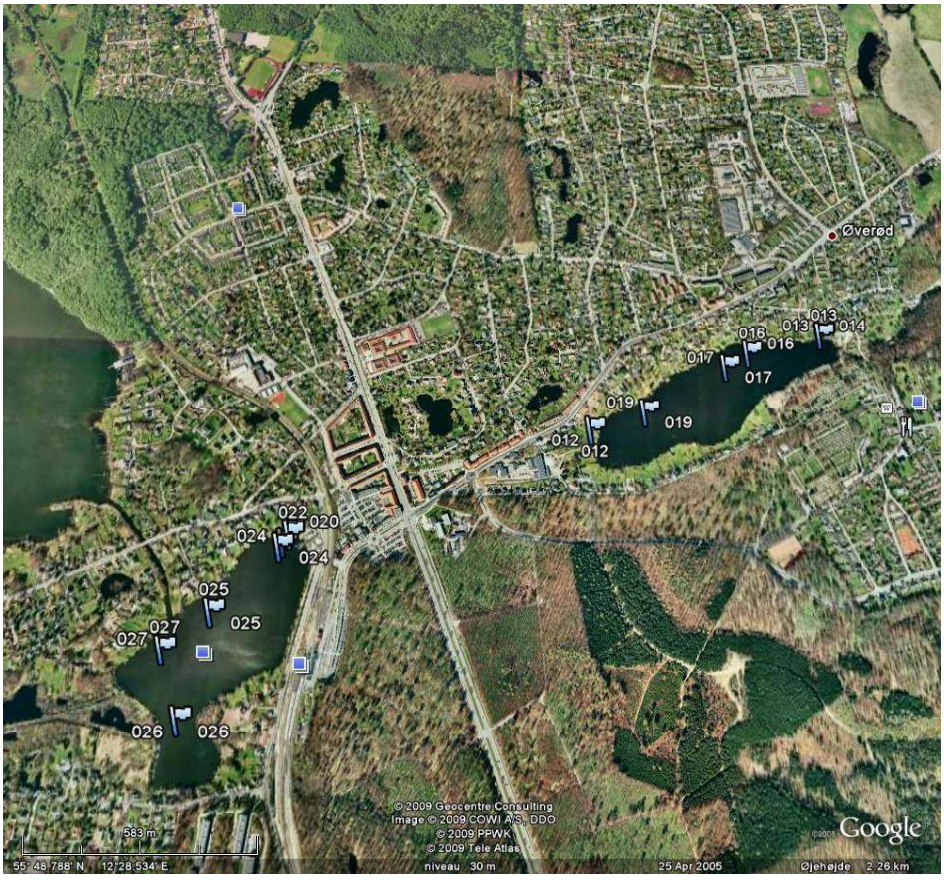
Undersøgelse af fosfor, jern og aluminium i sedimentet fra Søllerød Sø og Vejle Sø april 2009

Delundersøgelse i LIFE-projekt: Re-establishing a natural water flow level in the river system "Mølleåen" (LIFE07 NAT/DK000100)



Udarbejdet af: Henning S. Jensen, Heidi Nielsen og Maria Jensen, Syddansk Universitet, og HSJ Vandmiljø, december 2009.

Kontakt: Henning S. Jensen, Biologisk Institut, Syddansk Universitet, e-mail: hsj@biology.sdu.dk

Resumé

Uforstyrrede sedimentkerner blev udtaget på 6 stationer i Søllerød Sø og 5 stationer i Vejle Sø i april 2009 for at kvantificere søbundens indhold af potentielt mobilt fosfor (P) ved hjælp af sekventiel kemisk ekstraktion. Samtidig blev den eksisterende bindingskapacitet på jern og aluminium målt. Begge søer havde store aflejringer af total-P og mobilt P med maksimale koncentrationer i 10-30 cm's dybde hidhørende fra tidligere tilførsel af P med spildevand. Den eksisterende bindingkapacitet svarede kun til 5-10% af den mobile P-pulje i Søllerød Sø og 10-20% af den mobile P-pulje i Vejle Sø. Den potentielt mobile P-pulje på dybder over 4 m (10,1 ha ud af 13,4 ha søbund) i Søllerød Sø udgjorde 6,10 – 9,73 tons P afhængig om kun de øverste 20 cm af sedimentet medregnes eller om der medregnes dybder ned til 40 cm på nogle stationer. De tilsvarende værdier for dybder over 3 m i Vejle Sø (12,5 ha ud af 16,5 ha) var 8,23 – 13,9 tons P.

Når den eksisterende bindingskapacitet på jern- og aluminiumoxider modregnes vil det kræve 53-84 tons aluminium (Al) at immobilisere P-puljen i Søllerød Sø og 72-121 tons Al i Vejle Sø, idet der regnes med et forbrug på 8,7 g Al pr g P for at sikre en varig binding. Hvis der som aluminiumprodukt anvendes en poly-aluminiumklorid (f.eks. Kemiras PAX XL-60 eller PAX-14) skal der i praksis udbringes minimum 1302 m^3 og maximum 2135 m^3 opløsning på de to søer tilsammen. Så store mængder Al kan ikke udbringes ad én gang af hensyn til søvandet bufferkapacitet; men også af hensyn til at opnå den mest effektive binding af P til Al anbefales det i givet fald, at udbringningen foretages over ca. 10 år. Til sammenligning har den hidtil største danske Al-behandling af en sø (Nordborg Sø 2006) omfattet 256 m^3 poly-aluminiumklorid. I Nordborg sø blev der udbragt 52 g Al m^{-2} mens der for Søllerød Sø og Vejle Sø skal udbringes mindst 524 g Al m^{-2}.

