

Sørestaurering i Danmark

Der er efterhånden gennemført mange restaureringer af søer i Danmark i forsøg på at opnå en bedre miljøtilstand. Spørgsmålet er så, hvordan det er gået. I denne artikel samler vi op på resultaterne fra omkring 80 danske søer, som er restaureret gennem de seneste 20 år.

MARTIN SØNDERGAARD
LONE LIBORIUSSEN
ERIK JEPPESEN
ASGER ROER PEDERSEN
CHRISTIAN SKOV
HENRIK SKOVGAARD
INGE CHRISTENSEN
METTE BRAMM
SIMON MARSBØL
LISE-LOTTE PEDERSEN

Tilstanden i de danske søer er blevet forbedret gennem de sidste årtier. Det er primært sket som en følge af de meget store investeringer, der er foretaget i forbedret spildevandsrensning og en række andre tiltag i søernes opland, der har mindsket næringsstofftilførslen /1/.

Det ser imidlertid stadigvæk ikke for godt ud. Jf. de sidste opgørelser i 2004 opfyldte kun ca. 1/3 af de 840 danske målsatte søer de tidligere amters målsætning. Denne situation har været stort set uændret gennem de seneste 15 år, og giver sig udslag i, at de fleste søer stadigvæk er uklare og med en forringet biologisk tilstand, der er væsentlig påvirket af forhøjet næringsstofftilførsel.

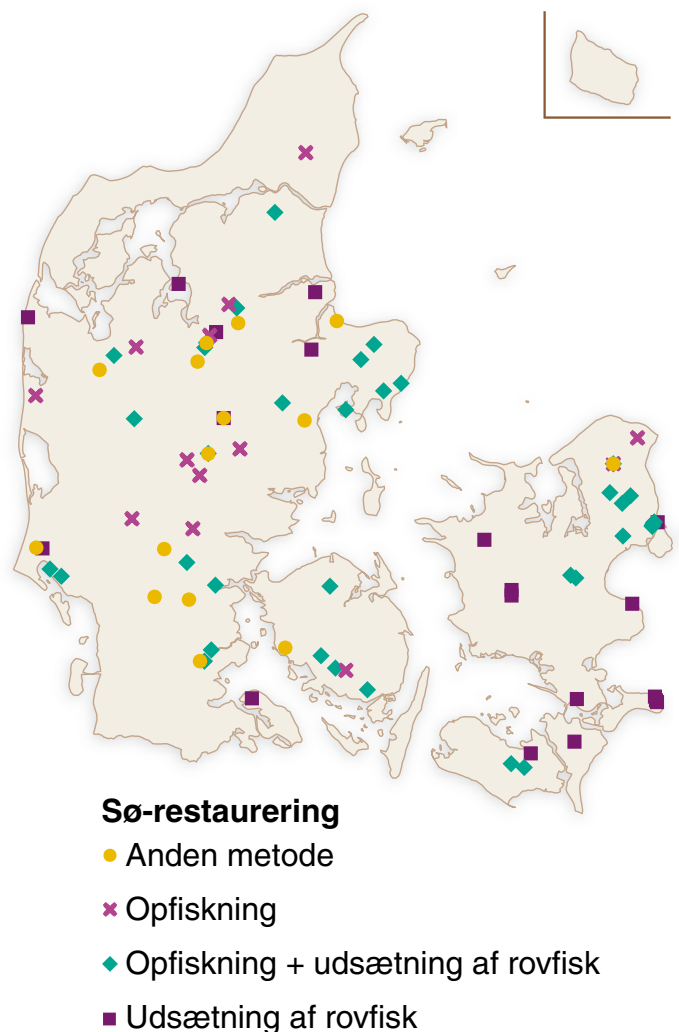
Der er flere årsager til den utilstrækkelige forbedring af søernes miljøtilstand. For det første er tilførslen af næringsstoffer til mange danske søer stadigvæk forholdsvis høj, og det betyder, at effekterne på de biologiske forhold ofte er beskedne. I den sammenhæng udgør den diffuse tilførsel af fosfor fra det åbne land, herunder tab fra landbrugsarealer og spredt bebyggelse, en stadig vigtigere faktor. For det andet reagerer søer ofte forsinket på en reduceret næringsstofftilførsel. Denne forsinkelse kan skyldes dels, at søerne belastes intern med fosfor via en pulje ophobet i søbunden og dels, at det tager tid før de

biologiske forhold ændres. Sidstnævnte kan skyldes en fiskebestand domineret af fredfisk (især skalle og brasen), som æder dyreplanktonet, så disse ikke kan holde mængden af planteplankton nede, og at det tager tid før undervandsplanterne får etableret sig igen.

