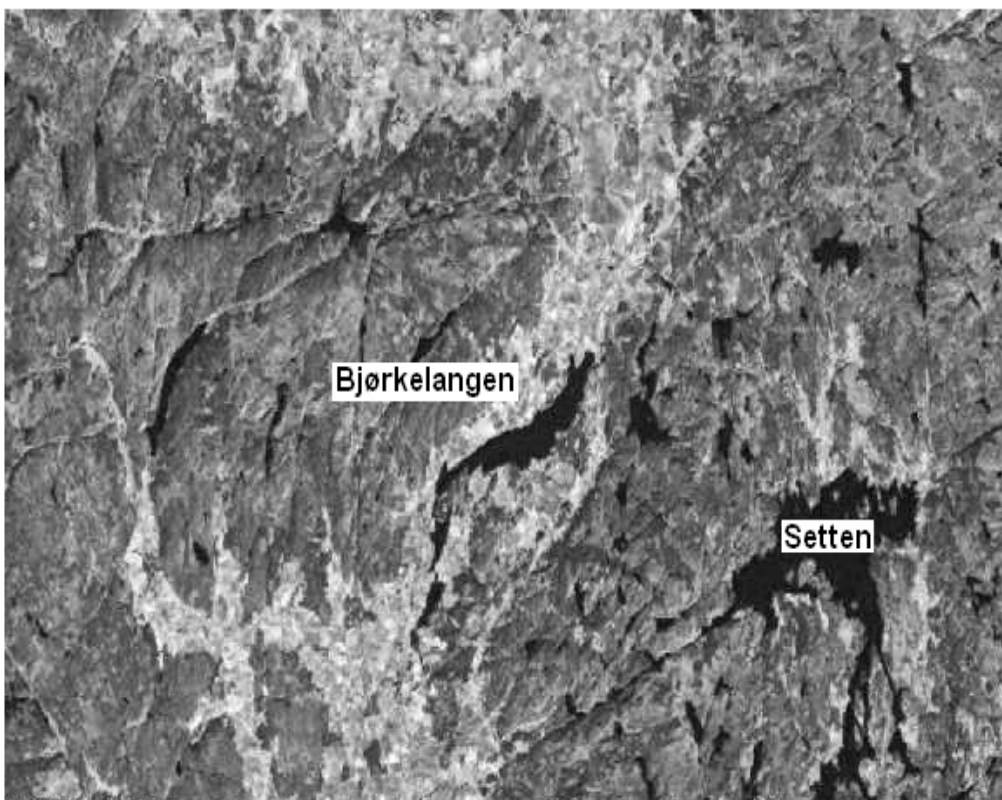




RAPPORT LNR 4926-2004

Innsjøinterne- og hydrologiske tiltak i Bjørkelangensjøen

Delutredning i forbindelse med forenklet tiltaksanalyse for Haldenvassdraget



Satelittfoto: www.finn.no

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

Akvaplan-niva

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

Tittel Innsjøinterne- og hydrologiske tiltak i Bjørkelangensjøen. Delutredning i forbindelse med forenklet tiltaksanalyse for Haldenvassdraget	Løpenr. (for bestilling) 4926-2004	Dato 30.11.2004
	Prosjektnr. Undernr. O-24148	Sider Pris 41
Forfatter(e) Dag Berge	Fagområde Vannressurs	Distribusjon Fri
	Geografisk område Akershus	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Miljøprosjekt Haldenvassdraget	Oppdragsreferanse Vidar Østenby
--	------------------------------------

Sammendrag (foreløpig)

Som en tilleggsutredning til den forenklete tiltaksanalysen rettet mot å redusere forurensningstilførslene, er det i denne rapporten sett på muligheter for andre innsjøinterne og hydrologiske tiltak for å bedre på miljøtilstanden i Bjørkelangen. Det er gjennomført et enkelt undersøkelsesopplegg for å finne ut om det skjer intern gjødsling fra forurenset sediment i innsjøen. Dette viste seg å skje i betydelig grad om sommeren, noe som stimulerer algevekst i juli og august. P-frigiving om vinteren var av mindre betydning. Ingen av tiltakene som er gjennomgått i rapporten er alene nok til å permanent bedre situasjonen i Bjørkelangen i tilstrekkelig grad. Man må bestrebe seg på å redusere tilførslene av fosfor som et hovedtiltak. Tiltakene som gjennomgås vil først og fremst bidra til å påskynde bedringen etter at nødvendig avlastning er foretatt. Det er aktuelt å se næyere på følgende tiltak: 1) Overføre Setten til Bjørkelangen, 2) Utfisking av planktonspisende fisk ved hjelp av trål med løpende utsetting av rovfisk (her bør man se an utviklingen i Tunevannet noe lenger først, da første års effekt var skuffende liten), og 3) Bruk av bygghalm for dempe algeveksten. Overføring av Setten er det eneste tiltaket som vil gi varig og garantert effekt. Hvis dette kan kombineres med kraftverk og drikkevannsforsyning kan det bli mer interessant enn om man ser det isolert. De andre 2 tiltakene vil kreve oppfølging (innsatskrevende vedlikeholdstiltak) med jevne mellomrom.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Eutrofiering	1. Eutrophication
2. Restaurering	2. Restoration
3. Innsjøinterne tiltak	3. Lake internal measures
4. Bjørkelangen	4. Lake Bjørkelangen


Dag Berge
Prosjektleder


Stig A. Borgvang
Forskningsleder


Nils Roar Sælthun
Forskningsdirektør

Norsk institutt for vannforskning
Oslo

O-24148

**Innsjøinterne- og hydrologiske tiltak i
Bjørkelangensjøen**

Delutredning i forbindelse med forenklet tiltaksanalyse
for Haldenvassdraget

Brekke 30.11.04

Saksbehandler

Dag Berge

Forord

I forbindelse med prosjektet "Forenklet Tiltaksanalyse for Haldenvassdraget" ønsket styringsgruppa utarbeidet en vurdering av om Bjørkelangen var så forurenset at det skjedde intern gjødsling av fosfor, slik at man ikke ville oppnå god vannkvalitet selv om man reduserte tilførselene. Hvis intern gjødsling viste seg å være av betydning, så ønsket man også en anbefaling av hvilke ekstra tiltak som kunne være aktuelle. Utredningen koordineres med arbeidene i den forenklete tiltaksanalysen, men rapporteres separat. De aktuelle tiltakene vil senere inkluderes i tiltaksanalysen.

Det endelige svar på om det skjer intern gjødsling av betydning ville man ikke få før undersøkelsene sommeren (2004) var ferdige. På samme ønsket man at overvåkingsresultatene fra Tunevannet, der det i 2002 og 2003 ble gjennomført utfiske av karpefisk, også skulle foreligge. Dette er nemlig et av tiltakene som også vurderes for Bjørkelangen. Den endelige evalueringen av flere av tiltakene kunne ikke gjøres før disse dataene forelå. Dette er årsaken til at det tok så lang tid fra den foreløpige rapporten kom ut i begynnelsen av juni, til den endelige rapporten nå foreligger.

ANØ takkes for å stille 2004-overvåkingsdata fra Bjørkelangen til rådighet, og Sarpsborg kommune og Fylkesmannen i Østfold for upubliserte data fra Tunevannet.

Tilleggsundersøkelsen ble kontraktfestet i mars 2004.

Arbeidet er utført av Dag Berge, NIVA.

Oslo 30. november 2004

Dag Berge

Innhold

Konkluderende sammendrag	5
1. Innledning	6
2. Kort beskrivelse av Bjørkelangen	7
3. Dagens vannstatus i Bjørkelangen	9
4. Skjer det intern gjødsling i Bjørkelangen?	11
5. Tiltak 1: Heving av sommervannstanden 1m	15
6. Overføre Setten til Bjørkelangen	17
7. Mudring	19
8. Bruk av fellingskjemikalier direkte i innsjøen	19
9. Bruk av algicider	20
10. Bruk av bygg-halm	21
11. Fiske-tiltak	23
11.1 Litt om fiskebestanden i Bjørkelangen	23
11.2 Noen eksempler på fiskemanimulering og effekter	24
11.2.1 Finjasjøen i skåne i Syd-Sverige	24
11.2.2 Mosvatnet i Stavanger	25
11.2.3 Utfisking av lagesild i Frøylandsvannet på Jæren	27
11.2.4 Akersvatnet ved Tønsberg	29
11.2.5 Helgetjern i Ørje	31
11.2.6 Tunevannet i Sarpsborg	32
11.2.7 Utsetting av gjørs i Gjersjøen i Akershus	34
11.3 Utfisking som tiltak i Bjørkelangen	35
12. Litteratur	37

Konkluderende sammendrag

Bjørkelangen er en sterkt eutrofiert innsjø hvor landbruksavrenning og kloakkavløp er viktigste forurensningskilder. Vannkvaliteten for alle eutrofirelaterte parametere ligger oftest i nest dårligste vannkvalitetsklasse med enkelte årsverdier oppe i dårligste vannkvalitetsklasse i henhold til SFTs 5-delte vannkvalitetsskala. Det er ikke observert noen signifikant bedring av vannkvaliteten de siste 15 år. Som et tilleggstudium til den forenklete tiltaksanalyse rettet mot å redusere forurensningstilførslene, er det i denne rapporten sett på muligheter for å gjennomføre andre innsjøinterne tiltak for å bedre på miljøtilstanden i Bjørkelangen.

Det er gjennomført et enkelt undersøkelsesopplegg for å finne ut om det skjer intern gjødsling av fosfor fra forurenset sediment i Bjørkelangen. Resultatet av dette var at om vinteren skjer det en forholdsvis moderat utlekking av fosfor fra sedimentet som neppe vil ha særlig betydning for eutrofisituasjonen. Om sommeren, derimot, skjer det en langt større utlekking, både som følge av oksygensvinn i dypet og som følge av høy pH i overflatesjiktet (pH 10,3). Dette er med på stimulere algeproduksjonen i betydelig grad i juli og august. Resultatene tyder på at det neppe er bygget opp tykke forurensede sedimenter i Bjørkelangen, men endelig konklusjon om dette kan bare fastsettes ved sedimentundersøkelse.

Ingen av tiltakene som gjennomgås i rapporten er alene nok til å permanent bedre situasjonen i Bjørkelangen i tilstrekkelig grad. Man må bestrebe seg på å redusere tilførslene av fosfor som et hovedtiltak. Tiltakene som gjennomgås her vil først og fremst bidra til å påskynde bedringen etter at nødvendig avlastning av næringsstofftilførsler er foretatt.

Følgende tiltak er vurdert:

- Heving av vannstand
- Overføring av vann fra Setten til Bjørkelangen
- Bruk av fellingskjemikalier direkte i innsjøen
- Bruk av algicider direkte i innsjøen
- Bruk av bygghalm for å hindre algevekst
- Fjerning av forurensede sedimenter
- Diverse tiltak for å redusere bestanden av planktonspisende fisk for derigjennom å øke dyreplanktonets beiting på planteplanktonet (såkalt top-down kontroll)

Gjennomgangen har vist at det er det aktuelt å utrede følgende tiltak nøyere:

- Overføre vann fra Setten til Bjørkelangen
- Utfisking av planktonspisende fisk ved hjelp av trål med løpende utsetting av rovfisk
- Bruk av bygghalm for dempe algeveksten

Overføring av vann fra Setten er det eneste tiltaket som vil gi varig og garantert effekt. Hvis dette kan kombineres med kraftverk og drikkevannsforsyning kan det bli mer interessant enn om man ser det isolert. De to andre tiltakene vil kreve oppfølging (innsatskrevende vedlikeholdstiltak) med jevne mellomrom.

1. Innledning

Eutrofisituasjonen i Bjørkelangen har vært stabilt dårlig gjennom mange år, og det har ikke vært registrert nevneverdig bedring til tross for at det har vært gjennomført flere tiltak for å redusere kloakk tilførselen til innsjøen. Denne erkjennelsen har fått tiltaksgruppa til å fundere på om det skjer intern gjødsling i Bjørkelangen og at dette vil kunne bidra til at tiltak for å redusere den eksterne fosfortilførselen ikke er tilstrekkelig for å oppnå synlig bedring av miljøtilstanden i innsjøen. På denne bakgrunn ble NIVA bedt om, som en tilleggsutredning til den pågående forenklete tiltaksanalyse for Haldenvassdraget, å se på om det er aktuelt å sette i verk såkalte innsjøinterne restaureringstiltak i Bjørkelangen.

Det er naturlig å ta utgangspunkt i en sammenstilling NIVA (Faafeng 1993) gjorde av mulige restaureringstiltak i innsjøer. Hvis man ser bort fra de tradisjonelle tiltakene med fjerning av eksterne tilførsler av næringssalter, erosjonsmateriale og organisk stoff fra den menneskelige aktivitet i nedbørfeltet, lister Faafeng (1993) opp følgende tiltak:

- Fortynning og utspyling med renere vann
- Lede eventuelle restutslipp ut på dypt vann
- Direkte kjemisk felling i innsjøen
- Uttapping av næringsrikt bunnvann
- Hypolimnion lufting
- Destratifisering
- Fjerning av forurensede sedimenter
- Oksidasjon av forurensede sedimenter
- Behandling med algegifter
- Reduksjon av mengden planktonspisende fisk, enten ved utfisking eller ved å sette ut en egnet rovfisk
- Høsting av vegetasjon
- Heving av vannstanden
- Utsetting av plantespisende fisk (mot vannplanter)
- Tildekking av sedimentet

Ikke på langt nær alle de ovennevnte tiltakene vil være aktuelle å benytte i Bjørkelangen. I den første delen av utredningen er det undersøkt om det skjer nevneverdig intern gjødsling som følge av oksygensvinn under stagnasjonsperiodene og/eller høy-pH-betinget fosforfrigiving fra littorale sedimenter. Mens dette undersøkes, ser man på de mest aktuelle tiltakene

- Øke vannstanden
- Øke gjennomstrømningen, samt fortynne vannet, ved å lede inn vann fra den næringsfattige innsjøen Setten.
- Bruk av fellingskjemikalier
- Bruk av algicider som kobbersulfat og Cutrine Pluss
- Tilsette bygghalm for å hindre algevekst
- Fjerning av forurenset sediment ved mudring
- Utfisking av planktonspisende fisk, fremfor alt mort
- Utsetting av gjørs som er en særlig effektiv predator på mort

2. Kort beskrivelse av Bjørkelangen

Bjørkelangen er en relativt liten, og nokså grunn innsjø 124 moh øverst i Haldenvassdraget med et overflateareal på 3.3 km² og et middeldyp på 7 m. For beliggenhet, se **Figur 1**. Innsjøen ligger i rike marine avsetninger og det er betydelig jordbruksaktivitet i nedbørfeltet. De lavere delene av nedbørfeltet er utsatt for erosjon, og innsjøen mottar mye erosjonsmateriale fra landbruk og annen aktivitet. Dette erosjonsmaterialet inneholder fosfor, og bidrar til gjødsle innsjøen. Innsjøen mottar avrenning fra tettstedene Aurskog og Bjørkelangen, samt fra spredt bebyggelse. Innsjøen er kraftig overgjødset, og klassifiseres som hypereutrof. Hvert år er det store algemengder i innsjøen med sterk dominans av blågrønnalger, av og til med innslag av giftige stammer.

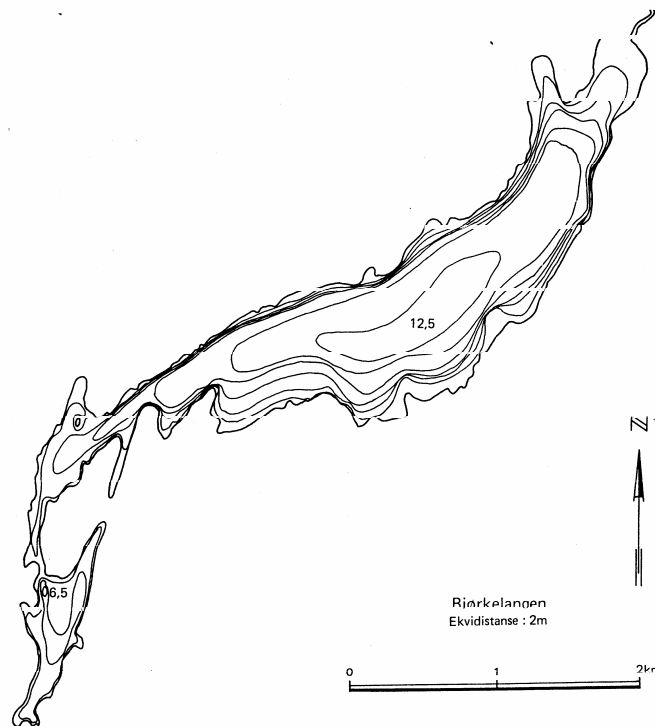


Figur 1. Beliggenheten av Bjørkelangensjøen. Innsjøen mottar avrenning fra Aurskog sentrum og Bjørkelangen sentrum, samt fra spredt bebyggelse og jordbruk (kart: NGO).

