative planteplanktonprøver fra fire tidspunkter i perioden juni-september i Bolkesjø. Disse resultatene er ikke tidligere rapportert, derfor tar vi dem med her som en sammenligning med resultatene i 1991 (analyseresultatene for 1983 i tabell 9 i vedlegget). I figur 9 er resultatene for de to årene sammenstilt, og for oversiktens skyld er i tabell 3 nedenfor satt opp registrert maksimum og gjennomsnitt for analyseresultatene de to årene.

Tabell 3 Registrerte planteplanktonmaksimum og gjennomsnitt for 1983 og 1991 i Bolkesjø (Bokke)

	1983	1991
Maksimum mm^3/m^3	743	635
Gjennomsnitt mm^3/m^3	378	278

Som tabellen viser var både maksimum og gjennomsnittsverdien noe høyere i 1983 enn i 1991, men verdiene for 1983 antyder at vannmassene også den gang var å betegne som oligotrofe i den øverste del av dette nivå. Gjennomsnittsverdiene er for 1983 bare basert på 4 observasjoner i den mest intense vekstperioden, og dette gjør at verdien blir noe høyere enn for 1991.

Basert på planteplanktonanalysene kan en si at forholdene de to årene ser ut til å ha vært forholdsvis like. Sammensetningen i 1983 var mer dominert av gruppen Cryptophyceae som består av former med egenbevegelse i form av flageller. Utvikling av blågrønnalgen *Merismopedia tenuissima* ble ikke registrert i 1983, noe som kan henge sammen med mindre nitrat i vannmassene da enn i 1991 (se avsnitt 3.3.4) Blant de registrerte taxon (arter, grupper) av planteplankton både i 1983 og 1991 ble det i alt vesentlig funnet arter typiske for oligotrofe vannmasser, eller arter som er indifferente med hensyn til vannkvalitet.

3.4.2 Klorofyll

Kvantitative planteplanktonanalyser er bare samlet inn og analysert fra Bolkesjø i 1983 og 1991. Ved undersøkelsene i 1987 (Bjørø og Brandtzæg) ble det tatt håvtrekk, det samme var tilfelle i 1982 (Roulund), men slike prøver samler bare inn store arter, og har liten verdi i den type innsjøer som Bolkesjø er, der det meste av planteplanktonbiomassen består av små former som en håv med nettmasker på 20-25 μm ikke fanger. Imidlertid ble det både i 1983, 1987 og 1991 samlet inn og analysert klorofyllprøver. Klorofyllmengden er et mål på planteplanktonbiomassen, og i store trekk er det god overensstemmelse mellom klorofyllmengde og totalvolum planteplankton.

Variasjoner i klorofyll i 1983, 1987 og 1991

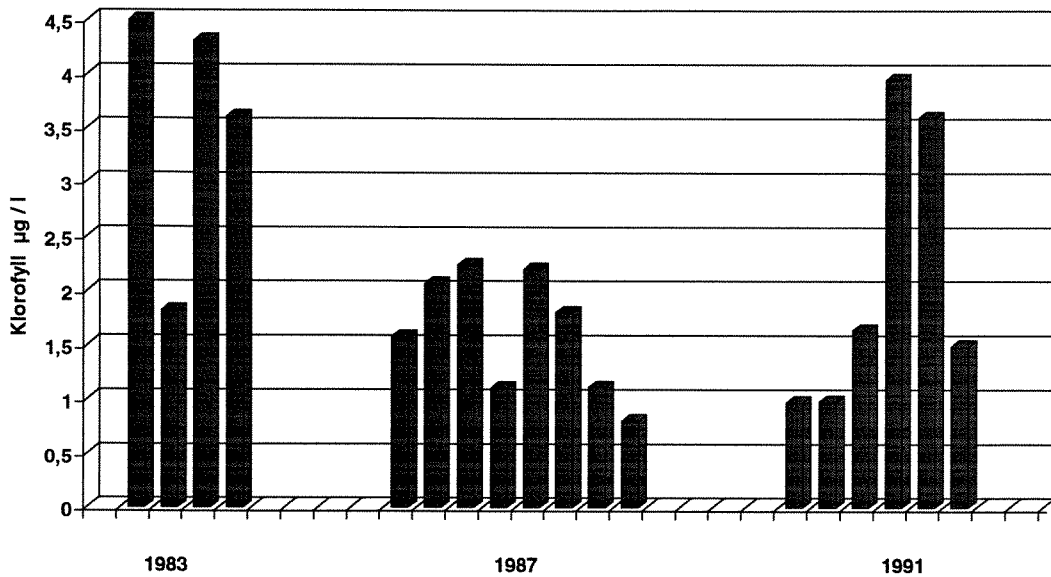


Fig. 10 Variasjoner i klorofyll 1983, 1987 og 1991 i Bolkesjø.

selv om noen algegrupper har mer og andre mindre klorofyll pr. volumenhet algebiomasse.

