Muligheder for reduktion af fosfor fra brinkerosion og andre vandløbsvirkemidler i oplandet til Vadehavet – Kystvandråd Vadehavet

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 16. december 2023 | **69**

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Rådgivningsnotat

Titel: Muligheder for reduktion af fosfor fra brinkerosion og andre vandløbsvirkemidler i oplandet til Vadehavet – Kystvandråd Vadehavet

Forfattere: Hans E. Andersen, Ane Kjeldgaard og Brian Kronvang
Institution: Ecoscience, AU

Faglig kommentering: Jørgen Windolf
Kvalitetssikring, DCE: Signe Jung-Madsen
Sproglig kvalitetssikring: Anne Mette Poulsen

Rekvirent: Varde Kommune

Ekstern kommentering: Teknikergruppe under kystvandrådet. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/N2023_69_komm.pdf

Bedes citeret: Andersen, H.E., Kjeldgaard, A. & Kronvang, B.. 2023. Muligheder for reduktion af fosfor fra brinkerosion og andre vandløbsvirkemidler i oplandet til Vadehavet – Kystvandråd Vadehavet. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 25 s. - – Fagligt notat nr. 2023|69

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: Sandfag i Kongeåen, Brian Kronvang

Sideantal: 25

Indhold

1. Indledning **4**

2. Metode **5**

2.1 Introduktion 5

2.2 Kalibrering af beregningen af diffust fosfortab på transportveje 6

3. Potentiale for vandløbsvirkemidler **8**

3.1 Træer på vandløbsbrinker 8

3.2 Sandfang 9

3.3 Okkerfældningsanlæg 10

3.4 Mindre strækningsbaserede restaureringer af vandløb 11

3.5 Genslyngning af vandløb 12

4. Fosforeffekter af brinkerosion og planlagte indsatser under Vandplan 3 **15**

4.1 Transportveje for fosfor 15

4.2 Effekter af vandløbsvirkemidler mod diffust fosfortab 16

5. Scenarier for fosforvirkemidler **18**

5.1 Anlæggelse af brinker med mindre hældning (anlæg) 18

5.2 Scenarier for træplantning langs vandløb ved fastsættelse af fosfor reduktionsmål 19

5.3 Scenarier for yderligere vandløbsrestaureringstiltag 20

6. Referencer **24**

1. Indledning

Med "Aftale om grøn omstilling af dansk landbrug" af 4. oktober 2021 blev det vedtaget, at indsatsbehovet og håndteringen af det resterende indsatsbehov for fjernelse af kvælstof revurderes i forbindelse med genbesøget af aftalen i 2023/24. Revurderingen vil tage højde for resultater af den "Second opinion", der blev aftalt ifm. med landbrugsaftalen, hvortil projektet "Lokalt funderede analyser" er sat i værk, for at der i udvalgte kystvande gennemføres lokalt funderede analyser, som skal afdække, om der kan findes andre veje til at opnå målopfyldelse, som den er defineret i EU's vandrammedirektiv.

Kystvandrådene har mulighed for at undersøge forskellige typer af virkemidler til reduktion af de tilførte kvælstof- og fosformængder samt andre virkemidler, der kan sikre målopfyldelse, og til undersøgelse af nye eller opdatering af gamle virkemidler med henblik på at udarbejde forslag til et fagligt funderet indsatsprogram, der vil opnå målopfyldelse for kystvandet.

En samlet analyse og evaluering af projektet skal sendes til Miljøstyrelsen. Efter modtagelse gennemgås kystvandrådenes analyser og alternative indsatsprogrammer med henblik på at indgå i den samlede revurdering ("Second opinion"-projektet) af kvælstofreguleringen.

Den primære opgave er at fastlægge, hvilke presfaktorer der udgør de væsentligste udfordringer i forhold til opfyldelse af vandrammedirektivmålet om god økologisk tilstand, og hvad status for disse presfaktorer er. Opgaven er delt i en marin presfaktoranalyse, hvor der ses på, hvilke presfaktorer der er væsentligst at adressere for at opnå målopfyldelse, samt en oplandsanalyse, hvor man ser på status og fremtidig udvikling i stoftransport til vandområderne.

I et projekt omhandlende Vadehavet har Varde Kommune indgået en aftale med Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet, om ekspertstøtte til at gennemføre en grundig gennemgang af de relevante deloplande med henblik på at identificere potentialer og virkemidler til reduktion af fosfortilførslen.

Dette notat beskriver de data, som AU har stillet til rådighed for kystvandrådet til arbejdet med at undersøge mulighederne for reduktion af fosfortilførsel fra brinkerosion til Vadehavet. Der er tale om data vedrørende transportveje for diffust fosfortab samt potentialer for og effekter af især brinkerosions fosforvirkemidler. Fosforvirkemidler er interessante da der i mange kystvande er beregnet en vekselkurs mellem fosfor og kvælstof (Erichsen et al., 2021).

2. Metode

2.1 Introduktion

Det er velkendt, at den største andel af fosfortabet fra diffuse kilder kun hidrører fra en mindre del af landskabet – de såkaldte risikoområder. For at have effekt skal virkemidler mod diffust fosfortab derfor målrettes mod disse risikoområder. Metoden i nærværende projekt består i at kombinere den detaljerede kortlægning af diffust fosfortab foretaget af Andersen & Heckrath (2020) med en række virkemidler, hvis effekter er beskrevet i Andersen et al. (2020). Effektberegningen forudsætter, at potentialet for det enkelte virkemiddel er kendt eller kan estimeres. Som grundlag for formulering af lokalt funderede scenarier beregnes her effekten af, at hele det foreliggende potentiale udnyttes – altså den teoretiske, øvre grænse for reduktion i det diffuse fosfortab.

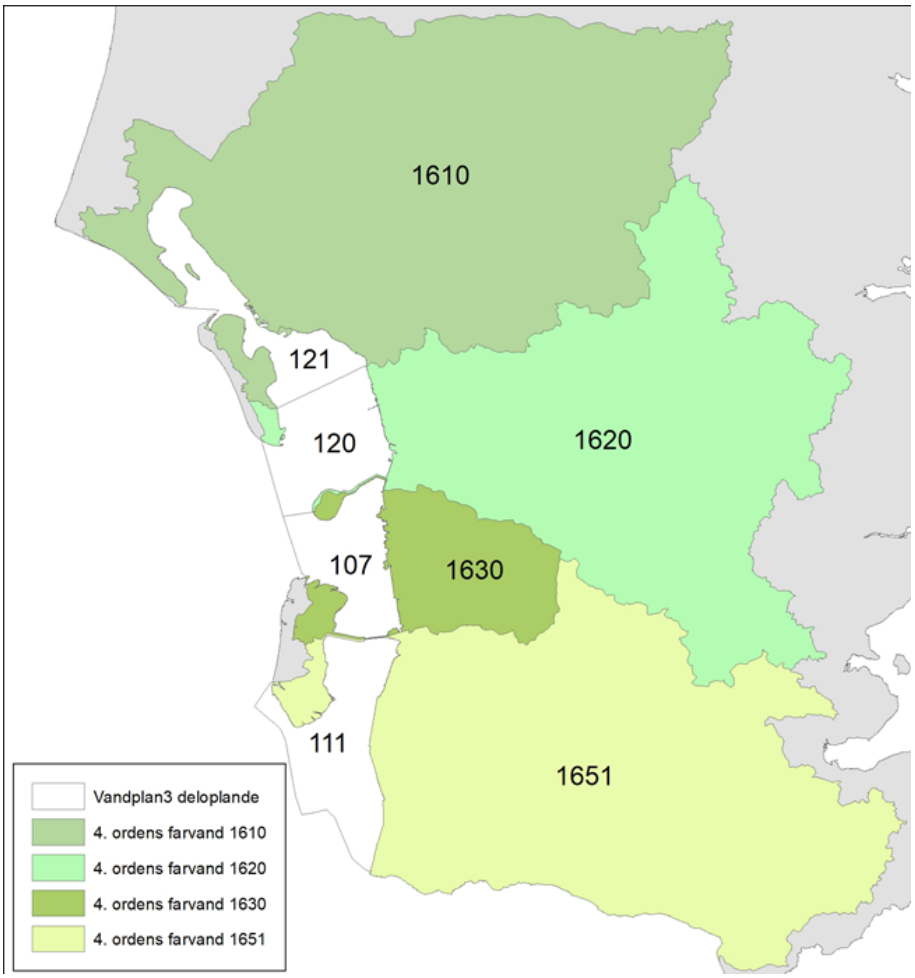
Alle effekter i form af reduktion af det diffuse fosfortab er opgjort ved vandløbskant. På grund af manglende model for fosforretention i vandløb indregnes der ingen retention af fosfortransporten gennem vandløbssystemet mod kystvand. Alle beregninger rapporteres på ID15-oplandsniveau.

De gennemførte beregninger af fosforeffekter i vandløb er gennemført inden for oplandene til de fire kystvand-deloplande, Grådyb, Knude Dyb, Juvre Dyb og Lister Dyb (figur 2.1). De enkelte ID-numre for henholdsvis kystvand og farvand 4-oplandet fremgår af tabel 2.1.