Det vurderes, at en aluminiumbehandling ikke kan blive 100% effektiv overfor den mobile P-pulje pga. dennes størrelse og beliggenhed dybt i sedimentet. Dette gælder især for Vejle Sø, hvor P-aflejringer på lavere vand ved indløbet kan være vanskelige at immobilisere. Endvidere kan sedimentet i Vejle Sø blive udsat for pH værdier over 8 – 8,5 om sommeren, som måske vil føre til genopløsning af noget af den udfældede aluminium og den Al-bundne P. Som et "worst case scenario" anbefales det at antage, at 15% af en mobil P-pulje på 19 tons (et gennemsnit for det lave og høje estimat af den mobile P-pulje i begge søer) kan blive frigivet over en 10 års periode selvom der behandles med aluminium. I en situation, hvor vandføringen til søerne øges med 200 L sek^{-1}

ville den interne belastning således øge indløbskoncentrationen til Furesøen med 46 µg P L^{-1} i en periode på 10 år.

I rapporten og de vedlagte bilag indgår figurer og tabeller med forkortelser, som forklares nedenstående.

P	Fosfor.
TP	Total fosfor: Uorganisk (iP) plus organisk
nrP	Non-reactivt P: Organisk P plus pyro- og polyfosfater, der ikke måles som iP
Fe	Jern.
Al	Aluminium.
TV	Tørvægt
GT	Glødetab
Mobilt P	Summen af vandekstrahebart P, jernbundet P og ekstraherbart organisk P

Indhold

1 Baggrund og formål side 3

2 Prøvetagningsstationer og metoder side 4

3 Resultater samt fortolkning og diskussion side 8

4 Anbefalinger ved evt. aluminiumbehandling af søerne

Bilag:

P-puljer i de estimerede bundarealer, Søllerød Sø sediment 2009, Vejle Sø sediment 2009.

1 Baggrund og formål

Som led i LIFE-projektet "Re-establishing a natural water flow level in the river system "Mølleåen" (LIFE07 NAT/DK000100)" ønskes det at forbedre vandkvaliteten i Søllerød Sø og Vejle Sø så meget at søerne kan opfylde Vandrammedirektivets krav til vandkvalitet i 2015. Yderligere indgår det i projektet at der skal tilbageføres ekstra godt renset spildevand til Mølleå-systemet opstrøms de to søer, hvorved afløbet fra søerne får øget betydning for belastningen af Furesøen, der ligger umiddelbart nedstrøms Vejle Sø. Både Søllerød Sø og Vejle Sø har tidligere modtaget store mængder fosfor (P) med spildevand og formodes at have en stor pulje af potentielt

frigiveligt P akkumuleret i sedimentet. Dette antydes dels af meget høje værdier for total-P i nogle sedimentprøver og dels af den observerede store akkumulering af P i søvandet om sommeren, hvor de eksterne vand- og P-tilførsler er minimale. Ved øget vandgennemstrømning med 100-200 L sek^{-1} ændres vandets opholdstid i søerne fra de nuværende 5-6 år (Søllerød Sø) og 2 år (Vejle Sø) til 1,5-1 mdr. (ved 200 L sek^{-1}). Dermed kan det P, som frigives fra sedimentet i de to søer transporteres videre til Furesøen. Frigivelsen af P fra søsedimenterne kaldes intern P-belastning. Yderligere baggrundsinformation findes i 'Rapport fra DHI 2007' samt 'Notat fra Grontmij / Carl Bro 2008'.

