



SØER SOM FOSFORMINER

En virksomhedscase udarbejdet af Syddansk Universitet
og Naturvidenskabernes Hus

I samarbejde med

Med støtte fra

SDU 

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 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 > SØER SOM FOSFORMINER

Danmark og andre EU-lande importerer store mængder fosfor, som spredes på markerne for at øge plantevæksten. Landbruget kan ikke klare sig uden, men forårsager samtidig forurening af vandmiljøer. Kan vi med ny viden og nye metoder gøre os mindre afhængig af importeret fosfor?

Fosfortilførslen til vandmiljøet kan lede til store ophobninger i sø- og havbunde. Fosformængden er her ofte bundet til jern(III)-ioner og når disse reduceres til jern(II)-ioner under iltfattige forhold (f.eks. om sommeren) frigives fosfat fra bunden, hvilket kan føre til en høj planteproduktion og algeopblomstring i vandet. Jo flere alger der er i en sø, jo dårligere er sigtedybden.

Koncentrationen af næringsstoffer, og især fosfor, er således afgørende for søernes økologiske tilstand, idet den dårlige sigtedybde gør, at lys ikke kan trænge ned til undervandsplanterne, så de kan vokse og producere ilt. Undervandsplanterne virker desuden som gemmesteder for smådyr og fiskeyngel, og er således essentielle for opretholdelse af en bæredygtig fiskebestand.

For at kunne mine fosfor fra søen er det muligt dels at fjerne 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. 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.

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.

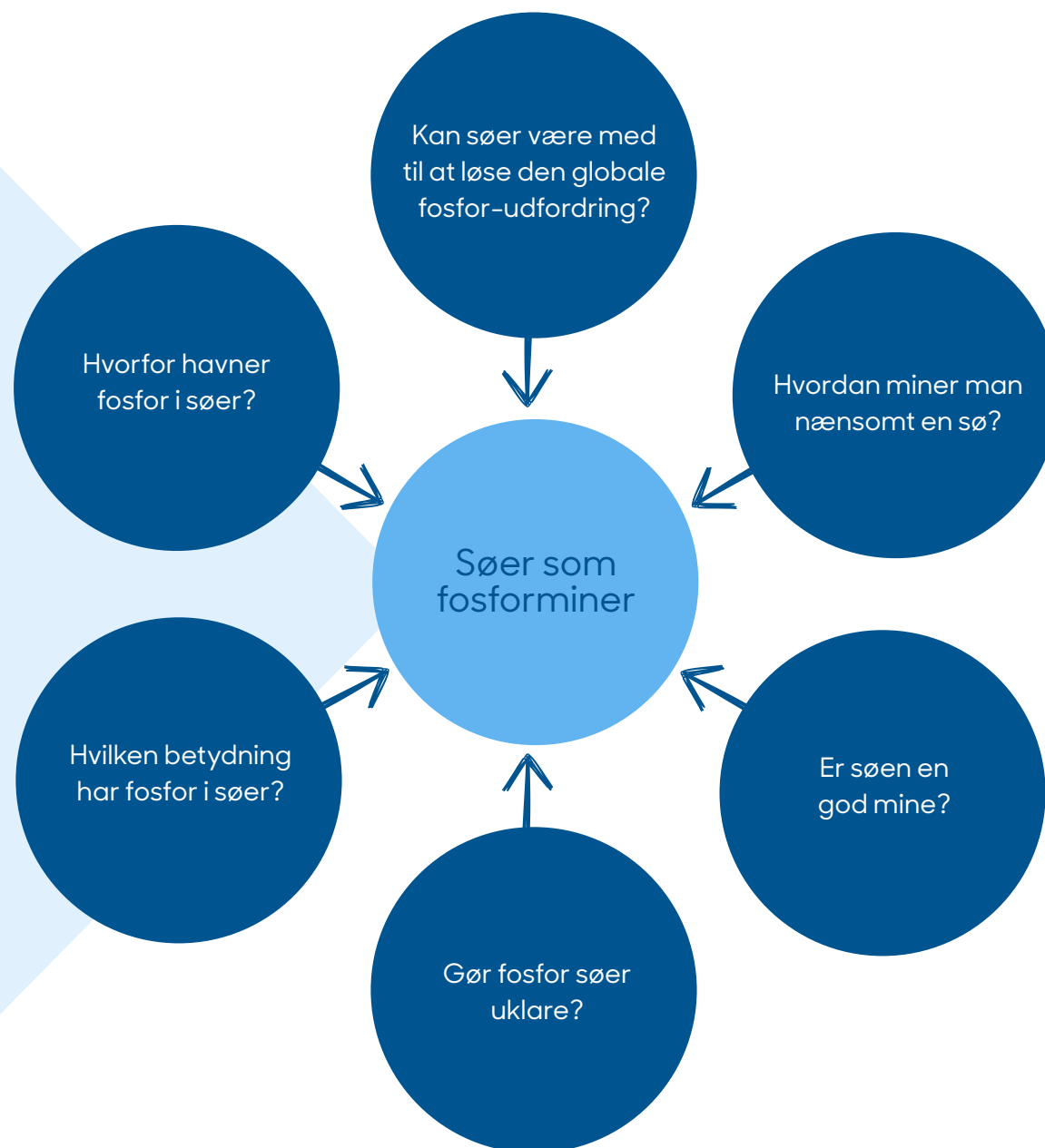
Ved at flytte sedimentet fra søen direkte op på en mark, vil det kun være noget af fosforen, der kan indgå som direkte næringsstof for nye planter. Et andet problem vil være at overskydende fosfor vil blive transporteret med vand og vind ud i vandmiljøet igen. Der skal derfor udvikles på, hvorledes fosforindholdet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