Tabel 2.1. Oversigt over ID-numre for de fire kystvand deloplande i Vadehavet.

	Grådyb	Knude Dyb	Juvre Dyb	Lister Dyb
ID kystvand	121	120	107	111
ID farvand 4 opland	1610	1620	1630	1651
Oplandsareal (km^2)	1820	1453	284	1878

Figur 2.1. Farvand 4-oplande til de fire kystvand-deloplande i Vadehavet.

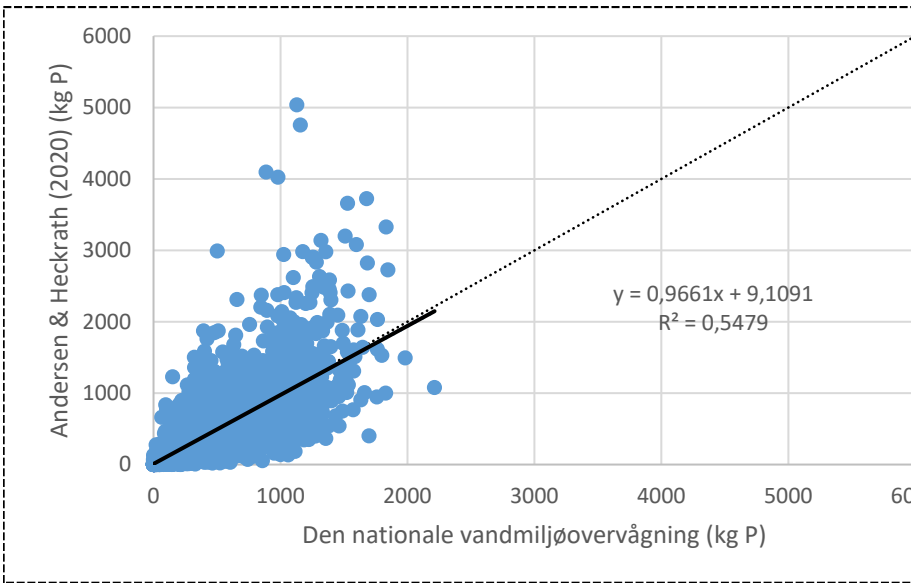


2.2 Kalibrering af beregningen af diffust fosfortab på transportveje

Andersen & Heckrath (2020) har kortlagt og beregnet fosfortransporten fra de fem mest betydende diffuse kilder: erosion, udvaskning til dræn, tab gennem makroporer til dræn, tab fra dyrket organisk jord og tab via brinkerosion. Fosfortransporterne er beregnet med en række uafhængige modeller. På nationalt niveau tegner de fem diffuse kilder sig for 94 % af den samlede diffuse fosfortransport. Fosfortab med vinderosion og overfladisk afstrømning samt tab via grundvand fra ikke-drænede marker udgør de resterende 6 %.

I dette projekt er de modelberegnede fosfortab via de fem diffuse transportveje summeret på ID15-oplandsniveau. Efterfølgende er den modelberegnede fosfortransport justeret, så summen for hvert ID15-opland er identisk med 94 % af den diffuse fosfortransport opgjort ifølge den nationale vandmiljøovervågning NOVANA (Thodsen et al., 2023). De resterende 6 % udgøres af fosfortab med vinderosion og overfladisk afstrømning samt tab via grundvand fra ikke-drænede marker, som ikke kunne kortlægges i Andersen & Heckrath (2020). Der er anvendt et gennemsnit af fosfortransportdata for perioden 2012-2021. Den relative fordeling mellem de fem diffuse transportveje er bibeholdt. Denne justering sikrer, at der er overensstemmelse mellem resultater fra dette projekt opgjort på ID15-niveau og landstal for fosfortab. Figur 2.2 viser et plot af den modelberegnede fosfortransport på ID15-niveau beregnet i Andersen & Heckrath (2020) før justeringen mod den tilsvarende fosfortransport beregnet i den nationale vandmiljøovervågning. Gennemsnit for de to datasæt er

hhv. 387 kg P i Andersen & Heckrath (2020) og 391 kg P i den nationale vandmiljøovervågning. De tilsvarende medianværdier er hhv. 235 kg P og 277 kg P. Som det fremgår af figur 2.2, kan der for det enkelte ID15-opland være stor forskel på de to fosfortransportberegninger, som altså udlignes af justeringen.



Figur 2.2. Diffus fosfortransport (kg P) opgjort på ID15-oplandsniveau i Andersen & Heckrath (2020) plottet mod den tilsvarende diffuse fosfortransport (kg P) opgjort i den nationale vandmiljøovervågning. Identitetslinjen er vist med stiplet signatur, mens tendenslinjen er markeret med fed signatur. Ligningen for tendenslinjen er indsat i figuren

3. Potentiale for vandløbsvirkemidler

For alle virkemidler gives i det følgende en kort beskrivelse af mekanisme, effekt og potentiale for anvendelse.

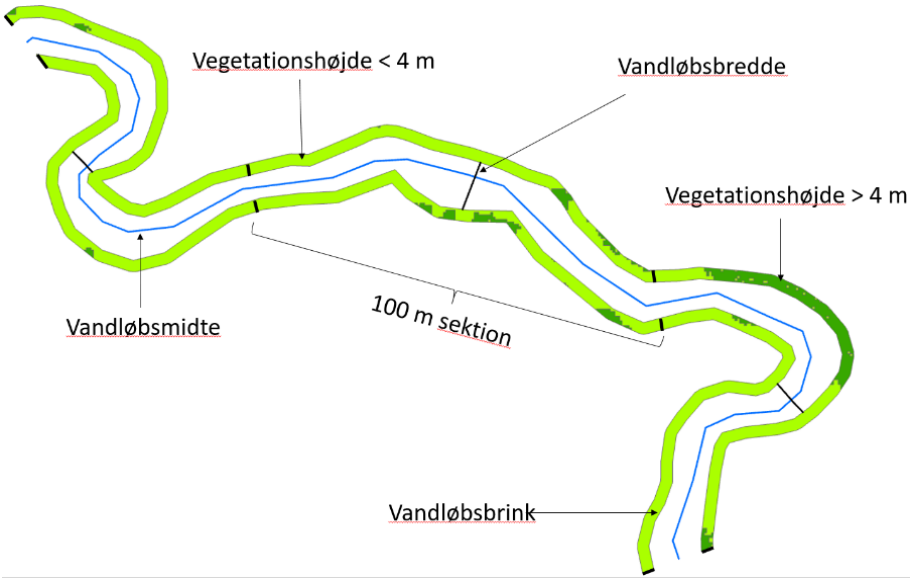
3.1 Træer på vandløbsbrinker

Elletræer langs vandløbets brinker har i mange undersøgelser vist sig at medvirke til at stabilisere vandløbsbrinken og dermed reducere brinkerosionen og tilskuddet af sediment og partikulært bundet fosfor (Kronvang & Larsen, 2023). Træernes rodnet trænger ned i brinken og er dermed med til at holde på jorden i brinken. Derved reduceres den løbende erosion af brinkerne ved vandets kræfter, og desuden fastholdes brinken, så perioden, der går mellem store brinkkollaps, forventes at blive betydeligt forlænget. Elletræer har også mange andre gavnlige effekter, som det f.eks. er beskrevet i Madsen (2013). I artiklen beskrives bl.a., hvordan elletræer, især i de mindre vandløb, vil skygge vandløbet, så vækst af vandplanter (grøde) i vandløbet reduceres om sommeren og dermed også reducerer behovet for grødeskæring for at sikre afvandingen. Træer i bræmmen har også positive effekter for den økologiske tilstand i vandløb ved at reducere vandtemperaturen til gavn for ørred, andre fisk og smådyr. Desuden vil nedfald af blade og grene tilføre organisk stof, som er en fødekilde, og som samtidig giver flere levesteder for smådyr og gode skjulesteder for f.eks. ørredyngel. Træernes rødder er desuden med til at holde underskårne brinker og giver gode levesteder for fisk og smådyr. Træerne lagrer i deres vækst også CO2 og tæller derfor positivt i klimaregnskabet.

Kronvang & Larsen (2023) har udviklet en metode til beregning af effekten af træer på vandløbsbrinken i forhold til brinkerosionens størrelse (mm/år). Beregning af effekten kræver information om vandløbets beliggenhed i landskabstype (moræne- eller hedeslettelandskab) og i georegion samt information om vandløbets størrelse (bredde mindre end 2 m, 2-10 m eller større end 10 m). Effekten af træer er en reduktion af brinkerosion på 27-53 % (Kronvang & Larsen, 2023).

Netto brinkerosion i alle danske vandløb er kortlagt i Andersen & Heckrath (2020) opgjort på 100 m vandløbsstrækninger. Kortlægningen indeholder desuden information om vandløbets beliggenhed i hhv. landskabstype og georegion samt vandløbets bredde. Ydermere er vegetationen i en 2 m's zone på hver side af vandløbet kortlagt og inddelt i hhv. lav vegetation (græs, urter, mindre buske) og høj vegetation (træer) (figur 3.1). Potentialet for træplantning på vandløbsbrinker udgøres således af de vandløbsstrækninger, hvor der for nuværende er lav vegetation.