Den forsinkede reaktion og de beskedne effekter førte til, at man siden midten af

1980'erne og frem til i dag har forsøgt sig med forskellige typer af restaureringer. Antallet af sørestaureringer toppede i midten af 1990'erne, hvor der årligt blev foretaget indgreb i 20-25 søer. I alt er der gennemført indgreb i omkring 80 søer. Der har været anvendt mange typer, men de mest almindelige har været opfiskning og udsætning af geddeyngel, der har været gennemført i henholdsvis ca. 50 og ca. 65 søer over hele landet, se fig. 1 og tabel 1. Dertil kommer en række mindre hyppigt anvendte metoder såsom iltning af bundvandet i lagdelte søer og aluminiumtilsætning. I nogle søer har der været anvendt flere typer af indgreb.

I denne artikel samler vi op på de mange resultater og forsøger at udrede de mere generelle tendenser. Hovedvægten er lagt på ef-



Figur 1. Oversigt over de i alt 80 restaurerede søer i Danmark med angivelse af restaureringstype. Fra 141.

fekterne af opfiskning, mens effekterne af geddeudsætning for nylig er vurderet i /2/ og /3/, og omtales kun meget kortfattet her. En mere omfattende beskrivelse af de mange resultater efter sørestaurering er givet i /4/.

Datamaterialet

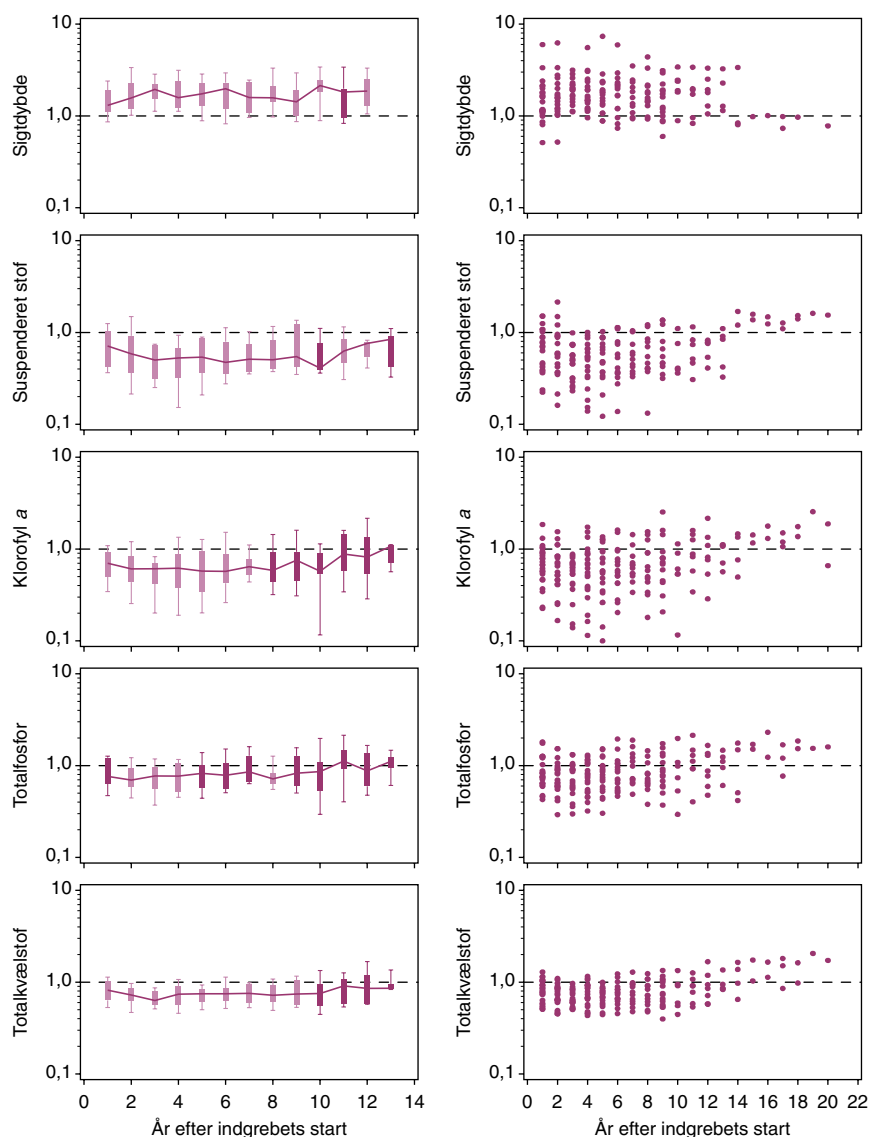
Det meget omfattende materiale, der beskriver resultater og erfaringerne med restaurering af søer, er ret uensartet, og det giver en række usikkerheder i forbindelse med den overordnede sammenstilling og tolkning. Eksempelvis er restaureringer foretaget med forskellig intensitet (fra 60 til 1350 kg fisk fjernet per ha), forskellig varighed (fra 1 til 19 år) og ved forskellig næringsstofindhold (fra 0,06 til 0,44 mg P/l). Det generelt høje næringsstofindhold betyder, at mange restaureringsindgreb er gennemført i søer, hvor der ikke kan forventes vedvarende effekter /5/. I en del søer er der også foretaget flere indgreb samtidigt.

