

Erfaringer med innsjørestaurering og perspektiver for Årungen og Østensjøvann



Foto: Paal Staven

pura
VANNOMRÅDE FOLLO/OSLO

COWI

Erfaringer med innsjørestaurering og perspektiver for Årungen og Østensjøvann

Forfattere

Henrik Skovgaard COWI A/S - hnsk@cowi.dk

Øivind Løvstad Limno-Consult - limno@online.no

Svein Ole Åstebøl COWI AS - svo@cowi.no

COWI AS, Oslo

Postboks 6412 Etterstad

0605 Oslo

Telefon: 02694

Innholdsfortegnelse

Innledning	2
Sammendrag	2
Bakgrunn	2
Fiskens rolle i innsjøer.....	3
Restaurering av innsjøer ved inngrep i fiskebestanden	4
Intern gjødsling av fosfor kan forsinke effekt av tiltak.....	5
Restaurering av innsjøer med kjemisk/fysiske metoder	5
Kostnader	7
Årungen.....	7
Erfaring med innsjørestaurering i Årungen.....	9
Østensjøvann.....	9
Mulige tiltak i Årungen og Østensjøvann.....	10
Referanser	12
Ordliste.....	12

Erfaringer med innsjørestaurering og perspektiver for Årungen og Østensjøvann

Forfattere: Henrik Skovgaard COWI A/S, Øivind Løvstad Limno-Consult og Svein Ole Åstebøl COWI AS

Innledning

Denne fagartikkelen har fokus på restaurering av eutrofe, kalkrike innsjøer. Artikkelen beskriver metoder for å forbedre miljøtilstanden med biologiske eller kjemiske inngrep, og sammenstiller erfaringer fra danske og norske prosjekter. Den eutrofe innsjøen Årungen er valgt som case for et mulig restaureringsprosjekt sammen med Østensjøvann som ligger oppstrøms Årungen. Det overordnede målet er å oppfylle målet i EU's Vanddirektiv om god økologisk tilstand i vassdraget.

Sammendrag

Norske og danske undersøkelser viser at det er mulig å oppnå en raskere forbedring av vannkvaliteten og rekreasjonsverdien i innsjøer ved interne restaureringstiltak, enn ved bare å satse på tiltak i nedbørsfeltet. En av metodene er utfisking av mort, brasme og andre dyreplanktonspisende karpefisk som gir markant effekt på sentrale vannkjemiske og biologiske kvalitetselementer. Utfisking av store gjedder kan også gi forbedringer i innsjøer, mens utsetting av gjeddeyngel isolert sett ikke har noen virkning. Tilsetning av aluminium kan begrense den interne gjødslingen med fosfor markant. Oksygenering brukes særlig i dype lagdelte innsjøer med oksygenfritt bunnvann for å øke bindingen av fosfor i sedimentet. Fjerning av fosforrikt sediment kan forebygge intern gjødsling, men metoden er dyr og kan bare brukes i grunne innsjøer.

Næringsstoffinnholdet er helt sentralt for vannkvaliteten i innsjøer, og restaureringsinngrep kan ikke ses som et alternativ til å begrense den eksterne tilførselen av næringsstoffer, særlig fosfor, hvis det skal oppnås permanent effekt. I mange danske innsjøer avtar effekten av tiltak etter 5-10 år. De danske innsjøene er imidlertid mer næringsrike enn de norske. Ved inngrep i norske innsjøer kan det derfor forventes effekter som varer lenger eller muligens har permanent effekt. I svært næringsrike innsjøer må restaureringstiltakene gjentas, eller vedlikeholdes over tid inntil tilførselen fra nedbørsfeltet er redusert tilstrekkelig, og balansen i innsjøen er gjenopprettet. Eventuelt kan flere restaureringsmetoder kombineres, men valg av metoder bør avhenge av de konkrete forholdene i innsjøen.

Årungen og Østensjøvann er eutrofe kalkrike innsjøer beliggende i lavlandet i Ås og Ski kommuner. En stor del av vanntilførselen til Årungen kommer fra Østensjøvann, og vannkvaliteten i Østensjøvann er derfor også av betydning for Årungen. Hovedutfordringen i vassdraget er overgjødsling og påfølgende algeoppblomstringer i vannmassene. Masseutvikling av giftproduserende blågrønnalger i Årungen er et årlig fenomen som fører til badeforbud og som også påvirker badevannskvaliteten i Bunnefjorden. Bunnsedimentene inneholder store mengder næringsstoffer (i første rekke fosfor) som fører til intern gjødsling. Forurensende aktiviteter i vassdraget kommer fra tettbebyggelse, avløpsvann og jordbruksarealer.

Årungen og Østensjøvann er målsatt til god økologisk tilstand i Tiltaksanalyse for PURA (2009). Ingen av disse oppfyller målet i dag, og en ytterligere reduksjon av tilførselen av fosfor er påkrevd.

For å fremskynde forbedringer kan det foretas en utfisking av karpefisk og store gjedder i Årungen og restaurering av Østensjøvann ved tilsetning av aluminium til vannet evt. kombinert med utfisking. Oksygenering av bunnvannet kan også overveies i Årungen, hvis intern gjødsling er en vesentlig årsak til eutrofieringen. Sedimentundersøkelser som nå gjøres i Årungen, blir viktig for å vurdere eventuell oksygenering.

Bakgrunn

Tilførsel av næringsstoffer og miljøgifter fra byer, landbruk og industri i kulturpåvirkede områder har ført til en dårlig miljøtilstand i mange innsjøer. Utover en forringet verdi for rekreasjonsformål som bading og fiske, forandres det biologiske systemet som følge av forurensingen. Næringsstoffene gir økt algevekst som gjør vannet grønt og uklart og fortrenger den naturlige vegetasjon av undervannsplanter. Særlig konsentrasjonen av fosfor har stor betydning for de biologiske forhold. Ved konsentrasjoner over ca. 50 µg P/l (total-P) i kalkrike grunne danske innsjøer, og 21-29 µg P/l (total-P) i kalkrike norske innsjøer, skjer det markante endringer i økosystemet med tap av artsdiversitet og favorisering av arter som er tolerante overfor eutrofiering. Norske kalkrike innsjøer med høyere fosforkonsentrasjoner enn 21-29 µg P/l (avhengig av typologi) vil ikke uten ytterligere tiltak kunne oppfylle målet i EU's Vanddirektiv om god økologisk tilstand (SFT, 2009).

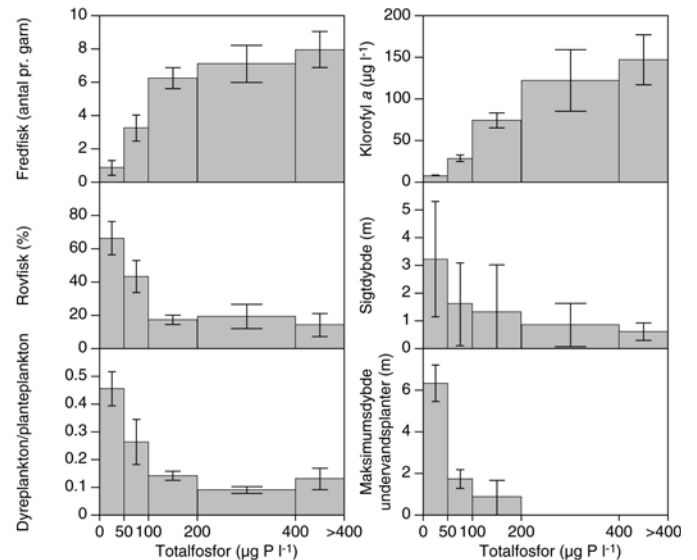
I løpet av de siste 20-50 år er det over hele verden utviklet og eksperimentert med mange forskjellige metoder til restaurering av innsjøer (Meijer et al., 1999; Liboriussen et al., 2007). Formålet med restaureringen har nesten alltid vært å oppnå klarere vann i de situasjonene hvor innsjøer til tross for nedsatt næringsstofftilførsel fra nedbørsfeltet fortsatt har en dårlig vannkvalitet. Manglende eller en forsinket reaksjon skyldes særlig to forhold:

- Biologisk treghet hvor årsaken er at fiskebestanden domineres av arter som spiser dyreplankton. Dyreplanktons mulighet for å begrense mengden av alger (planteplankton) ved beiting er derfor begrenset. Karpefisk kan bidra til resirkulering av næringsstoffer og fastholde eutrofieringen. Ofte ses en kombinasjon av kjemisk og biologisk treghet.
- Kjemisk treghet hvor det over en årrekke frigis fosfor fra et opphopet lager i innsjøbunnen så fosforinnholdet i innsjøen forblir høyt med fortsatt stor algevekst som følge.

