



DESIGN EN SØ-ROBOT

En virksomhedscase udarbejdet af DIS/CREADIS
og Naturvidenskabernes Hus

I samarbejde med

DIS
CREADIS

Med støtte fra

POUL DUE JENSEN GRUNDFOS
FOUNDATION

PROBLEMBASERET PROJEKTFORLØB

Fosfor – fra problem til løsning?

Fosfor er en begrænset ressource, og det forventes at blive en mangelvare inden for de næste 50–100 år. Specielt i landbruget og industrien er anvendelsen af fosfor høj. Industrielt anvendes fosfor i en lang række produkter for eksempel glasproduktion, rengøringsmidler og i produktionen af stål. I landbruget anvendes fosfor blandt andet til gødning og er et essentielt næringsstof for planter vækst. Fra landbrugsjorden bliver fosfor i nogen grad transporteret ud til vandløb, søer og marine områder via overfladisk og underjordisk afstrømning. Hvor fosfor fra industrien i højere grad transporteres ud i vandmiljøet via spildevand.

Cirka 25 % af alt fosfor går tabt fra fosforkredsløbet, hvor det blandt andet bliver begravet i sedimenter i søer. Her bliver det f.eks. bundet i svært nedbrydelige organiske forbindelser eller lagres som ionforbindelser i porevandet i sedimentet, hvorfra fosfor i form af fosfat kan frigives til det overliggende vand, hvor det fører til eutrofiering af vandmiljøet.

Manglen på fosfor kan i fremtiden risikere at føre til hungersnød og ændret global magtbalance. I Danmark er fosfor kendt som et problematisk grundstof, der skaber algeopblomstring og forurening af søer.

I et stort tværfagligt projekt omkring Ormstrup Sø i Midtjylland er forskere fra Aarhus Universitet, Aalborg Universitet, Københavns Universitet, Danmarks Tekniske Universitet, Syddansk Universitet samt ingeniørfirmaet DIS/CREADIS gået sammen omkring det overordnede spørgsmål:

Kan vi genskabe en klar sø fuld af biodiversitet ved at fjerne fosfor og bringe det hen, hvor det gør gavn, ud på markerne?



CASE > DESIGN EN SØ-ROBOT

For at kunne genoprette forurenede søer er det vigtigt at kende til de kemiske og biologiske principper, der ligger til grund for søens tilstand. I ferskvandssystemer er det primært fosfor, der er årsag til de dårlige økologiske forhold. En stor andel af fosforen er bundet i sedimentet.

For at fjerne overskydende fosfor fra en sø, kan det derfor være nødvendigt at fjerne fosfor fra sediment såvel som fra vandet i søen.