Vurderingen af de opnåede resultater kompliceres yderligere af, at der ofte samtidigt med restaureringen er sket en reduktion af den eksterne næringsstofforsyning, samt at en eventuel intern fosforbelastning kan være aftagende. Effekten alene af restaureringsindgrebet er derfor vanskelig at adskille fra effekten af den reducerede næringsstofforsyning. Vi har dog søgt at tage højde for dette ved at korrigere for den generelle nedgang i næringsstofindholdet, der er set i de sidste 20 år i danske søer.

Opfiskning

Resultaterne fra opfiskning af fredfisk viser klart, at man ved at fjerne en tilstrækkelig mængde kan påvirke vandkvaliteten i gunstig retning og skabe en væsentlig forbedret tilstand med øget sigtdybde og ændringer i en række af de øvrige biologiske forhold. Der ses sjældent effekter, hvis der fjernes mindre end ca. 200 kg per ha indenfor få år, selvom det i nogle søer tyder på, at et langt sejt træk med lave opfiskningsprocenter gennem mange år kan give positive effekter på lang sigt. For disse søer kan det dog være vanskeligt at vurdere, i hvor høj grad skiftet er hjulpet på vej af et gradvist reduceret næringsstofniveau, som i sig selv vil betyde et skift i sammensætningen af fiskebestanden og i søens tilstand.

I søer, hvor der er fjernet mindst 200 kg fisk per ha over en periode på maksimalt 3 år, ses typisk en fordobling af sigtdybden, mens indholdet af suspenderet stof, klorofyl a, totalfosfor og totalkvælstof reduceres til 50-70 % eller derunder, se fig. 2. Mest markant er effekten på indholdet af suspenderet stof,