Morfometriske og hydrologiske data for Bjørkelangen er gitt i **Tabell 1**, mens dybdekart er gitt i **Figur 2**.

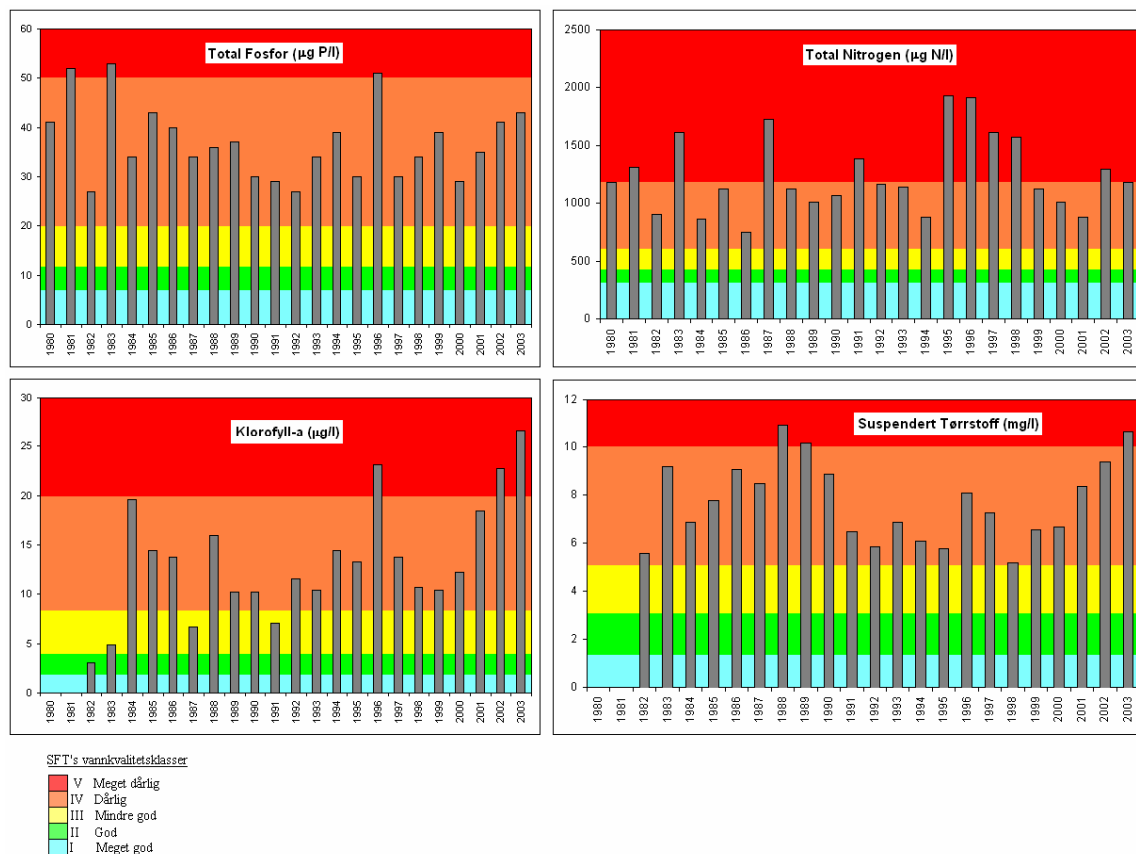
Tabell 1. Morfometriske og hydrologiske data for Bjørkelangen (Skulberg og Kotai 1982)

Parameter	Benevning	Verdi
Overflateareal	km ²	3,3
Største lengde	km	5
Største bredde	km	1
Volum	x 10 ⁶ m ³	25
Middeldyp	m	7
Største dyp	m	12
Reguleringshøyde	m	1,36
Nedbørfelt	km ²	278
Spesifikk avrenning	l/s x år	15,3
Årlig avløp	10 ⁶ m ³	124
Teoretisk oppholdstid	år	0,2

**Figur 2.** Dybdekart over Bjørkelangen (etter Skulberg og Kotai 1982)

3. Dagens vannstatus i Bjørkelangen

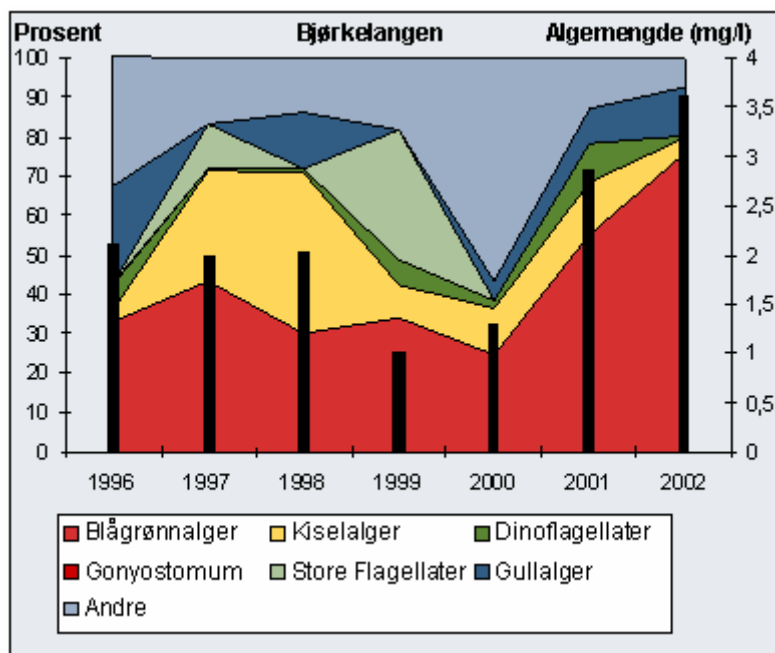
I **Figur 3** og **Figur 4** er overvåkingsdataene for Bjørkelangen fremstilt.



Figur 3. Resultater fra overvåkingen i Bjørkelangen sett i forhold til SFTs Vannkvalitetskriterier. Middelerverdier fra produksjonssjiktet 0-4 m. Resultater fra Fylkesmannens overvåking (SESAM-basen).

Overvåkingsresultatene viser at Bjørkelangen har dårlig til svært dårlig vannkvalitet mht eutrofiering for alle de overvåkede parametere som er vist i **Figur 3**. Sett over hele perioden 1980-2003 har det ikke vært noen signifikant endring i situasjonen. Klorofyll-a konsentrasjonen viser en signifikant forverring hvis man tar med alle dataene. Klorofylldataene fra de 2 første årene er trolig feilanalyser, da de rimer meget dårlig med de andre overvåkede parametrene. Tar man bort dataene for de 2 første årene er det heller ikke her noen signifikant endring. Utviklingen har gått i bølger med en topp i mengden midt på 1980-tallet, en ny topp midt på 90-tallet, og nå en ny topp i 2003.

Figur 4 viser mengder og algesammensetningen i Bjørkelangen fra 1996-2002 fra algeovervåkingen i Akershus som koordineres av fylkesmannens miljøvernnavdeling. Algeresultatene bekrefter den dårlige vannstatusen i Bjørkelangen.

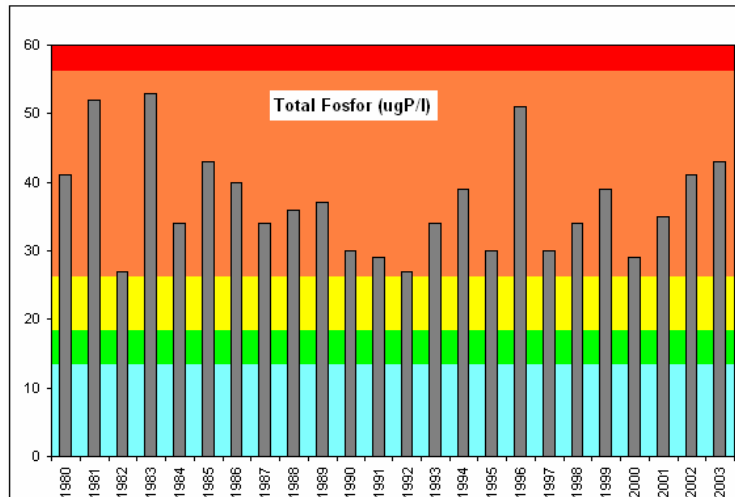


Figur 4. Algemengde og sammensetning av algesamfunnet i Bjørkelangen. Søylene gir algemengden i mg/l (høyre skala), mens den fargede bakgrunnen gir sammensetningen av de viktigste hovedgruppene i prosent. (fra Fylkesmannen i Akershus sine hjemmesider).

I henhold til EUs Vanddirektiv skal man sammenlikne dagens tilstand med forventet naturtilstand (reference condition). De fleste norske innsjøer er oligitrofe fra naturens side med fosfor-konsentrasjon $< 7 \mu\text{g P/l}$, og det er det SFTs vannkvalitetskriterier er satt opp etter. Bjørkelangen ligger i rike marine løsavsetninger og har nokså sikkert ligget i det mesotrofe nivå fra naturens side og ville ha hatt naturlig P-konsentrasjon noe over $10 \mu\text{g P/l}$. Mht beregning av akseptabel fosforbelastning for denne type innsjøer, anbefaler SFT i veiledning 95:01 en modell utviklet av Berge (1987). Etter denne modellen beregnes at man vil nå akseptabel vannkvalitet i Bjørkelangen om man greier å redusere P-konsentrasjon til ca $13 \mu\text{g P/l}$. Denne verdi er tatt inn i Fylkeskommunens "Forslag til Regionale Miljø" (Hauger 2002) og legges til grunn for den forenklede tiltaksplanen i Haldenvassdraget. Midlere konsentrasjon over de siste 25 årene ligger på $37 \mu\text{g P/l}$.

I den initielle karakteriseringen som skal gjøres etter vanddirektivet (Berge og medarb. 2004) er det bestemt fra Direktorsgruppen at SFTs vannkvalitetskriterier skal legges til grunn for risikovurderingen. Alle innsjøer som ligger i klasse 3 (mindre god) eller dårligere er "at risk" for ikke å nå God Vannstatus i 2015, som er målet i henhold til vanddirektivet.

Det er klart at Bjørkelangen vurderes for strengt etter en "rett fram bruk" av vannkvalitetskriteriene. Inkluderer man imidlertid vurdering etter SFT-Veiledning 95:01, som er i den samme serien med veiledere som vannkvalitetskriteriene (Miljømål for vannressursene), og som egentlig skal gjøres for grunne sjøer, burde man justere opp grensene i vannkvalitets kriteriene med $6 \mu\text{g P/l}$ for å se hvordan Bjørkelangen egentlig ligger an. Dette er gjort i **Figur 5**. Situasjonen ser noe bedre ut, men det er fortsatt klart at det må betydelige fosforreduksjoner til.



Figur 5. Bjørkelangens plassering i vannkvalitetskriteriene når de er justert opp for Bjørkelangens forventede naturlige fosforkonsentrasjon (10-11 $\mu\text{g P/l}$).

4. Skjer det intern gjødsling i Bjørkelangen?

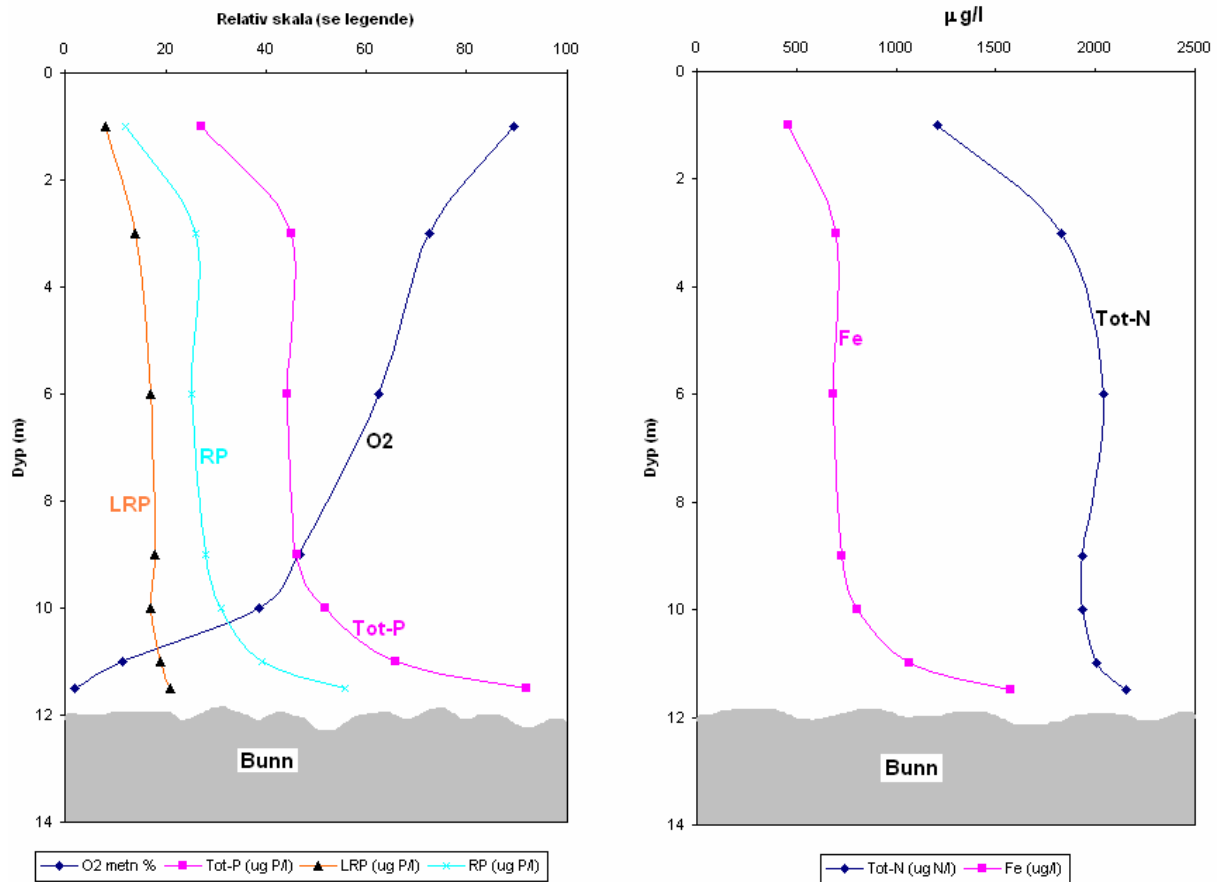
Intern gjødsling i innsjøer skjer gjerne som følge av 3 mekanismer:

1. Oksygenvinn i dypvannet under stagnasjonsperiodene vinter og sommer. Frigjøring av fosfor fra profundale sedimenter.
2. Høy pH i vannmassene om sommeren. Frigjøring av fosfor fra littorale sedimenter.
3. Høy tetthet av små karpefisk. Hindrer fosfor å gå inn i næringskjeden og sedimentere – det holdes i planteplanktonleddet. Dessuten roter mort mye i sedimentet og delvis spiser sediment, og frigjør sedimentfosfor på den måten.

Overvåkingen av Bjørkelangen har i hovedsak skjedd ved at man har tatt prøver av epilimnion (det algeproduserende lag) og fulgt med i hvor mye næringssalter og alger det er i innsjøen fra år til annet. Overvåkingen har ikke vært lagt opp til å avdekke om det skjer intern gjødsling eller ikke, så dette måtte inkluderes som en del av den foreliggende utredning.

4.1 Fosforfrigiving fra sedimentet om vinteren

Figur 6 viser resultater av en vertikal prøveserie som ble tatt 18. mars 2004 (slutten av vinterstagnasjonen) mht oksygen avtak mot dypet og eventuell næringssaltutlekking fra dypvannssedimentet.