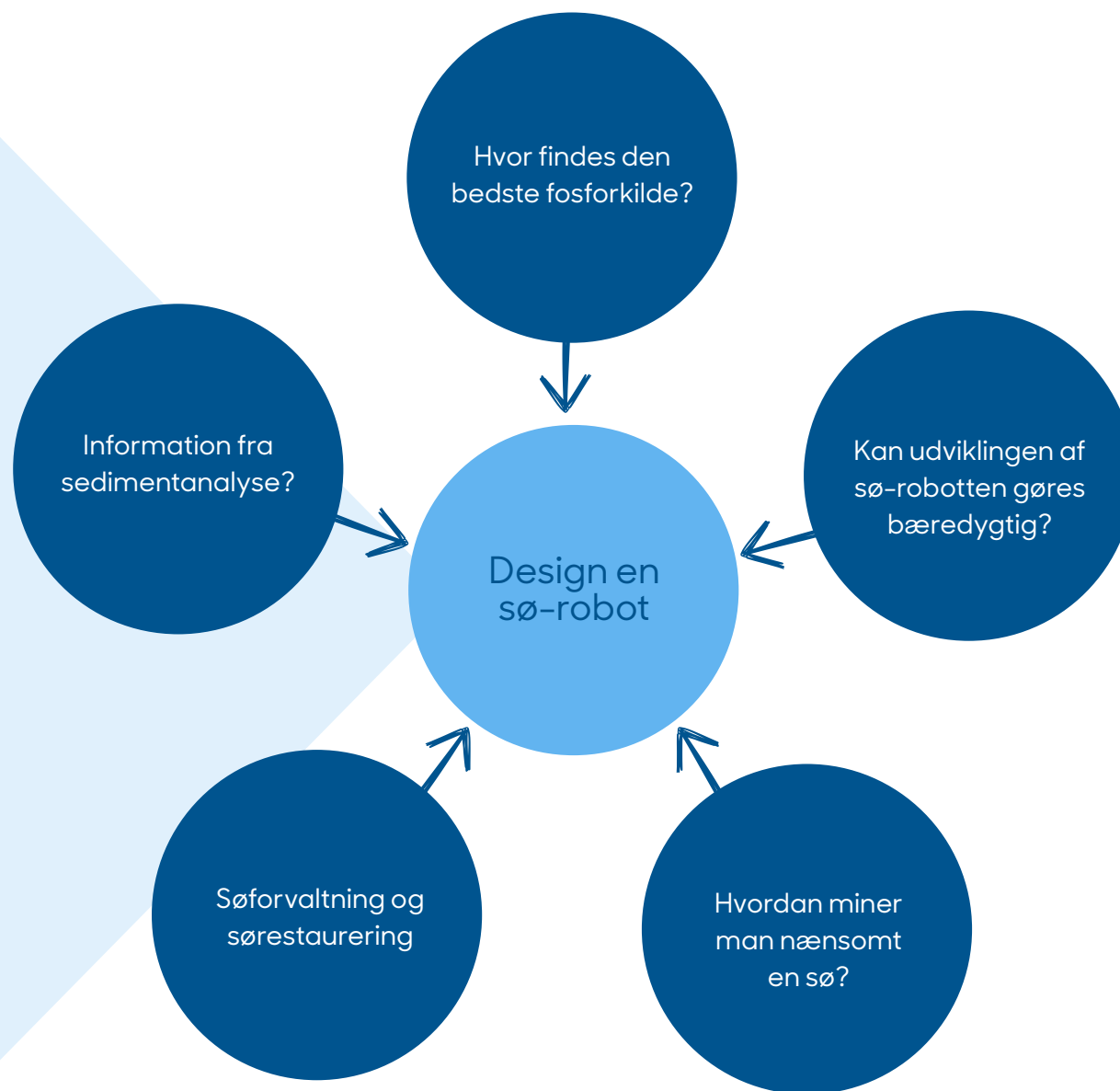
Traditionelt er søer blevet reduceret i fosformængde ved enten at opgrave det fosforholdige sediment eller ved tilsætning af aluminium, der udfælder opløst fosfor fra vandet. Men begge dele er voldsomme indgreb, der kan indvirke negativt på økosystemet i søen. Derfor vil forskere gerne finde en mere skånsom metode til at trække fosfor ud af søer, så det kan blive anvendt et sted, hvor det vil gøre mere gavn.

For at kunne mine fosfor fra søen er det muligt dels at fjerne fra den opløste fosforpulje i vandsøjlen eller kemisk at oprense fosfor fra bundsedimentet. Lektor Kasper Reitzel fra Syddansk Universitet vurderer, at der er omkring seks tons fosfor alene i de øverste 20 cm af sedimentet. Men for at gøre brug af fosforen fra sedimentet er det nødvendigt at finde en skånsom metode, der kan fjerne vandet uden at lede fosforen med det ud i søen igen. I designet af en bæredygtig sø-robot, der kan mine fosforen fra bund-sedimentet uden negativt at påvirke miljøet i søen, er der derfor en række parametre, der skal tages med i overvejelserne – nemlig kontrollen af dybden af det opfangede sediment, fjernstyring af opfangeren samt en mulighed for let at adskille sedimentet fra vand.