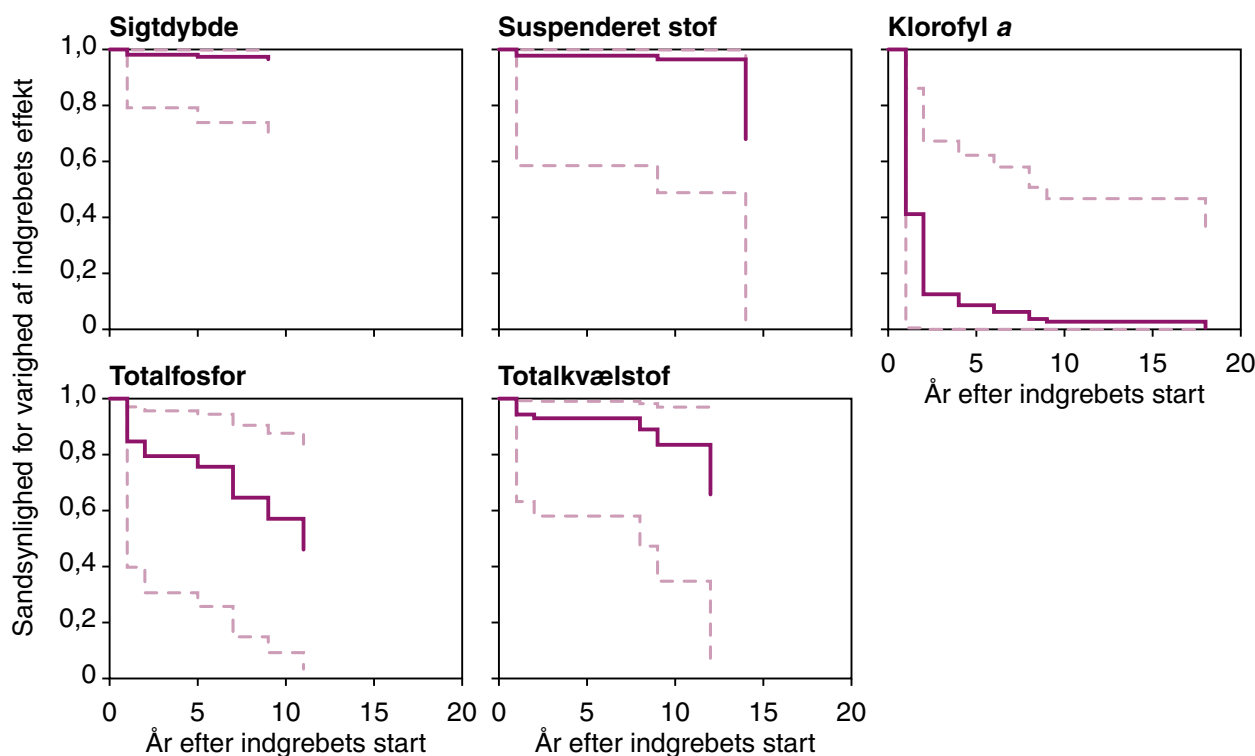
Figur 2. Den relative effekt ved opfiskning af > 200 kg fisk per ha over 3 år på sigtdybden, koncentrationen af suspenderet stof, mængden af alger i vandet målt som klorofyl a, totalfosfor og totalkvælstof. Antallet af søer = 26. Der er angivet tidsvægtede sommergennemsnit. Lyse bokse: signifikant forskellige fra før indgrebet. Bokserne viser 10 og 90 % fraktiler (yderste linier), 25 og 75 % fraktiler (boksen). Højre spalte viser værdier for de enkelte søer. Effekten er korrigeret for den ændring, der er sket generelt i danske søer. Se også /4/.

hvilket udlægges som en effekt af den mindskede bestand af fiskearter – ikke mindst brasen, der via fødesøgning roder op i bunden og øger ophvirvlingen.

I de fleste søer er der meget klare effekter i de første 2-6 år, men kun i få søer ses signifikante effekter længere end 8-10 år. Især indholdet af klorofyl a øges igen efter nogle år, hvilket mindsker muligheden for et permanent skift til en klarvandet tilstand. "Overlevelsesanalyser" viser samme tendenser, se fig. 3. Der er størst chance for på sigt at fastholde en lavere suspenderet stofmængde i vandet og en øget sigtdybde, mens der er større risiko for, at koncentrationen af fosfor og mængden af alger igen øges efter nogle år. Antallet af søer med mere end 10 års data er dog beskedent og gør vurderinger af langtid-

effekterne mere usikre.

Antallet af søer med fiskeundersøgelser i årene efter opfiskninger er begrænsede, men peger på, at fiskebestanden som helhed ikke ændres på længere sigt, ud over hvad man kan forvente som følge af den generelle reduktion i næringsstofindholdet. Dette gælder både hvad angår det totale antal fisk og biomassen af fisk. Derimod sker der tydelige ændringer i artssammensætningen, hvor brasen på lang sigt synes at blive hårdest påvirket af indgrebene. Antallet af skalle viser også tegn på fald de første år efter indgrebet, men herefter er der en stigende tendens. Dette kan være en årsag til, at effekten på dyreplankton ikke holder i længden og dermed også, at effekten på klorofyl a begrænses. Antallet og biomassen af aborre øges



Figur 3. Den sandsynlige varighed af indgreb udtrykt som beregnede overlevelseskurver (linier) med 95 % sikkerhedsgrænser (stiplede linier). Estimeret for søer med middeldybde på 1 meter, før-værdi af totalfosfor på 0,1 mg P l⁻¹ og et generelt belastningsniveau svarende til 2006. Overlevelseskurverne angiver sandsynligheden for, at en sø ikke falder tilbage til udgangs-positionen inden for en given årrække. For flere detaljer se I41.

de første år, men viser i mange søer senere tegn på at falde tilbage igen.