I figur 10 er vist variasjoner i klorofyllmengde ved observasjonstidspunktene de tre årene 1983, 1987 og 1991. Analyseverdiene for 1991 er satt inn i tabell 6 (vedlegg).

Som figuren viser ble det selv ved maksimum registrert mindre klorofyll i 1987 enn både i 1983 og 1991, noe som viser at algemengdene det året i det minste ikke var større enn de to andre årene. Hvilke alger eller algegrupper som dominerte sier disse prøvene ikke noe om, men det er rimelig å anta at algesamfunnet stort sett besto av omtrent de samme artene som i 1983 og 1991.

3.5 Bakteriologiske forhold

I tabell 10 (vedlegg) er satt opp de bakteriologiske analyseresultater av prøver tatt i 2 m dyp på hovedstasjonen og fra utløpet. Prøver fra hovedstasjonen ble tatt ved hver prøvetaking, fra utløpet bare fire ganger. Prøvene ble analysert på de vanlige parametrene ved analyse av drikkevann, kimtall, koliforme bakterier og termotolerante koliforme bakterier, og analysene brukes til å påvise eventuelle påvirkninger av vannet fra kloakkvann eller sig fra husdyrgjødsel.

Kimtallet gir opplysninger om det totale antall bakterier, og er et indirekte mål på den organiske belastningen generelt. Det avspeiler både påvirkninger av kloakkvann og eventuell annen tilførsel av lett nedbrytbart organisk materiale.

Koliforme bakterier (37°C) er et mål på forurensning fra tarminnhold (fekal forurensning) fra varmblodige dyr og mennesker, men også en del jordbakterier inngår her. Termotolerante koliforme bakterier (44°C) er et mål på sikre mengder av tarmbakterier. Mengden av termotolerante koliforme bakterier i forhold til koliforme bakterier totalt, er et mål på hvor fersk denne forurensningen er. Dersom mengden av termotolerante koliforme bakterier er nær opp til mengden av koliforme bakterier totalt, viser dette at de analyserte prøvene på prøvetakingstidspunktet fikk tilførsler av relativt fersk fekal forurensning.

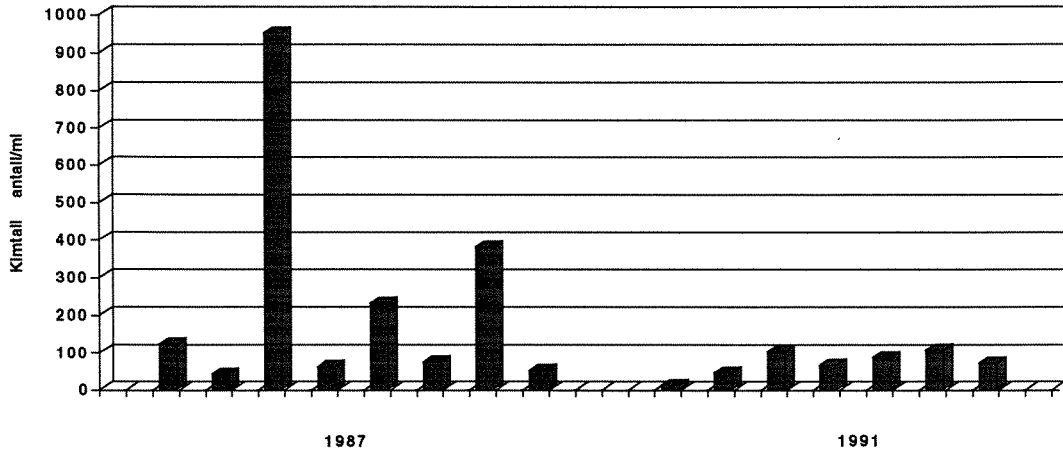
Resultatene av bakterieanalysene for 1991 er gitt i tabell 10 (vedlegg). I figur 11 er fremstilt resultatene for de tre parametrene kimtall, koliforme bakterier (37°C) og termotolerante koliforme bakterier (44°C) for de frie vannmasser i Bolkesjø for 1991, sammen med analyseresultater fra undersøkelsene til Bjøru og Brandtzæg i 1987.