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.



KAN SØER VÆRE MED TIL AT LØSE DEN GLOBALE FOSFOR-UDFORDRING?

Den globale fosfor-udfordring

Fosfor i form af fosfat (PO_4^{3-}) anvendes blandt andet til gødning og er et essentielt næringsstof, der indgår i biokemien for både planter og mennesker – f.eks. i opbygningen af DNA og i stofskifteprocesser.

Fosfor er en begrænset ressource, og det forventes at blive en mangelvare indenfor de næste 50–100 år.

Samtidig bliver ca. 25 % af alt fosfor i form af fosfat tabt fra det globale fosfor-kredsløb, hvor det blandt andet bliver begravet i sedimenter i søer og i kystnære områder.

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

Spild i fosfor-kredsløbet

Råfosfor mines fra forskellige fosfatrejke bjergarter, hvorefter det anvendes som gødning i landbruget. Gødningsoverskuddet udvaskes i vandløb og søer.

De globale fosforreserver er ulige fordelt

Marokko, Kina, Rusland og USA kontrollerer tilsammen ca. 85 % af verdens fosfor-reserver i form af fosfatrejke bjergarter. Denne ulighed i fordeling er en vigtig fremtidig geopolitisk udfordring for den globale fødevarer sikkerhed.



MATERIALEBANK



Litteratur

[Den globale phosphor-udfordring](#)

Aktuel Naturvidenskab (2019) nr. 5

[Genbrug af fosfor kan give os mere mad](#)

Artikel fra Syddansk Universitet

[Fosfor fremtidens guld](#)

Mad til Milliarder, kap. 5 (bog fra Københavns Universitet)

[Vi ignorerer alarmklokkerne: Fosformangel er på vej op i det røde felt](#)

Ingeniøren (2016)

[Kampen om fosfor intensiveres](#)

Ny viden, Syddansk Universitet (2021)



Aktiviteter

[Arbejdsspørgsmål til 'Den globale phosphor-udfordring'](#)



Figurer

[Overordnet udvikling i kilder til fosforgødning gennem tiden](#)

Aktuel Naturvidenskab (2019) nr. 5, s. 17

[Generaliseret lineært fosfor-kredsløb med de overordnede tabsled](#)

Aktuel Naturvidenskab (2019) nr. 5, s. 17

[Binding af fosfat ved forskellige pH-værdier](#)

Mad til Milliarder, s. 64, fig. 5.3

[Globale fosforreserver i 2001](#)

Mad til Milliarder, s. 66, fig. 5.5

[Fosforoverskud i dansk jordbrug](#)

Mad til Milliarder, s. 68, fig. 5.6

[Fosforomsætning i dansk jordbrug](#)

Mad til Milliarder, s. 70, fig. 5.7

HVORFOR HAVNER FOSFOR I SØER?

