

MULIGHEDER FOR REDUKTION AF DEN DIFFUSE FOSFORTILFØRSEL TIL MARIAGER FJORD

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 404 2026

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

MULIGHEDER FOR REDUKTION AF DEN DIFFUSE FOSFORTILFØRSEL TIL MARIAGER FJORD

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 404 2026

Hans Estrup Andersen

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 404
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Muligheder for reduktion af den diffuse fosfortilførsel til Mariager Fjord
Forfatter: Institution:	Hans Estrup Andersen Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver: URL:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi © https://dce.au.dk
Udgivelsesår: Redaktion afsluttet:	September 2026 25. september 2026
Faglig kommentering: Kvalitetssikring, DCE:	Hans Thodsen Iben Boutrup Kongsfelt og Henriette Hossy
Ekstern kommentering:	Ingen kommentarer modtaget
Finansiel støtte:	Kystvandrådet for Mariager Fjord
Bedes citeret:	Andersen, H.E. 2026. Muligheder for reduktion af den diffuse fosfortilførsel til Mariager Fjord. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 26 s. - Teknisk rapport nr. 404
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten opgør den diffuse fosforbelastning af Mariager Fjord fordelt på tabsveje, vurderer potentialet i en række virkemidler til reduktion af belastningen og estimerer de forventede effekter. Arbejdet er input til Kystvandrådet for Mariager Fjord i arbejdet med at opstille en lokalt funderet vandplan for Mariager Fjord.
Emneord:	Fosfor, virkemidler, Mariager Fjord, kystvandråd
Foto forside:	Colourbox
ISBN: ISSN (elektronisk):	978-87-7648-090-5 2244-999X
Sideantal:	26
Supplerende oplysninger:	Rapporten opgør den diffuse fosforbelastning af Mariager Fjord fordelt på tabsveje, vurderer potentialet i en række virkemidler til reduktion af belastningen og estimerer de forventede effekter. Arbejdet er input til Kystvandråd for Mariager Fjord i arbejdet med at opstille en lokalt funderet vandplan for Mariager Fjord.

Indhold

Forord **5**

Sammenfatning **6**

Summary **7**

1 Indledning **8**

2 Metode **9**

2.1 Introduktion 9
2.2 Kalibrering af beregningen af diffust fosfortab på transportveje 9
2.3 Kildeopsplitning 12
2.4 Forbehold 12

3 Beregning af effekter ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialer **13**

3.1 Skovrejsning 13
3.2 Randzoner 13
3.3 Træer på vandløbsbrinker 14
3.4 Mindre strækningsbaserede restaureringer af vandløb 15
3.5 Genslyngning af vandløb 16
3.6 Mini-vådområder 17
3.7 17
3.8 Integrerede bufferzoner (IBZ) 18
3.9 Fosfor-vådområder (P-ådale) 18

4 Beregning af effekter ved lokalt virkemiddelscenario **20**

5 Resultater **22**

5.1 Kildeopsplitning 22
5.2 Effekter af virkemidler mod diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialet 23
5.3 Effekter ved lokale virkemiddelscenarier 24

6 Konklusion **25**

7 Referencer **26**

Forord

Rapporten er affødt af et kystvandrådsprojekt omhandlende Mariager Fjord med Mariagerfjord Kommune som sekretariatskommune. Kystvandrådet er nedsat som følge af *Aftale om et Grønt Danmark* og *Aftale om implementering af et Grønt Danmark*. Kystvandrådet skal gennemføre lokalt forankrede analyser med henblik på at afdække, om der kan findes alternative veje til at opnå målopfyldelse, som defineret i EU's vandrammedirektiv.

Mariagerfjord Kommune har indgået en aftale med Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet, om ekspertstøtte til at gennemføre en gennemgang af oplandet til fjorden med henblik på at identificere potentialer og virkemidler til reduktion af fosfortilførslen.

Denne rapport beskriver dels virkemidler og potentialer for virkemidler til reduktion af den diffuse fosfortransport til Mariager Fjord, dels effekter i form af en reduktion af fosfortransporten af virkemidlerne.

Sammenfatning

Dette projekt fokuserer på at anvise muligheder for at reducere diffust fosfortab fra risikoområder i oplandet til Mariager Fjord ved at kombinere detaljeret kortlægning af fosfortab med forskellige virkemidler. Fosfortabet stammer primært fra fem diffuse kilder: erosion, udvaskning til dræn, makroporetab til dræn, tab fra dyrket organisk jord og brinkerosion

Den samlede fosfortilførsel til Mariager Fjord er som gennemsnit over perioden 2014-2023 på 17,5 tons P, hvoraf det diffuse bidrag udgør 15 tons P (86 %). De mest betydende diffuse tabsveje for fosfor er brinkerosion og tab fra dyrket organisk jord, som udgør hhv. 46 % og 33 % af den samlede, diffuse tilførsel.

