

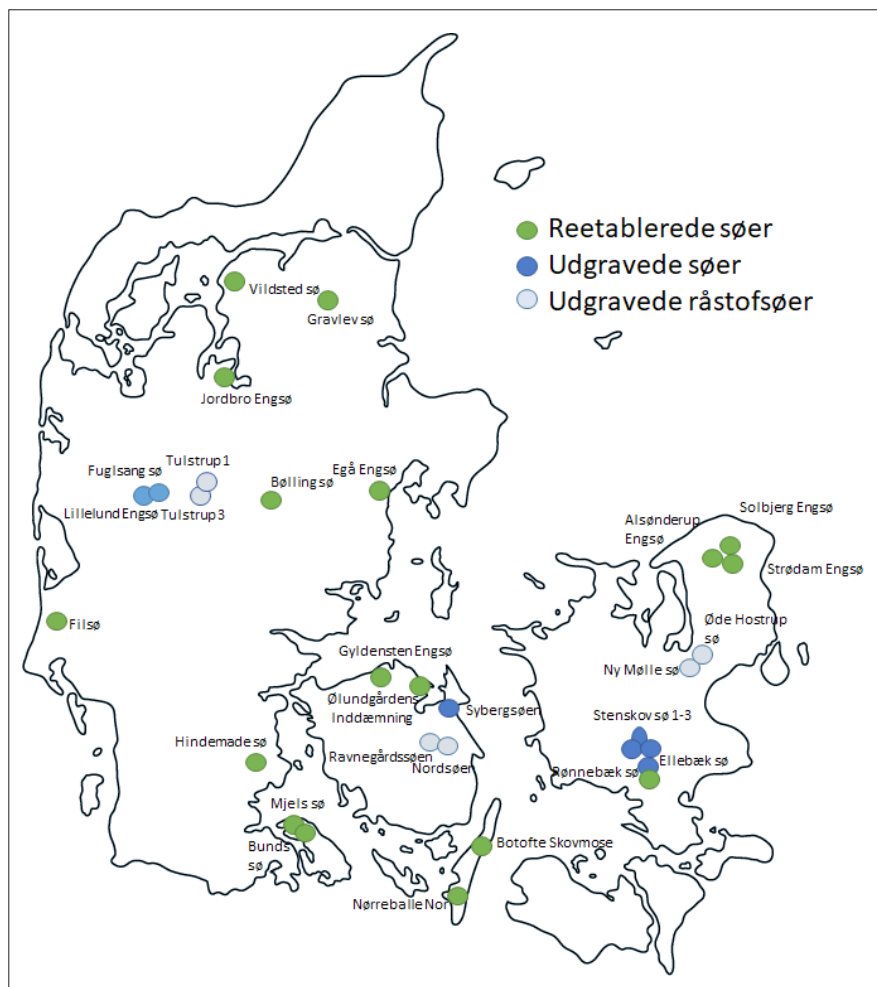
Nye søer og deres vandkvalitet

Hvordan er vandkvaliteten i de mange nye søer, som er blevet dannet de senere år? Her viser vi resultater fra 30 nye søer etableret i perioden 1987-2018. Næringsstofindholdet forventes at variere meget, da søerne er etableret med vidt forskellige formål og udgangspunkter, både hvad angår oplandstype, jordbund, afstrømning og fysisk design. Konklusionen er enkel: størst muligt udyrket opland og fjernelse af den næringsrige overfladejord giver den bedste vandkvalitet i nye søer.

SARA EGEMOSE, THOR KOLATH, MARTIN SØNDERGAARD, HENNING S. JENSEN, KASPER REITZEL, MATHIAS J. MØLLER, EMIL KRISTENSEN & JONAS STAGE SØ

Vi har undersøgt vandkvaliteten i 30 nye søer ved at måle næringsstoffer, klorofylkoncentration, sigtdybde mv. i 7 prøver udtaget indenfor et år. Søerne blev undersøgt i 2017-2019 og prøverne er taget hver måned fra maj til september samt i november og februar. De 30 søer er fordelt på 17 reetablerede søer, 7 udgravede søer og 6 udgravede råstofsøer, som er lokaliseret over det meste af Danmark (Figur 1, Tabel 1). De 24 søer er reetableret eller udgravet på næringsholdig tidligere dyrket jord, mens de 6 råstofsøer er udgravet i en mere næringsfattig mineralsk jordbund.