Figur 3.1. Opdeling af vandløb i 100 m-strækninger samt klassificering af vegetationshøjder i brinkzonerne.



3.2 Sandfang

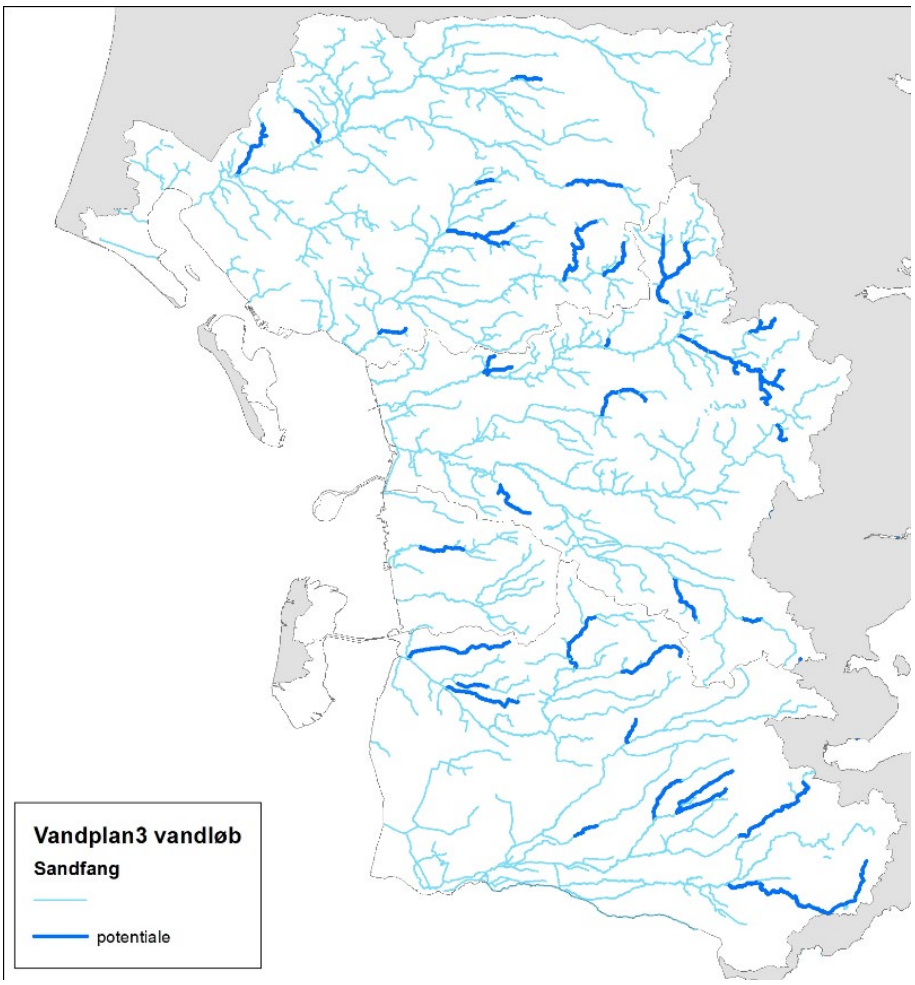
Et sandfang anlægges ved at udvide vandløbets bredde og dybde på en kort strækning. Derved nedsættes vandets hastighed, og sandet transporteres ikke igennem sandfanget under almindelige afstrømningsforhold. Som tommelfingerregel udvides vandløbets bundbredde til 2-3 gange normal bredde, og bunden sænkes til ca. 1 m under normal bund. Sandfangets længde graves til ca. 10 gange vandløbets bredde, afhængigt af sandtransportens størrelse (Wandall et al., 2000).

For at bevare sin funktionalitet skal sandfanget jævnligt tømmes for aflejret sediment. Sedimentet indeholder fosfor, hvorfor sandfang har en reducerende effekt på fosfortransporten i vandløbet. I en undersøgelse af sandfangs effekt på fosfortransport i vandløb (Andersen & Nilsson, 2023) er det vist, at den gennemsnitlige størrelse af et sandfang er 75 m^2, men med stor variation, og at sedimentfjernelsesraten (m^3 m^{-2} $år^{-1}$) varierer mellem georegioner: georegion 2 (Nordjylland) 1,1 m^3 m^{-2} $år^{-1}$, georegion 3 (Vestjylland) 0,5 m^3 m^{-2} $år^{-1}$, øvrige georegioner 0,3 m^3 m^{-2} $år^{-1}$. Der er ikke statistisk signifikant forskel mellem georegioner på sedimentets volumenvægt (gennemsnit 1,41 kg l^{-1}) eller sedimentets indhold af totalfosfor (gennemsnit 221 mg P kg^{-1} TV^{-1}.

Fosforeffekten af et sandfang findes ved først at gange arealet af sandfanget med sedimentfjernelsesraten. Det beregnede sedimentvolumen omsættes til en vægt ved at gange med volumenvægten (gennemsnit 1,41 t m^{-3}). Den mængde fosfor, der fjernes med sedimentet, findes ved at gange sedimentets fosforkoncentration (gennemsnit 221 mg P kg^{-1} = 0,221 kg P t^{-1}) med vægten af sedimentet. Et sandfang med en størrelse på 75 m^2 beliggende i Nordjylland vil således kunne fjerne ca. 26 kg P $år^{-1}$ fra vandløbet, mens de tilsvarende tal for sandfang af samme størrelse i hhv. Vestjylland og i de øvrige georegioner er ca. 12 kg P $år^{-1}$ og ca. 7 kg P $år^{-1}$.

Sandfang kan principielt anlægges i alle vandløb og med vilkårlig afstand. Der er således ikke nogen teoretisk øvre grænse for mængden af sandfang. Der findes allerede mere end 1000 sandfang i danske vandløb (Andersen & Nilsson, 2023). Som potentiale for etablering af nye sandfang er anvendt de foreslåede indsatser i vandområdeplanerne for tredje planperiode (figur 3.2)

(data downloadet fra https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=vand-rammedirektiv3-2022).



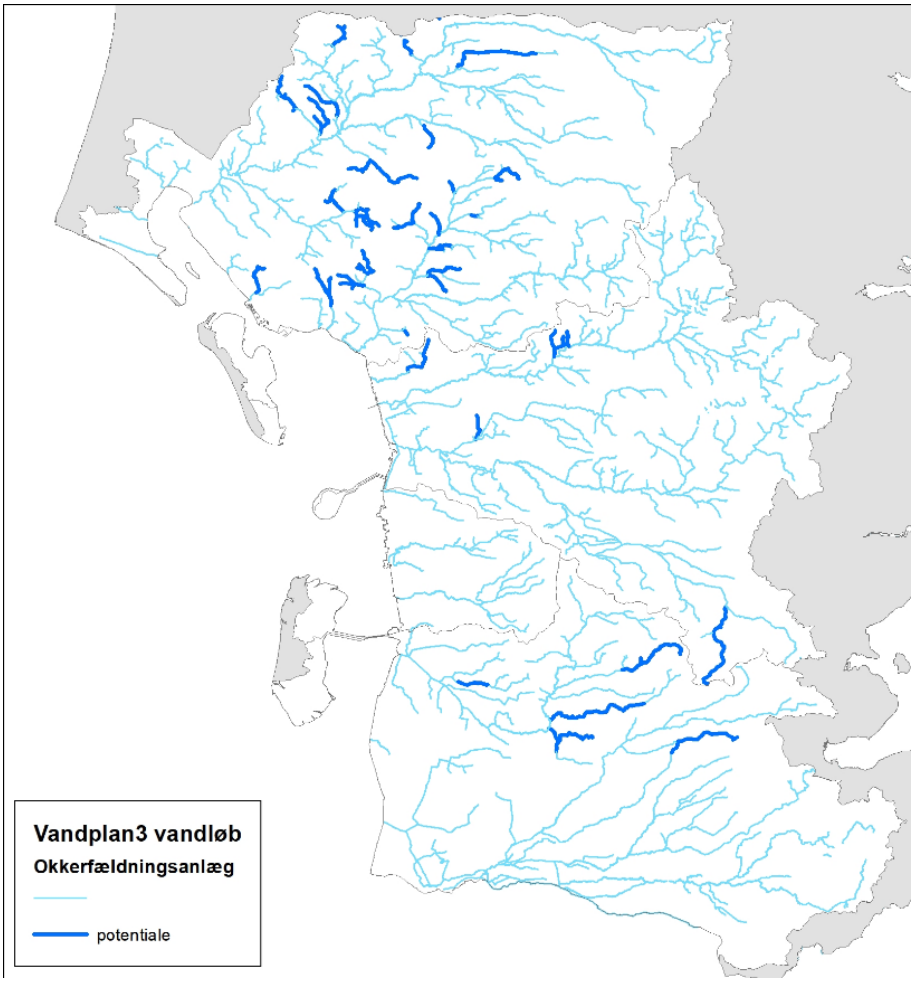
Figur 3.2. Placering af foreslåede sandfang i vandområdeplanerne for tredje planperiode (lyseblå linjer).