Hvor kommer fosfor fra?

Fosfor frigives naturligt fra fosforholdige bjergarter ved forvitring og udvaskning. Med vind og vand transporteres fosfor via vandløb og søer ud til havet. Under transporten kan det indgå i en lang række forbindelser og optages i levende organismer.

Landbrugets bidrag

Tilførslen af fosfor til landbrugsjorden gennem gødning er større end den mængde der fjernes med de høstede afgrøder. Fosfor er meget tungtopløseligt, og der vil derfor typisk ske en ophobning af fosfor i de øverste dele af markerne. På grund af det store indhold af fosfor i de øvre lag af jordbunden, vil der ske en større borttransport af fosfor, når vand og vind fører små jordpartikler med sig til vandmiljøet.

Kilder til fosfor i vandmiljøet

Fosfor er det kvantitativt næstvigtigste næringsstof for plantevækst, og der tilføres derfor store mængder fosfor til markerne. Også i industrien er der stort behov for fosfor til f.eks. rengøringsmidler, produktion af glas og meget andet.

Fosfor kan havne i vandmiljøet på forskellige måder. Opløst fosfor kan strømme fra landjorden til søer via dræn og grundvand. Meget nedbør kan få gødning og fosforholdig jord til at afstrømme overfladisk over jorden. Ligeledes kan afledning af spildevand også føre til fosforforurening af vandmiljøet.



MATERIALEBANK



Litteratur

[Fosforkredsløbet](#)

Den Store Danske

[Næringsstoffer, vejr og havstrømme](#)

Miljøbiblioteket 4, Iltsvind

[Næringsstoffer – arealanvendelse og naturgenopretning](#)

Danmarks Miljøundersøgelser (1997)

[Kort over Danmarks tabte fosfor](#)

Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet (2020)

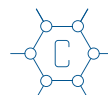


Aktiviteter

[Arbejdsark – Phosphors kredsløb i et globalt perspektiv](#)

EMU

[Eksperiment – Jordfrugtbarhed og fosfor-binding](#)



Figurer

[Fosfors kredsløb i naturen](#)

Den store danske, fig. 1

[Fosfors kredsløb på land](#)

Den store danske, fig. 2

[Fosfors kredsløb i vand](#)

Den store danske, fig. 3

[Generaliseret lineært fosfor-kredsløb med de overordnede tabsled](#)

Aktuel Naturvidenskab (2019), nr. 5, s. 17

[Udledning af kvælstof og fosfor fra forskellige punktkilder](#)

Miljøbiblioteket 4, Iltsvind, s. 65

[Tabet af fosfor på to dominerende jordbundstyper](#)

Næringsstoffer – arealanvendelse og naturgenopretning
Danmarks Miljøundersøgelser (1997), s. 11, fig. 5

[Transportveje for fosfor til vandmiljøet](#)

Næringsstoffer – arealanvendelse og naturgenopretning
Danmarks Miljøundersøgelser (1997), s. 12, box. 3

HVILKEN BETYDNING HAR FOSFOR I SØER?

Fosfor i søen

Koncentrationen af specielt fosfor er afgørende for dyre- og planteliv i søerne. Fosfor fungerer nemlig som næringsstof for planter. Men hvis der er et for stort overskud af grundstoffet, kan det skade vandmiljøet. Fosfor er ofte det næringsstof, der begrænser produktionen af planteplankton, og spiller derfor en afgørende rolle for søernes vandkvalitet og økologiske tilstand.

Ophobning i sedimentet

Fosfortilførslen til vandmiljøet kan lede til store ophobninger i sø- og havbunde. Fosformængden er her ofte bundet til jern(III)-ioner, når disse reduceres til jern(II)-ioner under iltfattige forhold (f.eks. om sommeren) frigives fosfat fra bunden, hvilket kan føre til en høj planteproduktion og algeopblomstring i vandet. Jo flere alger, der er i en sø, jo dårligere er sigtedybden.