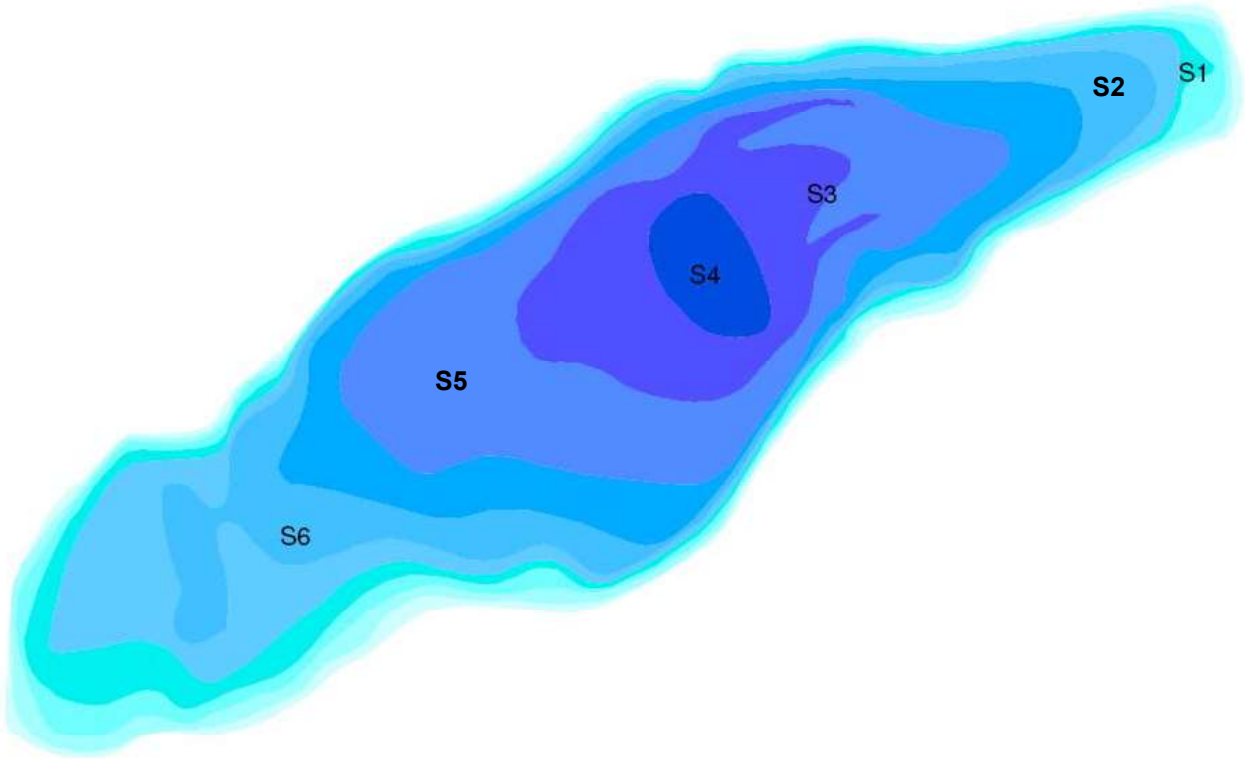
Formålet med denne sedimentundersøgelse er at kvantificere de potentielt mobile P-puljer i de to søer ved hjælp af sekventiel kemisk ekstraktion af P fra frisk (vådt) sediment samt at beregne hvor meget aluminium der skal anvendes for at immobilisere mobilt P i sedimentet, så den interne belastning standses. Desuden foretages et skøn over hvor effektivt den interne P-belastning kan bremses med den foreslåede aluminiumbehandling. Dette skøn baseres på de erfaringer, som er blevet indsamles af CLEAR (Center for Sørestaurering) ved Syddansk Universitet.

2 Prøvetagningsstationer og metoder

Der blev udtaget prøver i april 2009 fra 6 stationer i Søllerød Sø og 5 stationer i Vejle Sø, som var placerede, så de repræsenterede alle typer af akkumuleringsbund (søbunden på mindre vanddybde er "transportbund", hvor P-aflejring er betydeligt mindre) i langsgående transekter i søerne (Fig. 1 og 2, Tabel 1). På hver station blev udtaget 3 uforstyrrede sedimentkerner op til 40 cm lange med Kajak bundhenter.

Tabel 1: Dybder for stationer i Søllerød Sø og Vejle Sø

Station	Dybde (m)	Station	Dybde (m)
S1	4,6	V1	3,2
S2	5,6	V2	5,4
S3	8,4	V3	5,5
S4	8,7	V4	3,4
S5	7,6	V5	4,8
S6	5,4		



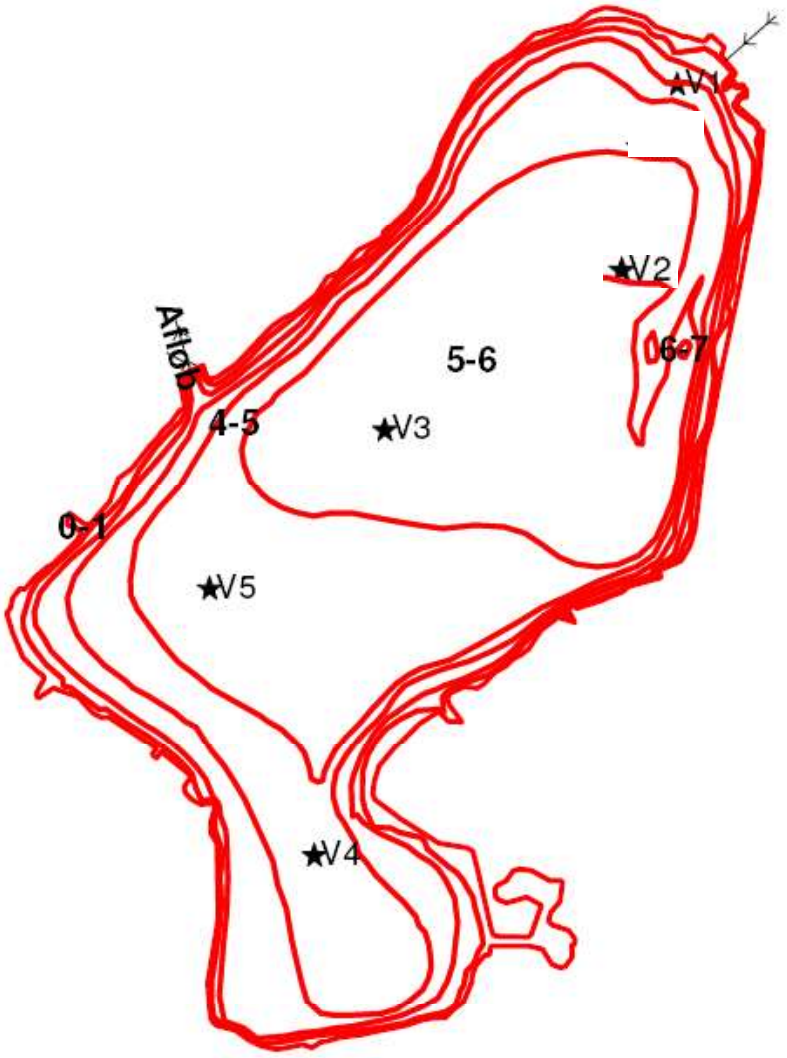
Figur 1: Stationskort for Søllerød Sø. Dybder for stationerne findes i tabel 1.