Søstørrelsen varierer meget. Der er 9 søer mindre end 5 hektar, 14 søer mellem 5 og 50 hektar og 7 søer over 100 ha. Langt de fleste af søerne er lavvandede; middeldybden er i gennemsnit på 1,3 m. Søerne er alkaliske. Kun 4 søer har en gennemsnitlig alkalinitet under 1 mekv. L^{-1} , mens 9 søer ligger i intervallet 1-2 mekv. L^{-1} og 17 søer har en høj alkalinitet over 2 mekv. L^{-1} . Søerne er etableret i perioden 1987-2018 og var i gennemsnit 11 år ved prøvetagningen (Tabel 1).



Figur 1. Placeringen af de 30 undersøgte søer.

Tabel 1. Oversigt over de 30 undersøgte søer: Navn, etableringsår, type (reetableret=R, udgravede=U og udgravede råstofsøer=UR). *Ølundgaardens inddæmning.

Sø	Etableret	Type	Sø	Etableret	Type
Alsønderup Eng sø	1987	R	Botofte skovmose	2009	R
Gravlev Sø	1990	R	Tulstrup 1	2013	UR
Solbjerg Eng sø	1993	R	Filsø	2013	R
Hindemade sø	1994	R	Gyldensten Eng sø	2014	R
Nordsøen	1995	UR	Bunds sø	2015	R
Strødam Eng sø	1996	R	Lillelund Eng sø	2015	U
Ølundgaard *	1998	R	Stenskov sø 1	2015	U
Ny Mølle sø	2003	UR	Stenskov sø 2	2015	U
Bølling sø	2004	R	Stenskov sø 3	2015	U
Mjels sø	2005	R	Ravnegaardsøen	2015	UR
Fuglsang sø	2005	U	Jordbro Eng sø	2016	R
Tulstrup 3	2005	UR	Ellebæk sø	2016	U
Nørreballe Nor	2006	R	Sybergsøen	2017	U
Vilsted sø	2006	R	Rønnebæk sø	2018	R
Egå Eng sø	2006	R	Øde Hostrup sø	2018	UR

Sigt dybden og klorofyl

Sigt dybden i de 30 søer varierer meget fra et sommergennemsnit på knap 4 m i de mest klarvandede søer til under 30 cm i de mest uklare søer (Figur 2, øverst) og værdierne ligner generelt dem fra mange naturlige søer i den nationale søovervågning /1/. Der er en tydelig opdeling efter søtype. De reetablerede søer på næringsrig bund er de mest uklare, efterfulgt af de udgravede søer, hvor den næ-

ringsrige topjord er gravet væk, og endelig de mest klarvandede, råstofsøerne med en næringsfattig undergrund. Det viser tydeligt den positive effekt på vandkvaliteten af at fjerne den næringsrige topjord inden reetablering /2/. Til trods for, at mange af søerne er ganske lavvandede, så har de fleste ikke sigt til bunden. Det skyldes både stor vækst af fytoplankton og i nogle søer også opløst organisk stof i vandet (fx. Botofte Skovmose, Filsø og