PROBLEMSTILLINGER

Til hver problemstilling er der tilknyttet en materialeliste med forslag til litteratur og aktiviteter. Der er ikke medtaget lærebogslitteratur i materialebanken, da det er forskelligt, hvilket lærebogsmateriale der findes på de forskellige ungdomsuddannelser. Arbejdet omkring den enkelte problemstilling kan udfoldes i forskellig grad, ligesom problemstillingerne kan tages i tilfældig rækkefølge.

Det er også muligt at arbejde med flere indfaldsvinkler til de overordnede cases ved at undersøge andre problemstillinger end dem, der her er præsenteret eller at udelade nogle af problemstillingerne.



INFORMATION FRA SEDIMENTANALYSE?

Hvorfor er sedimentet interessant?

Vandkvaliteten i søer er ofte tæt forbundet med fosforindholdet i søvandet, hvilket skyldes at mængden af fosfor i vandet ofte er den begrænsende faktor for væksten af planteplankton. Problemerne med eutrofiering af søer ophører ikke øjeblikkeligt med reduktion af fosfortilførsel udefra i form af f.eks. spildevand eller overgødskning. Der ses derimod en forsinket bedring af vandkvaliteten, hvilket skyldes at søvandet stadig får tilført store mængder fosfor, der frigives fra sedimentet (søbunden) i sommerperioden.

Sedimentets fosformængde stammer fra den periode, hvor søen fik tilført ekstra fosfor. Frigivelse af fosfor fra sedimentet hænger sammen med en række faktorer, der blandt andet inkluderer iltforhold ved bunden og dermed oxidationsformen af jern-ionerne. Ligeledes spiller f.eks. pH-værdien ind på frigivelse af fosfor fra sedimentet. Normalt bliver fosfor i sedimentet i høj grad afgivet i de varme sommermåneder, når fosforholdigt organisk stof nedbrydes.

Hvad undersøges i en sedimentanalyse?

I en sedimentanalyse udtages der prøver af ca. 30 cm dybde af sedimentet. Prøverne udtages flere steder i søen, og de forskellige prøver undersøges lagdelt. Der kan testes for densitet, tørvægt, glødetab, totalfosfor, fosforpuljer, indhold af metaller såsom jern og calcium, samt for andre stoffer såsom kvælstof og kulstof.

Problematikker ved sedimentanalyse?

Frigivelse af partikelbundet fosfor fra sedimentet er en af truslerne ved udtagelse af prøver til sedimentanalyse, eller ved ophentning af større sedimentmængder. Ydermere er kortlægning af fosforindholdet i hele søens sediment et kæmpe arbejde ud fra undersøgelse af sedimentkerner alene. Derfor anvendes sonar i kortlægning af søbundens fosforpuljer.

En sediment-sonar sender korte lydbølger ned mod bunden, og det reflekterede signal opfanges igen af senderen. I ren sandbund ligger kornene tæt pakkede, og refleksionen er derfor høj og giver et kraftigt ekko. Ved et højt indhold af organisk stof og fosfor bliver sandkornene mindre tæt pakket, og refleksionen af lydbølgerne bliver dermed markant dårligere. Det er således muligt via sonar at få et billede af dels søbundens udseende, men også af de steder, hvor der vil være et højere fosforindhold.



MATERIALEBANK



Litteratur

[Naturgenopretning af Filsø](#)

Vand og Jord (2021)

[Forundersøgelse af Ormstrup Sø](#)

Nationalt Center for Miljø og Energi (2015)

[Sedimentkortlægning før og nu](#)

Geviden (2014) nr. 2

[Sedimentanalyser](#)

Virtuel Galathea 3

[Fosforbelastning i lavvandede eutrofe søer](#)

Miljøstyrelsen (1990)



Aktiviteter

[Teknologien bag fangstredskaber og sporingsudstyr](#)

Aarhus Universitet – videoer og opgaver

[Fosfor-ekstraktion fra sediment](#)

Virtuel Galathea 3 – 1. øvelsesgang

[Spektrofotometrisk måling](#)

Virtuel Galathea 3 – 3. øvelsesgang



Figurer

[Sonarbillede af sediment i Filsø](#)

Vand og Jord (2006) nr. 2, s. 70, fig. 8

SØFORVALTNING OG SØRESTAURERING

EU's vandrammedirektiv fra 2000

Vandrammedirektivet fastlægger rammerne for beskyttelsen af vandløb og søer i alle EU-lande.