Som det fremgår av figuren ble det i 1987 ved flere tidspunkter registrert et betydelig høyere kimtall enn i 1991, noe som delvis henger sammen med større nedbør og tilrenning i 1987. Ser en på figuren hvor koliforme bakterier (37°C) og termotolerante koliforme bakterier (44°C) er fremstilt, ble det i 1991 bare registrert henholdsvis 2 koliforme bakterier pr. 100 ml 17. juni og 3, den 6. august (se tabell i vedlegg, da dette ikke kommer med på figuren på grunn av den grove skalaen som måtte til for å få med resultatene for 1987) og 1 termotolerant koliform bakterie pr. 100 ml 6. august. Ellers ble slike bakterier ikke registrert i 1991.

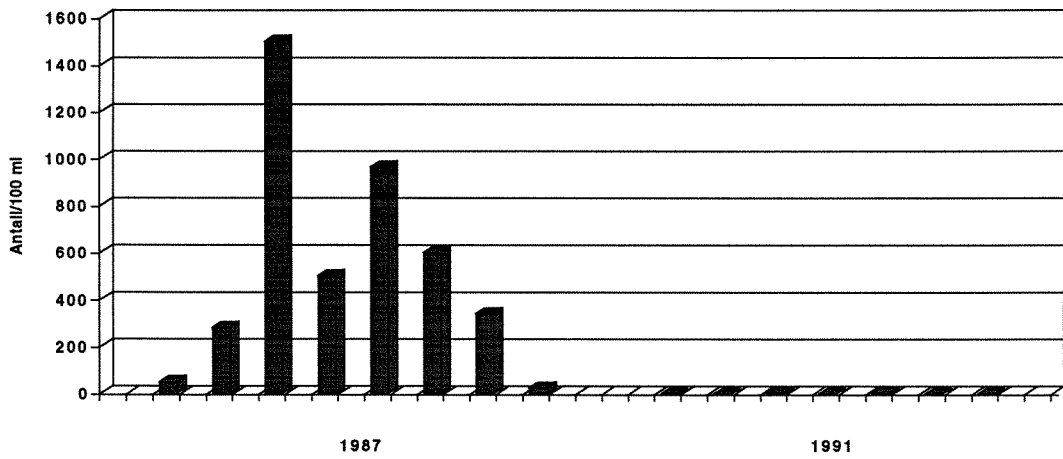
I 1987 var det et stort innhold av koliforme bakterier (37°C) store deler av sommeren, og selv termotolerante koliforme bakterier (44°C) ble registrert med betydelig antall ved flere tidspunkter (tabell 10 i vedlegg).

Ut fra normene som er satt som norm for god drikkevannskvalitet (klasse 1) i råvann (SFT-rapport 1989: Vannkvalitetskriterier for ferskvann); kimtall <100 pr. ml, koliforme bakterier (37°C) 3 pr. 100 ml vann og termotolerante koliforme (44°C) på 0 pr. 100 ml vann (1 enkelt pr. 100 ml ved en observasjon kan godtas), viser resultatene for 1991 at Bolkesjø da tilfredsstilte vilkårene for god drikkevannskvalitet (klasse 1) sanitær bakteriologisk sett. Resultatene for 1987 viste at råvannskvaliteten da lå i klasse 2-3, altså ikke egnet som råvannskilde for drikkevann. Resultatene for utløpet i 1991 viser samme mønster selv om det da ble målt et noe høyere tall for koliforme og termotolerante koliforme bakterier. Særlig 16. september var det svært høye verdier i utløpet. Utløpsbekken var da så å si tørket inn.

Variasjoner i kimtall i 1987 og 1991



Koliforme bakterier (37 ° C) i 1987 og 1991



Termotolerante koliform.bakt.(44 ° C) i 1987 og 1991

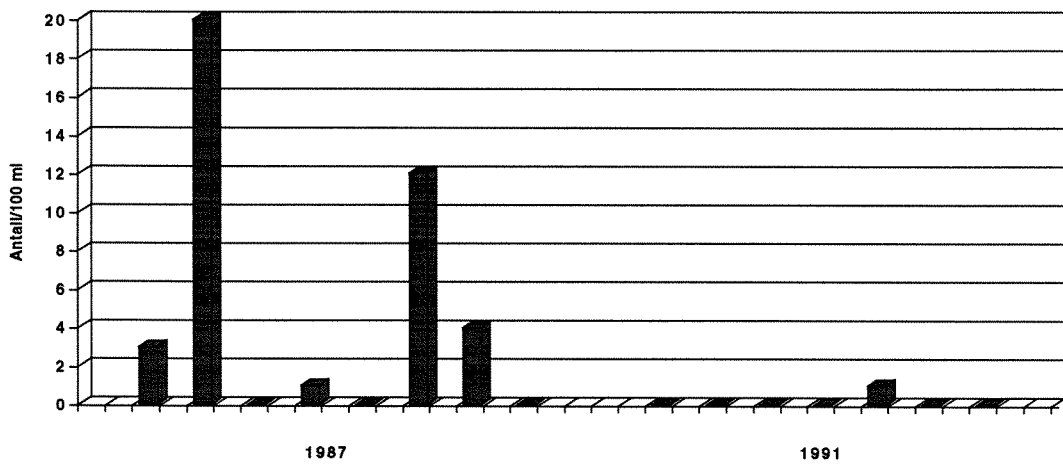


Fig . 11 Målinger av kimtall, koliforme bakterier (37°C) og termotolerante koliforme bakterier (44°C) i Bolkesjø i 1987 og 1991.