3.3 Okkerfældningsanlæg

Okkerfældningsanlæg er gravede damme med åbent vandspejl eller lavvandede grødefyldte bassiner, som er etableret på mindre vandløb med henblik på at ilte opløst ferro-jern og tilbageholde partikulært ferrijern. Der er i dag etableret over 100 anlæg i okkerpotentielle afstrømningsområder i Vest- og Sønderjylland (DHI, 2014). Anlæggene har typisk et areal på 0,5-2,5 ha. Fosfor, som transporteres i vandløbssystemet, kan tilbageholdes sammen med partikulært jern (ferrioxyhydroxider) i anlæggene, og dermed nedsætter de også transporten af total-fosfor til nedstrøms recipienter. Okkerfældningsanlæg er beslægtede med minivådområder og kan som disse placeres, så de opsamler drænudløb. Effekten på reduktion af fosfortransport er 140 kg P ha^{-1} $år^{-1}$ (Andersen et al., 2020). En gennemgang af publicerede okkerfældningsanlæg viser en gennemsnitlig størrelse af et anlæg på 1,0 ha. Denne størrelse er anvendt i beregning af fosforeffekten af okkerfældningsanlæg i nærværende projekt.

Okkerfældningsanlæg etableres kun i okkerpotentielle områder som lavbundsjorde i Vest- og Sønderjylland. Disse områder vurderes at udgøre 300.000 ha svarende til 10 % af Jyllands areal (Kjærgaard & Forsmann, 2014). Som potentiale for etablering af nye okkerfældningsanlæg er anvendt de foreslåede indsatser i vandområdeplanerne for tredje planperiode (figur 3.3)

(data downloadet fra https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=vandrammedirektiv3-2022).



Figur 3.3. Placering af foreslåede okkerfældningsanlæg i vandområdeplanerne for tredje planperiode (lyseblå linjer).

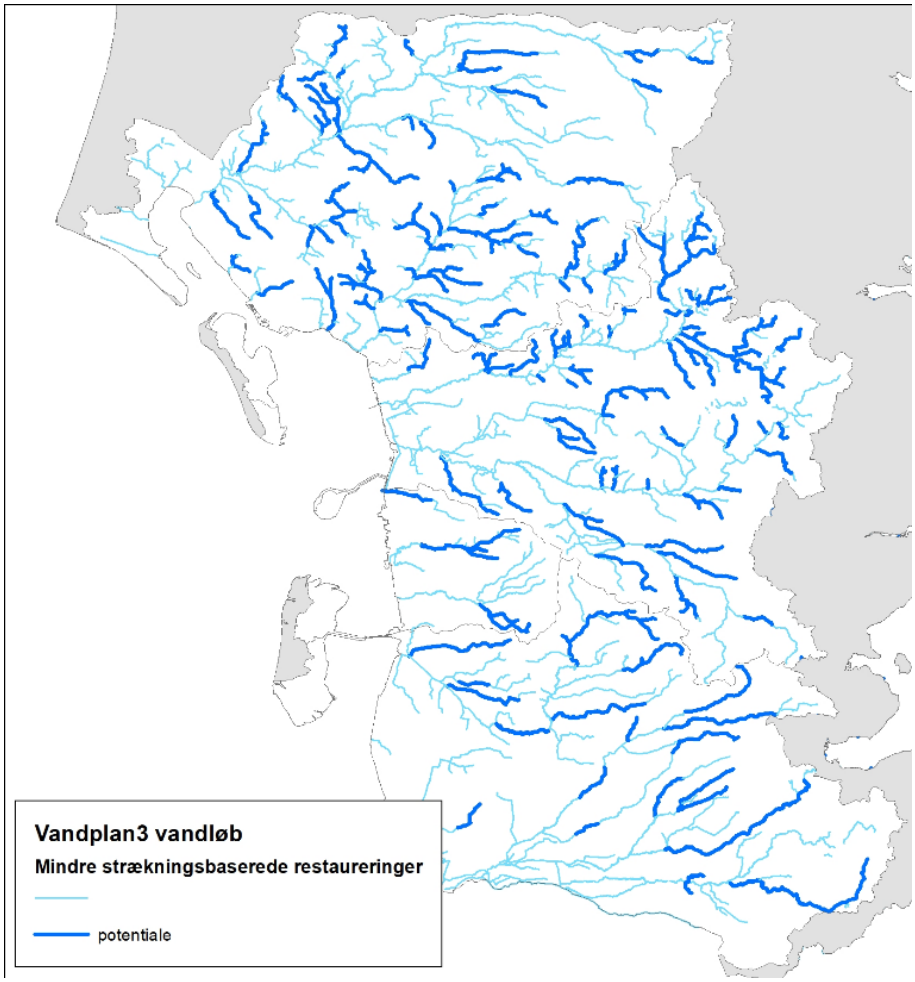
3.4 Mindre strækningsbaserede restaureringer af vandløb

Mindre, strækningsbaserede restaureringer kan ifølge Miljøministeriet (2021) omfatte udlægning af groft materiale, udskiftning af bundmateriale, hævning af vandløbsbunden uden genslyngning og plantning af træer langs vandløb. Vi har ikke mulighed for at estimere en eventuel effekt på fosfortransporten i vandløb af hhv. udlægning af groft materiale og udskiftning af bundmateriale. Plantning af træer langs vandløb behandles i nærværende projekt som et selvstændigt virkemiddel mod fosfortab ved brinkerosion. Hævning af vandløbsbunden har også en reducerende effekt på brinkerosion ved at mindske den flade, der kan eroderes.

Den relative effekt på fosfortab ved brinkerosion af en hævning af vandløbsbunden beregnes efter Andersen & Nilsson (2023) gennem en sammenligning af fosfortabet før og efter hævning af bunden. Den relative effekt overføres på det forlods beregnede fosfortab ved brinkerosion på strækningen (beregnet i Andersen & Heckrath, 2020). Der kræves information om landskabstype, vandløbsbredde og længden af vandløbsstykket, hvor bunden hæves. I nærværende projekt er der beregnet effekt af hævning af vandløbsbunden for seks kombinationer af landskabstype og vandløbsbredde: hhv. vandløb i moræne og vandløb på hedeslette opdelt på små vandløb (0-2 m), mellemstore vand-

løb (2-10 m) og store vandløb (større end 10 m). Det forudsættes, at vandløbsbunden hæves, for at der kan fremkomme en effekt for brinkerosion. Da det pga. dyrkningsinteresser ikke er ønskeligt at hæve vandløbsbunden i vandløb i oplandet til Vadehavet, kan der derfor ikke beregnes en effekt på brinkerosion af de strækningsbaserede restaureringer i Vandområdeplaner 2021-2027 (VP3) 3 (se tabel 4.2).

Mindre strækningsbaserede restaureringer kan principielt anlægges i alle vandløb og med vilkårlig afstand. Der er således ikke nogen teoretisk øvre grænse. Som potentiale for etablering af nye strækningsbaserede restaureringer er anvendt de foreslåede indsatser i vandområdeplanerne for tredje planperiode (figur 3.4) (data downloadet fra https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=vandrammedirektiv3-2022).



Figur 3.4. Placering af foreslåede mindre strækningsbaserede restaureringer i vandområdeplanerne for tredje planperiode (lyseblå linjer).

3.5 Genslyngning af vandløb

Genslyngning af vandløb med naturligt forløb kan foretages med det formål, at vandløbets naturlige morfologiske processer kan udfoldes (Miljøministeriet, 2021). Genslyngning medfører et længere vandløb, hvorved et større brinkareal kan udsættes for erosion. Ydermere er brinkerosionsraten (antal mm eroderet brink per år) for vandløb på hedeslette markant større for slyngede vandløb end for udrettede vandløb (Kronvang & Larsen, 2023).

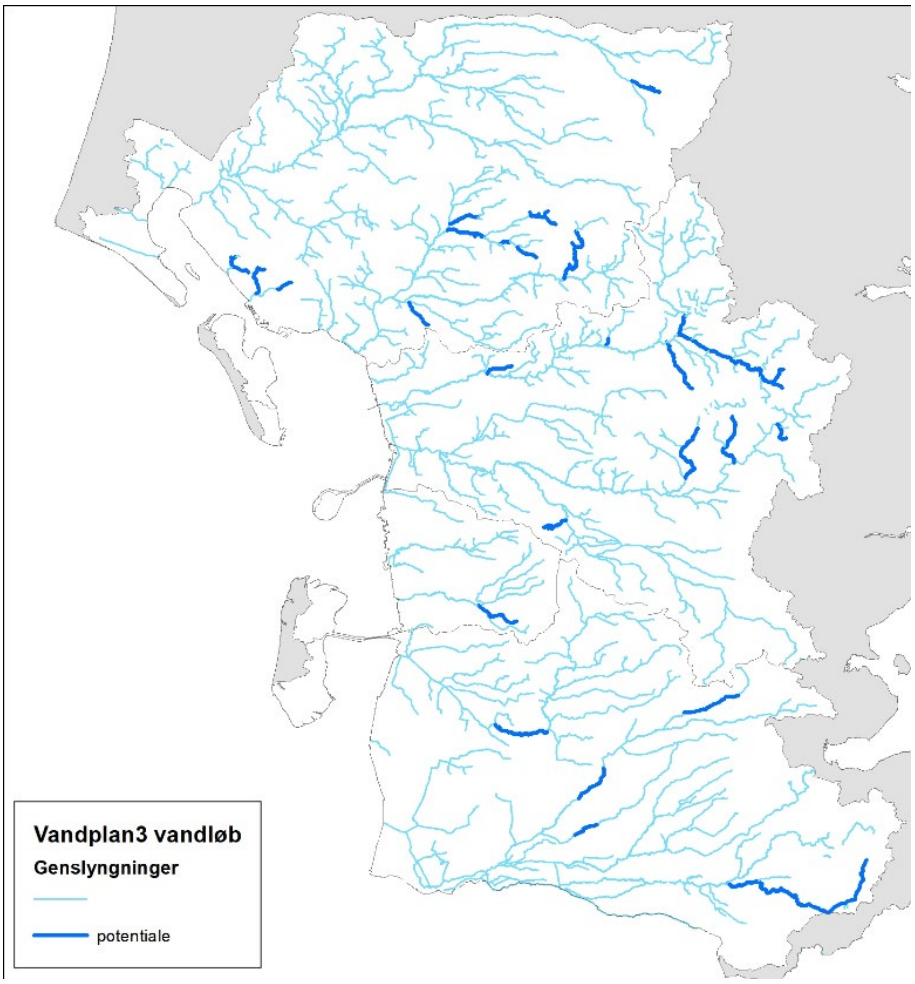
Genslyngning af vandløb kan derfor suppleres med hævning af vandløbsbunden, ændret brinkhældning eller plantning af træer på brinken for at reducere brinkerosion og det alt andet lige øgede fosfortab ved genslyngning.

Den relative effekt på fosfortab ved brinkerosion af en genslyngning af vandløbet beregnes efter Andersen & Nilsson (2023) gennem en sammenligning af fosfortabet før og efter genslyngning. Den relative effekt overføres på det forlods beregnede fosfortab ved brinkerosion på strækningen (beregnet i Andersen & Heckrath, 2020). Der kræves information om landskabstype, vandløbsbredde og længden af vandløbsstykket, der genslynges. I nærværende projekt er der beregnet effekt af genslyngning af vandløb for seks kombinationer af landskabstype og vandløbsbredde: hhv. vandløb i moræne og vandløb på hedeslette opdelt på små vandløb (0-2 m), mellemstore vandløb (2-10 m) og store vandløb (større end 10 m). Det forudsættes, at slyngningsgraden er 1,4, og at brinkanlæg før genslyngning er 1:1, mens det efter genslyngning er 1:1,25 og med anlæg i indersiden af meanderbuer på 1:3, samt at vandløbsbunden hæves.

I de planlagte genslyngningsprojekter underVP3 er det ikke ønskeligt med hævning af vandløbsbunden i projekter med genslyngning. Det er også uvist, hvad vandløbsstrækninger anlægges med af slyngningsgrad, så der er som konsekvens heraf ikke foretaget beregninger af effekter for brinkerosion og fosfor af disse indsatser.

Genslyngning kan principielt foretages på alle udrettede vandløb. Som potentiale for genslyngning er anvendt de foreslåede indsatser i vandområdeplanerne for tredje planperiode (figur 3.5) (data downloadet fra https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=vandrammedirektiv3-2022).

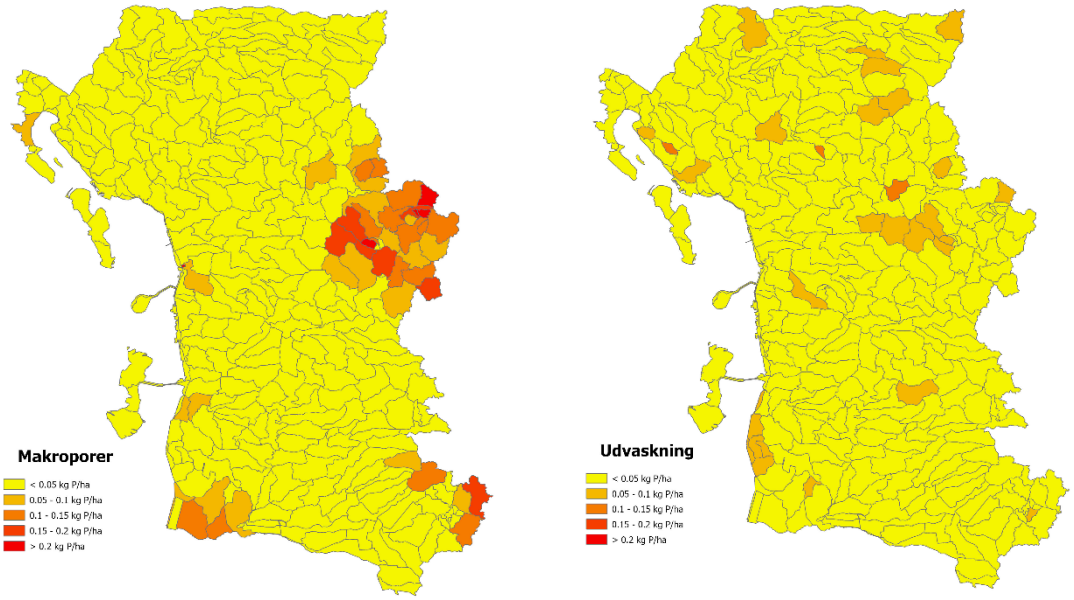
Figur 3.5. Placering af foreslåede genslyngninger af vandløb i vandområdeplanerne for tredje planperiode.

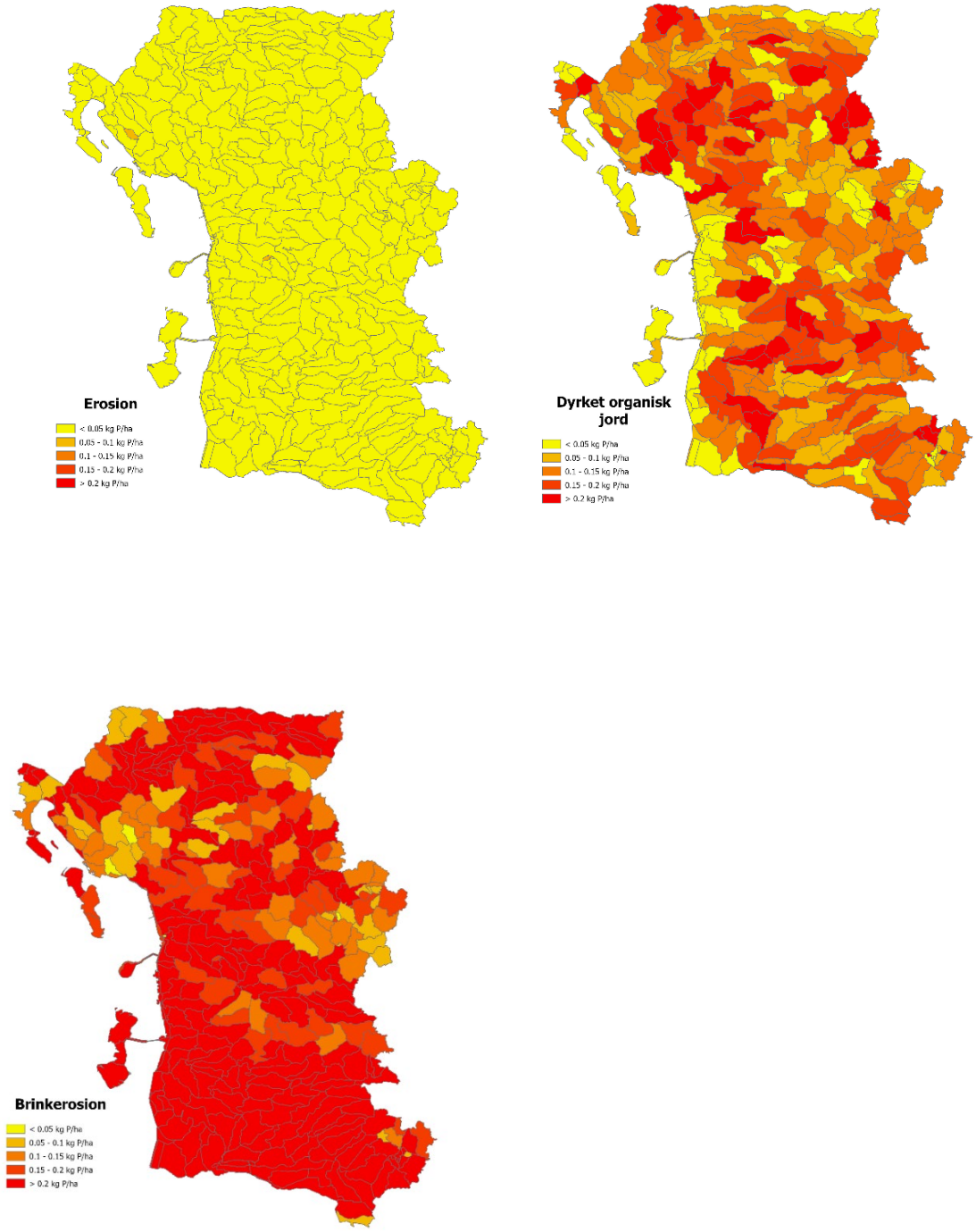


4. Fosforeffekter af brinkerosion og planlagte indsatser under Vandplan 3

4.1 Transportveje for fosfor

I figur 4.1 er fosfortabene ad de fem transportveje vist på ID15-oplandsniveau i oplandet til Vadehavet. Tabene er arealvægtede (kg P/ha) og vist med samme legende for at lette sammenligning mellem transportveje og oplande. De viste fosfortab er, som beskrevet i afsnit 2.2, tilpasset resultaterne fra den nye total-fosfor-model, som anvendes i NOVANA-opgørelser af fosfortransport og -belastninger af kystvande.