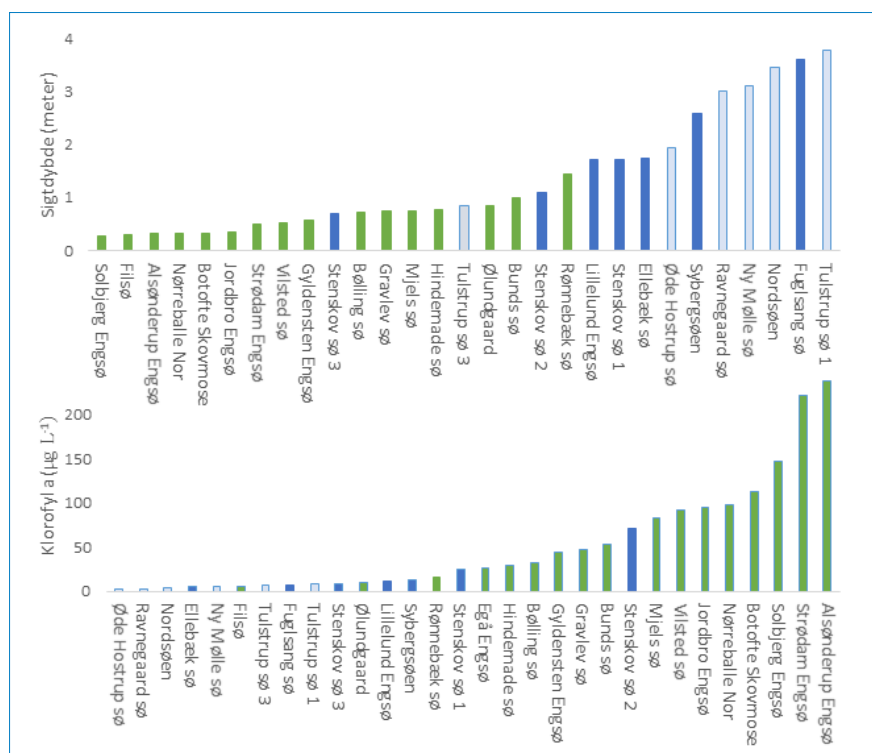
Jordbro Eng sø), der farver vandet brunt. Opslemmede partikler i vandet bidrager også til uklart vand i de meget lavvandede søer.

Fytoplanktonbiomassen er vigtig for vandets klarhed, hvilket kommer til udtryk ved en signifikant logaritmisk negativ sammenhæng mellem sigt dybden og klorofylkoncentrationen om sommeren ($P < 0,0001$, Figur 2, Tabel 2). Råstofsøerne har det laveste klorofylindhold ($2-8 \mu\text{g L}^{-1}$) fulgt af de udgravede søer ($5-72 \mu\text{g L}^{-1}$), mens de reetablerede søer varierer meget fra $6 \mu\text{g L}^{-1}$ i Filsø til over $200 \mu\text{g L}^{-1}$ i Strødam Eng sø og Alsønderup Eng sø. For de reetablerede søer er der tendens til, at søerne med de laveste klorofylkoncentrationer er søer reetableret på sandet og næringsfattig undergrund evt. med god plantedækning. Som for sigt dybden, varierer klorofylkoncentrationerne i de 30 undersøgte nye søer også indenfor samme interval, som de mange søer i det nationale overvågningsprogram ($4-202 \mu\text{g L}^{-1}$ /1/).

Næringsstoffer

Vandets klarhed og klorofylkoncentrationen hænger uløseligt sammen med næringsstofindholdet i vandet. Næringsstofniveauerne i de 30 undersøgte søer illustrerer med al tydelighed betydningen (Figur 3). Variationen i fosforindholdet følger samme mønster som klorofyl. Det laveste sommergennemsnit af fosfor om sommeren findes i råstofsøerne ($11-27 \mu\text{g L}^{-1}$) fulgt af de udgravede søer, som dog varierer meget ($25-333 \mu\text{g L}^{-1}$), mens mange af de reetablerede søer på dyrkede jorde har høje fosforkoncentrationer ($79-583 \mu\text{g L}^{-1}$). Der er da også en stærk signifikant logaritmisk positiv sammenhæng mellem koncentrationerne af klorofyl og total-fosfor ($P=0,0002$, Tabel 2). De tre Stenskovsøer skiller sig ud blandt de udgravede søer med højere fosforniveauer, hvilket kan skyldes deres ringe dybde. Ikke al den næringsrige overjord er gravet væk og hovedparten af oplandet er dyrket. I de næringsfattige søer er stort set alt fosfor bundet til biomasse og derfor ser vi meget lave fosfatniveauer i søvandet hen over sommeren (data ikke vist). Fytoplanktons vækst bliver fosfatbegrænset i de næringsfattige søer (Figur 3, øverst), mens det i mindre grad er tilfældet i de næringsrige søer.

