

VAND & JORD

- VANDLØB OG CO₂ OVERMÆTNING
- LAR POTENTIALE – ET SCREENINGSVÆRKTØJ
- KORTLÆGNING AF KILDER TIL FOSFORTAB
- LAVBUNDSJORD TIL NATURGENOPRETNING
- MEMBRANER TIL HØJMOSER
- NYT DANSK FORSKNINGSSKIB
- DMS-FORURENING AF GRUNDVAND I BYER
- ÅENS SMÅDYR
- MINIVÅDOMRÅDER
- DRÆNVIRKEMIDLERS VANDKVALITET

2



Vil du være med til at løse vigtige miljøudfordringer?

Klimaforandringer giver mange udfordringer for samfundet. Vi har brug for at udvikle løsninger og nye metoder til at håndtere oversvømmelser og tørke, producere rent vand, udvinde energi fra biomasse og genanvende ressourcer. Vi skal sikre, at kemiske stoffer og mikroplast ikke skader mennesker og miljø.

Søg ind på bacheloruddannelsen i Miljøteknologi og vær med til at løse nogle af disse udfordringer, i Danmark og resten af verden.

Bachelorstudiet i Miljøteknologi bygger videre på din viden fra gymnasiet i bl.a. kemi, naturgeografi, bioteknologi, matematik og fysik. Du får også viden i nye fag som miljø og bæredygtighed, klimaændringer, geologi, økologi og miljøtekniske processer.

Hør mere til Online Åbent Hus på DTU 28. juni 2022.



Online
Åbent hus
på DTU 28. juni
aabenthus.dtu.dk



Vand & Jord er et dansk fagtidsskrift med artikler og debat om miljøforhold i vore ydre omgivelser. Emnerne omfatter alle forhold i vandets kredsløb, rent eller forurenede. Tidsskriftet formidler ny og aktuel viden til alle, der arbejder med og har interesse i dansk og international miljø- og naturbeskyttelse.

Vand & Jord er uafhængig af organisations- og firma-interesser.

© Selskabet for Vand & Jord
og Forlaget Nepper & Stagehøj

REDAKTION:

Charlotte Kjærgaard, NovaDrain ApS, ansv.
Claus Hagebro, cand. scient.
Søren Brandt, Herning Kommune
Anja Skjoldborg Hansen, Aarhus Universitet
Astrid Zeuthen Jeppesen, NIRAS
Poul L. Bjerg, Danmarks Tekniske Universitet - DTU Miljø

REDAKTIONSKOMITÉ:

Anders Erichsen, DHI
Loren Ramsay, VIA UC
Mogens Flindt, SDU
Heidi Barlebo Christiansen, GEUS
Uffe Gangelhof, Vandcenter Syd
Peter Holm, KU-PLEN

Redaktionskomitéens medlemmer er personligt valgt. De tegner i Vand & Jord-sammenhæng ikke de firmaer eller institutioner, hvor de er ansat.

Mekanisk, fotografisk eller anden gengivelse er kun tilladt i overensstemmelse med overenskomst mellem Undervisningsministeriet og Copy-Dan. Enhver anden udnyttelse er uden selskabets og forlagets skriftlige tilladelse forbudt ifølge gældende dansk lov om ophavsret. ISSN 0908-7761

Abonnementspris 2022 – 4 numre pr. år
Institutionsabonnement: kr. 600,00 inkl. moms
Privat abonnement: kr. 240,00 inkl. moms.
Studentabonnement: kr. 150,00 inkl. moms.
Virksomhedsabonnement kr. 5.000 kr. inkl. moms
Alle priser er inkl. forsendelse.

Se mere på <http://www.vandogjord.dk/>
– her findes også forfattervejledning

PRODUKTION: Vand & Jord ApS
LAYOUT: Forlaget Nepper & Stagehøj
TRYK: P. E. Offset & Reklame A/S, Varde

UDGIVER OG ABONNEMENT:

Forlaget Nepper & Stagehøj
Nojsomhedsvej 19, st.tv.
2100 København Ø
Tlf. 35 26 45 31
e-mail: forlaget@nepperogstagehoej.dk

ANNONCER:

Claus Hagebro
Fuglevænget 10
3520 Farum
Tlf. 44 95 07 60
e-mail: hagebro3@hotmail.com

Forsidefoto: Risø halvø ved Roskilde Fjord.
Foto af Anja Skjoldborg Hansen

VAND & JORD

Nr. 2
29. årgang
maj 2022

Synspunkt: Vandløbsindsatsen nytter	42
<i>Bent Lauge Madsen</i>	
Vandløbenes CO ₂ -overmætning og biodiversitet	44
<i>Kaj Sand-Jensen, Kenneth Thorø Martinsen, Joban Emil Kjær, Jonas Stage Sø, Marta Baumane, Theis Kragb, Lars Båstrup-Spøbr, Hans Henrik Bruun & Tenna Riis</i>	
LAR Potentiale: Nyt screeningsværktøj	49
<i>Camilla Christiane Jakobsen, Sara Maria Lerer, Peter Steen Mikkelsen & Hjalte Jomo Danielsen Sørup</i>	
Kortlægning af kilder til diffust fosfortab	52
<i>Hans Estrup Andersen & Goswin Heckerath</i>	
Kortlægning af lavbundsjord til naturgenopretning	58
<i>Camilla Fløjgaard, Ole Munch Jobansen, Dagmar Kappel Andersen, Ane Kirstine Brunbjerg, Hans Henrik Bruun, Geoff Groom & Rasmus Ejrnæs</i>	
Membraner til genopretning af højmoser	62
<i>Line Strandholm Magnussen & Niels Riis</i>	
Nyt dansk forskningsskib undervejs	68
<i>Karen Edelvang & Dennis Lisbjerg</i>	
Grundvand under byområder er forurenede med DMS	72
<i>Christian Nyrop Albers, Ulla Bollmann, Anders Risbjerg Jobnsen, Liselotte Clausen, Kristian Bitsch & Gustav Skak Schøller</i>	
Forunderlige historier: Hvordan åens smådyr kan finde vej	76
<i>Bent Lauge Madsen</i>	
Minivådområder: Effektivitet og sideeffekter	80
<i>Astrid Maagaard, Carl Christian Hoffmann & Rasmus Jes Petersen</i>	
Drænvirkemidlers vandkvalitet – ilt og temperatur	85
<i>Sebastian P. Zacho, Majken M. Deichmann & Tobias B. Bendixen</i>	

Vand & Jord udgives med støtte fra:



AARHUS
UNIVERSITET
DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

INSTITUT FOR AGROØKOLOGI
AARHUS UNIVERSITET

ATV JORD OG GRUNDVAND



SDU

Vandløbsindsatsen nytter

Det var en glad Miljøminister, som i 2013 fik Natur- og Landbrugskommissionens dom over de første 40 års indsats i vandløb: "Den uheldige udvikling er vendt, og det skal fortsætte."

Det var en stor opgave, vi satte i gang. Vores åbne vandløb kan nå godt 1,5 gang om ækvator: Her har vi, stort set, stoppet den forurening, som kan bruge vandets ilt. Kun en del af dem kan huse "et alsidigt dyre- og planteliv," det, som i dag hedder biodiversitet. Men de rækker dog herfra til Sydpolen, godt og vel. Det er de vandløb, vi i stort tal genopretter. Især DTU-Aqua har gjort indsatsen synlig: I 1997 svømmede ca. 200.000 små havørreder ud til havet. 20 år senere det 6-dobbelte. Mange er født og vokset op i de genoprettede bække. Den ægte vestjyske laks er genopstået fra de "uddøde" dyrs rige og er i fuld gang med at befolke sine gamle vestjyske åer med bæredygtige bestande.

Det er næsten for godt til at være sandt, og er det måske heller ikke. DCE (Århus Universitet) udgav sidste år status over Biodiversitet 2020: "Samlet set er biodiversiteten stadig i tilbagegang i vandløbene," konkluderer den. Grunden er, at "vandløbene fortsat fastholdes i deres kanaliserede forløb." Ups! 40 år efter vi begyndte at genslynge dem? I mangel af tal, tyr rapportens forfattere til "Ekspertvurderinger." Al respekt, men meget klogere bliver vi ikke: Ekspertene siger at "det ikke er mulig(t) at vurdere vandløbenes udvikling." Så må vi trøste os med, at laksefiskene har "ekspertvurderet," at flere og flere vandløb igen er værd at leve i.

Men DCE-rapporten har da fat i noget væsentligt: Grødeskæring kan begrænse planternes biodiversitet, meget endda. At stoppe grødeskæring har næppe nogen realistisk gang i vandløbenes virkelighed, så længe de også skal aflede vand. Vandløb er til andet og mere end biodiversitet.

Rapportens vurdering af smådyr-biodiversiteten omfatter kun rødlistede og sjældne arter, som fx slørvingen *Dinocras cephalotes*, der kun er fundet et par gange i Danmarkshistorien: For, som der står: "Det er overflødigt at undersøge almindelige arter, som er udbredt i kulturlandskaberne." Det er helt forkert, når det gælder vandløbets smådyr. Vandløbene skal ikke vurderes alene på rødlistede og sjældne arter. De almindelige er mindst lige så interessante og relevante for biodiversiteten. De bidrager med mange arter. Til



Jens Olesen tegningen er opdateret fra en 1993 version, hvor jeg revsede Miljøministeriet for at favorisere "sorte" vandløbshistorier. Slørvingen her, der var tæt på at uddø dengang, er nu tilbage i mange af sine gamle vandløb.

tider med så mange individer, at de kan tage pladsen op for andre. Et eksempel er forsk-vandstangloppen, men det er dog den, der mætter laksefiskene og farver kodet rødt.

Vandløbsbiologer har organiseret DVFI-grunddata på <https://miljoedata.miljoportal.dk/>. Her kan enhver kigge med og se, hvor en valgt art, også rødlistet, er fundet over en valgt periode. Vi skal ikke spises af med ekspertvurderinger: Vi er på vej mod en rig vandløbsfauna.

Men der er langt mellem sjældne arter, også i Miljødata. Hvad andet kan vi vente? Sjældenhed er et gammelkendt, naturligt fænomen. Således spurgte Francis Bacon i 1605: "Kan nogen forklare, hvorfor nogle ting i naturen er så almindelige, og i så store tal, og andre er så sjældne, og i så små tal?"

Det er fx ikke sært, at malermuslingen er sjælden, og har svært ved at finde tilbage i sine gamle vandløb, den er fordrevet fra. Nok kan den klemme sig fast om en andefod og rejse som blind passager. Men den er, normalt, særkønnet, så den må følges med en mage, og de skal lande i et egnet vandløb, hvor de skal møde en af to fisk, der skal være "rugemoder" for afkommet. Den ene fisk er sjælden, den anden uddød.

Mange "almindelige" vandløbsdyr er gode til at flytte til nye steder. I 1994 fortalte Fyns

Amt, at kort tid efter, Odense Å var blevet ren, kom forsvundne insekter flyvende ind fra andre vandløb. "Alt i alt må man glæde sig over naturens forsøg på at dække over menneskets dumhed og tankeløshed. De små vandløbsdyr gør virkelig deres bedste," sluttede betretningen optimistisk.

Vi er ikke ved vejs ende i vandløbsindsatsen. Vi nærmer os den kun, hvis befolkningen, politikerne og bredejerne fortsat kan se, læse og høre, om det går fremad. Vi ved til fulde, hvordan vi skal genoprette vandløbene: Lad strømmen bestemme. Men vil vi hjælpe sjældne og forsvundne arter tilbage, så må vi kende deres "naturhistorier," især evnen til at finde vej. Det ved vi ikke nok om.

Vel er det trist, at sjældne smådyr lader vente på sig. Men mon ikke, med henvisning til Lukas-evangeliet, der er mere glæde i himlen over, at de almindelige arter, som majfluer og pragtnymfer, igen danser i tætte sværme over åen, end hvis Danmarkshistoriens tredje eksemplar af *Dinocras*-slørvingen dukker op? Men den skal være meget velkommen.

Bent Lauge Madsen, åmand emeritus
excercens. (bent@laugemadsen.dk)



Globalt studie vurderer størrelsen af farmaceutisk forurening i verdens floder

Et nyt studie, der ser på tilstedeværelsen af lægemidler i verdens floder, fandt koncentrationer på potentielt toksiske niveauer i mere end en fjerdedel af de undersøgte lokaliteter.

Studiet så på 258 floder over hele verden, incl. Themsen i London og Amazonfloden i Brasilien, og målte tilstedeværelsen af 61 lægemidler, som f.eks. carbamazepin, metformin og koffein. Forskerne studerede floder i over halvdelen af verdens lande – i 36 af disse var floderne aldrig før blevet undersøgt for lægemidler. Forskerne fandt at:

- lægemidler forurener vand på alle kontinenter
- stærk korrelation mellem socioøkonomisk status af landet og en højere forurening af lægemidler i dens floder (med lav-middel indkomstlande de mest forurenede)
- højt niveau af lægemiddel forurening var mest positivt associeret med regioner med høj median alder og høj lokal arbejdsløshed og fattigdomsrate
- de mest forurende lande og regioner i verden er de mindst undersøgte (sub-sahara Afrika, Sydamerika og dele af det sydlige Asien)
- de aktiviteter der er mest associeret med de højeste niveauer af lægemiddelforurening omfattede affaldsdeponering langs flodbrinke, utilstrækkelig spildevandsstruktur og lægemiddelproduktion samt tømning af septiktanke ud i floder

Forskerne håber, at man ved øget monitoring af lægemidler i miljøet, kan udvikle strategier, til begrænsning af de potentielle effekter af tilstedeværelsen af forureningen.

Tidligere studier af lægemidler i floder har udeladt mange lande og kun målt på få stoffer og med forskellige analytiske metoder. Det har gjort det vanskeligt at kvantificere problemet på global basis. I dette studie blev analyserne foretaget af University of York's Centre of Excellence in Mass Spectrometry. En af lederne af projektet Dr John Wilkinson, Department of Environment and Geography, fortæller

at med 127 samarbejdspartnere på 86 institutioner over hele verden er “the Global Monitoring of Pharmaceuticals Project” et godt eksempel på, hvordan det videnskabelige samfund kan mødes og behandle miljøproblemer på stor skala.

Data fra de specifikke floder vil være til rådighed på the Global Monitoring of Pharmaceuticals Project website: <https://www.global-pharms.org/>

Forskerne foreslår at denne metodetilkang i fremtiden kan udvides til andre miljømæssige medier som sediment, jord og biota.

Kilde:

Science Daily, 14 February 2022 <https://www.sciencedaily.com/releases/2022/02/220214154838.htm>

CH

Regnormes fordøjelse af mikroplastik skader det hanlige reproduktions system

Ny forskning viser, at fordøjelse af mikroplastik skader de hanlige men ikke det hunlige reproduktionssystem og, at der produceres partikler på nanoskala.

EU's Plastic strategi planlægger værktøjer til at begrænse brugen af mikroplastik i produkter og at reducere utilsigtet udledning af mikroplastik til miljøet. Mens der er stor viden om påvirkning af mikroplastik på marine organismer mangler der viden om effekter på de reproduktive systemer og immunceller i jordlevende organismer.

Regnorme er hermafroditte, d.v.s. at en orm har både han og hun reproduktive organer. Ormene bidrager positivt til jordmiljøet med øget næringsstof tilgængelighed, bedre dræning og mere stabil jordstruktur. Jord er en væsentlig komponent af deres diæt og regnorme fordøjer formentlig mikroplastik i de jordlag, hvor de færdes. Ved fordøjelsen kan mikroplastik nedbrydes til mindre partikler.

For at skabe mere viden herom studerede forskerne regnorme eksponeret til forskellige størrelser af polyethen mikroplastik (180–212 my og 250–300 my) i 21 dage. De analyserede effekterne på forskellige aspekter af de biologiske systemer ved sammenligning med regnorme uden mikroplastik i deres omgivende jord. Testjorden indeholdt ingen andre kontaminanter.

Begge størrelser af mikroplastik skadede tydeligvis de hanlige reproduktive organer. 17% af regnormene eksponeret til de mindre plastikpartikler viste normal udvikling af sædblærer, mens dette kun var tilfældet for 5% af

regnormene eksponeret til de større plastikpartikler. Til sammenligning havde 65% af regnormene uden mikroplastik i jordmiljøet normal udvikling af sædblærer. Til trods for de negative effekter på de hanlige organer fandt man kun ubetydelige toksiske effekter på ormenes ovarier.

Forskerne undersøgte også effekterne af mikroplastik på cellulært niveau i immunsystemet ved at studere coelomocyter, celler der spiller en vigtig rolle i regnormens immunrespons. Det viste sig, at der var et fald i andelen af levende, sunde coelomocyter i regnorme eksponeret til mikroplastik, hvilket viste en negativ effekt af mikroplastik på både cellulært og organ niveau.

Endvidere undersøgte forskerne regnormenes “eskrementer” (jord fordøjet og udskilt på jordoverfladen), for at se om fordøjelsen neddelte mikroplastikken i endnu mindre nanoplastik. Med anvendelse af scanning elektronmikroskopi og energi dispergerende røntgen analyse fandt forskere fragmenterede plastikpartikler så små som 256 nanometer (nm) på overfladen af mikroplastik partikler fra eskrementerne. Fordøjelsen førte altså til dannelse af mindre partikler. Dette er vigtigt information for videre studier af, hvordan mikroplastik spredes i miljøet.

Dette studie er den første beskrivelse af de negative effekter af mikroplastik på det hanlige reproduktionssystem i hvirvelløse dyr i jorden.

Kilde:

Kwak, J.I. and An Y-J. (2021): Microplastic digestion generates fragmented nanoplastics in soils and damages earthworm spermatogenesis and coelomocyte viability. *Journal of Hazardous Materials* 402. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124034

CH

Rettelse, artikel i Vand & Jord, nr. 4, 2021

Årlig middel metanfrigivelser I Tabel 1 i Sand-Jensen et al. (2021), V & J 4, s. 153, skal alle opjusteres med 12%, når metan udtrykkes som metan-kulstof og med 49% udtrykt som total metan. Side 153, v. spalte linje 4 rettes til 227 kg metan/ha og i linje 9 til ca. 32 tons CO₂-ækv/ha. De bagvedliggende individuelle metanfrigivelser er voldsomt variable; medianværdierne er lavere end middelværdierne. Korrektionen ændrer ikke på artiklens konklusioner. Tak til Tom Davidson, Dept. EcoScience, AU for at gøre opmærksom på beregningsfejlen.

Vandløbenes CO₂-overmætning og biodiversitet

De danske vandløb er kraftigt overmættede med opløst CO₂ tilført med grund- og drænvand fra oplandet. Det CO₂-rige vand stimulerer plantevæksten, da overmætningen er en forudsætning for fotosyntese og god vækst under vand blandt 120 plantearter, der lever i overgangszonen mellem land og vand. Vandløbenes naturlige CO₂-overmætning medfører også en betydelig CO₂-afgasning til luften, men dog sandsynligvis lavere end afgasningen fra dyrkede lavbundslande.

KAJ SAND-JENSEN, KENNETH THORØ
MARTINSEN, JOHAN EMIL KJÆR, JONAS
STAGE SØ, MARTA BAUMANE, THEIS
KRAGH, LARS BÅSTRUP-SPOHR, HANS
HENRIK BRUUN & TENNA RIIS

Naturlige vandløb

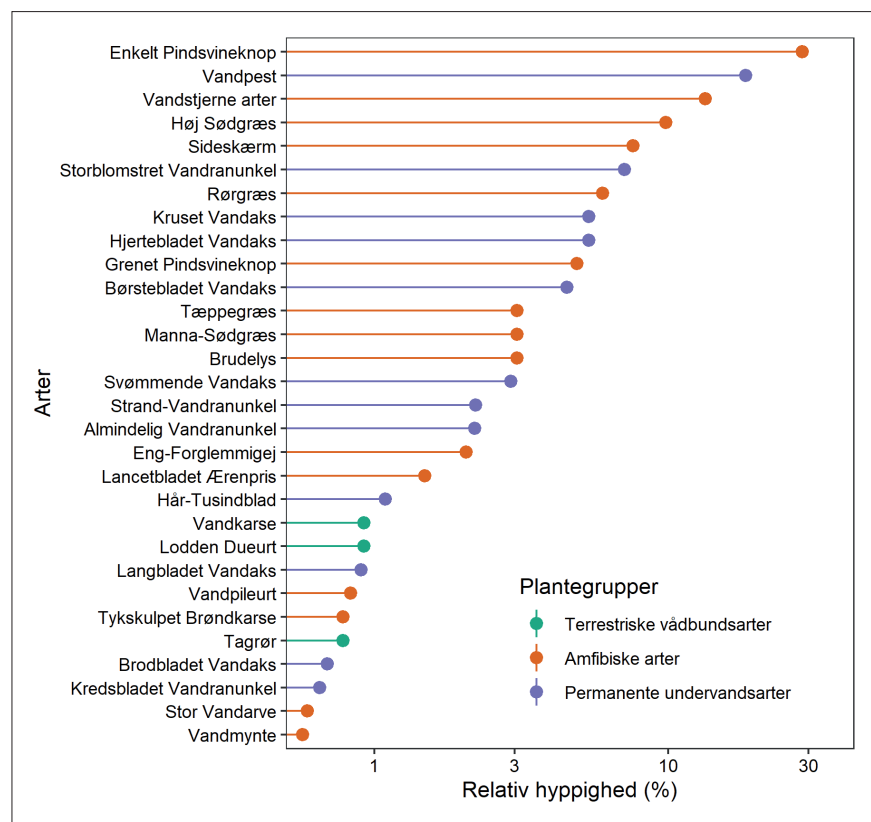
Nogle få steder løber rene kildebække klukkende gennem grønne enge med blå, gule og røde blomster. Store ørreder svømmer herop for at gyde og lægge æg i gruset. De bugter sig frem på siden gennem få centimeter vand for at komme op til det eftertragtede kolde vand og de mange smådyr, som er føde for ynglen i de første måneder.

Biodiversiteten er høj på engen og i kildebækken. Engens planter omfatter op mod hundrede arter, hvoriblandt Eng-Forglemmigej, Vandmynte, Sideskærm og arter af Vandstjerne og Ærenpris vokser ud over bækkens lave bredder og ud i det CO₂-rige vand. Om vinteren, når planterne på land fryser ned, står planterne grønne i kildevandet, som aldrig fryser til. Smådyrene er i fuld aktivitet året rundt og rummer hele udtrækket fra biller, dansemyg, døgnfluer, slørvinger til væbnerfluer. Lægger vi muslinger, snegle og fladorme, rundorme og ledorme oven i, summer artsrigdommen sig op til flere hundrede.

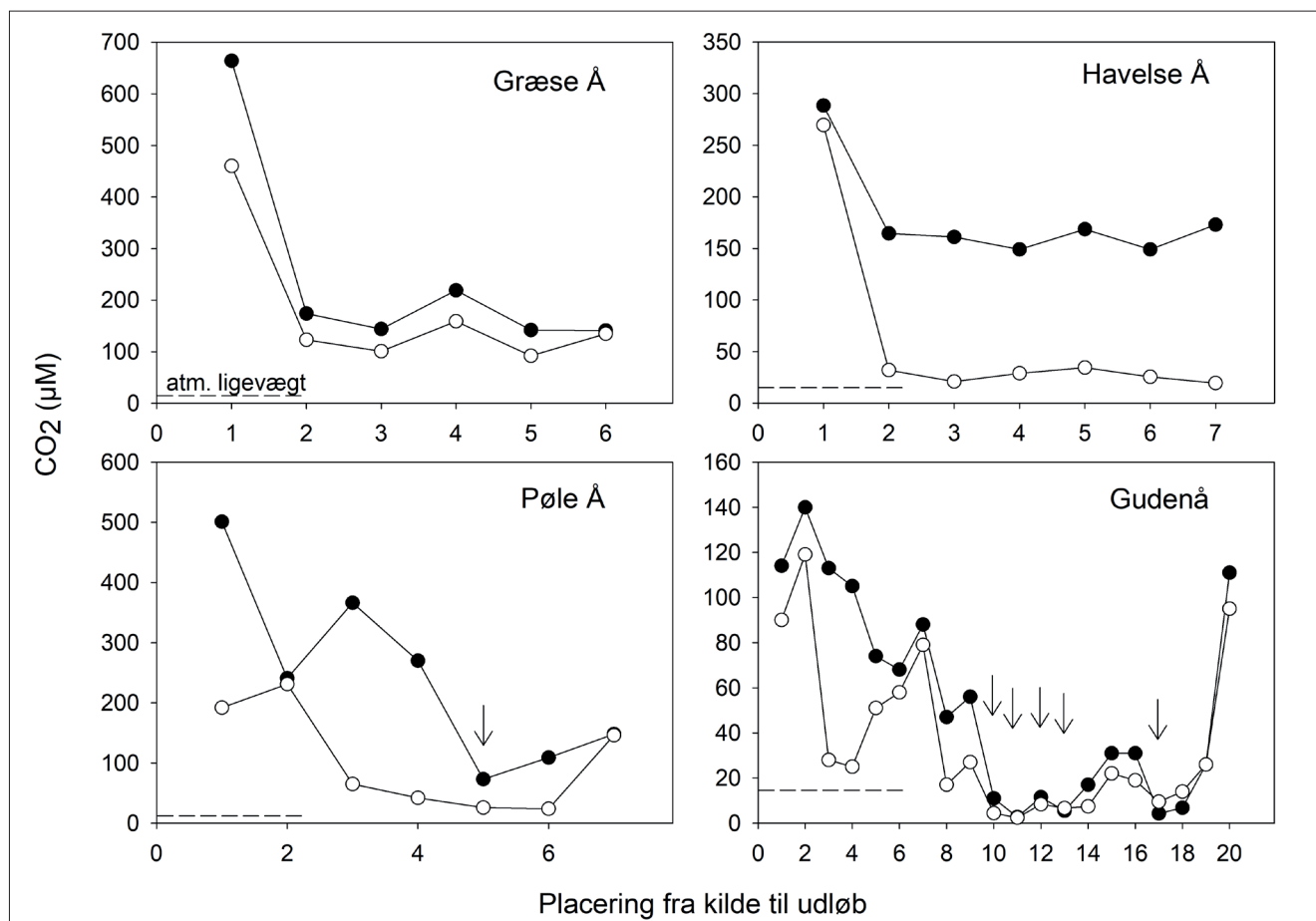
Kildevandet vælter frem som grundvand ved foden af bakkerne og risler ned over mospuder og fugtig jord til bækken, eller det strømmer op gennem bækkens grus. Det er

gammelt vand, der faldt som regn for mange år siden. Vandet har opholdt sig i jorden, men har nu indledt en få dages lang rejse ned gennem bækken og åen til havet. I jorden er grundvandet blevet kraftigt beriget med CO₂ fra planterødders respiration og bakteriers nedbrydning af plantemateriale. Meget CO₂ er

blevet forbrugt til at opløse kalk og lerminerale i jorden under frigivelse af bikarbonat (HCO₃⁻), calcium og andre opløste stoffer, men grundvandet er fortsat kraftigt overmættet med CO₂ i forhold til ligevægten med luften; typisk 25-50 gange overmættet, som i en doven dansk vand.



Figur 1. Relativ hyppighed af planter i danske vandløb. Grøn er terrestriske vådbundsarter, orange er amfibiske arter og lilla er permanente undervandsarter.



Figur 2. Kraftig overmætning med CO₂ ned gennem hovedløbet i fire danske vandløb om sommeren målt morgen (udfyldte cirkler) og eftermiddag (åbne cirkler). CO₂ koncentrationen falder ned gennem vandløbene, fra morgen til eftermiddag og ved passage af opstemninger eller søer (ved pile). Stiplede linje angiver CO₂ koncentrationen ved ligevægt med luften (stationsnumre på x-akserne). Sand-Jensen og Riis (original).

Mens grundvandet strømmer ned over engen og videre gennem bækken og åen, frigøres CO₂ til luften. Er vanddybden lille, og strømmer vandet friskt, taber det hurtigt CO₂ til luften, men nyt vand med CO₂ kommer hele tiden til fra omgivelserne. Hvert sekund passerer måske 10 liter gennem det øverste af bækken, men længere nede ad åen passerer måske mere end 1000 liter. Derved forbliver vandet overmættet i hele sit forløb og frigør til stadighed CO₂ til luften.

Regulerede vandløb

Ingen større danske vandløb løber uforstyrrede gennem landskabet i hele deres længde. De allerfleste steder er jorderne langs vandløbene opdyrkede og dræned, mens vandløbene er udrettede og uddybede. Ofte er vandløbene gravet ned i en kanal flere meter under terræn, hvor vandet løber langsomt frem uden at give lyd fra sig. Høje brændenælder, dueurter og græsser på kanalsiderne skygger for vandplanterne, hvor kanalen er smal. Dyrelivet er fattigt.

Åens bugter er rettet ud og én eller flere gange om året sejler en grødeskæringsbåd

forbi og slår vandplanterne for at forhindre, at de bremser vandet. Dermed opnås maksimal afvanding af ådalens dyrkede jorde. Vandplanterne i åen reagerer på tilbagevendende skæringer ved at fremme de mest klipningstål-somme arter. De ligner plænegræsser ved at vokse videre fra overskårne stængler og ved at sætte nye blade fra et intakt vækstpunkt på en jordstængel i vandløbsbunden. Efter et par uger står undervandsplænen derfor lige så frodig som før skæringen. Således er Enkelt Pindsvineknop med de lange båndblade blevet den dominerende vandplante i vores vandløb (Fig. 1).

Lavbundsjordenes dræn sænker vandstanden og mindsker nedsvivningen til grundvandet, og dermed senere udsivning af grundvand andre steder. I de regulerede vandløb er drænvandet derfor den vigtigste vandtilførsel. Ligesom grundvandet er drænvandet kraftigt overmættet med CO₂ fra dyrkningsjorden. Omsætningen i jorden er intens, fordi den gødes og jordbehandles, og dræningen øger tilgangen til ilt, der fremmer røddernes og bakteriernes respiration og vækst. Mens den våde natureng kan ophobe organisk stof år

efter år, så nedbrydes det organiske indhold i de drænedede jorde, og den dannede CO₂ frigives direkte til luften eller føres bort med drænvandet.

CO₂-overmætning og afgang

Fra kilden til åens udløb i havet falder CO₂-overmætningen, da vandet er i kontakt med luften i længere tid (Fig. 2). På lavvandede stryg med sten eller grus strømmer vandet hurtigt og med mange hvirvler, hvorved CO₂-afgasningen bliver særligt høj. Den stiger nemlig i takt med CO₂-overmætningen og turbulensen ved vandoverfladen. På dybe strækninger flyder vandet langsommere, hvorved hvirveldannelsen og afgangningen bliver lavere. Om sommeren kan tæt plantevækst forbruge CO₂ ved fotosyntesen. Derfor falder indholdet fra morgen til sen eftermiddag, mens det stiger i mørke om aftenen og natten ved organismernes respiration.

Passerer vandløbet en indskudt sø, kan vandets CO₂-indhold falde til under luftmætning pga. søvandets langvarige kontakt med luften og planteplanktonets fotosyntese. Derfor varierer CO₂-indholdet og afgangningen markant



Foto 1. Gennem engen slynger bækkens sig. Sideskærm krydser ind over bækkens bredder og ned under vand. På bredden vokser Brudelys, Vandkarse, ranunkler og mange andre urter. Foto Bjarne Moeslund.

mellem forskellige vandløb, mellem forskellige steder i det enkelte vandløb og tillige ovenfor versus nedenfor stryg og indskudte søer. Årstiden og tiden på døgnet påvirker endvidere. Derimod har de seneste 40 års stigning i luftens CO_2 -indhold med 20%, og den tilsvarende 20% stigning i vandets luftligevægt fra omkring 15 til 18 μM over perioden, ikke i væsentlig grad påvirket vandløbenes høje CO_2 -indhold på i gennemsnit 147 μM .

Vi har bestemt CO_2 -indhold og afgang på 236 strækninger ned gennem 50 danske vandløb fordelt over det meste af landet. På de samme strækninger har vi analyseret plantesamfundene /1-3/.

CO_2 -indhold og afgang

På 203 strækninger upåvirket af søer var CO_2 -indholdet i gennemsnit overmættet 9 gange. Graden af CO_2 -overmætning var størst i de

øverste bække og faldt fra i gennemsnit 13,1 til 6,4 gange ned gennem vandløbene til udløbet i havet.

Ved passage gennem 33 indskudte søer faldt vandets CO_2 -indhold til tæt på luftmætning om sommeren (Fig. 3). I afløb fra næringsrige søer med meget planteplankton var CO_2 -indholdet allerlavest.

Om vinteren var CO_2 -indholdet i vandløbene en smule højere end om sommeren, især i afløb fra søer, fordi planter og planteplankton forbruger mindre CO_2 ved fotosyntesen af mangel på lys, mens frigivelsen af CO_2 ved nedbrydning af organisk stof fortsætter.

Som nævnt stammer CO_2 i grundvand og drænvand fra rodrespiration og nedbrydning af plantemateriale. Plantematerialet på land blev oprindeligt produceret ved, at landplanter optog CO_2 fra luften til fotosyntese, men nu frigøres CO_2 igen fra plantematerialet til luften med mindre, det opmagasineres i tørv langs

vandløbet eller eksporteres til et lager af organisk stof på bunden af søer og havet.

Den daglige CO_2 -afgassing til atmosfæren varierede betydeligt indenfor og imellem de undersøgte vandløbsnetværk. Gennemsnittet om sommeren fra mange vandløb og mere end 200 strækninger lå på 2,1 g CO_2 -C per kvadratmeter af vandløbenes overflade. Regner vi videre med det tal for hele året og alle danske vandløb med et estimeret samlet areal på 185,6 km^2 /4/, havner det samlede årlige CO_2 -tab fra danske vandløb på 142.000 tons CO_2 -C som kulstof. Vi har tidligere estimeret danske vandløbs årlige afgassing til 769.000 tons CO_2 fra landsdækkende miljødata for pH, alkalinitet mv. for små, middel og store vandløb /5/. Det højere estimat skyldes sandsynligvis, at det dels inddrager hele året og bedre repræsenterer de små vandløb med højere afgassing. Men under alle omstændigheder er opskalering af CO_2 -afgassing til hele året og alle danske vandløb præget af betydelig usikkerhed.