Effekt på fosforudledningen til Mariager Fjord er beregnet for en række virkemidler. For virkemidlerne randzoner, træer langs vandløb og mini-vådområder er der regnet på det fulde potentiale. For virkemidlerne skovrejsning, hævning af vandløbsbunden og genslyngning er der regnet på det omfang, de er omfattet af vandområdeplanerne eller for skovrejsnings vedkommende kommuneplanen. Virkemidlet med størst effekt er træplantning på vandløbsbrinker med en samlet effekt på ca. 1.700 kg P, mens mini-vådområder ved udnyttelse af det fulde potentiale har en estimeret effekt på 185 kg P. Det skal understreges, at der er tale om en teoretisk beregning, der har til formål at belyse reduktionsmulighederne i oplandet. Det er ikke realistisk at hele potentialet udnyttes.

Omlægningsplanen for oplandet til Mariager Fjord omfatter udtag af områder til ekstensivering, kvælstofvådområder, lavbundsprojekter, skovrejsning, øvrige områder samt mini-vådområder. Effekten af planens ekstensivering af landbrugsdrift på de omfattede områder er en reduktion i fosforudledningen på ca. 455 kg P. Fosfortabet kan reduceres med yderligere ca. 1.700 kg P under antagelse af, at vandløbsbunden hæves på alle vandløb i forbindelse med etablering af kvælstofvådområder og lavbundsprojekter. Det skal understreges, at i praksis vil vandløbsbunden ikke blive hævet på alle strækninger omfattet af omlægningsplanens kvælstofvådområder og lavbundsprojekter, hvorfor de her beregnede værdier er absolutte maksimumværdier. En eventuel fosformobilisering (et fosfortab) som følge af vådlægning har det ikke været muligt at kvantificere. Det samme gør sig gældende for en eventuel fosfortilbageholdelse i forbindelse med overrisling med drænvand eller temporære oversvømmelser med vandløbsvand, da omfanget heraf vil afhænge af de enkelte projekters udformning. Effekten på fosforudledning af de foreslåede mini-vådområder antages at være negligibel, da mini-vådområderne alle er placeret udenfor områder med en kortlagt risiko for fosforudvaskning.

Summary

This project focuses on identifying options for reducing diffuse phosphorus losses from high-risk areas in the catchment of Mariager Fjord by combining detailed mapping of phosphorus loss with different mitigation measures. The phosphorus loss originates primarily from five diffuse sources: erosion, leaching to drains, macropore losses to drains, losses from cultivated organic soils, and bank erosion.

The total phosphorus input to Mariager Fjord averaged 17.5 tonnes P per year over the period 2014–2023, of which the diffuse contribution accounts for 15 tonnes P (86%). The most significant diffuse pathways for phosphorus loss are bank erosion and losses from cultivated organic soils, which constitute 46% and 33%, respectively, of the total diffuse input.

The effect on phosphorus discharge to Mariager Fjord has been calculated for a range of mitigation measures. For buffer strips, trees along watercourses, and mini-wetlands, the full potential has been assessed. For afforestation, raising of streambeds, and re-meandering, the assessment is based on the extent included in the river basin management plans or, in the case of afforestation, the municipal plan. The measure with the greatest effect is tree planting along stream banks, with a total estimated reduction of approx. 1,700 kg P, while mini-wetlands, assuming full potential utilisation, have an estimated effect of 185 kg P. It should be emphasised that these are theoretical calculations intended to illustrate the reduction potential in the catchment. It is not realistic that the full potential will be utilised.

The land-use conversion plan for the Mariager Fjord catchment includes the withdrawal of areas for extensification, nitrogen wetlands, lowland restoration projects, afforestation, other areas, and mini-wetlands. The effect of the plan's extensification of agricultural land use in the designated areas is a reduction in phosphorus discharge of approx. 455 kg P. Phosphorus losses can be reduced by an additional approx. 1,700 kg P under the assumption that streambeds are raised along all watercourses in connection with the establishment of nitrogen wetlands and lowland restoration projects. It should be stressed that, in practice, streambeds will not be raised along all stretches included in the plan's nitrogen wetlands and lowland projects, meaning the calculated values represent absolute maximum estimates. Any potential phosphorus mobilisation (a phosphorus loss) resulting from rewetting has not been possible to quantify. The same applies to potential phosphorus retention associated with irrigation using drain water or temporary flooding with stream water, as the extent of such effects will depend on the design of individual projects. The effect on phosphorus discharge of the proposed mini-wetlands is assumed to be negligible, as all mini-wetlands are located outside areas identified as having a risk of phosphorus leaching.