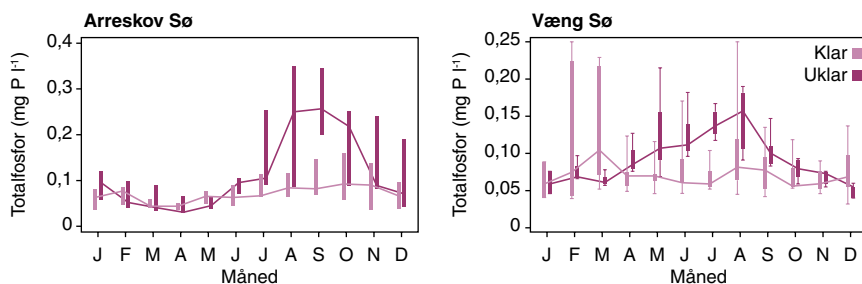
Effekterne på øvrige biologiske forhold er generelt kun belyst i få eksempler. Undervandsplanters udbredelse øges i mange søer efter restaureringsindgreb, men der er også mange eksempler, hvor planterne ikke har reageret på den øgede sigtdybde. I nogen tilfælde kan dette tilskrives en græsning fra fugle. I de søer, hvor der er sket ændringer i udbredelsen af undervandsplanter, øges også tætheden og antallet af en række fuglearter og mængde af bunddyr.

En meget væsentlig sideeffekt ved indgreb i fiskebestanden er, at tilbageholdelsen af både

fosfor og kvælstof øges betydeligt i de lavvandede søer, hvis det lykkes at skabe klarvandede forhold. Dette har ikke blot stor betydning for søen selv ved at skabe selvforstærkende effekter, men også for belastningen af eventuelt nedstrøms beliggende vandområder. Mens kvælstof altovervejende afgasses til atmosfæren, forbliver fosfor i systemet. En øget tilbageholdelse af fosfor udgør dermed også en potentiel risiko for, at søen senere påvirkes internt med frigivelse af fosfor fra søbunden, hvis søen vender tilbage til uklare forhold. Dette er set i søer, hvor den interne fosforbelastning var reduceret ved etablering af den klarvandede tilstand, men

hvor der efter tilbagevenden til den uklare tilstand igen sås en øget intern belastning og forhøjede sommerkoncentrationer af fosfor, se fig. 4. Dette peger på, at en mobil fosforpulje i sedimentet gennem lang tid kan indebære en risiko for tilbagefald til en uklar tilstand.

Samlet set peger resultaterne på, at sørestaurering ved opfiskning af fredfisk generelt ikke kan ses som et engangsindgreb, men snarere som en plejeforanstaltning, der bør gentages med mellemrum – i hvert fald ved de næringsstofniveauer, som de fleste restaureringsindgreb hidtil er gennemført ved. Det må dog forventes, at de efterfølgende indgreb kan være mere moderate, da brassenbestanden angivet på vægtbasis synes mærket på lang sigt og andelen af rovfisk og størrelsen af både aborre og skalle øges efter et indgreb. Fiskebestande i søer reagerer generelt forholdsvis hurtigt på en ny og lavere belastning [6], og hvis næringsstofniveauet reduceres tilstrækkeligt, må det altid overvejes, om der er behov for hurtigere og mere markante effekter ved at gribe ind i fiskebestanden.



Figur 4. Den sæsonmæssige variation i indholdet af totalfosfor i Arreskov Sø og Væng Sø under den klarvandede fase (lyse bokse, omfatter i Væng Sø årene 1989-1995 og i Arreskov Sø årene: 1996-1998) og efter at søerne igen blev uklare (mørke bokse, omfatter i Væng Sø årene 1997-2004 og i Arreskov Sø årene: 1999-2001). Fra I41.

Udsætning af geddeyngel

De hidtidige udsætninger af geddeyngel har på nær enkelte tilfælde ikke ført til væsentlige

Table 1. Oversigt over metoder og principperne bag restaurering af større søer anvendt i Danmark. Tabellen omfatter ikke metoder til at reducere den eksterne tilførsel (f.eks. forbedret spildevandsrensning) og heller ikke en række øvrige typer primært anvendt forsøgsomt og i mindre skala.