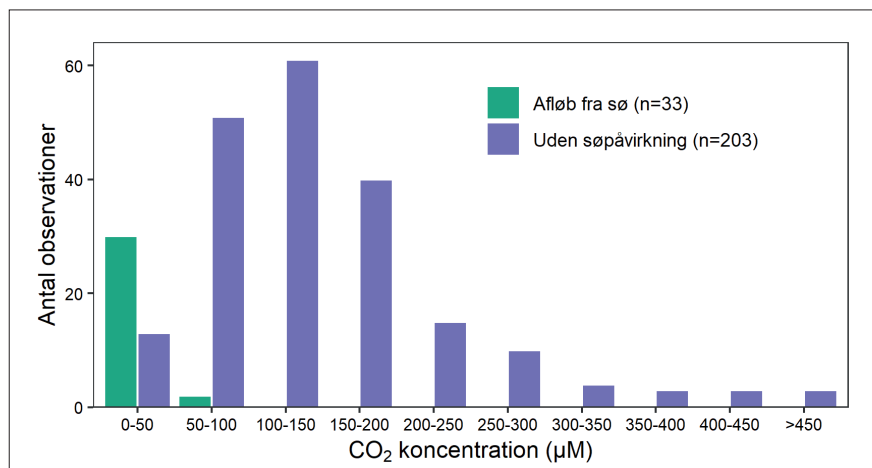
Tabet af CO_2 fra vandløbene til luften er lavere end det anslåede tab fra 100.000 hektar dyrkede og drænedede kulstofrige lavbunds-jorde langs vandløbene. Det samlede årlige tab fra de 100.000 hektar lavbund kan estimeres til 930.000 tons CO_2 -C /6/. Derfor! Opdyrking og dræning af 100.000 hektar kulstofrige lavbunds-jorde langs vandløbene, som tidligere ophobede kulstof, frigør skønsomt lige nu mere CO_2 end det "naturlige" tab fra hele vandløbsnetværket.

I virkeligheden er tabet fra drænedede lavbunds-jorde endnu højere, da mindst 171.000 hektar dyrkede lavbunds-jorde har et højt indhold af organisk kulstof. Samtidigt er tabet af kvælstof via afstrømning fra drænedede lavbunds-jorde meget højt, så det vil mindske forureningen af kystvandene markant at tage lavbunds-jorderne ud af drift og genetablere enge, moser og søer i stedet.

Vandløbsplanter biodiversitet

Omkring 170 arter af karplanter blev fundet på de mange undersøgte strækninger i vandløbene. Det samlede artsantal svarer til omkring 10% af den nationale artspulje /3/. Mest bemærkelsesværdige er 75 terrestriske vådbundsarter, der lejlighedsvis træffes under vand. De er hyppigst i bækkene og mere sparsomt til stede i de brede og dybe åer. Tilsammen står de for 13% af den samlede plantedækning i vandløbene.

Amfibiske planter, der under deres naturlige udvikling både vokser under vand og med luftkontakt, omfatter 45 arter. De vokser ofte under vand om vinteren eller ved høj vandstand, men har bladene i luft om sommeren



Figur 3. Frekvensfordeling af CO_2 koncentrationen i afløb fra søer og på strækninger i danske vandløb uden påvirkning fra søer. Sommermålinger /2/.

og i perioder med lav vandstand. De forekommer hyppigst på de smalle, lavvandede strækninger, hvor der er kort afstand til land og skuddene lettest opnår luftkontakt. Tilsammen for alle vandløb svarede de for 36% af den samlede plantedækning. De er altså næsten lige så hyppige som permanente undervandsplanter.

De permanente undervandsplanter omfatter omkring 50 arter med en samlet dækning på 51%, hvis Enkelt Pindsvineknop med en score på 17% indgår, idet den langt overvejende vokser under vand. I modsætning til de terrestriske og amfibiske arter, er permanente undervandsplanter hyppigst på de nederste brede og dybe strækninger i vandløbene. Planterne er tilpasset til den stærkere strøm henede og strækker sig helt op i lyset ved overfladen. Deres tilstedeværelse begrænses af mangel på lys på store dybder. Men hvis vandet er klart, som det i dag er tilfældet i de nedre dele af Gudenå, vokser de største undervandsplanter helt ned til 3 meters dybde. På de enkelte 100 meter lange strækninger voksede i gennemsnit 10 arter af alle vandplantetyper i bækkene og 12–13 arter i de større åer.

CO₂ til fotosyntese og vækst

Terrestriske og amfibiske arter udnytter CO₂ enten fra luften eller vandet. Permanente undervandsplanter kan ud over CO₂ udnytte bikarbonat i vandet, hvilket sikrer dem god fotosyntese både ved lave og høje CO₂-koncentrationer, blot bikarbonatindholdet er over 500 μM. I de undersøgte vandløb, upåvirkede af søer, var bikarbonatindholdet i gennemsnit 2400 μM og dermed 16 gange højere end CO₂-overmætningen på 147 μM.

I afløb fra søer ligger CO₂-indholdet tæt på luftligevægt om sommeren (ca. 18 μM). Terrestriske og amfibiske arters fotosyntese og vækst under vand er derfor nær nul, hvorimod de permanente undervandsplanter opnår 30–40% af deres maksimale fotosyntese og vokser udmærket ved alene at udnytte bikarbonat i vandet (Fig. 4). Imidlertid er langt de fleste strækninger i vandløbene markant overmættede med CO₂, og her har alle planter højere fotosyntese og vækst. Terrestriske og amfibiske arters gennemsnitlige fotosyntese under vand er dog fortsat markant lavere (henholdsvis 1,8 og 4,3) end de permanente vandplanters (15,0 mg O₂ per time per mg blad-tørvægt; Fig. 4). Væksthastigheden følger samme mønster.

Situationen ændrer sig, når de terrestriske og amfibiske arters blade har kontakt til luften. Herved øges deres fotosyntese og væksthastighed markant og når på niveau med eller

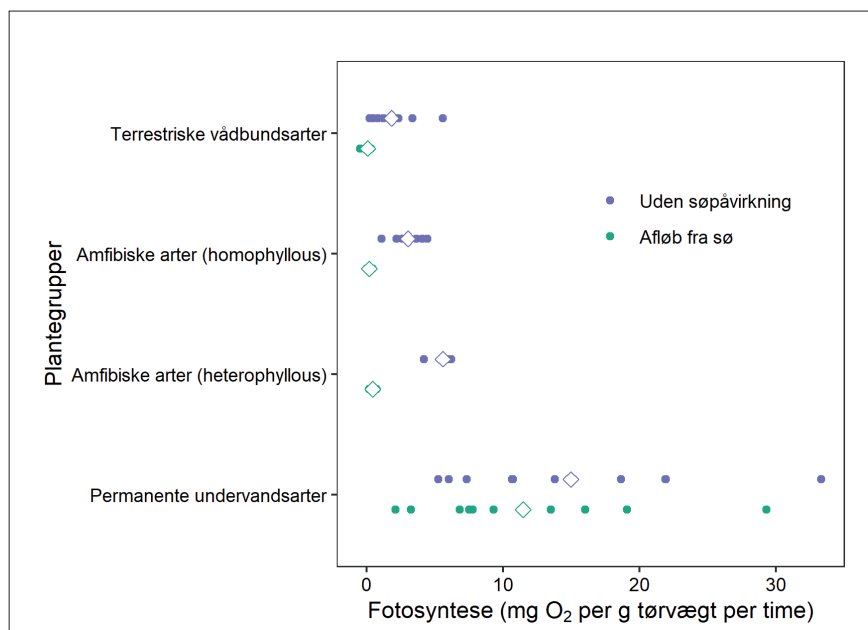


Foto 2. Bækken er kanaliseret og uddybet og har en monokultur af Enkelt Pindsvineknop. På de stejle velgødede bredder vokser Rørgæs meterhøjt. Foto Bjarne Moeslund.

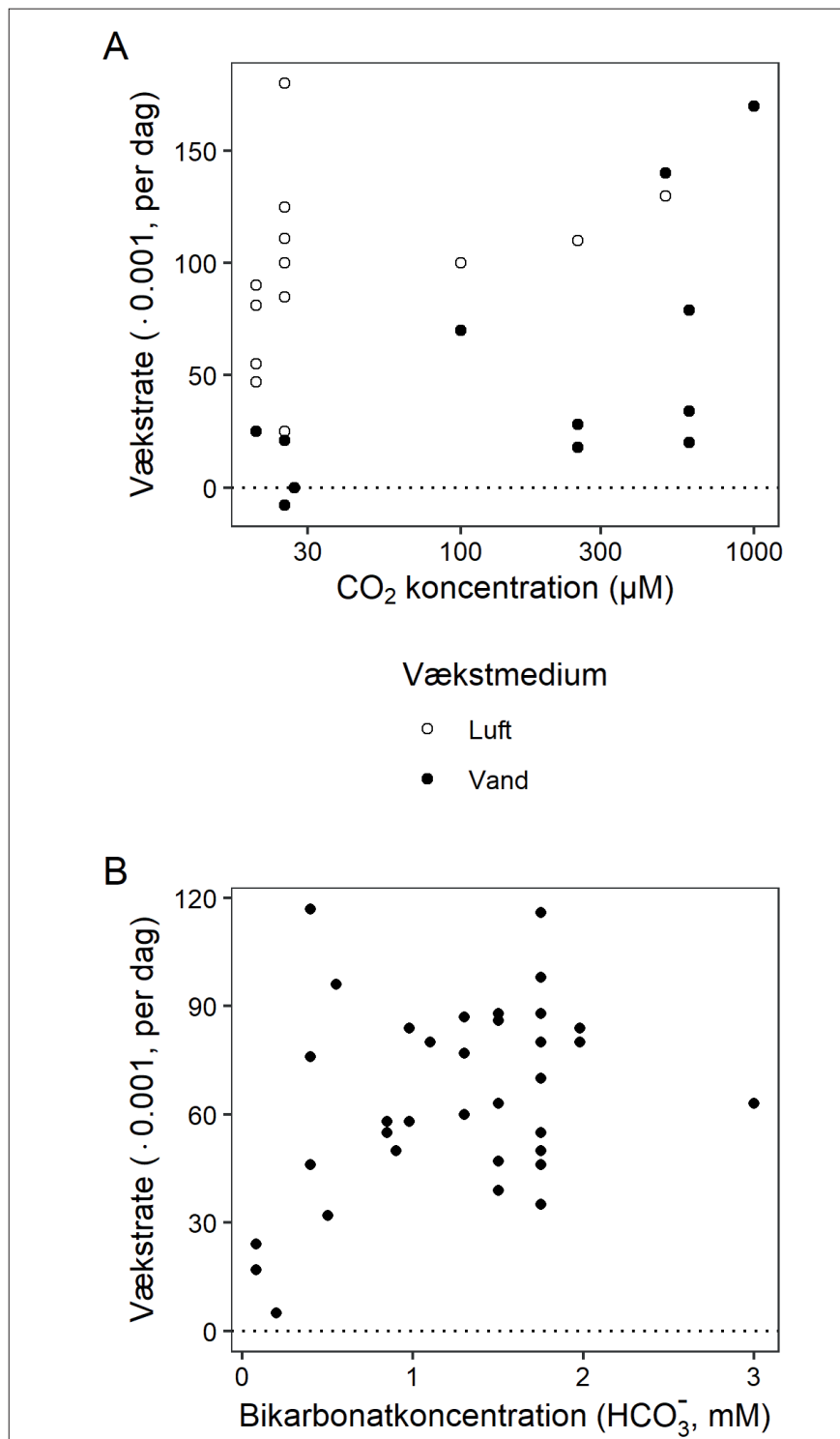
overstiger de permanente undervandsplanter (Fig. 5). Luftkontaktens store positive effekt skyldes, at CO₂-molekylerens egen bevægelse ved diffusion er 10.000 gange hurtigere i luft end i vand, og det stimulerer fotosyntesen og væksten. Amfibiske planter opnår typisk fire gange højere skudtæthed og skudmasse i bestande med luftkontakt sammenlignet med neddykkede nabobestande. Bestandene i luft nyder også fordel af at kunne blomstre, blive bestøvet og sætte frø, hvilket ikke sker for artsfællerne under vand. Men ved at vokse under vand har de amfibiske arter udvidet deres livsrum, og de overlever vinteren uden at fryse ned og kan brede sig op på land og strække

sig op i luft om foråret og sommeren. Under vand spredes planterne ganske effektivt med løsrivne skud, som flyder med strømmen, fanges af sten og grene på bunden og slår rod.

Der er en glidende overgang mellem opdelingen af arter som terrestriske og amfibiske vådbundplanter. Begge grupper tilpasser deres blade til livet i luft eller under vand, men tilpasningen er blot størst hos de amfibiske arter. Luftblade er beklædt med en vandafvisende tynd hinde (kutikula) og et vokslag, som nedsætter fordampningen, mens spalteåbninger på bladoverfladen kan åbne for at optage CO₂ om dagen til fotosyntesen og lukke om natten for at mindske fordampning.



Figur 4. Beregnet fotosyntese blandt terrestriske vådbundsarter, amfibiske arter og permanente undervandsarter i CO₂-fattigt vand i søafløb og i CO₂-rigt vand uden påvirkning fra søer /2/.



Figur 5. Væksthastighed per dag i eksperimenter med mange forskellige arter af vandløbsplanter. Panel A: Væksthastigheden af amfibiske CO₂ brugere som funktion af vandets CO₂ koncentration, planterne enten helt neddykkede (lukkede symboler) eller med luftkontakt (åbne symboler). Panel B: Væksthastigheden af permanente undervandsarter som funktion af vandets bikarbonatkoncentration /2/.

gen. Vandbladene mangler spalteåbninger og har tyndere kutikula og vokslag, hvorved CO₂ lettere optages fra vandet. Men for at optage tilstrækkeligt med CO₂ fra vandet er det fortsat afgørende, at vandet er overmættet med CO₂. Nogle amfibiske arter danner vandblade opdelt i tynde filamenter med en stor overflade, som bedre optager CO₂.

CO₂ – positivt for biodiversiteten, negativt for klimaet

Uden CO₂-overmætning ville mange amfibiske planter ikke kunne vokse i vandløbene. Vandløbenes CO₂ er altså med til at øge vandløbenes plantediversitet, men skaber afgasning til luften. Det høje CO₂-indhold fremmer fotosyntese og vækst af alle planter under

vand. For arter, begrænset til udelukkende at anvende CO₂, er overmætning i vandet eller forbindelse til CO₂ i luften en forudsætning for deres vækst og overlevelse. Derfor opnår vådbundsplanter generelt høj biodiversitet i vandløbene, som naturligt er rige på CO₂ og rummer gode muligheder for luftkontakt på det lave vand.

CO₂-afgasning fra vandløbene er både naturlig og uundgåelig. Lægges vandløbene i rør, frigøres CO₂ bare nedenfor rørene under vandets videre transport til havet. Man kan imidlertid stoppe en intensiv CO₂-kilde til luften fra jorderne langs vandløbene ved at vådlægge lavbundsarealerne og herved fremme genopbygningen af tørven i jorden. Vådlægningen åbner også mulighed for at genvinde noget af den biodiversitet i vådområder langs vandløbet, der forsvandt, da lavbundsstederne blev opdyrkede.

Forfatterne forsker i biodiversitet og klimagasser støttet af Det Frie Forskningsråd og Villum Fonden. Professor KAJ SAND-JENSEN (ksandjensen@bio.ku.dk), adjunkt LARS BÅSTRUP-SPOHR, postdoc KENNETH THORØ MARTINSEN, ph.d.-studerende MARTA BAUMANE og JOHAN EMIL KJÆR er ved Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet, lektor HANS HENRIK BRUUN er ved Økologi & Evolution, Københavns Universitet, lektor THEIS KRAGH og ph.d.-studerende JONAS STAGE SØ er ved Biologisk Institut, Syddansk Universitet og professor TENNA RIIS er ved Institut for Biologi, Aarhus Universitet.

Referencer

- /1/ Sand-Jensen K., T. Riis, J. E. Kjær & K.T. Martinsen 2022. High levels and variable carbon dioxide concentrations and emissions in lowland streams. Submitted.
- /2/ Sand-Jensen K, T. Riis & K.T. Martinsen 2022. Photosynthesis, growth and distribution of plants in lowland streams — a synthesis and new data analyses of 40 years research. Freshwater Biology, under trykning.
- /3/ Riis T., K. Sand-Jensen & S.E. Larsen 2001. Plant distribution and abundance in relation to physical conditions and location within stream systems. Hydrobiologia 448: 217-228.
- /4/ Højberg A.L. et al. 2015. National kvælstof model. Metode rapport, revideret september 2016. GEUS, DCE & DCA.
- /5/ Martinsen, K.T., K. Sand-Jensen & T. Kragh 2020. Kulstofbalancer og CO₂ afgasning i danske søer og vandløb. Vand & Jord 1: 37-40.
- /6/ Tiemeyer B. et al. 2020. A new methodology for organic soils in national greenhouse gas inventories: Data synthesis, derivation and application. Ecological Indicators 109: 105838.

LAR Potentiale: Nyt screeningsværktøj

LAR Potentiale er et nyt screeningsværktøj til vurdering af enkeltstående LAR-løsningers hydrologiske potentiale. Værktøjet er designet til at understøtte den indledende screeningsfase af byudviklingsprojekter, hvor der er mange faggrupper, organisationer og borgere involveret. Derfor er værktøjet enkelt og hurtigt at bruge, og resultaterne er nemme at kommunikere.

CAMILLA CHRISTIANE JAKOBSEN, SARA
MARIA LERER, PETER STEEN MIKKELSEN
& HJALTE JOMO DANIELSEN SØRUP

Det er populært at etablere Lokal Afledning af Regnvand (LAR). Det gælder både for private på mindre skala, og for bygherrer, kommuner og forsyninger på større skala, hvor det kan bruges som alternativ eller komplementær teknologi i forhold til traditionelle ledningssystemer /1/. Populariteten af at etablere LAR bundler i løsningernes multifunktionalitet /2/. LAR giver mulighed for at gøre regnvand synligt og bidrage til at gøre byer grønnere /3/. At etablere udbredt LAR er ofte også et billigere alternativ til udvidelse af det eksisterende ledningssystem /4/. LAR-løsninger nedsætter desuden belastningen på ledningssystemet, således at overløb til recipienter og energiforbruget på spildevandsanlægget potentielt kan reduceres /5/.

Udfordringer i dag

I dag initieres byudviklingsprojekter ofte ved at en række faggrupper og aktører involveres i planlægningen fra et meget tidligt tidspunkt. Det er lige fra arkitekter, ingeniører og kommunale myndigheder til beboergrupper. Det giver mulighed for at udforme projekter hvor alle aktører bliver hørt, men sætter også nogle overordnede rammer for projekter på et meget tidligt tidspunkt, som det kan være svært at bryde med senere. For LAR-projekter kan det meget vel resultere i suboptimal arealudnyttelse, eller løsninger hvor den hydrauliske/hydrologiske effekt er tvivlsom /6/.



Regnbede "in action" ved Peter Bangs Vej på Frederiksberg, august 2021.
Foto © Luca Vezzaro.

For at kvantificere den hydrauliske og hydrologiske effekt af LAR-løsninger kræves der ofte regulær dimensionering og modelle-ringsekspertise /6, 7/. Noget der oftest ikke lader sig gøre "on the fly" i den tidlige projektfase. Uden muligheden for at modellere LAR-løsningernes potentiale risikeres det, at der skal ændres væsentlig på designet i den senere projektfase, og derved negligeres den inkluderende proces fra den indledende fase. For at undgå dette er det væsentlig at designbeslutninger i den tidlige projektfase kvalificeres med viden fra modelsimulationer så risikoen for markante ændringer senere reduceres.

Nyt værktøj – nye muligheder

Værktøjet "LAR Potentiale" er et simpelt værktøj, der kan bruges til at vurdere den hydrologiske effekt af forskellige enkeltstående LAR-elementer. Værktøjet som prototype og ide blev præsenteret i Vand & Jord 2015 /8/. Denne gang præsenterer vi en færdigudviklet version, der er tilgængelig for download på klima-tilpasning.dk. Værktøjet kan hjælpe med at kvalificere den tidlige projektfase ved hurtigt og effektivt at estimere LAR-løsningers hydrologiske potentiale. Det kan bidrage til at give et hurtigt overslag på om givne LAR-løsninger overholder opstillede mål og



servicekrav. Indikatorerne der anvendes i værktøjet er:

1. Vandbalancen for oplandet (inkl. LAR-løsningen),
2. Gentagelsesperioden for overløb, og
3. Den kritiske regndybde for LAR-løsningerne (den regndybde der sandsynligvis vil generere overløb hvis den falder over oplandet).

Brugerfladen er implementeret i Excel og bygget op af globale- og lokale inputværdier, som styrer henholdsvis de parametre, som de forskellige LAR-elementer har til fælles (oplandets og LAR-elementets arealer, befæstelsesgrad og jordens hydrauliske ledningsevne), og de enkelte LAR-elementers designparametre

Figur 1. SCALGO Live kan hjælpe med at karakterisere oplandet til et LAR-element (baseret på den nationale højdemodel, SCALGO befæstelseskort og GEUS jordartskort).

Boks 1: Typer af LAR-løsninger inkluderet

Værktøjet giver brugeren mulighed for at se effekten af syv enkeltstående LAR-løsninger, som tillader nedsivning, forsinkelse og fordampning af regnvandet fra et område.

Nedsivningselementer

Ved nedsivningselementer er den primære ønskede funktion nedsivning af regnvand til jorden. Jordens hydrauliske ledningsevne dikterer derved funktionen. Værktøjet dækker over følgende nedsivningselementer:

Regnbed: En simpel beplantet fordybning i terrænet, der er designet til at modtage regnvand fra oplandet og lade det nedsive. Fordybningen i terrænet udgør også regnbedets magasineringsevne.

Faskine: En underjordisk kassette. Faskinen er designet således at regnvand ledes via et rør til elementet, hvorefter regnvandet kan opstuve og nedsive.

Regnbed med underliggende faskine & regnbed med underliggende faskine og hævet drosselledning: Opgraderinger af det simple regnbed idet en faskine, enten med eller uden drosselledning, tilkøbes. Derved opnås et større opmagasineringsevne i forhold til det areal der anvendes. Mellem regnbedet og faskinen er der filtermuld med en høj hydraulisk ledningsevne.

Regnbedet med faskine beror på nedsivning som primært greb, og derved egner denne type sig til lokaliteter med gode nedsivningsforhold.

Regnbed med faskine og hævet drosselledning bruges i situationer hvor nedsivningsforholdene er utilstrækkelige, og tilføjer muligheden for at have et droslet overløb, til f.eks. et kloaksystem.

Forsinkelselementer

Ved midlertidigt at opmagasinere regnvandet kan bortledningen af vandet ske med forsinkelse gennem en drosselledning. Forsinkelselementer reducerer spidsbelastningen til recipient/kloaksystem.

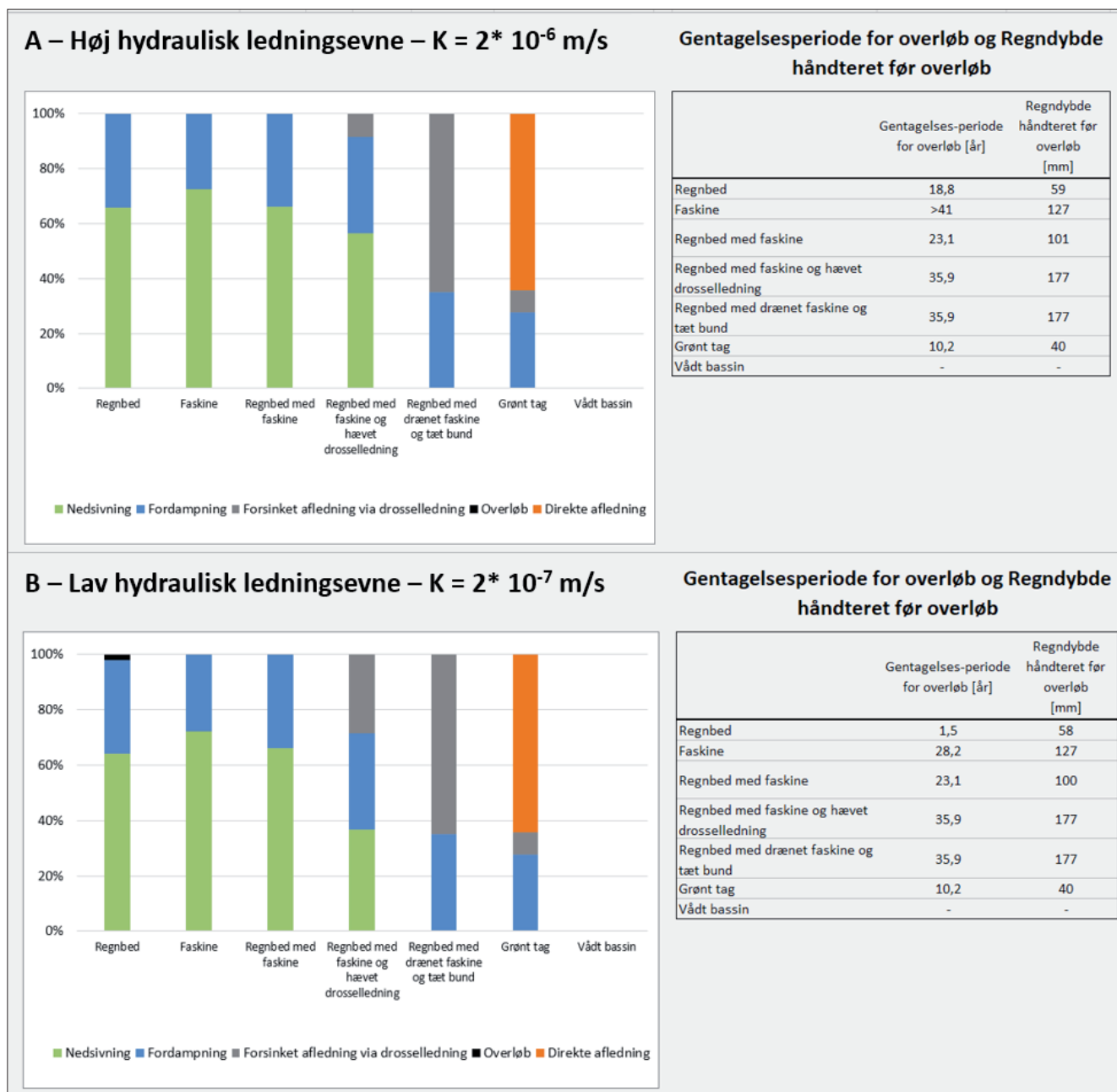
Regnbed med faskine, tæt bund og drosselledning: Hvis nedsivningsforholdene er meget dårlige (f.eks. i leret jord) eller hvis nedsivning helt skal undgås (pga. f.eks. højt grundvandsspejl) bruges denne løsning som lokal opmagasinering med kontrolleret droslet afløb til f.eks. kloaksystemet.

Vådt bassin: Et bassin med permanent vandspejl, der er designet til at modtage overfladeafstrømning fra et opland og langsomt lede vandet videre i systemet.

Fordampningselement

Værktøjet dækker over ét fordampningselement:

Grønt tag: Taget dækkes af et vækstmedium der holder en vis mængde regnvand tilbage, og et underliggende drænlag der leder overskydende regnvand væk fra taget. Grønne tage modtager som det eneste LAR-element ikke vand fra et opstrøms område, men blot tagets eget areal.



Figur 2. Resultater for det hydrologiske potentiale for hver LAR-løsning i de to scenarier A og B. Søjlediagrammet illustrerer den årlige vandbalance. Tabellen viser gentagelsesperioden for overløb og regndybden som hvert element kan håndtere før der sker overløb.

(f.eks. dybden af de forskellige lag i en løsning med faskine under et regnbed). Som bruger kan man skrue på parametrene inden for et angivet gyldighedsområde, der repræsenterer realistiske muligheder.

Præcision er ikke den afgørende faktor i den tidlige fase, og derved heller ikke i dette værktøj. Derimod er det udviklet til at være enkelt, hurtigt og nemt at bruge, samtidig med at det giver et realistisk billede af LAR-potentialet.

Eksempel på anvendelse

Som eksempel på hvordan LAR Potentiale kan bruges, vil vi tage udgangspunkt i en villavej, hvor der ønskes etableret vejbede til håndte-

ring af vejvandet (som samtidig kan bidrage med fartreduktion og forskønnelse). Figur 1 viser hvordan regnbedet kan tegnes ind i et værktøj som SCALGO Live, der kan hjælpe med at identificere oplandet til bedet (ud fra terrænet) samt hvilken andel af oplandet der består af vejflade (befæstelsesgraden). Der er tegnet et bed med et areal på 8,7 m², og SCALGO Live beregner at oplandet er ca. 222 m² med en befæstelsesgrad på 35%. Ifølge opslag i GEUS jordartskort er den altdominerende jordart i oplandet ler. Ler kan have meget varieret hydraulisk ledningsevne, og der bør udføres målinger på stedet for at fastsætte den lokale nedsivningsevne. Indtil da, bør screeningen udføres med både et optimi-

stisk scenarie, f.eks. $2 * 10^{-6}$ m/s, og et pessimistisk scenarie, f.eks. $2 * 10^{-7}$ m/s.

Ved indtastning af disse globale parametre i regnearket, uden at ændre på standarddesignparametrene for de forskellige LAR-elementer, fremkommer resultatoversigterne som vist i figur 2. Det ses, at i det optimistiske scenarie vil et simpelt regnbed forventes kun at løbe over ca. hver 19 år, og over 60% af årsnedbøren over oplandet vil nedsive, mens det resterende vil fordampe. I det pessimistiske scenarie derimod vil et simpelt regnbed løbe over ca. hvert 1,5 år, men ved at tilføje en faskine under bedet kan dette forbedres markant (til ca. 23 år).

Ud fra søjlediagrammet (Fig. 2) ses det, at

Boks 2: Bemærkninger til dimensioner og afløbstal

For at gøre de forskellige typer af regnbed med faskine sammenlignelige med det simple regnbed og med en simpel faskine, benyttes de samme dybder for overfladefordybningen (300 mm), filtermulden (500 mm) og faskinen (1000 mm). Der anvendes et afløbstal på 5 l/s/ha, og en drosselledning hævet 500 mm fra faskinens bund for regnbed med faskine og drosselledning, hvor der også finder nedsvivning sted. Givet det areal som LAR-løsningen kan optage, vil det våde bassin have et muligt volumen på 2.5-9 m³. Dette er ikke en meningsfyldt løsning i den givne situation, og den er derfor ikke medtaget.

den årlige fordampning for alle elementer er 25-28%. Fordampningen sker ikke primært fra selve LAR-anlæggene, men er i høj grad en følge af det initialtab der fordamper fra hele oplandet. For nedsvivningselementerne vil der årligt nedsvive 63-74% af regnvandet. For regnbed med faskine og hævet drossel er mængden der nedsviver (ca. 63%) og mængden der afledes med forsinkelse (ca. 6%) tilsammen ca. hvad vi ser for det tilsvarende element kun med nedsvivning. For alle LAR-løsningerne ud over det simple regnbed er gentagelsesperioden for overløb høj, og derved mindsker elementerne spidsbelastningen på afløbssystemet. For alle LAR-elementerne udgør overløbsvolumenet en forsvindende lille procentdel af den årlige vandbalance (0,5-1%).

Et grønt tag er ikke en relevant LAR-løsning i dette eksempel, men lad os ikke desto mindre se på hvad effekten af at anlægge et grønt tag med en tykkelse på 60 mm og samme areal (8,7 m²) ville være. Her ses det, at hovedparten af regnvandet stadig vil aflede direkte til afløbssystemet, og kun en meget lille del (8%) afledes med forsinkelse.

Afsluttende bemærkninger

Værktøjet giver brugeren mulighed for i den tidlige designfase af byudvikling, at lave hurtige kvantitative overslag på LAR-anlægs forventede funktion. Dette giver de bedste

forudsætninger for fra start af at få opstillet realistiske rammer for, og forventninger til, hvad LAR-anlægs effekt i et givet udviklingsprojekt er.

Værktøjet er udviklet til at beregne effekten af enkeltelementer, og det skal derfor bruges med omtanke og sammen med GIS-baserede værktøjer, som f.eks. SCALGO Live, for at sikre sig at faldforholdene muliggør at regnvandet kan strømme på terræn mod de områder man udser til LAR. Tilsvarende kan værktøjet bruges til screening af større oplande med mange ensartede LAR-elementer, så længe elementerne kan placeres fornuftigt så de har sammenlignelige andele af det samlede opland /9/.

Den fulde tekniske dokumentation af værktøjet og den underliggende database er dokumenteret i Lerer et al. /10/ og selve værktøjet kan tilgås på klimatilpasning.dk.

Referencer

- /1/ M. Faragò, S. Brudler, B. Godskesen og M. Rygaard. 2019. An eco-efficiency evaluation of community-scale rainwater and stormwater harvesting in Aarhus, Denmark. *J. Cleaner Production*, 219:601–612.
- /2/ C. F. Fratini, G.D. Geldof, J. Kluck og P.S. Mikkelsen. 2012. Three Points Approach (3PA) for urban flood risk management: A tool to support climate change adaptation through transdisciplinarity and multifunctionality. *Urban Water J.* 9(5):317–331.