Fiskens rolle i innsjøer

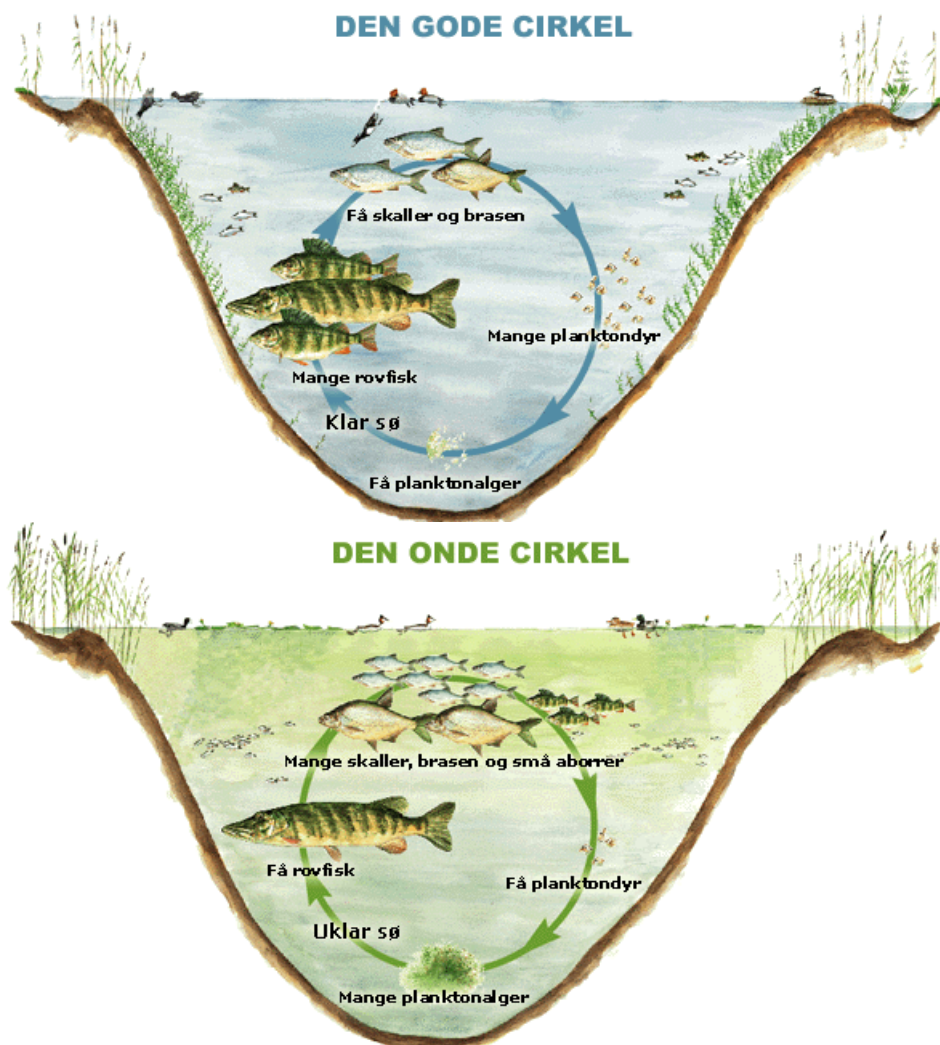
I næringsrike grunne innsjøer er det som regel en meget stor bestand av karpfisk (f.eks. brasme og mort). En bestand på 500 kg/ha innsjøoverflate er ikke ualminnelig i eutrofe innsjøer. Et stort datamateriale fra danske innsjøer viser at tettheten av karpfisk og rovfiskens andel av den samlede fiskebestanden, avhenger av innsjøens fosforinnhold. Dette påvirker andre biologiske forhold som dyreplankton, planteplankton, bunndyr og undervannsplanter. Et økt fosforinnhold fører således til flere karpfisk, minsket andel av rovfisk, en minsket mengde dyreplankton i forhold til mengden av planteplankton, samt redusert dybdeutbredelse av undervannsplanter, se figur 1 (Jeppesen m.fl., 1997).

Karpfisk som mort spiser dafnier og annet større dyreplankton som dermed ikke kan holde mengden av planteplankton nede ved beiting. Brasme og mort kan rote opp sediment fra bunnen, og øke innholdet av næringsstoffer og suspendert stoff i vannet som blir mer uklart. I det uklare vannet reduseres utbredelsen av undervannsplanter, og skjul for dyreplankton forsvinner. I slike miljøer er især bestanden av store fiskespisende abborer sterkt redusert. Denne situasjon kan betegnes som *den onde sirkel*. I en innsjø med god økologisk tilstand er næringsstoffinnholdet lavt, vannet er klart med få alger (planteplankton), og det finnes artsrik undervannsvegetasjon med god utbredelse. Det er en



Figur 1: Sammenheng mellom fosfor og biologiske kvalitetsparametere (fredfisk=karpfisk som mort og brasme)

naturlig balanse mellom karpfisk og rovfisk med store fiskespisende abborer og færre karpfisk enn i den uklare innsjøen. Denne situasjonen betegnes som *den gode sirkel* (figur 2).



Figur 2: Den onde og den gode sirkel (skalle=mort og brasen=brasme) (Skovgaard, 2002)