Metode	Hovedprincip og formål	Antal søer
Fysiske		
- Sedimentfjernelse	Fosforholdigt og organisk rigt overfladesediment fjernes for at mindske den interne fosforfrigivelse eller evt. at forbedre vækstbetingelser for grundskudsplanter.	3
Kemiske		
- Iltning af bundvand	Ilt tilføres bundvandet i sommerlagdelte søer for at forbedre bindingspotentialet af fosfor og evt. levevilkår for dyr.	6
- Aluminiumtilsætning	Aluminium tilføres vand/sediment for at øge bindingspotentiale af fosfor	6
Biologiske		
- Opfiskning af fredfisk	Mængden af fredfisk (især skalle og brasen) opfiskes for at øge dyreplanktonets græsningskontrol af planteplankton og for at mindske sedimentophvirvling.	50
- Udsætning rovfisk	Rovfisk (især gedde) udsættes for at mindske mængden af fredfisk og øge dyreplanktonets levevilkår.	65

forbedringer i søernes tilstand, og på denne baggrund anbefales metoden ikke længere som et værktøj til restaurering af søer /2/. Metoden kan muligvis optimeres, såfremt der udsættes geddeyngel af en større størrelse, end der hidtil typisk er anvendt, ligesom det kan være muligt at optimere udsætningstidspunktet og dermed forbedre chancerne for en effektiv geddeudsætning.

Iltning

Iltning har i alle tilfælde givet tydelige effekter i form af mindsket ophobning af fosfor i bundvandet og også lavere koncentrationer af ammonium, se fig. 5. Bunddyrene er også i flere tilfælde gået betydeligt frem i forbindelse med iltningen. På nær et tilfælde, hvor det kan være vanskeligt at adskille effekten af øvrige tiltag, ses dog kun få eller ingen effekter på overfladevandets vandkvalitet. Ved ophør af iltning kan ophobningen af fosfor i bundvandet igen øges, og det understreger, at iltning må gennemføres gennem mange år. Ved iltningen kan der være risiko for, at den mobile fosforpulje øges i forbindelse med mineralisering af organisk materiale.

Aluminiumtilsætning

De umiddelbare resultater af aluminiumtilsætningen er meget markante i form af kraftigt mindsket indhold af fosfor og øget sigtddybe, se fig. 6. Det er dog usikkert i hvor lang tid effekten kan holdes, og i Sønderby Sø, hvor der nu er data 5 år efter indgrebet, er der klare tegn på tilbagefald, selvom fosforkoncentrationen stadigvæk er betydeligt lavere end før aluminiumtilsætningen. Årsagen til tilbagefald kan dog også skyldes en fortsat

høj ekstern fosfortilførsel. Der er ikke sporet bivirkninger af aluminiumtilsætning i form af toksiske effekter eller øget ophobning af aluminium i fisk og bunddyr ved de danske forsøg. Tilsætning af aluminium er en ret ny metode i Danmark, så derfor er langtidseffekterne endnu dårligt beskrevne.

Øvrige metoder

Der er afprøvet en række andre metoder, såsom udlægning af skjul til geddeyngel, beskyttelse af undervandsplanter og udlægning af gydereder /3/. Fælles for dem alle er, at de kun er anvendt i få søer og ofte mere

gennemført som et forsøg end en egentlig restaurering. En undtagelse er dog fjernelse af næringsrigt sediment, der ud over Brabrand Sø, har været anvendt i flere småsøer. Her er det blandt andet lykkedes at genskabe gode vækstvilkår for grundskudsplanter ved at fjerne det øverste organiskrige sedimentlag /7/.

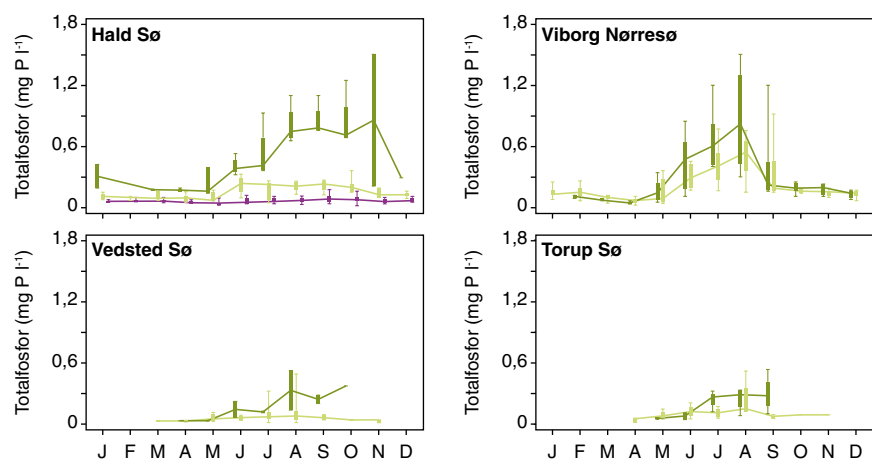
Hvad koster det?