- /3/ S.M. Lerer, K. Arnbjerg-Nielsen og P.S. Mikkelsen. 2015. A Mapping of Tools for Informing Water Sensitive Urban Design Planning Decisions—Questions, Aspects and Context Sensitivity. *Water* 7(3):993–1012.
- /4/ Københavns Kommune. 2012. Københavns Kommunes Skybrudsplan 2012, p. 27.
- /5/ H.J.D. Sørup, S.M. Lerer, K. Arnbjerg-Nielsen, P.S. Mikkelsen og M. Rygaard. 2016. Efficiency of stormwater control measures for combined sewer retrofitting under varying rain conditions: Quantifying the Three Points Approach (3PA). *Env. Sci. and Policy*, 63:19–26.
- /6/ J.S. Andersen, S.M. Lerer, A. Backhaus, M.B. Jensen og H.J.D. Sørup. 2017. Characteristic Rain Events: A Methodology for Improving the Amenity Value of Stormwater Control Measures. *Sustainability* 9(10):1793.
- /7/ S.M. Lerer, F. Righetti, T. Rozario og P.S. Mikkelsen. 2017. Integrated hydrological model-based assessment of stormwater management scenarios in Copenhagen's first climate resilient neighbourhood using the three-point approach. *Water* 9(11).
- /8/ S.M. Lerer, M.A. Vester, H.J.D. Sørup, K. Arnbjerg-Nielsen og P.S. Mikkelsen. 2015. Værktøj til vurdering af LAR-potentiale. *Vand & Jord*, 22(4):127–130.
- /9/ H.J.D. Sørup og S.M. Lerer. 2021. Principles for Distributing Infiltration-Based Stormwater Control Measures in Series. *Water* 13(8):1029.
- /10/ S.M. Lerer et al., "Constructing an inventory for fast screening of stormwater control measures hydraulic and hydrologic performances," under udarbejdelse med henblik på udgivelse i Blue-Green Systems.

CAMILLA CHRISTIANE JAKOBSEN (ccja@ramboll.dk) er rådgiver hos Rambøll

SARA MARIA LERER (sara@scalgo.com) er markedsansvarlig hos SCALGO

PETER STEEN MIKKELSEN (psmi@env.dtu.dk) er professor på DTU Miljø

HJALTE JOMO DANIELSEN SØRUP (hjds@env.dtu.dk) er Lektor på DTU Miljø

Kortlægning af kilder til diffust fosfortab

Mens der er nogenlunde velunderbygget viden om det samlede fosfortab til vandmiljøet, har virkemiddelsindsatsen for at reducere fosfortabet været begrænset af en stor usikkerhed omkring omfanget af fosfortab fra forskellige tabsveje samt den geografiske fordeling heraf. Et stort dansk projekt har søgt at råde bod på dette.

HANS ESTRUP ANDERSEN &
GOSWIN HECKRATH

Gennem tre år har forskere fra Aarhus og Københavns universiteter arbejdet på at kortlægge og kvantificere kilderne til fosfortabet fra det åbne land, det såkaldt diffuse bidrag (Boks 1). Skønt der stadig er betydelige videnshuller, har arbejdet resulteret i et øget kendskab til de enkelte fosfortabsveje og i en kildeopsplitning, der blandt andet belyser landbrugets rolle for fosfortab.

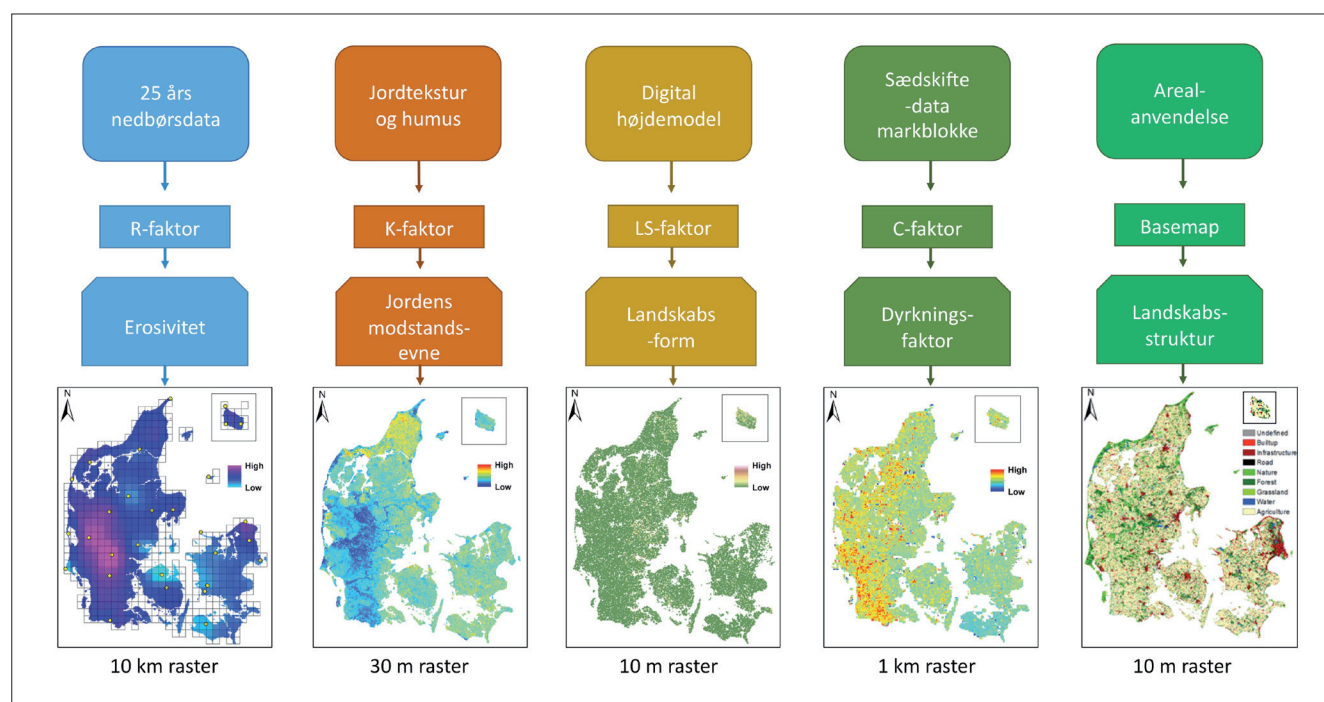
I studiet har vi fokuseret på de fosfortabsveje fra landbrugsjord, der blev betragtet som

de mest betydende: vanderosion, udvaskning, tab gennem jordens makroporer, tab fra dyrkede lavbundslande og erosion af vandløbsbrinker (Boks 1). Vi har suppleret eksisterende data med omfattende nye dataindsamlinger, udvikling af modeller og landsdækkende kortlægninger. En række af de nye kort er tilgængelige via MiljøGIS. I artiklen gennemgår vi kort de vigtigste resultater af studiet og henviser i øvrigt til den dansksprogede rapport /1/.

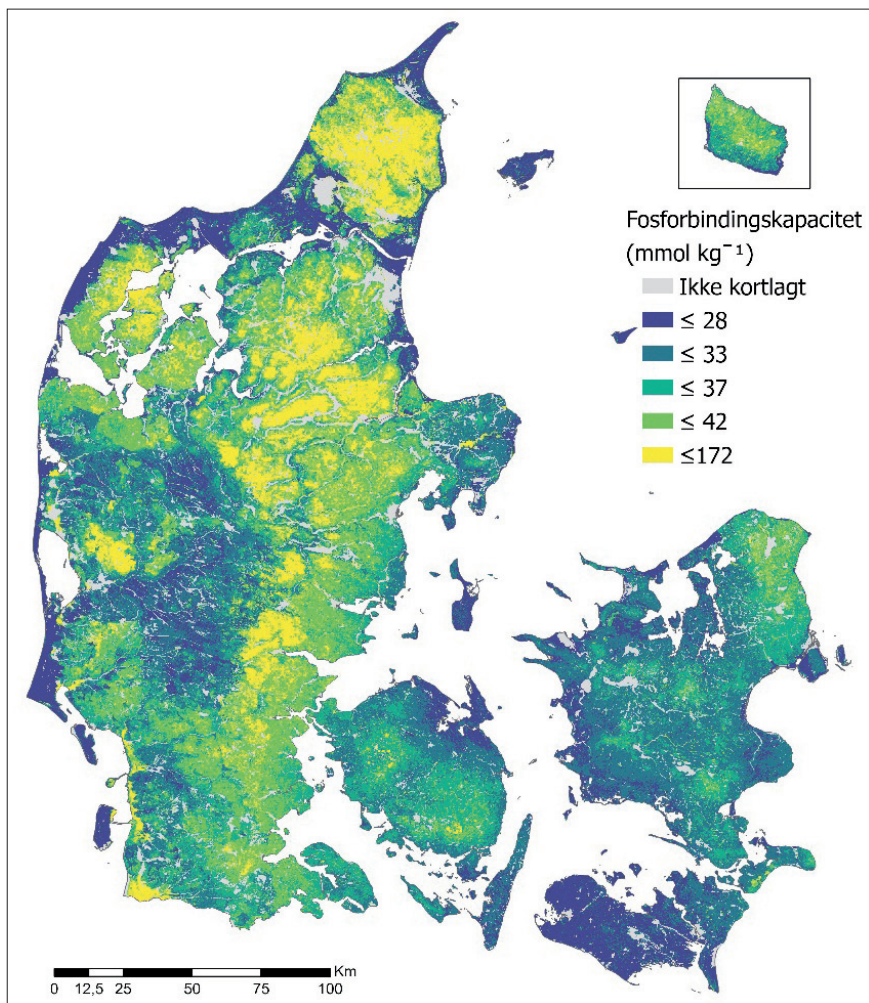
Fosforindhold i jorden

Siden år 1900 har import af fosforholdig handelsgødning samt foder bidraget til en akkumulering af store mængder fosfor i land-

brugsjorden ud over det naturlige indhold. Gennemsnitligt er ophobningen af fosfor i landbrugsjorden på mere end $1400 \text{ kg P ha}^{-1}$ /2/. Kendskab til fosforindholdet på den enkelte mark er naturligvis af stor betydning ved en estimering af fosfortabet fra marken uanset hvordan fosfor tabes. Hvert år får danske landmænd foretaget måling af fosforindholdet i ca. 14.000 – 28.000 marker. Disse data er imidlertid ikke tilgængelige, og den rumlige fordeling af fosforindholdet i jorden er derfor kortlagt af rådgivningsfirmaet ConTerra med en model, der bygger på blandt andet historiske fosforbalancer /3/. Der vil således være en betydelig usikkerhed på estimerne af lokale fosforindhold.



Figur 1. Kort over inputfaktorer brugt i WaTEM modelleringen.



Figur 2. Den kortlagte fosforbindingskapacitet i topjorden (0 – 25 cm). Organisk lavbundsjord (>6% organisk kulstof) er ikke kortlagt.

Vanderosion

Selvom store vanderosionshændelser er forholdsvist sjældne i Danmark pga. begrænset højdeforskelle i landskabet og moderat nedbørsintensitet forekommer erosion i alle landsdele. Erosion forekommer som regel i vinterhalvåret efter perioder med vedvarende regn eller tøjbrud eller om forår og sensommer ved skybrud. Vanderosion og sedimenttilførsel til overfladevand er kortlagt med WaTEM-modellen med en rumlig opløsning på 10 m (Fig. 1). Modellen inddrager detaljerede landskabsdata herunder barrierer mod overfladestrømning /4/. Ved at kombinere jordtabet på markerne med estimater af fosforindholdet i den eroderede jord er der beregnet fosforerosion fra mark til vandområder. På landsniveau er det årlige fosfortab med erosion opgjort til 56 ton P år⁻¹ med et 95 % konfidensinterval på 53 – 58 ton P år⁻¹.

Udvaskning af fosfor gennem jorden til drænen

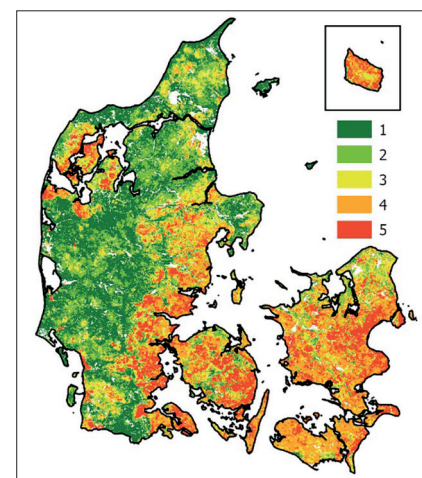
Fosfor bindes normalt hårdt til specifikke jordminerale, der betegnes som jordens fosforbindingskompleks. Langt hovedparten

af den fosfor, som siden år 1900 er tilført i overskud til landbrugsjorden, befinder sig stadig i den øverste meter, også kaldet rodzonen. Ved stigende mætningsgrad af jordens fosforbindingskompleks bindes fosfor gradvist svagere, og andelen af fosfor, der kan frigives til jordvandet som opløst fosfor og nedvaskes gennem jorden, stiger. Bindingskapaciteten for fosfor i jord er overvejende en naturgiven faktor, der varierer betydeligt mellem forskellige jordtyper og med dybden. Fosfor bindes til forskellige mineraler i jord, men lavt-krySTALLINSKE jern- og aluminiumoxider anses for langt de vigtigste bindingskomponenter under danske forhold. For at beskrive bindingskapaciteten blev 4747 jordprøver fra 1623 lokaliteter analyseret. Ved hjælp af statistiske maskinlæringsteknikker og under inddragelse af talrige landsdækkende oplysninger om klima, geologi og landskab er der på grundlag af jordanalyserne foretaget en landsdækkende kortlægning af fosforbindingskapaciteten i fire dybder. Kortlægningen er foretaget med en rumlig opløsning på 30,4 m (Fig. 2). På baggrund af ConTerras kortlægning af fosforindholdet i topjorden og den kortlagte

bindingskapacitet har vi opsat en model for fosforudvaskning, der tager udgangspunkt i den hollandske PLEASE-model /5/ modificeret til den danske hydrologi. Modellen er baseret på kendt fosforkinetik, hvor modellens parametre vedrørende fosforbinding er bestemt på baggrund af analyser af 363 danske jordprøver. Et vigtigt input til modellen er fosforindholdet i den enkelte mark. Som nævnt er størrelsen heraf behæftet med en betydelig usikkerhed, som reproduceres i modelestimerne. Den gennemsnitlige, årlige transport af opløst fosfor i drænedede områder blev beregnet til 0,043 kg P ha⁻¹ og i alt på landsplan 59 ton P med et 95 % konfidensinterval på 23 - 94 ton P.

Tab gennem makroporer til drænen

Forekomst af makroporer er undersøgt på ca. 1300 udtagne, uforstyrrede jordkolonner. På basis heraf er der udviklet funktioner, der kan forudsige forekomst af makroporer på grundlag af den eksisterende kortlægning af jordens tekstur. For at afgøre hvorvidt makroporer bidrager aktivt til vandtransporten, er der suppleret med en hydrologisk modellering på mere end 34.000 typeprofiler. Kortlægningen af makroporer er kombineret med en kortlægning af drænedede områder /6/ samt med nye modelestimer af den forventede, årlige afstrømning i drænsystemerne opdelt på et makropore- og et jordmatrixstrømningsbidrag /1/. Risikoen for makroporestrømning fremgår af kortlægningen i figur 3. Der mangler endnu en model til at beskrive fosfortransport via makroporer. For at give et overordnet estimat på betydningen af denne transportvej har vi på grundlag af målinger i 43 drænen anslået, at en koncentration på 0,14 mg P l⁻¹ er et realistisk bud på en gennemsnitlig fosforkon-



Figur 3. Klasseinddelt kort for risiko for makroporeafstrømning. Klasse 4 og 5 har høj risiko, klasse 2 og 3 har middel risiko og klasse 1 har ingen risiko for makroporeafstrømning.

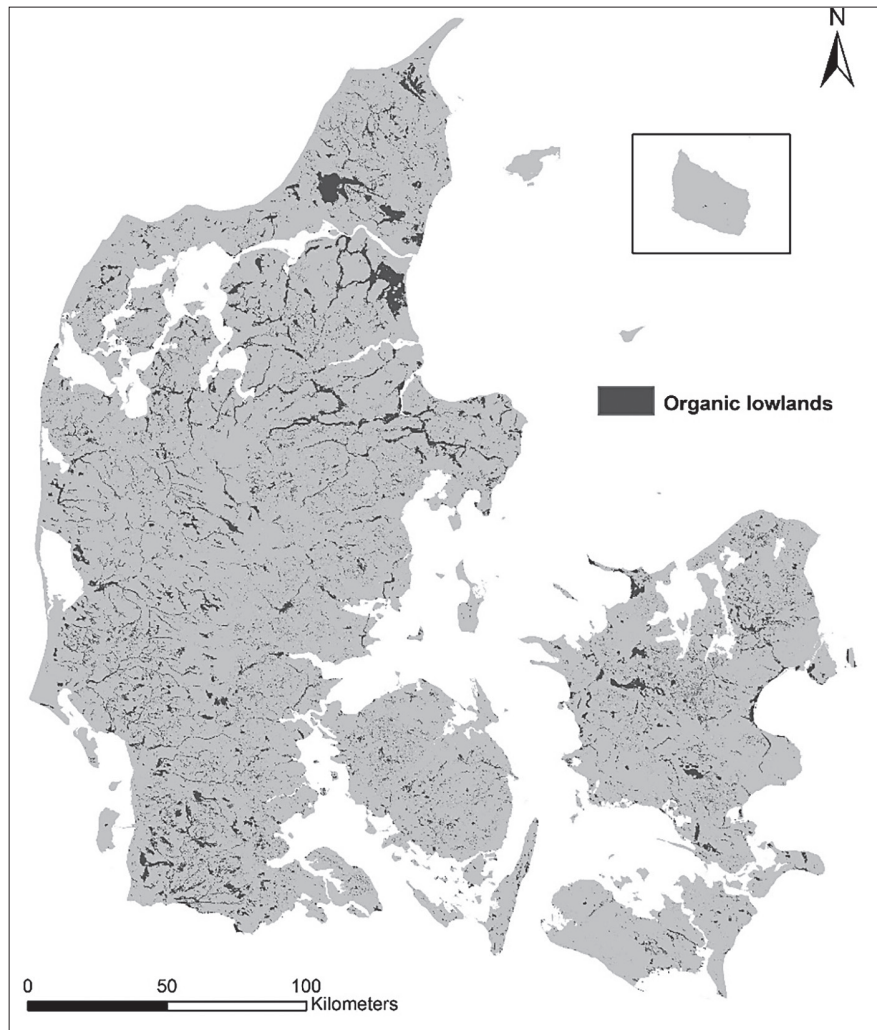
centration ved makroporestrømning. På baggrund heraf kan det årlige fosfortab gennem makroporer til dræn opgøres til 162 ton P med et 95 % konfidensinterval på 138 – 191 ton P.

Tab fra dyrkede lavbundslande

Dyrkede lavbundslande med et kulstofindhold større end 6% udgør ca. 1714 km² og er ofte kendetegnet ved høje fosfortab. Figur 4 viser placeringen af disse jorde. SINKS-databasen ved Institut for Agroøkologi, AU, indeholder data fra 8830 prøvepunkter i organiske lavbundslande over hele Danmark herunder bl.a. indholdet af oxalatekstraherbart jern, aluminium og fosfor, som har en betydning for mobilisering af fosfor. Ved hjælp af maskinlæringsteknikker har vi omsat disse geokemiske data til en landsdækkende kortlægning. Trods omfattende laboratorieanalyser af prøver fra 47 lavbundslande dækkende en stor gradient i karakteristika lykkedes det dog ikke at udvikle en brugbar model til estimering af fosformobiliseringspotentialet, som kunne drives af de landsdækkende data. I mangel af en model har vi som for makroporer set på de indtil videre få målinger af fosfortab fra dyrkede lavbundslande, der findes. Målingerne viser, at der gennemsnitligt tabes 1,9 kg P ha⁻¹ årligt. Ganges denne tabsrate på det kortlagte areal med dyrkede lavbundslande udgør tabet samlet set 326 ton P årligt med et 95% konfidensinterval på 69 – 515 ton P.

Brinkerosion

På grundlag af to datasæt over målinger af brinkerosion i hhv. oplandet til Odense Fjord (36 vandløbsstrækninger) og oplandet til Skjern Å (12 vandløbsstrækninger) er der udviklet en simpel empirisk model. Modeludviklingen var begrænset af, at de forklarende modelparametre efterfølgende skulle kunne kortlægges landsdækkende. Som en konsekvens heraf indgår kun vandløbsbredde, brinkhøjde og brinkvegetation i modellen. Modellen, der beskriver tab af sediment, er suppleret af et omfattende måleprogram til bestemmelse af fosforindholdet i vandløbsbrinkerne. I alt 879 prøver er indsamlet fra 334 lokaliteter landsdækkende. Vi fandt, at fosforindholdet i brinkerne varierer regionalt, men gennemsnitligt er højt – på niveau med eller over niveauet i dyrkede jorde (Tabel 1). Det faktum, at fosforindholdet i brinkerne generelt er højt over hele den undersøgte dybde i modsætning til de dyrkede og gødgede jorde, indikerer, at fosfor i brinkerne helt overvejende er naturligt forekommende. Modellen i kombination med det målte fosforindhold



Figur 4. Fordeling af 1714 km² dyrkede lavbundslande med et organisk kulstofindhold > 6%.

i brinkmaterialet estimerer et samlet tab ved brinkerosion på 644 ton P årligt med et 95 % konfidensinterval på 422 – 1373 ton P.

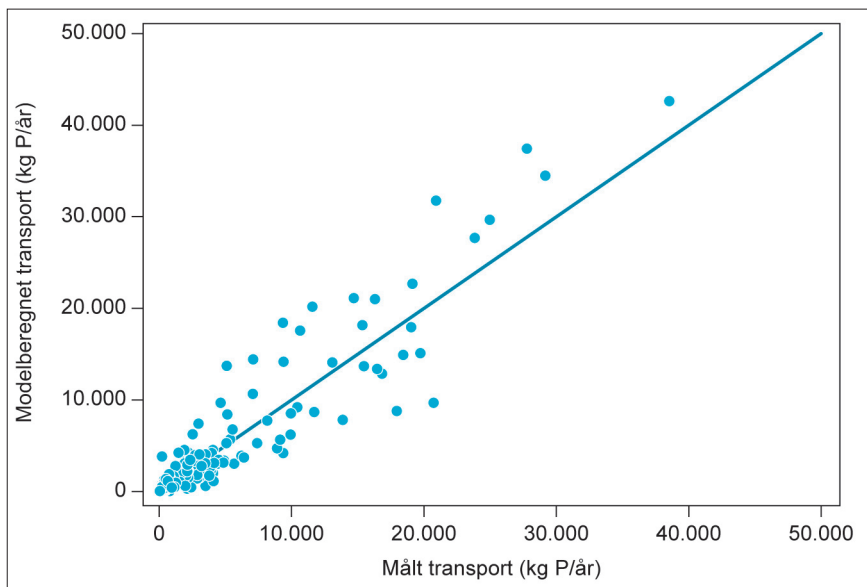
Vurdering af beregningerne

Den samlede fosfortransport fra de mest betydende diffuse kilder: vanderosion, udvaskning, tab gennem makroporer, tab fra dyrkede lavbundslande og erosion af vandløbsbrinker, som er modelberegnet eller estimeret med en række uafhængige metoder i det ovenstående, er sammenholdt med den målte diffuse fosfortransport ved en række vandløbsstationer (Fig. 5). Data fra 263 stationer med minimum

5 års målinger i perioden 2000-2018 er anvendt. Bidrag fra spredt bebyggelse og punktkilder er fratrukket den målte fosfortransport. For de enkelte oplande kan der være tale om, at modelberegningen over- eller underestimerer den målte fosfortransport. En likelihood ratio-test viser imidlertid, at der for det samlede datamateriale ikke er nogen statistisk signifikant forskel på målt og modelberegnet diffus fosfortransport og ingen bias. Foretages sammenligningen mellem modelberegnet og målt transport på arealvægtede værdier, dvs. kg fosfor ha⁻¹, fås en lidt dårligere sammenhæng end den her viste.

Tabel 1. Indhold af totalfosfor (TP) i vandløbsbrinker og dyrkede jorde i fire dybdeintervaller. Data fra de dyrkede jorde stammer fra Kvadratnettet. Antallet af jordprøver er angivet i parentes.

Dybdeinterval	Vandløbsbrinker	Dyrkede jorde
	mg TP kg ⁻¹	mg TP kg ⁻¹
0 – 25 cm	644 (185)	562 (337)
25 – 50 cm	529 (185)	423 (336)
50 – 75 cm	547 (180)	311 (226)
75 – 100 cm	526 (180)	265 (224)



Figur 5. Modelberegnet diffus transport af total-fosfor mod målt diffus transport af total-fosfor opgjort for 263 oplande. 1:1-linjen er vist med stiplede signatur.

Kildeopsplitning af det samlede diffuse fosfortab

Det har ikke inden for projektets rammer været muligt at kvantificere bidrag fra overfladisk afstrømning, vinderosion og grundvand. For så vidt angår vinderosion og overfladisk afstrømning, så anses disse bidrag dog for mindre kvantitativt betydningsfulde for fosfortab. Bidrag fra de tre kilder er estimeret på baggrund af /7/. I tabel 2 er fremvist en samlet kildeopsplitning af det diffuse fosfortab underopdelt på et landbrugsbidrag og et baggrundsbidrag, hvor sidstnævnte helt overvejende udgøres af fosfortab via brinkerose samt et formodentlig mindre bidrag via grundvand fra udyrkede arealer. Den samlede fosfortilledning til ferskvand, dvs. bidrag fra både diffuse kilder, punktkilder og fra spredt

bebyggelse, udgør ca. 2200 tons fosfor per år (gennemsnit 2014 – 2018/1). Punktkilder udgør ca. 700 ton fosfor og spredt bebyggelse ca. 80 ton fosfor. Landbrugsbidraget udgør altså ca. en tredjedel af det samlede fosfortab, baggrundsbidraget udgør en anden tredjedel og punktkilder og spredt bebyggelse den sidste tredjedel.

Perspektivering

Tre processer vedrørende fosfortab dominerer på landsplan: makroporetransport til drænen, fosfortab fra lavbundsjord og fosfortab ved brinkerose. Kortlægningerne for alle disse tabsprocesser er behæftet med store usikkerheder, dels fordi vi mangler viden om, hvordan vi kan generalisere vores procesforståelse til en tabsmodellering på landskabs-

niveau, og dels fordi vi mangler relevante data såvel til modelparameterisering som -kalibrering. Det er derfor afgørende at udvide muligheden for at modellere disse processer både lokalt og regionalt, hvis effekten af en lokalt målrettet virkemiddelindsats skal kunne kvantificeres.

Referencer

- /1/ Andersen, H. E. & Heckrath, G. (redaktører). 2020. Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 340 s. - Videnskabelig rapport nr. 397. <http://dce2.au.dk/pub/SR397.pdf>
- /2/ Rubæk, G.H., Kristensen, K., Olesen, S.E., Østergaard, H.S., Heckrath, G. 2013. Phosphorus accumulation and spatial distribution in agricultural soils in Denmark. *Geoderma* 209–210:241–250.
- /3/ ConTerra. 2020. Notat - Udvikling af GIS-kort over estimeret fosfortal i landbrugsjord. 34 s.
- /4/ Onnen, N., Heckrath, G., Olsen, P., Greve, M., Pulens, J.W.M., Kronvang, B., Van Oost, K. 2019. Distributed water erosion modelling at fine spatial resolution across Denmark. *Geomorphology* 342:150-162.
- /5/ Schoumans, O.F., C. Van der Salm, and P. Groenendijk. 2013. PLEASE: A simple model to determine P losses by leaching. *Soil Use Manag.* 29(SUPPL.1):138–146.
- /6/ Møller, A.B., A. Beucher, B. V. Iversen, and M.H. Greve. 2018. Predicting artificially drained areas by means of a selective model ensemble. *Geoderma* 320:30–42
- /7/ Poulsen, H.D., Rubæk, G.H. (red.) 2005. Fosfor i dansk landbrug. DJF rapport Husdyrbrug nr. 68. Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet. 211 s.

HANS ESTRUP ANDERSEN (hea@ecos.au.dk) er seniorforsker ved Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet.
GOSWIN HECKRATH (goswin.heckrath@agro.au.dk) er lektor ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.

Tabel 2. Samlet kildeopsplitning af landbrugsbidraget og af det samlede diffuse tab på landsplan, ton fosfor per år.

Bidrag	Metode	Estimat	Interval
		ton P år ⁻¹	ton P år ⁻¹
Vand-erosion	Model	56	53-58
Vind-erosion	Poulsen & Rubæk, 2005	10	5-15
Overfladisk afstrømning	Poulsen & Rubæk, 2005	10	5-15
Matrice-udvaskning	Model	59	23-94
Makropore-tab	Model + skøn	162	138-191
Dyrket lavbundsjord	Anvendt tabsrate = 1,9 kg P/ha; areal = 1716 km ²	326	69-515
Grundvand fra ikke-drænede marker	Poulsen & Rubæk, 2005	60	
Landbrugsbidrag		683	293-888
Brinkerose (netto)	Model	644	422-1373
Grundvand fra udyrkede arealer		?	?
Diffust bidrag (landbrug og baggrund)		1327	715-2261

Boks 1. Kilder til fosfortab

Det samlede fosfortab kan opdeles i bidrag fra hhv. punktkilder og diffuse kilder. Punktkilder omfatter bidrag fra rensningsanlæg, regnvandsbetingede udløb, industri og bebyggelse uden tilslutning til central spildevandsrensning. De diffuse kilder kan opdeles i følgende:

Vinderosion	Ved vinderosion blæses jordpartikler fra de såkaldte afblæsningsflader til aflejringsområder, herunder vandløb og søer. Vinden er den basale faktor, der starter vinderosion eventuelt i samspil med temperaturen, der medvirker til at udtørre jordoverfladen og gøre den mere sårbar. Fosfor transporteres bundet til jordpartikler.
Overfladisk afstrømning	Når nedbøren overskrider jordens evne til at infiltrere vand, dannes vand på jordoverfladen, som afhængigt af topografien kan afstrømme overfladisk. Fosfor, der er bundet i det øverste jordlag kan tabes med det overfladisk afstrømmende vand som opløst fosfor eller bundet til små jordpartikler over længere distancer.
Vanderosion	Når hastigheden af det overfladisk strømmende vand stiger, kan det rive jordpartikler løs, som skylles med vandet, hvorefter det deponeres i lavninger og vandløbsbræmmer eller transporteres videre til vandløb og søer. Der er en glidende overgang fra overfladisk afstrømning. Fosfor transporteres overvejende bundet til jordpartikler.
Udvaskning gennem jordprofilen (matriceudvaskning)	Ved stigende mætningsgrad af jordens fosforbindingskompleks, som især består af aluminium- og jernoxider, stiger fosforkoncentrationen i jordvæsken, og fosfor på opløst form kan udvaskes med nedsivende vand. Det vurderes, at det kun er på drænedede jorde, at udvasket fosfor når frem til overfladevand pga. den store fosforbindingskapacitet i underjorden.
Makroporeudvaskning	Makroporeudvaskning skelnes fra matriceudvaskning ved at vandtransporten og fosfortabet her foregår i store makroporer, som er porer større end 0,3 mm. Vand strømmer kun i disse porer, når jorden lokalt er helt vandmættet. Makroporer kan i visse tilfælde forbinde det øverste jordlag med dybereliggende drænrør, hvorved den ofte betydelige fosforbindingskapacitet i underjorden omgås. Fosfor transporteres både på opløst form og bundet til jordpartikler.
Grundvand	Har de jordlag, der ligger over grundvandsspejlet, en begrænset fosforbindingskapacitet, og overstiger fosformætningsgraden i jordlagene et kritisk niveau, vil nydannet grundvand have en forhøjet fosforkoncentration. Fosfor kan også føres til det øvre grundvand med makroporestrømning. I dybere, iltfrit grundvand kan der forekomme naturligt høje koncentrationer af opløst fosfor ($> 0.1 \text{ mg P l}^{-1}$).
Tab fra organisk lavbundsjord	Dyrkede og drænedede lavbundsområder adskiller sig fra mineraljordene, både hvad angår hydrologi og fosforbinding og -omsætning. På trods af dræning kan der i våde perioder opstå iltfrie forhold, hvorved jernoxider går i opløsning, fosforbindingskapaciteten reduceres, og fosfor kan udvaskes på opløst form.
Brinkerosion	Brinkerosion er en naturlig proces, som foregår i såvel naturlige som udrettede vandløb. Det strømmende vand i vandløb kan løsrive jordpartikler i brinkerne og hertil bundet fosfor. På længere sigt kan brinker underskæres, hvorved der sker brinksred. Fosfor transporteres bundet til jordpartikler.

Kortlægning af lavbundsjord til naturgenopretning

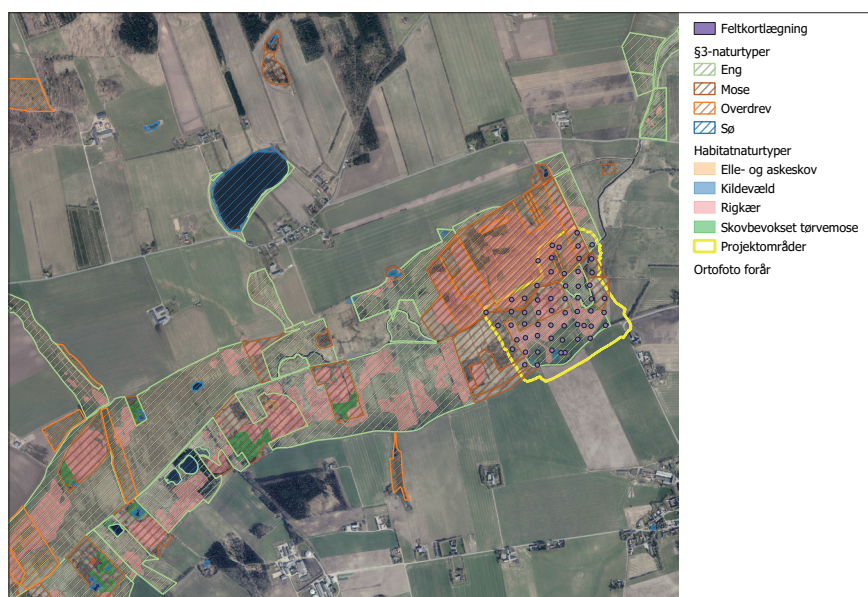
Udtagning af lavbundsjord har primært fokus på at reducere udledningen af drivhusgasser fra drænede organiske jorde, men det er samtidig også en mulighed for at genoprette grundvandspåvirket natur til gavn for biodiversiteten. En botanisk feltkortlægning kan give megen nyttig viden om både naturtilstand og hydrologi, men hvordan kan man bruge nye metoder som termokortlægning fra drone og modellering af grundvandsudstrømning?