Ut fra disse analyseresultatene har det altså skjedd en kraftig bedring av vannkvaliteten i Bolkesjø sanitærbakteriologisk sett, noe som må skyldes sterkt forbedret renseeffekt på avløpsvannet fra renseanlegget.

4. VURDERING AV MULIGHETER FOR EVENTUELL ØKT BELASTNING PÅ BOLKESJØ AV AVLØPSVANN FRA RENSEANLEGGET.

For planteplankton i de fleste norske innsjøer er, som nevnt tidligere, fosfor det næringsstoff som er vekstbegrensende. En økning i fosforbelastningen til en dyp innsjø, gir seg først og fremst utslag i økt vekst av planktonalger. En moderat økning av fosfortilførslene fører i starten til økt produktivitet på alle trofiske nivåer uten at det oppstår problemer med vannkvaliteten. Dvs. når algeveksten øker, øker mengden av organismer på de etterfølgende ledd i næringskjedene, slik at økt produksjon av fisk blir resultatet i det minste i innsjøer der fisk ikke er slått ut på grunn av sur nedbør. Øker fosfortilførslene for mye, oppstår det imidlertid en rekke problemer. Artssammensetning endres, og arter som er lite egnet som føde for neste ledd i næringskjeden, f.eks. trådformete blågrønnalger, kan ta overhånd. Resultatet blir en opphoping av alger som stort sett omsettes via forråtnelsesprosessen. Det kan oppstå smaks- og luktproblemer, oksygenforbruket øker, og det skjer en intern gjødsling i vannmassene.

For å beregne en øvre akseptabel fosforbelastning, anvendes erfaringstall, som så settes inn i fosforbelastningsmodeller for å finne hvilken belastning det tilsvarer. I sjøer med middeldyp mer enn 14,5 m brukes RBJ-modellen som er utviklet for dype norske innsjøer (Rognerud, Berge og Johannessen 1979).

Rognerud, Berge og Johannesen (1979) anbefaler å anvende en øvre akseptabel fosforkonsentrasjon $P = 7 \mu\text{g P/l} = \underline{7 \text{ mg P/m}^3}$ for sjøer med større middeldyp enn 14.5 m.

Ved beregningene er brukt formelen :

$$P_{\text{inn}} = 1.59 [P]e^{0.067Tw} \cdot Q$$

som er gjengitt i Berge (1988) og hvor:

T_w = Teoretisk oppholdstid i år. For Bolkesjø i følge Bjørn og Brandtzæg (1990), er dette 420 døgn = 1.17 år

Q = Årlig avløp av vann i $\text{m}^3/\text{år}$ (lik tilrenning). For Bolkesjø var dette i 1991 8158144 m^3 (tilrenning fra nedbørfeltet og avløpsvann fra renseanlegget samlet).

Verdier for tilrenningstallet er beregnet ut fra NVE's avrenningskart i området, med en gjennomsnittlig avrenning på 18 l/s/km^2 i året for nedbørfeltet pluss beregnet vannmengde ut i innsjøen fra renseanlegget i 1991 på $39650 \text{ m}^3 \approx 40000 \text{ m}^3$. Tilrenninger fra nedbørfeltet i 1991 var,

på grunn av mindre nedbør enn normalt, mindre, men vi har valgt å beregne ut fra normalverdier, da dette gir et riktigere bilde over en lengre periode.

Øvre akseptable fosforkonsentrasjon i Bolkesjø blir ut fra dette: 98,2 kg P

Belastningen i 1991 ut fra en snittverdi for målingene av fosfor gjennom sesongen (7 observasjoner) på $6.79 \mu\text{gP/l} = 6,79 \text{ mg P/m}^3$ beregnes til: 95,3 kg P

Tilsvarende gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon i innsjøen i prøvene fra 1983 var 15,25 $\mu\text{g P/l}$. Tallet må sees på som orienterende og er som snittverdi antagelig for høy, da den bare er basert på fire observasjoner. I 1987 var gjennomsnittet av ni målinger gjennom vekstsesongen 9,76 $\mu\text{g P/l}$.

