

Søbotten er i gang med at suge sediment op fra Ormstrup Sø. Der er installeret måleudstyr, der sikrer at sugehovedet ligger på bunden af søen og suger 20 cm sediment op. Den kan suge cirka 40 m³ sediment pr. time. Søbotten er udviklet af Dansk Ingeniørservice (DIS) i samarbejde med de øvrige deltagere i rePair projektet, der er finansieret af Poul Due Jensens Fonden. Foto: L Studio.



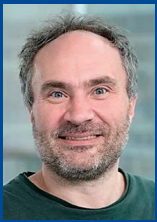
FOSFOR

skal væk fra vores søer og ud på markerne

Forfatterne



Kasper Reitzel Jensen er lektor ved Biologisk Institut, Syddansk Universitet. Han forsker i sørestaurering og genanvendelse af fosfor fra forskellige restprodukter, med henblik på at genanvende fosfor i landbrugssektoren. reitzel@biology.sdu.dk



Morten Lykkegaard Christensen er lektor ved Institut for Kemi og Biovidenskab, Aalborg Universitet. Han forsker i filtrering og afvanding af sediment, spildevand og gylle for at sikre rent vand og genvinde værdifulde ressourcer som fosfor. mlc@bio.aau.dk

I et fuldskala-eksperiment i Ormstrup Sø tester forskere for tiden en nyudviklet metode til at fjerne det fosforrige sediment fra bunden af en sø og bruge det som gødning på marker. Metoden er skånsom, løser et miljøproblem og bidrager til sikring af vores fødevarerproduktion.

Fosfat (PO_4^{3-}) er den eneste form for fosfor (P), der er tilgængelig for planter og alger og er derfor nødvendig for at producere fødevarer til klodens befolkning. Fosfor er en begrænset ressource, og der er en risiko for, at vi løber tør for fosfor i nær fremtid. Men fosfor er også et problem i vores søer, hvor vi i modsætning til i landbruget har alt for meget fosfor. Det betyder, at de danske søer plages af store opblomstringer af mikro-alger (fytoplankton), som skygger for søernes vigtige undervandsplanter, hvilket resulterer i iltsvind, ligesom i vores kystnære områder, hvor problemet dog er nitrogen (kvælstof) og ikke fosfor.

For meget fosfor i søerne resulterer således i forringet biodiversitet, og

i Danmark er det kun 5 ud af cirka 1000 søer, omfattet af vandrammedirektivet, der i dag opfylder dette direktiv. Direktivet dikterer, at vi skal have en god økologisk og kemisk tilstand i danske søer inden 2027. Det er derfor nødvendigt at restaurere vores søer.

I dag sker det primært ved kemisk sørestaurering, hvor der tilsættes fosforbindende kemikalier som aluminium- eller lanthanbaserede produkter, så fosforen bindes permanent i søsedimentet. Dette er ikke den optimale løsning, da fosfor derved begraves permanent i sedimentet og derfor ikke kommer tilbage til landbruget, hvor der er behov for det. En oplagt måde at løse denne udfordring på er ved at fjerne det fosforrige sediment fra

søerne, hvor det skaber dårlig vandkvalitet og bruge det som gødning på markerne.

Fra søbund til mark

Sedimentfjernelse har tidligere været en dyr og besværlig proces, men i et stort forskningsprojekt ved Ormstrup Sø nær Bjerringbro tester vi lige nu nye metoder, der vil gøre fremtidig sedimentfjernelse lettere og billigere.

Forskningsprojektet kan opdeles i fire faser. I første fase bestemmer vi mængden af sediment, der skal fjernes. Dette afhænger af fosforindholdet i søsedimentet, som kan bestemmes i laboratoriet ved brug af en metode kaldet sekventiel fosforfraktionering. Her bestemmes den totale mængde fosfor i

sedimentet, og hvordan fosforen er bundet. Fosfor kan for eksempel være bundet til jern, kalk eller i organisk stof. Ud fra denne analyse laves en dybdeprofil af fosforindholdet i sedimentet, og ud fra den kan vi fastlægge, til hvilken dybde, vi skal fjerne sedimentet.

Fase 2 omfatter den fysiske fjernelse af søsedimentet, som pumpes ind på land ved hjælp af et sugehoved monteret på en specialbygget flydende pram. I fase 3 afvandes sedimentet, så vand fjernes og føres tilbage til søen uden at fjerne fosforen fra det afvandede sediment. Dette er vigtigt, så vi ikke skal transportere overflødig vand, når sedimentet senere skal spredes ud på marken, men også for at undgå at tilføre yderligere fosfor til søvandet. I fase 4 skal det afvandede sediment udbringes på markerne, så det bidrager med fosfor og eventuelt andre næringsstoffer til afgrøderne og derved mindske vores forbrug af natur- og kunstgødning.