CAMILLA FLØJGAARD, OLE MUNCH
JOHANSEN, DAGMAR KAPPEL ANDERSEN,
ANE KIRSTINE BRUNBJERG,
HANS HENRIK BRUUN, GEOFF GROOM
& RASMUS EJRNÆS

Som følge af tidligere tiders dræning og om-lægning er naturligt næringsfattige, grundvandsfødte vådområder blevet sjældne og truede. Klimamålet om at udtage 100.000 ha lavbundsjord inden 2030 kan potentielt også gavne biodiversiteten, navnlig hvis man sikrer beskyttelsen af eksisterende værdifuld natur og samtidig genopretter grundvandsafhængig natur med levesteder for sjældne og truede arter. Genopretning af lavbundsland med biodiversitet for øje afhænger primært af at sikre lav næringsstatus og naturlig hydrologi. Her præsenterer vi værktøjer til at prioritere lavbundsjord til beskyttelse og genopretning af grundvandsafhængig natur.

Feltkortlægning af hydrologi og botanik

Vi har lavet en systematisk indsamling af botaniske data i tre forskellige projektområder i ådale. De ti mest dominerende plantearter er registreret i 50 cm x 50 cm felter udlagt i et ca. 60 m x 60 m net i projektområdet (Fig. 1). Ud fra de registrerede planter beregnes Ellenbergs indikatorværdier for fugtighed, pH og næringsstatus /1/. Vi beregner også Ellenbertal for næringsratio (NR) ved at tage forholdet



Figur 1. Naturtyper beskyttet af naturbeskyttelseslovens § 3 og habitatnaturtyper i Kastbjerg Ådal. Punkterne i projektområdet viser felterne hvor der er registreret planter og målt jordbunds-fugtighed. Kilde: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

mellem Ellenbergs indikatorværdier for næringsstof og pH. Denne indikator har vist sig at være langt den stærkeste indikator for artsrigdom af typiske arter i kalkrige mosetyper /2/. Vores feltkortlægning giver et systematisk billede af næringsstatus og fugtighed ud fra Ellenbergværdierne, men mangler de kvalitative data og observationer, som man typisk også vil få ud af en feltbesigtigelse. Omvendt vil en almindelig besigtigelse sjældent dække hele området systematisk og det er ikke almindelig praksis at beregne indikatorværdier.

I felten har vi også målt jordbunds-fugtighed med en FieldScout TDR 300 Soil Moisture Meter (fra Spectrum Technologies), som måler volumetrisk vandindhold (Volumetric Water Content; VWC) ud fra jordens ledningsevne, som et direkte mål for jordbunds-fugtighed, men ikke specifikt for grundvandsudstrømning.

Termokortlægning med drone

Termokortlægning fra drone giver et fladedækkende billede af grundvandsudstrømning-

gen i projektområdet og er en af de nyere metoder til kortlægning af hydrologi. Grundvandet har året rundt en ret stabil temperatur på ca. 8°C og dermed en højere temperatur end omgivelserne på en kold vinterdag. Dermed kan grundvandet kortlægges med et temperaturfølsomt kamera monteret på en drone. Billederne kan vise områder, der overrisles med grundvand eller om grundvandet bliver ledt hurtigt væk i grøfter eller vandløb (Fig. 2), men fanger dårligt områder hvor grundvandet siver mere diffust ud i jord og tørv. Måling af overfladetemperatur fra drone er følsom overfor tæt og højt plantedække og virker derfor dårligt i områder under tilgroning.

En national kortlægning af naturlig hydrologi

Som en del af projektet En Dansk Naturindikator (DNI, /3/) har vi udviklet en indikator for naturlig hydrologi for alle lavbundsområder i Danmark. Her indgår slyngningsgraden af vandløb, tætheden af afvandingsgrøfter, forekomst af beskyttede naturtyper og tætheden af natur i oplandet omkring de potentielle vådområder (Fig. 3). Kortet er nationalt og tilgængeligt online via <https://naturindikator.dk/>.

Overset potentiale for naturlig hydrologi

Hvis den grundvandsafhængige natur er drænet helt væk, kan det være svært at få øje på potentialet for at genoprette grundvandsafhængig natur. Her kan historiske kort over forekomsten af kilder, moser og enge bruges til at udlede genoprettelsespotentiale. De høje målebordsblade er fra perioden 1864-1899 (Fig. 4). Moser og enge samt grøfter er kortlagt, og som man kan se af kortet var næsten hele ådalen eng og mose. De mange grøfter på kortet viser, at den vidt udbredte afvanding af vådområderne startede allerede før 1800-tallet. Hvis området i dag er tørlagt, men var eng eller mose på de gamle kort, kan man antage at der er et potentiale for at genoprette hydrologien. Indtegnede kildevæld er ydermere en god indikation på at der er mulighed for at genoprette grundvandsafhængig natur.

Når selv de historiske kort viser en stærk modificeret ådal kan det være svært at forestille sig, hvor store potentialerne for genopretning er. I projektet har vi derfor udviklet et koncept for grundvandsmodellering, som kan estimere den potentielle grundvandsudstrømning, og dermed pege på interesseområder på større skala i ådalen.

Grundvandsmodellen dækker ådalen indenfor en buffer på 500 meter fra vandløbet og har en cellestørrelse på 10 x 10 m. Model-



Figur 2. Termokortlægning af et projektområde i Kastbjerg Ådal (gul-orange farver indikerer høje temperaturer og dermed grundvand). Termokortlægningen viser, at der er to sandsynlige kildevæld hvorfra grundvandet løber i vandløb/grøfter. Kilde: WatsonC og Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering.

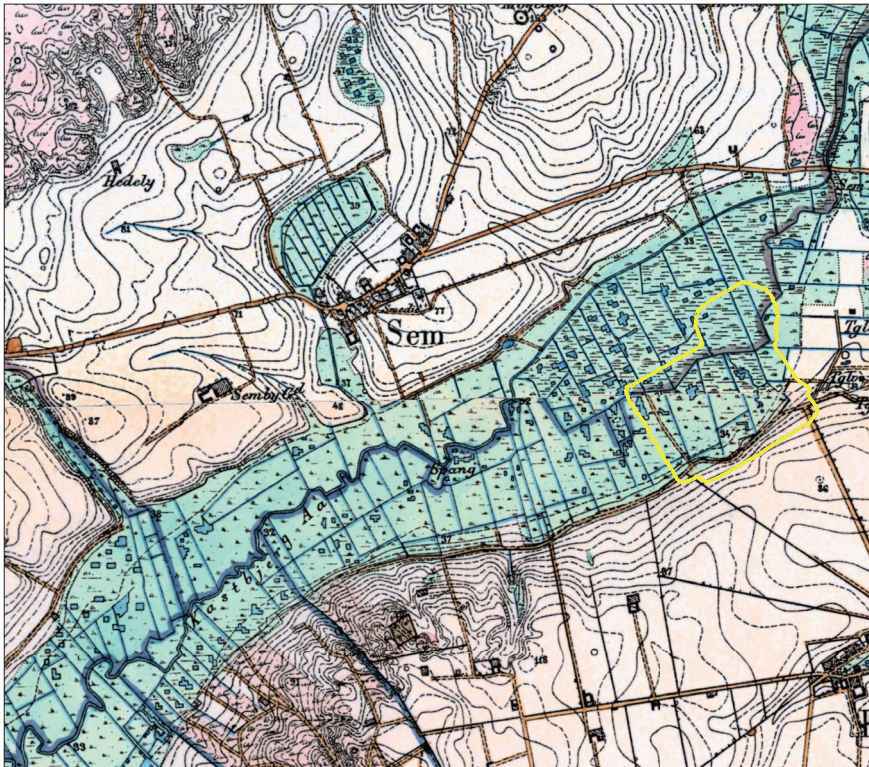


Figur 3. Naturlig hydrologi fra DNI. Projektområdet har generelt en lav score for naturlig hydrologi, men der er også områder af ådalen, hvor naturlig hydrologi scorer højt. Kilde: naturindikator.dk og Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering.

len efterligner de fleste ådalstyper, geometriske forhold og strømningsveje gennem en ådal og modellerer scenarier for, hvor vandet løber hen fra grundvandsmagasinet til vandløbet. Riggær og kilder understøttes af det grundvand, som strømmer op til overfladen et stykke fra vandløbet.

Modelopbygningen er en kraftig forenkling af virkeligheden, men den giver mulighed for med kun tre parametre at efterligne strøm-

ningsvejene. Hvis ådalsaflejringerne fx er meget højpermeable kan vandet strømme direkte til vandløbsbunden uden at komme op til overfladen. Hvis ådalsmagasinet er lavpermeabelt er der mulighed for diffus udstrømning i hele ådalens lavtliggende del. Hvis magasinlaget og toplaget er lavpermeable vil vandet strømme ud på terræn langt oppe ad ådalens sider. De forskellige kombinationer af hydrauliske egenskaber samt ådalens topografi og



Figur 4. Høje målebordsblade (1864-1899) for et udsnit af Kastbjerg Ådal (gul markering viser et af de tre projektområder). Grøn signatur med græstuer er eng, mens grøn signatur med græstuer og vandrette linjer er mose. Store dele af ådalen var grøftet og dele af vandløbet var kanaliseret, hvilket indikerer at moser sandsynligvis har været mere udbredt tidligere. Der er altså potentiale for at genoprette hydrologien. I projektområdet er der en kildebæk fra skræntfoden og ned til vandløbet som stemmer overens med kildevældet i termokortlægningen (Fig. 1). De geometriske former viser udstrækningen af tørvegravning. Kilde: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering



Figur 5. Modelleret potentiel grundvandsudstrømning. Modellen viser, at der er størst potentiale for grundvandsudstrømning langs skrænten i den sydlige side af ådalen samt i den nordlige sidedal med Møllebæk (varme farver betyder potentielt mere udstrømning). Gul markering viser et af projektområderne. Kilde: Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

vandløbets forløb er tilsammen styrende for udstrømning af grundvand til overfladen (seepage) i modellen. Som udgangspunkt er de hydrauliske egenskaber ukendte og derfor gennemregner vi 100 forskellige kombinationer med modellen og evaluerer hvilke repræsentationer, der kan accepteres som sandsynlige bud på virkeligheden. Modellen skal tolkes på større skala, da der ikke indgår data på lokale variationer i geologiske forhold, hvor heterogenitet og sprækker uden tvivl er særdeles afgørende på mindre skala mange steder.

Den simulerede udstrømning i Kastbjerg ådal viser grundvandsudstrømning i de områder, hvor der i dag er kortlagt grundvandsafhængige naturtyper (Fig. 5). Men den forudsiger også grundvandsudstrømning i en række områder, som i dag er drænet landbrugsjord, eng eller opdæmmede søer.

Hvor godt beskriver metoderne virkeligheden?

Vi har undersøgt hvor gode metoderne er til at forudsige forekomsten af eksisterende natur i ådalen: 1) moser beskyttet af naturbeskyttelseslovens § 3, som omfatter moser i varierende tilstand (næringsstatus) og ikke nødvendigvis grundvandspåvirkede, 2) habitattypen rigkær, som er lysåben, næringsfattig og grundvandspåvirket og 3) rigkær i god tilstand (med et artsindeks $\geq 0,6$ baseret på seneste NOVANA kortlægning, <https://novana.au.dk/naturtyper/kortlaegning/naturtilstand/artstilstand>).

Feltkortlægningsmetoderne er generelt gode til at forudsige forekomsten af våd natur (Tabel 1), men også grundvandspåvirket natur. Indikatorværdier for næringsstatus og næringsratio er mindre vigtige, men er dog signifikante for natur i god tilstand. Det er måske ikke så overraskende at naturlig hydrologi (DNI) også er god til at forudsige områder med grundvandspåvirket natur, da den delvist er baseret på kortlægningen af de beskyttede naturtyper, hvor især moserne har en høj score for naturlig hydrologi. Det er dog værd at bemærke, at indikatoren for naturlig hydrologi også er særdeles god til at forudsige grundvandspåvirket natur i god tilstand, hvilket ikke var givet på forhånd, da mange kortlagte moser ikke er i god tilstand.

Moser og i særdeleshed grundvandsafhængig natur i god tilstand er karakteriseret af grundvand, der siver ud diffust i jord og tørv og det er derfor ikke overraskende, at termokortlægningen dårligt forudsiger forekomsten af naturtyper. Metoden kan ikke bruges til at kortlægge våde naturtyper, men kan være et redskab til at skabe et overblik over hvor

Tabel 1. Hvor godt kan de forskellige kortlægningsmetoder beskrive forekomsten af eksisterende natur? Model-nøjagtighed for en logistisk regression (udført i R, prediction accuracy fra leave-one-out cross validation i boot package), der forudsiger forekomsten af natur ud fra kortlægningsmetoderne. NS= ikke signifikant og stjerner = signifikant (* $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$). Jordbunds fugtighed og plante-baserede indikatorer er baseret på målinger og artslistes i et 50 x 50 cm felt. Termokortlægning, naturlig hydrologi og modelleret udstrømning er beregnet som gennemsnit (gennemsnit og median) i 5 m og 10 m buffer om GPS-punkterne fra feltkortlægningen, for at tage højde for evt. usikkerheder i GPS'en.

		§ 3 mose (n=97)	Rigkær (n=67)	Rigkær i god tilstand (n=34)
Jordbunds fugtighed	Volumetric Water Content	75,8%, **	82,8%, ***	86,2%, ***
Plante-baserede indikatorer	Fugtighed Ellenberg F	79,4%, ***	79,9%, ***	85,8%, ***
	Næringsstatus Ellenberg N (sammen med Fugtighed)	ns	81,6%, ***	86,2%, *
	Næringsstatus Ellenberg NR (sammen med Fugtighed)	ns	82,1%, ***	86,6%, **
Termokortlægning med drone	Gns., 5 m	75,5%, *	ns	ns
	Gns., 10 m	75,6%, **	ns	ns
	Median, 5 m	75,2%, *	ns	ns
	Median, 10 m	75,4%, *	ns	ns
Dansk Naturindikator, Naturlig Hydrologi	Gns., 5 m	84,1%, ***	77,3%, *	87,1%, ***
	Gns., 10 m	84,9%, ***	77,1%, *	87,2%, ***
	Median, 5 m	85,4%, ***	77,1%, *	87,1%, ***
	Median, 10 m	85,5%, ***	77,0%, *	87,1%, ***
Modelleret potentiel grundvands-udstrømning	Gns., 5 m	ns	ns	ns
	Gns., 10 m	ns	ns	ns
	Median, 5 m	ns	ns	ns
	Median, 10 m	ns	ns	ns

grundvand strømmer ud i kilder og grøfter i projektområder og dermed kortlægge potentialet for at genoprette grundvandspåvirket natur ved at få grundvandet til igen at sive gennem engens eller mosens jordbund, fremfor at løbe hurtigt væk i afvandingsgrøfter.

Modelleret potentiel grundvandsudstrømning forudsiger dårligt, hvor der i dag er grundvandsafhængig natur, hvilket ikke er så overraskende, når man tager i betragtning hvor mange steder moser og kildelvæld er blevet afvandet af dræn og grøfter. Modellen giver dog en god indikation af hvor i ådalen, der er stort potentiale for at genoprette grundvandsafhængig natur.

Anbefalinger til kortlægning og prioritering

Når omkostningseffektivitet bestemmer metodevalget i genopretningsprojekter, vil vi anbefale, at man starter med at kigge på eksisterende kortlægning både af naturtyper og naturlig hydrologi fra DNI og sammenholde denne kortlægning med historiske kort, fx de

høje og lave målebordsblade. Derefter bør man supplere disse kortdata med en feltkortlægning efter eksisterende tekniske anvisninger til kortlægning af naturtyper eller systematisk, som i denne undersøgelse. På den måde kan man få et rigtig godt overblik over eksisterende naturverdier og dermed mulighed for at prioritere beskyttelsen af eksisterende værdifuld natur. Feltkortlægningen vil sandsynligvis også afsløre områder med fremstrømmende grundvand og dermed potentialet for at genoprette større områder med grundvandsafhængig natur. Er området dårligt tilgængeligt, men lysåbent, kan det være meningsfuldt at udføre en termokortlægning. Modellering af potentiel grundvandsudstrømning er et værktøj under udvikling og kan vise potentielle genopretningsområder på større skala i en ådal, som ellers kan blive overset, især hvis vådområderne er effektivt afvandede og ikke viser tydelige tegn på grundvandspåvirkning i dag.

Tak til AVJF for bevilling til forskningsprojektet om ådale (2017 til 2021).

Referencer

- 1/ Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulißen D. 1991. Zeigerwerte von pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobotanica 18:1-248.
- 2/ Andersen D.K., Nygaard B., Fredshavn J.R., Ejrnæs R. 2013. Cost-effective assessment of conservation status of fens. Appl. Veg. Sci. 16(3):491-501.
- 3/ Ejrnæs R., Bladt J., Dalby L., Pedersen P.B.M., Fløjgaard C., Levin G., et al. 2021. Udvikling af en dansk naturindikator (DNI). Report No.: 978-87-7156-626-0.

CAMILIA FLØJGAARD (camf@ecos.au.dk), ANE KIRSTINE BRUNBJERG, GEOFF GROOM og RASMUS EJRNEÅS forsker i biodiversitet, naturforvaltning og kortlægning på Institut for Ecoscience på Aarhus Universitet.

OLE MUNCH JOHANSEN arbejder med hydrologi og grundvandsmodellering hos Watson C.

DAGMAR KAPPEL ANDERSEN har en ph.d. i rigkær og arbejder med biodiversitet hos Naturstyrelsen.

HANS HENRIK BRUUN forsker i biodiversitet ved Biologisk Institut ved Københavns Universitet.

Membraner til genopretning af højmoser

Vandstandsende membraner er et godt bud på en effektiv løsning til at genoprette højmoser i Danmark. HDPE plast-membraner er prisbillige, virksomme og langtidsholdbare. Membraner kan tilbageholde den nedbør, som falder i mosen og hæve vandstanden lokalt, uden at vandstandshævningen påvirker naboer, landbrugsjord m.v. udenom mosen.

LINE STRANDHOLM MAGNUSSEN &
NIELS RIIS

Indledning

Sorø Kommune har arbejdet med at naturgenoprette to højmoser i EU-LIFE projektet Østdanske Højmoser. Formålet var at genskabe nødvendige hydrologiske forhold til udvikling af habitatnaturtypen aktiv højmose (kode 7110*) i Verup Mose og Sandlyng Mose beliggende i Store Åmose på Midsjtjælland.

Baggrunden for projektet og detaljer om naturen i Store Åmose er beskrevet i Forvaltningsplan for Verup Mose og Sandlyng Mose i Store Åmose 2021-2031 /1/.

I denne artikel præsenteres resultaterne af 8 års vandstandslogning i moserne (2014-2022), samt de hydrologiske forbedringer, som er opnået med vandtilbageholdelsestiltag siden 2017.

Baggrund – den drænedede Åmose

Store Åmose er et over 3000 ha stort tørveholdigt lavbundsområde på Midsjtjælland. Det er udpeget til Natura 2000-område på baggrund af rester af højmosenatur (Fig. 1).

Størstedelen af området har været berørt af intensiv tørveindvinding under 1. og 2. verdenskrig, hvorfor det meste af mosevegetationen var forsvundet i slutningen af 1940'erne. Store Åmose blev herefter intensivt drænet og opdyrket. Hele området afvander til Åmose Å, som løber øst-vest gennem området. Åmose Å er blevet gravet dybere ad flere omgange og blev udrettet omkring 1960. Afvandingen har medført sætningerne i højmosetørven og øget nedbrydningen (Fig. 2).

Miljøstyrelsen, som overvåger naturen i Store Åmose, har registreret 3 ha med højmosenaturtyperne hængesæk og nedbrudt tørvemose samt 215 ha med skovbevoksede tørvemoser, som er højmoser under tilgroning /2/.

Udover at udtørring er skadeligt for bevarelse af højmosens naturtyper, så bidrager

nedbrydningen af mosens tørvelag til udledning af klimagasser. Læs mere om højmoser i boks 1.

Udfordring i at genskabe højmoser

Permanent vandmætning er en forudsætning for *Sphagnum* vækst og tørvedannelse. Derfor er fokus i genopretningen af højmoser først og fremmest maksimal tilbageholdelse af regnvand.

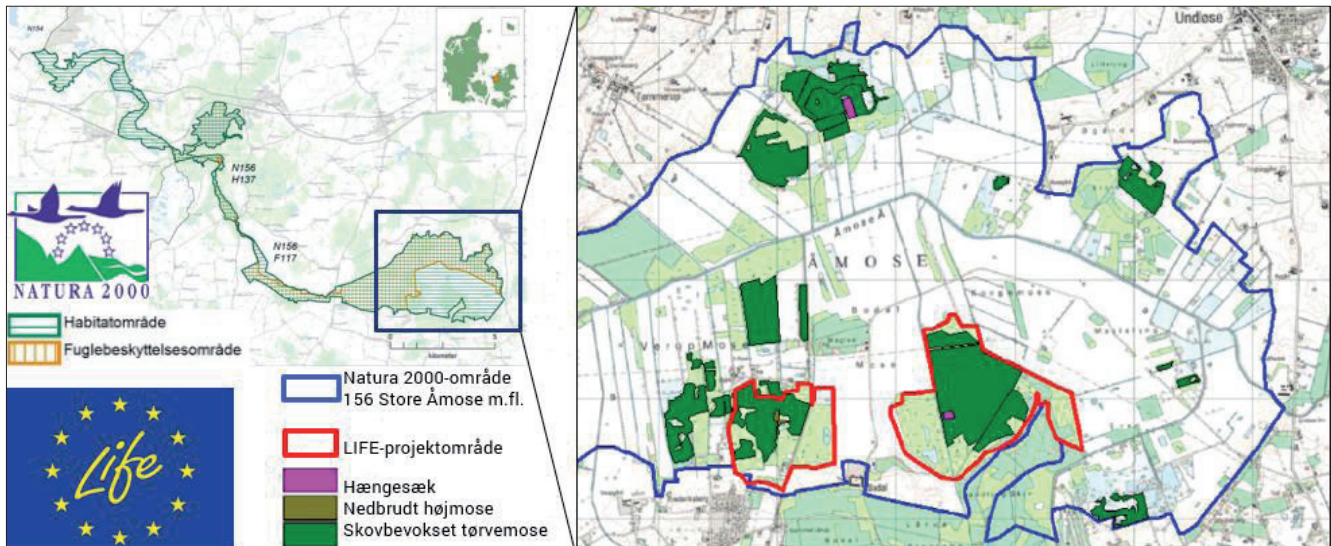
Verup Mose og Sandlyng Mose har stadig den typiske højmoseform, hvor mosen er højest midtpå, og terrænet falder ud mod siderne. De gamle drængrøfter inde i moserne ligger i dag over grundvandspejlet, så den primære afvanding er sket ved udsivning gennem tørvesprækker til vandløbssystemerne.

I Verup Mose har den østlige Magleøgrøft haft en betydelig dræneffekt på mosen, mens Sandlyng Mose påvirkes af vandstanden i vandløbet Akademirenden på vestsiden af mosen.

På naturlige højmoseflader vil *Sphagnum* dækningsgraden være tæt på 100%, mens der



Foto 1: HDPE plastmembraner 1,5 mm leveret i ruller af 1,4-2,5 meters højde (Foto: NaturRådgivningen A/S)



Figur 1. Placering af projektområderne Verup Mose og Sandlyng Mose i sydlig del af Store Åmose, del af Natura 2000-område nr. 156. Habitatområde 137 med indsats for højmoser /2/

på drænedede og bevoksede/tilplantede højmoser ofte er manglende til lav *Sphagnum* dækningsgrad. Figur 3 viser et tværsnit af en naturlig højmose, en udnyttet højmose og en genoprettet højmose. Tilstanden inden genopretning af højmoserne i Store Åmose svarer til figur 3B. De drænedede højmoser lå som udtørrede, skovbevoksede tørvelegemer – et par meter over det omgivende terræn. Figur 3C viser, hvordan tekniske løsninger med tørvedæmninger eller membraner gør det muligt at dæmme vand op i flere niveauer. LIFE-projektet har arbejdet med to niveauer i begge moser.

Hydrologiske forbedringer

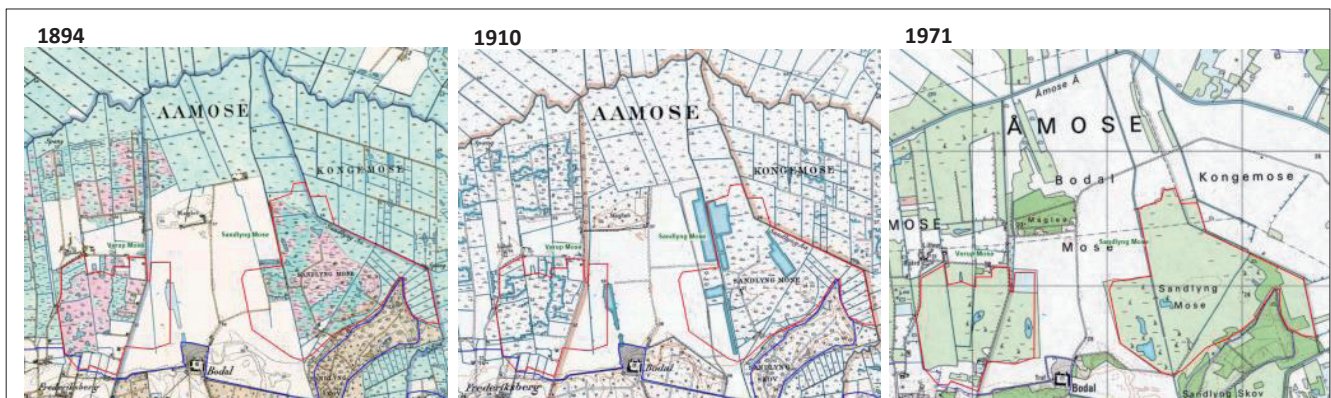
I LIFE-projektet er der arbejdet med at stoppe for afvandingen af moserne ved hjælp af skot, spunsvejge og membraner, og der er skabt vandstandshævning i de øvre tørvelag på de centrale dele af moserne ved hjælp af 6.470 m membraner. Membraner sættes fra mosens overflade og ned i intakte tørve- og gytjelaget for maksimal tæthed. Alle tekniske anlæg er

Boks 1. Hvad kendetegner højmoser?

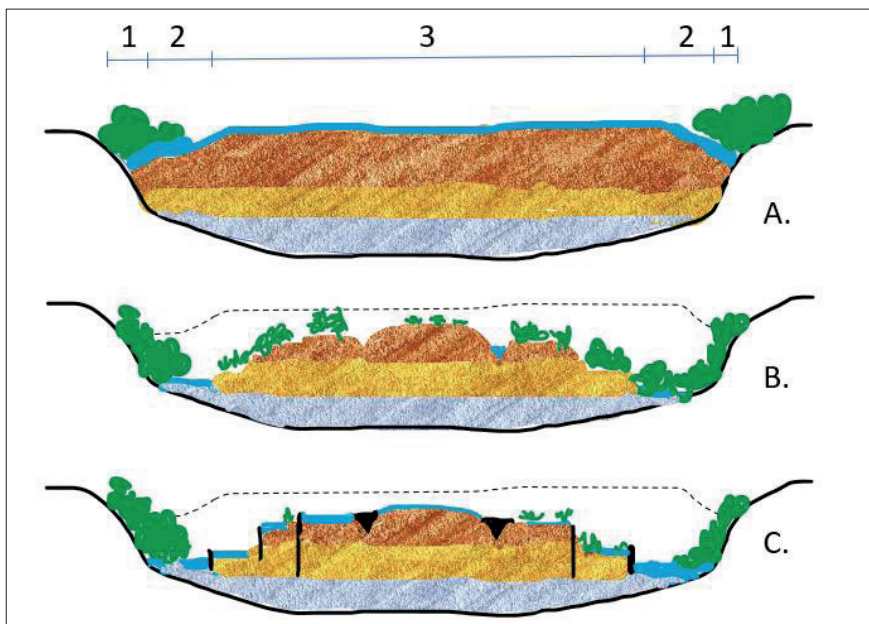
Moser kan opdeles i to hovedkategorier: lavmoser og højmoser. Lavmoser modtager både vand fra nedbøren og fra grundvandet (med kalk og mineraler). Er der drift i form af græsning eller høslæt i en lavmose, udvikler den sig til fersk eng.

Højmoser modtager kun vand via nedbør. De er dannet af tørvemoser (*Sphagnum* sp.), som har dækket overfladen med en "pude" af vandmættet tørv. Afskåret fra grundvandet bliver højmosens miljø mere og mere surt som følge af Sphagnums ionbytning af protoner for kationer. Døde sphagnum- og planterester omsættes ikke under vandmættede forhold, og efterhånden vokser mosen op over det omgivende terræn.

- Alle moser er rige på kulstofholdige aflejringer. Lavmosetørv dannes af træer, buske, star, siv, græsser, halvgræsser m.v. Højmosetørv er primært dannet af tørvemoser (*Sphagnum*), og tørvten kan være flere meter tyk.
- En højmose med et levende plantedække binder CO₂, og har en tilvækst på godt 1 mm pr. år.
- Højmoser i Store Åmose opstod for 3700 år siden /5/ og kan derfor have nået at vokse mindst 4 meter op over terræn - ovenpå 6000 års aflejringer af lavmosetørv og "gytje", - inden de blev drænet og tørvten indvundet.
- De næringsfattige og sure højmoserflader er hjemsted for sin egen særegne flora og fauna og en vigtig grund til, at Store Åmose er udpeget til Natura 2000-område.



Figur 2. Historiske kort over sydlig del af Store Åmose, med projektområderne omkring Verup og Sandlyng Moser indtegnet med rød streg. Kortene viser tilbagegangen i de våde naturtyper i området - fra historiske målebordskort og efter krigsårenes tørvegravning og udretningen af Amose A, hvor de hvide flader er dyrkningsareal.



Figur 3. Princip for genopretning af højmose. (A): Skitse af naturlig højmose, med 1. Lagg-zone, 2. Rand-zone, 3. Højmoseladen. (B): Udnyttet højmose. Lagg-zonen er af flere omgange blevet uddybet med en grøft, der er afgravet tør i mange niveauer og kvaliteter. (C): Genoprettet højmose med udgangspunkt som B. Dræningen i lagg-zonen er minimeret, og vandstanden hævet. Internt i mosen er der arbejdet med at hæve vandstanden ved hjælp af eksisterende tørvelag, og opbygning af dæmninger, samt isætning af membraner til forstærkning af eksisterende niveauer. Efter Risager fig. 1. /4/

vist i figur 4.

Grundvandsstanden under højmoserne hæves ved at stoppe for den direkte afvanding via vandløb til Åmose Å. I Sandlyng Mose er der sat to spunsvægge til opstemning af Akademigrøften, og i Verup Mose er Magleøgrøften blevet lukket gennem mosen, og vandløbet er ført udenom mosen i et 1150 m langt nyt tracé. Yderligere hæves grundvandsstanden ved at stoppe for den indirekte afvanding via tørvesprækker og sandlag til Åmose Å mod nord. Der er sat vandstandsende membraner i den nordlige ende af Verup Mose og langs Magleøvejen, og på 2/3 delen af ydersiden af Sandlyng Mose (hvor vinter-grundvandsstan-

den når til terræn).

For at tilbageholde nedbør i de højest beliggende tørvelag er der yderligere helt eller delvist sat vandstandsende membraner omkring de centrale dele af moserne.

Habitatnaturtypen hængesæk var registreret i en tørvegrav i Sandlyng Mose. Til at sikre mere stabil vandstand i tørvegraven om sommeren og modvirke tilbageløb af næringsrigt vandløbsvand om vinteren blev der sat et skot på tværs i udløbet fra tørvegraven til Akademigrøften.

Vandstandshævningen og de tilhørende konsekvenser er beskrevet i teknisk dokument udarbejdet af NaturRådgivningen A/S,



Figur 4. Kort over LIFE-projektområderne i Store Åmose, med placering af tekniske anlæg og vandstandsmålestationer.

med afsæt i den viden, der de seneste år er opbygget for restaurering af aktiv højmose (7110*) i Nordvesteuropa /3/.

Udover hydrologiske forbedringer har projektet arbejdet med rydning af trævegetation, veteranisering af større træer og udspreddning af levende *Sphagnum*-fragmenter, da det ultimative mål er en lysåben flade, hvor *Sphagnum*-moserne kan etablere sig og genskabe aktiv højmose.

Vandstandsdata og effekt af membraner

Der er målt på vandstands niveauet under moserne siden LIFE-projektets opstart i 2014. Indtil 2017 med tre målestationer i Verup Mose og én i Sandlyng Mose (Aamosen 1-4). I november 2017 er der suppleret med en målestation i midten af hver mose, indenfor det ekstra opstemmede niveau (Aamosen 6-7). Placering af målestationerne er vist på figur 4.

Resultatet af anlægsarbejderne i 2017 med isætning af skot, spuns og membraner blev en øjeblikkelig vandstandshævning i tørvn på de indre dele af moserne (Fig. 5).