Udgifterne til de forskellige restaureringstyper varierer meget, men blandt de typer, hvor der er set effekter, er opfiskning den billigste med en gennemsnitlig pris på 13.000 kr. per hektar søoverflade. Herefter følger iltning med en gennemsnitlig pris på 20.000 kr. og aluminiumtilsætning med 33.000 kr. per hektar søoverflade, se tabel 2. Denne sammenligning må dog tages med forbehold, fordi udgifterne, der angives for de enkelte restaureringer, ikke nødvendigvis dækker samme udgiftsposter. Desuden er den økonomiske indsats heller ikke set i forhold til, hvad der faktisk er opnået af effekter.

Konklusioner og perspektiver

Erfaringerne fra de mange restaureringer viser klart, at det i mange tilfælde kan lade sig gøre at forbedre vandkvaliteten ved hjælp af flere forskellige typer af indgreb. Mekanismerne bag sørestaureringens effekter eller mangel på samme er dog stadigvæk langt fra fuldt belyste. Et center for sørestaurering (CLEAR, /8/) søger i øjeblikket at råde bod på dette.

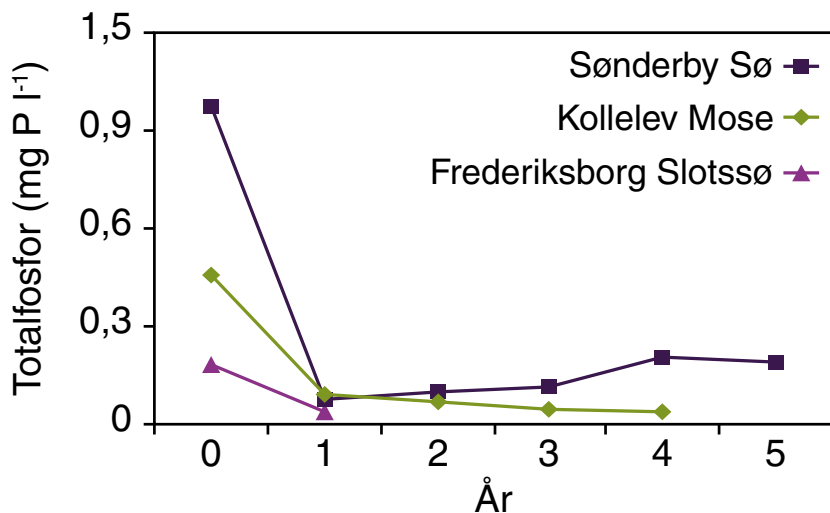
Det står ligeledes klart, at et enkelt restaureringsindgreb sjældent kan stå alene, og at



Figur 5. Sæsonudviklingen i bundvandets indhold af totalfosfor før og under iltningen i Hald Sø (dybder > 25 m), Viborg Nørresø (dybder > 10 m), Vedsted Sø (dybder > 9 m) og Torup Sø (dybder > 7 m). Før iltning er i Hald Sø årene 1980-1984 (mærkegrønne bokse), mens første iltningsperiode er 1986-1994 (lysegrønne bokse) og anden iltningsperiode 1995-97+1999-2004 (røde bokse). I første iltningsperiode blev der iltet med 8 diffusorer, mens der i anden iltningsperiode kun blev iltet med 4. Målingerne af bundvandet er dog alle fra det dybeste sted, hvor der i hele perioden blev iltet. I Viborg Nørresø er før iltning 1990-95 (mærkegrønne bokse) og under iltning: 1996-98 + 2001-06 (lysegrønne bokse). I Vedsted Sø er før iltning 1988-90+94 (mærkegrønne bokse) og iltningår 1995-2001+2005 (lysegrønne bokse). For de kemiske variable er der dog kun for data fra 1990 og 1994. I Torup Sø er før iltning 1998-2001 (mærkegrønne bokse) og iltning 2002-2005 (lysegrønne bokse). Fra 14/.

Tabel 2. Oversigt over gennemsnitlige omkostninger i forbindelse med restaurering af søer angivet i 1000 kr. per hektar sø. Standardafvigelse angivet i parentes.