Direktivet fastsætter en række miljømål og opstiller overordnede rammer for den administrative struktur for planlægning og gennemførelse af tiltag for overvågning af vandmiljøet.

Målet er som minimum at opnå en god økologisk tilstand i de danske søer inden udgangen af 2027. Der er dog lang vej endnu – ca. 75 % af alle søer lever endnu ikke op til minimumskravet.

Sørestaurering i målet på at opnå bedre økologisk tilstand
For at kunne genoprette forurenede søer er det vigtigt at kende til de kemiske og biologiske principper, der ligger til grund for søens tilstand. I ferskvandssystemer er det primært fosfor, der er årsag til de dårlige økologiske forhold. En stor andel af fosforen er bundet i sedimentet.

For at fjerne overskydende fosfor fra en sø, kan det derfor være nødvendigt at fjerne fosfor fra sediment såvel som fra vandet i søen.

Sedimentfjernelse

Fjernelse af sedimentet har kun været anvendt i én større dansk sø – nemlig Braband Sø i 1988–1995, hvor der blev fjernet 500.000 kubikmeter sediment. Derudover er sedimentet også blevet fjernet fra en række mindre danske søer.

Målet med fjernelse af sedimentet har været dels at mindske den interne fosfor-belastning og dels at skabe bedre vækstvilkår for bundplanter ved at ændre på sammensætningen af sedimentet.

Metoden med fysisk fjernelse er for det første forholdsvis dyr og kræver specielt udstyr samt en mulighed for at deponere det opgravede sediment.



MATERIALEBANK



Litteratur

[Vejledning for gennemførelse af sørestaurering](#)

Nationalt Center for Miljø og Energi (2015)

[Bæredygtig Søforvaltning: et paradigmeskifte i restaureringen af søer](#) Vand og Jord (2021) nr. 2, s. 78–79

[Fosforkredsløbet og fremtidens sørestaurering](#)

Aktuel Naturvidenskab (2022) nr. 4

[EU's vandrammedirektiv \(2000\)](#)

Miljøministeriet

[Ormstrup Sø: Fremtidens restaureringer](#)

Vand og Jord (2021) nr. 2, s. 81–82

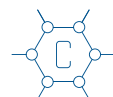


Aktiviteter

[Eksamensopgave 3](#)

Biologi-A STX 1. maj 2010 (Bemærk! Opgavesættet er bag uni-login)

[Præsentation af hovedresultater fra forprojektet Rent vand i Mølleåsystemet udført for Miljøministeriet \(2007\)](#)



Figurer

[Undersøgelser i Ormstrup Sø 2020](#)

Vand og Jord (2021) nr. 2, s. 83

HVORDAN MINER MAN NÆNSOMT EN SØ?

Fjernelse af fosfor fra en sø

Traditionelt er søer blevet reduceret i fosformængde ved enten at opgrave det fosforholdige sediment eller ved tilsætning af aluminium, der udfælder opløst fosfor fra vandet. Men begge dele er voldsomme indgreb, der kan indvirke negativt på økosystemet i søen. Derfor vil forskere gerne finde en mere skånsom metode til at trække fosfor ud af søer, så det kan blive anvendt et sted, hvor det vil gøre mere gavn.

Fjernelse med Phoslock

Produktet Phoslock har været anvendt i en række søer til at binde fosfat fra søvandet ved binding til lanthan, hvorved der dannes et uopløseligt og biologisk inert kemisk forbindelse, der fjerner fosfor fra vandet. Problemet ved denne fjernelse er, at der ikke er stor genindvindingsværdi af fosforen.