For kvælstof er billedet stort set det samme som for fosfor (Figur 3 nederst). Igen ser vi en signifikant logaritmisk positiv sammenhæng mellem de gennemsnitlige koncentrationer af klorofyl og total-kvælstof om sommeren ($P=0,0161$, Tabel 2). De laveste værdier ses i råstofsøerne ($443-1213 \mu\text{g L}^{-1}$) og de udgravede søer ($513-1447 \mu\text{g L}^{-1}$) og de højeste i de reetablerede søer ($1165-5040 \mu\text{g L}^{-1}$). Det er



Figur 2. Gennemsnitlig sommersigt dybde (øverst) og klorofylkoncentration for sommeren (nederst), maj-september i de 30 søer. Grøn er reetablerede søer, mørkeblå er udgravede søer og lyseblå er udgravede råstofsøer. Sigt dybde mangler for Egå Eng sø.

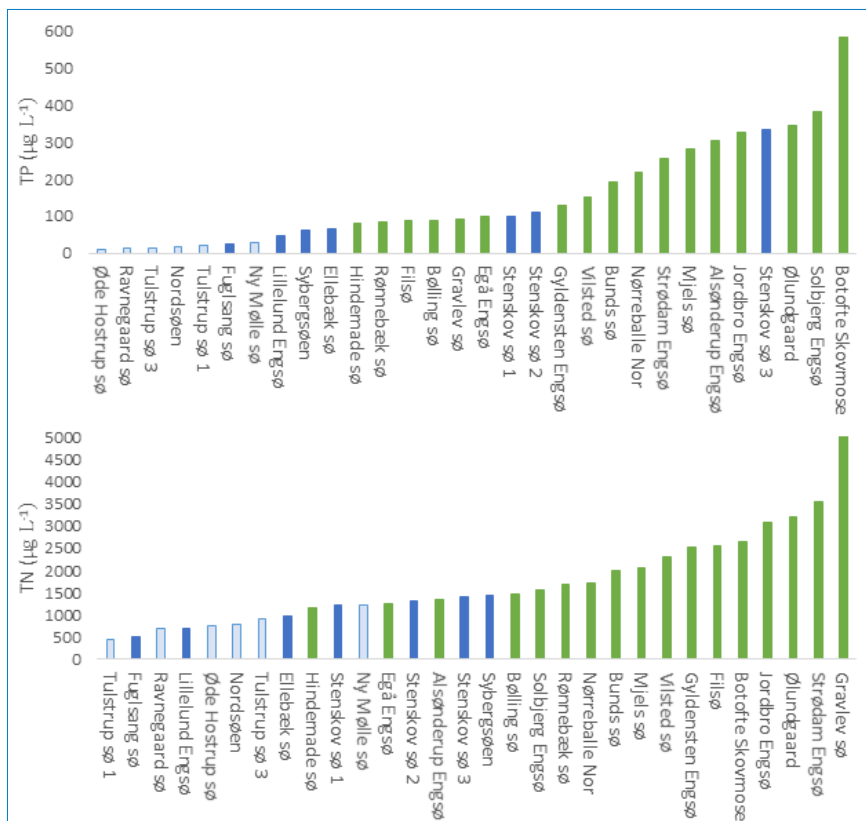
også karakteristisk, at langt hovedparten af vandets kvælstofindhold er bundet i organisk stof, mens kun en lille andel er opløst som nitrat eller ammonium (data ikke vist).