2.2 Sedimentanalyser

De udtagne kerner blev opsplittet i dybdeintervallerne 0-2, 2-5, 5-10, 10-20 cm. På de dybere station i hver sø opsplittedes yderligere i 20-30 og 30-40 cm, idet sedimentet her er mere vandholdigt, hvorved aflejringer fra en given periode ligger dybere i sedimentet – det aktive lag er tykkere. De enkelte dybdeintervaller fra hver kerne blev puljet for hver station, så der kun blev analyseret en blandet prøve for hvert dybdeinterval. Ved at blande sediment fra 3 rør sikres resultater, som er mere repræsentative for den pågældende station.

Sedimentprøverne blev analyseret for tørstof (TS), glødetab (GT), total fosfor (TP), total jern (TFe) og total aluminium (TAl) ved at ekstrahere gløderesten med kogende 1 M saltsyre i 20 minutter. Ekstrakterne blev analyseret med ICP-OES (Inductiv coupled plasma with optical emission spectroscopy). På friske (våde) sedimentprøver ekstraheredes P, Fe og Al trinvist ved en 5 trins procedure (boks 1). Der blev målt total P på alle ekstrakter samt uorganisk P på de første 3 ekstraktionstrin. Desuden blev der målt Fe i ekstraktionstrin 2 (jernoxider, som kan binde P) og Al i

ekstraktionstrin 3 (aluminiumoxider, som kan binde P). Den potentielt mobile P-pulje i hver dybde blev bestemt som summen af Let adsorberet P, jernbundet-P og den organiske P, som ekstraheres i NAOH (trin 3). Bindingskapaciteten for uorganisk P blev bestemt udfra summen af jern- og aluminiumoxider (BD-Fe + NaOH-Al) og et molært bindingsforhold mellem P og oxider på 1:10. Samme bindingsforhold blev brugt til at beregne den nødvendige aluminiumdosering udfra sedimentets mobile fosforpulje.



Figur 2: Stationskort for Vejle Sø. Dybder for stationerne findes i tabel 1.

Størrelsen af det bundareal, som hver prøvetagningstation repræsenterer, blev vurderet udfra dybden for stationen og stationens placering i søen. I Søllerød Sø blev kun dybder over 4 m medregnet i akkumuleringsbunden og det samlede medregnede areal udgjorde 10,1 ha ud af 13,4 ha

søbund. I Vejle Sø blev dybder over 3 m medregnet og akkumuleringsbunden blev således vurderet til 12,5 ha ud af 16,5 ha.

Boks 1: Sekventiel ekstraktion af P

I sediment er P bundet på flere mulige måder, hvilket kan analyseres ved at ekstrahere med en serie af opløsningsmidler, der for hvert trin bliver "skrappere". Hvert ekstraktionstrin kan med tilnærmelse defineres som en bestemt bindingsform (se Jensen og Thamdrup 1993, Paludan og Jensen 1995).

H_2O iP	En vandopløsning ekstraherer porevands-P og let adsorberet, udbytteligt uorganisk P (IP). Kaldes **Let adsorberet P.**
BD iP	Den redoxfølsomme P-fraktion ekstraheres ved at tilsætte en kraftig redukant (dithionit) i en bikarbonatopløsning (BD-reagens). Der ekstraheres P, som hovedsageligt er adsorberet til overfladen af Fe-oxider/hydroxider. I dette trin ekstraheres også oxideret Fe, som er den del af sedimentets jernpulje, der er i stand til at binde fosfat. Kaldes **Jernbundet P og oxideret Fe.**
NaOH P	Med NaOH ekstraheres **iP adsorberet til aluminiumoxider og lermineraler**, samt en stor del nrP, som er **organiske P-forbindelser plus pyro- og polyfosfater**. Ved forsuring af NaOH-ekstraktet udfældes humussyrer, der filtreres fra, glødes og syrekoges med HCl, hvilket frigiver P bundet til humussyrer. **Humus-P.** Jern, som opløses i NaOH er bundet i organiske komplekser (f.eks. fulvinsyrer).
HCl iP	Med HCl opløses mineraler, hvor P er bundet til Ca og Mg. **Calciumbundet P.** Jern, som opløses i denne fraktion kaldes syreopløseligt og udgøres ofte af jernsulfid.
Res P	Sedimentresten glødes så resten af P kommer over på en uorganisk form. Efterfølgende opløses P-forbindelserne ved kogning med HCl. Denne P-fraktion inkluderer bl.a. svært nedbrydelige organiske forbindelser. **Residual P.** Jern, som opløses i denne fraktion er meget tungtopløseligt og dermed "ikke-reaktiv". Pyrit er en af de jernforbindelser, som opløses her.