Figur 6. Undersøkelse av oksygen konsentrasjon over dypeste punkt i Bjørkelangen ved slutten av vinterstagnasjonen, 18. mars 2004

Det fremgår av **Figur 6** at det skjer et kraftig avtak i oksygenkonsentrasjonen fra 10 m og nedover. Samtidig skjer det en kraftig økning av konsentrasjonen av total fosfor mot bunnen av innsjøen, fra ca 10 m og ned til det dypeste punkt på 12 m. Økningen i fosfor følges av en tilsvarende økning i jern, noe som indikerer at det lekker ut fosfor fra sedimentet. En del av økningen i fosfor skyldes nok også sedimenterende materiale som oppkonsentreres mot det dypeste punkt som følge av trakteeffekt mot bunnen. Jernkonsentrasjonen er helt oppe i 1,5 mg Fe/l, hvilket er en meget høy verdi. At ortofosfat ikke følger samme stigningen som jern mot dyppet, kommer nokså sikkert av at det skjer en felling av jern i kontakt med oksygen lenger opp i vannsøylen. Fnokkene som dannes sedimenterer og binder LRP. Vannet i den nederste meteren var tydelig turbid, noe som støtter denne antakelsen. Tilsvarende effekt, og enda mer markert, er observert i Bergsvannet i Eidsfoss i Vestfold (Berge 1980). Denne re-bindingen av det utløste sedimentfosforet vil dempe effekten av den interne gjødslingen.

Hvis vi allikevel ser bort fra denne dempingen, og antar at all økningen av Tot-P skyldes utløsning av sediment-P (antar ingen sedimentasjonseffekt), og at alt tilgjengelig gjøres i vårsirkulasjonen, kan vi gjøre en "i verste fall" beregning av betydningen av den oksygenviktbetingede fosforfrigivningen som skjer om vinteren.

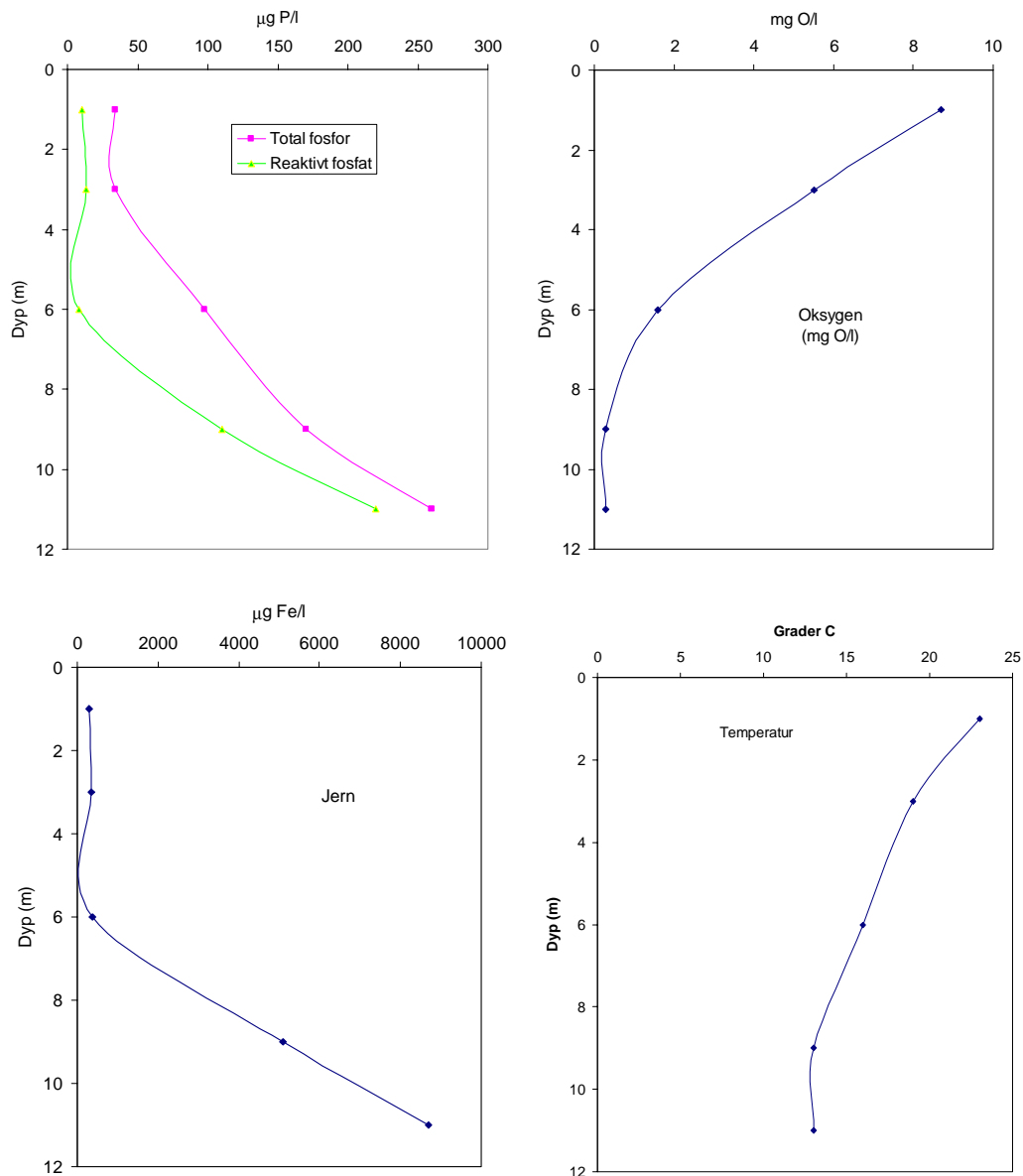
Av figuren fremgår det at det er volumet under 9 m dyp som påvirkes. Dette utgjør $4 \times 10^6 \text{ m}^3$ av innsjøens total volum på $25 \times 10^6 \text{ m}^3$. Midlere konsentrasjon i dette sjiktet er ca $60 \mu\text{g P/l}$ mot ca 40 i resten av vannmassene. Når vannmassene blandes om våren blir resultatkonsentrasjonen $47 \mu\text{g P/l}$. I tillegg er vannføringen stor på denne tiden og innsjøens vannmasser skiftes ut i alle fall en gang i løpet

av vårflommen. Innsjøens gjennomsnittlige vannutskiftning er 5 ganger i året ($T_w = 0,2$ år, gis $q_s=5$). Gjennomsnittlig P-konsentrasjon i innløpet er $66 \mu\text{g P/l}$. Dette betyr at intern gjødsling som skyldes oksygensvinn om vinteren har svært liten betydning i Bjørkelangen.

4.2 Fosforfrigiving fra sedimentet om sommeren

4.2.1 Ved oksygen svinn

Figur 7 viser resultater fra vertikal prøveserie tatt under sommerstagnasjonen, 11. august 2004. Oksygenavtaket er mye mer markert nå enn om vinterstagnasjonen. Allerede ved 6 m dyp er det lite oksygen igjen. Fosfor og jern viser en mye mer markert økning mot dypet enn om vinteren. Tot-P kommer helt opp i $260 \mu\text{g P/l}$ ved 11 m, mens man på 11 m i mars hadde ca $65 \mu\text{g P/l}$. Jern kommer opp i ca 9 mg Fe/l , mens det mars bare var ca 1 mg Fe/l ved 11 m dyp.



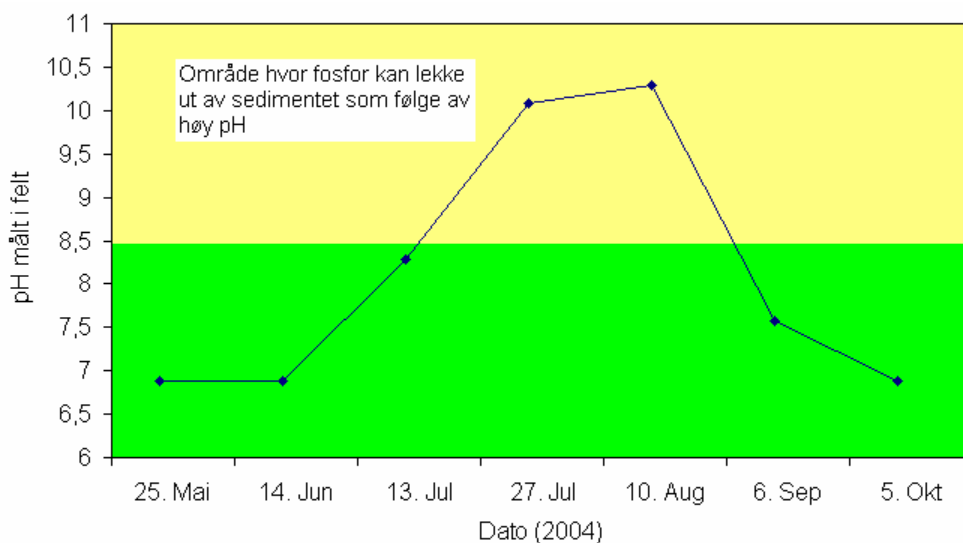
Figur 7. Bjørkelangen 11. august 2004. Oksygensvinn i dypvannet midtsommers fører til betydelig utlekking av fosfor og jern fra sedimentet.

Det er ikke noen enkel sak å beregne hvor mye fosfor som frigis fra sedimentet i løpet av sommeren på grunn av at det er en viss utveksling mellom dypvann og overflatevann i denne grunne innsjøen, såkalt turbulent diffusjon. Dette ser vi av at temperaturen nede på dypeste punkt er helt oppe i 13 grader før sirkulasjonen inntreer, mens temperaturen er bare 4-6 grader når innsjøen inngår i stagnasjon på forsommeren. Temperaturen i dypet 2-3 dobles i løpet av sommeren, hvilket kun kan komme av vannutskifting med overflatesjiktet. Dette indikerer at det blandes inn noe næringsrikt dypvann i overflatesjiktet stadig vekk under sommeren.

Grunnen til at oksygenavtaket er større om sommeren er at det sedimenterer stadig nytt planktonmateriale ned i dypet, noe som ikke skjer om vinteren. Bunnvannet er nær 10 grader varmere om sommeren, noe som gjør at oksygenforbruket er ca dobbelt så stort som om vinteren bare av denne grunn. Dessuten er det en lang høstsirkulasjon i denne grunne innsjøen, noe som gjør at det meste av det organiske materialet er nedbrutt før isen legger seg. Dette siste indikerer at det sannsynligvis ikke er tykke lag med næringsrike sedimenter med stort oksygenforbruk i Bjørkelangen, selv om man ikke har sedimentdata som kan dokumentere dette.

4.2.2 pH-betinget fosforfrigiving

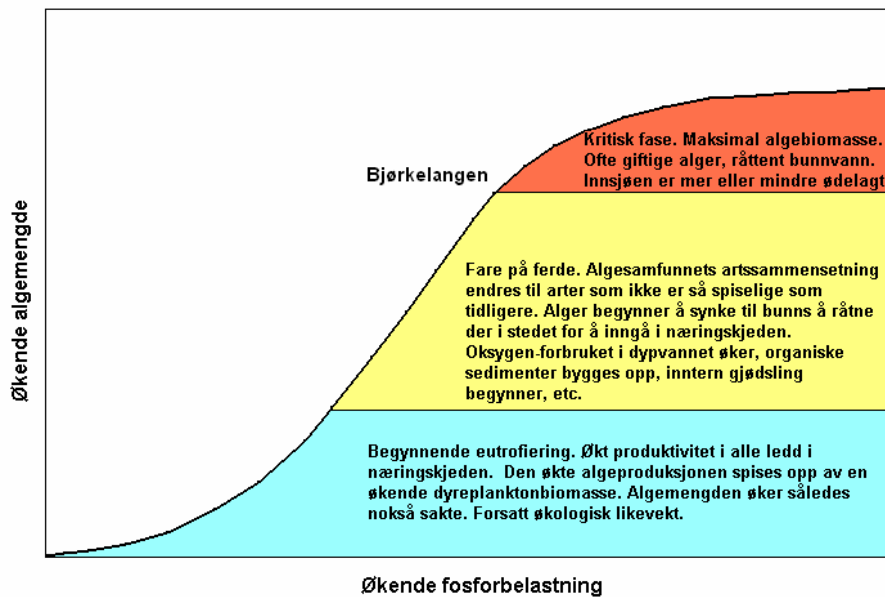
Høy primærproduksjon i vann fører til at pH stiger. Dette kommer til å begynne med av at plantene tar opp CO₂, som er den sure delen av bikarbonatsystemet som bufrer pH endringer i vann. Etter hvert som pH stiger begynner plantene å ta opp bikarbonat. De skiller da ut OH- for å opprettholde elektrisk likevekt, og pH begynner nå å stige raskt. En rekke blågrønnalger er eksperter i å greie seg under situasjoner med høy pH sammenliknet med andre alger. Når pH kommer over 8,4 fant Erlandsen og medarb. (1980) ut at sedimentet begynte å miste sin adsorptive evne til fosfationer, og fosfor begynte å lekke ut – jo høyere pH – jo raskere utlekking. Særlig i kombinasjon med vindgenerert resuspensjon vil høye pH verdier kunne føre til intern gjødsling – fosforholdige partikler blandes da inn i vann med høy pH – når vinden gir seg, sedimenterer partiklene, men ikke fosforet. For å observere de høye pH verdiene er det nødvendig å måle pH i felt, da bikarbonatsystemet raskt bufrer ned pH etter at vannprøvene er kommet på flaske. **Figur 8** viser pH verdiene målt i felt i blandprøver 0-4 m under sommeren 2004. En ser at det er ca 1,5 måneder (juli-august) at det er høy nok pH til at fosfor vil lekke ut fra littoralt sediment. I dypvannet er pH for lav til at pH betinget fosforutlekking kan skje.



Figur 8. Bjørkelangen 2004. pH målt i felt i 0-4 m sjiktet.

I det ovenstående er det sannsynliggjort at det skjer betydelig fosforfrigiving fra sedimentet i sommerhalvåret, både pH betinget og betinget av oksygenavtak mot dypet. Dette er med på å holde algeproduksjonen oppe på et høyere nivå enn om bare de eksterne tilførselene skulle styre algeproduksjonen.

Hvis man ser på den generelle kurven over eutrofiutvikling, **Figur 9**, så vil Bjørkelangen ligge i øvre del av det bratte området, på grensen mellom gult og rødt felt. En nokså liten reduksjon av de eksterne tilførselene vil trolig kunne slå av bryteren på de interne, og innsjøen vil bedre seg raskt etter en avlastning. For å være helt sikker på denne konklusjonen, burde man ha tatt sedimentprøver og testet disse for utlekking i laboratoriet.



Figur 9. Bjørkelangens tentative innplassering i det generelle utviklingsdiagram av eutrofi i innsjøer (etter Berge 2000).