Skånsom opsugning af sediment

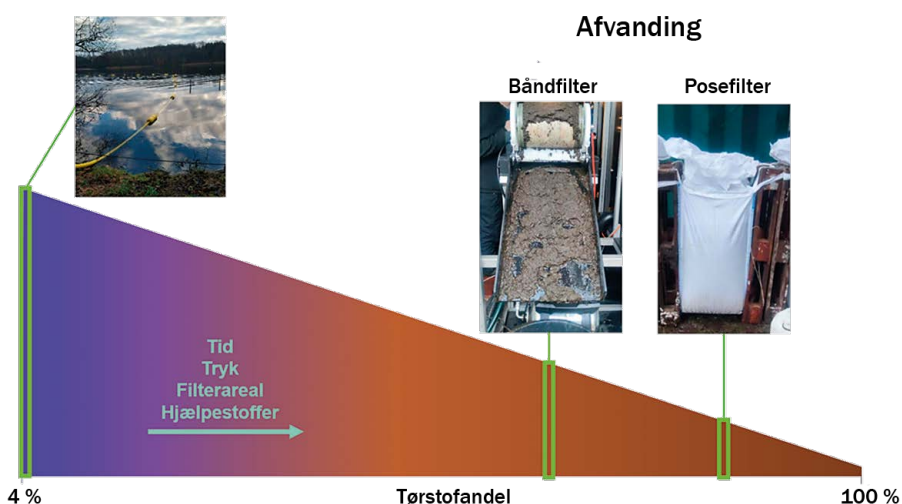
Tidligere har man fjernet sediment med en flydende rendegraver eller lignende. Det er en dyr og meget invasiv metode, hvor sedimentet ofte hvirvles kraftigt op i søvandet, når det fjernes. Søvandet bliver uklart og nogle gange forurenet med uønskede stoffer fra sedimentet. Det er nu lykkedes at udvikle en mere raffineret og skånsom form for sedimentfjernelse, der både er prismæssig konkurrencedygtig med de klassiske kemiske restaureringsmetoder og samtidig ikke forårsager stor ophvirvling af sediment i vandfasen. Sedimentet suges nænsomt op fra søbunden med en nyudviklet, flydende "støvsuger" (søbotten), der bevæger sig langsomt hen over søoverfladen. Sugehovedets placering i sedimentet styres automatisk og sikrer, at der fjernes cirka 20 centimeter sediment fra søbunden.

Afvanding af sediment

Det sediment, der pumpes op på land, indeholder cirka 96 % vand. Det svarer til 10-15 % af den samle-



Ved Ormstrup sø ligger de store aflange afvandingsposer (geotubes), hvor det våde sediment pumpes op i poserne. Vandet løber ud af poserne, samles op af presenningen under poserne, hvor det bliver ledt hen igennem et sandfilter og tilbage til søen. På billedet vises en afvandingspose, hvor sedimentet er afvandet. Posen er skåret op, og sedimentet er klar til at blive fragtet videre. Foto: Kasper Reitzel.



Afvanding betyder, at vandet fjernes fra sedimentet. Væsentlige faktorer er tid, tryk og filterareal samt brugen af hjælpestoffer. På figuren illustreres volumen af sedimentet, når det hentes ind fra søen, efter et båndfilter, og efter et posefilter.

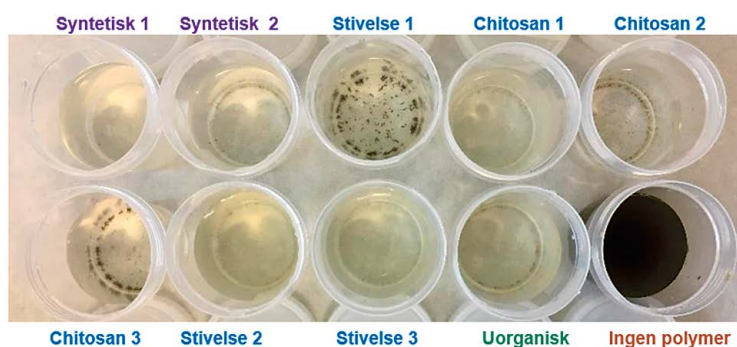
de vandmængde i søen, hvis 20 cm sediment fjernes fra hele søens areal. Da det er meget store mængder sediment, der hentes op fra søen, er det vigtigt at reducere volumen af sedimentet mest muligt, så man ikke skal transportere unødigt tungt og vandholdigt sediment til markerne. I teorien kan volumen reduceres med 96 %, men i praksis reduceres det med cirka 80 %. Selve udstyret til afvanding fylder meget. Ved Ormstrup Sø pumpes det våde sediment op i store aflange afvandingsposer (geotubes), som er lavet af et afvandingsmateriale, der

tillader vandet at passere igennem. Poserne ligger på en presenning på jorden, mens sedimentet afvandes.