Figur 4.1: Arealvægtet tab af fosfor (kg P/ha) via hhv. makroporer, udvaskning, erosion, dyrket organisk jord og brinkerosion opgjort på ID15-oplandsniveau.

4.2 Effekter af vandløbsvirkemidler mod diffust fosfortab

Antallet af tiltag med restaurering af vandløb mv. og kilometer vandløb i forskellige størrelseskategorier i de fire farvand 4-oplande til Vadehavet er vist i tabel 4.1.

Tabel 4.1. Antallet af tiltag og/eller antal km vandløb med mulighed for tilplantning med træer langs vandløb opgjort på farvand 4-niveau til Vadehavet.

	Grådyb (ID=121)	Knude Dyb (ID=120)	Juvre Dyb (ID=107)	Lister Dyb (ID=111)
	Antal anlæg, hvor ingen enhed er tilknyttet			
Planlagte okkeranlæg VP3	24	5	0	7
Effekt af mindre strækningsbaserede restaureringer	264 km	245 km	34 km	187 km
Planlagte genslyngninger i VP3	5,5 km	14,6 km	0 km	0 km
Planlagte sandfang VP3	15	18	1	13
Plantning af træer langs vandløb < 2 m (max potentiale)	1098 km	636 km	280 km	492 km
Plantning af træer langs vandløb 2-0 m (max potentiale)	781 km	1001 km	356 km	2307 km
Effekt af plantning af træer langs vandløb > 10 m (max potentiale)	Teknikergruppen og kystvandrådet har Ikke ønsket træer langs store vandløb.			

Den beregnede reduktion i diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialet vist i tabel 4.1 er beregnet og vist for alle virkemidler i tabel 4.2.

Tabel 4.2. Reduktion i tilførsel af fosfor til kystvande i Vadehavet ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialer opgjort på farvand 4-niveau til Vadehavet.

	Grådyb (ID=121)	Knude Dyb (ID=120)	Juvre Dyb (ID=107)	Lister Dyb (ID=111)
	ton P/år	ton P/år	ton P/år	ton P/år
Effekt af planlagte okkeranlæg i VP3	3,4	0,70	0	0,96
Effekt af mindre strækningsbaserede restaureringer*	0	0	0	0
Effekt af planlagte genslyngninger i VP3**	-	-	-	-
Effekt af planlagte sandfang i VP3	0,18	0,22	0,01	0,16
Effekt af plantning af træer langs vandløb < 2 m (maks. potentiale)	3,2	1,6	0,42	0,88
Effekt af plantning af træer langs vandløb 2 – 10 m (maks. potentiale)	9,2	9,5	1,9	19,6
Sum effekt	16,0	12,0	2,3	21,6

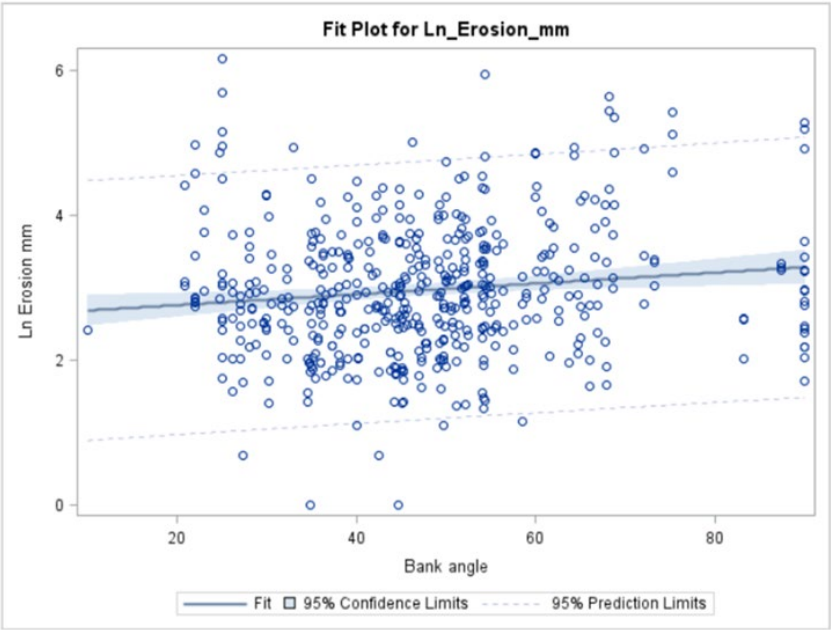
*Der kan ikke forventes en P-effekt af de mindre strækningsrelaterede restaureringsprojekter i vandløb under VP3 pga. manglende bundhævning i vandløb.

**Der er ikke beregnet effekter af planlagte genslyngningsprojekter i vandløb pga. usikkerhed om udformning af de enkelte projekter.

5. Scenarier for fosforvirkemidler

5.1 Anlæggelse af brinker med mindre hældning (anlæg)

En anden mulighed for reduktion af fosfortab ved brinkerosion er at lægge brinkerne ned, dvs. anlægge dem med en lavere hældning end i dag. De fleste vandløb har i dag et anlæg omkring 1:1,5 til 1:2, men ved at anlægge brinkerne med anlæg 1:3-1:4 vil man kunne opnå en reduktion i fosfortabet fra brinkerne. I Kronvang et al. (2022) er der opstillet en sammenhæng mellem brinkers hældning og omfanget af brinkerosion (figur 5.1). Denne sammenhæng viser som forventet, at erosionen stiger med stigende hældning af brinken. En ændring i brinkens hældning fra f.eks. anlæg 1:1 til anlæg 1:2 vil reducere brinkerosionen med ca. 12 %, mens en ændring fra anlæg 1:1 til anlæg 1:3 vil reducere erosionen med ca. 18 %. Ændring af anlæg vil kunne forventes at medføre en tilsvarende reduktion i fosfortabet fra brinkerosion. Potentialet ved at lægge brinkerne ned for små og mellemstore vandløb er vist (tabel 5.1). I beregningen af effekt er der ikke medregnet en sedimentationseffekt, da der kan forventes at blive tilbageholdt fosfor på sediment, der med tiden aflejres på de nye fladere brinker.



Figur 5.1. Sammenhæng mellem brinkens hældning og målt gennemsnitlig brinkerosion i Odense Å (erosion på y-aksen er logaritmetransformeret med naturlig logaritme). Hvert punkt er en observation fra et brinkplot, hvor der var installeret erosionspinde fra bunden til kronekant (N=491; P<0,005).

Tabel 5.1. Effekt af at lægge vandløbsbrinker ned, dvs. etablere brinker med et lavere anlæg (mindre hældning). Beregning er her for ændring fra anlæg 1:1 til anlæg 1:2 eller 1:3.

	Grådyb-opland	Knude Dyb-opland	Juvre Dyb-opland	Lister Dyb-opland
Km små vandløb (< 2 m bredde)	1098	636	280	492
Effekt af at lægge brinker ned på begge sider (ton P/år)	0,8-1,2	0,4-0,6	0,10-0,15	0,2-0,3
Km mellemstore vandløb (2-10 m)	781	1001	356	2307
Effekt af at lægge brinker ned på begge sider (ton P/år)	2,3-3,5	2,4-3,7	0,5-0,7	4,8-7,1

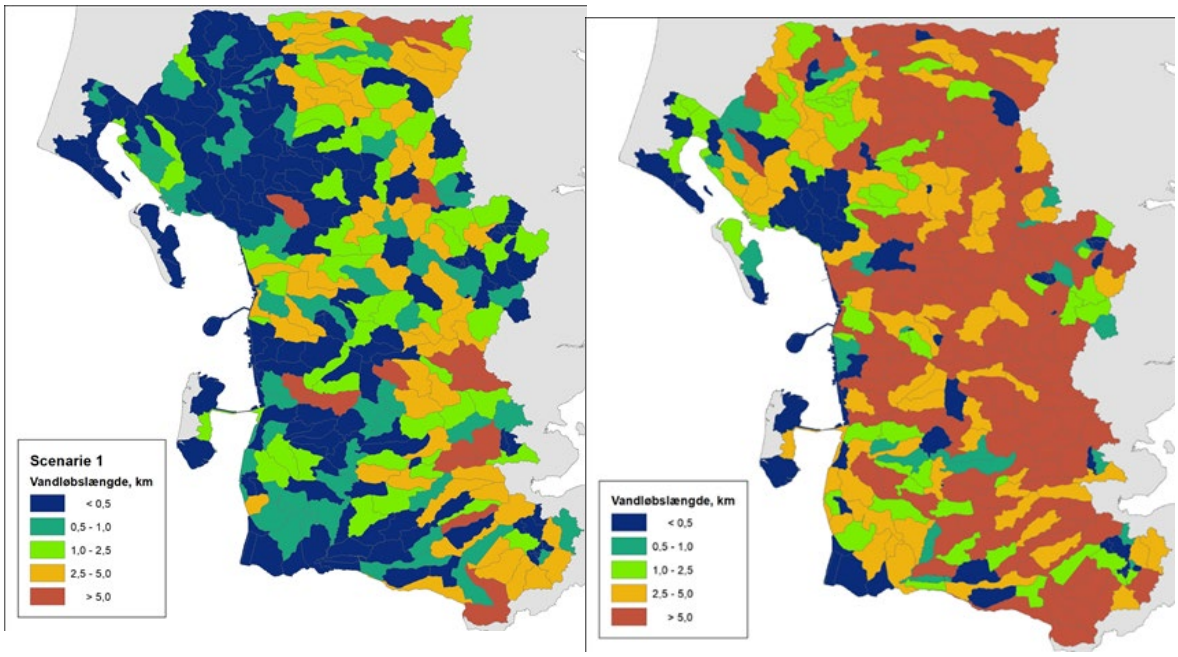
5.2 Scenarier for træplantning langs vandløb ved fastsættelse af fosfor reduktionsmål