5. Hydrologiske tiltak

5.1 Heving av sommervannstanden 1m

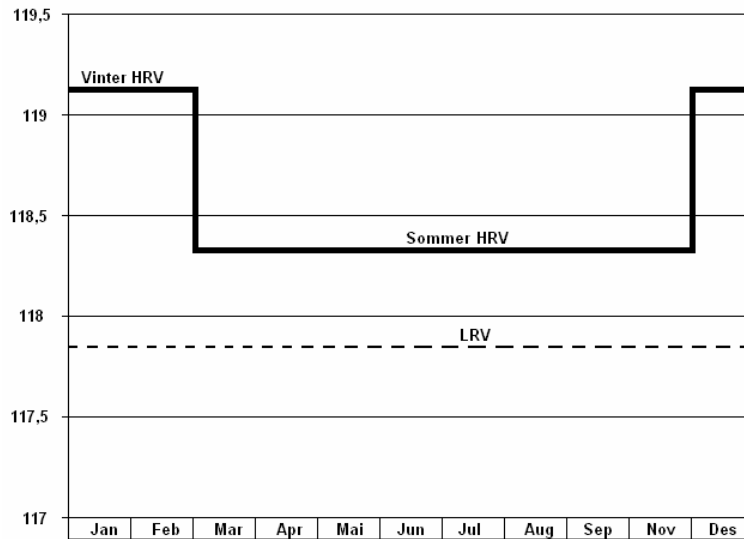
Bjørkelangen er regulert ca 1,3 m. Høydeangivelse på Bjørkelangen kan virke forvirrende. I konsesjonen står det at

LRV skal være kote 117,8 hele året

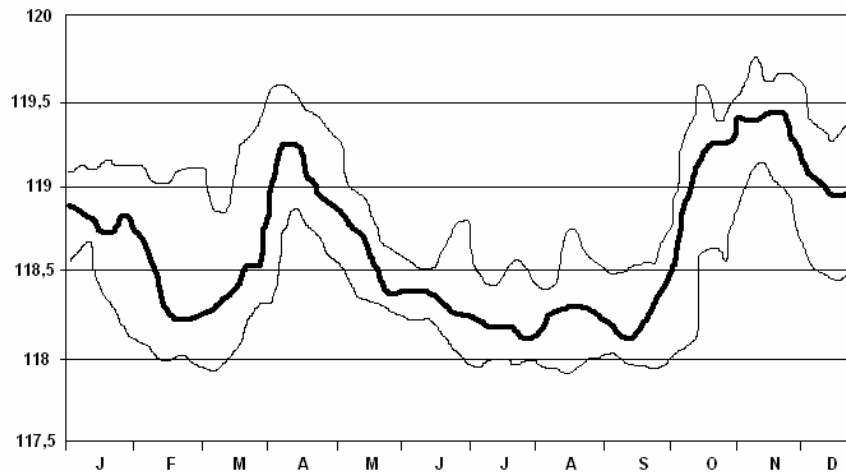
HRV skal være kote 118,36 moh i tiden 01.03-01.12 (regulert sommervannstand)

HRV skal være kote 119,16 moh i tiden 01.12-01.03 (regulert vintervannstand)

Dette reguleringsreglementet er illustrert i **Figur 10** og **Figur 11** (etter Johansen og Grande 1994). På alle kart står det imidlertid at høyden på Bjørkelangen er 124 moh. Det kan altså se ut som om innsjøen har vært senket 5 m. Senkingen som er foretatt i 1930-åra var mye mindre (Torfinn Moen i Haldenvassdragets Brukseierforening, pers. medd.), anslagsvis 1-2 m for å innvinne jordbruksland.



Figur 10. Manøvreringsreglement for Bjørkelangen (etter Johansen og Grande 1994)



Figur 11. Median vannstand i Bjørkelangen fra 1980-1992, samt 25%-persentil (øvre linje) og 75%-persentil (nedre linje). Etter Johansen og Grande (1994).

Hos NVE mener de at det er kartene som er riktig. For våre vurderinger spiller det egentlig ikke så mye rolle hvilket tall som er riktige for denne betraktningen. Det er de relative dybdene som gjelder.

I dag må regulanten søke å holde vannstanden mellom 117,8 og 118,3 moh i sommerhalvåret og mellom 117,8 og 119,2 moh om vinteren. De fleste år er imidlertid maks vannstand opp i 120 moh, men sjelden så høyt som 120,5 moh.

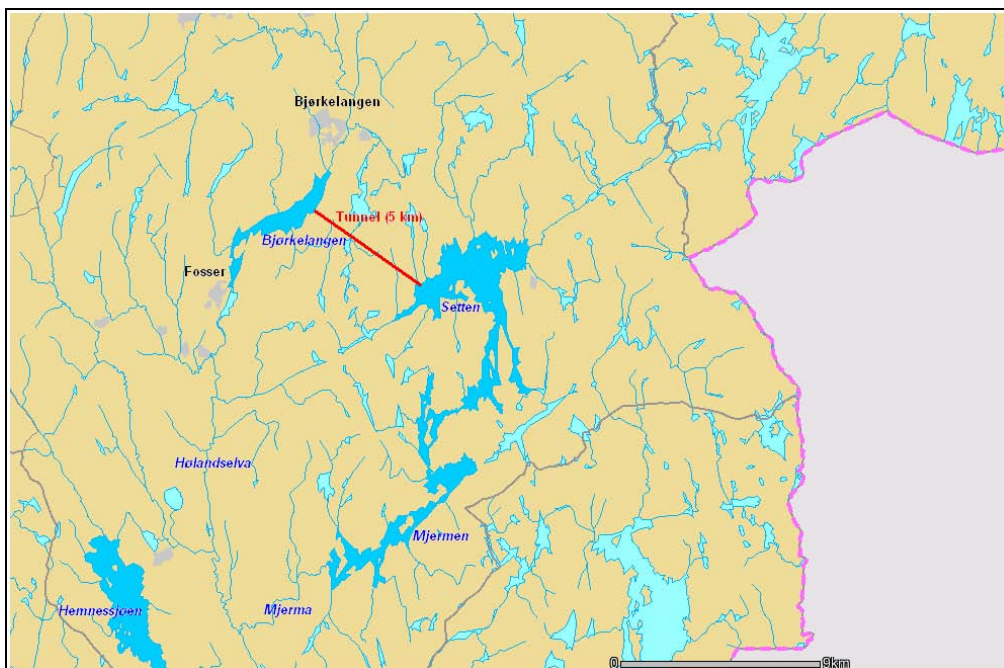
La oss si at i dag er gjennomsnittlig sommervannstanden ca 118 moh. I en grunn innsjø med rask gjennomstrømning slik som Bjørkelangen (oppholdstid 0,2 år), er det vannstanden om sommeren som er viktig mht å kontrollere algevekst. Sommerens algeproduksjon skjer som funksjon av det som tilføres under siste del av vårflommen og i sommerhalvåret. Holder man innsjøen 1 m høyere, dvs. på 119 moh, vil volumet øke fra 25 mill m³ til ca 30 mill m³. Teoretisk oppholdstid vil øke fra 0,20 til

0,24 år. Innsjøens fosforkonsentrasjon vil reduseres fra i dag 37 til 35,9 $\mu\text{g P/l}$. Dette er kun ca 3 % reduksjon.

Å øke innsjøens sommervannstand med 1 m vil gi liten effekt, kun 3 % reduksjon av P-konsentrasjonen.

5.2 Overføre Setten til Bjørkelangen

Et annet forslag har vært å føre vannet fra Setten over til Bjørkelangen for å fortynne vannkvaliteten i Bjørkelangen, samt å øke gjennomstrømningen. I dag renner Setten ut i hovedvassdraget (Hølandselva) ca 15 km nedstrøms Bjørkelangen. Vannet havner altså i samme vassdrag litt lenger nede. Se **Figur 12**.



Figur 12. Skisse som viser Setten tatt over til Bjørkelangen via en 5 km fjelltunnel for å fortynne, samt øke gjennomstrømningen i Bjørkelangen.

Bjørkelangen får øket sitt tilrenningsområde med 150 km^2 . Midlere spesifikk avrenning fra området er i følge NVEs Isohydatkart (NVE Atlas) ca 15 $\text{l}/\text{km}^2\text{xsek}$. Dette gir en ekstra vanntilførsel på 71 mill m^3 per år.

Nåværende vanntilførsel til Bjørkelangen	124	$\times 10^6 \text{ m}^3$
Overføring fra Setten	71	$\times 10^6 \text{ m}^3$
Ny vanntilførsel til Bjørkelangen	195	$\times 10^6 \text{ m}^3$

Dagens fosforkonsentrasjon i Bjørkelangen er i snitt 37 $\text{mg P}/\text{m}^3$. Midlere konsentrasjon i tilløpene (inkludert eventuelle direkteutslipp) beregnes via FOSRES-modellen (Berge 1987) til 66 $\text{mg P}/\text{m}^3$. Setten har en fosforkonsentrasjon på ca 5 $\text{mg P}/\text{m}^3$ (SESAM-data). Når dette vannet blander seg med

dagen tilløp blir den nye gjennomsnittlige fosforkonsentrasjonen i innløp 43 mg P/m³. FOSRES-modellen beregner da at gjennomsnittlig innsjøkonsentrasjon vil bli 26 mg P/m³.

Overføring av Setten til Bjørkelangen vil redusere fosforkonsentrasjonen i Bjørkelangen fra 37 mg P/m³ til 26 mg P/l (ca 30 % reduksjon). I henhold til den justerte vannkvalitetskriteriene, **Figur 5**, vil innsjøen bevege seg fra tilstand dårlig, til tilstand mindre god. Algeproblemene vil reduseres tilsvarende. Vannet vil bli klarere, gjedda vil se bedre og bli i stand til å jakte mer effektivt på morten. Man vil få en tilleggseffekt som følge av bedre egenkontroll av mortebestanden. Mindre mort gir mer dyre plankton, og dermed mer beiting på algebestanden. Å beregne denne tilleggseffekten eksakt er ikke mulig, og kompliseres ytterligere ved at *Mysis relicta* er tilstede i vassdraget (Åge Brabrand, pers. medd.). Denne reka kan overta beitingen på dyreplanktonet når mortebestanden desimeres.

Tiltaket vil være dyrt i anleggskostnader, men billig i drift. Før det settes i verk må det utredes konsekvenser for Mjerma og eventuelle rettighetshavere der. For Mjermen vil det trolig ikke ha nevneverdig negative konsekvenser, så vidt vi kan se på nåværende tidspunkt.

Overføring av vann fra Setten til Bjørkelangen vil ha meget positiv effekt på Bjørkelangen, og vil redusere fosforkonsentrasjonen der med ca 30 %.

Høydeforskjellen mellom Setten og Bjørkelangen er 43 m, og gjennomsnittsvannføringen i overføringstunnelen vil være ca 2,25 m³/s. Man kan tenke seg at man kan kombinere overføringen med installasjon av et lite kraftverk, og derigjennom gjøre prosjektet mer interessant. Muligens kan det også ses i sammenheng med drikkevannsforsyning.

5.3 Utnytte gamle fløtingsreguleringer i innsjøene oppstrøms Bjørkelangen til å øke gjennomstrømningen om sommeren

Dette er et tiltak som har vært vurdert av Løvstad og Hauger (1988). Tiltaket baserer seg på at det er særlig i tørre somre at det er blågrønnalgeproblemer i Bjørkelangen. I regnfulle somre er tilstanden mye bedre. Blågrønnalgene kommer vanligvis i juli i Bjørkelangen og varer ut august. Løvstad og Hauger tenker seg å utnytte reguleringsmulighetene i innsjøene Floen, Floangen, Øysjøen, Tævsjø og Langtjern.

Løvstad og Hauger skriver: Dersom disse gamle fløtingsreguleringene gjenopptas vil det totale magasinivolumet oppstrøms Bjørkelangen bli 5,9 millioner m³. Dersom vi forutsetter at epilimnion i Bjørkelangen i perioden juli-august utgjør ca 25 % av vannvolumet, dvs 6,3 millioner m³, og at magasinet tømmes i løpet av juli vil oppholdstiden i juli bli minimum 32 døgn. Dette gir en fortynningshastighet på minimum 0,031 døgn⁻¹. En fortynningshastighet større enn 0,05 døgn⁻¹ vil kunne forhindre masseutvikling av *Aphanizomenon*. Ut fra dette bør blågrønnalgeveksten kunne dempes ved å simulere våte somre.

Erlandsen og medarb.(1988) fant ved innhegningsforsøk i Kolbotnvatn hvor vanngjennomstrømningen ble foretatt ved algefri fortyntet kloakk, at oppholdstiden måtte ned i 5 døgn for at den generelle algemengden skulle bli vesentlig redusert som følge av gjennomstrømning alene. Det innstrømmende vannet her hadde mye mer algetilgjengelig fosfor enn hva innløpet til Bjørkelangen har.

Tiltaket er interessant, og burde prøves hvis reguleringsanordningene det snakkes om er intakte. Det er ikke mulig å si hvor mye man kan dempe algeveksten. En oppholdstid på 32 døgn demper ikke

algeveksten i sin alminnelighet, men for sentvoksende blågrønnalger kan økt gjennomstrømning kanskje gi et vekstproblem. Påslipp av næringsfattig vann fra de aktuelle innsjøene i juli-august vil imidlertid virke dempende på den generelle algeveksten pga fortynning. Denne effekten er vanskelig å beregne eksakt, men den blir nokså liten, i alle fall betydelig mindre enn ved å overføre vann fra Setten.

6. Mudring

Hvis en innsjø har vært overbelastet med næringssalter i lang tid vil det bygges opp et næringsrikt og organisk slam på bunnen av innsjøen. Det organiske innholdet i slammet vil forbruke oksygen i stagnasjonsperiodene sommer og vinter, jern reduseres fra 3 verdig til 2 verdig, og bindingsevnen til fosfor avtar, og fosfat lekker ut til det overliggende vannet. Selv etter at en innsjø er avlastet i tilstrekkelig grad, kan et slikt forurenset sediment hindre særlig bedring av forholdene i opp til 20-40 år.

Et effektivt, men kostbart tiltak er å fjerne sedimentet ved mudring. Dette er av kostnadsmessige hensyn ikke benyttet ved noen norsk innsjø. I Sverige derimot er noen innsjøer mudret, og det mest kjente eksempelet er Trummen i 1970-årene. Trummen er 1 km², altså mindre enn en tredjedel av Bjørkelangen. Innsjøen ble avlastet for kommunalt avløp allerede i 1960, men pga indre gjødsling forble innsjøen hypereutrof med Tot-P konsentrasjoner opp i mot 1 mg P/l, og pH verdier over 10 midtsommers. I 1969, 10 år etter avlastningen, var den indre gjødslingen midt i produksjonssesongen ca 60 ganger større enn den eksterne tilførselen av fosfor (Pettersen og Wallsten 1990).

Effekten av mudringen ble svært god med bl.a. en reduksjon av Tot-P på 90 % og betydelige reduksjoner av algebiomasse og økning i siktedyp.

Flere innsjøer er siden blitt mudret som restaureringstiltak, men aktiviteten er nå sterkt redusert på grunn av store kostnader. Hovedsakelig er tiltaket benyttet i små innsjøer. Kostnadene i de svenske mudringstiltakene har ligget på mellom 250 000- 850 000 kr per hektar mudderflate (Bratli 1992).

For Bjørkelangen blir dette tiltaket ikke vurdert nærmere før en eventuelt finner ut hvorvidt intern gjødsling er et problem eller ikke. Hvis man finner ut at det er tilfelle, bør det gjøres en sedimentundersøkelse for å se hvor forurenset sedimentet er. Slik de foreløpige resultatene indikerer, vil mudring ikke bli noe aktuelt tiltak i Bjørkelangen.

7. Bruk av fellingskjemikalier direkte i innsjøen

Særlig fra USA har man mange eksempler på bruk av fellingskjemikalier som aluminiumsulfat og jernklorid direkte i innsjøer for å felle fosfor og alger (samme prosess som i renseanlegg). Ved bruk av for eksempel aluminiumsulfat er formålet foruten å felle fosfor, og dermed redusere fosforinnholdet i vannmassene, også å dekke til sedimentene, for derigjennom hindre utlekking av fosfor fra disse. Det er spesielt egnet for å hindre utlekking som skyldes oksygensvinn i dypvannet.

Resultatene fra USA er høyst variable og det pekes på at innsjøene samtidig må avlastes i nødvendig grad, samt at innsjøene ikke må være for vindeksponert slik at bunnslammet kan forstyrres ved resuspensjon.

I Norge er dette tiltaket lite benyttet. Langevannet i Lørenskog ble behandlet med aluminiumsulfat, men etter tilsetning av 30 tonn, ble det observert omfattende fiskedød, og forsøket ble stoppet. Fellingen er relativt følsom for pH og må foregå mellom pH 6 og 7,5. Fellingsreaksjonen forbruker alkalitet og virker forsurende. Ved høye pH verdier dannes $\text{Al}(\text{OH})_4$ som da er giftig for fisk. Under pH ca 5,5 blir aluminium igjen giftig for fisk.

Midtsommers er trolig pH for høy i Bjørkelangen, slik at det kan oppstå giftige aluminiumsformer. En eventuell felling må foregå umiddelbart etter vårsirkulasjonen og vårflommen før de høye pH verdiene har oppstått som følge av høy algeproduksjon. Erfaringer viser at behandling må foretas 2-3 ganger i løpet av sommeren. Tiltaket egner seg best for vann typer med høy alkalitet. I innsjøer med vannkvalitet som Bjørkelangen vil det lett kunne bli problemer som følge av at man ikke greier å holde pH i det ufarlige området.

Tiltaket anses som lite aktuelt for Bjørkelangen.