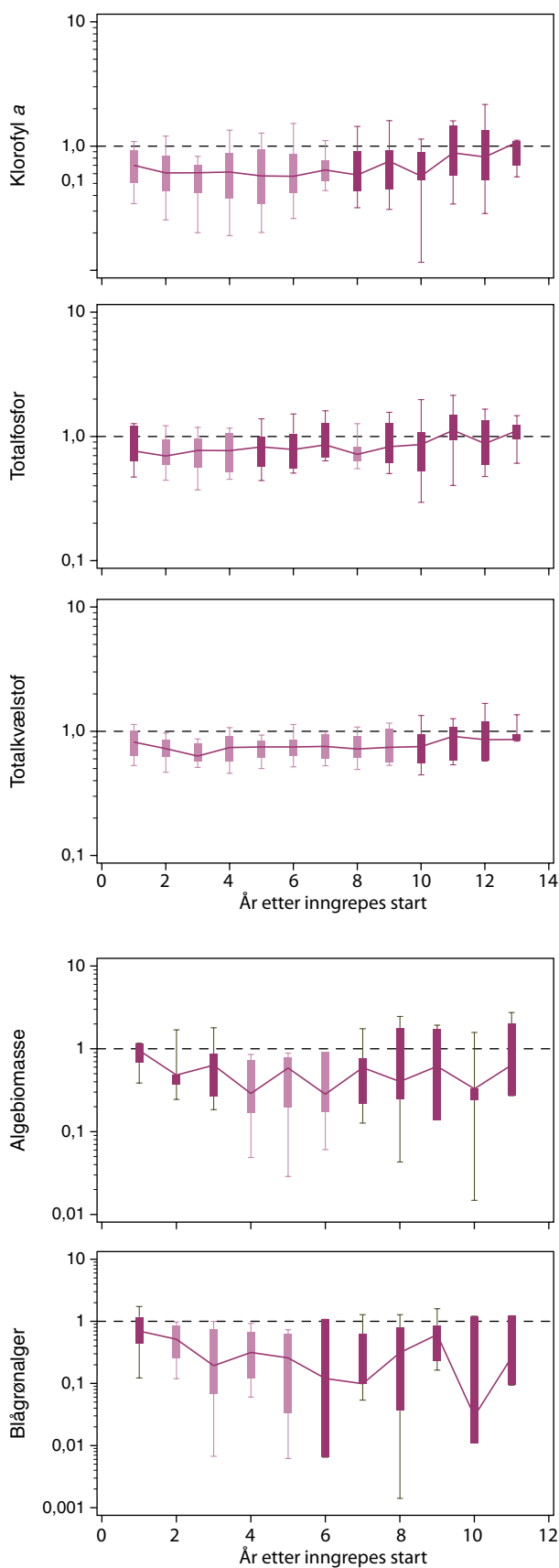
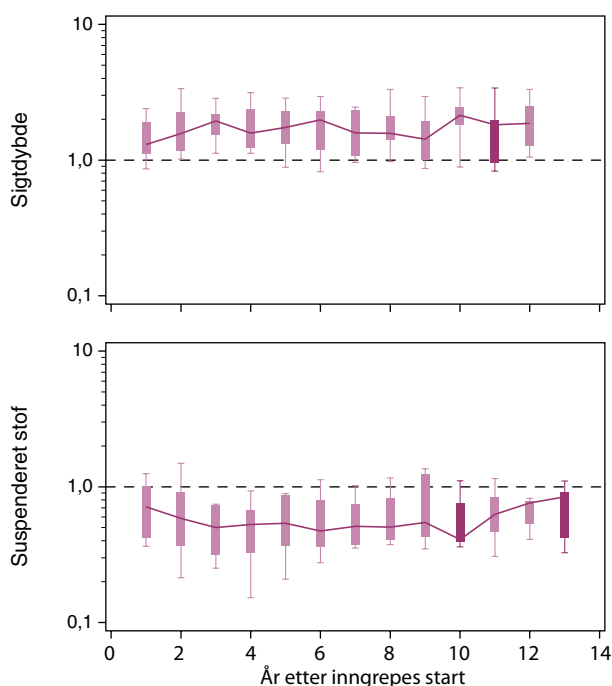
Restaurering av innsjøer ved inngrep i fiskebestanden

Internasjonal erfaring viser at næringskjeden i innsjøer kan endres ved å utfiske en stor del av bestanden av karpefisk. Færre mort betyr flere store dafnier og et økt beitetrykk på planteplankton, og dermed blir vannet klarere. En minsket bestand av brasme vil ofte føre til bedre vekstvilkår for mindre abborer, som dermed hurtigere blir rovfisk med ytterligere kontroll av karpefiskens antall. Hvis også undervannsplantene brer seg, vil en mer stabil og klarvannet tilstand kunne oppnås. Typisk faller næringsstoffinnholdet i innsjøen også etter inngrepet, noe som kan skyldes at det interne gjødslingsbidraget fra fisk reduseres.

Utfisking har vært anvendt i minst 27 innsjøer i Danmark. Resultatet har generelt sett vært godt i de innsjøene hvor utfiskingen har omfattet en stor del av fiskebestanden (minst 200 kg/ha oppfisket), og den samtidig er gjennomført over maksimalt 1-3 år (Liboriussen et al., 2007). Figur 3 og tabell 1 viser endringen i tid etter utfisking av karpefisk. 1-2 år etter inngrepet har det skjedd et signifikant fall i konsentrasjonen av nitrogen, fosfor, suspendert stoff, klorofyll a og algebiomasse. Også mengden av blågrønnalger faller signifikant, og siktedypet stiger 100%. I innsjøer hvor utfiskingen var mindre enn 200 kg per ha innen 3 år, var det ingen eller meget svak effekt på de vannkjemiske variablene.

Innsjørestaurering ved inngrep i fiskebestanden

Markant effekt på en rekke vannkjemiske og biologiske forhold hvis en tilstrekkelig mengde mort og andre karpefisk fiskes ut. Langtidseffekten avhenger spesielt av tilførselen av fosfor og den interne gjødslingen. Utfisking av store gjedder kan også gi forbedring i innsjøer, mens usetting av gjeddeyngel isolert sett ikke har noen virkning. I svært næringsrike innsjøer må restaureringstiltakene gjentas, eller vedlikeholdes over tid, inntil tilførselen fra nedbørsfeltet er redusert tilstrekkelig og balansen i innsjøen er gjenopprettet.



Figur 3. Effekt av utfisking i 27 innsjøer på fysisk/kjemiske kvalitetsparametere og biomassen av planteplankton. Lyse bokser indikerer "signifikans" og mørke bokser "ikke signifikans". Boksene viser 10 og 90 % fraktiler (ytterste linjer), 25 og 75 % fraktiler (boksen), (Liboriussen et al, 2007).

Parameter	Siktedyp	Suspendert stoff	Klorofyll a	Totalfosfor	Total-nitrogen	Algebio-masse	Biomasse av blågrønnalger
Endring etter utfisking	+100%	-40%	-40%	-25%	-25%	-40%	-50%
Effekt, antall år	10-12 år	10-12 år	6-8 år	ca. 4 år	8-10 år	5-6 år	ca. 5 år

Tabell 1: Samlet fremstilling av effekt i 27 innsjøer på fysisk/kjemiske kvalitetsparametere og biomassen av planteplankton (basert på Liboriussen et al., 2007).

Mengden av dyreplankton endres ikke vesentlig i forbindelse med utfisking i de danske prosjektene, imidlertid ses fremgang for andelen av store dafnier som indikerer minsket beiting fra fisk. Dette understøttes av en økt ratio mellom mengden av dyreplankton og planteplankton. Fiskeundersøkelser viser at det skjer endringer i sammensetningen av arter hvor brasme på lang sikt blir mest påvirket av inngrepet. Antall mort viser også tegn på reduksjon de første årene etter inngrepet, men deretter er det en stigende tendens som kan være en årsak til at effekten på dyreplankton ikke er langtidsholdbar, og dermed også at effekten på klorofyll a begrenses. Antallet og biomassen av abborer økes de første årene, men viser i mange innsjøer senere tegn på tilbakefall.

Undervannsplantenes utbredelse økes i mange innsjøer etter utfisking, men det er også mange eksempler hvor plantene ikke har reagert på det økte siktedypet. I noen tilfeller kan dette tilskrives gressing av fugler. I innsjøer hvor utbredelsen av undervannsplanter stiger etter inngrepet, økes tettheten og antallet av en rekke fuglearter, formodentlig fordi tilbudet av føde i form av planter og smådyr forbedres.

Effekten av utsetting av gjeddeyngel i danske innsjøer er undersøkt av Skov et al., 2006. På bakgrunn av utsettingens effekt i 47 innsjøer, ble det vurdert at utsettingen i nesten alle tilfeller bare har liten effekt på vannkvaliteten, og derfor kan metoden som enkeltstående restaureringsmetode ikke anbefales.

Andre prosjekter i Norge med inngrep i fiskebestanden viser som i de danske innsjøene mer dyreplankton, færre planktonalger og større siktedyp (Borgstrøm og Rosseland, 2008). Effekten varierer, men i f.eks. Haugatjern og Helgetjern ble biomassen av blågrønnalger redusert til henholdsvis 60% og 3% av nivået før inngrepet, og siktedypet ble økt med 200-300%. Det er således snakk om markant forbedring. I Gjersjøen ble det satt ut gjørs i 1982. Resultatet var at mortbestanden ble redusert til 80% i forhold til situasjonen før utsetting, og vannet ble klarere etter en reduksjon av den dominerende blågrønnalgen *Oscillatoria sp* (Berge, 2004). I Frøylandsvannet har man forsøkt utfisking av planktonspisende fisk uten at det hadde effekt på eutrofieringen. Årsaken til det er ikke kjent. I Akersjøen har man også oppnådd effekt av utsetting av gjørs, men bare kortvarig, idet innsjøen vendte tilbake til den dårlige tilstanden. Utsetting av gjørs kan være problematisk i vassdrag hvor arten ikke forekommer naturlig. De norske erfaringene viser som de danske, at biomanipulering kan øke selvrensningen i innsjøer, men ikke erstatte en innsats overfor den eksterne tilførselen av næringsstoffer hvis langvarig effekt er målt.