Ut fra en beregnet utløpsmengde av vann fra renseanlegget (opplysninger fra Teknisk etat, Notodden kommune) på omkring 40000 m^3 (39650 m^3) i 1991 og en gjennomsnittlig fosforkonsentrasjon etter rensing på avløpsvannet på $0,142 \text{ mg P/l} = 142 \text{ mg P/m}^3$, gir dette en tilførsel til innsjøen fra renseanlegget i 1991 på:

$$40000 \cdot 142 = \underline{5,7 \text{ kg P}}$$

For naturlige tilførsler til innsjøer fra nedbørfeltet har Rognerud, Berge og Johannessen (1979) for 6 nedbørfelt med blanding av skogs, myr og fjellområder i Telemark beregnet en gjennomsnittlig avrenning på $5.8 \mu\text{g P/m}^2 \cdot \text{år}$ (variasjoner mellom 3,4 og 9.0). Holtan (1990) foreslår å bruke en avrenningskoeffisient for slike områder på $6-7 \mu\text{g P/m}^2$ for skogs- og myrområder og $2-5 \mu\text{g P/m}^2$ for snaufjell. . Som en konsekvens av disse erfaringene har vi valgt å bruke $6 \mu\text{g P/m}^2 \cdot \text{år}$.

Dette gir en beregnet naturlig tilførsel til Bolkesjø på $14,5 \cdot 6 \text{ kg P/år} = \underline{87 \text{ kg P/år}}$.

Til dette kommer $5,7 \text{ kg P/år}$ fra renseanlegget.

Sum tilførsler til Bolkesjø i 1991 blir ut fra dette $87 + 5,7 = \underline{92,7 \text{ kg P}}$, altså tett opp til den beregnede belastningen ut fra de målte fosforverdiene gjennom sesongen 1991 som var $95,3 \text{ kg P}$ (se foran).

Differansen mellom beregnet øvre akseptable fosforbelastning på $98,2 \text{ kg P}$ og beregnede belastning i 1991 ut fra registrerte fosforverdier i vannmassene på $95,3 \text{ kg}$ er ca 3 kg .

I 1991 var tilførselen fra renseanlegget $5,7 \text{ kg}$.

$5,7 + 3 = \underline{8,7 \text{ kg}}$ via renseanlegget er øvre akseptable grense.

Dette er hva Bolkesjø's vannmasser ut fra beregningene og de gitte forutsetninger tåler å motta i fosforbelastningen fra renseanlegget, så lenge en vil holde seg innenfor den øvre akseptable grense slik denne er beregnet ovenfor. Med samme grad av rensing på renseanlegget som en har hatt i 1991, vil dette si at innsjøen tåler en økning i rensset vann fra renseanlegget på

$$(x + 40000)/40000 = 8,7/5,7 \approx \underline{21000 \text{ m}^3/\text{år}}.$$

uten at belastningen skal overskride akseptabelt nivå etter beregningene. Dette tilsvarer ca 50% økning av hydraulisk belastning ut fra dagens nivå, og vil etter en kalkulert avløpsmengde på 1.7 g P/p.e. (Holtan og Åstebøl 1990) tilsvare ca 150 p.e.

Nå er, ifølge opplysninger fra kommunen, tilførselsgraden til renseanlegget bare 49%. Det vil si at omtrent halvparten av avløpsvannet ikke når renseanlegget. En del av fosforet i denne delen av avløpsvannet vil nå innsjøen ad annen vei, men hvor mye er det ikke mulig å si. Ved en økning i tilførselsgraden, ved at avløpsnettet bedres, fra 49% til 75%, vil det som tilføres innsjøen ad annen vei enn via renseanlegget avta, men den antydete ledige kapasitet av rensset avløpsvann fra anlegget vil da være brukt opp.

En noe dårligere renseeffekt fra renseanlegget, f.eks. til 95% vil gi en tilførsel til innsjøen ut fra dagens avløpsbelastning på 9.5 kg P. Dette gir en økning mer enn den beregnete ledige kapasitet på 3 kg ut fra dagens renseeffekt på 97% og tilførsel på 5.7 kg P.

Med den sikkerhetsmargin som en bør legge i avløpssystemet vil disse betraktningene tilsi at det, ut fra dagens forhold, ikke er tilrådelig å øke belastningen på renseanlegget med avløpsvann fra flere personer.