8. Bruk av algicider

I dag bruker man i Norge algicider i fontener (Algen Stop, trolig et kobberpreparat), og i svømmebasseng (klor). I innsjøer har kobber ikke vært benyttet i Norge ennå. Ute i verden har det imidlertid vært benyttet i nær 100 år i drikkevannsreservoarer, særlig i USA og i Australia. Kobber sulfat er det mest benyttede stoff. Kobber er ekstremt giftig for alger, men lite giftige for dyr og mennesker. Mens for eksempel blågrønnalger dør ved konsentrasjoner av kobber på 10-20 $\mu\text{g Cu/l}$ sier drikkevannsnormen at det er trygt å drikke vann med opptil 50 $\mu\text{g Cu/l}$. I naturen er det sjelden å finne vann med mer enn 2-3 $\mu\text{g Cu/l}$.

Problemet med kobbersulfat er at det også virker som et fellingskjemikalie. Det forsvinner relativt raskt til sedimentet, og tar algene med seg. US EPA (USAs forurensningstilsyn) har etter hvert blitt restriktive med bruk av kobbersulfat, fordi det etter lang tids bruk har ført til opphopning av kobber i sedimentet, noe som kan føre til stress for bunndyrene (insektslarver, marker, etc).

Man har derfor gått over til kjelaterte kobber forbindelser, der Cutrine Plus (fra Applied Biochemists, Milwaukee, WI 53022) er det mest benyttede. Dette preparatet har den fordel at kobberet ikke sedimenterer ut så fort, noe som gjør at virkningstiden blir lenger, og man trenger mye lavere konsentrasjoner for at algene skal reduseres.

I Akersvannet ved Tønsberg, reserve drikkevannskilde for Vestfold Interkommunale Vannverk (VIV), ble det søkt Statens Institutt for Folkehelse, samt SFT, om tillatelse til å benytte kobber preparater for å bekjempe oppblomstringer av giftige blågrønnalger, som var et stort problem i drikkevannsforsyningen. Man fikk tillatelse til å benytte Cutrine, men man ønsket primært å benytte kobbersulfat da dette var mye billigere. Dette fikk man imidlertid ikke tillatelse til å benytte. Bruk av kobbersulfat i Akersvannet ble beregnet til kun 125 000 kr per år, Cutrine opp i mot det dobbelte.

VIV bestemte seg da for å bygge ut Eikeren i tillegg til Farris, slik at trygg reserveforsyning kunne garanteres, og å fase ut Akersvannet, noe som skjer neste år.

De norske myndighetene er skeptiske til å benytte pesticider i vann, selv om vi benytter det hyppig på maten vi spiser (plantevernmidler). Grunnen til at man fikk tillatelse i Akersvannet var at man hadde et prekært problem mht drikkevannsforsyning, og algene gjorde vannet mye giftigere enn kobberet

som skulle brukes til å bekjempe dem. I tillegg til at algene i Akersvannet var svært giftige, var det så mye alger at nesten alt rentvannet gikk med til å spyle filtrene. Dvs man fikk nærmest ikke produsert drikkevann.

Bjørkelangen er ikke drikkevannskilde, og vi er nokså sikre på at det ikke blir innvilget tillatelse for å bekjempe et forurensningsproblem ved hjelp av pesticider. Selv om Cutrine-behandling er meget effektivt, og gir et garantert godt resultat, føler vi at det foreløpig er uaktuelt for Bjørkelangen.

9. Bruk av bygg-halm

En metode som har fått mye fokus de senere år når det gjelder bekjemping av algevekst i dammer og mindre innsjøer, er bruk av halm fra bygg (cf. Lembi 2002). Metoden ble utviklet i England tidlig i 1990-årene hvor den etter hvert er nokså mye benyttet også i større reservoarer og kanaler. Nøyaktig hvordan metoden virker, vet man ikke. Man antar at når sopp bryter ned bygg halm i vann, lekker det ut stoffer i vannet som hemmer algevekst. De aktive kjemiske stoffene er ikke identifisert, men man antar at det kan være oksiderte polyphenoler eller peroksider. Det er heller ikke klart om det er stoffer som lekker ut fra halmen, eller om det er metabolske produkter som skilles ut av soppen. Det er heller ikke klart hvorfor bygg gir mye bedre resultater enn andre kornslag. Aktiviteten til bygghalmen dreper ikke eksisterende alger, men den hindrer nye alger å utvikle seg. Det tar dessuten noe tid, avhengig av temperatur, før nedbrytningen har kommet så langt at algeveksthemmende stoffer skilles ut. Tiden varierer fra 1-2 uker ved 20 °C til 6 uker ved temperaturer lavere enn 10 °C.

Center for Aquatic Plant Management, England, har kommet lengst med teknikk for bruk av bygghalm. De anbefaler at man legger ut halm allerede i slutten av april for å hindre algevekst. Man trenger i snitt ca 220 pund halm per acre, noe som tilsvarer ca 25 kg per mål med normalt tørr halm tatt fra halmballer. Halmen må pakkes løst og bøyes opp på 1-2 m dyp, slik at ikke noe syns fra overflaten, samt at de algehemmende stoffene lekker ut til de algeproduserende øvre vannlag. Man må ha halmen mer løst pakket enn i halmballer, slik at man kan ikke legge ut halmballer direkte. Man kan enten lage løst pakke vedsekker med halm, eller man kan lage lengre pølser ved bruk av for eksempel en juletrepakker, se **Figur 13**. Halmen flyter når den legges ut, men vil etter hvert synke. Man bør derfor legge isoporbiter med jevne mellomrom i halmpølsa.

For Bjørkelangen vil man trenge ca 85 tonn halm i året for å få full effekt. Dette høres ut til å være en uoverkommelig stor mengde, men fra landbruks hold er dette regnet for absolutt overkommelig. For å få litt perspektiv på dette så er det ikke mer enn den mengde fisk man må fjerne for å få god effekt av et eventuelt utfiskingstiltak. Det vil trolig være mye mindre arbeid å legge ut denne halmen enn å fange en tilsvarende mengde fisk. Halm er dessuten et overskuddsprodukt i landbruket. Det skal sies at man aldri har benyttet halm for å begrense algemengden i en så stor innsjø som Bjørkelangen. Det er mest benyttet til dammer og småvatn opp til 100 mål. Før man satser på et eventuelt halmtiltak i Bjørkelangen, bør man prøve ut tiltaket i mindre skala, for eksempel i en bukt i innsjøen.



Figur 13. Øverst til venstre. Løst pakkede halmpølser lages ved hjelp av en juletre-pakker. Legg inn en isoporbit med jevne mellomrom. Øverst til høyre: Halmpølse legges ut. Nederst: Løst pakkede vedsekker. Foto: CAMP (Center for Aquatic Plant Management, England)

10. Fiske-tiltak

10.1 Litt om fiskebestanden i Bjørkelangen

Når en innsjø eutrofieres blir vannet grumsete. Rovfisk som gjedde og abbor ser dårligere og blir mindre effektive jegere. Karpefisken øker i antall og fiskefaunaen blir ofte dominert av småvokste eksemplarer av karpe fisk. Dette er også tilfellet med Bjørkelangen der mort, flire og laue i 1982 utgjorde hhv 50 %, 15 %, og 15 %, se **Tabell 2** (Etter Vøllestad 1983).

Tabell 2. Påviste fiskearter i Bjørkelangen. Prosent av total antall fisk ved prøvefiske, etter Vøllestad (1983).

Fiskeart	Prosentandel av total antall i prøvegarnsfangst
Abbor	8,9
Hork	2,7
Gjedde	0,9
Lake	0,3
Mort	50,2
Brasme	6,5
Flire	15,0
Laue	14,8
Sørv	0,2
Krøkle	0,5

I tilløpene er det i tillegg påvist ørekyt, gullbust, ørret, niøye og kreps (Larsen og Løvstad 1992), dvs disse artene må også regnes som tilstedeværende i Bjørkelangen, selv om de ikke er så tallrike at de fåes i et vanlig prøvefiske.

Som det fremgår av tabellen var mort den dominerende fiskeart under prøvefisket. Flire, laue, brasme og abbor forekom også i et betydelig antall. Brabrand (1993) fant ved prøvefiske i begynnelsen av september 1992 også dominans av mort, men også en stor andel abbor og flire. Brasme ble ikke funnet den gangen. Fiskebiomassen i Bjørkelangen ble beregnet til 290 kg/ha på dagtid og 112 kg/ha om natten ved ekkoloddregistrering. Dette er noe lavere enn i flere andre lavereliggende næringsrike innsjøer med karpefisk (Brabrand 1993). I Brabrands rapport trekkes det fram at det har vært registrert fiskedød i Bjørkelangen – sannsynlig på grunn av oksygenvinn. Dette kan være årsaken til den noe lavere fiskebiomasse enn tilsvarende grunne næringsrike innsjøer.

Oksygenforholdene i mars i år var forholdsvis gode, noe som tilsier at denne vinteren vil det ikke skje fiskedød som følge av oksygenvinn.

Planktonspisende karpefisk utgjør altså mer enn 80 % av antallet i prøvefisket, og det er overveiende sannsynlig at deres beiting vil kunne redusere dyreplanktonets algebeitingspotensiale.

Det finnes dyreplanktondata fra to datoer i 1988, 6. august og 3. september, innsamlet i forbindelse med SFTs Regional Eutrofi-prosjekt (Faafeng og medarb. 1990), men materialet kommenteres ikke spesielt for Bjørkelangen i dette prosjektet som omfattet 356 innsjøer. I det nedenstående kommenteres materialet fra de 2 datoene av dyreplankton-ekspert Jarl Eivind Løvvik (NIVA):

”Dyreplanktonet i Bjørkelangen var dominert av de småvokste vannloppene *Daphnia cristata* og *Bosmina coregoni* samt den calanoide hoppekrepsen *Eudiaptomus gracilis* og cyclopoide hoppekreps. I tillegg var vannloppene *Daphnia galeata* og *Diaphanosoma brachyurum* relativt vanlige. Middellengden av dominerende vannlopper var ca. 0,7 mm for *D. cristata* (maksimumlengde 0,8-1,0 mm) og ca. 0,4 mm for *B. coregoni*. Artssammensetningen og dominans av så småvokste arter og individer indikerer at dyreplanktonet var utsatt for et meget hardt predasjonspress fra planktonspisende fisk. Innsjøen er da også plassert i fiskepredasjonsklasse 6 ut fra fiskesamfunnets sammensetning, som er klassen med antatt hardest predasjonspress. De fleste artene er vanlige i et vidt spekter av innsjøtyper, men det ble ikke observert indikatorarter for hverken oligotrofe eller eutrofe forhold. Det var ikke noe i artssammensetningen som indikerte forurensningseffekter. Totalbiomassen av dyreplankton varierte i området ca. 130-160 mg tørrvekt pr. m³, noe som kan betegnes som høy biomasse og tyder på at innsjøen er/var temmelig produktiv.”

Vurdert ut fra så vel fiskefauna og dyreplankton fauna ser det ut til at man kan forvente en effekt av et utfiskingstiltak i Bjørkelangen. Problemet er:

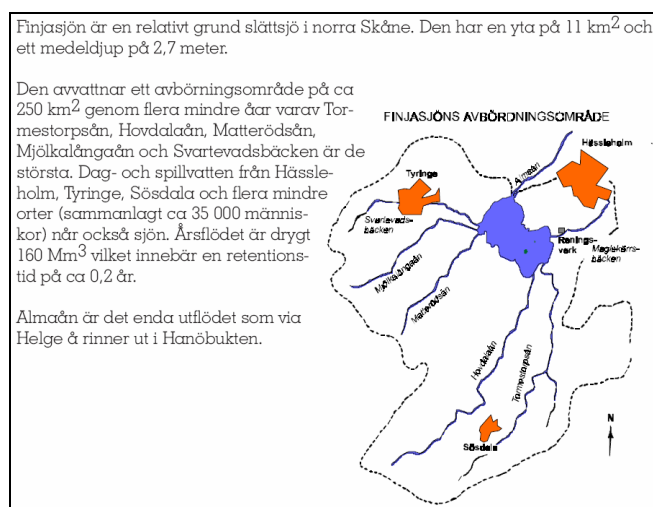
- Hvor arbeidskrevende vil det være
- Hvor lenge vil effekten vare
- Hvilket vedlikeholdsarbeid må man påregne

Dette er vanskelige spørsmål å besvare eksakt. Før man går inn på dette vil det være illustrativt å se på hvordan det har gått i noen liknende utfiskingstiltak i Norge og Sverige, både som følge av fiskeutrydding ved bruk av rotenon, fysisk fiske, samt utsetting av rovfisk.

10.2 Noen eksempler på fiskemanipulering og effekter

10.2.1 Finjasjøen i Skåne i Syd-Sverige

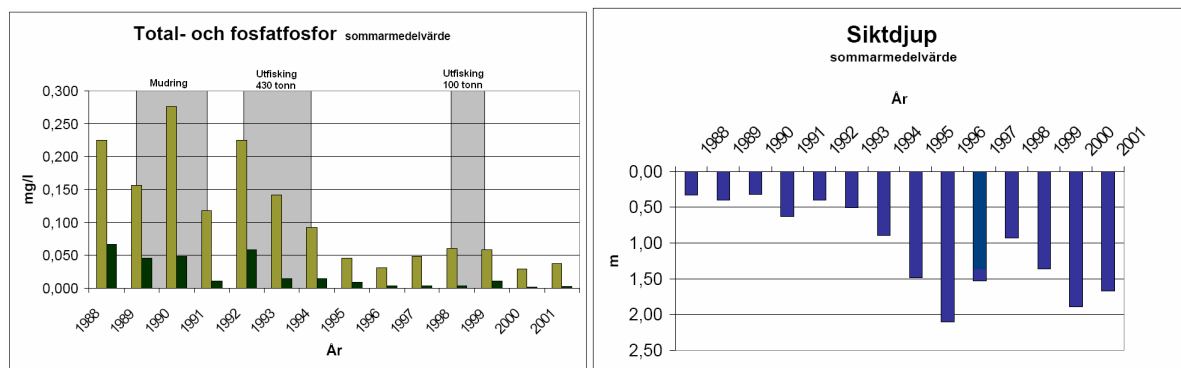
Finjasjøen er en grunn innsjø i nordre Skåne, se **Figur 14**. Den har en overflate på 11 km² og et middeldyp på 2,7 m. Etter 1960 økte algemengden i sjøen kraftig og i midten av 1970 åra var det årlig oppblomstringer av blågrønnalger, med dominans av *Microcystis Wesenbergi*. Informasjonen er hentet fra følgende rapporter (Hasselholm kommun, Gatukontoret (1997), Hasselholm kommun, Tekniska kontoret (1999), Hasselholms Vatten AB Laboratorium (2001).



Figur 14. Skisse over Finjasjøen i Nordre Skåne (etter Hasselholm kommun 1997)

I 1977 bygde man moderne renseanlegg med bl.a fosforfelling. Man fikk imidlertid ikke med all bebyggelse, samt at jordbruket fortsatt drev intensivt. Undersøkelser viste at sedimentet hadde akkumulert store mengde fosfor, og dette lekket ut og underholdt en høy algeproduksjon. I 1980 satte man i gang et mudringsprosjekt der man skulle ta opp 0,5 m sediment over innsjøens sentrale arealer, slik at man kom ned til uforurensede sedimenter. Dette prosjektet ble svært dyrt, og man ble nødt til å stoppe det etter at ca 30 % av jobben var utført. Første året etter mudring var forholdene noe bedre, men allerede et år senere var forholdene like dårlige som før.

Man satte da i gang med nye tiltak rettet mot ytterligere tilkopling til avløpsnett, etablering av 5 m vegetasjonssoner langs innløpene, samt at man satte i verk et stortilt trålefiske etter mort og brasme. Fra 1992-94 ble det tatt opp 430 tonn karpefisk. Dette fiskeprosjektet kostet 8 mill svenske kroner. Vannkvaliteten bedret seg kraftig. I 1997 og 98 begynte imidlertid vannkvaliteten å bli dårligere igjen, noe som først og fremst gav seg utslag i lavt siktedyp. Man observerte at det var begynt å bli mye karpefisk tilstede i sjøen igjen, og man satte i verk et nytt fiske hvor man tok opp 100 tonn karpefisk. Vannkvaliteten bedret seg igjen, se **Figur 15**.