Erfaring med langtidseffekt av inngrep i fiskebestanden er ennå begrenset, men man har ofte sett at næringsrike innsjøer faller tilbake til den

opprinnelige tilstanden i løpet av noen år hvis den eksterne næringsstofftilførselen ikke er redusert tilstrekkelig lavt nivå, eller hvis fosforkonsentrasjonen på grunn av intern gjødsling var meget høy før inngrepet. Fosforkonsentrasjonen kan stige til nivået før inngrepet etter ca. 4 år, mens holdbarheten for f.eks. siktedyp og suspendert stoff er opp til 10-12 år i den danske undersøkelsen.

For å oppnå langtidseffekt skal det derfor sikres at fosforkonsentrasjonen i innsjøen, når denne er i likevekt med tilførselen fra nedbørsfeltet, er lavere enn i de danske innsjøene som inngikk i undersøkelsen. Et anbefalt nivå for langtidsholdbarhet i norske innsjøer vurderes å være <30 µg P/l (i likevekt beregnet ved f.eks. empiriske innsjømodeller som Vollenweider, 1976), og en aktuell fosforkonsentrasjon som ikke overstiger 50-75 µg P/l i sommergjennomsnitt. Det kan kanskje oppnås langtidseffekt ved et litt høyere fosfornivå hvis utfisking kombineres med andre typer innsjørestaurering, som øker bindingen av fosfor i bunnsedimentet. I svært næringsrike innsjøer må restaureringstiltakene gjentas eller vedlikeholdes over tid inntil tilførselen fra nedbørsfeltet er redusert tilstrekkelig og balansen i innsjøen er gjenopprettet. Alternativt kan man som i Nederland bruke metoden som et vedlikeholdstiltak hvor kontinuerlig utfisking eller utfisking med få års mellomrom sikrer en klarvannet tilstand.

Intern gjødsling av fosfor kan forsinke effekt av tiltak

Tilførselen av fosfor, som ofte er det regulerende næringsstoff for algevekst i innsjøer, er i mange områder blitt redusert i de siste årtier. Det skyldes hovedsaklig forbedret rensning av avløpsvann, men i områder med tett bebyggelse eller intensivt jordbruk i nedbørsfeltet, er den eksterne tilførselen ofte ikke redusert tilstrekkelig. Videre kan sedimentet i innsjøer med oksygenfritt bunnvann om sommeren frigi jernbundet fosfat til innsjøen. Mange innsjøer har således også intern gjødsling fra det lager av fosfor som er bygget opp i foregående perioder med høyere eksterne tilførsel. Derfor er det ofte en betydelig forsinkelse av forbedringene etter en redusert tilførsel fra nedbørsfeltet. Hvis vannets oppholdstid i innsjøen er lang avlastes fosforlageret langsomt, og den interne gjødslingen kan bidra til fortsatt stor algevekst i mange år. Det er derfor snakk om et problematisk internt kretsløp, som kan hindre å oppfylle vanddirektivets mål om god økologisk tilstand innen 2015.

Restaurering av innsjøer med kjemisk/fysiske metoder

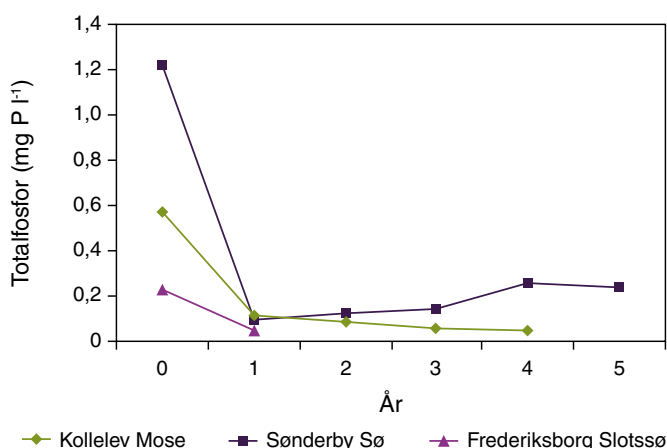
Tilsetning av aluminium i overflatevannet kan brukes som restaureringsmetode i innsjøer. Aluminium bidrar til at fosfor i vannfasen felles ut og sedimenterer, mens fosforinnholdet i sedimentet immobiliseres. Dermed bremses den interne gjødslingen, og tilgjengeligheten av fosfor

for planteplankton faller med lavere primærproduksjon og større siktedyp i vannet som følge av dette.

Erfaringen med aluminiumsbehandling av danske innsjøer er begrenset til i alt 6 innsjøer. Metodens potensial er derfor fortsatt usikker. I alle de gjennomførte prosjektene har tilsetningen av aluminium hatt en øyeblikkelig, og meget markant oppklarende effekt på innsjøvannet, og ført til et meget lavere fosforinnhold. Figur 4 viser eksempler på dette.

Nordborg Sø ble tilsatt 52 g Al/m² på 84% av innsjøens areal i oktober 2006. Ved tilsetningen av aluminium ble størsteparten av oppløst fosfor (96%) og totalfosfor (87%) bundet til aluminium, og ført ned til bunnen. Fosforkonsentrasjonen i sommerperioden (mai-september) i 2006 og 2007 var henholdsvis 0,231 og 0,028 mg totalt P/l og 0,176 og 0,005 mg oppløst-P/l. De lavere konsentrasjonene i 2007 betød at algeplanktonet ble fosforbegrenset. Siktedypet ble også forbedret fra 2,2 m i 2006 til 3,2 m i 2007 (Andersen, 2008 og Sara Egemose upublisert)

Det er tvil om de langsiktige effektene av behandlingen, og det er tegn på tilbakefall til en uklar tilstand i Sønderby Sø, som er den første i Danmark som ble behandlet med aluminium i 2001. Det er likevel usikkert om den eksterne tilførselen av fosfor til Sønderby Sø er redusert tilstrekkelig, og en gjentakelse av behandlingen vil da være nødvendig. I Sønderby Sø ble bunndyr og abborer undersøkt for opphopning av aluminium i forbindelse med restaureringen. Det ble ikke funnet signifikante endringer eller observert fiskedød. Det er altså generelt ikke noe som tyder på at den mengden som er tilsatt i disse restaureringene har uohensiktsmessige konsekvenser. Aluminium kan likevel være toksisk overfor fisk ved høye eller lave pH verdier. Tilsetning bør derfor foregå utenfor sommerperioden i eutrofe, kalkrike innsjøer, hvor pH er forhøyet som følge av primærproduksjonen og helt unngås i lavalkaline innsjøer med pH < ca. 5,5 (Berge, 2004).



Figur 4: Sommergegjennomsnitt av totalfosfor i tre innsjøer med aluminiumstilsetning. År 0 er tilsetningsår og år 1 første effektår (Liboriusen et al., 2007).