1 Indledning

Med "Aftale om akutpakke til forbedring af vandmiljøet" fra den 8. maj 2024 og "Aftale om et Grønt Danmark" fra den 24. juni 2024 er det besluttet at nedsætte op til 18 kystvandråd i perioden 2025-2027 for at sikre en stærk lokal forankring i implementering af udkast til vandområdeplanerne 2021-2027 II. Kystvandrådene er rådgivende partnerskaber, der arbejder på tværs af et eller flere vandoplande i områder med et stort kvælstofindsatsbehov. Centrale milepæle for kystvandrådene er blandt andet:

- frem mod genbesøget af kvælstofindsatsen i sommeren 2026 at bidrage med forslag til virkemidler med tilhørende analyser for det opland, kystvandrådet er nedsat i, således at arbejdet kan indgå i forslag til Vandområdeplanerne 2028-2033, som sendes i høring med udgangen af 2026. Frist for aflevering af kystvandrådets forslag til virkemidler er maj 2026.
- frem mod udgangen af 2027 kan kystvandrådet bidrage med analyser og forsøgsprojekter samt bidrage til at sikre effektiv implementering af arealomlægning og evt. nye virkemidler.

I et projekt omhandlende Mariager Fjord har Mariagerfjord Kommune, som er sekretariat for Kystvandråd Mariager Fjord, indgået en aftale med DCE/Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet (AU), 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 den diffuse fosfortilførsel til Mariager Fjord. Der er tale om data vedrørende transportveje for diffust fosfortab samt potentialer for og effekter af fosforvirkemidler.

2 Metode

2.1 Introduktion

Fosfortab fra det åbne land, det diffuse fosfortab, hidrører kun 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. For visse virkemidler er potentialet ukendt, men er her estimeret: for skovrejsning anvendes kommuneplanernes udpegede skovrejsningsområder som potentiale. For vandløbsvirkemidlerne (genslyngning, hævning af vandløbsbunden, okkeranlæg) anvendes de foreslåede indsatser i Vandområdeplanerne 2021-2027 som potentiale. Endelig er der virkemidler (f.eks. fosfor-vådområder), hvor effektberegningen kræver lokal information, og hvor beregningen derfor må afvente en lokal udpegning af placering. Som grundlag for formulering af lokalt funderede scenarier beregnes indledningsvist effekten af, at hele potentialet udnyttes – altså den teoretiske, øvre grænse for reduktion i det diffuse fosfortab. Det er ikke realistisk at hele potentialet udnyttes. Kystvandrådet kan i formulering af lokalt funderede scenarier foreslå andre/ændrede potentialer, som dernæst effekt-beregnes. Det er vigtigt at være opmærksom på, at ikke alle virkemidler er additive; for eksempel får man ikke nogen fosforreduktion ud af at placere en randzone nedenfor en mark med en potentiel erosionsrisiko, hvis denne risiko allerede er elimineret ved at virkemidlet skov allerede er anvendt på marken.