Man antager, at de potentielt mobile P-puljer udgøres af: *let adsorberet P, jernbundet P og organisk P (NRP), som er ekstraheret i de første 3 trin.* De immobile eller tungopløselige P-puljer udgøres af: *adsorberet P, calciumbundet P, residual P* (f.eks. Jensen og Thamdrup 1993). En indikation på at dette er en rimelig antagelse er at netop de tre førstnævnte puljer aftager med dybden i sedimentet, hvilket indikerer, at de undergår diagenetiske ændringer eller frigivelse. Omvendt er de resterende puljer ofte konstante med dybden i sedimentet. Dette betyder, at de er immobile (under de nuværende betingelser) og blot aflejres. Jern som måles i BD-fraktionen repræsenterer oxideret Fe, som kan binde P. Aluminium, som ekstraheres i NaOH og ikke udfældes med syre repræsenterer aluminiumoxider(hydroxider), som kan binde P.

Referencer

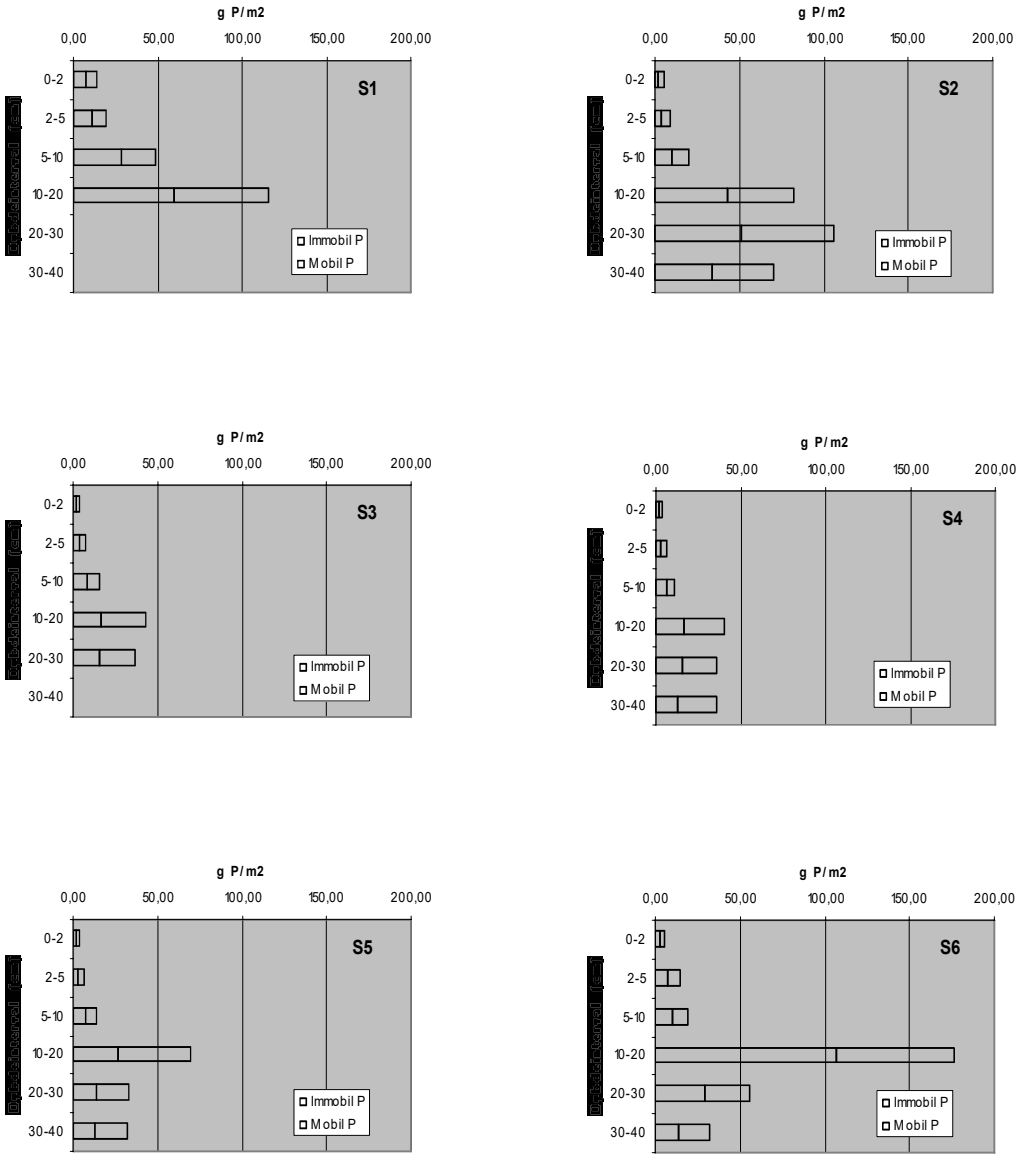
Jensen, HS og B Thamdrup 1993. Iron-bound phosphorus in marine sediments as measured by bicarbonate-dithionite extraction. Hydrobiologia 253: 47-59.
Paludan, C og HS Jensen 1995. Sequential extraction of phosphorus in freshwater wetland and lake sediments: Significance of humic acids. Wetlands 15: 365-373.