En særskilt analyse af opnåelse af reduktion af fosfortab via brinkerosion er udført for virkemidlet "tilplantning af elletræer langs vandløb". Der er lavet beregninger langs 100 m vandløbsstrækninger for de små og mellemstore vandløb, der har det største modellerede fosfortab. De store vandløb (> 10 m bredde) er udeladt af hensyn til marsken og fugleliv på engene.

I et pilotscenarie er der er for hvert farvand 4-opland fastsat et fosforreduktionsmål, som skal opnås ved at plante træer langs vandløb med størst fosfortab ved brinkerosion (tabel 4.4). Det antal km vandløb, som skal tilplantes med elletræer for at nå det fastsatte reduktionsmål for fosfor, er så beregnet og vist i tabel 5.2 for de to størrelsesgrupper af vandløb. I figur 5.2 er det vist, hvor stor en reduktion af fosfor, der kan opnås inden for ID15-oplande i hele oplandet til Vadehavet.

Tabel 5.2. Et eksempel-scenarie for opnåelse af et givet reduktionsmål for tab af fosfor ved brinkerosion ved plantning af elletræer på strækninger med størst brinkerosion i farvand 4-oplande til de fire kystvande i Vadehavet.

	Målscenarier (ton P/år)	Små vandløb (< 2m) (km vandløb)	Mellemstore vandløb (2-10 m) (km vandløb)
Grådyb	Scenarie 1: 4,0 Scenarie 2: 8,0	3,4 38	120 407
Knude Dyb	Scenarie 1: 3,7 Scenarie 2: 7,4	0,1 10	155 487
Juvre Dyb	Scenarie 1: 0, Scenarie 2: 1,0	0 0,2	23 77
Lister Dyb	Scenarie 1: 3,75 Scenarie 2: 7,5	0 0,6	143 388



Figur 5.2. Resultat af gennemførte scenarier for plantning af elletræer langs vandløb for de to reduktionsscenarier vist i tabel 5.2. Figuren viser, hvor mange km vandløb, der skal tilplantes med træer inden for ID15-oplande i scenarie 1 (venstre) og scenarie 2 (højre) for at nå de fastsatte fosforreduktionsmål.

5.3 Scenarier for yderligere vandløbsrestaureringstiltag

Nedenfor opsættes og beregnes der fosforeffekter af et minimums- og et maksimumsscenarie for udvalgte vandløbsvirkemidler udvalgt af teknikergruppen og kystvandrådet.

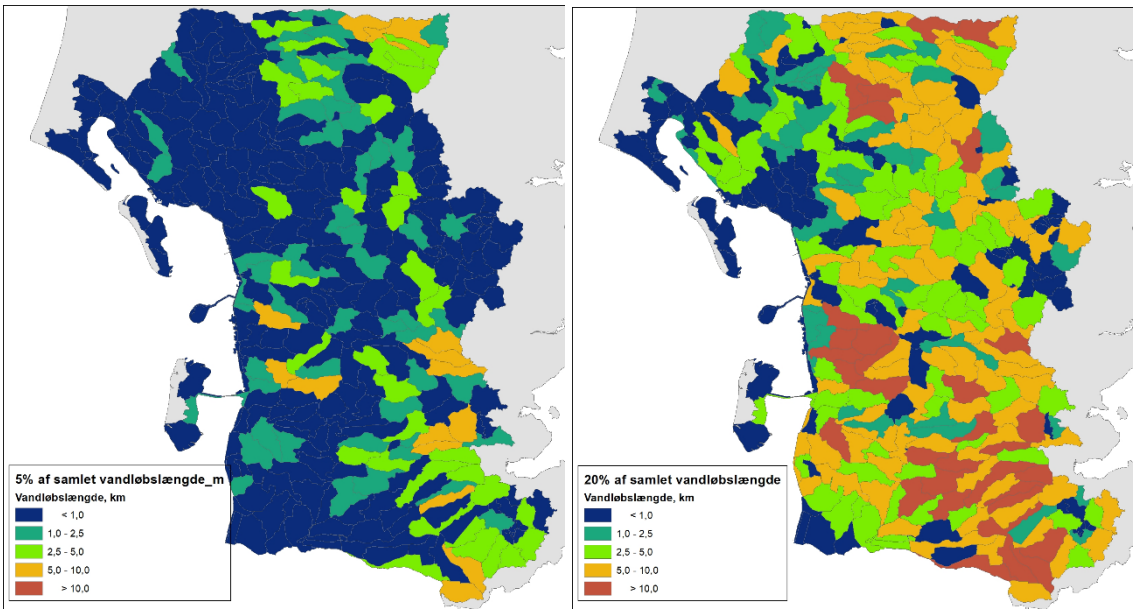
Scenarie for plantning af træer langs vandløb

Kystvandrådet bestilte to nye scenarier for træplantning langs vandløb. Et minimumsscenarie med tilplantning af 5 % af de små og mellemstore vandløbsstrækninger og et maksimumsscenarie med træplantning langs 20 % af vandløbsstrækninger. I begge tilfælde plantes der i scenariet træer, hvor der opnås størst effekt for reduktion af fosfortab ved brinkerosion. I scenariet opereres der med at efterlade op til 30 % uden træer langs de enkelte strækninger.

I tabel 5.3 er effekten af træplantning vist i de to scenarier for de fire dyb sammen med det antal km af vandløbsstrækninger, der skal omfattes af scenarierne. Antal km vandløbsstrækninger stiger kraftigt fra 5 % til 20 % scenariet i alle fire dyb, da der opereres med udtag af strækninger med højest effekt først. I figur 5.3 er det desuden vist, hvor mange km vandløbsstrækninger der skal tilplantes med træer i hver ID15.

Tabel 5.3. Scenarie med plantning af træer langs henholdsvis 5 % og 20 % af de små og mellemstore vandløb med plantning på de strækninger, hvor der kan opnås størst effekt i forhold til reduktion af brinkerosion og fosfortab.

	Mål scenarier (%)	Længde af vandløb, som tilplantes (km)	Fuld effekt for fosfor (ton P/år)
Grådyb	5 % tilplantning 20 % tilplantning	94 376	2,37 5,17
Knude Dyb	5 % tilplantning 20 % tilplantning	82 327	1,67 4,12
Juvre Dyb	5 % tilplantning 20 % tilplantning	32 127	0,43 0,90
Lister Dyb	5 % tilplantning 20% tilplantning	140 560	2,59 6,69



Figur 5.3. Beregnet antal kilometer vandløb der skal inddrages i et 5 % træplantnings scenarie og et 20 % træplantningsscenarie i oplandet til Vadehavets fire Dyb.

Okkeranlæg

I forbindelse med opstilling af et scenarie for okkeranlæg blev der gennemført en analyse i Varde Kommune af målinger af jernkoncentrationer i vandløb i oplandet til de fire dyb. Der blev i den forbindelse af teknikergruppen udpeget i alt 36 lokaliteter til etablering af nye okkeranlæg, der er ud over de planlagte i Vandplan 3-indsatserne. Efter en høring i kommunerne i området blev der frasorteret ni okkeranlæg bl.a. pga. nærhed til lufthavn og risiko for kollisioner mellem fly og fugle og etablering af vådområder. En anlæggelse af de tilbageværende 27 antal nye okkeranlæg indgår derfor i et maksimumsscenarie fra kystvandrådet, hvor minimumsscenariet er de 36 okkeranlæg, der er planlagt etableret i forbindelse med VP3 (se afsnit 4.2). I tabel 6.2 er vist effekten af anlæggelse af de nye okkeranlæg i maksimumsscenariet. I dette scenarie er de yderligere okkeranlæg forventet at være mindre end de anlæg, som er planlagt i forbindelse med VP3-indsatserne, da de skal etableres i mindre vandløb. Disse okkeranlæg forudsættes anlagt med en størrelse på ½ ha i scenarieberegningerne for fosfor. Minimums- og maksimumsscenarier fremgår af tabel 5.6.