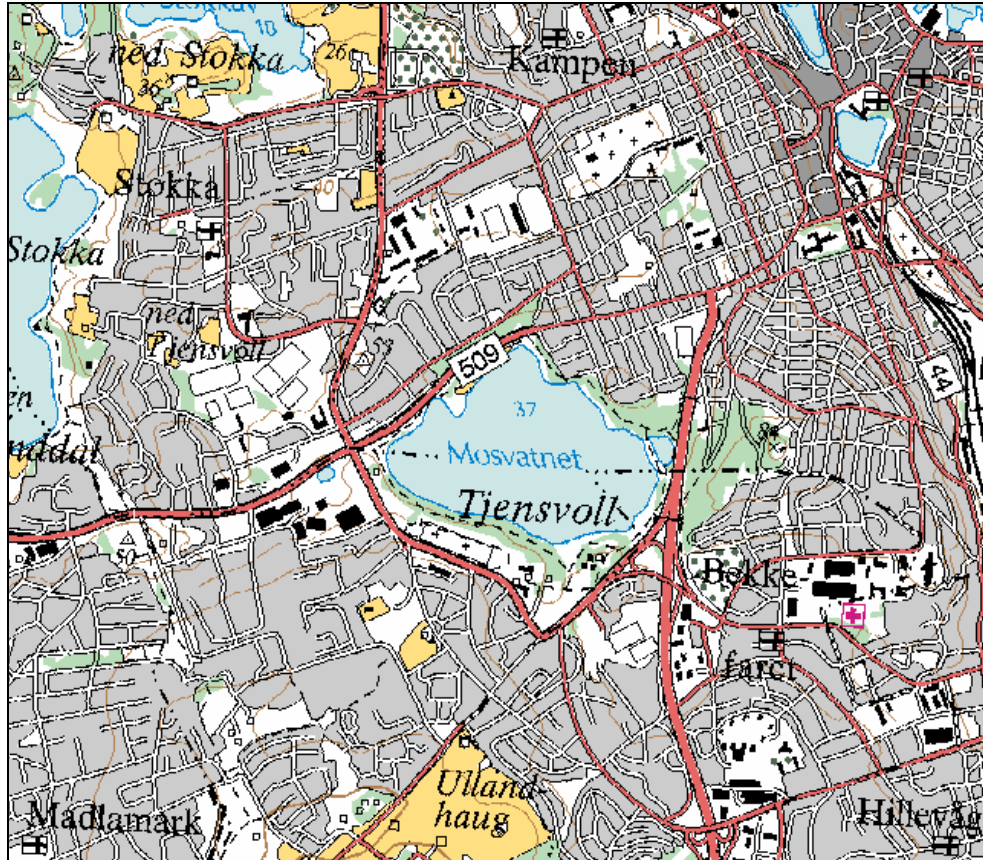


Figur 15. Fra restaureringen av Finjasjön i Skåne i Syd-Sverige (etter Hassleholm Vatten AB 2001)

Resultatene fra Finjasjön viser at utfisking hjelper, men at man må påregne vedlikeholdsfiske med jevne mellomrom.

10.2.2 Mosvatnet i Stavanger

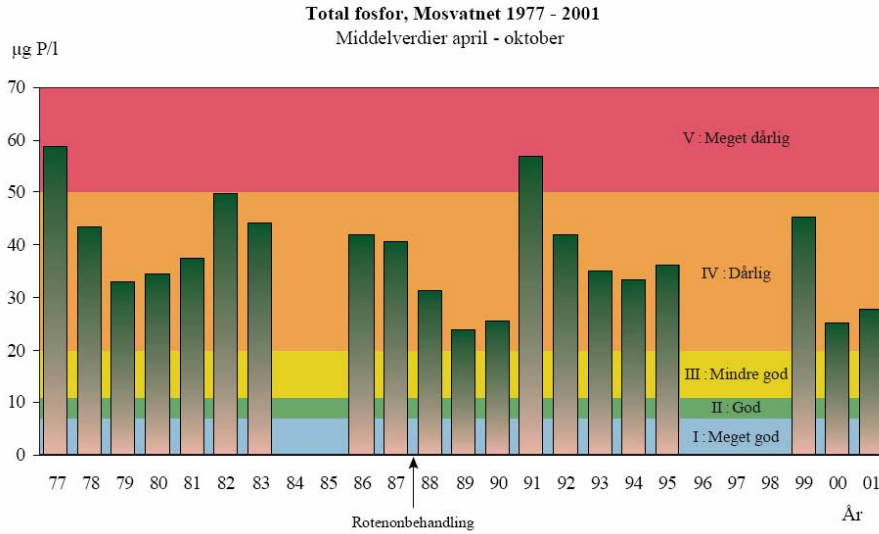
Mosvatnet er en liten grunn innsjø beliggende inne i byområdet i Stavanger, se **Figur 16**. Den er avlastet fra kloakk så langt det har vært mulig. Likevel var ikke vannkvaliteten tilfredsstillende. Det var store mengder og problemer med blågrønnalgeoppblomstringer. Innsjøen hadde på dette tidspunktet store bestander av planktonspisende fisk.



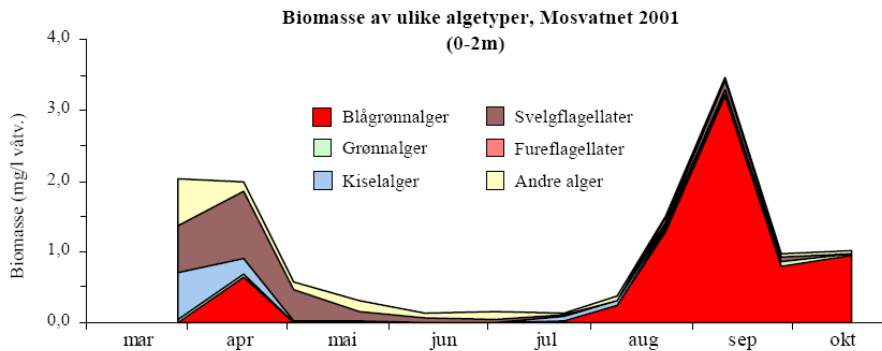
Figur 16. Mosvatnet i Stavanger (Kartskisse fra Statens Kartverk)

For å bedre innsjøens selvrensningsevne ble all fisk drept i 1987 ved hjelp av rotenon. Dette strakstiltaket ga grunnlag for en stor bestand av algespisende dyreplankton. Vannet klarnet opp de første årene etter tiltaket, men etter hvert ble fosforkonsentrasjonen omtrent som før. Høyere vegetasjon ekspanderte kraftig de første årene og dekket snart hele innsjøbunnen. I dag har vegetasjonen gått noe tilbake. Innsjøens økologiske tilstand må karakteriseres som ustabil. Enkelte år er vannet klart og fint det meste av sommeren, mens andre år er oppblomstringer av blågrønnalger. I 2001 var det kraftig vekst av trådformede alger, mer eller mindre over alt i sjøen, på vegetasjonen, på bunnen, og langs strendene. **Figur 17** viser fosforkonsentrasjonene i årene før og etter tiltaket med å fjerne all fisk. **Figur 18** viser forløpet av algemengde fra 2001, noe som kanskje viser det mest typiske forløpet i tiden etter rotenon-tiltaket, nemlig: Mye alger om våren – lite midtsommers- og mye på ettersommeren og høsten igjen. Om ettersommeren og høsten er det gjerne oppblomstring av blågrønnalger, se (Molversmyr 2002).

Man har oppnådd at vannkvaliteten de fleste år stort sett er bra i badesesongen, men fra midten av august kan det være like mye blågrønnalger som før.



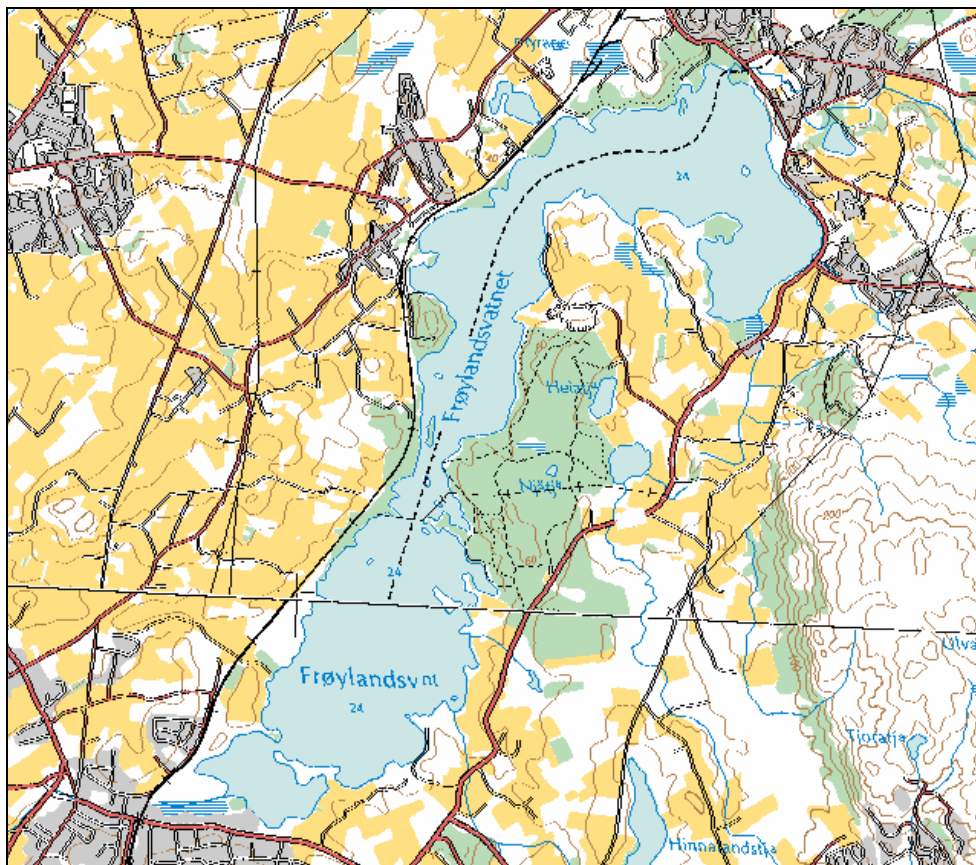
Figur 17. Middelkonsentrasjon av total fosfor i Mosvatnet i Stavanger i årene før og etter fjerning av planktonspisende fisk sammenholdt med SFTs vannkvalitetskriterier (etter Molversmyr 2002).



Figur 18. Typisk forløp i algebiomasse og sammensetning etter fjerning av fisk i Mosvatnet (etter Molversmyr 2002).

10.2.3 Utfisking av lagesild i Frøylandsvatnet på Jæren

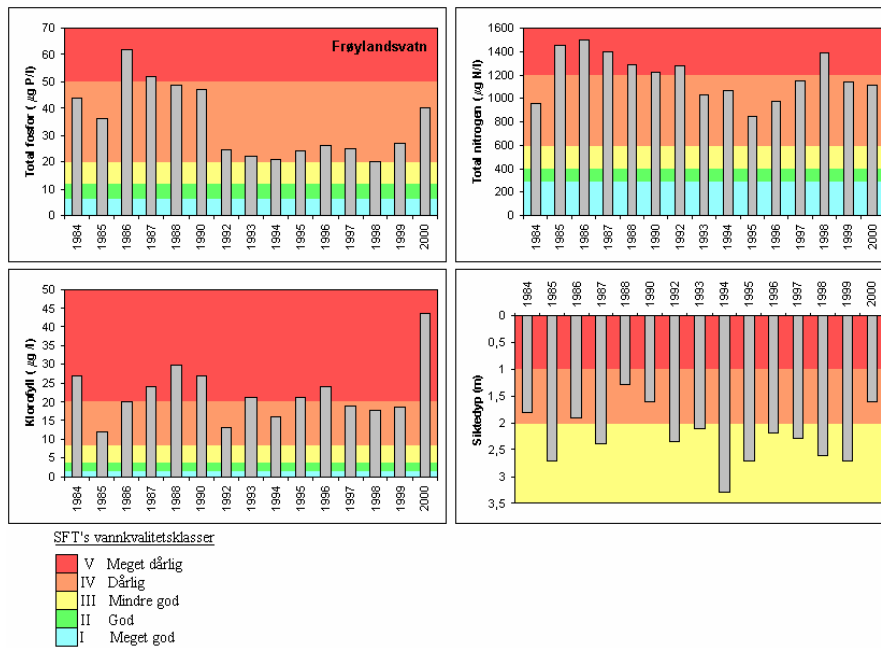
Frøylandsvatnet er en eutrofiert innsjø beliggende i Time og Klepp kommuner på Jæren, i Rogaland, se **Figur 19**. Innsjøen er sterkt påvirket av jordbruk og bebyggelse. Innsjøens areal er 4,95 km², middeldypet er 5,3 m.



Figur 19. Frøylandsvatn i Time og Klepp kommune på Jæren.

Fra 1989 til 1991 ble det foretatt utfiske av planktonspisende fisk i Frøylandsvannet. I alt ble det tatt opp 34 tonn, ca 85 % lagesild og resten sik. Fra overvåkingsresultatene **Figur 20**, kan man se at det var en bedring i siktedyptet og annen vannkvalitet de første årene etter tiltaket, men tilstanden har senere falt tilbake til det gamle dårlige nivået. Med hensyn til algemengde og fosfor ligger innsjøen fremdeles i klasse IV (dårlig) til V (meget dårlig).

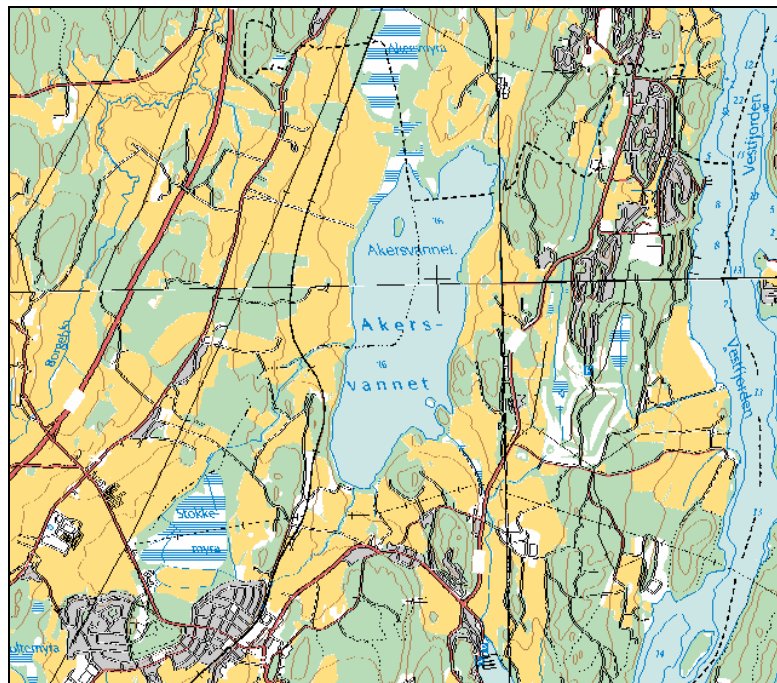
Utfisking var ikke noen varig løsning for Frøylandsvatnet.



Figur 20. Overvåkingsresultater fra Frøylandsvatnet (etter Berge 2002)

10.2.4 Akersvatnet ved Tønsberg

Akersvatnet ligger i Sem og Stokke kommuner ved Tønsberg, se **Figur 21**. Innsjøen er sterkt eutrof og påvirket av hovedsakelig landbruk, dernest avløp fra bebyggelse.