Direkte deponering på mark

Ved at flytte sedimentet fra søen direkte op på en mark, vil det kun være noget af fosforen, der kan indgå som direkte næringsstof for nye planter. Et andet problem vil være, at overskydende fosfor vil blive transporteret med vand og vind ud i vandmiljøet igen. Der skal derfor udvikles på, hvorledes fosforindholdet kan udvindes bedst muligt.

Yderligere kan sedimentet indeholde en større eller mindre grad af tungmetaller såsom cadmium samt andre miljøfremmede stoffer, som kan kræve særlig håndtering af sedimentet.

Kriterier for sedimentfjernelse

Der er flere specifikke forhold til sedimentfjernelse der skal opfyldes:

- Der er en væsentligt fosforbelastning fra sedimentet.
- Sedimentfordelingen i søen skal kortlægges.
- Identificering af områder der evt. skal friholdes for sedimentfjernelse.

Metoder til sedimentfjernelse

- Tøropgravning, hvor søen tørlægges og bunden herefter kan fjernes af entreprenørmaskiner. Bruges ofte kun ved regnvandsbassiner.
- Vådoggravning, hvor sedimentet graves op med en maskine placeret på en pram, og sedimentet herefter pumpes ind til bredden.
- Oppumpning af sedimentet, der direkte ledes ind til bredden gennem rør. Oppumpningen sker via en pumpe og en slange, der typisk er monteret med et skærehoved.



MATERIALEBANK



Litteratur

[Opgravning af søbund](#)

DTU AQUA

[Vejledning for gennemførelse af sørestaurering \(2020\)](#)

Aarhus Universitet, kap. 5

[Fjernelse af bundsediment](#)

Naturen i Danmark (2015)

[Millionsstort fosfor-projekt ved Ormstrup Sø](#)

Midtjyllands Avis

[Phoslock – hjemmeside](#)

[Elektrisk snorkel kan rense søer](#)

Ingeniøren (2019)



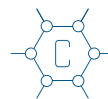
Aktiviteter

[Fosfor-ekstraktion fra sediment](#)

Virtuel Galathea 3 – 1. øvelsesgang

[Spektrofotometrisk måling](#)

Virtuel Galathea 3 – 3. øvelsesgang



Figurer

[Mudcat – en muddersugepram](#)

Naturen i Danmark, fig. 20.2

KAN UDVIKLINGEN AF SØ-ROBOTTEN GØRES BÆREDYGTIG?

Hvad er bæredygtighed?

Definitionen på bæredygtighed er ifølge Brundtlandrapporten fra 1987: *"en brug af Jordens ressourcer, der skaber balance mellem udnyttelse og beskyttelse, så vi ikke ødelægger vort livsgrundlag"*.

Denne definition af bæredygtighed matcher det, der i dag betegnes som miljømæssig bæredygtighed. Nemlig at passe på Jorden, så den ikke tager skade af den måde, vi lever på. Ud over den miljømæssige bæredygtighed findes der to andre mål for bæredygtighed. Den sociale bæredygtighed, der skal sikre social retfærdighed. Og endeligt den økonomiske bæredygtighed, der skal sikre en langsigtet økonomisk kontrol.

Bæredygtig sørobot

Processen med at designe en sø-robot til opsugning af sedimentet skal gerne møde alle tre bæredygtighedsbegreber. Men hvordan gøres dette bedst, og hvilke hensyn skal der tages undervejs?

Vigtige parametre i designet af robotten

I designet af sø-robotten skal følgende parametre imødekommes:

- Kontrol af, at det kun er de øverste f.eks. 30 cm af sedimentet, der opfanges.
- En mulighed for fjernstyring af opfangeren.
- En mulighed for adskillelse af sediment fra vand.