Før tilstanden i Sandlyng Mose var en maksimal vandstand om vinteren til kote 25,2 mDVR90 og udsving mellem sommer og vinter på godt 50 cm (Fig. 6, Aamosen 4). De centrale dele af mosen lå op til 2 meter højere - til kote 27 mDVR90. Ved at sætte membraner omkring de inderste 7,0 ha blev vandstandshævning opnået centralt i Sandlyng Mose (Fig. 6, Aamosen 6). Vintermaksimum ved målestationen ligger 30 cm under terræn, hvilket primært skyldes stigende terræn i midten af mosen, da det lysåbne terræn i membransporet er opfugtet til terræn/ top af membran i vinterhalvåret. I 2018, 2019 og 2020 observeres 60-70 cm vandstandssænkning hen over sommeren. Sommeren 2021 viser tegn på forbedret vandtilbageholdelse. De store udsving i årene 2018-20 skyldes nok en kombination af fordampning fra den træbevoksede flade og tre usædvanligt tørre år med nedbør langt under normalen for Vestsjælland.

Verup Mose var den mest udtørrede af højmoserne. De tre målestationer: Aamosen 1 i syd, Aamosen 2 i midt og Aamosen 3 i nord (Fig. 4) viste, at grundvandsstanden under mosen lå i nogenlunde samme niveau med maksimal vandstand om vinteren omkring kote 24,8-25 mDVR90, og udsving mellem sommer og vinter på 70-100 cm (Fig. 5, Aamosen 1-3). Ligesom for Sandlyng Mose ligger terrænet i de centrale dele af Verup Mosen op til 2 meter højere end grundvandsstanden - i kote 26,5-27 mDVR90.

Udjævning af terrænet og isætning af membranstykker fik den ønskede effekt på vandtil-

bageholdelsen i den centrale del af mosen (Fig. 5, Aamosen 7). Om vinteren er vandtilbageholdelsen til/på terræn. Det skyldes, at målestationen er placeret i en forsænkning, hvor der blev afskrabet 15-20 cm tør førne under en tidligere granplantage. Ligesom i resten af mosen falder vandstanden hen over sommeren med 70 cm. Så umiddelbart er fordampningen fra den helt åbne moseflade i Verup Mose på niveau med fordampningen via trævegetationen i Sandlyng Mose.

I efteråret 2020 blev der lavet forstærkende tiltag med ekstra membranstykker og spuns på østsiden af Verup Mose, som gerne skulle påvirke vandtilbageholdelsen i mosen positivt. Her 1,5 år efter er der tegn på opfugtning omkring målestation nr. 2, som ligger på østsiden af den indre membran (Fig. 5, Aamosen 2).

På rette vej, men ej i mål

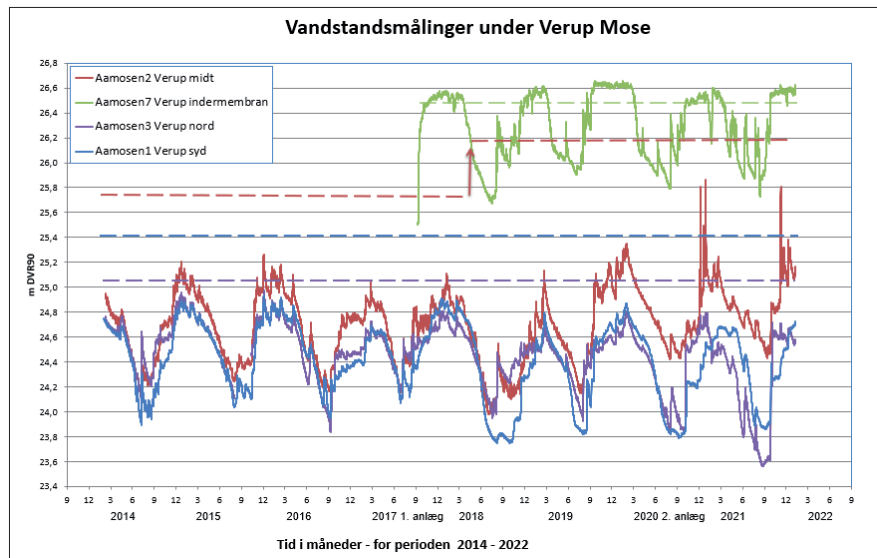
Uanset tekniske hjælpemidler, så er vandtilbageholdelsen i moserne afhængig af årsnedbør og fordeling af nedbøren over året. Og der vil uundgåeligt ske en vandstandssænkning hen over sommeren som følge af fordampningen og sommerens nedbørsunderskud, så længe der mangler et dækkende Sphagnum-lag til at holde overfladen opfugtet. HDPE-membraner er en pladsbesparende og billig løsning med en pris på få hundrede kroner per meter. Membraner kan ikke erstatte det naturlige økosystem i højmosen, men de kan være en hjælp på vejen til forbedrede hydrologiske forhold for Sphagnum-vækst.

Referencer

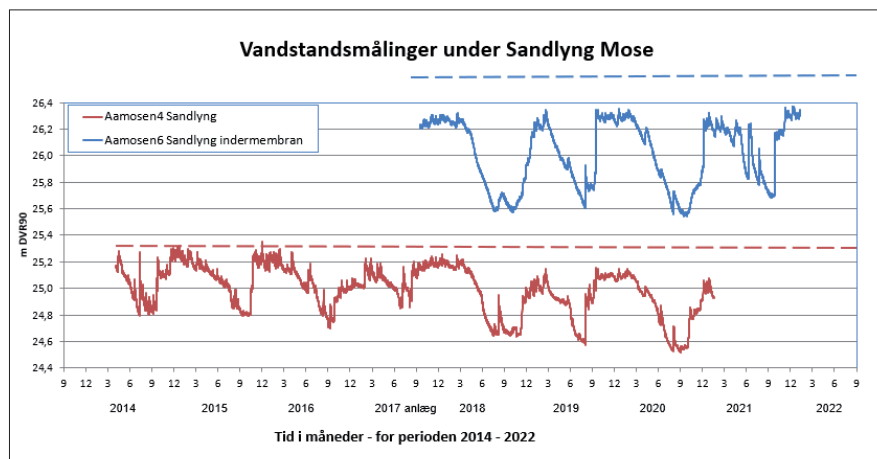
- 1/Magnussen, L.S. 2021. Forvaltningsplan for Verup Mose og Sandlyng Mose i Store Åmose 2021-2031. Rapport (<http://lifeeast.dk/om-projektet/rapporter>). ISBN 978-87-94112-05-5
- 2/ Miljøstyrelsen: Natura 2000 basisanalyse for 2022-2027, for Store Åmose m.v., Natura 2000- område nr. 156. Rapport (mst.dk). ISBN: 978-87-7038-894-8
- 3/Riis N. og Aaby B. 2015. Verup Mose. Tekniske forundersøgelser, LIFE/NAT/DK/00183 Sorø Kommune. Rapport (<http://lifeeast.dk/store-aamose/scenarie-for-aamosen>). Kan rekvireres af forfatterne.
- 4/ Risager, M. 2015. Vurdering af behov for forvaltnings-tiltag på EU LIFE projektet Østdanske Højmoser, LIFE12 NAT/DK/000183, Aktion A1.
- 5/ Aaby, B. & Noe-Nygaard, N. 2009. St. Åmoses natur- og landskabsudvikling siden bronzealderens begyndelse. I: Pedersen, L. (red.). Åmosen – et kulturhistorisk skatkammer. Årbog for kulturhistorien i Nordvestsjælland 2008, Kalundborg, side 43-60.

LINE STRANDHOLM MAGNUSSEN (Isma@soroe.dk) er biolog og projektleder i Sorø Kommune.

NIELS RIIS (niels@naturogvand.dk) er biolog og hydrolog i NaturRådgivningen A/S.



Figur 5. Vandstandsdata fra 4 målestationer i Verup Mose. De stiplede linjer angiver koterne for jordoverfladen omkring målestationerne. Ved anlægsarbejde i 2017 blev der i tørvegraven omkring målestation 2 fyldt op med 0,5 meter tørv fra det centrale område.



Figur 6. Vandstandsdata fra 2 målestationer i Sandlyng Mose. De stiplede linjer angiver koterne for jordoverfladen omkring målestationerne. Manglende data fra målestation 4 sidst i perioden, skyldes forsvunden logger. Ny logger monteret i marts 2022.



Foto 2: Nedgravning og udrulning af membraner ved hjælp af en specialdesignet membranudlægger (Foto: Anders Ole Olsen, Sjællandske Medier)

Det danske fødevareerhverv har en vision om at være klimaneutralt i 2050.

Sammen med vores medlemmer vil vi vise, at der findes en økonomisk bæredygtig vej til en klimaneutral fødevareproduktion.

Vi repræsenterer en værdikæde med tyngde og vilje til at finde løsninger på verdens klimaudfordringer i tæt samspil med resten af Danmark.

Læs mere på lf.dk/klima



1-årig Akademisk Overbygningsuddannelse i Klimatilpasning

Med uddannelsen kan du bidrage til at løse udfordringer skabt af klimaforandringer



På uddannelsen har du kurser om klimaforandringernes effekt på byerne, naturen og det åbne land, projektledelse, klimatilpasningsmetoder, miljølovgivning, bæredygtig vækst og projektværktøjer.

Du kan søge ind med en naturvidenskabelig, samfundsvidenskabelig eller teknisk bacheloruddannelse.
Studiestart: september 2022

**Læs mere om uddannelsen,
adgangskrav og jobmuligheder på
sdu.dk/nat/klimatilpasning**

Nyt dansk forskningsskib undervejs

Danmark skal have et nyt oceangående forskningsskib til erstatning for det nuværende Dana. Dana har altid været central for DTU Aquas arbejde. Det skal kunne fungere som en multidisciplinær forskningsplatform både til fiskemonitering og forskning i oceanografi. Det er målet, at det nye skib skal styrke dansk marin og maritim forskning og vidensopbygning, ikke mindst i Nordatlanten og i farvandene omkring Færøerne og Grønland.

KAREN EDELVANG & DENNIS LISBJERG

Godt på vej

Danmark har ét multidisciplinært forskningsskib, Dana IV, som er isklasset og dermed må sejle i op til 1 meter is. Det er mere end 40 år gammelt og trænger i den grad til at blive udskiftet. Det er heldigvis ved at ske. I efteråret 2020 afsatte Folketinget 170 mio. kr. til delfinansiering af et nyt oceangående forskningsskib. Efterfølgende har skibsprojektet modtaget generøse donationer fra A.P. Møller og Hustru Chastine McKinney Møllers Fond til almene Formaal og fra Aktieselskabet Damskibsselskabet Orient's Fond, og dertil kommer egenbetaling fra DTU. Lige nu er der i alt 370 mio. kr. til rådighed for at virkeliggøre ambitionerne. Det kan lyde af mange penge, men ambitionerne er også høje, når det gælder om at sætte Dana V i søen som Danmarks nye marine og maritime forskningsplatform.

Det nye oceangående forskningsskib skal fungere som en multidisciplinær forskningsplatform, der ligesom nuværende Dana skal kunne udføre forskning globalt, med særligt fokus på arktiske områder. Derudover skal skibet være en platform for maritim uddannelse og innovation. Der er således lagt op til en sejrende Schweizerkniv, der kan være til gavn for en bred vifte af forskningsmiljøer i Danmark.

Hvem skal stå for driften?

I Danmark ejes og administreres større forskningsinfrastruktur primært af de danske universiteter. I dag er det DTU Aqua som

har ansvaret for driften af nuværende Dana. Det er også planen, at DTU fremover skal stå for driften af det nye skib. Det er historisk betinget, at driften af Dana er havnet på DTU. Det nuværende Dana blev bygget til Fiskeriministeriet i 1981 og blev primært brugt til monitering af fiskebestandene af Danmarks Fiskeriundersøgelser, som siden også stod for driften. Da Danmarks Fiskeriundersøgelser blev fusioneret med DTU i 2007 fulgte Dana med.

I alle årene har forskningsskibet været central for DTU Aquas arbejde med at rådgive om fiskebestandenes udvikling. Det er samtidig en forskningsplatform for de danske marine forskningsmiljøer. Alle danske forskere kan få adgang til Dana via Dansk Center for Havforskning (DCH), der er finansieret af Forskningsstyrelsen og har repræsentanter fra alle Danmarks universiteter samt Grønland og Færøerne i bestyrelsen. Dana indgår også i in-

FAKTABOKS

Dansk Center for Havforskning

Dansk Center for Havforskning er et samarbejde mellem alle danske havforskningsinstitutioner og har som formål at stimulere og styrke den danske havforskning. Centeret er et samarbejde mellem alle danske havforskningsinstitutioner: Københavns Universitet, Aarhus Universitet, Syddansk Universitet, Danmarks Tekniske Universitet, Aalborg Universitet, Roskilde Universitet, Danmarks Meteorologisk Institut, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, Forsvarets Center for Operativ Oceanografi, Grønlands Naturinstitut og Havstovan (Færøerne).

<https://www.havforskning.dk/>



Foto 1. Danav IV fra 1981 © Niels Vinther.



Foto 2. Aftenstemning i Nordatlanten. ©Britta Gammelgaard

ternationalt samarbejde gennem EURO-FLEETS projektet. Dana bidrager således til forskningssamarbejde på tværs af fagmiljøer og lande.

National forskningsplatform

Planerne for det nye skib er, at det udover at monitorere fiskebestande i de danske farvande også skal være en national forskningsplatform, der kan anvendes til at udføre marin forskning i Nordatlanten og Arktis. Danmark har altid haft havforskning, og med anskaffelsen af det nye forskningsskib kan vi fortsætte med at udføre national havforskning på højt internationalt niveau og fortsat være en attraktiv partner i internationale forskningssamarbejder.

Traditionelt foregår meget af dansk havforskning i de kystnære områder. Her sejler man ofte ud i mindre undersøgelsesfartøjer og arbejder en dag ad gangen på havet. Det nuværende Dana er Danmarks eneste oceangående havforskningsskib, og tager hvert år ud på længere togter fx. i Nordatlanten. Ofte gennemføres også togter ved Grønlands øst- eller vestkyst. Dana har desuden været på længere togter som et åletogt i foråret 2014 i Sargassohavet for at undersøge ålens tilbage-

gang og for at lave geologiske undersøgelser ved Azorerne.

Ligesom Danmark snart får et nyt forskningsskib, så har de to øvrige medlemmer af rigsfællesskabet Grønland og Færøerne også investeret i nye forskningsfartøjer kaldet hhv. Tarajoq og Jákup Sverri. Disse to skibe er primært designet til fiskerimonitering og har ikke den samme isklasse som Dana og ikke et multidisciplinært design.

Med Dana V er det visionen, at den marine forskning i Arktis kan intensiveres. Danmark kan tage udgangspunkt i et tættere samarbejde med vores nordatlantiske rigsfæller først og fremmest Grønlands Naturinstitut og på Færøerne Havstovan, Færøernes marine forskningsinstitut.

FN's havårti og marin forskning i Arktis

FN har udråbt 2021-2030 til at være et årti for havforskning og bæredygtig udvikling under overskriften Ocean Decade. Som en del af denne proces er der lavet aktionsplaner for verdens havområder. I den forbindelse er ny Dana særlig interessant i relation til den regionale aktionsplan for Arktis, som DCH har

stået i spidsen for at udfærdige med bidrag fra forskere, myndigheder og NGO'er fra hele det arktiske område.

Hele det arktiske område oplever i disse år en stigende interesse både forskningsmæssigt og geopolitisk. Klimaforandringerne har den største effekt i Arktis, hvor de relative tempe-



Foto 3. Der kigges på CTD data. ©Kristine Bacher

Faktaboks DANA V



Grafik: koncept design af Dana V, af KNUD E HANSEN

DANA V

Skibet forventes klar i 2026

Budget: Samlet kr. 370 mio.

Størrelse

68 meter langt

15,6 meter bredt

5,4 meter dybgang

Besætning på 14 mand og plads til 24 forskere og studerende.

Isklasse

Skibet vil blive bygget til finsk/svensk is-klasse Ice(1a) (muligvis Ice(1A*)), og til IMO polar kategori B med IACS PC6 klasse notation. Dana V får dermed højere IMO polar kategori end Dana IV, der er i IMO polar kategori C.

Sejldage

Op til 290 sejldage per år

Skal kunne være på togt i minimum 30 dage ad gangen



Foto 4. Land i sigte. ©Britta Gammelgaard

raturstigninger sker langt hurtigere end på resten af kloden. Dette påvirker afsmeltningen af Grønlands Indlandsis og havisdækket i det Centralarktiske Ocean. Dette har stor betydning for det marine miljø i Arktis, men potentielt også for havcirkulationen på hele kloden. Havstrømmene påvirkes af den øgede tilstrømning af ferskvand fra smeltende gletsjere og fra Indlandsisen, ligesom varmt havvand, der strømmer mod nord påvirker økosystemernes balance i hele fødekæden fra plankton og vandlopper over fisk og fugle til de store havpattedyr i de arktiske oceaner.

DTU Aquas arktiske forskning

En stor del af Danmarks marine forskning i Arktis sker på tværs af flere fagområder. Den største del af DTU Aquas arktiske forskningsaktiviteter er samlet i sektionen for Oceaner og Arktis. Der forskes i mange emner som oceanografi, biodiversitet og økosystemers

dynamik, fiskebestandenes udbredelse og observationsteknologiens anvendelse i Arktis.

Forskningen i Oceanografi arbejder i krydsfeltet mellem de biologiske, fysiske og kemiske parametre i havet. Her arbejdes med emner lige fra klima- og miljøpåvirkninger af plankton til strømningsmønstrene i de regionale havområder. DTU Aqua har fokus på forståelsen af de nøgleprocesser, der styrer de marine fødekæders struktur og indbyrdes funktion og afhængighed, og hvordan de påvirkes af klima og miljø.

Observationsteknologi er en multidisciplinær aktivitet, hvor der sigtes på at integrere traditionelle metoder inden for akustik, optik og billedanalyser til at understøtte marin forskning. Dette har et stort potentiale også i Arktis, bl.a. fordi områderne er så store arealmæssigt, svært tilgængelige og der traditionelt ikke har været høj indsats fra dansk og europæisk side.

En moderne forskningsplatform

Dana er tænkt som en moderne forskningsplatform. Derfor må det nye skib leve op til de højeste maritime krav. Det betyder, at man f.eks. skal tage hensyn til afgivelse af undervandsstøj, som kan påvirke akustiske sensorer på skibet og i øvrigt også de store havpattedyr. Skibet planlægges derfor med en række nye skrogmonterede sensorer, samt med en sænkekøl. Den sikrer, at udvalgte sensorer kan sænkes ned under de luftbobler, som trækkes med ned under skroget i på grund af bølger, ligesom sænkekølen giver mulighed for udskiftning af forskernes sensorer uden dokning af skibet.

Dana skal udstyres med moderne prøvetagningsudstyr og suppleres med autonome og styrbare instrumenter (AUV'er og ROV'er) og kunne håndtere større bøjesystemer. Derudover skal de laboratorier, forskerne benytter på skibet, fungere optimalt. Et forskningskib skal rumme mange forskningsdiscipliner. Derfor er det vigtigt, at der på dækket vil blive gjort plads til laboratoriecontainere, hvor de enkelte forskningsgrupper kan arbejde med deres instrumenter og udstyr, mens de er på togt.

Forskningsdiscipliner

Marin forskning dækker over mange discipliner på tværs af fagområder og institutioner. Der forskes i oceanografi, der beskæftiger sig med havets fysiske, kemiske og biologiske egenskaber og komponenter. Det dækker over emner som livet i havet, temperatur- og saltforhold, strømme, bølger og havets interaktion med atmosfæren. Dette felt giver fundamental viden, som ofte danner basis for den

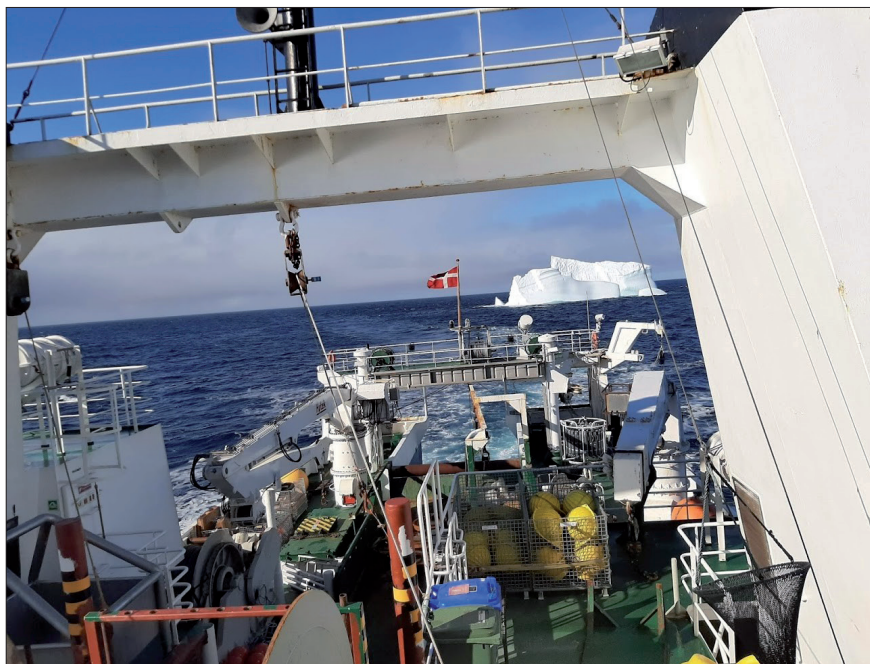


Foto 5. Dana i Arktis. ©Anders Dalhoff Bruhn Jensen

øvrige havforskning.

Maringeologien omfatter kortlægning af havbunden for at opnå viden om havbundens overfladesedimenter, der danner basis for de bundnære marine habitater. Denne viden kan være vigtig for fiskeriet for at skabe kendskab til vækstområder for fiskeyngel eller sjældne havbundstyper, hvor man f.eks. kan finde forekomster af koldt vandkoraller. Geologiske undersøgelser kan også ske i form af dybe seismiske undersøgelser, som giver viden om de bjergarter og råstoffer, der befinder sig under havbunden. Denne type informationer kan bruges inden for bl.a. råstofindvinding fra havbunden.

Marin forskning er også relevant i forhold til at løse vores klimaudfordringer. Et eksempel er udforskningen af havets mikroorganismer, der spiller en rolle i havets evne til at absorbere atmosfærens CO₂. På samme måde er marin biogeokemi et tværfagligt felt, der udforsker havets indhold, nedbrydning og udveksling af kemiske stoffer, og disses påvirkning af havets organismer, samt menneskets bidrag til denne påvirkning.

Uddannelsesplatform for marin og maritim viden

Dana skal også fungere som en uddannelsesplatform. I takt med at behovet og ønsket om mere viden om havet og udnyttelse af havets ressourcer på en bæredygtig måde stiger, er der behov for at uddanne de nye generationer af forsker og ingeniører. De mange aktiviteter til havs bevirker et behov for viden og udvikling af nye teknologier, så vi på de mest bæredygtige måder kan udvikle de maritime industrier.

DTU ønsker med det nye havforskningskib at skabe en platform til uddannelse af fremtidens ingeniører hvor læring og forståelse af grønne løsninger kan ses, måles og testes under sejlads i varierende forhold, fx i forhold til driftsoptimeringer, livscyklusanalyser, røg og vandrensning, støj og vibrationer. Skibet skal kunne understøtte en større gruppe studerende og god adgang til skibets forskellige teknikrum.

Der er således brug for uddannelse og træning inden for de marine – biologiske og geologiske områder og de maritime ingeniørfag. Ny Dana tænkes indrettet på en måde, så det bedst muligt imødekommer begge typer af uddannelsesbehov.

Togt med gymnasielærere

Danmark har fra tidernes morgen været en søfartsnation. Denne identitet kan et nyt Dana være med til at understøtte og bevare for de nye generationer. Et godt eksempel herpå var et gymnasielærertogt på Dana IV, der blev gennemført i sommeren 2021. Dana skulle til Vestgrønland for at gennemføre et forskningstogt med forskere i et EU-projekt kaldet ECOTIP (<https://ecotip-arctic.eu/>). På transitturen op med Dana deltog 18 gymnasielærere i biologi og naturgeografi på et fire-dages togt sammen med 3 forskere fra DTU Aqua. Her blev der både målt saltholdig og temperatur i havet, fanget vandlopper og talt om effekten af klimaforandringerne og den øgede afsmeltning fra Indlandsisen. Ny Dana vil være en væsentlig platform for også i fremtiden at kunne tilbyde undervisning til gymnasielærere og universitetsstuderende, såvel i det omgivende hav som i de instrumenter og maskiner, der befinder sig på selve skibet.

Hvad sker der nu?

Nybygningsprojektorganisationen er etableret. Derfor er DTU nu i fuld gang med at tale med brugere fra alle forskningsmiljøer for at indsamle brugerkrav og se, hvorledes disse bedst kan kombineres og indarbejdes i skibets design. Her vil der skulle laves prioriteringer, fordi det er svært at få plads til alle ønsker, og økonomien er begrænset.

Der er indtil videre lavet et konceptdesign for ny Dana. Her kan man se, at der kan blive plads til en lang række forskningsaktiviteter. Næste fase er en detaljeret designfase, der suppleres med test i prøvetank for at verificere skibets egenskaber lever op til de forventede krav. Først derefter kan man gå i gang med at bygge skibet. Begge faser i processen skal i EU udbud, derfor skal der også afsættes tid til disse. Det betyder, at det forventes at der går mindst 4 år, før Dana er klar til at sættes i søen. Der er god tid at glæde sig i.

KAREN EDELVANG (kaede@aqu.dtu.dk) er leder af sektionen for Oceaner og Arktis, DTU Aqua

DENNIS LISBJERG (deli@aqu.dtu.dk) er leder af sektionen for Maritim Service, DTU Aqua

Grundvand under byområder er forurennet med DMS

DMS er den hyppigst fundne pesticidrest i grundvandet. Svampemidlerne, som kan lede til DMS, er anvendt i både landbrug og som biocid i træbeskyttelse/maling. Selvom man ikke normalt tænker på biocidanvendelse som en stor trussel mod grundvandets kvalitet, har vi derfor undersøgt forekomsten af DMS under byområder, hvor der ikke kan forventes andre kilder end biocidanvendelse.

CHRISTIAN NYROP ALBERS, ULLA BOLLMANN, ANDERS RISBJERG JOHNSEN, LISELOTTE CLAUSEN, KRISTIAN BITSCH & GUSTAV SKAK SCHØLLER

I Danmark er grundvandet en vigtig naturressource, og alt dansk vandhanevand kommer i dag fra denne ressource. Grundvandet bliver derfor undersøgt for en række forureningsstoffer, bl.a. pesticider og deres nedbrydningsprodukter, som alle har en generel kravværdi i drikkevand på $0,1 \mu\text{g/L}$. I 2018 begyndte man at analysere for stoffet DMS (N,N-dimethylsulfamid), som er et nedbrydningsprodukt fra svampemidlerne tolylfluamid og dichlofluamid, som i Danmark har været anvendt som sprøjtemiddel i frugt- og bæravl, som bejdsmediel i såsæd, samt som svampehæmmende biocid i træbeskyttelse og maling. Stofferne har været anvendt fra ca. 1970 og indtil 2007 i frugt og bær, og ca. 2015 i træbeskyttelse og maling. Da man begyndte at analysere for stoffet i grundvand og drikkevand, viste DMS sig hurtigt at være usædvanligt udbredt med fund i 35% af de undersøgte drikkevandsboringer, og over kravværdien i 8,5% af boringerne /1/. Fund af DMS i mange bynære drikkevandsboringer antyder, at byområder kan være en betydelig kilde til grundvandsforureningen. Oprindelsen af en forurening i drikkevandsboringer kan dog være svær at bestemme, da drikkevandsboringer ofte har lange og/eller dybe indtag, som indsamler vand fra et stort område. Vi



Figur 1. Prøvetagne grundvandsboringer i sekundært sandmagasin (markeret med gult) og i underliggende kalkmagasin (markeret med hvidt). På de fire indvindingsboringer er DMS-koncentrationen angivet. Den stiplede hvide linje angiver kolonihaveområdets udbredelse.

har derfor undersøgt forekomsten af DMS i grundvandet under et kolonihaveområde med træhuse og grundvandet under et typisk byområde med parcelhuse og rækkehuse.

Grundvandet under kolonihaver

Vest for Ballerup ligger Danmarks største kolonihaveområde med flere tusinde kolonihavehuse. Vi valgte området som et potentielt "worst-case"-byområde på grund af de mange malede træhuse. Området overgik fra landbrug til kolonihaver i løbet af få år omkring år 1970. Risikoen for at tolylfluamid eller dichlofluamid har været anvendt som svampemiddel i frugt, bær eller gartneri i området er derfor meget lille. Geologien i området er

moræneler oven på et sandlag efterfulgt af endnu et lag moræneler og dernæst fra ca. 15 meters dybde et kalkmagasin, hvorfra grundvandet indvindes. Områdets vandspejl ligger i ca. 5 meters dybde. I den nordlige del af kolonihaveområdet har Hovedstadsområdets Forsyningsselskab (HOFOR) fire drikkevandsboringer, som er forurennet med DMS (Fig. 1).

Vi prøvetog vand fra meget specifikke dybder fordelt ud over de øverste 10 meter af grundvandet ved at prøvetage eksisterende terrænnære boringer med en særlig dybdespecifik metode samt ved etablere enkelte korte boringer. Resultaterne af disse undersøgelser viser, at det øverste grundvand i området indeholder fra ca. $0,2-1 \mu\text{g/L}$ DMS (Fig. 2). Altså

betydeligt over drikkevandsbekendtgørelsens kravværdi på $0,1 \mu\text{g/L}$. Oprindelsen er med al sandsynlighed svampemiddel (fungicid) i træbeskyttelse og maling.

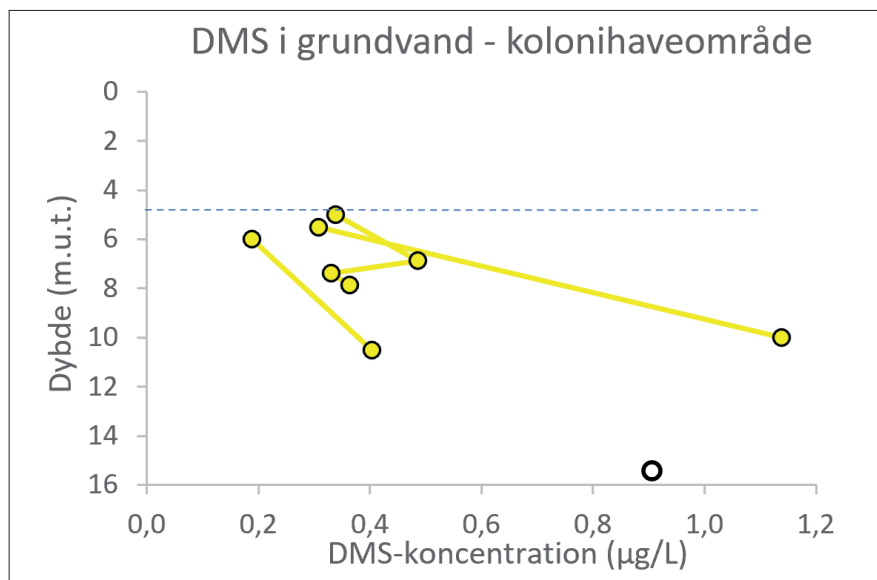
Grundvandet under villakvarterer

Vi valgte den østlige del af Hvidovre Kommune som modelområde. Området repræsenterer et typisk, dansk byområde med lav bebyggelse domineret af villakvarterer med mindre indslag af rækkehuse og etagebyggerier. Området var oprindeligt marker, men blev udstykket i løbet af 1940'erne og 1950'erne. Det betyder, at der ikke har været egentligt landbrug i området siden 1960'erne. Dog har der været ca. 25 gartnerier, men gartneridriften i det undersøgte område ophørte i løbet af 1970'erne /2/. Det er derfor usandsynligt, at tolyfluamid eller dichlofluamid har været anvendt i jordbruget i området. Det er derimod meget sandsynligt, at træværk i området jævnligt er grundet eller malet med produkter, der indeholdt et af de to fungicider.

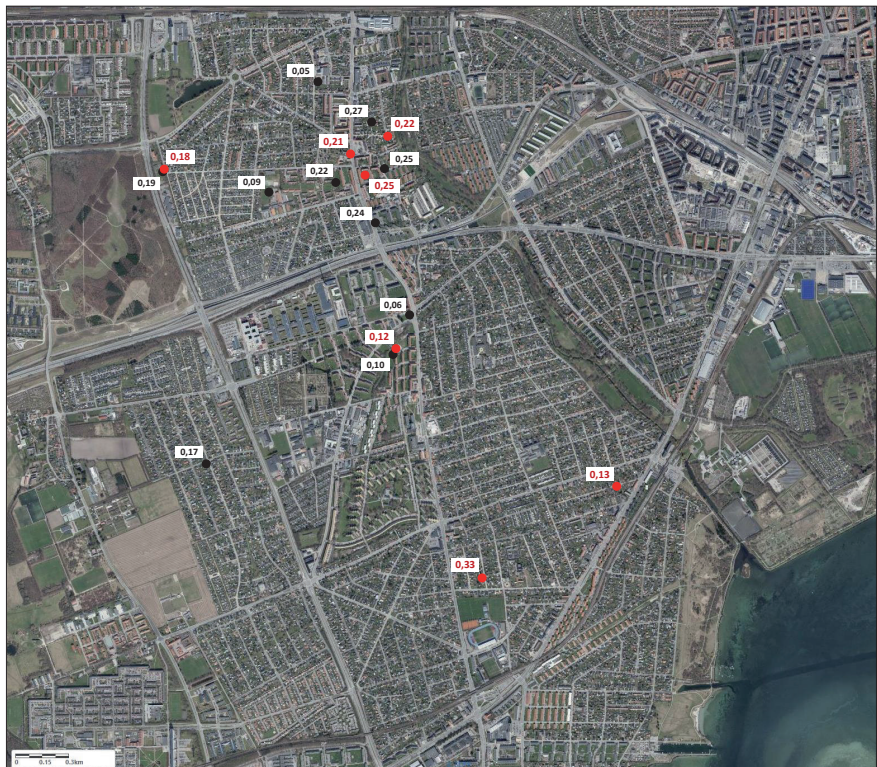
Områdets geologi er moræneler oven på kalk. Morænelerets tykkelse varierer fra 3 til 11 meter. Vandspejlet ligger typisk fra 2 til 7 meter under terræn (m.u.t.). HOFOR har siden 2020 analyseret en række drikkevandsboringer og overvågningsboringer i området, som stort set alle indeholder DMS, typisk fra $0,05$ til $0,2 \mu\text{g/L}$ (Fig. 3). Derudover findes en række terrænnære pejleboringer i området, som er filtersat i den øvre del af kalkmagasinet. Vi tog vandprøver fra syv pejleboringer med korte filtre, tæt på større rækkehus og parcelhusområder, og med mindst 1000 m til gartneri og marker. DMS-koncentrationen var høj og ret ensartet, mellem $0,12$ og $0,33 \mu\text{g/L}$.