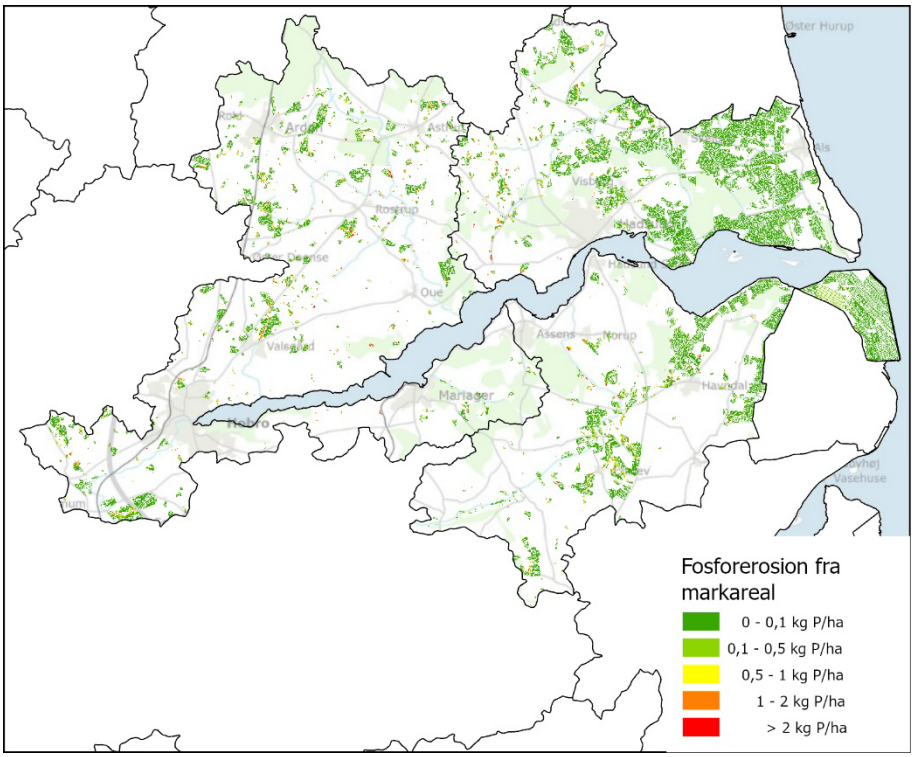
Alle effekter i form af reduktion af det diffuse fosfortab er opgjort ved vandløbskant. På trods af at der vil forekomme en vis tilbageholdelse af fosfor i eventuelle nedstrøms beliggende søer (Trolle et al., 2015), er der ikke indregnet retention af fosfortransporten gennem oplandene mod kystvand, da virkemidler fordeles spredt i oplandet, både op- og nedstrøms søer.

2.2 Kalibrering af beregningen af diffust fosfortab på transportveje

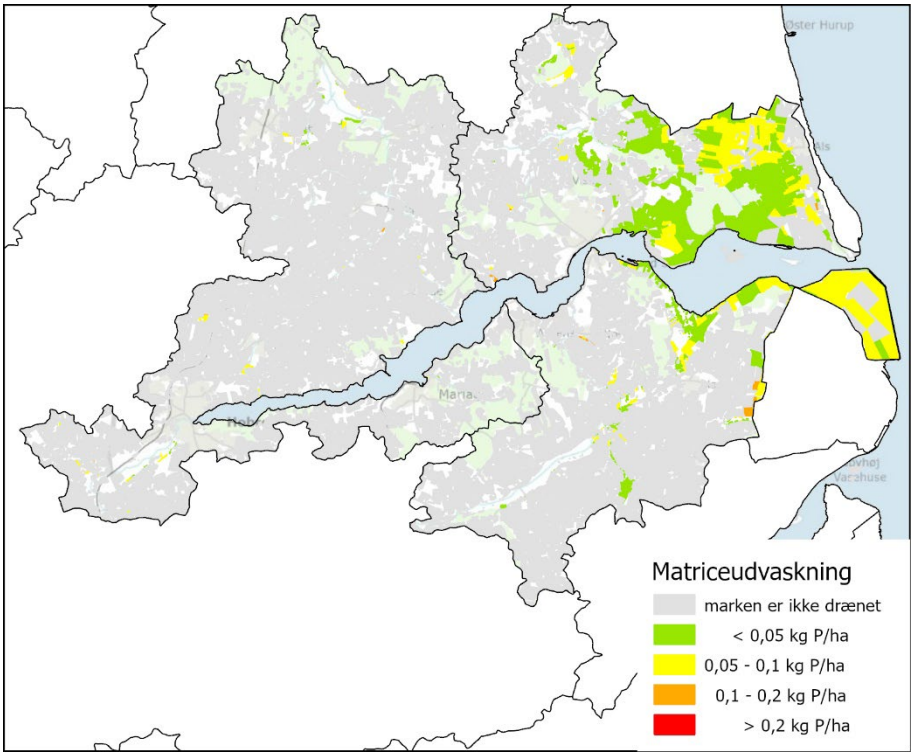
Andersen & Heckrath (2020) har kortlagt og beregnet fosfortransporten fra de fem mest betydende diffuse kilder: erosion, udvaskning til dræn, tab gennem makroporer til dræn, tab fra dyrket organisk jord og tab via brinkerosion. Fosfortransporterne er beregnet med en række uafhængige modeller.

I dette projekt er de modelberegnede fosfortab via de fem diffuse transportveje summeret på ID15-oplandsniveau. Efterfølgende er den modelberegnede fosfor-transport 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 fosfor-transportdata for perioden 2014-2023. 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 2.1 – 2.5 viser kortlægningen af de fem diffuse transportveje for oplandet til Mariager Fjord (kortene findes også landsdækkende på Miljøgis).