MATERIALEBANK



Litteratur

[Hvordan bidrager robotteknologi til den grønne omstilling \(2020\)](#)
Odense Robotics

[Tre måder robotter kan bidrage til den grønne omstilling](#)
Teknologisk Institut

[Hvad er bæredygtighed?](#)
EMU

[Hvad er bæredygtighed](#)
Danmarks Tekniske Universitet

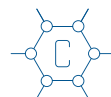
[Oprensningmetoder](#)
Miljøstyrelsen



Aktiviteter

[Interaktionsdesign for bæredygtig praksis](#)
Aalborg Universitet (2020)

[Video om 'Bæredygtigt design og teknologi'](#)
Aalborg Universitet



Figurer

[Bæredygtighedsbegrebet – de tre cirkler](#)
Danmarks Tekniske Universitet

HVOR FINDES DEN BEDSTE FOSFORKILDE?

Fosfor i bundsedimentet

Den nederste del af søen, hvor blandt andet organisk stof og overskydende materiale bundfældes og ophobes, kaldes for sedimentet. I de fleste søer øges tykkelsen af sedimentet med tiden efterhånden som der akkumuleres mere og mere materiale. Der er ofte ikke nogen skarp adskillelse mellem vandet og sedimentet i en sø, idet der hele tiden sker frigivelse og optagelse af f.eks. fosfor i form af fosfat mellem de to faser.

Fosfor findes både opløst i sedimentet og på en række organiske og uorganiske bundne former. Udvekslingen af fosfor mellem sedimentet og vandfasen sker primært gennem det opløste fosfor.

I sedimentet kan fosfor i form af fosfat mineraliseres ved at indgå i forbindelse med forskellige metalioner såsom magnesium, calcium eller jern.

Fjernelse af fosfor fra sedimentet

For at kunne mine fosfor fra søen er det muligt dels at fjerne fosfor fra den opløste fosforpulje eller kemisk at oprense fosfor fra bundsedimentet. Lektor Kasper Reitzel fra Syddansk Universitet vurderer, at der er omkring seks tons fosfor alene i de øverste 20 cm af sedimentet i Ormstrup Sø. Men for at gøre brug af fosforen fra sedimentet er det nødvendigt at finde en skånsom metode, der kan fjerne vandet uden at lede fosforen med ud i søen igen.



MATERIALEBANK



Litteratur

[Næringsstoffdynamik i søer](#)

Doktordisputats (2007) DMU, AU – afsnit 2.1-2.2

[Undersøgelse af fosfor, jern og aluminium i sedimentet fra Søllerød Sø og Vejle Sø](#)

Syddansk Universitet og HSJ Vandmiljø (2009)

[Fosforindhold og frigivelse fra sediment i nye og naturlige søer](#)

Vand og Jord (2020) nr. 4

[Kemisk sørestaurering 1: Et nyt fosfatbindende produkt](#)

Vand og Jord (2010) nr. 1

[Fosfat i havbunden](#)

Naturen i Danmark (2016)



Aktiviteter

[Eksperiment – Undersøgelse af næringsstoffer i gødning \(sedimentet\)](#)

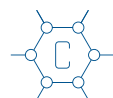
Øvelse 5.3: Kemisk analyse Fra DTU-case

[Eksperiment – Phosphorindholdet i jordprøver](#)

EMU

[Eksperiment – Spektrofotometrisk bestemmelse af phosphat](#)

Aktuel Naturvidenskab (2019) nr. 5



Figurer

[Fysiske og kemiske forhold i overfladen af danske sø-sedimenter](#)

Martin Søndergaard, Doktordisputats (2007), s. 18

[Skitse over tilførsel, sedimentation, akkumulering og frigivelse af de forskellige typer af fosfor i danske søer](#)

Martin Søndergaard, Doktordisputats (2007), s. 19

[Dybdefordeling af sedimentets fosforpuljer i Ormstrup Sø](#)

Fig. 2.3 Forundersøgelse af Ormstrup Sø

OM NATURVIDENSKABERNES HUS

Naturvidenskabernes Hus tænder gnisten hos børn og unge for de naturvidenskabelige og tekniske fag. Det sker i tæt samarbejde med danske virksomheder og undervisere i grundskolen og gymnasiet – og ved at understøtte skolevirksomhedssamarbejde i de danske kommuner. Sammen gør vi en forskel for børn og unge, erhvervsliv og samfund. Læs mere på nvhus.dk