Koncentrationen af næringsstoffer, og især fosfor, er således afgørende for søernes økologiske tilstand, idet den dårlige sigtedybde gør, at lys ikke kan trænge ned til undervandsplanterne, så de kan vokse og producere ilt. Undervandsplanterne virker desuden som gemmesteder for smådyr og fiskeyngel, og er således essentielle for opretholdelse af en bæredygtig fiskebestand.



MATERIALEBANK



Litteratur

[Fosforkredsløbet og fremtidens sørestaurering](#)

Aktuel Naturvidenskab (2022) nr. 4

[Management og restaurering af søer i Danmark](#)

LakePromo (2006) Nordjyllands Amt, Kap. 1

[Søernes balance trues](#)

Virtuel Galathea 3

[Fosforforurening](#)

Den Store Danske

[Algemængde og sigtddybde i søer](#)

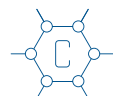
Miljøministeriet



Aktiviteter

[Arbejdsark – Sørestaurering og fosforkredsløbet](#)

Aktuel Naturvidenskab (2022) nr. 4



Figurer

[Illustration af fosfat-indholdet i en klar og uklar sø](#)

Aktuel Naturvidenskab (2022) nr. 4, s. 12

[Simplificeret illustration af fødekæden i vandsøjlen hos henholdsvis en klarvandet sø og en uklar sø](#)

Aktuel Naturvidenskab (2022) nr. 4, s. 13

[Opbygningen af økosystemet i en klarvandet og næringsberiget sø](#)

Management og restaurering af søer i Danmark
LakePromo (2006), s. 7

GØR FOSFOR SØER UKLARE?

Eutrofiering

Begrebet eutrofiering dækker over en overgødskning af vandmiljøet med plantenæringsstoffer f.eks. fosfor i form af fosfat.

Eutrofiering forårsager, at der kan komme en algeopblomstring, der gør vandet uklart, så der nogle steder ikke kan trænge sollys nok ned til vandplanterne på bunden.

Der er desuden mulighed for, at bakterierne i vandet kan bruge ilt til at nedbryde algerne, når de dør, og der således opstår iltvind.

Fisk og andre dyr vil forsøge at flygte til steder med mere ilt, mens de organismer, der ikke er i stand til at migrere, vil dø af iltmangel.

Nationalt problem

Eutrofiering er siden slutningen af 1950'erne blevet et af de mest udbredte forureningsproblemer i den danske natur. Dette er sket, da naturen ikke er i stand til at omsætte alt det fosfor, der udledes gennem spildevand fra husholdninger og industri samt fra gødning af marker.



MATERIALEBANK



Litteratur

[Eutrofiering – hvordan påvirker din mad havet](#)

WWF (inkl. Podcast)

[Giver mindre kvælstof renere vand i søer og fjorde?](#)

Vand og Jord (2011) nr. 2

[Eutrofiering](#)

Den Store Danske



Aktiviteter

[Eksperiment – respiration hos havdyr](#)

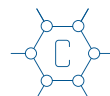
WWF

[Arbejdsark – Eutrofiering \(podcast\)](#)

WWF

[Eutrofiering](#)

YouTube-video fra 'Undervisningslokalet'



Figurer

[Næringsstoffer og iltmangel](#)

WWF – Eutrofiering, fig. 3

[Iltkoncentration sommer og vinter](#)

WWF – Eutrofiering, fig. 5

[Eutrofieret havområde](#)

WWF – Eutrofiering, fig. 7

ER SØEN EN GOD MINE?

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 april 2009](#)

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](#)

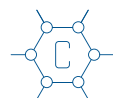
Kemisk analyse Fra DTU-case

[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](#)

Næringsstoffdynamik i søer (2007), s. 18

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

Næringsstoffdynamik i søer (2007), s. 19

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.
- Vådopgravning, 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)



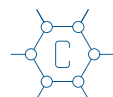
Aktiviteter

[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

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