3 Resultater samt fortolkning og diskussion

3.1 Søllerød Sø

Resultater af sedimentundersøgelserne fremgår af bilag samt af Fig. 3. Station 1 i Søllerød Sø havde højere tørstofindhold og lavere glødetab end de øvrige 5 stationer, hvilket kan skyldes at der sedimenterer mere tørstof tæt ved indløbet. Dybden er også lavere end for de øvrige stationer og med placering i den østlige ende af søen kan bølgepåvirkning måske føre til mindre aflejring af fine partikler. Generelt findes de højeste P koncentration i 10-20 cm's dybde i sedimentet og af de stationer, hvor der er prøver fra større dybde, er det kun station 2, som har højere P-koncentration i 20-30 cm. De største puljer af mobilt P findes på station 1, 2 og 6 hvilket formodentligt afspejler at den tidligere P-tilførsel kom med indløbet i den østlige ende af søen eller tæt ved udløbet. Den mobile P-pulje udgøres for 50-80% vedkommende af jernbundet P (resten er omsætteligt organisk P). Bindingskapaciteten for fosfat på jern - vurderet udfra den molære Fe:P ratio i BD ekstraktet - er overskredet på alle stationer. Det molære Fe:P forhold skal være over 10 for at en iltet sedimentoverflade kan tilbageholde fosfat; men den højest målte værdi (0-2 cm på station 5) er 7 og generelt ligger værdierne meget lavt. Den eksisterende bindingskapacitet på både Fe og Al udgør generelt kun 5-10% af den mobile P-pulje som i Søllerød Sø er 6100 kg P i 0-20 cm's dybde og 9730 kg, hvis dybder ned til 40 cm medregnes.

At der stadigvæk kan findes et maximum i sedimentets P-koncentration (også for den mobile fraktion) i 10-20 cm's dybde antyder, at mobilisering af P og den efterfølgende opadrettede transport af P er langsom. Dette kan dog ændres hvis søvandets P-koncentration falder, idet gradienten mellem fosfat i porevand og bundvand derved øges. Den jernbundne P-pulje er ikke stabil p.g.a. den lave ratio mellem Fe og P i aflejringen (ofte omkring 1 i de lag, hvor der er mest P). Der bør derfor antages, at hele puljen på nær ca. 5% kan mobiliseres til det ovenstående vand med tiden. Frigivelsen vil dog være langsom dels pga. dybden i sedimentet, hvor puljen når sin maksimale koncentration, og dels pga. den organiske del af puljen, som typisk mineraliseres med en halveringstid på 5-10 år. Med erfaringerne fra Søbygård Sø, Jylland (Søndergaard m.fl. 2009), der ligesom Søllerød Sø har store puljer af jernbundet P dybere i sedimentet, er det rimeligt at antage at tidshorisonten for frigivelsen er 20-30 år.



Figur 3. Puljer af immobilt og mobilt P i de enkelte dybdeintervaller på de 6 stationer i Søllerød Sø. Bemærk at enheden er "g P m^{-2}". Lagtykkelsen af de pågældende dybdeintervaller er derfor medregnet i værdierne.

3.2 Vejle Sø

Resultater af sedimentundersøgelsen fremgår af bilag og af Fig. 4. Som i Søllerød Sø findes de største aflejring af mobilt P på de to stationer, som ligger nærmest indløbet (Station 1 og 2). I Vejle Sø findes den maksimale P-aflejring i 10-20 cm's dybde på station 1 mens den ligger dybere end 20

cm på de andre stationer. Dette gælder også for den potentielt mobile P fraktion. Jernbundet P udgør generelt 70-80% af den mobile P-pulje og det molære Fe:P forhold når aldrig over 3. I Vejle Sø udgør den eksisterende bindingskapacitet for fosfat på Fe og Al 10-20% af den potentielt mobile P-pulje. Den samlede mobile P-pulje i Vejle Sø er 8230 kg P i 0-20 cm's dybde og 13900 kg P i 0-40 cm's dybde. De samme betragtninger som for Søllerød Sø gør sig gældende mht. frigivelse af P; men det kan dog forventes at frigivelsesraten vil være større i Vejle Sø end i Søllerød Sø dels pga. den større pulje af mobilt P pr arealenhed og dels pga. den større andel af jernbundet P.