Vigtige sammenhænge

Grupperingen af søernes vandkvalitet i forhold til jordbunden tyder på, at måden en ny sø bliver skabt på har stor betydning for dens vandkvalitet. Hvis den nye sø etableres på mineralbund som i råstofgravene, på sandet undergrund som for Filsø eller etableres via udgravning og dermed bortgravning af den næringsrige tidligere dykningsflade, så er der høj sandsynlighed for at opnå en høj vandkvalitet. Det stik modsatte kan være tilfældet, hvis nye søer reetableres uden at bortgrave overfladejorden. Vi ser en signifikant logaritmisk positiv sammenhæng mellem den mobile fosforpulje i søbunden β og den gennemsnitlige koncentration af totalfosfor i søvandet om sommeren for de 30 søer ($P=0,023$, Tabel 2) som enten kan skyldes, at søbundens fosforindhold bidrager til vandfasens fosforindhold, eller at eksternt tilførsel til søerne siden etablering har skabt et næringsrigt sediment β .

Men hvad betyder oplandets sammensætning og de eksterne bidrag af næringsstoffer for søernes vandkvalitet? I dette projekt har vi ikke målt det eksterne bidrag, men vi har analyseret søernes opland. Den analyse viser, at jo større andel af naturarealer, der er i oplandet, desto bedre vandkvalitet målt som sigt-dybde opnår søerne ($P<0,001$, Tabel 2). Omvendt ser vi, at jo større en procentdel af oplandet, som anvendes til dyrkningsformål, desto højere er koncentration af total-kvælstof i søerne ($P=0,028$, Tabel 2, Figur 4). Fosfor følger samme tendens omend sammenhængen ikke er signifikant ($P=0,078$, Figur 4). De samme sammenhænge ses i et studie under publicering, hvor der blev undersøgt 92 nye eller reetablerede danske søer β . De mange søer i dette studie har en gennemsnitlig størrelse på 63 ha med gennemsnitligt 58% dyrket opland og en sommergennemsnitlig totalfosfor koncentration på $350 \mu\text{g L}^{-1}$, hvilket ligger helt på linje med resultaterne fra de 30 søer.

Da sedimentets fosforindhold og de eksterne næringsstofbidrag begge påvirker vandkvaliteten i de nye søer, så er det nærliggende også at se på betydningen af søernes alder. Man kunne forestille sig, at de yngste søer ville være mindst påvirket af eksternt belastning, men mest påvirket af fosforfrigivelse fra den oversvømmede jord (se også β), mens de ældre søer omvendt ville være mere påvirket direkte af eksternt tilførsel og/eller intern belastning pga. års eksternt tilførsel. Vi finder, at jo ældre søerne bliver desto højere, er de-



Figur 3. Gennemsnitlige sommerkoncentrationer (maj-september) af totalfosfor (øverst) og totalkvælstof (nederst) i de 30 søer. Grøn er reetablerede søer, mørkeblå er udgravede søer og lyseblå er udgravede råstofsøer.