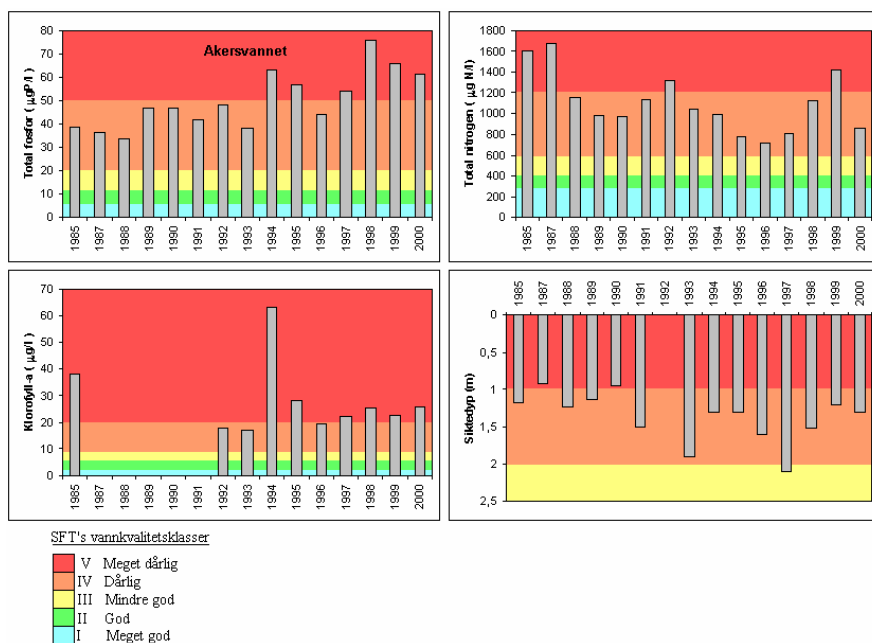


Figur 21. Akersvatnet ved Tønsberg (Kartskisse Statens Kartverk)

Vannkvaliteten er overvåket tilbake til 1985, om enn med litt forskjellige metoder (Eggestad og Bratli 1997). De første årene ble det tatt prøver fra råvannsinntaket på 8-9 m. Etter å ha undersøkt et materiale med målinger for hver meter i vannsøylen (Skulberg 1998), viser det seg at en prøve på 8-9 m gir en klar underestimering i forhold til en blandprøve fra 0-6m. Dette skyldes at algene, som stort sett finnes i de øvre vannlag (epilimnion) der det finnes nok lys, binder svært mye av næringssaltene i organisk form sommerstid. De første årsmidlene vil derfor være underestimerte. Fra 1992 er det brukt samme metode, dvs. blandprøver fra produksjonssjiktet.

I Akersvannet ble det satt ut gjørs i 1976, opprinnelig for å få en interessant sportsfisk i vannet i tillegg til abbor og gjedde. Det tok mange år før gjørsen dannet nevneverdige bestander. I midten av 1980 åra ble det foretatt et prøvofiske av P. Pethon ved Zoologisk museum i forbindelse med vannbruksplanarbeidet (se Berge 1986). Gjørs utgjorde da ca 1 % av fangstene. Rundt 1988-90 tok bestanden av gjørs seg kraftig opp og Akersvannet begynte å bli kjent i sportsfiskekretser for å ha spesielt stor gjørs. I 1993 ble det igjen foretatt et prøvofiske (Grande og medarb.1994) og nå utgjorde gjørs ca 35 % av fangstene. Vannet i Akersvannet fra 1989-93 klarnet opp på forsommeren og holdt seg rimelig klart fram til midten av august da igjen blågrønnalgene slo til utover høsten. Men vannet var rimelig bra i bade- og fiskesesongen, noe man anså som en fordel. Men man hadde store mengder fritt ortofosfat i vannmassene, noe som er svært uvanlig i innsjøer. Det er da store muligheter for at en eller annen oportunistisk alge kan slå til. I 1993 ble det allerede fra april-mai av en fullstendig dominans av den store fureflagellaten *Ceratium hirundinella*. Denne spises heller ikke av dyreplanktonet. Det holdt seg hele sommeren, og ble først sent utpå høsten avløst av blågrønnalger. I 1995 midt-sommers hadde *Ceratium* brukt opp alt nitraten i vannmassen og populasjonen kollapset. Dette resulterte i oksygenvinn og massiv død av stor fisk. Det ble tatt opp mer enn 5 tonn død stor-gjørs, og et ukjent mengde gjedde (kfr. Fjeld og medarb. 1995, 1996). Utpå ettersommeren tok blågrønnalgene over.

I dag er fortsatt miljøtilstanden i Akersvannet svært dårlig. Fortsatt er det et stort innslag av *Ceratium* på forsommeren, men blågrønnalger har kommet mer tilbake igjen. **Figur 22** viser overvåkingsdata fra 1985-2000 for næringssalter, algemengde (klorofyll-a), og siktedyp.



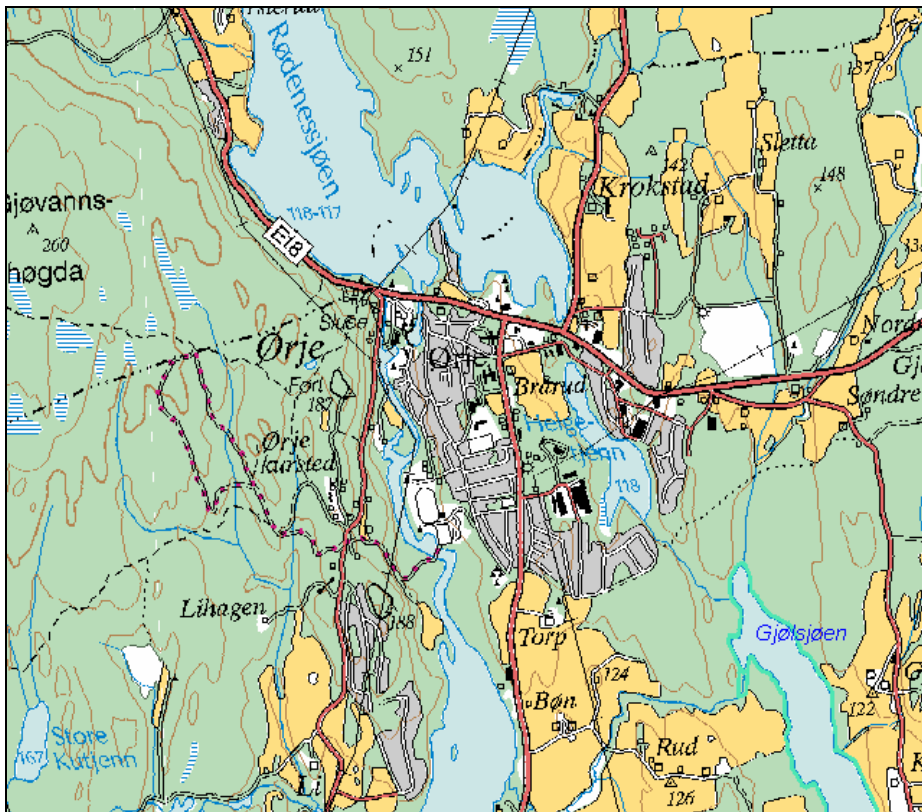
Figur 22. Overgjødslingsparametre i Akersvannet, middelverdier i sommerhalvåret (Berge 2002)

Akersvannet befinner seg på vippen mellom tilstandsklasse IV og V, og da nærmere V (Meget dårlig vannkvalitet) i henhold til SFT's klassifiseringssystem. På bakgrunn av tall fra hele overvåkingsperioden ser det ut til å ha skjedd en økning i fosforkonsentrasjonen i innsjøen. Utviklingen i den resulterende algemengde er imidlertid uklar. Her kan ingen trend spores. Algemengden er jevnt over høy med enkelte høye topper. Med hensyn til konsentrasjon av total nitrogen er det heller ingen klar utvikling. Det var en nedgang fram mot 1996, mens det deretter har vært en økning igjen. Det så ut til å være en bedring av siktedypet i innsjøen fram mot 1997, mens det deretter har vært en reduksjon av sikten i vannet igjen.

Man kan ikke si at utsetting av Gjørs har vært noen redning for Akersvannet.

10.2.5 Helgetjern i Ørje

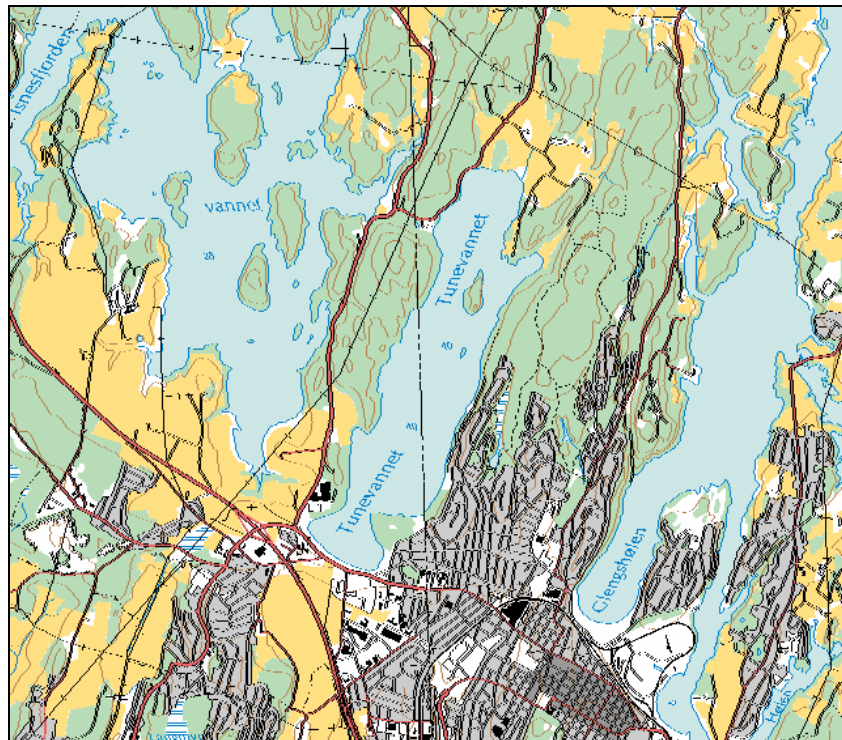
I Helgetjern, se **Figur 23**, ble fisken drept med rotenon i 1984 og det var lave konsentrasjoner av alger de første 2-3 årene etterpå. Siktedypet økte kraftig. I 1988 hadde imidlertid mortebestanden tatt seg opp igjen til "gamle høyder" og algemengden var igjen høy med blant annet stort innhold av blågrønnalger (Faafeng og Brabrand 1990). Dette viser at tiltaket har relativt kort levetid og at behandlingen må gjentas hyppig, med bare få års mellomrom. Problemet med rotenonbehandling er at det svært lett er noen områder som ikke giften har nådd, slik at det er noe mort tilbake. Særlig hvis innsjøen er en del av et fiskeførende vassdrag kommer morten fort tilbake. Behandling med rotenon vil ikke være aktuelt for Bjørkelangen.



Figur 23. Helgetjern i Ørje (Kartskisse fra Statens kartverk)

10.2.6 Tunevannet i Sarpsborg

Tunevannet er 2,4 km² stort og ligger i Sarpsborg kommune, som vist på **Figur 24**. Innsjøen er svært grunn. I Tunevannet har man gjort mye mht å redusere tilførsler av næringssalter fra nedbørfeltet. Innsjøen var fortsatt ikke bra, og man vurderte at det måtte foretas innsjøinterne tiltak for å påskynde bedringen.



Figur 24. Tunevannet i Sarpsborg (kartskisse Statens Kartverk)

Sarpsborg kommune tok kontakt med Seawind Sweden HB og fikk utarbeidet en utredning om forutsetninger og metoder for en restaurering av Tunevannet (Annadotter og Aagren 2002). Rapporten konkluderte med at tråling etter karpfisk ville være den enkleste metoden for å oppnå ytterligere bedring av miljøsituasjonen i sjøen. Fordelen med trål er at man kan sette ut igjen abbor og gjedde (rovfisk) etter hvert som man fisker.

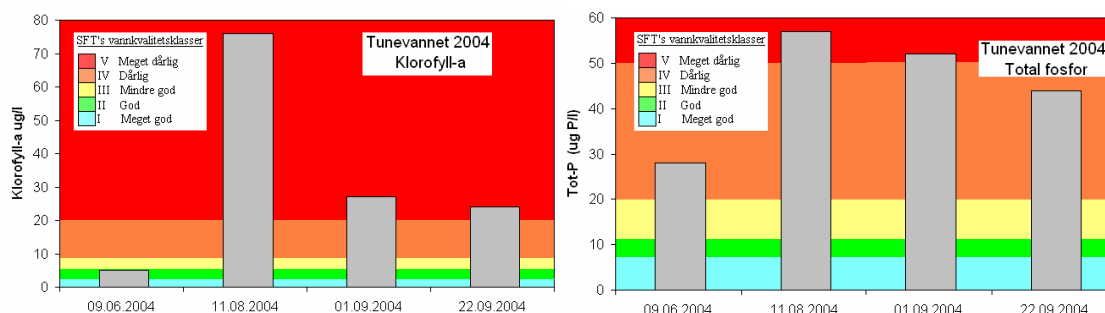
Utfiskingen i Tunevannet ble foretatt høsten 2002, vår og høst 2003. Det er ennå ikke levert rapport fra selve tiltaket, men denne er under utarbeidelse fra Aagren ved Seawind Sweden. Her gjengis noen nøkkeltall opplyst fra miljøvernrådgiver Bernt Henrik Hanssen i Sarpsborg kommune.

Fisket i Tunevannet ble foretatt av fiskere fra Onsøy ved hjelp av 2 medbrakte båter på hhv 22 og 24 fot. Passende finmasket trål ble innkjøpt av Sarpsborg kommune (kr 55000). Fisket ble foretatt ved 3 aksjonsperioder, høsten 2002, vår 2003 og høst 2003. I alt ble det tatt opp 36,5 tonn (altså omtrent som i Frøylandsvannet), hvorav ca 25,5 tonn var mort. På bakgrunn av fallende CPUE (catch per unit effort) ble det beregnet at ca 80 % av bestanden av planktonspisende fisk var tatt opp. Gjedde og abbor

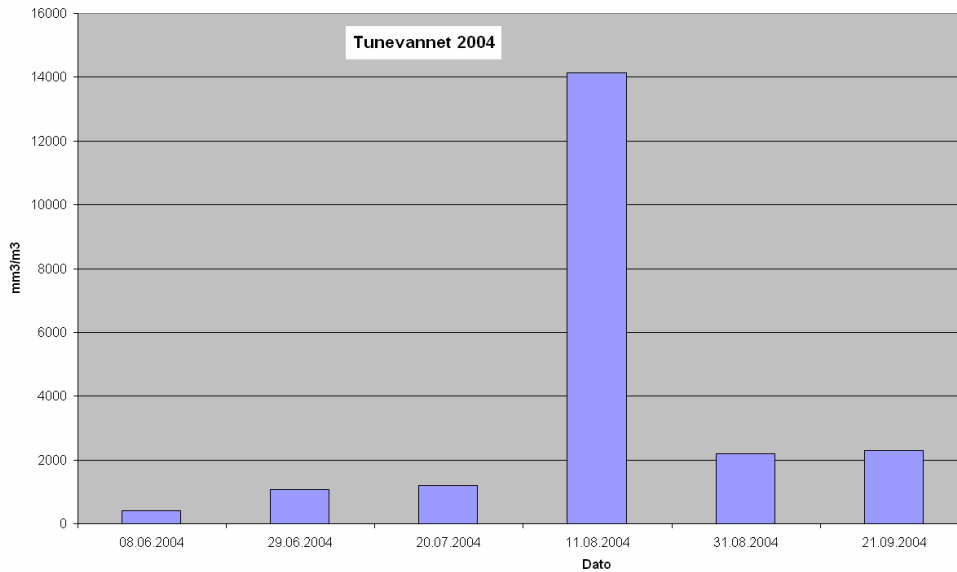
ble satt ut igjen etter hvert. Gjedde over 6 kg ble ikke satt ut igjen da denne er kannibal og spiser også en del gjedde.

Overvåkingsresultatene fra 2003 (mens fisket fortsatt pågikk) viste en maksimal algemengde på ca 4 mg/l alger (våtvekt), mens det til sammenlikning var 8 mg/l året før (Knut Bjørndalen, Akerhus Fylkeskommune, pers medd). Begge år var det dominans av blågrønnalger. 4 mg/l er imidlertid fortsatt en høy verdi når det gjelder algemengde, og det ligger innenfor tidligere observerte år-til-år variasjoner i Tunevannet. Det er først i år 2004 at man kan vente full effekt av tiltaket, og overvåkingsresultatene fra dette året er fremstilt i **Figur 25 - Figur 27**. Resultatene må kunne sies å være nokså skuffende. Blågrønnalgetoppen var høyere enn noen gang, og hele sommeren var det fullstendig dominans av blågrønnalger. Det at man har fisket ut den planktonspisende fisken har gitt mye dyreplankton. Dette har imidlertid spist opp de ”gode algene” slik at blågrønnalgene har fått fritt spillerom. For fosfor og klorofyll var verdiene oppe i SFTs dårligste vannkvalitetsklasse.