Som nævnt har HOFOR tidligere kigget efter DMS i overvågningsboringer og drikkevandsboringer i området. I umiddelbar nærhed til de syv pejleboringer drejer det sig om 10 boringer, hvoraf de fleste har lange filtre og der er derfor større usikkerhed på borerens opland og på alderen af det indvundne vand. Kortet nedenfor viser koncentrationen i drikkevands- og monitoringsboringerne sammen med koncentrationen i pejleboringerne (Fig. 3).

DMS-koncentrationen i de syv terrænnære pejleboringer ligner koncentrationerne i de dybere drikkevands- og overvågningsboringer (Fig. 4). Gennemsnitligt ser koncentrationen ud til at være lidt højere i pejleboringerne, men det skyldes muligvis at drikkevands- og overvågningsboringerne er placeret lidt anderledes i området end pejleboringerne, som var udvalgt til prøvetagning efter nærhed til større parcel- og rækkehusområder. De relativt ensartede koncentrationer i terrænnære og dybe



Figur 2. Koncentration af DMS i grundvand under kolonihaveområdet i prøver fra forskellig dybde angivet som meter under terræn (m.u.t.). Punkter der er forbundet med en linje er forskellige dybder fra samme boring. Den stiplede blå linje angiver dybden af grundvandsspejlet i området. Cirkler med gul udfyldning er prøver fra sandmagasin. Hvid udfyldning er fra kalkmagasin.

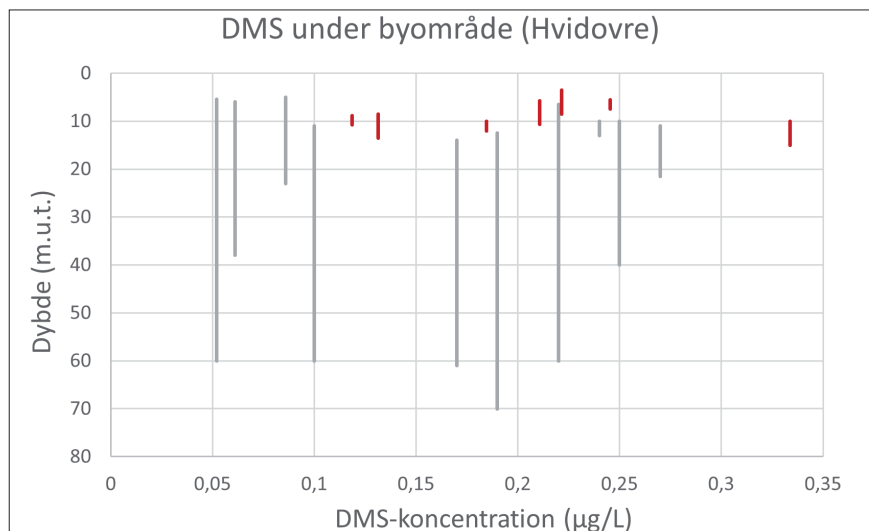


Figur 3. Koncentration af DMS ($\mu\text{g/L}$) i terrænnære pejleboringer (rød) og drikkevands- og overvågningsboringer (sort) i Hvidovre.

boringer indikerer, at der enten er ringe variation med dybden eller at det meste vand kommer ind i toppen af de dybe drikkevands- og overvågningsboringer. Det sidste vil ikke være uventet i kalkmagasiner, som typisk er mest opsprækkede i toppen og er derfor nok den mest sandsynlige forklaring på de ensartede koncentrationer i dybe og terrænnære boringer.

Træarealer i forskellige bebyggelsestyper

Umiddelbart kunne det virke besynderligt, at DMS-koncentrationerne kun er 2-3 gange større under kolonihaverne sammenlignet med villakvartererne, idet stort set alle kolonihavehusene var malede træhuse, hvorimod langt de fleste af parcelhusene var opført i mursten. Men når man betragter et typisk parcelhus, er der faktisk også her store



Figur 4. Koncentration af DMS i terrænnære boringer (rød) og drikkevands- og overvågningsboringer (grå). Filterlængden (vandindtaget i boringen) er angivet som stregernes længde langs y-aksen.

Tabel 1. Bemalede træarealer (middelværdier ±1 standardafvigelse) for forskellige typer bebyggelser opmålt i Ballerup samt i Havdrup på Østsjælland.

	Antal opmålt	Bemalet areal (m ²)	Bemalet areal pr grundareal (m ² /m ²)
Kolonihavehuse, træ	5	125±36	0,32±0,10
Parcelhuse, mursten	13	130±42	0,15±0,05
Parcelhuse, træ	2	198±33	0,24±0,07
Rækkehuse, mursten	7	91±37	0,44±0,16

bemalede træflader i form af gavle, sternbrædder, vindskeder, vinduer, træterrasser, stakitter, cykelskure osv. For at kunne sammenligne risikoen for DMS-udvaskning har vi opmålt bemalede træflader for forskellige typer bebyggelser opført i forskellige årtier (Tabel 1). Ganske overraskende havde række-

huse i mursten det største bemalede areal målt i forhold til grundarealet. Det var også overraskende, at parcelhuse i mursten gennemsnitligt havde næsten samme bemalede areal som kolonihaverne, målt per hus, og halvt så meget som kolonihaverne målt per grundareal.



Figur 5. Foto af prøvetagning i den boring, som gav den højeste DMS-koncentration (0,33 µg/L, filter placeret 4-9 meter under vandspejlet). Denne boring er central placeret i det største og mest homogene villa-område i Hvidovre

De bemalede arealer som DMS-kilde passer dermed ganske godt til den målte forurening med DMS i det terrænnære grundvand, hvor vi fandt 2-3 gange lavere DMS-koncentrationer under Hvidovre sammenlignet med under kolonihaveområdet. Bymæssig bebyggelse må altså generelt forventes at kunne udvaske DMS fra biocid-anvendelse, også selvom de fleste parcelhuse og rækkehuse er opført i mursten.

Konklusion

DMS er vidt udbredt i det terrænnære grundvand under de undersøgte byområder. Koncentrationen ligger typisk omkring 0,2 µg/L under Hvidovre By og 2-3 gange højere under det undersøgte kolonihaveområde. I begge områder er den eneste sandsynlige DMS-kilde anvendelse af tolyfluorid og dichlorfluorid i træbeskyttelse og maling til udendørs træværk. Der må altså forventes lignende DMS-koncentrationer under byområder generelt, hvis disse er karakteriseret ved et stort antal parcel- og rækkehuse.

For øjeblikket undersøger vi i en række laboratorieforsøg, om DMS nedbrydes i grundvandsmagasinerne. Den foreløbige konklusion på forsøgene er, at DMS sandsynligvis er persistent efter udvaskning fra de øvre jordlag. At DMS-koncentrationen under byområder er tæt på sit maksimale i den øverste del af grundvandet betyder derfor, at der desværre kan forventes DMS i den danske grundvandsressource mange år ud i fremtiden.

Referencer

- /1/ Thorling, L., Albers, C.N., Ditlefsen, C. Hansen, B., Johnsen, A.R., Mortensen, M.H. & Trolborg, L., 2021: Grundvand. Status og udvikling 1989–2020. Teknisk rapport, GEUS 2021.
- /2/ Hvidovre Kommune. 2000: Kortlægning af tidligere gartnerier i Hvidovre Kommune. Notat 12068.

CHRISTIAN NYROP ALBERS (cal@geus.dk) er seniorforsker i miljøgeokemi, ULLA E. BOLLMAN (ueb@geus.dk) er seniorforsker i miljøkemi og ANDERS RISBERG JOHNSEN (arj@geus.dk) er seniorforsker i miljømikrobiologi, ved de Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Geokemisk Afdeling.
 LISELOTTE CLAUSEN (licl@hofor.dk) er Chefkonsulent, KRISTIAN BITSCH (krbi@hofor.dk) er Hydrogeolog og GUSTAV SKAK SCHÖLLER (guss@hofor.dk) er Hydrogeolog, ved Hovedstadsrådets Forsyningsselskab (HOFOR), Vandressourcer.

Undersøgelsen blev gennemført med støtte fra Miljøstyrelsens Program for Bekæmpelsesmiddelforskning, som en del af projektet FungiSource.

ATV JORD OG GRUNDVAND

Non-target analyser

Tirsdag den 10. maj 2022, kl. 10.00 – 16.00. Storebælt Si-natur Hotel & Conference, Østerøvej 121, Nyborg

Vi hører om mange spændende udviklingsprojekter, hvor der nævnes et begreb - non-target analyser (NTA). Men hvad betyder "non-target", og hvad kan det bruges til?

På mødet samles flere foredragsholdere, som fortæller både om non-target, som er et bredt analytisk tiltag til at undersøge, hvilke miljøfremmede stoffer, der kan være til stede i et media, og en række case-studier, som viser anvendelse.

I løbet af mødet vil det være muligt at deltage i gruppearbejde om, hvordan vi kan foreholde os til tek-nikkerne ift. vores forskellige miljøopgaver og baggrund. Diskussionerne opsamles som spørgsmål til et panel om, hvordan teknikkerne kan anvendes til at skabe et bedre grundlag til vurdering af den kemiske cocktail, som findes i vore miljøprøver, og som vi i dag ikke til fulde har styr på.

Målgruppen: Alle, der arbejder med miljøopgaver, og som er interesseret at høre mere om, hvordan vi kan tackle udfordringer med "ukendte stoffer" i vores miljøprøver.

Læs mere og tilmeld dig på hjemmesiden www.atv-jord-grundvand.dk

Når §8-tilladelsen er givet

Torsdag den 2. juni 2022, kl. 09.00– 16.00. DGI-Byen/CPH Conference, Tietgensgade 65, København (mulighed for on-line deltagelse)

Der er kog i §8-gryden i det danske land, og alle involverede interessenter er hårdt spændt for, det være sig projektudvikleren, rådgiveren og myndighederne. Når §8-tilladelsen er givet, og nøglen til det nye byggeri er solgt – men projektet kom lidt haltende i mål, og vi til næste projekt gerne vil have det til et glide lidt enklere og uden de samme friktionspunkter – hvad gør vi så?

Måske projektet var under hårdt tidspres, tilsynet næsten fik lov at komme på besøg på de rigtige tids-punkter, og de afledte §8-vilkår i store træk kunne dokumenteres. Hvad gik galt? Hvilke tekniske og ad-ministrative dilemmaer meldte sig undervejs og hvordan spiller de ind i den juridiske ramme?

Det stiller vi skarpt på og diskuterer på dette heldags-hybrid-møde. Dagen vil veksle mellem oplæg fra en teknisk, juridisk og myndighedsvinkel med afsæt i "sager-der-ikke-gik-helt-efter-planen", så vi kan få et indblik i hinandens udfordringer - se problemstillingerne "fra den anden side af bordet". Visionen for dagen er, at vi sammen kan gøre det bedre fremover. Der vil således være en god blanding af faglige oplæg, praktiske eksempler og rig mulighed for vidensdeling og debat. Læs mere og tilmeld dig på hjemmesiden www.atv-jord-grundvand.dk

Medicinrester i spildevand og miljø er det nye sort!

Tirsdag den 7. juni 2022, kl.17.00 – 19.30 (gå hjem møde – Vest). Skanderborg Forsyning A/S, Døjsøvej 1, Skanderborg

Det har været kendt i lang tid, at vores nuværende tilgang til miljøanalyser baseret på såkaldt target-analyser af udvalgte prædefinerede stoffer ikke nødvendigvis giver et retvisende billede af risikoen ved f.eks. en spildevandsudledning.

Nye såkaldte non-target metoder har givet forbedrede muligheder for indsigt i sammensætningen af en udledning og de første resultater har givet værdifuld viden om indholdsstofferne i spildevand ved indløb til et renseanlæg og om stoffernes skæbne gennem renseanlægget.

Formålet med dette gå hjem-møde i ATV Jord og Grundvand/Vest er at formidle information om de nye spændende analysemetoder og at kæde denne information sammen med data fra meget aktuelle igang-værende undersøgelser og med viden om muligheder for rensning. Information om metodernes princip-per og muligheder bliver således flankeret af indlæg fra Skanderborg Forsyning, som vil fortælle om re-sultaterne fra en første større screeningsundersøgelse på Forsyningens anlæg og af et indlæg fra Krüger Veolia om renseteknologier til fjernelse af medicinrester fra spildevand.

Mødet holdes som et møde med fysisk fremmøde.

Læs på hjemmesiden www.atv-jord-grundvand.dk tilmeld dig med en kort e-mail til atv@env.dtu.dk senest 2. juni. Gå hjem-mødet er gratis.

NORDROCS 2022, 5.-8. september i Oslo. 8th Joint Nordic Meeting on Remediation of Contaminated Sites

International konference om afværge af forurenede grunde, arrangeret i samarbejde med MUT-KU/Finland, Renare Mark/Sverige, Miljøringen/Norge og ATV Jord og Grundvand/Danmark. Foreløbigt program foreligger og tilmeldingen er åben – se www.nordrocs.org

Objective: The objective of NORDROCS is to address issues on assessment and remediation of contaminated soil, ground-water and sediments in the context of Nordic conditions. The meeting intends to provide a forum for the exchange of information gathered through research and project experience. Target groups include scientists, regulators, consultants, contractors and other professionals working with contaminated sites and sediments in the Nordic countries and in the countries around the Baltic Sea.

Læs mere på konferencens hjemmeside: www.nordrocs.org
Konferencens danske arrangører er:
Chefkonsulent Arne Rokkjær, Region Hovedstaden
Lektor Mette Broholm, DTU Miljø
Sekretariatsleder Lisbeth Verner, ATV Jord og Grundvand

Fondens formål:

ATV Fonden for Jord og Grundvand er en almennyttig, erhvervsdrivende og non-profit fond, der arbejder aktivt for at fremme formidling og udveksling af viden om fagområdet jord- og grundvandsforurening. Der arbejdes med at stimulere og initiere undervisning, forskning, udvikling samt styrke den faglige debat.

Konkret udmøntes Fondens arbejde i, at der årligt afholdes i størrelsesordenen 10 konferencer, møder, kurser og ekskursioner.

Bestyrelsen samt arbejdsgrupper under denne arbejder frivilligt med at opfylde Fondens formål. Fondens sekretariat varetager den løbende kontakt til Fondens brugere og **bidragydere**.

For generel information om aktiviteterne i ATV Jord og Grundvand og tilmelding til møderne – se www.atv-jord-grundvand.dk

Forunderlig historie: Hvordan åens smådyr kan finde vej

Vi yder en stor og vellykket indsats med at forbedre vores vandløb. Om det forsvundne dyreliv vender tilbage, afhænger af, om arterne kan finde vej fra de områder, hvor de har overlevet. Rejsen kan være lang og langsommelig, men opfindsomheden er stor, som denne forunderlige naturhistorie beretter. Der er grund til optimisme: Det er ikke første gang i historien, at åens smådyr er på rejse.

BENT LAUGE MADSEN

På sin store rejse havde Darwin undret sig over ligheden mellem sit hjemlands og Brasiliens ferskvandsfauna: "*Men denne Ferskvandsorganismernes store Udbredelse kan, tror jeg, forklares derved, at de, paa en maade som er højest nyttig for dem, er bleven skikkede til korte og hyppige Vandringer fra Dam til Dam eller fra Strøm til Strøm.*"^{1/}

Opfindsomheden er stor, når de små dyr skal sikre sig en plads i vandløbet. Himmelsbjerg, ja selv Mount Everest, tager turen som sandskorn gennem vandløbet, for at ende i havet. De kan ikke kæmpe mod strømmen. Det kan vandløbenes smådyr ^{2/}. Den flade fimreorm kravler, langsomt, imod strømmen. Døgnfluens hun flyver, hurtigt, opstrøms med æggene. Nogle er blinde passagerer på fugle. Andre beskytter sig mod strømmen ved at gemme sig under sten, eller de er strømli-nede. Mange holder fast med store kløer. Nogle få vover sig ikke ud i strømmen uden at spinde en sikkerhedslinje.

Ikke sært, at Darwin kunne genkende den engelske strømfauna i Brasiliens vandløb. Engelske døgnfluer er næppe fløjet til Brasilien. Eller omvendt. Begge steder er smådyrene tilpasset strømmen i en konvergent udvikling. Strømmens fysik sætter samme spilleregler i alle vandløb. Smådyrenes evolution ruller tæ-ningerne.

Snegle og muslinger kan rejse med fugle

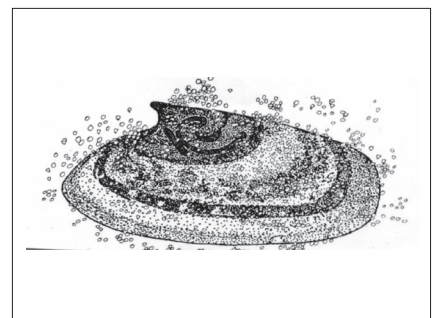
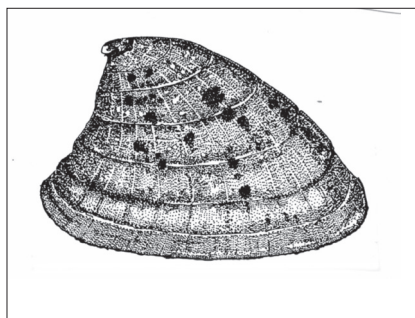
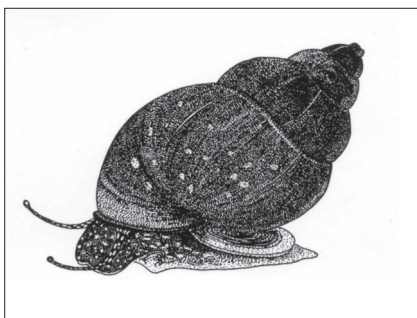
Darwin sidste afhandling udkom få dage før hans død. Heri fortæller han, at en af hans venner havde skudt en and: Der fulgte en malermusling med, klemt eftertrykkeligt fast på det ene ben. Vore to dammuslinger hedder *Anodonta cygnus* (svane) og *A. anatina* (and): Måske har jægere set dem klemt fast om ben på henholdsvis svaner og ænder? De er, som malermuslingen, særkønnede. De skal finde en mage i et nyt vandløb. Troede vi. Nu viser det sig, at i Ukraine ^{3/} har de "fakultativ hermafroditisme": De kan skifte, hvis bestandene bliver for tynde. Det samme havde Wesenberg-Lund læst i en tysk afhandling fra 1916 ^{4/}. Et af mange eksempler på, at megen

viden er gemt og glemt i gamle skrifter.

Med 1030 MD-fund, 1975-2021, (Miljø-data: <https://miljoedata.miljoportal.dk/>), fordelt over hele landet, ser det ud til, at Svane-dammuslingen har spredt sig pænt. Der er ikke data på Ande-dammuslingen, måske fordi de begge er registreret som Dammusling. At der i samme periode kun er 11 Malermuslinge MD-fund kan måske hænge sammen med, at den også skal finde en Elrits-rugemoder, der er sjælden.

At bønnemuslingen, som er hermafrodit, er vidt udbredt i vandløbene med 18641 MD-fund (1975-2019), er ikke sært. Den kan rejse ved at klemme sig fast til fx vandkalve-ben. Den bærer sine små unger i gællehulen, til de er klar til livet ude i vandløbet.

Også den parthenogenetiske (jomfrufødende) dyndsnegl (Fig. 1) er vidt udbredt i vandløbene med 13286 fund (1973-2021). H. H. Lassen ^{5/} har vist, at den kan spredes med fugle, akkurat som Darwin ^{1/} skrev: "*Jeg stak en Andefod ned i et Akvarium, hvor der blev udruget en mængde Æg af Ferskvands-snegle, og jeg fandt at mange af de yderst små og nylig udrugede Snegle kravlede op på*



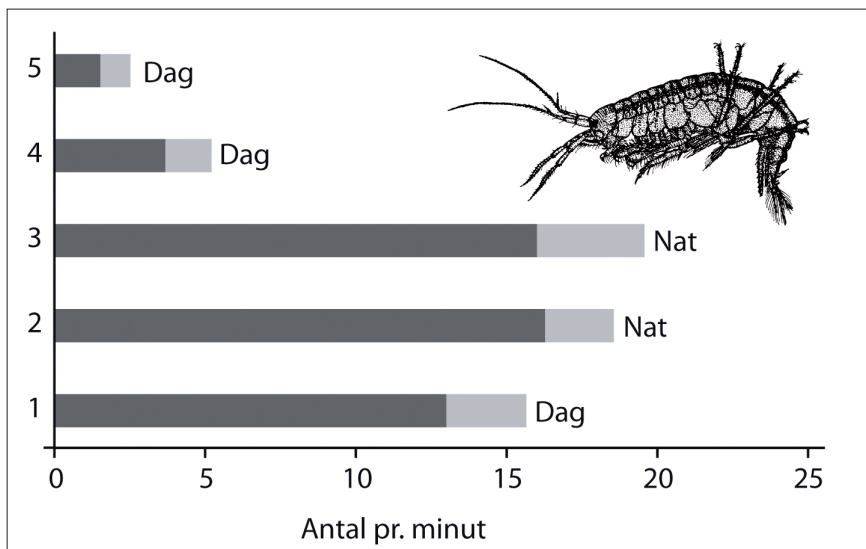
Figur 1. De tre små ferskvandssnegle: (a) Dyndsneglen (forgællesnegl), (b) huesneglen og (c) skjoldsneglen (lungesnegle). Tegning Hanne Rode.

Foden og sad så fast på den, at man ikke kunne ryste dem af, når jeg tog Foden ud af Vandet.”

Da vandet i bjergbækken Hulbæk nær Silkeborg blev rent, var den første tilflytter dyndsneglen, som jeg fandt i de strømlæ steder mellem stenene. I forhold de hermafroditiske, strømlinede Huesnegle (24097 MD fund 1973-2011) og Skjoldsnegle (4196 MD-fund)) synes den ikke umiddelbart formet til livet i strømmende vand. Skjoldsneglen kan rejse på ryggen af en vandkalv. Og det kan huesneglen måske også. Men det er ikke nok at se på anatomi og former. Adfærd er også vigtig. Fx kan dyndsneglen grave sig ned i bunden, hvis strømmen bliver for stærk for den /6/.

Ferskvands-tangloppen kravler opstrøms

Få arter, om nogen, er så talrigt tilstede i de rene vandløb som Ferskvands-tangloppen, *Gammarus pulex*. MD har 85608 fund (1980-2020). Og få finder så hurtigt tilbage til vandløb, de er fordrevet fra, fx pga. forgiftning. Det er så enkelt, når der er en bestand opstrøms. Men de kan også rejse op ad åen. De svømmer ikke, men krabber sig sidelæns af sted på bunden, hvor strømmen er svagest. Til tider rejser de i meget store flokke, som jeg i oktober 1985 så i den nys genåbnede Enggaard bæk ved Gram: En tusind-tallig flok var på vej fra åen op gennem bækken. Åbenbart koordineret, hvordan det end går til. Et årti senere fulgte jeg dens vandring op i den nye, allerøverste del af Gudenåen (Fig. 2). 11. juni 1995 kl. 12 blev vandet lukket ind. I løbet af det næste døgn nåede jeg 130 gange at tælle, hvor mange individer, der hvert mi-



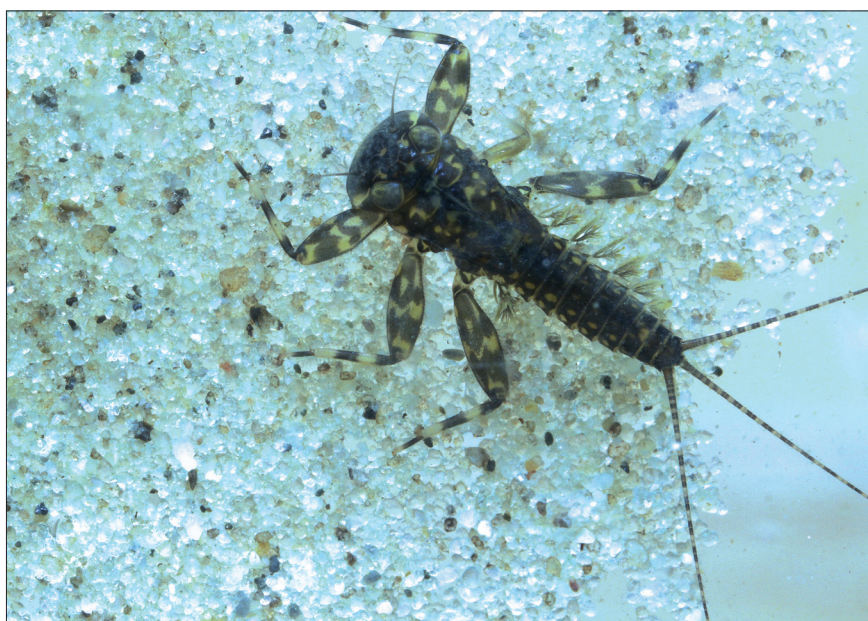
Figur 2. 5 af de 130 *Gammarus*-observationer i Gudenåens nye løb 11-12 juli 1995. Sort er opstrøms-vandring. Grå er nedstrøms drift. Nr 1 er ved daggyr.

nut passerede en linie tværs over bækken. Næsten alle vandrede opad i det ca 5 cm lave vand ved bredden. Det var tydeligt, at de søgte mod små ujævnheder, hvor der nok var mere strømlæ. Af og til blev en af dem revet væk af strømmen. Langt de fleste vandrede i de mørke timer: Formodentlig "ser" de små ujævnheder med sanseorganer, der mærker strømmen.

Vores anden art, *Gammarus lacustris*, er fåtallig til stede i vandløbene: MD har 969 fund (1983-2021). At dømme efter upublicerede forsøg i strømvarier har den det ikke godt med strøm. Men den har formidable spredningsevner som blind passager på fuglefjer /2/ De er fx at finde i isolerede klitsøer i Thy og i kreaturenes drikkebrug omkring bl.a. Nissum Fjord /2/.

Døgnfluerne flyver mod strømmen

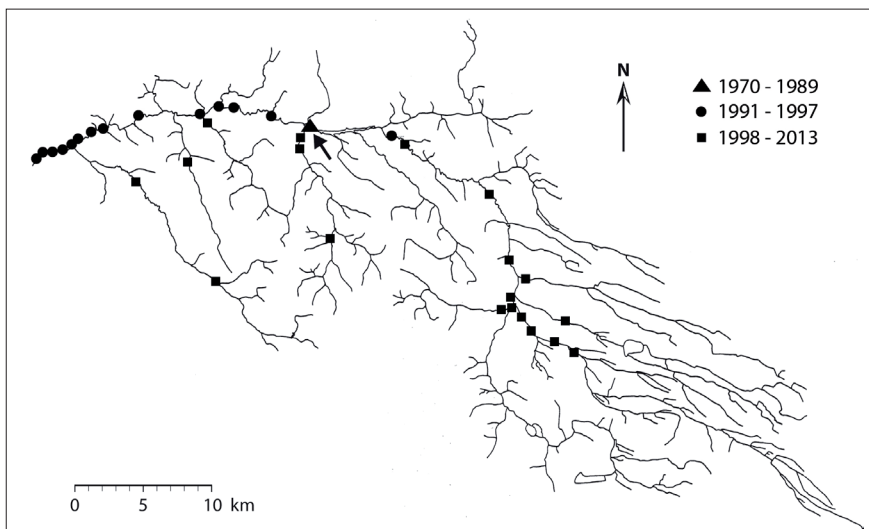
Et af de smukkeste biologiske fænomener ved sommeråen er døgnfluernes opstrømsflugt /2/. Hunnerne flyver de befrugtede æg opstrøms for at modvirke larvernes drift med strømmen. I et 1972-forsøg, hvor vi havde spændt klæbrige plasticfolier tværs over Sønderup Å, fangede vi i løbet af nogle sommeruger knap 7000 hun-individer af *Baetis*-døgnfluen /2/. 71% var fanget på den side af folien, der fangede opstrøms flyvende døgnfluere. Mystisk var, at der også på den side sad knap 300, lidt mærkelige, hanner. Og omtrent lige så mange hunner, som var uden æg. Alle havde en lille parasit-orm (*Mermetid*) i sig. Den lever i *Baetis*-larven, og den driver med den ned ad åen. Hvis den er i en larve, der bliver hun, så rejser den jo opstrøms igen med hunnen. Og som tak har den på bedste gøgeungevis sørget for, at hun ikke skal bære æg samtidig. Den har, som parasitter tit har for vane, hjernevasket hende til ikke at udvikle æg. Den orm, der bor i en larve, som bliver en han, har et problem: Hanner flyver normalt ikke opstrøms, men det klarer ormen: Den hjernevasker hannen til at tro, at



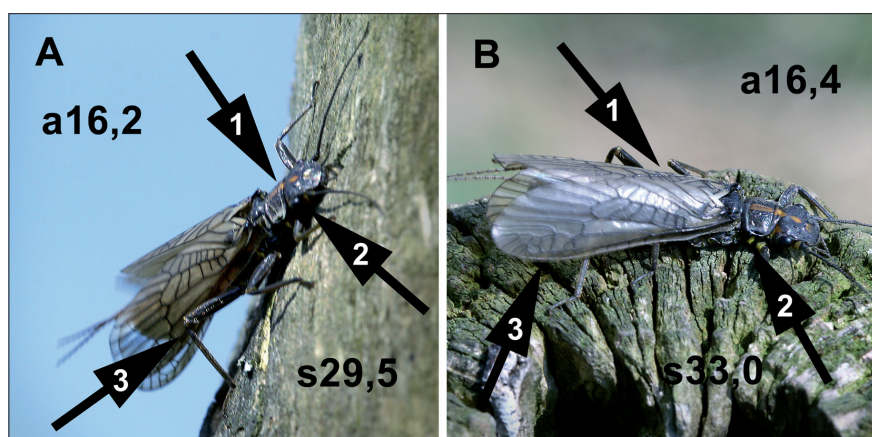
Figur 3. Den flade døgnfluelarve *Heptagenia sulphurea*.



Figur 4. Døgnfluen-larven *Rhithrogena germanica* fra Højen bæk.



Figur 5. *Perlodes*-spredningen i Storå. Fra 1 lokalitet 1970-1989 til 31 i 2013.



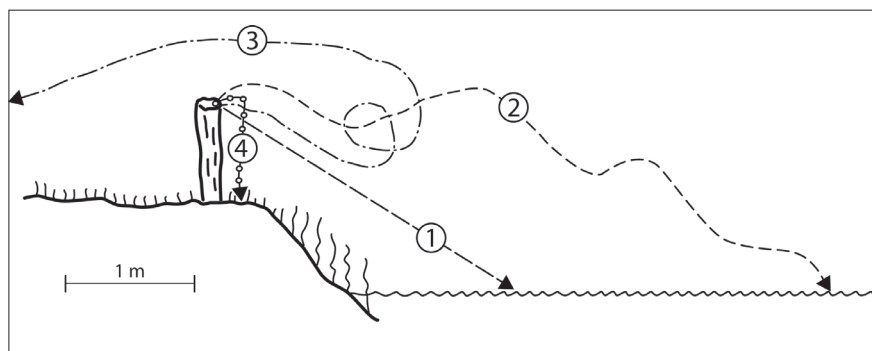
Figur 6. *Perlodes* i soleksponering på solsiden (A) og toppen (B) af pæl: a: Lufttemperatur. s: Overfladetemperatur. Pile viser varmekilder: (1) Solindstråling, (2) Varmeledning, (3) Opstigende varm luft.

den er en hun. Så "han" slår følge med hunnerne, også når de dykker ned under vandet, hvor hunnerne lægger æggene, mens hanner og ægløse hunner lægger en orm.

Jo, selv en lille en lille parasit-orm kan lære at leve med strømmen.

Og det kan døgnfluer og andre flyvefærdige insekter i vandløbet også. To årtier efter, vi begyndte at behandle vandløbene ordentligt, kom den første beretning om, at insekterne

var på vej tilbage til fynske åer, som forurening og regulering havde fordrevet dem fra /9/. En bestand af døgnfluen *Heptagenia sulphurea* (Fig. 3) havde overlevet i den øverste del af Odense Å-systemet. I takt med, at vandet blev rent, drev de nedad og befolkede åen her. I 1991 nåede de forbi Odense. Undervejs er den også vandret opstrøms i nogle tilløb, formodentlig fløjet ind af hunner med befrugtede æg. Også i 1991 blev den fundet i Vin-



Figur 7. *Perlodes*-flyvetur efter sol-eksponering på ca. 1 m høj pæl: (1) Glideflugt ud over åen næsten vindstille ($\le 0,5\text{ m/s}$), (2) do. i medvind 1-2 m/s, (3) Do i modvind 0,6 m/s, (4) Stall i næsten stille vind umiddelbart efter takeoff.

dinge å-systemet: De første har været på en på en 5 - 6 km lang tur over land. Det kræver en god flyver, måske hjulpet af vinden.

Næppe alle døgnfluer kan klare en sådan tur over land. Døgnfluen *Rhitrogena germanica*, (Fig 4), der nu kun findes i Højen bæk, har i mange år kun overlevet med små bestande i dele af hovedløbet. Nu, hvor vandet er rent, har den bredt sig effektivt, både i hovedløb og talrige tilløb /10/. Derimod er den, endnu, trods mange eftersøgninger, ikke fundet i velegnede nabobække, hvor den var i gamle dage.