Type	Antal søer	Min	Middel (sd)	Median	Max
Opfiskning	17	3	13 (11)	9	44
Iltning	4	10	20 (9)	20	31
Aluminium	4	19	33 (10)	35	41

**Figur 6.** Sommergegnomsnit af totalfosfor i tre søer med aluminiumstilsætning. År 0 er tilsætningsår og år 1 første effektår. Data fra år 1 i Frederiksborg Slotssø baserer sig kun på data frem til juni 2006. Fra 141.

det ofte vil være nødvendigt med gentagne indgreb for at fastholde en god vandkvalitet. I relation til EU's Vandrammedirektiv kan restaurering i nogle søer være et redskab til at opnå en god økologisk tilstand og dermed opfylde direktivets forpligtelser til tiden. Fokus bør dog stadig rettes mod at begrænse den eksterne næringsstofforsørgelse for at skabe permanent forbedrede tilstande, mens restaurering efterfølgende kan anvendes til at fremskynde forbedringer.

Referencer

- 1/ Søndergaard, M., Skriver, J. & Henriksen, P. (red.) 2006: Vandmiljø - biologisk tilstand. Hovedland. 104 s.
- 2/ Skov, C., Jacobsen, L., Berg, S., Olsen, J. & Bekkevold, D. 2006: Udsætning af geddeyngel i danske søer: Effektivitet og perspektivering. DFU-rapport.
- 3/ Skov, C., Berg, S., Jacobsen, L., Bekkevold, D., & Olsen, J., 2007: Restaurering af søer: Udsætning af geddeyngel. Vand & Jord, nr. 4.

- 4/ Liboriussen, L., Søndergaard, M., & Jeppesen, E., (redaktører) 2007: Sørestaurering i Danmark: tværgående analyser og eksempelsamling. Faglig rapport fra DMU nr. 636.
- 5/ Søndergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, J.P., Lauridsen, T., Müller, J.P., Jensen, H.J., Berg, S., Hvidt, C. (red.), 1998: Sørestaurering i Danmark, Metoder, erfaringer og anbefalinger. Miljønyt nr. 28.
- 6/ Jeppesen, E., Søndergaard, M., Jensen, J.P., Havens, K., Anneville, O., Carvalho, L., Coveney, M.F., Deneke, R., Dokulil, M., Foy, B., Gerdeaux, D., Hampton, S.E., Kangur, K., Köhler, J., Kömer, S., Lammens, E., Lauridsen, T.L., Manca, M., Miracle, R., Moss, B., Nöges, P., Persson, G., Phillips, G., Portielje, R., Romo, S., Schelske, C.L., Straile, D., Tatrai, I., Willén, E. & Winder, M. 2005a: Lake responses to reduced nutrient loading – an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biology* 50: 1747-1771.
- 7/ Ejbye-Ernt, M., Jepsen E. O. & Reschat, P., 2001: Sedi-mentfjernelse i søer. *Vand og Jord* 8,2: 61-66.
- 8/ Center for Sørestaurering (CLEAR): http://www.lake-restoration.net/clear_who.html

MARTIN SØNDERGAARD, LONE LIBORIUSSEN OG ERIK JEPPESEN er alle biologer ansat ved Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, Afdeling for Ferskvandsøkologi. ASGER ROER PEDERSEN er statistiker og ansat ved det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet. CHRISTIAN SKOV er ansat ved Danmarks Fiskeriundersøgelser, Danmarks Tekniske Universitet. HENRIK SKOVGAARD ved Miljøcenter Århus, INGE CHRISTENSEN ved Miljøcenter Aalborg, METTE BRAMM ved Mariagerfjord Kommune, SIMON MARSBØL ved Miljøcenter Ringkjøbing og LISE-LOTTE PEDERSEN ved Miljøcenter Ribe. Alle de sidstnævnte er biologer.



Gyllegrisen Øffe ...

Gyllegrisen Øffe er ikke i tvivl om, at turoplevelser er godt for helbredet. Han strutter af sundhed, hver gang han har taget et par ture rundt i svinestalden og hilst på ligesindede. Men hvordan det ville være i den fri natur, kan han desværre ikke udtale sig om. Kunne han blot få chancen, så ville han tage en god lang spadseretur i Frijsenborgskovene, og fortælle Vand & Jord om oplevelsen.