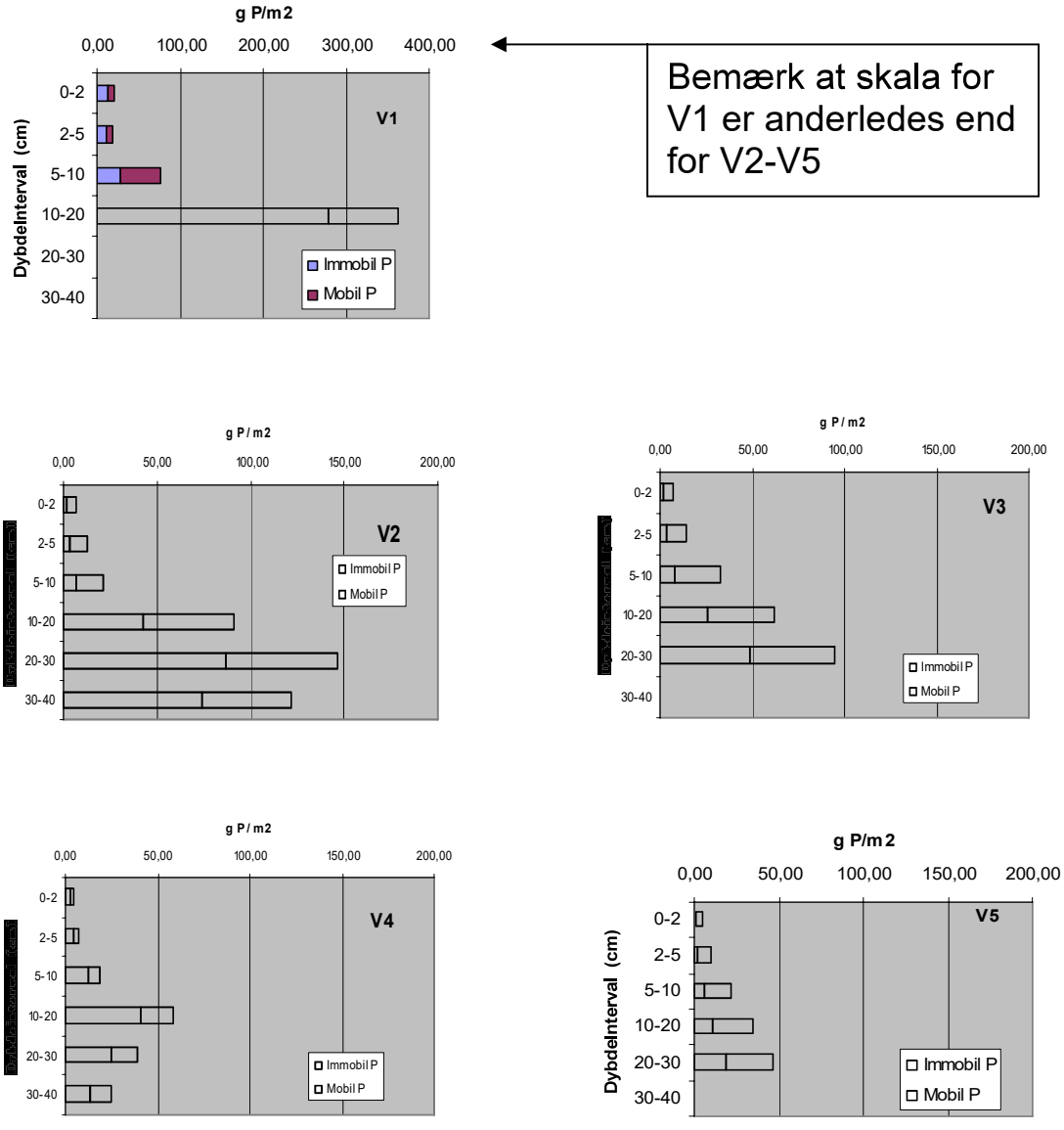
4 Anbefalinger mht. aluminiumbehandling af søerne

Sammenlagt indeholder de to søer 14,3 tons mobilt P i de øverste 20 cm af sedimentet. Hvis der regnes med en lagtykkelse på op til 40 cm er indholdet 23,6 tons mobilt P. Af denne pulje kan 5-10% i Søllerød Sø og 10-20% i Vejle Sø forventes at forblive varigt bundet til eksisterende oxider af jern og aluminium. Der er ingen tvivl om, at begge søer vil afgive P fra sedimentet i mange år, hvis puljen af mobilt fosfor får lov at ligge uændret. Det vil måske tage op til 20-30 år før puljerne er udtømte selv med en øget vandgennemstrømning. Med den lange opholdstid for vandet i søerne (5 hhv 2 år) er der ikke udsigt til at vandkvaliteten vil forbedres i fremtiden selv med yderligere nedsættelse af den eksterne P tilførsel. Opfyldelse af Vandrammedirektivets mål for vandkvaliteten i de to søer kan formodentligt kun nås enten ved at fjerne det P-rige sediment eller ved at immobilisere P med aluminium. Effektiviteten af andre produkter end aluminium (f.eks. Phoslock), som kan binde P i sedimentet, er endnu så dårligt dokumenterede, at de ikke kan anbefales.

På grund af den ringe vandgennemstrømning i søerne (især om sommeren) påvirker P-frigivelsen fra sedimenterne i Søllerød Sø og Vejle Sø kun Furesøen i beskedent omfang (40 kg om året; ref. DHI rapport); men hvis der etableres øget gennemstrømning af søerne som foreslået i LIFE-projektet er det, af hensyn til Furesøen nedstrøms, helt nødvendigt at gribe ind mod den interne P-frigivelse.

I bilaget "P-puljer i arealerne" er der lavet en beregning af den mængde aluminium, som er nødvendig for at immobilisere P-puljen i hver af søsedimenterne. Der er her regnet med en 10:1 bindingsratio mellem Al-hydroxider og fosfat og derefter er den eksisterende bindingskapacitet på jern og aluminium modregnet. Ratioen 10:1 synes at være den bedst opnåelige ved

aluminiumbehandling pga. aluminiumflokkens ældning (Vicente et al. 2008). Beregningerne viser, at der skal bruges 53-84 tons ren Al i Søllerød Sø og 72-121 tons Al i Vejle Sø. Dette svarer til 524-834 g Al m^{-2} i Søllerød Sø og 576-968 g Al m^{-2} i Vejle Sø. Til sammenligning kan nævnes, at der blev brugt 52 g Al m^{-2} (i alt 24 tons Al) i Nordborg Sø 2006 – det hidtil største danske sørestaureringsprojekt med aluminiumtilsæning. Den nødvendige dosering pr. arealenhed er således mindst 10 gange større i Søllerød Sø og Vejle Sø end doseringen i Nordborg Sø og den beregnede mængde aluminium svarer ca. til en fordobling af sedimentets indhold af total-Al.



Figur 4. Puljer af immobilt og mobilt P i de enkelte dybdeintervaller på de 5 stationer i Vejle Sø. Bemærk at enheden er "g P m^{-2}". Lagtykkelsen af de pågældende dybdeintervaller er derfor medregnet i værdierne.