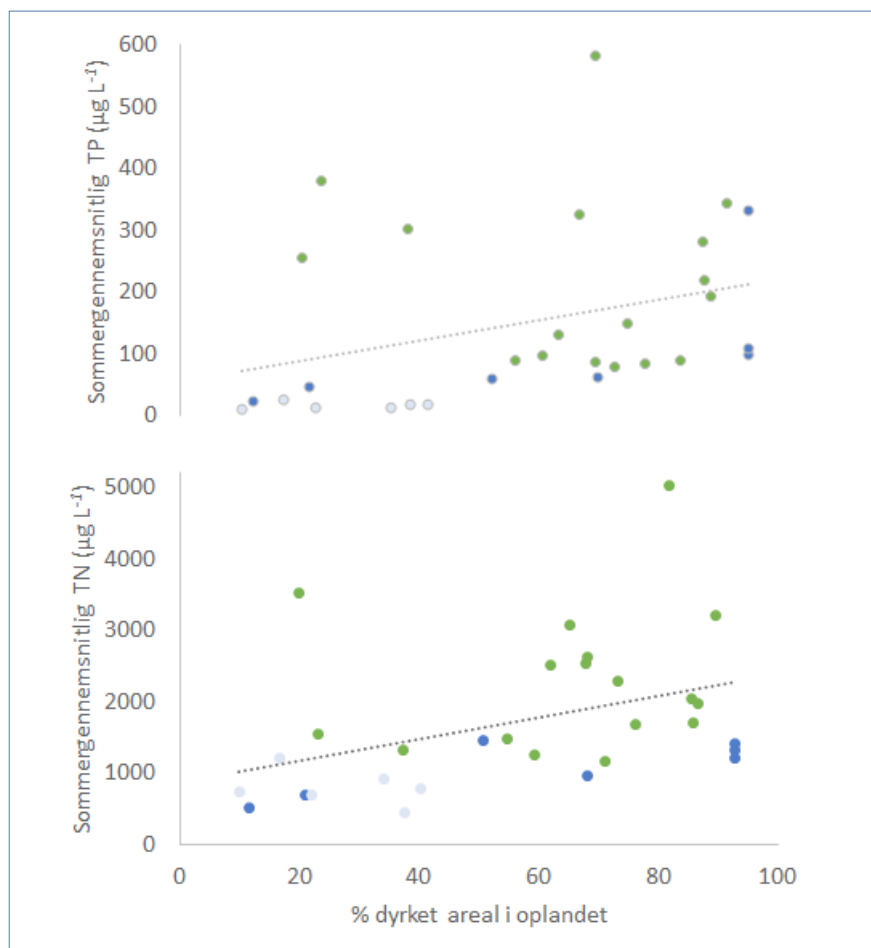
res klorofylindhold om sommeren ($P=0,013$, Tabel 2), hvorimod der ingen sammenhæng er mellem søalder og søvandets total-fosforindhold, total-kvælstofindhold og sigt-dybden. Så alderens sammenhæng med klorofylkoncentrationen skyldes sandsynligvis i højere grad, at nogle af de ældste søer også er meget lavvandede søer og/eller søer med høj eksternt næringsstoftilførsel.

Så hvad ved vi nu?

I de 30 undersøgte søer ser vi forskelle i vandkvaliteten, som især skyldes to forhold: 1) hvordan søen er blevet etableret, og 2) hvordan oplandets sammensætning er og hermed den samlede eksternt tilførsel af næringsstoffer. Råstofsøerne har generelt en god vandkvalitet, da undergrunden er næringsfattig og deres opland oftest er lille og med en høj andel af naturarealer og/eller

Tabel 2. Signifikante sammenhænge. Alle regressioner er lavet på sommergennemsnitlige værdier, $n = 30$ søer. Analyse er udført i Sigmaplot 12.0 med et signifikansniveau på 0,05. *Mobilt $P = \mu\text{mol g}^{-1}$ i 0-10 cm's dybde.

Regression	Ligning	R ² -værdi	P-værdi
Sigt-dybde vs. klorofyl	Sigt-dybde (m) = $-0,552 \times \ln(\text{Klo a } (\mu\text{g L}^{-1})) + 3,076$	0,47	<0,0001
Klorofyl vs. Totalfosfor	Klorofyl ($\mu\text{g L}^{-1}$) = $35,670 \times \ln(\text{TP } (\mu\text{g L}^{-1})) - 110,716$	0,40	0,0002
Klorofyl vs. Totalkvælstof	Klorofyl ($\mu\text{g L}^{-1}$) = $46,387 \times \ln(\text{TN } (\mu\text{g L}^{-1})) - 287,063$	0,19	0,0161
Totalfosfor vs. Mobilt P (sed)	TP ($\mu\text{g L}^{-1}$) = $45,01 \times \ln(\text{Mob P* } (\mu\text{mol g}^{-1})) + 47,33$	0,17	0,0233
Sigt-dybde vs. naturopland	Sigt-dybde (m) = $0,0272 \times \text{naturopland } (\%) + 0,809$	0,45	<0,001
Totalkvælstof vs. dyrket opland	TN ($\mu\text{g L}^{-1}$) = $15,109 \times \text{dyrket opland } (\%) + 860,95$	0,16	0,028
Klorofyl vs. alder	Klorofyl ($\mu\text{g L}^{-1}$) = $3,117 \times \text{søalder } (\text{år}) + 17,579$	0,20	0,013