Oksygenering av innsjøer ved å tilføre ren oksygen eller blåse inn luft i vannet har markant effekt på opphopningen av fosfor i bunnvannet, sannsynligvis via den oksygenfølsomme binding av fosfor i sedimentet. Metoden er bare aktuell i dype innsjøer med lagdeling av vannmassene

om sommeren. Det er god erfaring fra den norske innsjøen Kolbotnvann som er liten og dyp, og med mye intern gjødsling av fosfor fra oksygenfritt sediment om sommeren (Solheim et al., 2004). Eksempler fra danske innsjøer har vist en reduksjon i opphopningen av fosfor i bunnvannet gjennom sommeren på mer enn 50%, og samtidig minskes også opphopningen av ammonium markant. I to eksempler hvor oksygeneringen ble stanset i et år, økte konsentrasjonen av fosfor i bunnvannet. Oksygenering kan være et langvarig prosjekt i svært næringsrike innsjøer, og det er ennå usikkert om metoden kan brukes til å skape permanent effekt. Økt temperatur og omsetning av organisk materiale i forbindelse med oksygenering, kan videre øke risikoen for et større mobil innhold av fosfor i sedimentet. Hvis eutrofieringen bremses som følge av redusert ekstern tilførsel av fosfor, vil en mindre sedimentasjon av organisk materiale og lavere pH bidra til å begrense den interne gjødsling av fosfor, og innsjøen vil heretter kunne klare seg uten oksygenering

Fjerning av sediment er en metode som effektivt kan fjerne næringsrikt sediment etter mange års forurensing. Målet er å fjerne eller begrense den interne gjødslingen. Det er meget få eksempler fra større danske innsjøer. Effekten i Brabrand Sø ved Århus (1,5 km²) er det eneste dokumenterte danske prosjektet. 500.000 m³ sediment ble fjernet, og det lyktes å redusere den interne gjødsling med fosfor, og ytterligere tilgroing av innsjøen ble bremsset. Effekten på vannkvaliteten har likevel på grunn av en fortsatt høy ekstern næringsstoffbelastning, vært begrenset. I Finjasjøen i Sverige var det ingen effekt av oppmudring, fordi underliggende sediment også lekket fosfor (Solheim et al., 2004). Innen beslutninger om fjerning av sediment i grunne innsjøer hvor metoden er teknisk mulig, bør det foretas grundige analyser av sedimentets innhold av fosfor og sammensetningen av fosforlageret i et sedimentprofil, slik at det samlede fosforlageret kan beregnes. Videre bør innholdet av miljøgifter og avsetningsmuligheter for sediment undersøkes.

Innsjørestaurering med fysisk/kjemiske metoder

- Tilsetning av aluminium kan begrense den interne gjødslingen med fosfor markant, men det kan være behov for å gjenta behandlingen etter noen år for å unngå tilbakefall hvis den eksterne fosfortilførselen fortsatt er høy.
- Oksygenering brukes særlig i dype lagdelte innsjøer med oksygenfritt bunnvann, hvor det tilsatte oksygenet kan redusere bunnvannets fosforkonsentrasjon med ca. 50 %. Oksygeneringen skal foretas gjennom mange år, og det er usikkerhet om varig effekt ved opphør av oksygenering i svært næringsrike innsjøer. Det er risiko for at oksygenering skaper en økt mobil mengde av fosfor.
- Fjerning av fosforrikt sediment kan forebygge intern gjødsling, men metoden er dyr og kan bare brukes i grunne innsjøer. Det kan skje lekkasje av fosfor fra blottlagte sedimentlag. I tillegg kan fjerning og avsetning av sediment være problematisk, især hvis sedimentet inneholder miljøgifter.

Kostnader

Ut fra de danske erfaringene er det mulig å vurdere kostnadene ved de enkelte metodene (tabell 2):

Metode	Min	Middel	Median	Max
Utfisking	3.000	13.000	9.000	44.000
Oksygenering	10.000	20.000	20.000	31.000
Tilsetning av aluminium	19.000	33.000	35.000	41.000

Tabell 2: Kostnader per ha vannflate (Dkr.) ved innsjørestaurering (interne inngrep) basert på dansk erfaring (Liboriussen m.fl., 2007).

Kostnadene ved de forskjellige inngrepene varierer mye, men utfisking er generelt den billigste med en gjennomsnittlig utgift på 13.000 kr. per ha. Oksygenering koster ca. 20.000 kr. per ha innsjø og aluminiumsbehandling ca 33.000 kr. per ha. Sammenligning av de enkelte restaureringsinngrepene skal likevel tas med forbehold fordi datagrunnlaget varierer betydelig. Erfaring med fjerning av sediment er liten, men prisen på opprensing av 500.000 m³ sediment i Brabrand Innsjø var ca. 25 mill. kr tilsvarende ca. 150.000-200.000 kr. per ha. innsjø eller 75 kr./m³ sediment fjernet.

Årungen

Årungen er en eutrof kalkrik innsjø på 1,2 km² beliggende i lavlandet i Ås kommune, se figur 5. Gjennomsnittsdybden er 8,0 meter og maksimumsdybden 13,2 meter. Innsjøen har temperaturlagdeling av vannmassene (stratifisering) mellom ca. 1 mai til slutten av september. Graden av stratifisering vil imidlertid variere med temperaturen og vindforholdene om sommeren, samt innvirkningen av enkelte flomtopper. Nedbørsfeltet

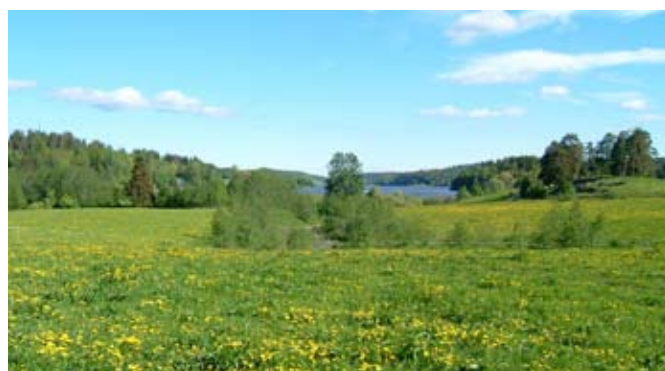
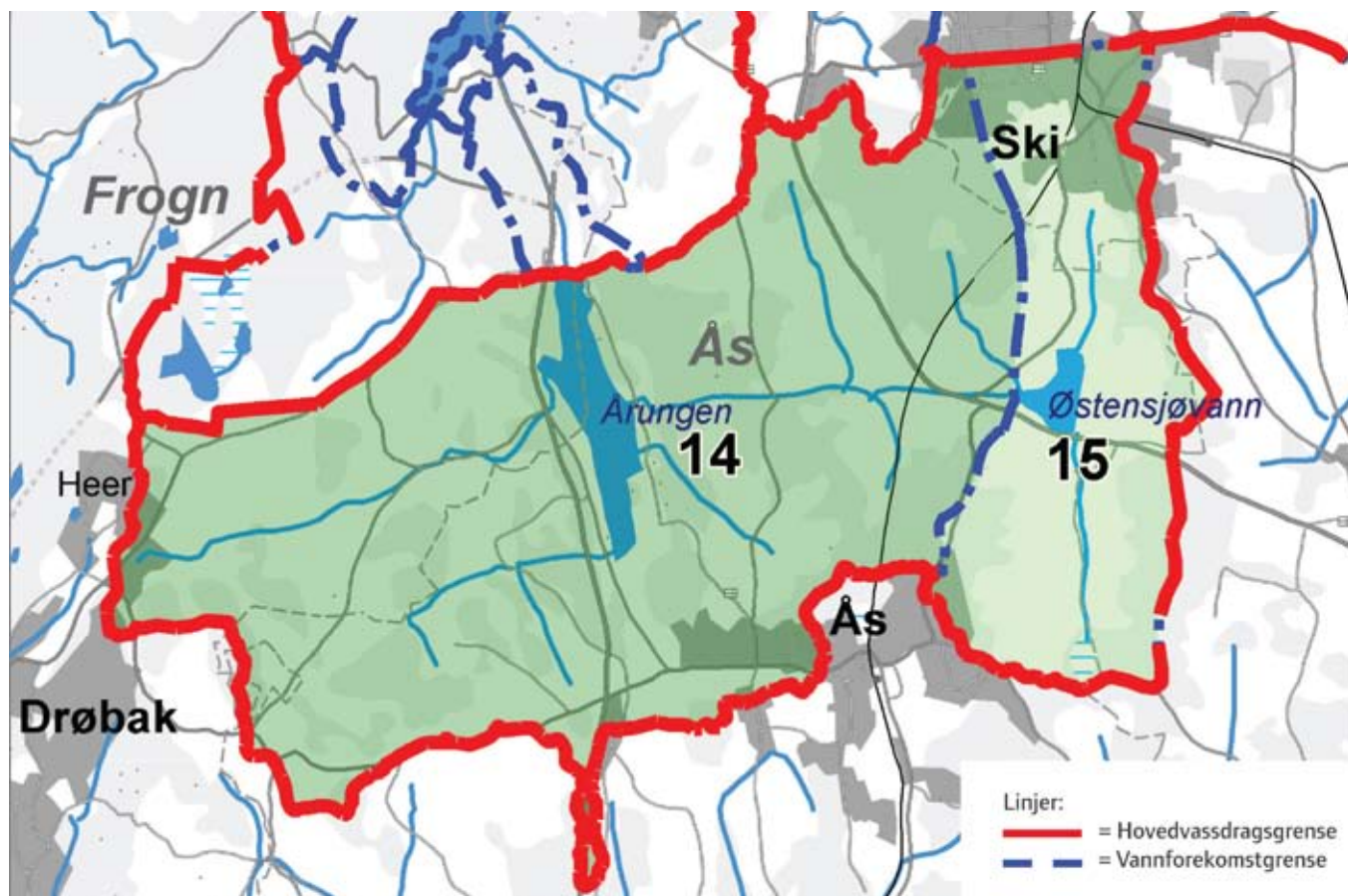


Foto: Tore Krogstad

ligger i kommunene Ås, Ski og Frogn. Mer enn halvparten av det totale nedbørsfeltet utgjøres av landbruk. Vassdraget er 13 km langt, og den gjennomsnittlige vannføringen ved utløpet er 0,8 m³/sek. Avrenningen fra Ski går via Finstadbekken til Østensjøvann og videre til Årungen via Bølstadbekken. Avrenningen fra Frogn kommune kommer via Storegrava



Figur 5: Kart over Årungenvassdraget med vannforekomstene Årungen og Østensjøvann

til Årungen. I tillegg er det flere mindre bekker. 50% av fosfortilførselen kommer fra Østensjøvann som har intern gjødsling av fosfor. Utløpet til Bunnefjorden går via Årungenelva (figur 5). Forurensende aktiviteter i vassdraget kommer fra tettbebyggelse og jordbruksarealer. Hovedutfordringen i vassdraget er overgjødning og påfølgende algeoppblomstringer i vannmassene. Masseutvikling av giftproduserende blågrønnalger i Årungen er et årlig fenomen som fører til badeforbud og som også påvirker badevannskvaliteten i Bunnefjorden. Bunnsedimentene i Årungen inneholder store mengder næringsstoffer (i første rekke fosfor) som fører til intern gjødsling.

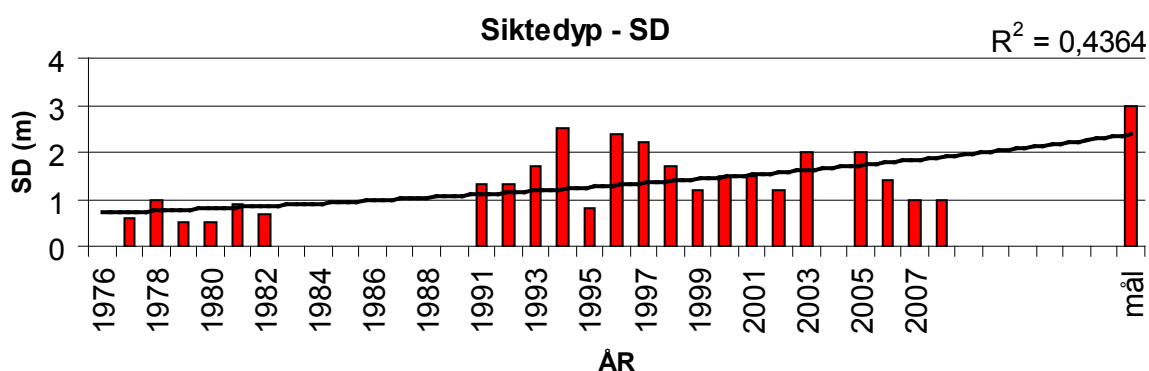
Vannkvaliteten har hatt betydelig forbedring siden 1985, men det har vært en liten forverring i vannkvaliteten siden 1997. Andelen blågrønnalger i algesamfunnet varierer, men er overveiende høy (ofte >50 %). Vannkvaliteten med hensyn til siktedyp og fosfor varierer også sterkt fra

år til år. Flommer fører til økte konsentrasjon av fosfor og mer suspendert stoff (turbiditet).

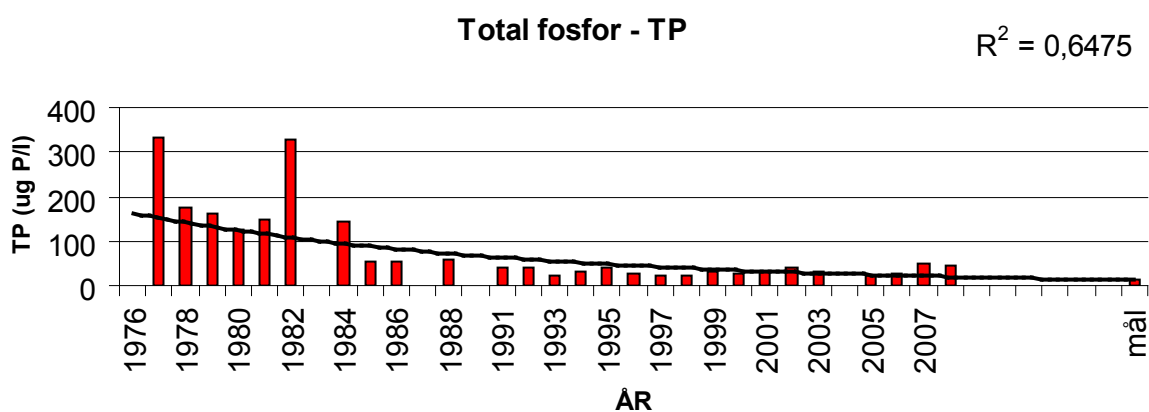
Årungen hadde også i 2008 dårlig vannkvalitet (nederst i klasse 4), og andelen av blågrønnalger i fytoplanktonsamfunnet var relativt høyt dette året. Siktedypet har etter 1985 overveiende vært betydelig bedre enn i perioden 1977 - 1985 (figur 6). Det midlere siktedypet i Årungen var i 2008 (mai - september) 1,0 m.

Den midlere fosforkonsentrasjonen (mai - september) var i perioden 1962 - 1984 svært høy (127 - 400 µg total-P/l). Fra 1985 ble fosforkonsentrasjonen imidlertid betydelig lavere (< 55 µg total-P/l) (figur 7). I 2008 var fosforkonsentrasjonen 41 µg total-P/l.

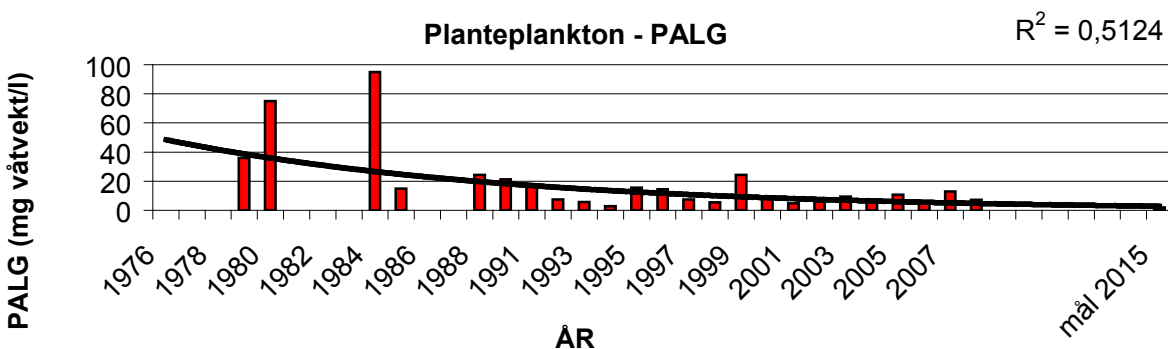
Den midlere planktonalgebiomassen (figur 8) varierer sterkt fra år til år og var i 2008 ca. 7 mg våtvekt/l (som viser, at vannkvaliteten fortsatt er



Figur 6: Siktedyp i Årungen 1976 - 2008 (Løvstad, 2009).