Slørvinger: Blinde passagerer på lystfiskere?

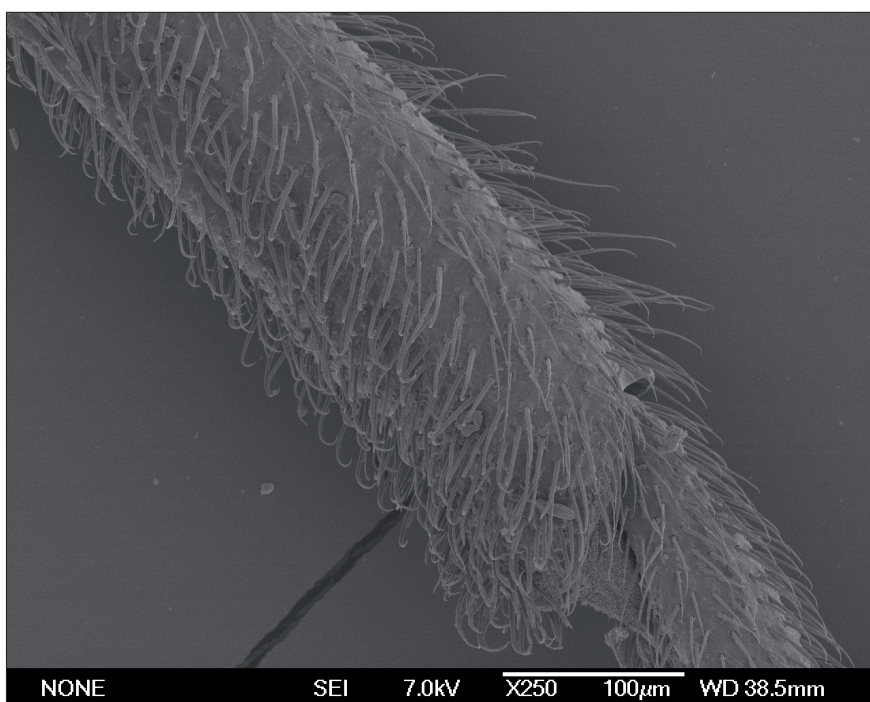
De to slørvinger, *Perlodes microcephalus* og *Taeniopteryx nebulosa*, er begge meget tidligt fremme som voksne, vingede insekter ved de jyske åer. *Taeniopteryx* i marts måned, til tider allerede i februar, *Perlodes* lidt senere. I Storå-systemet /9/ har Poul Aagaard fulgt *Perlodes*-genkomsten nøje (Fig. 5). 1970-1989 var der kun en meget lille bestand tilbage i Storåen inde i Holstebro. Efter forureningen hørte op, spredtes bestanden det næste tiår, men kun nedstrøms: Det var utvivlsomt larver fra Holstebro-bestanden, der drev af sted. Gennem de næste to årtier fandt den også vej opstrøms, både i hovedløb. og tilløb. Her har ikke været bestande, der kunne drive nedstrøms. Den har også bredt sig til andre vandløbssystemer, den har været forsvundet fra /10/.

Marts og april er ikke en årstid, som er egnet for flyvende slørvinger, og slet ikke i det barske NV-Jylland /9/. Det er for koldt til, at slørvingernes "flyvemotor" kan komme i omdrejninger, og lykkes det, så holder det ikke længe: Så er det jo ikke meget ved at have vinger. Det har *Perlodes*-hannen taget konsekvensen af: Den har helt afskaffet dem. Det er nok ikke opstrømsflugt, som sikrer bestanden. Men hunnen har dog vinger: Den skal en eller anden måde "flyve" udover åen og lægge sine æg.

Forudsætningen for, at den store og tunge (80-100 mg) hun kan flyve, er, at hun udnytter mikroklimaet på solsiden af pæle og grene for at varme "flyvemotoren" op til de nødvendige 30-40 °C. Her stiller hun sig i en solpostur (Fig. 6). Hun presser brystet med flyvemusklerne ind mod det varme underlag, og hun folder vingerne som et telt, der leder varm luft hen over bagkroppen. I løbet af 5-10 minutter er flyvemusklerne varme nok, men det holder kun til en kort, lige glideflugt med stærkt svirrende vinger udover åen. Så er "motoren" afkølet. Selv en svag vind kan lede hende på afveje (Fig. 7). Vel landet slipper hun ægklum-



Figur 8. *Taeniopteryx* klar start fra gren. Se ægklumpen.



Figur 9. "Fiskekroge" på *Taeniopteryx*-ben

pen, som synker til bunds, mens hun prøver at padle til land igen. Luftbåren bliver hun ikke. Her gør hun en ny portion æg klar, inden det hele er slut nær maj måned udgang.

Den meget lettere *Taeniopteryx* (ca 14 mg) må også opvarme "motoren" på samme måde som *Perlodes* (Fig. 8), før den kan flyve i en flagrende glideflugt ud over vandet. Dog har vi i enkelte tilfælde set den flyve, og endog sværme i flokke, på meget varme og stille solskinsdage. Det har vi aldrig set med *Perlodes*. I Vestjylland, bør nok tilføjes.

En sandsynlig forklaring på deres effektive spredning over lange afstande /10/ kan være, at de er blinde passagerer. I hvert tilfælde har jeg på mine tidlige slørvingejagter næsten altid oplevet, at både *Perlodes* og *Taeniopteryx*, hæfter sig til mit tøj og til pelsen på en ledsa-

gende hund. Til undren for tilskuere har jeg svunget en svaber gennem bredplanterne og talt fangster i 10 minutters intervaller. Jo, de hænger ved. Lystfiskere kan fortælle den samme historie. I elektron-mikroskopet kan jeg se, at fodsålerne hos *Perlodes* er beklædt med en slags velcro, og at *Taeniopteryx*-benene har hår, der er formet som fiskekroge (Fig. 9).

Pelsklædte dyr (odder?) og fjerede fugle (fiskehejrer?) kan muligvis være bærere. Det skal jo være dyr, der er målrettet egnede vandløb. Bæveren er også en mulighed med det forbehold, at *Perlodes*, som kræver sten og grusbund, ikke kan leve i bæverens opstuede vandløbs sand- og mudderbund.

Det er helt usandsynligt, at *Perlodes* med vinden kan spredes over store afstande til nye vandløb. Hannen har ingen vinger og hunnen

har små vinger i forhold til vægten: Hun staller længe inden. Og hvor sandsynligt er det, at vinden leverer den til det "rigtige" vandløb for den. Vandløbenes arealer er under 2 % af Danmark. De "miljø-egne" er ca. 0,5% og de *Perlodes*-egne endnu mindre. Det skal være en gunstig vind, som sender en gravid hun, hanner uden vinger følger næppe med, ned i et vandløb, hvor hun føler sig hjemme.

Hvem er målrettet *Perlodes*- vandløb? Mit bedste bud er lystfiskerne. Midt i april starter laksefiskeriet, samtidig med *Perlodes*-højsæsonen. Ihærdige fiskere stiler målrettet mod de gode ørred, lakse- og *Perlodes*-åer. Og de rejser fra å til å for at prøve lykken.

Det er en nærliggende tanke, at nogle af lystfiskerne, måske ikke så få, uforvarende har bragt en *Perlodes* eller en *Taeniopteryx* til åen.

Jeg har i hvert tilfælde mere end én gang set begge arter kravle rundt på mit spisebord, når jeg træet er kommet hjem fra mine svaber-odysseer ved forårs-åen.

Referencer

- 1/ Darwin, C. 1859. Origin of species. Her citeret fra I. P. Jacobsens danske 1967 udgave (Artemes oprindelse.)
- 2/ Madsen, B.L. 2017. Naturhistorier fra bæk og å. Epsilon. 2017.
- 3/ Yanovych, L.M. m. fl. 2011. The cases of hermaphroditism in Ukrainian populations of Unionidae. State University, Ukraine.
- 4/ Wesenberg-Lund, C. 1937. Ferskvandsfaunaen biologisk belyst, II, s.665.
- 5/ Lassen, H.H. 1978. The migration potential of freshwater snails exemplified by the dispersal of *Potamopyrgus jenkinsi*. Natura Jutlandica 20: 237-242.
- 6/ Statzner, B. 1981. The relationship between "hydraulic stress" and the microdistributions of benthic macroinvertebrates in a lowland running water system, the Schierenbrooks (North Germany). Archiv für Hydrobiologie 91: 192-218.
- 7/ Wiberg-Larsen, P, Larsen, F. G., Knudsen, J. og Adamsen, N. B. 1994. Rent vand- ikke bare en døgnflue? Vand&Jord 1: 62-64.
- 8/ Grøn, P. N., Rasmussen, K. og Wiberg-Larsen, P. 2021. Forekomsten af den sjældne døgnflue *Rbitrogena germanica* i Højen Bæk-systemet ved Vejle. Flora og Fauna 126:1-9.
- 9/ Madsen, B. L. and Aagaard, P. 2016. Behaviour and dispersal in adult *Taeniopteryx nebulosa* and *Perlodes microcephalus* in Denmark. Aquatic Insects 37:37-57.
- 10/ Skriver, J., Jensen, F., Bundgaard, P. og Holm, P. 2005. Slørvingen *Perlodes microcephalus* i frem gang i Danmark, Flora og Fauna, 14: 95-103.

BENT LAUGE MADSEN (bent@laugemadsen.dk) biolog og ekspert i vandløbsinsekters økologi, åmand emeritus.

Minivådområder: Effektivitet og sideeffekter

Minivådområder med overfladestrømning har til formål at forbedre vandmiljø ved at fjerne kvælstof fra drænvand. Etablering af minivådområder skal bidrage til implementering af EU's vandrammedirektiv, men der mangler endnu en reduktion på 668 ton N/år iht. Fødevarer- og landbrugspakken (2015). Målopfyldelse kræver dog hensyn til mere end blot næringsstoffer. Derfor er der behov for at vurdere, om minivådområder kan påvirke vandføring, temperatur og iltmætning i vandløb.

ASTRID MAAGAARD, CARL CHRISTIAN HOFFMANN & RASMUS JES PETERSEN

Minivådområder har været kendte i Danmark i mere end et årti og fremhæves som kollektivt virkemiddel i flere politiske aftaler om det danske vandmiljø. Etablering af minivådområder startede i 2018 som følge af Aftale om Fødevarer- og landbrugspakke (2015). Ifølge den kollektive ordning skulle minivådområder fra 2021 bidrage med en kvælstofeffekt på 900 ton N/år. For at opnå kvælstofreduktionsmålet mangler der stadig en indsats på 668 ton N/år /1/. Udover kvælstoffjernelse, bidrager sedimentering i minivådområderne desuden til en reduktion af fosforudledningen. Før end et minivådområde kan anlægges skal alle nødvendige tilladelser være på plads. Der vurderes på flere parametre, herunder om minivådområdet kan have en negativ indvirkning på et tilstødende vandløb. I denne artikel vurderes påvirkninger af vandløb med udgangspunkt i to minivådområder.

Effekter på næringsstoffer

Minivådområder med overfladestrømning modtager drænvand fra markdrænen og har til formål at fjerne kvælstof, inden vandet ledes videre. De danske minivådområder, som er godkendt under den kollektive ordning, er alle lavet efter det samme grundlæggende

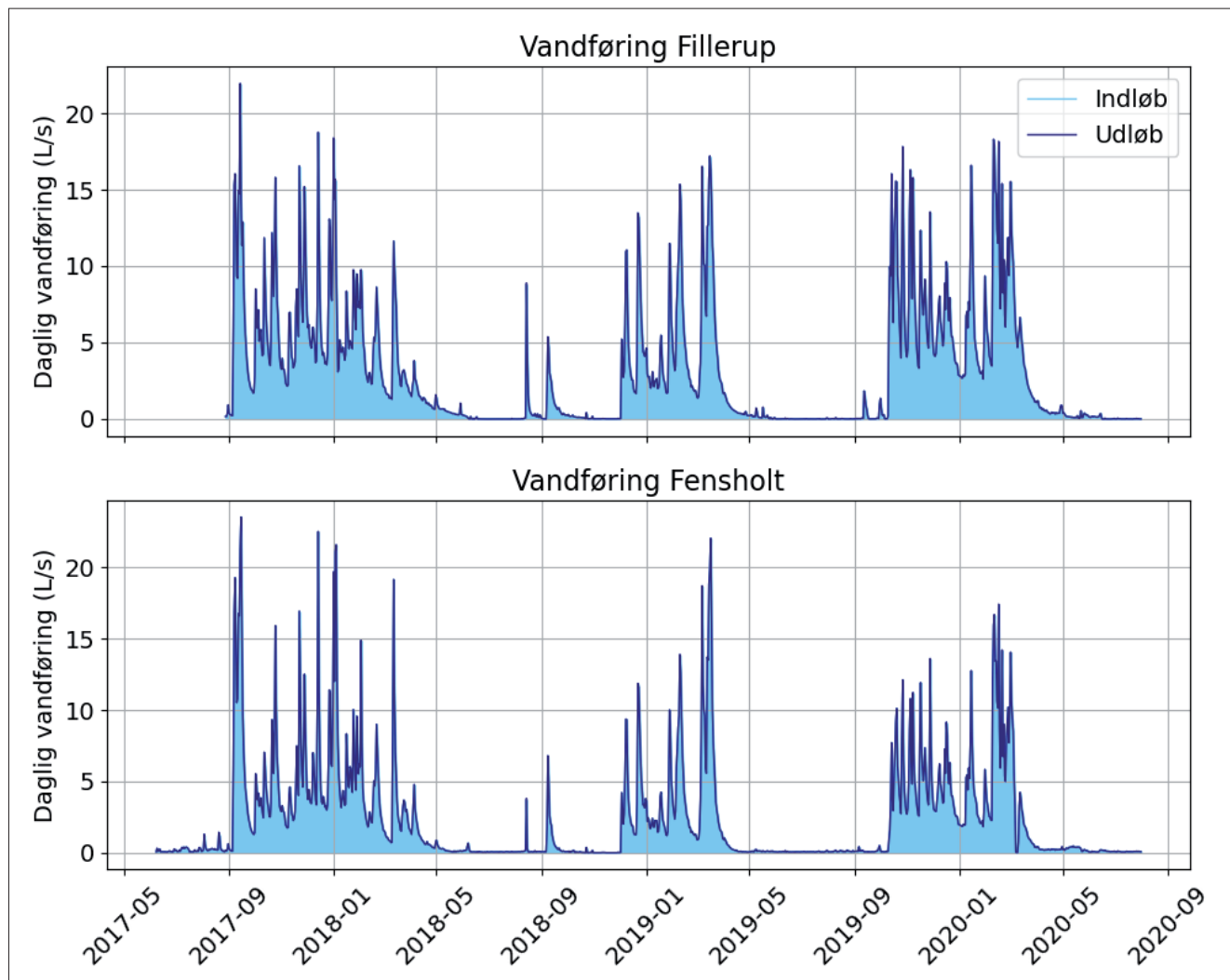


Figur 1. Minivådområdet Fensholt i oktober 2020. Fra indløb til sedimentationsbassinet. Foto: Carl Christian Hoffmann.

anlægsdesign. Et minivådområde skal bestå af et sedimentationsbassin efterfulgt af en sekvens af dybe bassiner og lavvandede vegetationszoner, inden vandet endeligt ledes ud gennem en iltningstrappe/-brønd /2,3/. Kvælstoffjernelse i minivådområder sker hovedsageligt gennem denitrifikation, hvor bakterier under iltfrie forhold i sedimentet omsætter nitrat til gasformigt kvælstof. Processerne som

tilbageholder fosfor er planteoptag, adsorption af opløst fosfat og sedimentation af partikulært fosfor /4/.

Minivådområder har tidligere vist sig som omkostningseffektivt virkemiddel. Undersøgelse af danske minivådområder fra 2013-2017 viste gennemsnitlige effektiviteter på 25% og 43% for henholdsvis kvælstoffjernelse og fosfortilbageholdelse /5/. To af de i undersøgelse-



Figur 2. Vandføring i minivådområderne Fillerup og Fensholt som dagligt gennemsnit (L/s). Her illustreret med drænsæson 2017/2018, 2018/2019 og 2019/2020. Værdierne fra indløb er farvelagt under kurven for de nemmere kan skelnes fra værdierne for udløb.

sen 14 minivådområder, er forsat under monitorering. Minivådområdet Fillerup blev etableret i 2010 i regi af Landdistriksordningen (2010), mens minivådområdet Fensholt blev etableret i 2015 i regi af iDR-ÆN (Tabel 1). Minivådområdet Fillerup er tidligere blevet rapporteret til at have kvælstoffjernelse på 33% og fosforretention på 54% for perioden 2013-2017 /5/.

Minivådområdet Fensholt havde i de første to år efter sin anlæggelse kvælstoffjernelse på 14,4-17,5 % og fosforretention på 13,5-55,8 % /6/.

Der er siden 2019 foretaget forskellige forsøg på optimering af minivådområdernes design. Anlægsoptimeringen er finansieret af Promilleafgiftsfonden for Landbrug i regi af projektet "Innovationsplatform for drænvirkemidler (2018-2023)".

Minivådområdet Fillerup har for perioden 2017-2021 en samlet kvælstoffjernelse på 18,7% og en fosforretention på 27,3%. I samme periode havde minivådområdet Fensholt en samlet kvælstoffjernelse på 17,5% og en fosforretention på 47,8%. Den lave reten-

tion af fosfor i Fillerup kan skyldes et forsøg på anlægsoptimering med fordelerrør på bunden af de dybe bassiner, da dette medførte uventet tab af partikulært fosfor ved ekstreme nedbørshændelser. Hvorvidt anlægsoptimeringen i Fillerup også har påvirket kvælstoffjernelsen, vides ikke med sikkerhed. Det oprindelige design er på nuværende tidspunkt stadig det bedste sammenlignet med forskellige forsøg på anlægsoptimering.

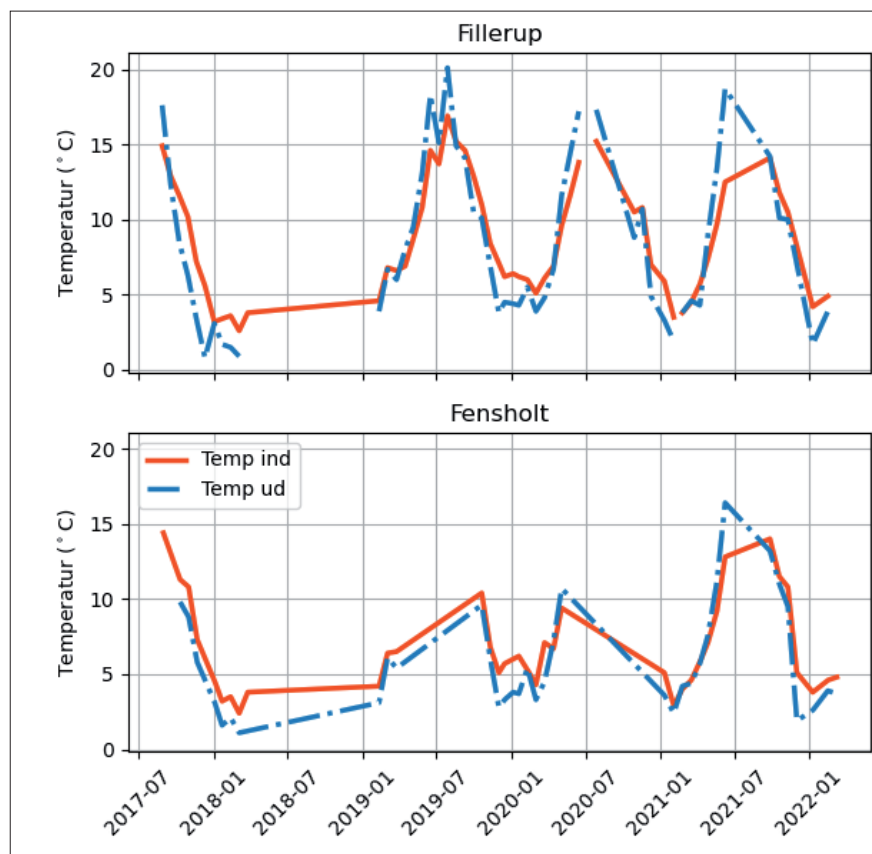
Våde vintre og tørre somre

Det danske vejr medfører variationer i vandtilførslen til minivådområder med høj vandføring om vinteren og lav eller som oftest ingen vandføring om sommeren. Hvis et minivådområde skal anlægges, hvor der er bekymring

for sænkning af vandføringen eller øgning af temperaturen i et nedstrøms vandløb, skal dette vurderes for det enkelte vandløb. Som udgangspunkt løber drænvandet ikke om sommeren, da fordampningen fra afgrøder og jord overstiger nedbøren. På figur 2 ses den daglige vandføring for minivådområderne Fillerup og Fensholt. Vandbalancerne er opstillet på baggrund af kontinuerte målinger i drænløb, som er monteret med elektromagnetiske flowmålere (Krohne Waterflux 3070; Krohne Germany). Herefter er afløbet beregnet som summen af indløb og nedbør fratrukket den potentielle fordampning /7/. Såfremt drænsystemet er aktivt i sommerperioden, kan den reducerede vandføring til det nærliggende vandløb beregnes (Boks 1).

Tabel 1. Basis informationer for minivådområderne Fillerup og Fensholt

	Anlagt (år)	Minivådområde (ha)	Drænoiland (ha)	Størrelsesforhold (%)	Jordtype
Fillerup	2010	0,298	45	0,78	Moræneler
Fensholt	2015	0,245	33	0,74	Moræneler



Figur 3. Vandtemperaturmålinger fra minivådområderne Fillerup og Fensholt. Målingerne er foretaget med 3 ugers hyppighed i perioder med drænafstrømning.

Hvis der eventuelt forekommer vandføring i sommerhalvåret vil den være lille og medføre øget opholdstid i minivådområderne. Det kendes fra søer at en øget opholdstid kan medføre større temperaturvariationer og dermed påvirke artssammensætningen i nærliggende vandløb /8/. Fordampning fra minivådområdet i sommerperioden – som kan være 5 mm per dag (DMI) – medfører faldende vand-

stand i minivådområdet, så nedbørshændelser vil sjældent medføre udløb af varmere vand fra minivådområdet (Boks 1). I begge minivådområder er der monteret temperaturloggere (HOBO, Onset Computer Corporation; logger hver 30. minut) i både indløb og udløb, og ved prøvetagning hver 3. uge foretages endvidere punktmålinger. Temperaturene i minivådområderne Fillerup og Fensholt følges ge-

nerelt ad i indløb og udløb (Fig. 3). I sommermånederne i 2017-2020 var der intet eller kun drypvis tilførsel af drænvand til minivådområderne. Den største temperaturforskel mellem indløb og udløb er målt i sommeren 2021 (se Fig. 3), hvor der blev målt en temperaturstigning på 2,5°C og 6°C for Fensholt og Fillerup. Vandføringen i Fillerup den pågældende dag var på 0,30 L/s, mens vandføringen i Odder å, hvor minivådområdet udleder til, samme dag var på 60 L/s. Tilførslen af opvarmede vand fra minivådområdet svarede til 0,5% af den samlede vandføring og må anses for at være en ubetydelig mængde.

Variationer i iltmætning

Stillestående vand forekommer i minivådområderne i løbet af sommerhalvåret, hvor drænafstrømningen er ophørt (Fig. 2). Det kan medføre en lavere iltmætning af vandet og udledning af større mængder iltfattigt vand kan potentielt påvirke vandløbets fauna /8/.

Iltmålinger blev foretaget i både ind- og udløb hver 3. uge (YSI PRO DS loggere, YSI). Vandets iltmætning i indløb og udløb følges ad for begge minivådområder. Iltmætningen ligger generelt over 10 mg/L og stiger til tider under passage i minivådområderne. I løbet af en fireårig undersøgelsesperiode er der kun observeret tre tilfælde af iltkoncentration på under 5 mg/L i udløbet for Fillerup. Ved minivådområdet Fensholt er der kun én gang målt en iltkoncentration på under 5 mg/L i udløbet lige inden starten af drænsæsonen 2021-2022. De lave målinger er målt ved udløbsbrønden i sidste bassin. Det vil sige, at der sker yderligere iltning, når vandet passerer iltningstrappen, som er påkrævet ved etablering af minivådområder. Målingerne af iltmætning under 5 mg/L er alle foretaget lige omkring ophør af drænafstrømning eller lige ved start af ny drænsæson, hvor vandføringen er lav til periodvis forekommende og kun mindre mængder af potentielt iltfattigt vand vil blive udledt.

Opsummering

Det nuværende design af minivådområder med åben vandflade virker stadig overbevisende, da de både tilbageholder kvælstof og fosfor. Påvirkning af vandføring og temperatur vil kun være et potentielt problem de steder, hvor drænvandet løber om sommeren. Det er klart, at man skal vurdere muligt drænudløb i sommerperioden i forhold til vandføringen i nærliggende vandløb. Dette gælder især i de mindste vandløb, hvor vandføringen kan være meget beskedent. Vores iltmålinger viser, at iltmætningen som udgangspunkt ikke reduceres under passage af minivådområder, og skulle det alligevel være tilfældet, vil vandet

Boks 1: Fordampning fra minivådområder

På varme sommerdage vil der ske fordampning fra den frie vandoverflade i minivådområderne. Til beregning af potentielt reduceret vandføring i et nærliggende vandløb kan følgende formel bruges:

$$\text{Fordampningstab (L/s)} = \frac{E \cdot A}{k}$$

Hvor

E = Fordampning fra den frie vandoverflade (mm/dag).

A = Minivådområdets areal i m².

k = er en konstant til omregning af sekunder til dag (86400 s/dag).

Eksempel på beregning:

I sommerperioden med varmt vejr er fordampningen fra en fri vandoverflade (E) på ca. 5 mm, svarende til 5 L/m² /7/. For et 1 ha minivådområde vil fordampningstab på en varm sommerdag være i størrelsesorden svarende til 0,6 L/s. Det betyder, at såfremt drænsystemet er aktivt i sommerperioden vil det nærliggende vandløb få reduceret vandføringen med 0,6 L/s. Det vil således være nemt at vurdere om reduktionen i vandføring vil have nogle konsekvenser for det pågældende vandløb. Det bør i øvrigt bemærkes at dræn oftest er inaktive i sommerperioden.

kunne iltes på ny inden udløb til nærliggende vandløb. I tilgift til disse effekter fås ofte en plet i agerlandskabet med frøer og tudser, lidt eutrof vegetation og en del insekter /9/.

Referencer:

- /1/ <https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/tilskud-til-vand-og-klimaprojekter/kollektive-virkemidler/#maalopfyldelse>
- /2/ Kjærgaard, C. og Hoffmann, C.C. 2017. Retningslinjer for etablering af konstruerede minivådområder med overfladestømning. Design manual. DCA – Nationalt Center for Jordbrug og Fødevarer, Aarhus Universitet, 14 s., Nr. 2017-760-000069, 9. marts 2017.6
- /3/ Landbrugsstyrelsen. 2020. Minivådområde-ordningen 2020. Etablering af åbne minivådområder og minivådområder med filtermatrice.
- /4/ Mendes, L.R.D, Tonderski, K, Iversen, B.V, Kjærgaard, C. 2018. Phosphorus retention in surface-flow constructed wetlands targeting agricultural drainage water. *Ecological Engineering*, 120, p.94-103.
- /5/ Kjærgaard, C., Hoffmann C.C., Gertz, F. og Iversen, B. V. 2017. Minivådområder – et nyt kollektivt virkemiddel. *Vand & Jord*, 2017, nr. 3, s. 84-88.
- /6/ Kjærgaard, C.; Iversen, B.V.; Hoffmann, C.C. 2017. Virkemiddelseffekter af konstruerede minivådområder med overfladestømning målrettet drænvand. Afrapportering af resultater fra danske minivådområder i regi af GUDP-projektet iDRÆN (2011-2017), Aarhus Universitet. Opgørelsen sendt til Adam Conrad, LBST, Miljø & Fødevarerministeriet, Maj 2017.
- /7/ Danmarks Meteorologiske Institut.
- /8/ Sand-Jensen, K. og Lindegaard, C. 2004. Ferskvandsøkologi. 2. udgave. Gyldendal, Nordisk Forlag,

København.

- /9/ Strandberg, B. 2017. Plante- og faunadiversitet i minivådområder. *Vand & Jord*, 2017, nr.3, s.89-92.

A. MAAGAARD (asma@ecos.au.dk) er videnskabelig assistent, C.C. HOFFMANN er seniorforsker og R. J. PETERSEN er akademisk medarbejder. Alle fra Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet.

Taksigelse

Projektet er finansieret af Promilleafgiftsfonden for Landbrug "Innovationsplatform for drænvirkemidler (2018-2023)". Videreudviklingen gennemføres i et samarbejde mellem SEGES og Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience (ECOS), hvor ECOS er ansvarlig for monitorering og dataopgørelse.



Revision af Byspildevandsdirektivet

Byspildevandsdirektivet fra 1991 har været en af grundstenene i beskyttelsen af de europæiske vande og har bidraget stærkt til forbedringen i vandkvaliteten i vores floder, søer og kystvande.

I November 2021 publicerede EU's Miljøagentur og EU kommissionen "landeprofiler" der viste at 4 lande – Østrig, Tyskland, Luxemborg og Holland - behandler deres byspildevand 100% i overensstemmelse med Direktivets krav, medens 10 yderligere medlemslande har nået en 90% overensstemmelsesgrad. I den anden ende af skalaen er 5 lande – Irland, Bulgarien, Rumænien, Kroatien og Malta – som med mindre end halvdele af byområderne overholder bestemmel-

serne. Man kan læse landeprofilerne for EU medlemslandene samt Island og Norge på: <https://water.europa.eu/freshwater/countries/uwww>.

Direktivet (1991) repræsenterer viden og erfaring såvel som forvaltnings og politiske holdninger fra de sene 80'ere, da forslaget blev præsenteret i 1989. Vurderingen bekræfter at Direktivet har været effektivt når det implementeres fuldstændigt. Det har været dyrt, men pengene værd. Desuden er Direktivet grundlæggende for opfyldelsen af anden EU lovgivning, som Vandrammedirektivet og Havstrategidirektivet.

Kommissionens har med hjælp af Det fælles forskningscenter i ISPRA identificeret de vigtigste mangler og problemer:

- Nogle EU lande skal øge deres anstrengelser med implementeringen, som støttes med EU finansiering.
- Regnvandsoverløb udgør en betydelig belastning for overfladevande. Med mere kraftige regnvandshændelser i fremtiden p.g.a. klimaforandringerne, vil de være en vigtig stigende forureningskilde.
- Individuelle og andre passende systemer,

der kan erstatte centraliserede systemer, er et problem, hvis de er dårligt styrede og uovervågede. Imidlertid kan de nogle gange være nyttige cost-effektive alternativer.

- Små bysamfund og spredt bebyggelse udgør et betydelig forureningspres på 11% af EU's vandområder og Direktivet dækker ikke dette problem.

Dokumenter om evalueringen:

- Staff Working Document on the Evaluation of the Urban Waste Water Treatment Directive (EN)
- Executive summary of the Evaluation (EN, DE, FR)
- Stakeholder synopsis report (all languages)
- The effects of the Urban Waste Water Treatment Directive – A Science for Policy Report by the Joint Research Centre
- Study supporting the Evaluation of the Urban Waste Water Treatment Directive
- Cooperation agreement with the OECD on Estimating investment needs and financing capacities for water-related investment in EU Member States. at https://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/evaluation/index_en.htm

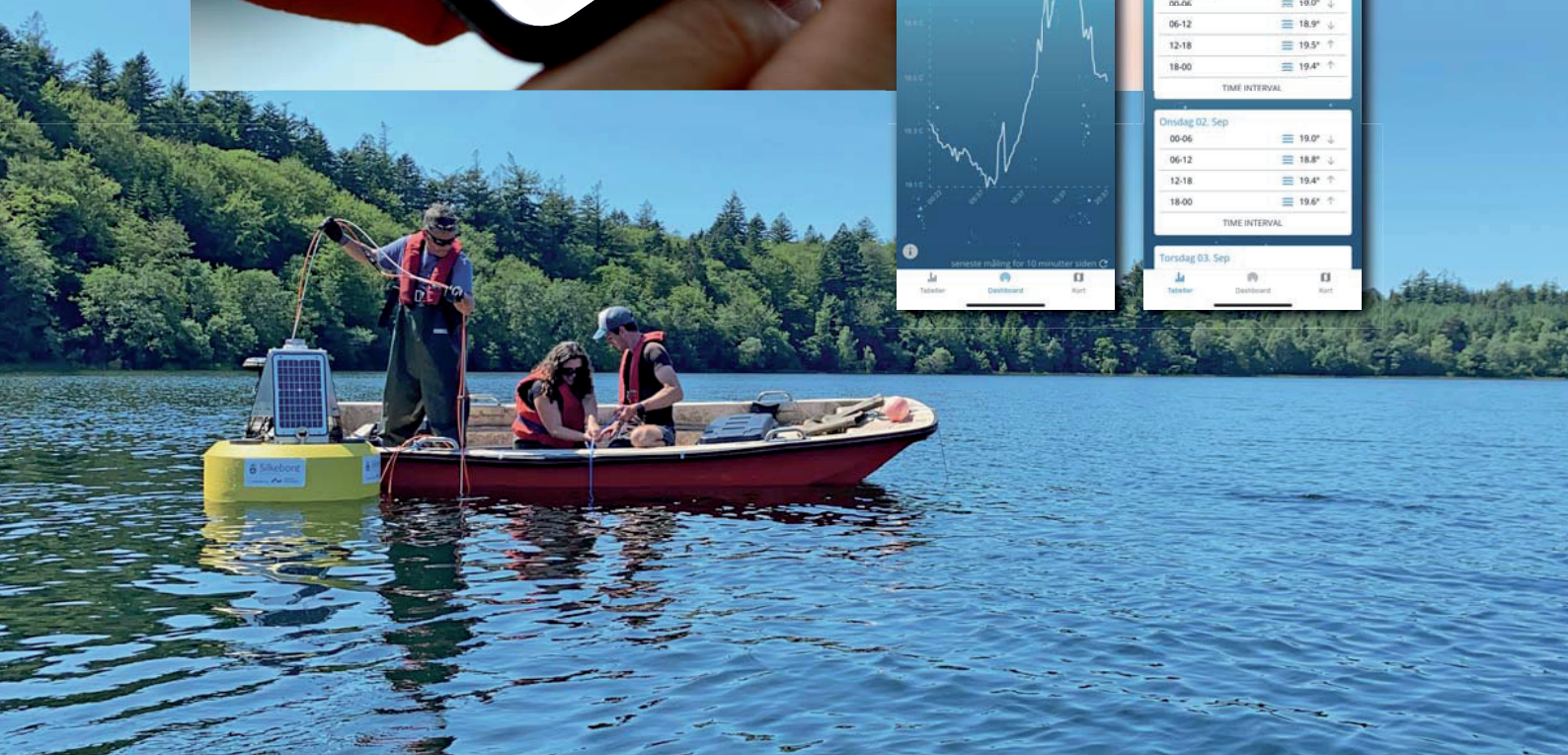
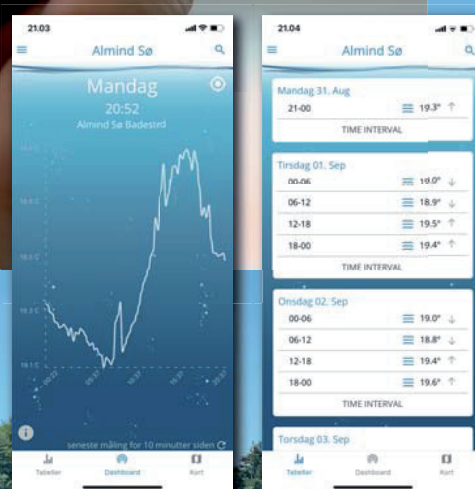
CH

DCE giver indblik i naturen

Almind Sø er en velbesøgt badesø ved Silkeborg. Her blev der i juni 2020 udlagt en bøje med sensorer, som gør det muligt at få livemålinger af bl.a. vandtemperatur.