Det vand, der afvandes fra sedimentet, skal tilbage i søen. Det er derfor vigtigt, at vandet er rent og ikke forurener søen. Sedimentet indeholder meget organisk stof (cirka 40 % af tørstoffet) samt små uorganiske partikler som ler, der holdes svævende i det oppumpede, vandige søsediment. Det er derfor nødvendigt at få disse partikler til at samle sig og bundfælde i afvandingsposerne, så sedimentet af-



Markforsøg fra Ormstrup. Søsedimentet (mørkebrune felter) bruges som fosforgødning på marken, hvor det undersøges, hvordan sedimentet påvirker plantevæksten. Foto: Kasper Reitzel.



Der er udført en række test, hvor sediment fra søen er filtreret for at fjerne vandet. Inden filtrering er der tilsat syntetiske og naturlige polymerer. Vi har testet to syntetiske polymerer, tre baseret på chitosan og tre baseret på stivelse. Polymererne har forskellig ladning og størrelse. På billedet ses filtratet efter filtreringen. Uden polymer er det grumset, men med polymer er vandet klart.

vandes hurtigere, og der ikke ender partikler og fosfor i det tilbageførte vand. Det kan gøres ved at tilsætte en polymer, der binder partiklerne sammen. Typisk bruger man syntetiske polymerer, men dem vil vi gerne udskifte, da de kan medføre for eksempel forurening af jorden med nanoplastik. Vi har derfor testet naturlige polymerer fra henholdsvis rejskaller (chitosan) og planter (modificeret stivelse).

Vores økotoxikologiske test viser, at de naturlige polymerer er mindre giftige end de syntetiske. Vi har testet polymerer ved at tilsætte dem til sedimentet, før det afvandes. Uden polymer er vandet grumset og indeholder 2-3 milligram fosfor per liter. Med polymer er vandet derimod klart og indeholder kun 0,1 milligram fosfor per liter, mens mere end 98 % af fosforen er bundet i

sedimentet. De naturlige polymerer er lige så gode som de syntetiske polymerer og især velegnede til at fjerne små partikler.

Vores forsøg viser også, at opblandingen af polymer og sediment skal være forskellig, afhængig af hvilken polymer der vælges. De naturlige polymerer skal indblendes mere forsigtigt for at få den optimale effekt.

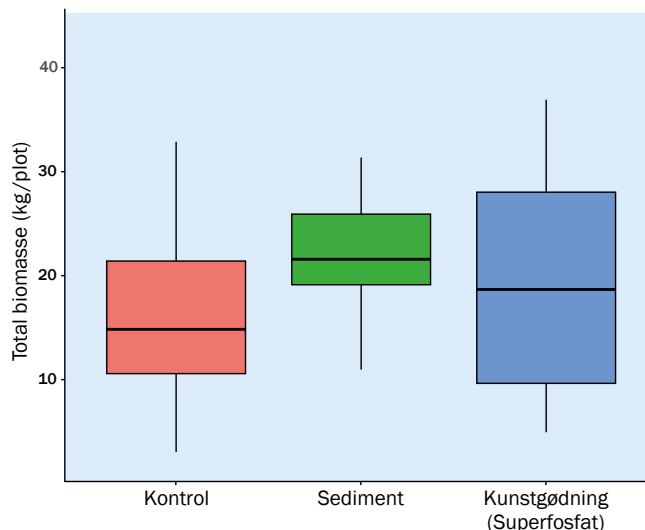
Som et alternativ til afvandingsposer kan man anvende et båndfilter, hvor filterarealet hele tiden fornyes. Det er en attraktiv løsning, hvis pladsen omkring søen er begrænset. Båndfilteret kræver også tilsætning af polymerer. Efter afvandingen er der tilkoblet et sandfilter, der tilbageholder restpolymerer og små partikler i vandet, så returvandet bliver lige så rent som søvandet.