5. LITTERATUR

- Berge, D. 1988: Morfometri, hydrologi, vannkvalitet og beregning av akseptabel fosforbelastning i 15 Vestfoldinnsjøer. NIVA-rapport 2164. 98 s.
- Bjørø, A. og B. Brandtzæg 1990: Vann og kloakk i Bolkesjø 1987. En vurdering av resipient og renseanlegg. Hovedoppgave ved Telemark Distriktshøgskole, seksj. for Natur- og Miljøvern, 1988. 80 s.
- Brettum, P. 1984: Planteplankton telling. I: Vassdragsundersøkelser. En metodebok i limnologi. K. Vennerød (red.). Norsk Limnologforening, Universitetsforlaget, Oslo, s. 146-154.
- Brettum, P. 1989: Alger som indikator på vannkvalitet. Planteplankton. NIVA-rapp. 2344. Statens forurensningstilsyn (SFT). 111 s.
- Holtan, H. og S.O. Åstebøl 1990: Håndbok i innsamling av data om forurensningstilførsler til vassdrag og fjorder. Revidert utgave. NIVA-rapport 2510. 53 s.
- Langeland, A. 1970: Undersøkelse av Bolkesjø i Telemark. NIVA O-168/70. 12 s.
- Langeland, A. 1971: Kontrollundersøkelse av Bolkesjø. Observasjoner 7. september 1971. NIVA O-168/70. 5 s.
- Langeland, A. 1972: Kontrollundersøkelser av Bolkesjø. Observasjoner 15. august 1972. NIVA O-168/70. 5 s.
- Rognerud, S., D. Berge og M. Johannessen 1979: Telemarkvassdraget. Hovedrapport fra undersøkelsene i perioden 1975-1979. NIVA-rapport 1147. 82 s.
- Roulund, A. 1982: Resipientundersøkelse av Bolkesjø. Telemark distriktshøgskole. 20 s.
- SFT-rapport 1989: Vannkvalitetskriterier for ferskvann. SFT-rapport TA-630. H. Holtan, redaktør. 350 s.
- Vidar Tveiten A/S 1986: A-720 Notodden kommune: Utslippssøknad for Tinnåa med sidevassdrag. Del 5: Bolkesjø. Skien 23. mai 1986.

Vedlegg

Tabell 4 Temperaturer i Bolkesjø 1991

Dyp i m	Dato	25/3	21/5	17/6	15/7	20/8	16/9	15/10
0,5	-	-	9,0	15,0	18,3	18,0	14,0	9,3
1	2,0	-	-	14,5	18,0	18,0	-	-
2	3,9	8,8	13,1	16,0	17,8	13,5	13,2	8,9
3	-	8,1	12,4	14,5	17,0	13,2	13,0	8,8
4	-	7,9	11,5	11,8	15,6	12,9	-	-
5	-	7,1	-	-	-	11,1	11,0	8,6
6	-	6,1	8,0	10,5	11,1	9,0	-	-
7	-	-	-	-	-	8,5	7,9	7,9
8	-	5,1	7,5	7,0	7,0	7,6	7,1	7,5
10	4,9	4,8	7,0	6,8	6,8	7,0	6,9	7,0
12	-	4,6	6,5	6,0	6,0	6,9	6,7	6,8
15	-	4,5	6,1	6,1	6,1	6,6	6,2	6,4
20	4,6	4,5	6,0	5,4	5,4	6,6	-	-
30	4,6	-	-	-	-	6,0	-	-
35	-	-	-	-	-	6,0	-	-
40	4,5	-	-	-	-	-	-	-
50	4,9	-	-	-	-	6,0	-	-

Tabell 5 Oksygenforholdene i Bolkesjø 25. mars (A) og 20. august (B).

A

Parameter	Vanntemp °C	Oksygeninnhold mg O ₂ /m	Prosent O ₂ metning
Dyp, m			
1	2,0	11,64	84
10	4,9	7,59	59
20	4,6	7,23	56
30	4,6	7,05	54
40	4,5	5,99	46
50	4,9	1,88	15

B

Parameter	Vanntemp °C	Oksygeninnhold mg O ₂ /m	Prosent O ₂ metning
Dyp, m			
1	18,0	8,39	89
10	7,6	6,62	55
20	6,6	6,95	56
35	6,0	7,03	56
50	6,0	5,08	40

Tabell 6 Fysisk-kjemiske analyseresultater fra prøver samlet i Bolkesjø 1991. Blandprøver fra 0-6 m dyp.
 (* Resultater fra 25.3.91 er snitt av 1m + 10m)