Figur 7: Total fosfor i Årungen 1976 - 2008 (Løvstad, 2009).



Figur 8: Planteplankton i Årungen 1976 - 2008 (Løvstad, 2009).

dårlig). Det ble registret en betydelig forbedring i 1985. I hele perioden 1991 til 2008 har det vært stor dominans av blågrønnalger i vannet.

I perioden 1979 til 2008 har ofte kiselalgene vært blant de mest dominante algene i mai - juni. Mens *Planktothrix agardhii* var helt dominant blant blågrønnalgerne i 1980 har andre arter av blågrønnalger blitt mer dominante i perioden 1988-2008. Spesielt har *Aphanizomenon flos-aquae* hatt en fremtredende plass i samfunnet av planktonalger, men også *Microcystis aeruginosa* har vært dominant midt på sommeren. I de siste årene har *Anabaena*-arter vært dominante sammen med *Planktothrix* og *Aphanizomenon*.

I 1992 ble det observert en stor bestand av vasspest (*Elodea canadensis*) i Årungen nær rostasjonen. I perioden 1996–2008 har det hver sommer blitt observert vasspest rundt hele innsjøen med varierende størrelse på bestandene avhengig av bl.a. vannkvaliteten (mindre ved lavt siktedyp).

Mål for Årungen

- God økologisk tilstand i 2021 (unntak)
- Fosforkonsentrasjonen 15 µg P/l i 2015
- God fiskestatus
- Ikke oppblomstring av blågrønnalger
- Vasspest ikke dominerende i strandsonen



Foto: Jan Nielsen

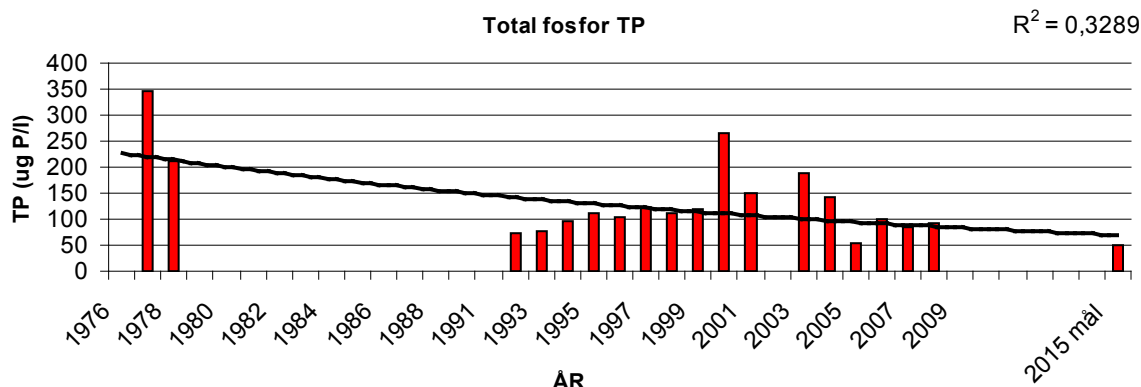
Erfaringer med innsjørestaurering i Årungen

En norsk undersøkelse fra Årungen har vist at massiv utfisking av store gjedder kan endre økosystemet og gjenskape en mer naturlig balanse mellom rovfisk og mort. Gjeddebestanden steg på grunn av mindre karnibalisme fra de store gjeddene og sammen med flere fiskespisende abborer medførte det økt konsum av karpefisk (især mort). Resultatet var signifikant færre små mort og abborer og et skifte i føden hos disse til detritus og dyreplankton, formodentlig på grunn av en økt bestand av store arter av dyreplankton (Sharma & Borgstrøm, 2008). Siktedypet steg i Årungen etter inngrepet, men det er usikkert om det alene skyldes inngrepet. Man vet ikke hvordan siktedypet ville ha utviklet seg uten inngrepet hvilket er et generelt problem i tolkning av effekter av

innsjørestaurering. En del av forbedringen kan skyldes en lavere tilførsel av eksternt og internt fosfor sammenlignet med perioden før inngrepet.

Østensjøvann

Østensjøvann er en kalkrik og hypertrof innsjø. Ca. 30% av vanntilførselen til Årungen kommer fra Østensjøvann, og vannkvaliteten er derfor også av betydning for Årungen (Grøterud og Haaland, 2007). Arealet er 0,34 km², gjennomsnittsdybden er 3,9 meter og maksimumsdybden 7,1 meter. Innsjøen har i kortere perioder om sommeren en ustabil temperaturlagdeling av vannmassene (stratifisering). Forurensende aktiviteter i vassdraget kommer fra tettbebyggelse, avløpsvann og jordbruksarealer. Hovedutfordringen i vassdraget er overgjødning og påfølgende algeoppblomstringer i vannmassene.



Figur 9: Total fosfor i Østensjøvann 1976 - 2008 (Løvstad, 2009)

Vannkvaliteten har hatt betydelig forbedring siden 1977/78. Det har antagelig også vært en signifikant forbedring i vannkvaliteten siden 2001 selv om vannkvaliteten fortsatt er meget dårlig med masseoppblomstringer av blågrønnalger (Løvstad, 2009).

Østensjøvann er betydelig mer eutrof enn Årungen. I perioden mai - september 1977 og 1978 varierte fosforkonsentrasjonen fra 150-900 µg total-P/l (figur 9). Konsentrasjonene var høyest i august-september. I perioden 1992-2008 har midlere fosforkonsentrasjon variert mellom 72 µg og 265 µg total-P/l. Den høyeste konsentrasjonen ble målt i 2000. I 2008 var fosforkonsentrasjonen 92 µg total-P/l. Også i 2008 var *Planktothrix agardhii* dominante i fytoplanktonsamfunnet, men *Anabaena*-arter var nå mer fremtredende. Den midlere *algebiomassen* i 2008 var 30 mg våtvekt/l.

Mål for Østensjøvann

- God økologisk status i 2021 (unntak)
- Fosforkonsentrasjonen 50 µg P/l i 2015
- Balansert fiskestatus
- Verneverdig fuglelokalitet
- Ikke oppblomstring av blågrønnalger (som kan nå Årungen)

Undersøkelser i 1978-1978 viste at Østensjøvann har en meget stor intern fosforgjødsling (Grøterud & Haaland, 2007). Dette ble beregnet ut fra forskjellen mellom målte sommerverdier av fosfor og modellberegnete verdier, når innsjøen var i likevekt med eksternt tilførsel. Den store algeproduksjonen hever pH til kritiske verdier over pH 8,4 og dette medfører betydelig lekkasje av fosfor fra sedimentet, som forsterker eutrofieringen. Perioder med lave konsentrasjoner av oksygen i bunnvannet om sommeren og resuspensjon av bunnsediment bidrar også til den interne fosforgjødslingen. Etter undersøkelsen er det skjedd en betydelig reduksjon i fosforkonsentrasjonen i Østensjøvann, men problemstillingen med intern gjødsling er stadig aktuell og en hindring for raske forbedringer av vannkvaliteten på tross av tiltak i nedbørfeltet.