Figur 4. Sammenhængen mellem % dyrket areal i oplandet til de 30 søer og hhv. den sommergennemsnitlige totalfosforkoncentration (TP) øverst og den tilsvarende totalkvælstofkoncentration (TN) nederst. Grøn er reetablerede søer, mørkeblå er udgravede søer og lyseblå er udgravede råstofsøer.

udyrkede arealer, hvilket indebærer en lav næringsstoffertilførsel. De udgravede nye søer har et godt udgangspunkt, idet den fosforholdige overfladejord er fjernet og de er dermed i højere grad kun påvirket af oplandets næringsstofbidrag. De søer, som reetableres ved at afskære dræn, stoppe pumper og/eller ved at hæve vandstanden, har derimod større risiko for at blive eutrofe både pga. fosforbidrag fra den oversvømmede tidligere dyrkningsflade /4/ og næringsstofbidrag fra det omkringliggende opland.

Flere af de reetablerede søer, som er undersøgt i dette projekt, er såkaldte VMPII-områ-

der eller N-vådområder, hvis formål netop er at mindske næringsstofudledningen til kystområderne, hvorved de helt naturligt bliver næringsrige. Det gælder f.eks. Botofte Skovmose på Langeland og Bunds sø på Als. Således kan der opstå modstridende interesser mellem forskellige formål ved nye søers etablering. Det kan være vanskeligt både at skabe en klarvandet sø – som kræver lille ekstern tilførsel af næringsstoffer – og en sø, som fjerner meget kvælstof – som kræver en stor ekstern tilførsel af næringsstoffer.

Så en ny søs vandkvalitet kommer helt naturligt til at afhænge af omgivelserne, for-

målet med etableringen og designet. Den sikreste vej til en ny sø med en lav næringsstoffertilførsel og god vandkvalitet er et opland med en stor andel af udyrket areal og bortgravning af den næringsrige overfladejord. Fjernelse af topjord er dyrt, men effektivt. I fremtiden kan alternative løsninger som sandcapping af de mest fosforrige arealer eller til sætning af jernforbindelser til jorden inden søen etableres måske også være en løsning, hvilket studier ved etableringen af Rønnebæk sø har vist /2, 6/.

Referencer

- /1/ Johansson L.S., Søndergaard M., Sørensen P.B., Nielsen A., Jeppesen E., Wiberg-Larsen P. & Landkildehus F. 2019. Søer 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 98 s. - Videnskabelig rapport nr. 354. <http://dce2.au.dk/pub/SR354.pdf>
- /2/ Kolath T., Reuss L., Egemose S. & Reitzel K. 2020. Forbehandling af jorden før søetablering. Artikel i Vand & Jord 4:20: 136-140.
- /3/ Kolath T., Egemose S., Jensen H.S. & Reitzel, K. 2020. Fosforindhold og frigivelse fra sediment i nye og naturlige søer. Vand & Jord 4:20: 131-135.
- /4/ Audet J., Zak D., Bidstrup J. & Hoffmann C.C. 2020. Nitrogen and phosphorus retention in Danish restored wetlands. *Ambio* 49: 324–336.
- /5/ Kolath T., Kolath A.S., Båstrup-Spohr L., Søndergaard M., Reitzel K. & Egemose S. (in prep). External phosphorus loading of new lakes.
- /6/ Andersen H.E., Rubæk G.H., Hasler B. & Jacobsen B.H. (redaktører). 2020. Virkemidler til reduktion af fosforbelastningen af vandmiljøet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 284 s. - Videnskabelig rapport nr. 379 <http://dce2.au.dk/pub/SR379.pdf>

SARA EGEMOSE (saega@biology.sdu.dk) og KASPER REITZEL er lektorer, HENNING S. JENSEN er lektor emeritus, JONAS STAGE SØ og THOR KOLATH er PhD-studerende på Biologisk Institut, Syddansk Universitet. MARTIN SØNDERGAARD er seniorforsker på Aarhus Universitet. EMIL KRISTENSEN er Ph.D. og MATHIAS J. MØLLER er cand. scient. fra Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet.