

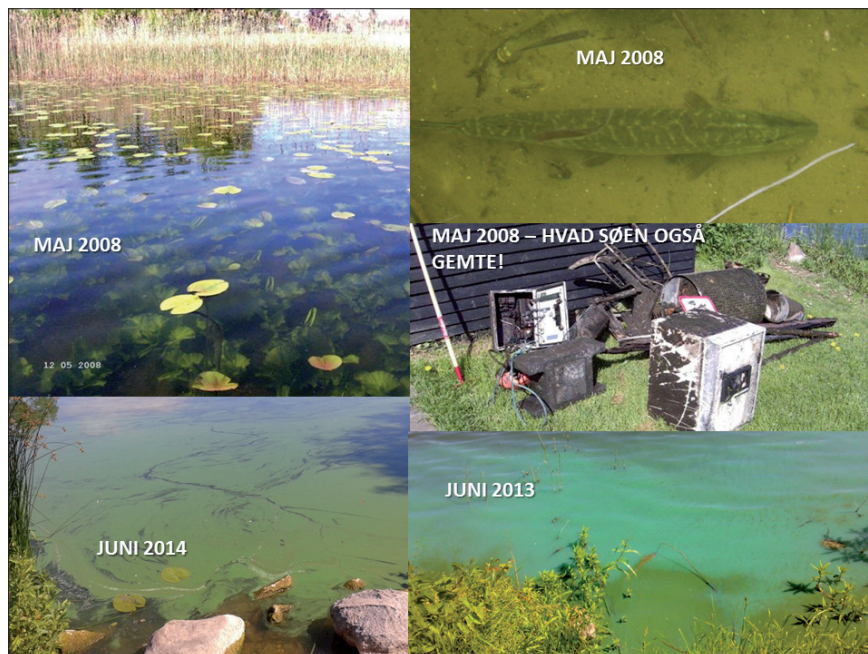
Nordborg Sø – 10 år efter restaurering

Nordborg Sø blev restaureret i 2006. Tiltag i oplandet skulle reducere den eksterne fosfortilførsel og Al-tilsætning til søen skulle binde fosfor i søvandet og forhindre fosforfrigivelse fra søbunden. Nu er der gået 10 år. Denne artikel giver en status på søens tilstand og slår endnu engang fast, hvor vigtigt det er at reducere den eksterne tilførsel tilstrækkeligt.

SARA EGEMOSE, MOGENS R. FLINDT,
ERIK JEPPESEN & HENNING S. JENSEN

Nordborg Sø på Als var for 100 år siden en klarvandet sø med en veludviklet undervandsvegetation, men pga. næringsstoffer fra spildevand og landbrug ændrede den karakter til en næringsrig sø med stor algevækst og dermed uklart vand, en fiskebestand domineret af fredfisk og næsten ingen vandplanter. Den 55 hektar store sø afgrænses på sydsiden af Nordborg by, mens den på nordsiden er omgivet af landbrugsområder. De to oplandstyper udgør hhv. 25 % og 63 % af oplandet. Den gennemsnitlige sommersigt dybde var i de sidste år op til restaureringen i 2006 ca. 1,5 m. Den gennemsnitlige totale sommerfosfor (TP)-koncentration var som eksempel $360 \mu\text{g l}^{-1}$ i 2002 /1/.

Kildeopsporinger, separatkloakering mv. har siden 1990'erne ført til en markant reduktion i den eksterne P-tilførsel, så tilførslen i 2002 stammede overvejende fra landbrug (53 %) og regnbetingede udledninger (28 %). På baggrund af undersøgelser i 2002-2005 blev det vurderet, at den eksterne P-tilførsel til Nordborg Sø stadig var ca. 30 % for høj til at man kunne forvente en stabil klarvandet tilstand efter en restaurering /2/. De mange års P-tilførsel havde medført en stor P-pulje i søsedimentet, hvoraf en del hvert år blev frigivet til søvandet i sommerperioden. Frigivelsen fra søbunden var i 2002 godt det dobbelte (1292 kg) af den eksterne belastning (528 kg). Da der stort set ikke løber vand igennem søen



Figur 1. Billeder fra Nordborg Sø efter restaureringen i 2006.
Foto: Egon Feike og Sara Egemose

om sommeren skylles det frigivne P ikke ud af søen, men indbygges i alger som senere synker ud og dermed ender P igen i sedimentet. I 2002 afgav søen således kun 35 kg P fra sedimentpuljen til afløbet/2/.

Restaureringen

Det blev derfor besluttet at restaurere Nordborg Sø i 2006 via dels en yderligere reduktion af den eksterne P-tilførsel og dels en fjernelse af den interne P-frigivelse vha. Al-tilsætning /3,4/. I efteråret 2006 blev der etableret to sedimentationsbassiner med integrerede

sandfiltre i 2 tilløb til søen (et byopland og et landbrugsopland), mens et tredje tilløb fra en mindre meget næringsrig sø blev omlagt, så det i stedet løb til Nordborg Sø's afløb. Endnu et bassin blev anlagt i 2008 i et andet landbrugsopland. Dernæst blev søen behandlet med polyaluminiumklorid (52 g Al m^{-2}) over 3 uger i oktober 2006 på alle dybder over 2 meter /3,4/. Når Al tilsættes søvandet dannes $\text{Al}(\text{OH})_3$, som er en hvidlig flok, der synker ned igennem vandfasen. Flokken adsorberer og fælder fosfat og opløste organiske P-forbindelser. Målet var at opnå en fremtidig total

P (TP)-koncentration i søvandet < 100 $\mu\text{g L}^{-1}$ og en forbedret sigtddybe pga. reduceret algevekst. Figur 1 viser billeder fra forskellige tidspunkter efter restaureringen.

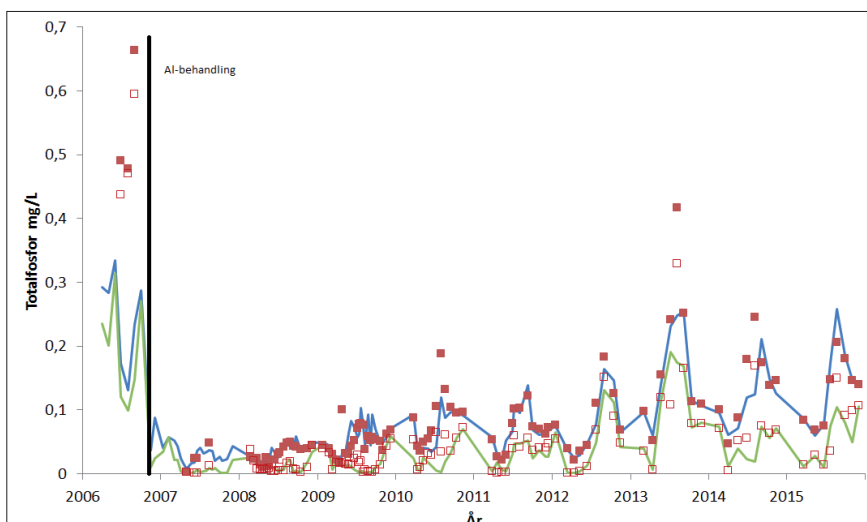
Hjalp det?

Al-behandlingen medførte en signifikant reduktion af P-koncentrationen i vandfasen. Først via fældning af opløst P og P-holdige partikler i vandfasen under behandlingen og efterfølgende via en effektiv eliminering af den interne P-frigivelse fra sedimentet (reduktionen var stadig > 90 % i 2010) /5/. Den gennemsnitlige sommer-TP-koncentration faldt 89 % fra 2006 til 2007 og for fosfat var reduktionen 97 % (fra 183 $\mu\text{g L}^{-1}$ til 5 $\mu\text{g L}^{-1}$, Figur 2). Tre år efter behandlingen i 2009 var TP og fosfat stadig reduceret med hhv. 73 % og 93 %. Men som Figur 2 tydeligt viser, så steg koncentrationen af P i vandfasen efter nogle år støt igen. Der er målt TP-koncentrationer over springlaget på op til 259 $\mu\text{g TP L}^{-1}$ (aug 2015) og der sker igen en ophobning af P i bundvandet (op til 417 $\mu\text{g TP L}^{-1}$, aug 2013) om sommeren (Figur 2). Dog er niveauet endnu lavere sammenlignet med før restaureringen. Vi ved fra undersøgelser, at Al-flokken stadig ligger som et lag over den oprindelig P-pulje, så den "nye" interne P-frigivelse forventes overvejende at skyldes en ny P-pulje tilført fra oplandet, som nu ligger i det materiale der er tilført sedimentet siden 2006 og som ligger oven på Al-laget. På baggrund af den viden vi har om niveauet og karakteren af den eksterne tilførsel kan der potentielt være tilført omkring 1 ton P til sedimentet siden 2006.

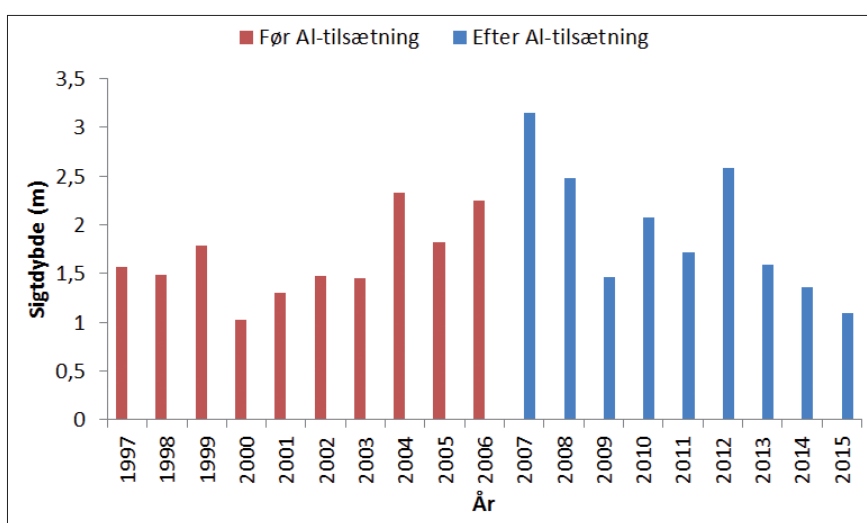
Den gennemsnitlige sommersigtddybe steg 1 meter fra 2,3 m i 2006 til 3,2 m i 2007, men er nu tilbage på samme niveau som før restaureringen. Faktisk ses de seneste år meget lave sigtddyber også i forhold til tiden før restaureringen (Figur 3). Undersøgelser af fiskebestanden året efter restaurering viste overraskende både ændringer i samfundsstruktur og habitatudbredelse /6/. Der var flere gedder, færre skaller og fiskene sås på dybere vand. Desuden sås en række andre ændringer i fysiske, kemiske og biologiske forhold efter restaureringen, se flere detaljer i reference /3,4,5/. Det er dog forventeligt at fiskebestanden nu igen er som før restaureringen, givet tilbagefaldet i øvrigt.

Ekstern tilførsel

Som nævnt indledningsvis stammer P-tilførslen til Nordborg Sø primært fra regnbetjente udledninger og diffus afstrømning fra landbrugsoplandet. En undersøgelse fra 2004/2005 viste, at der gennemsnitligt kom



Figur 2. Totalfosfor (TP)-koncentrationen og fosfatkoncentrationen i søvandet fra 2006-2015 angivet i mg/L i hhv. overflade- og bundvand.



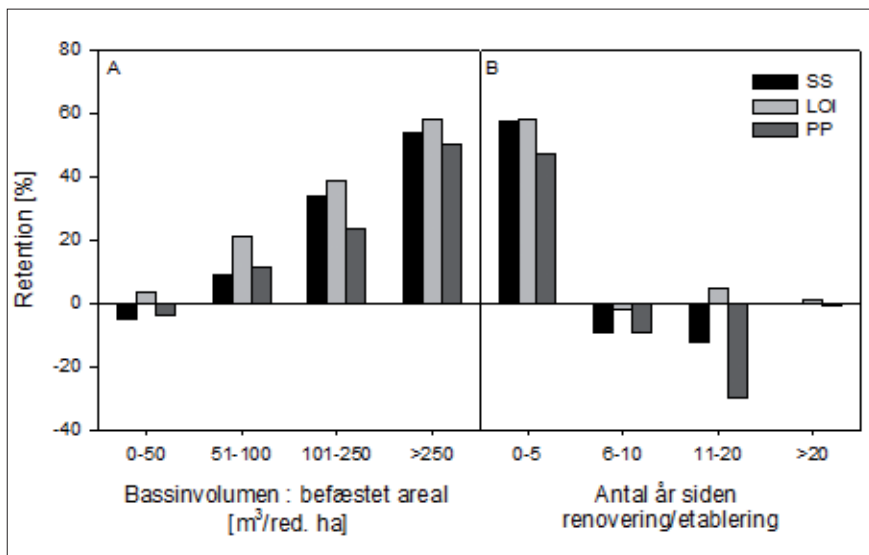
Figur 3. Den gennemsnitlige sommersigtddybe (maj-sep) i Nordborg Sø før (blå) og efter restaurering (røde).

$82 \pm 19 \mu\text{g TP L}^{-1}$ fra byoplandene og $174 \pm 32 \mu\text{g TP L}^{-1}$ fra landbrugsoplandene /2/. Det stemmer fint overens med en undersøgelse af en række oplande i Sønderjylland, som viste mediankoncentrationer på hhv. 41 og 107 $\mu\text{g TP L}^{-1}$ fra villa- og industriområder samt 62 $\mu\text{g TP L}^{-1}$ fra landsbyer, hvor afstrømningen ofte er en blanding af drænvand og afstrømmende regnvand /7/. Typisk er P-indholdet i det afstrømmende vand fordelt nogenlunde ligeligt på opløst P og partikulært P og den forholdsvis store mængde partikulært bundet P er årsagen til at man ofte vælger forskellige former for sedimentations- og filtreringsanlæg til at reducere P-indholdet i det afstrømmende vand. Samtidig er det dog sådan, at P ofte er bundet til de mindste partikler, hvilket stiller større krav til anlægget, idet man f.eks. ved at fjerne 50 % af partikelindholdet risikerer at fjerne en langt mindre del af partikulært P (PP)-indholdet, da de største partikler er nemmest at fjerne. Den eksterne tilførsel af

P til Nordborg Sø faldt med 40 % til gennemsnitligt 117 $\mu\text{g TP L}^{-1}$ fra 2006 til 2007, efter at tiltagene i oplandet var gennemført og beregnet på baggrund af de målte oplande. Senere har det dog vist sig, at flere af de etablerede sedimentationsbassiner ikke har fungeret optimalt, ligesom overløb fra fælleskloak har haft langt større betydning end antaget. Derfor er den eksterne tilførsel til søen stadig for høj og bidrager med en ny intern P-pulje til søen.

Sedimentationsbassiner

Der er forskellige årsager til at flere af de etablerede sedimentationsbassiner i oplandet til Nordborg Sø ikke har reduceret en eksterne P-tilførsel som forventet. Den vigtigste er anlæggenes størrelse. Opholdstiden er altafgørende for renseseffektiviteten. Ved for kort opholdstid når partiklerne ikke at synke ud i bassinet og bidrager evt. også til at tilstoppe sandfiltret. I byområder er der ofte mangel på tilgængelig plads og i det åbne land er det



Figur 4. Tilbageholdelse (retention) i % af suspenderet stof (SS), organisk stof (LOI) og partikulært fosfor (PP) i 39 sønderjyske sedimentationsbassiner afbilledet i forhold til bassinvolumen relativt til befæstet areal i oplandet (A) og bassinets alder eller antal år siden sidste renovering (B). Gentegnet efter Hansen 2012 og Sønderup et al. 2015 /7/.

dyrt at købe landbrugsjord, så derfor ender bassinerne ofte med at blive mindre end hvad der er nødvendigt af hensyn til effektiviteten. Selve designet og nøjagtighed ved etablering er også vigtig. Anlæggene skal etableres, så vandets vej fra indløb til udløb er så lang som mulig og at vandet fordeler sig jævnt over sandfiltret. Vand finder som bekendt den nemmeste vej og hvis der dannes strømningsveje igennem sandfiltret forsvinder effektiviteten. Endelig er vedligeholdelsen altafgørende. Anlæggenes effektivitet svinder over tid efterhånden som sandfiltret stopper til og bassinet fyldes op med materiale. Figur 4 viser reduktionen af suspenderet stof (SS), organisk stof (LOI) og PP i 39 sønderjyske anlæg som håndterer regnbetingede udledninger og som er sammenlignelige med anlæggene omkring Nordborg Sø. Figuren viser at effektiviteten er afhængig af anlæggenes størrelse og alder. Jo større bassinerne er jo bedre rensegrad (Figur 4A). Omvendt falder effektiviteten markant jo ældre anlæggene er eller jo længere tid der er gået siden sidste renovering (Figur 4B). Ofte renoverer man denne type bassiner efter 10-15 år. Som figuren viser, så falder effektiviteten allerede efter 5 år. Det skyldes, at mange af bassinerne er mindre

end de burde være (jf. figur 4A) og dermed falder effektiviteten hurtigere end forventet. Målinger i bassinerne i den del af oplandet til Nordborg Sø som de dækker, viser at de gennemsnitligt fjerner <20 % P, og dermed langt mindre end de forventede 30 %.

Sammenfatning

Overordnet har Al-behandlingen af Nordborg Sø været succesfuld, men effekten var kortvarig pga. den eksterne tilførsel som viste sig ikke at være reduceret tilstrækkeligt. Det er desværre en sætning som kunne gentages for mange andre søer. Derfor kan det ikke siges tydeligt nok hvor vigtigt det er at have styr på størrelsen af den eksterne P-tilførsel og sikre en tilstrækkelig reduktion inden en sørestaurering gennemføres for at sikre en varig effekt. Det er ofte nødvendigt med detaljeret kendskab til oplandets sammensætning samt P-målinger i oplandet for at kunne fastsætte størrelsen af den eksterne P-tilførsel og dermed reduktionsbehovet. Hvis man som i tilfældet med Nordborg Sø vælger at reducere den eksterne belastning via sedimentationsbassiner, så er det altafgørende at de designes tilstrækkelig store i forhold til oplandets størrelse og type samt at de plejes efter behov, da

effekten ellers er langt mindre end forventet. Men omvendt kan bassiner være en omkostningseffektiv og lavteknologisk metode, hvis de designes optimalt.

En stor tak til Nordborg Sportsfiskerforening for uwurderlig hjælp med prøvetagning og samarbejde under hele forløbet.

Referencer

- /1/ Sønderjyllands Amt, 2003: Nordborg Sø 2002. Teknisk rapport.
- /2/ Egemose, S., Jensen, H.S. (2009): Phosphorus forms in urban and agricultural runoff: Implications for management of Danish Lake Nordborg. *Lake Reserv. Manage.* 25: 410-418.
- /3/ Egemose, S., Reitzel, K., Jensen, H. E., Lauridsen, T. L., Andersen, F. Ø. & Jensen, H. S. (2011): Ændringer i næringsstofomsætning efter en kemisk sørestaurering. *Vand og Jord* 18 (1):8-11
- /4/ Egemose, S., de Vicente, I., Reitzel, K., Flindt, M.R., Andersen, F.Ø., Lauridsen, T.L., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, H.S. (submitted): Changed cycling of P, N, Si and DOC in Danish Lake Nordborg after aluminum treatment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*
- /5/ Egemose, S., Jensen, H.S. & Reitzel, K. (2011): Erfaringer med aluminiumbehandling af danske søer. Miljøministeriet, Naturstyrelsen, 66 sider.
- /6/ Lund, S.S., Landkildehus, F., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Egemose, S., Jensen, H.S., Andersen, F.Ø., Johansson, L.S., Ventura, M. & Jeppesen, E. (2010): Rapid changes in fish community structure, abundance and habitat distribution in a Danish lake following restoration by aluminium treatment. *Freshwater Biology* 55: 1036-1049.
- /7/ Sønderup, M.J., Egemose, S., Hansen, A.S., Grudinina, A., Madsen, M.H. & Flindt, M.R. (2015): Factors affecting retention of nutrients and organic matter in stormwater ponds. *Ecology*, DOI: 10.1002/eco.1683.
- /8/ Hansen, A. S. (2012): Belastning og effektivitet af regnvandsbassiner – evalueret med GIS og feltprøvetagning. Specialrapport. Syddansk Universitet.

SARA EGEMOSE (saega@biology.sdu.dk), MOGENS FLINDT og HENNING S. JENSEN, Biologisk Institut, Syddansk Universitet. ERIK JEPPESEN, Institut for Bioscience, Aarhus Universitet.