Derudover indsamles data, der anvendes til modellering af søens vandkvalitet, og som gør det muligt at lave prognoser. Projektet er blandt de første til at udnytte kombinationen af en fastinstalleret bøje og modelprognoser med fokus på badevandsøer.

Borgere og besøgende kan følge de aktuelle data fra søen og badevandsudsigten via WaterWebTools.com - en spinoutvirksomhed, som er undervejs fra Aarhus Universitet i regi af InnoExplorers. Den digitale badevandsudsigt kan bruges til at planlægge den næste svømmetur eller holde øje med vandtemperaturen time for time



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet yder forskningsbaseret rådgivning af myndigheder, virksomheder og organisationer og er desuden ansvarlig for Danmarks rapporter til EU og FN på natur- og klimaområdet.

Drænvirkemidlers vandkvalitet – ilt og temperatur

Minivådområder er effektive filtre i landskabet, som renser drænvand for kvælstof og fosfor og samtidig tilbageholder sediment inden vandløbet, og er en vigtig kollektiv brik i landbrugets grønne omstilling. Der har blandt myndigheder, som skal give tilladelser, været sat spørgsmålstegn ved, om vandet der ledes ud, er forringet i forhold til ilt og temperatur. SEGES har undersøgt sagen.

SEBASTIAN P. ZACHO, MAJKEN M. DEICHMANN & TOBIAS B. BENDIXEN

Med den nye Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug (2021), er det målet, at kollektive virkemidler (vådområder, minivådområder, privat skovrejsning og evt. nye drænvirkemidler) skal reducere udledningen af kvælstof til danske fjorde med op til 4.500 ton inden 2027. De åbne minivådområder, som er det kollektive drænvirkemiddel, der langt overvejende implementeres, reducerer udover kvælstof, også fosfor med endnu højere effekt end kvælstof, og fjerner stort set alt sediment, sand, silt og ler inden vandløbet. Minivådområder kommer dermed ikke bare kystvande til gode, men også vandløbet i form af mindre fosfor og sediment. Blandt kommuner, som skal give myndighedstilladelser til etablering, har der været bekymring for, hvorvidt minivådområder udleder vand med

lavt iltindhold og høj temperatur. Denne problemstilling undersøgte SEGES i et måleprogram fra nov-2020 til okt-2021, hvor der som reference samtidig blev målt i vandløb, brønde og dræn.

7 forskellige drænvirkemidler undersøgt

I måleprogrammet indgik 7 drænvirkemidler hhv. 5 åbne minivådområder, 1 filtermatrice med træflis og 1 overrisling/afbrudt dræn (Tabel 1). Kriterier for valg af prøvetagningslokation er beskrevet i Boks 1. For hvert drænvirkemiddel blev der udvalgt en til fire referencepunkter til kontrolsammenligning af ilt og temperatur i de respektive vandløbssystemer. Prøvetagningerne er foretaget med ca. én gang per måned i perioden nov-2020 til okt-2021. For at afdække årstidsvariationen er prøvetagningsdatoerne løbende blevet fastlagt, således, at der både er målt i varme, kolde og regnfulde perioder i løbet af året. Dog er der ikke foretaget målinger i januar og

Boks 1

Bagvedliggende kriterier for udvælgelse af prøvetagningslokaliteter:

- Repræsenterer forskellige typer af drænvirkemidler og områder
- Placeret vandløbsnært, nær vandløbsspids og/eller i nærheden af vandløb med andre dræn
- Mulighed for at måle 1. ordens og 2. orden i vandløbssystemet som reference
- Mulighed for måling før og efter iltningstrappe
- Mulighed for at måle på effekten af rørtransport
- Mulighed for at undersøge, hvor hurtigt vandet bliver iltmættet ved måling i udløb til vandløbet og nedstrøms

februar 2021 på grund af hård frost. Vandkvaliteten er målt med en kalibreret 'YSI Professional Plus Water Quality Instrument', hvortil der er tilkoblet specifik sensor til måling

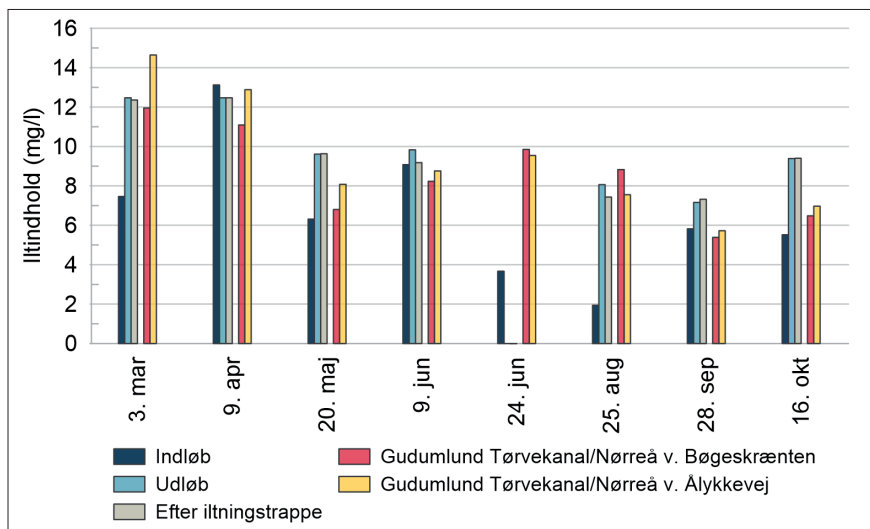
Tabel 1. Oversigt over drænvirkemiddel, placering og dimensioner.

Lokalitet	Virkemiddel	Hovedopland	Drænopland (ha)	Virkemidlets areal (ha)	Arealforhold (%)
Fillerup ¹	Minivådområde	Horsens Fjord	38	0,30	0,8
Haslund	Minivådområde	Randers Fjord	72	0,76	1,1
Jordrup	Minivådområde	Kolding Fjord	39	0,40	1,0
Kærvej	Minivådområde	Limfjorden	53	0,75	1,4
Wiffertsholm	Minivådområde	Mariagerfjord	58	0,64	1,0
Fensholt ²	Afskåret dræn	Horsens Fjord	4	1,15	29,5
Skovlyvej ³	Filtermatrice	Horsens Fjord	20	0,05	0,3

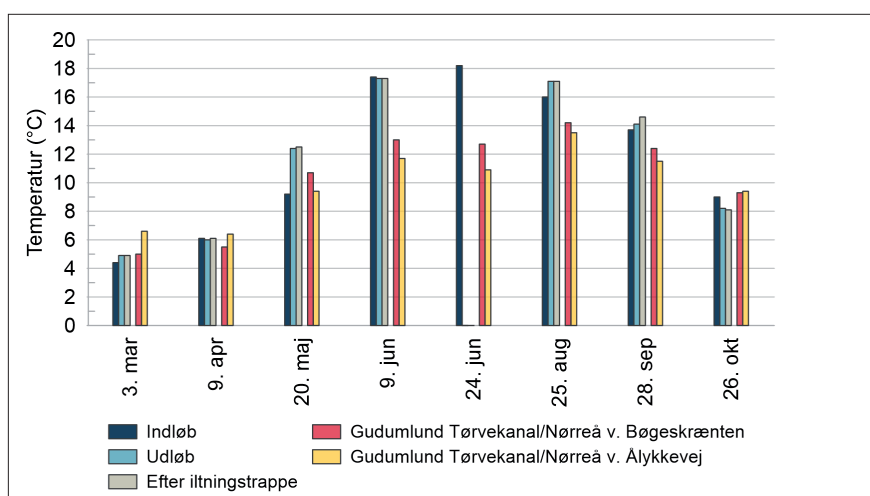
1) Data fra Innovationsfondens projektet SUPREMTECH (2010-2016)

2) Data fra innovationsfondens projektet TRenDS (2015-2018)

3) Data fra Grønt Udviklings- og Demonstrationsprogram projektet iDRÆN (2011-2016).



Figur 1. Målinger af iltindhold ved minivådområdet Kærvej.



Figur 2. Målinger af vandtemperatur ved minivådområdet Kærvej.

Tabel 2. Gennemsnitlig halvårlig vandtemperatur og iltkoncentration i drænvand ved henholdsvis indløb til virkemidlet samt ved udløb til vandløb. *Udløbsmålingerne ved Kærvej og Haslund er foretaget efter iltningstrappe. Tabellen indeholder kun målinger, hvor der er samtidige målinger for ind- og udløb.

Års tid	Lokalitet		Gennemsnitlig halvårlig vandtemperatur (°C)		Gennemsnitlig halvårlig iltkoncentration (mg/L)	
			Indløb	Udløb	Indløb	Udløb
Vinter	Fillerup	Minivådområde	6,3	6	11,0	11,9
	Haslund*	Minivådområde	6,6	6,3	10,1	12,0
	Jordrup	Minivådområde	5,4	5,7	8,6	12,1
	Kærvej*	Minivådområde	5,3	5,5	10,3	12,4
	Wiffertsholm	Minivådområde	6,7	6,9	4,7	10,1
	Fensholt	Afskåret dræn	7,7	5,3	5,6	1,1
	Skovlyvej	Filtermatrice	7,2	6,9	11,2	7,2
Sommer	Fillerup	Minivådområde	12,6	12,1	9,8	10,4
	Haslund*	Minivådområde	12,8	16,4	8,7	9,8
	Jordrup	Minivådområde	12,5	14,0	9,8	9,6
	Kærvej*	Minivådområde	12,9	13,8	5,7	8,9
	Wiffertsholm	Minivådområde	11,2	13,2	2,3	10,7
	Fensholt	Afskåret dræn	10,1	11,2	3,7	0,4
	Skovlyvej	Filtermatrice	11,4	10,9	10,1	8,9

af temperatur, iltindhold samt iltmætning. Målingerne er typisk udført i tidsrummet kl:09-14:00, hvilket betyder, at døgnets ilt- og temperatursvingninger ikke dækkes. Døgnvariationen i vandets iltindhold såvel i minivådområder som i vandløb, varierer som følge af produktion og forbrug af ilt ved fotosyntese og respiration. Tilsvarende vil en temperaturvariation i minivådområdet hen over døgnet være forventeligt.

Resultater

Generelt var temperaturforskellen på ind- og udløbsvandet størst i sommerhalvåret (maj-oktober 2021), hvor den gennemsnitlige halvårslige temperatur steg i udløbsvandet for 5 af de 7 drænvirkemidler (Tabel 2). Den største gennemsnitlige temperaturstigning (3,7°C) blev observeret for minivådområdet Haslund hvor der den 9. juni 2021 blev registreret en stigning i udløbstemperaturen på 8,0°C i forhold til indløb. Dette var samtidig den største temperaturstigning, der blev observeret på tværs af de målte drænvirkemidler (Tabel 3). For de øvrige 6 virkemidler var den gennemsnitlige stigning i sommer-halvåret på 0,8 °C. I vinterhalvåret (november-april) var den maksimale gennemsnitlige halvårslige temperaturstigning i minivådområderne på 0,3°C (Tabel 2). Iltkoncentrationen steg i 5 drænvirkemidler om vinteren og i 4 om sommeren. Særsigt positiv var stigningen i Wiffertsholm fra 2,3 mg/l til 10,7 mg/l i sommerperioden og ligeledes for Kærvej, som steg fra 5,7 til 8,9 mg/l. Omvendt var virkemidlet ved Fensholt1 særsigt ringe, da iltindholdet faldt fra 3,7 mg/l til 0,4 mg/l i sommerhalvåret og ligeledes faldt til et kritisk niveau på 1,1 mg/l i vinterhalvåret. Af de 7 virkemidler var det således Fensholt1, som performerer uhensigtsmæssigt hvad angår ilt.

Sammenligning af minivådområde og referencevandløb

Figur 1 viser iltindholdet i det vand, som blev ledt ud af minivådområdet på Kærvej sammenlignet med referencevandløb. I 7 ud af 8 tilfælde var iltindholdet højere efter minivådområdet sammenlignet med referencevandløbet Nørreå/Bøgeskrænten, mens det var tilfældet i 4 ud af 8 tilfælde for Nørreå/Ålykkevej, som er en lokation tæt på vandløbs-spidsen.

Temperaturen i udløbsvandet fra minivådområdet på Kærvej var på niveau eller lavere sammenlignet med temperaturen i referencevandløbene i det tidlige forår og hen på efteråret, mens det var højere i månederne juni-september (Fig. 2) med en maksimal forskel på ca. 5 °C (9. juni 2021). En forskel, som dog kun var 1,1 °C i en måling ca. 300 m ned-

strøms minivådområdet (Gudumlund Tørvekanal ved Torsvej).

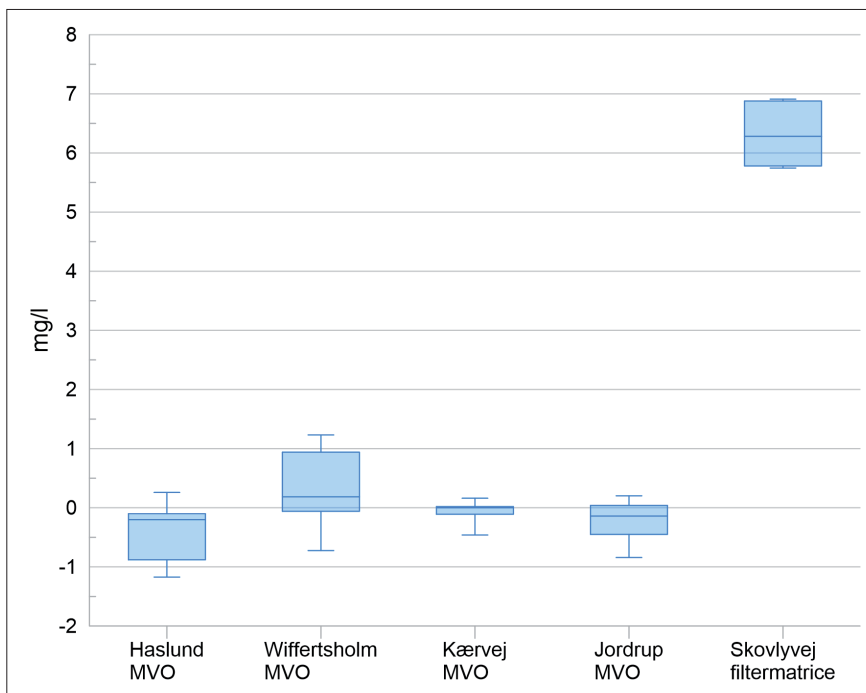
Effekt af iltrapper

Der stilles krav om at etablere iltrapper i minivådområdeprojekter for at forhindre, at der ledes iltfattig vand ud i vandløbene. Derfor er det væsentligt at bemærke, at iltindholdet i udløbsvandet fra de åbne minivådområder generelt var tæt på fuld iltmætning allerede inden iltrappen. Ilttrapperne havde generelt ikke den store effekt for de åbne minivådområder, med undtagelse af minivådområdet i Wiffertsholm, hvor der var to datoer med iltmålinger under 3 mg/l i udløbsvandet. Ilttrappen ved træflisanlægget ved Skovlyvej havde derimod en høj geniltningseffekt (Fig. 3). Dette skal dog ses i lyset af, at iltindholdet i udløbsvandet var under 1 mg/l ved alle målinger (rådata), og derfor havde et højere geniltningspotentiale. I minivådområdet Kærvej (Fig. 1), som for de øvrige åbne minivådområder, var vandets iltkoncentration før og efter iltningstrappen stort set identiske. Dette indikerer, at iltningen af vandet indtræffer inden vandet når frem til iltningstrappen. Der kan derfor stilles spørgsmål ved, hvorvidt iltningstrapper er nødvendige ved anlæggelsen af minivådområder med åbne bassiner, mens det omvendt er meget vigtigt at etablere iltningstiltag efter et anlæg med træflis.

Selve designet af iltrappen kan også have haft en betydende faktor for geniltningseffekten. Ilttrapperne ved de undersøgte åbne minivådområder er primært etableret ved udlægning af store sten efter udløbet, som vandet risler nedover med et mindre fald, inden det ledes videre mod vandløbet. Ilt-trappen ved filtermatricen er derimod designet ved at vandet drypper ned igennem to perforerede jernplader i udløbsbrønden inden det ledes videre mod vandløbet.

Vandtilstrømning til minivådområder

Igennem Promilleafgiftsprojekter og SEGES Innovationsplatform for drænvirkemidler og Videreudvikling og optimering af målrettede dræn- og lavbundsvirkemidler har Aarhus Universitet målt vandføringen i indløb til to minivådområder (Fensholt2 og Fillerup). SEGES har på baggrund af de udleverede data beregnet den totale vandføring (m^3 /måned) ind i minivådområderne for 2019/2020 afstrømningssæsonen (oktober-september) for at undersøge fordelingen af indløb hen over året og med fokus på, hvor meget drænvand minivådområderne modtager i sommerperioden. Minivådområdet i Fensholt2 på 0,25 ha, modtager drænvand fra drænet landbrugsareal



Figur 3. Boksplot af iltrappeeffekten (forskell i målingerne før og efter iltrappe) for virkemidler med iltrapper. Boksene afgrænses af den øvre og nedre kvartil og den vandrette linje i boksen angiver medianen. 'Halerne' angiver én standardafvigelse fra middelværdien.

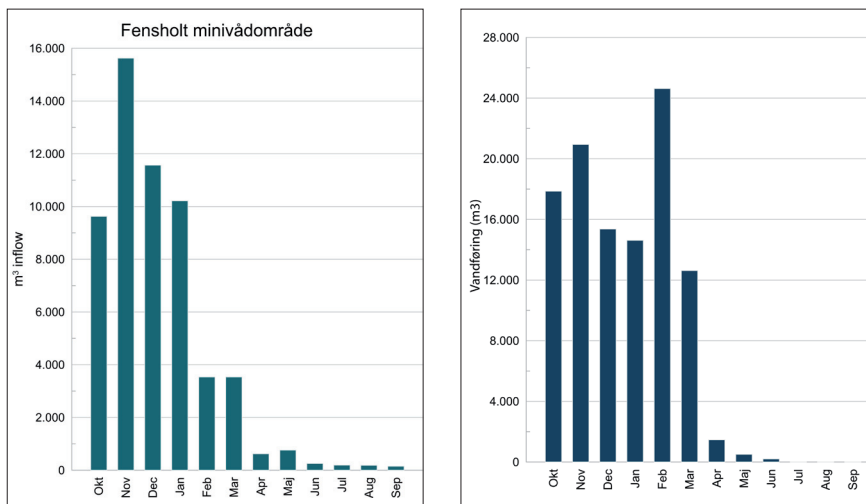
på 33 ha (Kjærgaard, C. 2020) og afvander til Grønbæk (type 1 vandløb), som er forbundet til Stampemøllebæk (type 2 vandløb). Minivådområdet i Fillerup er på 0,30 ha, modtager drænvand fra et drænet landbrugsareal på 38 ha (Kjærgaard, C. 2020) og afvander til Odder Å (type 2 vandløb)

Som det fremgår af figur 5, så modtager de to minivådområder i måleåret 2019/2020 primært drænvand i perioden oktober-marts, hvor ca. 98-99 % af vandføringen til minivådområdet registreres. Den største risiko for uledning af opvarmet og iltfattigt vand er i årets

varmeste måneder (juni-august/september). Sommervandføringen til hhv. Fensholt2 (juni-august) og Fillerup (juni-september) udgjorde i det aktuelle måleår 2019/2020 hhv. 632 m^3 og 200 m^3 svarende til 1,1 % og 0,2% af den samlede tilstrømning for hele måleperioden. Da vandføringsmålingerne repræsenterer tilstrømning til minivådområderne, må det forventes at vandføringen fra minivådområderne i sommerperioden vil være lavere, da der i sommerhalvåret med høje temperaturer og lang opholdstid vil være en netto-fordampning.



Figur 4. Iltningstrapper ved hhv. filtermatriceanlægget ved Skovlyvej (tv), og minivådområdet Jordrup (th), som viser et typisk eksempel på hvordan iltningstrapper i minivådområder er konstrueret.



Figur 5. Vandføring (m³) til minivådområderne Fensholt og Fillerup i afstrømningsæsonen okt-sep. 2019/2020.

Diskussion

Overordnet viste målingerne at der var tale om relativt små variationer af ilt og temperatur mellem indløb og udløb fra virkemidlerne. Ofte er drænvandføringen på morænelokaliteter meget begrænset i sommerhalvåret, hvilket betyder, at der er tale om meget små påvirkninger, der kan være af såvel negativ som positiv karakter. Undersøgelsen viste også, at der var to tilfælde, hvor der var større

negativ effekt. Minivådområdet i Haslund i forhold til temperatureffekt, og det afbrudte dræn i Fensholt1 i forhold til iltindhold. Det afskårne dræn og drænvand udledt på vådområdeflade i Fensholt1 viste, at der blev udledt iltfattigt vand fra vådområdet til vandløbet. Det lille vådområde ved Fensholt1 er ikke nødvendigvis typisk for overskårne dræn i vådområder, men overskårne dræn indgår typisk som komponent i mange vådområde-

projekter, og man skal således være opmærksom på risiko for udledning af iltfattigt vand anlæggelse af vådområder generelt.

Konklusion

SEGES' undersøgelse har vist, de undersøgte drænvirkemidler i det aktuelle måleår ikke påvirkede ilt og temperatur i vandløbene negativt på en måde, som har været enten signifikant eller målbar nedstrøms. Dette dog undtaget et enkelt minivådområde samt ved virkemidlet overskårne dræn. En analyse af vandføringsdata viste, at minivådområderne i det aktuelle måleår modtog maksimalt 1 % af indløbsvandet i den varmeste periode (juni-august/september), hvor udløbsvandet må forventes at udgøre en endnu lavere andel, som følge af fordampning fra bassinerne. Dertil vil den udledte vandmængde i sommermånederne sandsynligvis kun udgøre en lille andel af den samlede vandføring i vandløbet. Dette understøttes af målingerne nedstrøms i nærværende undersøgelse, som kun viste en meget lille eller ingen forskel i forhold til målingerne opstrøms. Langt de fleste minivådområder vil ikke have en negativ effekt på vandløbet. I få tilfælde kan det være relevant med indarbejdelse af foranstaltninger, som kan sænke udløbstemperaturen. Iltningstrapperne viste kun væsentlig geniltningseffekt ved filtermatricen, hvor iltindholdet blev iltet fra lavt til højt. For de åbne minivådområder er iltindholdet oftest højt allerede inden iltningstrappen. Målingerne ved Fensholt1, hvor drænvandet dannede et lille vådområde på engen, demonstrerede at man skal være opmærksom på risiko for iltfattigt vand generelt når man etablerer vådområder med overskårne dræn. SEGES ønsker at lægge alt rådata frem. Derfor er der udarbejdet et webkort, som indeholder alle oplysninger om, hvor målingerne er foretaget. Ligeledes findes links til dokumenter, som indeholder resultater fra de mere end 700 målinger. Adressen er <https://oplandskonsulenterne.dk/maps/virkemidlersvandkvalitet.html>

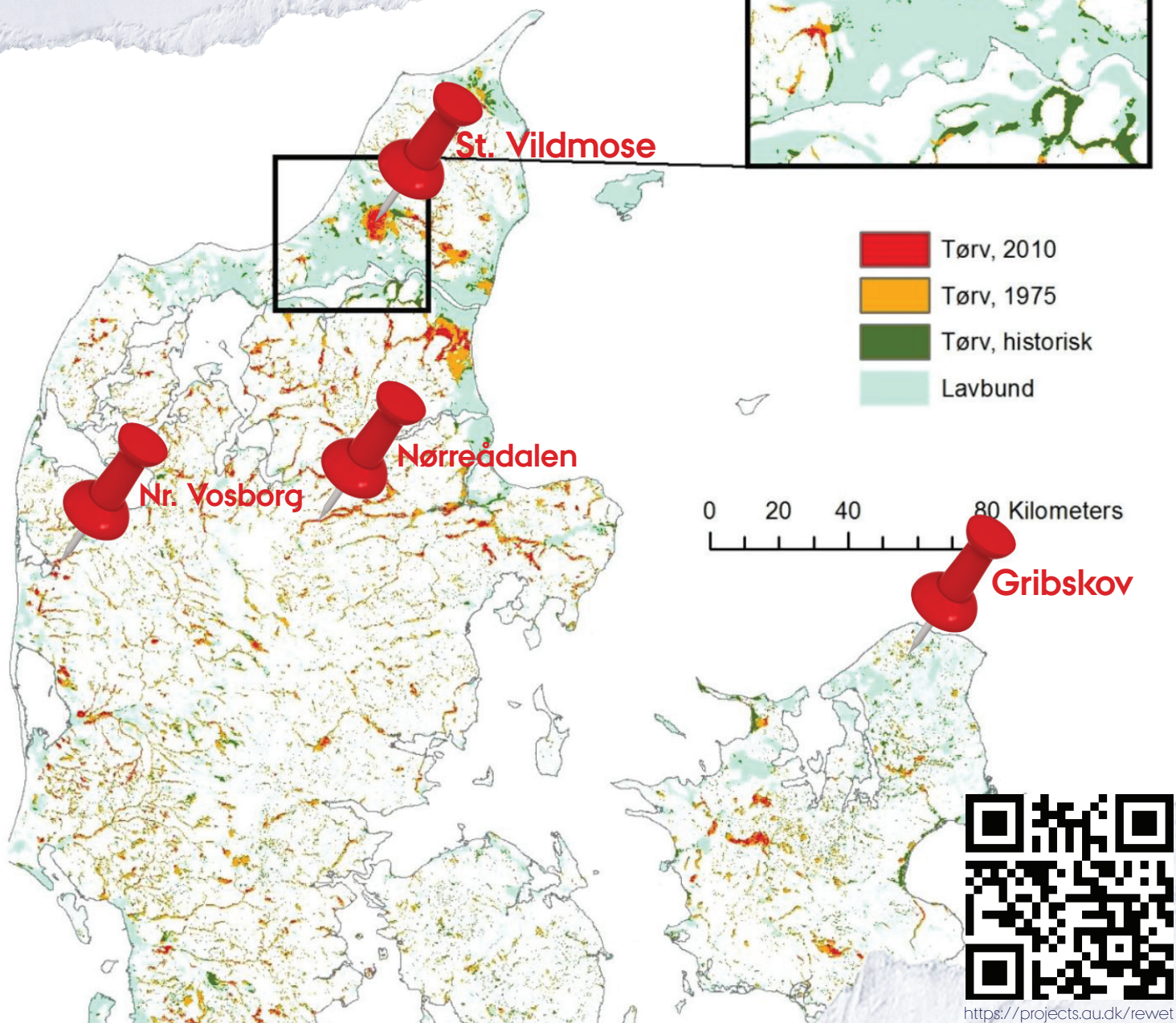
Tabel 3. Datoer for den største målte vandtemperaturforskelle og den største målte forskelle i iltkoncentration ved sammenligning af indløb og udløb til vandløb. *Udløbsmålingerne ved Kærvej og Haslund er foretaget efter iltningstrappe.

Største målte vandtemperaturforskelle					
Lokalitet	Dato	Drænvirkemiddel		Vandløb	
		Indløb (°C)	Udløb (°C)	Opstrøms (°C)	Nedstrøms (°C)
Fillerup	10.06.2021	11,6	13,3	13,7	13,4
Haslund*	09.06.2021	13,8	21,8	-	15,2
Jordrup	10.06.2021	11,2	15,8	13,9	14,0
Kærvej*	20.05.2021	9,20	12,5	-	10,7
Wiffertsholm	09.06.2021	10,4	11,0	13,9	13,1
Fensholt	24.08.2021	10,5	13,0	13,0	12,2
Skovlyvej	02.12.2021	8,80	9,10	-	7,40
Største målte forskelle i iltkoncentration					
Lokalitet	Dato	Drænvirkemiddel		Vandløb	
		Indløb (mg/l)	Udløb (mg/l)	Opstrøms (mg/l)	Nedstrøms (mg/l)
Fillerup	20.05.2021	11,2	10,7	11,7	11,7
Haslund*	24.06.2021	9,87	5,95	-	10,0
Jordrup	05.03.2021	15,6	12,5	12,2	12,2
Kærvej*	09.04.2021	13,1	12,5	-	11,1
Wiffertsholm	-	-	-	-	-
Fensholt	09.04.2021	5,98	0,77	10,2	11,2
Skovlyvej	02.12.2020	10,9	8,22	-	7,21

Referencer

Kjærgaard, C. 2020. Foreløbig effekttopgørelse af anlægsoprettede minivådområder med overfladestrømning. SEGES.

MAJREN M. DEICHMANN (mamd@seges.dk) er seniorkonsulent ved Planter & Miljø, SEGES Innovation. SEBASTIAN P. ZACHO og TOBIAS B. BENDIXEN var på tidspunktet for arbejdet med artiklen ansat som konsulenter samme sted, men er pt i nye ansættelser.



Vil du undersøge effekten af tørvejordenes vådlægning?

ReWet er en forskningsinfrastruktur, her er faciliteter til undersøgelse af tørvejorde før og efter vådlægning. På fire forskellige lokaliteter i Danmark er det muligt at studere effekten af vådlægning. ReWet er en forskningsinfrastruktur, her er faciliteter til undersøgelse af tørvejorde før og efter vådlægning. På fire forskellige lokaliteter i Danmark er det muligt at studere effekten af vådlægning.

ReWet giver muligheden for at vurdere, hvordan vådlægning påvirker drivhusgasbalancen og vandkvaliteten. De fire forskningsplatforme er udstyret med avanceret udstyr og omfatter en base line overvågning af GHG emissioner og en række klima parametre. De giver med andre ord grundlag for banebrydende forskning indenfor biokemi, mikrobiologi og genopretning af økosystemer. ReWet områderne er tilgængelige for samarbejdspartnere og interessenter, der ønsker at forske i vådlægning af tørvejord.

Støtte til Vand & Jord via abonnement eller sponsorat

Vand & Jord har en lang tradition for formidling af forskningsresultater og anvendt praksis indenfor vand, miljø, klima og natur. Vi er dermed det eneste danske naturvidenskabelige tidsskrift, der kombinerer den direkte formidling af forskningsresultater og anvendt praksis fra rådgivning og forvaltning.

Vand & Jord finder den naturvidenskabelige formidling særdeles vigtig og med en gratis elektronisk udgave, når vi ud til en langt større målgruppe, der udover den nuværende læsergruppe også omfatter danske gymnasieelever og universitetsstuderende. Vi opfordrer Vand & Jords læsere, der ønsker at modtage den gratis elektroniske version til at tilmelde sig nyhedsbrevet på Vand & Jords hjemmeside <http://vandogjord.dk>

Udgivelsen af Vand & Jord kræver ressourcer til opsætning af bladet samt til trykning og omdeling. Finansieringen sker dels via abonnementsindtægter samt sponsorater. En stor tak til de danske universiteter, virksomheder og fonde, der støtter udgivelsen af Vand & Jord via et sponsorat, samt en tak til vores trofaste abonnenter. Tidsskriftet er endnu ikke fuldt finansieret via sponsorater, og vi har derfor stadig brug for abonnementsindtægter. Vi søger derfor fortsat universiteter, virksomheder og fonde, der vil bidrage til at sikre den brede danske naturvidenskabelige formidling via et sponsorat.

Vi tilbyder to typer af sponsorater:

- (1) Sponsorat på årligt kr. 25.000 + moms. Sponsorater giver mulighed for én helsidesannonce i hvert nummer samt omtale med logo sammen med øvrige sponsorer, der støtter udgivelsen af bladet.
- (2) Sponsorat på årligt kr. 15.000 + moms. Sponsoratet giver omtale med logo sammen med øvrige sponsorer, der støtter udgivelsen af bladet.

Henvendelse vedr. sponsorat til Claus Hagebro på mail: hagebro3@hotmail.com

For private og organisationer, der ikke har mulighed for at støtte via sponsorat, vil det fortsat være muligt at støtte udgivelsen af Vand & Jord via en abonnementsaftale, se mere på <http://vandogjord.dk>