Dato	pH	Konduktivt. mS/m	Turbiditet F.T.U.	Farge (fit) mg Pt/l	Totalfosfor µg P/l	Ortofosfat µg P/l	Totalnitrogen µg N/l	Nitrat µg N/l	Klorofyll a µg Chla/l
25.3.91*	5,03	2,60	0,47	45,9	4,5	1,5	486	212	-
21.5.91	5,12	2,13	1,03	54,4	8,0	<1,0	411	150	0,97
17.6.91	5,26	2,31	0,68	46,5	8,0	1,0	347	141	0,98
15.7.91	5,12	2,20	0,78	48,0	8,0	2,0	341	115	1,64
20.8.91	5,30	2,10	0,72	43,3	8,0	2,0	318	91	3,95
16.9.91	5,29	2,08	0,91	40,2	6,0	1,0	326	88	3,60
15.10.91	5,40	2,14	0,68	44,3	5,0	1,0	318	102	1,49

Tabell 8... kvantitative planteplanktonprøver fra: Bolkesjø (bl.pr.0-6 m dyp)
Volum 33/33

GRUPPER/ARTER	Dato=>	910521	910617	910715	910820	910916	911015
Cyanophyceae (Blågrønnalger)							
<i>Merismopedia tenuissima</i>		-	-	-	258.9	315.5	86.2
Sum		-	-	-	258.9	315.5	86.2
Chlorophyceae (Grønnalger)							
<i>Botryococcus braunii</i>		-	.8	4.8	90.3	12.0	12.0
<i>Chlamydomonas</i> sp. (l=8)		1.3	-	-	-	-	.3
<i>Crucigenia tetrapedia</i>		-	2.3	27.2	67.3	21.6	22.9
<i>Dictyosphaerium subsolitarium</i>		-	-	1.0	-	-	-
<i>Monoraphidium dybowskii</i>		-	-	-	.5	-	-
<i>Oocystis lacustris</i>		-	.1	-	1.3	-	-
<i>Oocystis submarina</i> v.variabilis		2.5	7.8	68.1	9.1	2.7	2.2
<i>Paranastix conifera</i>		2.1	.5	-	-	-	-
Ubest.cocc.gr.alge (<i>Chlorella</i> sp.?)		.8	.4	-	2.7	-	-
Sum		6.8	12.0	101.0	171.1	36.3	37.3
Chrysophyceae (Gullalger)							
<i>Bicosoeca</i> sp.		.2	.2	.3	.4	-	.5
<i>Bitrichia chodatii</i>		-	1.1	.3	9.8	.5	.5
<i>Chromulina</i> sp.		-	.3	-	5.6	-	-
<i>Chromulina</i> sp. (<i>Chr.pseudonebulosa</i> ?)		.2	5.2	1.2	9.3	4.0	1.7
<i>Craspedomonader</i>		2.4	.4	.8	-	.2	.5
Cyster av <i>Bitrichia chodatii</i>		-	-	-	-	-	.3
Cyster av <i>Chrysolykos</i> skujai		1.5	-	-	-	-	-
Cyster av chrysophyceer		1.4	.3	-	-	-	-
<i>Dinobryon crenulatum</i>		-	-	2.1	2.0	-	.4
<i>Dinobryon sociale</i> v.americanum		-	-	-	17.1	-	-
Løse celler <i>Dinobryon</i> spp.		-	-	.4	3.2	-	-
<i>Mallomonas akrokomos</i> (v.parvula)		-	-	-	.5	.5	-
<i>Ochromonas</i> sp. (d=3.5-4)		10.1	6.0	5.6	5.4	2.1	3.6
<i>Pseudokephyrion entzii</i>		-	.1	-	1.9	-	-
Små chrysoomonader (<7)		17.5	11.9	8.5	14.3	7.6	6.4
Store chrysoomonader (>7)		9.5	7.8	3.4	6.0	3.4	3.4
Ubest.chrysoomonade (<i>Ochromonas</i> sp.?)		3.0	.5	-	-	-	-
Ubest.chrysophyceer		-	-	-	.3	-	-
Sum		45.7	33.8	22.7	75.6	18.3	17.3
Bacillariophyceae (Kiselalger)							
<i>Melosira distans</i> v.alpigena		.3	-	-	-	-	-
Sum3	-	-	-	-	-
Cryptophyceae							
<i>Cryptomonas marssonii</i>		-	1.1	4.7	10.9	24.4	9.3
<i>Cryptomonas</i> sp. (l=20-22)		.5	-	-	-	-	-
<i>Cryptomonas</i> spp. (l=24-28)		-	2.0	3.2	8.4	-	-
Ubest.cryptomonade (<i>Chroomonas</i> sp.?)		3.7	20.3	22.7	31.8	35.8	11.9
Ubest.cryptomonade (l=6-8) <i>Chro.acuta</i> ?		-	-	-	-	.4	-
Sum		4.2	23.4	30.5	51.1	60.6	21.2
Dinophyceae (Fureflagellater)							
Cyster av dinophyceer		.2	-	-	-	-	-
<i>Gymnodinium</i> cf.lacustre		9.9	1.0	-	.9	6.4	1.1
<i>Gymnodinium</i> sp. (l=14-16)		-	1.2	-	.7	-	-
<i>Gymnodinium</i> sp. (l=33-36,b=28-32)		2.0	-	-	52.0	40.0	4.0
<i>Peridinium inconspicuum</i>		-	-	-	.8	-	-
Ubest.dinoflagellat		.4	-	-	.3	-	-
Sum		12.5	2.2	-	54.8	46.4	5.1
My-alger							
Sum		16.3	14.4	18.4	23.6	25.7	18.0
Total		85.8	85.8	172.6	635.1	502.8	185.2