De store aluminiummængder er et problem, for selv hvis der vælges et aluminiumsprodukt, som minimere alkalinitetsforbruget (f.eks. Pax XL 60, hvor syredannelsen er 1,8 mol H^+ per mol Al) kan disse mængder ikke udbringes ad én gang alene pga. alkalinitetsforbruget i søvandet. Der kan formodentlig kun udbringes 15-20 tons Al før pH i søvandet falder til under 6,0 pga. syredannelsen ved reaktion af Al^{3+} ioner med H_2O til $Al(OH)_3$. I nærværende undersøgelse målte vi søvandets alkalinitet til 2,0 mM i Søllerød Sø og 2,8 mM i Vejle Sø. Det betyder, at aluminium må udbringes ad flere gange, hvor der tillades fuldstændig udskiftning af vandet i søen mellem hver gang eller, alternativt, at der foretages en bufferet aluminium dosering, hvor der samtidig tilsættes brændt kalk, som det netop er sket i Vedsted Sø i september 2009. Imidlertid betyder den forventede langsomme mobiliseringen af P fra sedimentet også at aluminiumbehandlingen skal foretages ad flere gange og gerne med års mellemrum, således at hele doseringen strækkes over f.eks. 10 år. Dette vil give en langt bedre binding af P på Al end ved en engangsdosering.

Det kan yderligere anbefales, at vandgennemstrømningen af søerne standset mens der udbringes aluminium og at den holdes lav i op til 3 måneder efter udbringningen. Efter 3 måneder er aluminiumflokken krystalliseret så meget at den ikke resuspenderes lettere end det eksisterende overfladesediment og dermed er risikoen for tab af Al til nedstrøms områder formindsket. Udover ved resuspension og udvaskning af Al-flok kan Al tabes fra sedimentet ved omdannelse fra udfældet $Al(OH)_3$ til opløst $Al(OH)_4^+$ (aluminat) pga. forhøjet pH i søvandet. For frisk udfældet $Al(OH)_3$ begynder dette at ske ved pH-værdier over 8. Det vides dog ikke, hvor robust en ældet $Al(OH)_3$ (krystal) er i forhold til en nyudfældet og det kan formodes, at opløsning først starter ved lidt højere pH eller at den går langsommere. Yderligere er pH i sedimentet generelt lavt i forhold til pH i søvandet og specielt i den lagdelte Søllerød Sø vurderes risikoen for høj pH i bundvandet at være begrænset. I Vejle Sø er vandsøjlen imidlertid opblandet og vindinduceret resuspension er mere sandsynlig pga. den mindre dybde. Da der ofte er målt pH over 8,5 i Vejle Sø om sommeren er risikoen for mobilisering af udfældet Al og den Al-bundne P derfor betydeligt større end i Søllerød Sø. Det kan betyde, at både P og Al udvaskes til Furesøen. En forudsætning for at behandle Vejle Sø med aluminium med henblik på at etablere øget gennemstrømning er derfor at algeproduktionen i søvandet holdes så lav, at pH ikke overstiger 8 om sommeren. Da det indstrømmende vand (ved øget gennemstrømning) indeholder 40 µg P L^{-1} og da der desuden kan være P-tilførsler fra regnvandsoverløb vurderes det umiddelbart at være vanskeligt at holde så lav en planktonproduktion i Vejle Sø.

Endelig vurderes det, at aluminiumbehandlingen ikke kan blive 100% effektiv i nogen af søerne; men måske især ikke i Vejle Sø, hvor en meget stor del af den mobile P-pulje ligger på lavere vand ved indløbet. Pga. den friske aluminiumfloks bevægelighed (den resuspenderes let de første 3 mdr) er det vanskeligt at få den arbejdet ned i sedimentet på lavere vanddybde. Aluminiumflokken ender ofte i de dybere bassiner i søerne. Dette er set i Sønderby Sø, Frederiksborg Slotssø og i Nordborg Sø. Af de ovennævnte grunde (pH-effekt på genopløsning af $Al(OH)_3$ og vanskeligheden ved at behandle bunden på lavere vanddybder) bør en risikovurdering antage at op til 15% af søernes mobile P-pulje (14,3 – 23,6 tons P) kan blive frigivet til Furesøen over en periode på f.eks.10 år selvom der gennemføres en aluminiumbehandling efter den beregnede dosering. Et gennemsnit af disse skøn (15% af en pulje på 19 tons P) svarer til 285 kg P om året i 10 år, som ekstra tilføres Furesøen. Til sammenligning vil det vand, som bruges til den øgede vandføring i Mølleåsystemet tilføre Furesøen 250 kg om året ved en vandtilførsel på 200 L sek^{-1}, idet vandet indeholder 40 µg P L^{-1} ved udløbet fra renseanlægget. Den interne P-belastning ved en kombination af aluminiumbehandling og høj vandgennemstrømning vurderes således, som et "worst case scenario", at øge P indholdet i det vand, som løber fra Vejle Sø til Furesøen med 46 µg L^{-1} i en periode på 10 år.

Referencer:

DHI rapport, juni 2007. Rent vand I Mølleåsystemet.

Søndergaard, M, JP Jensen og E Jeppesen 1999. Internal phosphorus loading in shallow Danish lakes. *Hydrobiologia* 408/409: 145-152.

Vicente, I de, P Huang, FØ Andersen & HS Jensen 2008. Phosphate adsorption by fresh and aged aluminium hydroxide. Consequences for lake restoration. *Environmental Science and Technology* 42: 6650-6655.