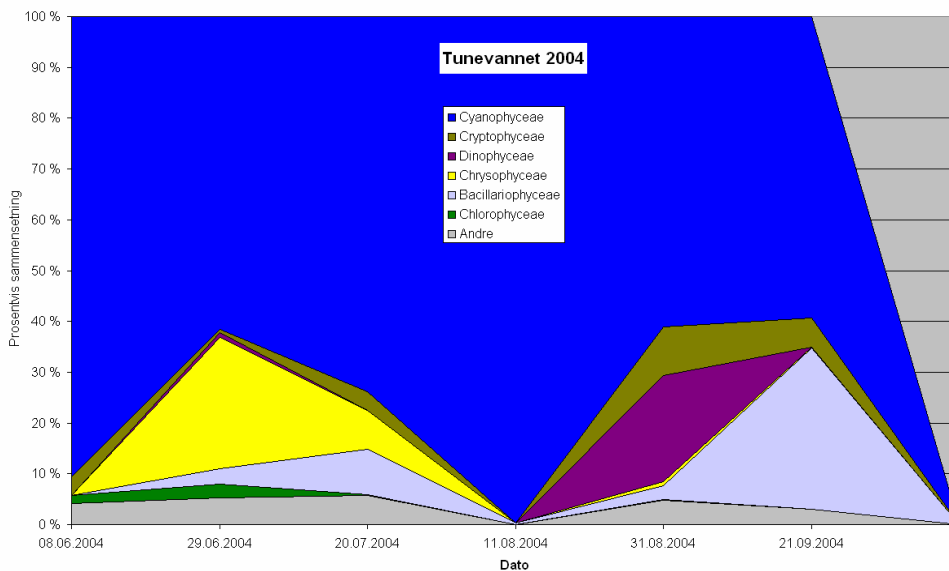
Erfaringen fra Tunevannet så langt kan tyde på at det er vanskelig å få god effekt av fisketiltak i et så eutroft vann som Tunevannet. Dette bekreftes også av resultatene fra de andre eutrofe vannene gjennomgått i de ovenstående avsnitt. Det er klart at man er skuffet over resultatene fra Tunevannet i 2004. Man skal imidlertid ikke avskrive tiltaket helt enda. Det er nå i tillegg satt ut gjørs i innsjøen som vil kunne foreta ”vedlikeholds-fiskingen” fremover (miljøvern rådgiver Bernt Henrik Hansen pers medd).



Figur 25. Tunevannet 2004. Algemengde som klorofyll-a, samt total fosfor i produksjonssjiktet. Sammenholdt med SFT's vannkvalitetskriterier.



Figur 26. Totalt algevolum i Tunevannet 2004.



Figur 27. Den prosentvise sammensetningen av algesamfunnet i Tunevannet i 2004.

10.2.7 Utsetting av gjørs i Gjersjøen i Akershus

Gjersjøen er drikkevann for Oppegård og Ski kommuner. I 1960-årene forverret vannkvaliteten seg dramatisk som følge av kloakktilførsler. Det var jevnlig oppblomstring av blågrønnalger og oksygensvinn i dypvannet. Helt siden begynnelsen av 1970 årene har det mer eller mindre kontinuerlig vært gjennomført store tiltak for å redusere kloakktilførselen til innsjøen. Tilstanden i innsjøen er nå blitt mye bedre. Også i Gjersjøen så man at innsjøen "gjorde motstand" mot å bedre seg etter avlastning. I eutrofieringsperioden av innsjøen hadde det utviklet seg en stor populasjon av planktonisk småmørt. For å redusere mordebstanden og dermed påskynde bedringen av sjøen, ble det satt ut gjørs i 1982. Resultatet ble at den planktoniske mordebstanden ble raskt redusert til ca 20 % av hva den hadde vært, og vannet klarnet opp (Faafeng og Løvik 1986).

I og med at Gjersjøen har vært under stadig bedring som følge av reduserte næringssalttilførsler, er det litt vanskelig å vurdere hvilke tiltak som skyldes hva. Men det faktum at mortebestandene ble desimert med ca 80 % i løpet av få år etter utsettingen, samtidig med at biomasseandelen av den dominerende blågrønnalgen *Oscillatoria* sp ble redusert fra 60 % til 10 %, indikerer at gjørsutsettingen hadde reell effekt.

Resultatene fra Gjersjøen illustrerer godt den moderne oppfatningen av hva man kan oppnå gjennom biomanipulering, nemlig at den eksterne belastningen må være redusert nærmest til det nivå hvor sjøen kan greie seg selv. Biomanipulering kan da øke selvrensningen i sjøen slik at bedringen mot stabile forhold går fortere.

10.3 Utfisking som tiltak i Bjørkelangen

Vøllestad (1983) gjorde en vurdering av fisketiltak i Bjørkelangen for å redusere eutrofi problemene. Denne kom nokså negativt ut, bl.a. på grunn av at mortebestandene i Bjørkelangen ikke var tette nok. Brabrand (1993) mener også at fisketettheten i Bjørkelangen ikke er spesielt stor. Zooplankton undersøkelsene i forbindelse med Regional Eutrofi prosjektet til SFT (se foran) fant at zooplanktonet var sterkt påvirket av beiting, noe som indikerer at fisketiltak kan ha god effekt. Forholdene kan imidlertid ha endret seg i dag.

Av de gjennomgåtte typer fisketiltak, ser det ut som om tråling med utsetting av rovfisk er det mest aktuelle i Bjørkelangen, dvs samme teknikk som i Tunevannet. Dreping av all fisk ved rotenon vil man trolig ikke få tillatelse til. Det vil ha uheldige nedstrømseffekter, man vil også fjerne den ønskede fisken, samt at man vil relativt raskt få reetablering av mortebestand siden innsjøen er del av et større fiskeførende vassdrag.

Utsetting av gjørs vil kunne resultere i at det blir gjørs i alle innsjøene nedstrøms. Effekten av dette har man ikke oversikt over i dag. Dessuten har myndighetene blitt mer og mer restriktive mht å sette ut nye arter. I tillegg er det tvilsomt om en gjørsutsetting vil gi den ønskede effekt. Det er derfor høyst tvilsomt om man får tillatelse til å sette ut noen nye fiskearter i Bjørkelangen.

Man står igjen med utfisking med løpende utsetting av fanget rovfisk, som det eneste aktuelle fisketiltaket.

Bjørkelangen er på mange måter sammenliknbar med Akersvannet ved Tønsberg og Frøylandsvannet i Time, både når det gjelder størrelse og dybdeforhold, samt grad av menneskeindusert eutrofiering. Årsakene til eutrofieringen er i alle tre tilfellene næringssalttilførsel fra jordbruk og kloakk, med jordbruksavrenning som hovedkilde. Frøylandsvannet er imidlertid noe mindre påvirket av erosjonsmateriale enn Akersvannet og Bjørkelangen.

I Frøylandsvannet har man forsøkt utfisking av planktonspisende fisk, uten at dette gav noen permanent løsning på eutrofieringsproblemen. I Akersvannet har man forsøkt å sette ut gjørs, og fått en stor gjørsbestand, men dette har ikke løst eutrofieringsproblemen i innsjøen. Man oppnådde riktignok en viss bedring de første årene etter tiltakene, men etter 3-5 år var man tilbake til de tidligere dårlige tilstandene.

Fiskingen i Tunevannet har hittil kostet ca 750 000 kroner, og per i dag er resultatet svært skuffende. Bjørkelangen er 60 % større enn Tunevannet og dypere. Dessuten har Bjørkelangen vært benyttet til tømmerfløting i mange år, noe som ofte fører til at det er mye synketømmer på bunnen. Dette kan være et alvorlig problem for tråling. Man må derfor regne med at fisket i Bjørkelangen vil kunne bli vesentlig dyrere enn i Tunevannet, trolig opp i mot 2 million er kroner.

Tunevannet er et nokså isolert vann som ikke har fiskeførende innløpsbekker. Man har derfor bedre sjanse for å få varig svekkelse av mortebestanden enn i mange andre vann. Bjørkelangen er del av et større fiskeførende vassdrag og det er derfor sannsynlig at man vil relativt raskt kunne få økning av bestanden av planktonspisende fisk. Ute i verden har ”biomanipuleringsbølgen” avtatt betraktelig. Man har erfart at det ikke er mulig å løse eutrofiproblemene i en sterk overbelastet innsjø med disse tiltakene alene. For å oppnå varig effekt må man være bare svakt over fosforbelastningen som innsjøen tåler (innsjøens resipientkapasitet), anslagsvis mindre enn 25% over. Erfaringen viser imidlertid at man da kan påskynde bedringen i betydelig grad ved biomanipulering, som for eksempel ble oppnådd i Gjerssjøen.

Før man gjør vedtak om utfisking, bør man ha en oppdatert undersøkelse av fiskebestanden, samt ha undersøkt hvor mye synketømmer det eventuelt måtte være på bunnen. Likeledes må man se hva man kan oppnå ved tradisjonelle tiltak, som nå er under utredning. Erfaringen så langt med utfiskingen i Tunevannet var såpass dårlig at NIVA ikke tør anbefale et stortilt utfiske i Bjørkelangen uten en forutgående grundig vurdering.

11. Litteratur

- Annadotter, H. og R. Aagren 2002: Utredning av förutsättningar och metoder för en restaurering av Tunevannet i Østfold fylke., Rapport fra Seawind Sweden HB, 24 sider.
- Berge, D. 1980: Overvåking av Eikerenvassdraget. Resultater fra 1979. NIVA-rapport Lnr. 1198: 22 sider.
- Berge, D. 1986. Bruksplan for Akersvannet. Bakgrunnsundersøkelser og forslag til tiltak. NIVA-rapport Lnr. 1878, 107 sider.
- Berge, D. 2000. Kompendium i Vassdragsøkologi utviklet for Labroskolen. Miljøeffekter – Erosjon – Avbøtende tiltak. Kompendium ved Labroskolen, Kongsberg Ingeniørhøgskole, 61 sider.
- Berge, D. 2002. Beregning av akseptabel fosfortilførsel til innsjøene Bjørkelangen, Skullerudsjøen og Rødnessjøen i Haldenvassdraget., NIVA-rapport Lnr. 4557: 11 sider.
- Berge, D., J.A.Berge, D. Barton, A. Gaut, T. Tjomsland, B. Rygg, S. Turtumøygard, Lilian Øygarden, Einar Dahl. 2004: Karakterisering av Haldenvassdraget med utenforliggende fjordområder., NIVA-rapport Lnr.4785, 126 sider.
- Berge, D., S. Vandsemb, og M. Beckmann, 2002. JOVÅ- Overvåking av jordbrukspåvirkede innsjøer 2000. Tiltaksgjennomføring, vannkvalitetstilstand og –utvikling. NIVA-rapport Lnr 4470-2002., 94 sider.
- Berge, D. 1987. Fosforbelastning og respons i grunne- og middels grunne innsjøer. NIVA-rapport O-85110, 45 sider.
- Brabrand, Å. 1993. Tetthet, dybdefordeling og biomasse av fisk i Bjørkelangen og Hemnessjøen, Haldenvassdraget. – LFI-rapport nr 141., 19 sider.
- Bratli, J. L. 1992: Tiltaksanalyse for Frøylandsvannet. Delrapport 3: Problemanalyse, metodegrunnlag, innsjøinterne tiltak og alternative tiltakspakker. NIVA-rapport Lnr. 2776, 35 sider.
- Eggestad, H.O., og J.L. Bratli 1997. Tiltaksorientert overvåking av Grimestadbekken og Akersvannet – Årsrapport 1996. Rapport fra Fylkesmannen i Vestfold nr 3/97, 50 sider + vedlegg.
- Erlandsen, A., O. Grøterød og OK Skogheim 1980. Intern tilførsel av fosfor i innsjøer ved høy pH. Stensiltrykk nr 7/1980, Inst. Hydrotek., Norges landbrukshøgskole.
- Erlandsen, A.H.; Brettum, P.; Løvik, J.E.; Markanger, Stig; Källqvist, Torsten 1988: Kolbotnvatnet Sammenstilling av resultater fra perioden 1984-1987., NIVA-rapport Lnr 2161, 118 sider.
- Fjeld, E., D. Berge, O. Skulberg og J.E. Løvik 1996. Økologiske forhold i Akersvannet. NIVA-rapport Lnr. 3494-96, 32 sider.
- Fjeld, E., D. Berge, og O. Skulberg, 1995. Episodisk fiskedød i Akersvannet, august 1995., NIVA-rapport 3343-95, 21 sider.
- Faafeng, B. 1993. Restaureringsstrategi for eutrofierte innsjøer., NIVA-rapport Lnr 2857: 73 sider.

- Faafeng, B. and Brabrand, Å. 1990: Biomanipulation of a small , urban lake – removal fo fish exclude bluegreen blooms., Verh. Internat. Verein. Limnol. 24: 597-602.
- Faafeng, B., og J.E. Løvik 1986: Overvåking av Gjersjøen – Akershus. Rutineundersøkelser i 1985. NIVA-rapport Lnr 1860, 49 sider.
- Faafeng, B., P. Brettum, og Dag Hessen, 1990: Landsomfattende undersøkelse av trofittilstanden i 355 innsjøer i Norge. Statlig Program for Forurensningsovervåking, Overvåkingsrapport nr. 389/90., NIVA-rapport Lnr. 2355: 57 sider.
- Grande, M., S. Andersen and D. Berge 1994: Effects of pesticides on fish. Norw. J. Agr. Sci. Suppl. No. 13: 195-209.
- Hasselholms kommun, Gatukontoret 1997: Restaurering av Finjasjön, 18 sider.
- Hasselholms kommun, Tekniska kontoret 1999: Finjasjön 1998. Sammanställning av mätningar i Finjasjön under 1998, 15 sider.
- Hasselholms Vatten AB Laboratorium 2001: Finjasjön sommeren 2001. Sammanställning av mätdata., 8 sider.
- Hauger, T. 2002. Haldenvassdraget – regionale miljømål. Rapport fra Østfold Fylkeskommune, 26 sider + vedlegg., ISBN: 82-91932-11-5.
- Johansen, S.W, og M. Grande 1994: Endringer i manøvreringsreglementet for Bjørkelangen, Fosser Dam. Konsekvensvurdering for virkninger på vannkvalitet og biologiske forhold., NIVA-rapport Lnr. 3089: 21 sider.
- Larsen, Ø.L. og Ø. Løvstad 1992. Overvåking av Bjørkelangen med tilløpsbekker i Haldenvassdraget. Flykesmannen i Oslo og Akershus, Miljøvernnavdelingen, Rapport nr 3/92: 48 sider.
- Lembi, C.A. 2002. Aquatic plant management. Barley straw for algae control. <http://www.agcom.purdue.edu/AgCom/Pubs>
- Løvstad, Ø. og T. Hauger 1988: Bjørkelangen. Hydrologiske tiltak for å dempe algeveksten og tilgroingen med makrovegetasjon., Vann nr 2, 1988: side 355-363.
- Molvørsmyr, Å. 2002: Overvåkingen av Mosvatnet 2001., Rapport fra Rogalandforskning RF-2002/082, 18 sider.
- Petterson, K., og M. Wallsten 1990: Sjørestaurering i Sverige, metoder och resultat. Naturvårdsverket rapport 3817, 57 sider.
- SFT 95:01 Miljømål for vannforekomstene. Sammenhenger mellom utslipp og virkning. Veiledning 95:01. TA-1138/1995), 50 sider.
- SFT 97:04 Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. Veiledning 97:04, SFT rapport TA-1468/1997: 31 sider.
- Skulberg, O. M. og J. Kotai 1982. Haldenvassdraget – vannkvalitet og forurensningsvirkninger. Resultater fra vassdragsundersøkelser for Haldenvassdragets Vassdragsforbund 1975-81., NIVA-rapport Lnr 1367, 179 sider.

Skulberg, O.M. 1998. Akersvannet 1997. NIVA-rapport 3785/98., 20 sider + vedlegg.

Vøllestad, L. A. 1983B. Fiskebestandene i Bjørkelangen, Øgderen og Rødnessjøen. En fiskeribiologisk undersøkelse i forbindelse med forurensningen av Haldenvassdraget. Fiskeribiologiske undersøkelser i Haldenvassdraget (Haldenvassdragets Vassdragsforbund) Rapport nr 2.

Vøllestad, L.A. 1983 A: Resultat av prøvegarnfiske i Bjørkelangen, Øgderen og Rødnessjøen sommeren 1982. Fiskeribiologiske undersøkelser i Haldenvassdraget (Haldenvassdragets vassdragsforbund), Rapport nr 1.