Tabel 5.4. Antal forventerede nye okkeranlæg, som kan etableres i oplandet til de fire Dyb i Vadehavet med angivelse af deres forventede fosforeffekt.

	Antal nye okkeranlæg	Effekt for fosfor (ton P/år)
Grådyb	19	1,33
Knude Dyb	3	0,21
Juvre Dyb	1	0,07
Lister Dyb	4	0,28

Scenarier om randzoner, skovrejsning og mini-vådområder

Fra analyser i projektet 'Second Opinion' under Miljøstyrelsen er der modtaget beregninger for ovennævnte tre virkemidler mod tab af fosfor i oplandet til Vadehavet (Andersen, H.E., pers. kommunikation). Der er tale om data for etablering af 20 m brede randzoner langs vandløb, hvor der er stor risiko for tilførsel af sediment og fosfor fra jorderosion og overfladisk afstrømning.

I tabel 5.5 er vist det fulde potentiale for de tre virkemidler i oplandene til de fire dyb i Vadehavet. I et minimumsscenarie forventes det, at der kan rejses 40 % skov, at halvdelen af alle randzoner retableres, og at 10 % af mini-vådområder kan etableres. I et maksimumscenarie påregnes det, at 60 % skov kan rejses, at alle randzoner etableres, og at 30 % af mini-vådområder etableres. Minimums- og maksimumsscenarier fremgår af tabel 5.6.

Tabel 5.5. Beregning af fosforeffekter af planlagte kommunale skovrejsninger, fuld etablering af 20 m brede randzoner ved højrisikomarker for tilførsel af fosfor til vandløb via jorderosion og overfladisk afstrømning samt fuld anlæggelse af mini-vådområder ved udpegede egnede og måske egnede arealer på mini-vådområdepotentialkortet.

	Fuld effekter af skovrejsning (ton P)	Fuld effekt af etablering af randzoner (ton P/år)	Fuld effekt af etablering af mini-vådområder (ton P/år)
Grådyb	0,53	0,03	0,41
Knude Dyb	0,60	0,03	2,58
Juvre Dyb	0,16	0	0,27
Lister Dyb	0,10	0,01	1,47

Opstilling af to scenarier for virkemidler mod diffust fosfortab

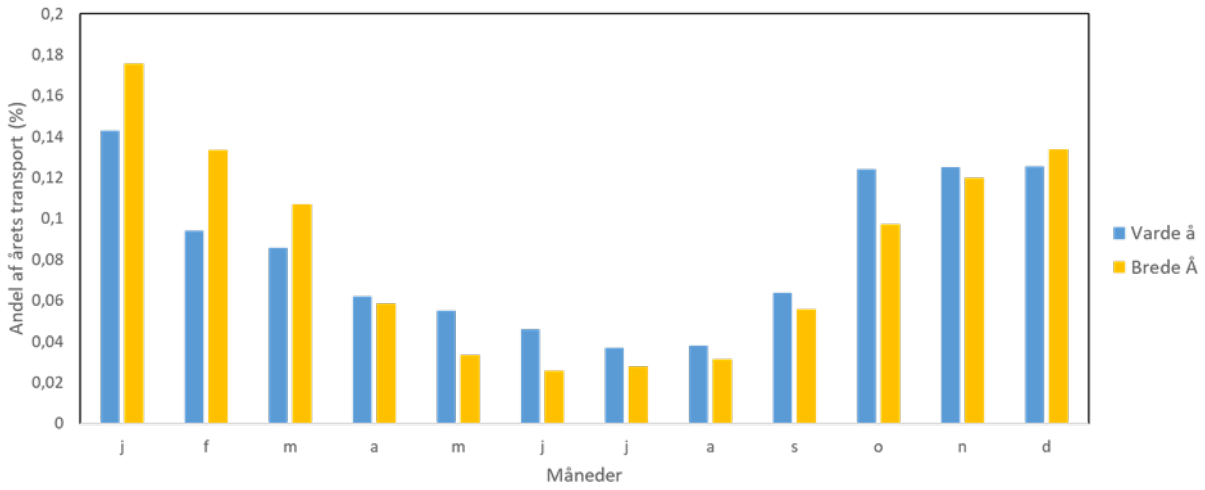
Et samlet minimums- og maksimumsscenarie for virkemiddelindsatser i oplandene til de fire dyb i Vadehavet er vist i tabel 5.6. Beregningerne er foretaget med de forslag til virkemidler, som er gennemgået i notatet.

Der skal foretages en fordeling af effekterne for fosfor på månedsbasis. Til dette er der beregnet en månedsvis fordeling af transporten af suspenderet stof ved to målestationer i oplandet til Vadehavet, nemlig Varde Å, Vagtborg og Brede Å, Brede Bro (figur 5.4). I de to nordlige dyb anvendes derfor månedsfordelingen for Varde Å og i de to sydlige dyb månedsfordelingen fra Brede Å.

Tabel 5.6. Effekter af to scenarier (minimum og maksimum) for virkemidler mod diffust fosfortab i oplandene til de fire dyb i Vadehavet.

	Plantning af træer*	Mini-vådområder**	Skovrejsning***	Randzoner****	Okkeranlæg*****	Sandfang******	Sum
	Ton P/år						
Grådyb, Min	2,37	0,04	0,26	0,015	3,40	0,18	6,27
Grådyb, Maks.	5,17	0,12	0,32	0,03	4,73	0,18	10,6
Knude Dyb, Min.	1,67	0,26	0,24	0,015	0,7	0,22	3.11
Knude Dyb, Maks.	4,12	0,78	0,36	0,03	0,91	0,22	6,42
Juvre Dyb, Min.	0,43	0,03	0,06	0	0	0,01	0,53
Juvre Dyb, Maks.	0,90	0,08	0,10	0	0,07	0,01	1,16
Lister Dyb, Min.	2,59	0,15	0,04	0,005	1,0	0,16	3,95
Lister Dyb, Maks.	6,69	0,44	0,06	0,01	1,28	0,16	8,64

*: Beplantning på 70 % af strækning, Minimum: 5 %; Maksimum: 20 %.
**: Minimum: 10 % af potential; Maksimum: 30 % af potentiale.
***: Minimum: 40 % af potentiale; Maksimum: 60 % af potentiale.
****: Minimum: 50 % af potentiale; Maksimum: 100 % af potentiale.
*****: Minimum: VP3; Maksimum: VP3 + 27 ekstra okkeranlæg udpeget fra målinger af jernkoncentrationer i vandløb.
******: Minimum: VP3; Maksimum; VP3



Figur 5.4. Beregnet månedsfordeling af transporten af suspenderet stof i de to vandløb, Varde Å, Vagtborg og Brede Å, Bredebro.

6. Referencer

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.

Andersen, H.E. & Nilsson, I-E.F. 2023. Fosforeffekt af vandløbsvirkemidler. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 108 s. - Teknisk rapport nr. 272

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.

DHI., 2014. Status for okkerrensning. Vurdering af behovene for og effekterne af alternative rensningsmetoder for okker. Teknisk notat, Naturstyrelsen.

Erichsen, A.C., Timmermann, K., Larsen, T.C., Christensen, J., Nielsen, S.E.B. & Markager, S. 2021 Application of the Danish EPA's Marine Model Complex and Development of a Method Applicable for the River Basin Management Plans 2021-2027 Management Scenario 2e – Land-based nutrient scenarios (additional Wadden Sea P reductions), DHI report, October 2021, 107 p.

Jensen, H., Egemose, S., Reitzel, K., Martinsen, L & Hasler, B. 2020. Okkerfældningsbassiner. I: 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.

Kjærgaard, C. & Forsmann, D. 2014. Fosforfældningsbassiner. Faglig udregning vedrørende fosforretention i okkerfældningsbassiner som supplerende virkemiddel til P-reduktion. Teknisk rapport fra Aarhus Universitet, Institut for Agroøkologi.

Kronvang, B., van't Veen, S., Zak, D., Strandberg, B., Bruus, M., Hutchings, N., Martinsen, L. & Hasler, B. 2020. Intelligente Buffer Zoner (IBZ). I: 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.

Kronvang, B. & Larsen, S.E. 2023. Virkemiddel for brinkerosion og fosfortab ved restaurering af vådområder og vandløb. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 22 s. - Teknisk rapport nr. 263 http://dce2.au.dk/pub/TR263.pdf

Kronvang, B., Strandberg, B., Bruus, M., Hutchings, N., Martinsen, L. & Hasler, B. 2020. Målrettede, brede og tørre randzoner. I: 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.

Madsen, B.L. 2013 Elletræet: Mangelfuld viden – eller uvidenhed. Vand og Jord 20,4, s. 163-167.

Munkholm, L., Kudsk, P., Jørgensen, L.N., Strandberg, B., Bruus, M., Hutchings, N. & Jacobsen, B. 2020. Optimering af jordbearbejdning, fx pløje-retning, -tidspunkt og bearbejdningsintensitet, pløjefri dyrkning. I: 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.

Wandall, K., Levesen, B., Landsfeldt, P & Frandsen, S.B. 2000. Bedre vandløb – en praktisk håndbog. Vejle Amt.