Fosfor som gødning

Når sedimentet er afvandet, skal det udbringes på marken. Det kan gøres ved at anvende en møgspreader. Men først er det vigtigt at undersøge, om der findes skadelige stoffer i sedimentet, for eksempel tungmetaller. Hvis det ikke er tilfældet, kan man bringe sedimentet ud efter samme retningslinjer som almindelig gødning og spildevandsslam. Det betyder, at man må udbringe sediment svarende til 30 kg fosfor per hektar om året. Hvis der findes tungmetaller i sedimentet, må det dog stadig gerne udbringes på markerne, så længe mængden af tungmetaller holder sig indenfor grænseværdierne. Det betyder i praksis, at der kan bringes mindre sediment ud, end hvis sedimentet var uforurenet.

I forbindelse med sedimentfjernelsen i Ormstrup Sø har vi etableret markforsøg, hvor vi tester, hvor godt søsedimentet virker som fosforgødning sammenlignet med kunstgødning. Vi måler effekten af forskellige doser fosfor fra enten søsediment eller kunstgødning og sammenligner med kontrolområder, hvor der ikke tilsættes fosfor. Efter den første vækstsæson, hvor vi har sået ærter på marken, viser vores forsøg, at sedimentet stort set virker lige så godt som kunstgødning. Yderligere planlægger vi at udvide forsøgene til også at omfatte brug af mikroorganismer, såkaldte biostimulanter, der kan frigøre fosfor fra søsedimentet med det formål, at

Figuren viser foreløbige resultater fra et markforsøg med sediment fra Ormstrup Sø. I forsøget dyrkes ærter i felter på 24 m², og figuren viser, hvor meget frisk ærtebiomasse, der blev høstet fra felter med henholdsvis ugødet jord (kontrol), jord gødet med sediment og jord gødet med konventionel kunstgødning. Forsøget forløb fra maj til august og i alt har vi etableret 48 forsøgsfelter, således at vi har 3 replikater fra hver behandling.



mere fosfor fra sedimentet optages af planterne. Princippet i denne teknologi er, at specifikke mikroorganismer udskiller enzymer, der kan opløse forskellige former for uorganisk bundet fosfor – for eksempel fosfor bundet til jernpartikler. Denne del af projektet foretages i samarbejde med firmaet Nordic Microbes, der har specialiseret sig i at indsamle naturligt forekommende mikroorganismer, der er i stand til at nedbryde for eksempel jernfosfater. Ved at "coate" plantefrø-

ne med mikroorganismene, inden de sås på marken, øges mængden af gavnlige mikroorganismer i rodzonen. Derved bliver det muligt at øge optaget af fosfor fra det udbragte søsediment, så man sikrer en endnu mere effektiv udnyttelse af sedimentet.

Mere forurenede søer – her skal andre løsninger på banen

Næsten 1000 danske søer lever ikke op til kriterierne for god økologisk tilstand, så der er nok

at gå i gang med. Nogle af søerne er mere forurenede end Ormstrup sø, og det må forventes, at sedimentet fra mange af disse søer skal behandles yderligere, før det kan komme på markerne.

Vi er derfor ikke færdige endnu, men arbejder på at udvikle metoder til at fjerne tungmetaller fra sediment og nedbryde uønskede organiske stoffer, så vi kan rense endnu flere søer og udnytte den fosfor, der ligger gemt. ■

Yderligere læsning
Reitzel K, Qu H, Christensen ML, Nielsen UG, Nielsen PH. Den globale fosforudfordring. *Aktuel Naturvidenskab*. Nr. 5-2019.

Kamlarczyk, SES: Reitzel, K.; Kragh T. Fosforkredsløbet og fremtidens sørestauring *Aktuel Naturvidenskab*. Nr. 4-2022.

Reitzel, K.; Søndergaard, M.; Olsen, S. B.; Davidson, T.; Egemose, S.; Haasler, S.; Klamt, A.-M.; Kragh, T.; Lolck, M. L.; Christensen, M. L.; Muff, J.; Nielsen, A.; Nielsen, U. G.; Ottosen, L. M.; Polauke, E.; Smith, A. M.; Sø, J. S.; Trolle, D.; Xu, E. G.; Skov, C. Bæredygtig søforvaltning: et paradigmeskifte i restaurering af søer, *Vand & Jord* Volume 28 Nr. 2/2022.

Ny bachelor på SDU

Kunstig intelligens

Er du nysgerrig på optimering, logik, maskinlæring, programmering, etik, algoritmer og matematik?

Med en bachelor i Kunstig intelligens fra Syddansk Universitet får du kompetencer, som allerede nu er efterspurgt i virksomheder og organisationer i Danmark og udlandet.

Du behøver ikke at kunne programmere, når du starter på uddannelsen. Du skal bare have interesse i at lære det, ligesom du skal have flair for at tænke logisk og matematisk.

Læs mere om uddannelsen på sdu.dk/kunstig-intelligens