Mulige tiltak i Årungen og Østensjøvann

Årungen kan sammenlignes med danske innsjøer på grunn av sin geografiske plassering i lavlandet i Sør-Norge. I forhold til klassifiseringssystemet knyttet til EU's Vanddirektiv kan Årungen best sammenlignes med den kalkrike, klarvannede, dype innsjøtypen i Danmark. Sammensetning av arter og økosystemets funksjon vurderes ikke å avvike vesentlig fra denne typen, men det skal likevel bemerkes at de fleste danske erfaringene med innsjørestaurering er basert på grunne innsjøer.

På grunn av dybdeforholdene i Årungen vurderes det ikke som mulig å fjerne sedimentet uten meget store omkostninger, siden de tradisjonelle entreprenørmaskinene bare kan arbeide på lavt vann. Oksygenering av bunnvannet er mest relevant i innsjøer med langvarig temperaturlagdeling av vannmassene om sommeren (stratifisering). Oksygenering av middeldybde og grunne innsjøer kan heve temperaturen i bunnvannet, hvilket kan øke mineraliseringen av organisk materialer og risikoen

for oppblanding av næringsrikt bunnvann i overflatevannet. I de grunne innsjøene er det også risiko for at oksygen ikke når og oppløses i vannfasen, og det medfører en dårlig horisontal utbredelse av oksygen. Metoden egner seg best i små dype innsjøer med stor intern gjødsling fra oksygenfritt sediment som Kolbotnvann, men kan også overvejes i Årungen, hvis intern gjødsling er en væsentlig årsak til eutrofieringen. Sedimentundersøkelser som nå gjøres i Årungen blir viktig for å vurdere eventuell oksygenering.

Erfaringene med utfisking av store gjedder har vist at vannkvaliteten i Årungen kan manipuleres ved inngrep i fiskebestanden. Det er sannsynlig at en redusert bestand av små mort og abborer kan øke dyreplanktons beiting på planteplankton. Fosforkonsentrasjonen er antagelig i dag på et så lavt nivå at effekten av utfisking kan få en langvarig effekt hvis den eksterne tilførsel av fosfor samtidig reduseres i tråd med de lokale tiltaksplaner. Bestanden av mort bør reduseres med ca. 80% av den nåværende bestand innen 1-3 år for at få en effekt som bringer Årungen nærmere å oppfylle målet i 2015/2021. På bakgrunn av fiskeundersøkelser basert på biologiske oversiktsgarn, kan fiskebestandens størrelse estimeres, men ut fra de danske erfaringene må man påregne et utfiskingsbehov på 200 kg/ha svarende til ca. 25 tonn. Ved samtidig å utfiske store gjedder, kan rovfiskebestanden i Årungen stimuleres, som muligens kan senke behovet for utfisking av mort. Resultatet av utfiskingen vil være færre næringsstoffer, færre blågrønnalger og større siktedyp. Det er en risiko



Foto: Rudolf Svensen

for at vasspest på kort sikt vil bre seg ytterligere i innsjøen, men det er mulig at bestanden bryter sammen ved f.eks. fuglegressing som man har observert i danske innsjøer. Et lavere næringsstoffinnhold vil på sikt redusere vasspests konkurransevne i forhold til andre opprinnelige og naturlige plantearter i vassdraget.

Binding av fosfor i sedimentet ved tilsetning av aluminium er mest relevant i innsjøer med meget høyt fosforinnhold ($>100 \mu\text{g P/l}$). Virkningen er formodentlig begrenset i innsjøer med en fosforkonsentrasjon på $30\text{--}40 \mu\text{g P/l}$, og det vil være relativt dyrt i en innsjø som Årungen på $1,2 \text{ km}^2$ (ca. 4 mill. kr. basert på danske erfaringer). Derimot kunne det være et relevant virkemiddel i Østensjøvann, som er mindre og har en fosforkonsentrasjon på ca. $100 \mu\text{g P/l}$ med stor intern gjødsling. Det kunne forbedre både vannkvaliteten i selve Østensjøvann og Årungen, som mottar fosfor fra Østensjøvann. I Østensjøvann kan tilsetning av aluminium kombineres med utfisking for å motvirke biologisk treghet og fremskynde oppfyllelse av målsetningen. Det er dog viktig å få med for Årungen og Østensjøvann at hovedkilden til forurensning er landbruk og at det kan ta forholdsvis lang tid å få redusert fosforinnholdet i jorda og dermed tilførselen til innsjøene.

Referanser:

Andersen, F.Ø. (2006). CLEAR. Center for Sørestauring. Vand og Jord nr. 45.

Berge, D. (2004). Innsjøinterne- og hydrologiske tiltag i Bjørlangensjøen. Deltutredning i forbindelse med forenklet tiltaksanalyse for Haldenvassdraget. NIVA rapport 4926-2004.

Borgstrøm, R., Rosseland B.O., 2008. Endring i fisketetthet og kvikksølvkonsentrasjoner i fisk i Årungen etter manipulering med gjeddebestanden. Institutt for naturforvaltning. Indlæg på Arbeidsseminar PURA-UMB, Ås, 05.11.2008.

Jeppesen, E., Jensen, J.P., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Pedersen, L.J. & Jensen, L. (1997). Topdown control in freshwater lakes; the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. *Hydrobiologia*, 342/343, 151-164.

Liboriussen, L., Søndergaard, M. & Jeppesen, E. (red.) 2007: Sørestauring i Danmark. Del I: Tværgående analyser. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 88 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 636.

Løvstad Ø., 2009. Vannområdet Bunnefjorden med Årungen og Gjersøvassdraget. Tiltaksrettet vannovervåking av 18 vannforekomster 2008. Rapport til PURA (ikke avsluttet)

Meijer, M.-L., de Boois, I., Scheffer, M., Portielje, R. & Hosper, H. (1999). Biomanipulation in shallow lakes in Netherlands; an evaluation of 18 case studies. *Hydrobiologia*, 408/409, 13-30.

PURA, 2009. Tiltaksanalyse for PURA. Vannområdet Bunnefjorden med Årungen- og Gjersjøvassdraget.

Solheim m.fl., 2004. Rapport fra workshop om restaurering af Vanemfjorden, Dillingø, 24.-25. juni 2004. NIVA rapport 4894-2004

Sharma, C.M. & Borgstrøm, R. 2008. Shift in density, habitat use, and diet of perch and roach: an effect of changed predation pressure after biomanipulation of pike. - *Fisheries Research* 91: 98-106.

Skov, C., Jacobsen, L., Berg, S., Olsen, J. & Bekkevold, D. 2006a: Udsætning af geddeyngel i danske søer: Effektivitet og perspektivering. Danmarks Fiskeriundersøgelser. – DFU-rapport 161-06.

Skovgaard, H., 2002. Restaurering af 5 søer ved indgreb i fiskebestanden. Århus Amt, 2002.

Ordliste

Eutrofi: Anrikning i vann av næringsstoffer, særlig nitrogen- eller fosforforbindelser, som påskynder veksten av alger og høyerestående plantearter, noe som fører til uønsket forstyrrelse av likevekten mellom organismene og forverring av vannkvaliteten.

Lokale tiltaksplaner: De mer detaljerte listene med prioriterte tiltak (etter kostnadseffektivitet) som har framkommet etter en lokal tiltaksanalyse i et vannområde (en mindre del av en vannregion).

Tiltaksprogram: Et sektorovergripende tiltaksprogram for den enkelte vannregion som skal oppsummere alle relevante fastsatte tiltak og alle relevante typer av tiltak som i tillegg foreslås for å oppfylle miljømålene i forvaltningsplanen. Det skal foreligge første gang innen utgangen av 2009, og oppdateres hvert sjettede år (vannforskriften § 25).

Økologisk tilstand: Uttrykk for tilstanden når det gjelder sammensetning og virkemåte for økosystemet i en forekomst av overflatevann, basert på klassifiseringen i vannforskriftens vedlegg V.

Erfaringer med innsjørestauring og perspektiver for Årungen og Østensjøvann