Tabell 9. Kvantitative planteplanktonprøver fra: Bolkesjø (bl.pr.0-4 m dyp)
Volum 3/3

GRUPPER/ARTER	Dato=>	830613	830725	830824	830921
Chlorophyceae (Grønnalger)					
Chlamydomonas sp. (l=8)		9.7	.6	3.7	2.8
Crucigenia tetrapedia		-	2.8	1.6	-
Monoraphidium dybowskii		-	.3	.8	.5
Oocystis submarina v.variabilis		-	3.0	9.0	2.2
Ubest.cocc.gr.alge (Chlorella sp.?)		284.0	1.6	1.1	.6
Sum		293.7	8.3	16.2	6.1
Chrysophyceae (Gullalger)					
Bicosoeca planctonica		.5	-	1.2	-
Bitrichia chodatii		-	-	.6	1.9
Chromulina sp. (Chr.pseudonebulosa ?)		4.5	17.8	15.9	14.2
Craspedomonader		2.8	-	3.8	.6
Cyster av chrysophyceer		11.5	-	1.8	-
Dinobryon crenulatum		-	-	1.2	-
Dinobryon sociale v.americanum		-	-	-	2.3
Løse celler Dinobryon spp.		-	-	-	.5
Mallomonas akrokomos (v.parvula)		-	15.4	2.8	.5
Mallomonas cf.crassisquama		4.6	11.4	6.9	-
Små chrysomonader (<7)		51.8	20.0	38.1	27.7
Spiniferomonas sp.		-	-	.7	-
Store chrysomonader (>7)		31.4	6.1	13.2	15.2
Ubest.chrysomonade (Ochromonas sp.?)		1.2	-	-	-
Ubest.chrysophyceer		.2	-	-	.3
Sum		108.5	70.8	86.1	63.2
Cryptophyceae					
Cryptomonas marssonii		6.9	7.5	3.4	-
Cryptomonas sp. (l=15-18)		9.3	3.1	-	-
Cryptomonas spp. (l=24-28)		-	-	-	6.2
Ubest.cryptomonade (Chroomonas sp.?)		275.6	138.6	149.5	46.7
Sum		291.8	149.2	152.9	52.9
Dinophyceae (Fureflagellater)					
Gymnodinium cf.lacustre		13.1	-	3.3	7.6
Gymnodinium sp. (l=14-15)		-	-	6.5	13.1
Gymnodinium sp. (28*25)		-	-	-	43.4
Ubest.dinoflagellat		1.2	-	1.2	-
Sum		14.3	-	11.1	64.1
Xanthophyceae (Gulgrønnalger)					
Isthmochloron trispinatum		2.8	-	-	-
Sum		2.8	-	-	-
My-alger					
Sum		31.5	38.3	32.0	20.9
Total					
		742.6	266.5	298.3	207.3

Tabell 10 Analyseresultater av bakteriologiske prøver fra Bolkesjø 1987 og 1991

Hovedstasjon:				Utløp:			
Dato	Kimtall	Koli 37°C	Koli 44°C	Dato	Kimtall	Koli 37°C	Koli 44°C
2.6.87	120	50	3	2.6.87	80	151	0
19.6.87	40	280	20	19.6.87	43	300	14
16.7.87	950	1500	0	16.7.87	2500	4000	6
31.7.87	60	500	1	31.7.87	80	600	0
21.8.87	230	963	0	21.8.87	172	1100	1
11.9.87	72	600	12	11.9.87	66	385	110
9.10.87	380	340	4	9.10.87	440	310	2
5.11.87	50	25	0	5.11.87	70	11	0
25.3.91	10	0	0	21.5.91	110	0	0
21.5.91	44	0	0	15.7.91	85	3	1
17.6.91	100	2	0	16.9.91	3800	23	5
15.7.91	65	0	0	15.10.91	90	5	0
6.8.91	85	3	1				
16.9.91	105	0	0				
15.10.91	70	0	0				

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Postboks 69 Korsvoll, 0808 Oslo
ISBN 82-577-2075-5