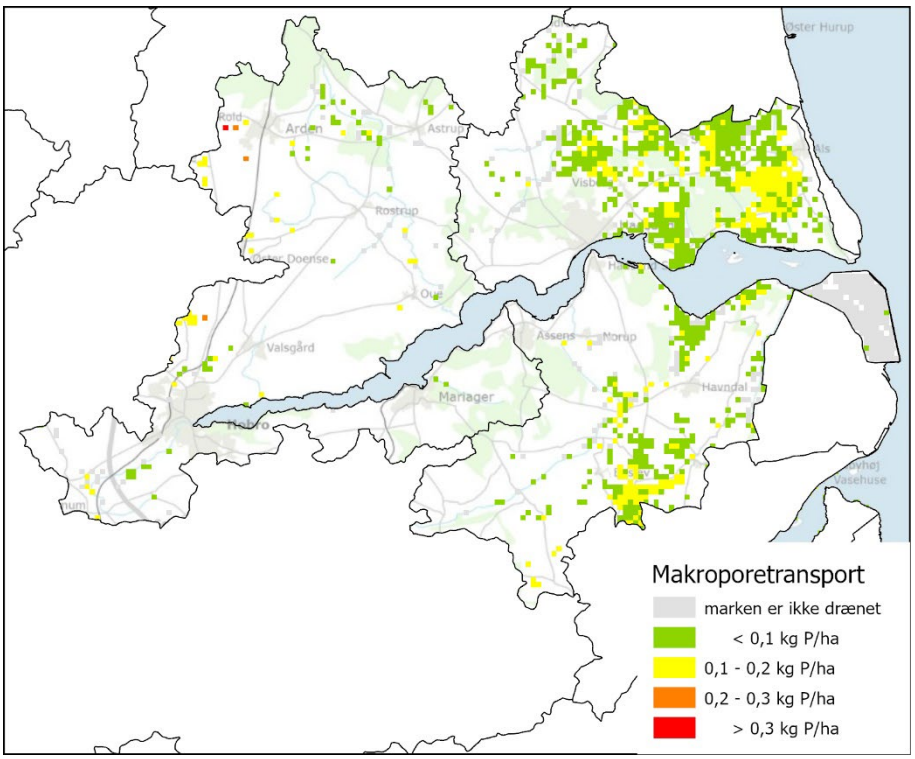


Figur 2.1. Erosionsbetinget fosfortab fra mark til vandløb.

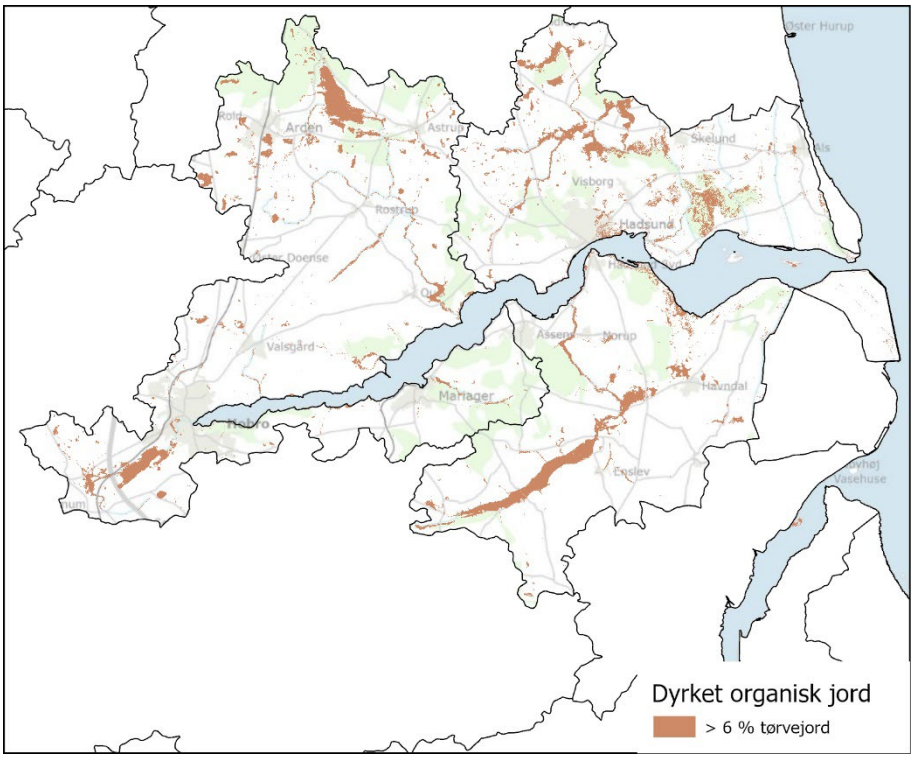


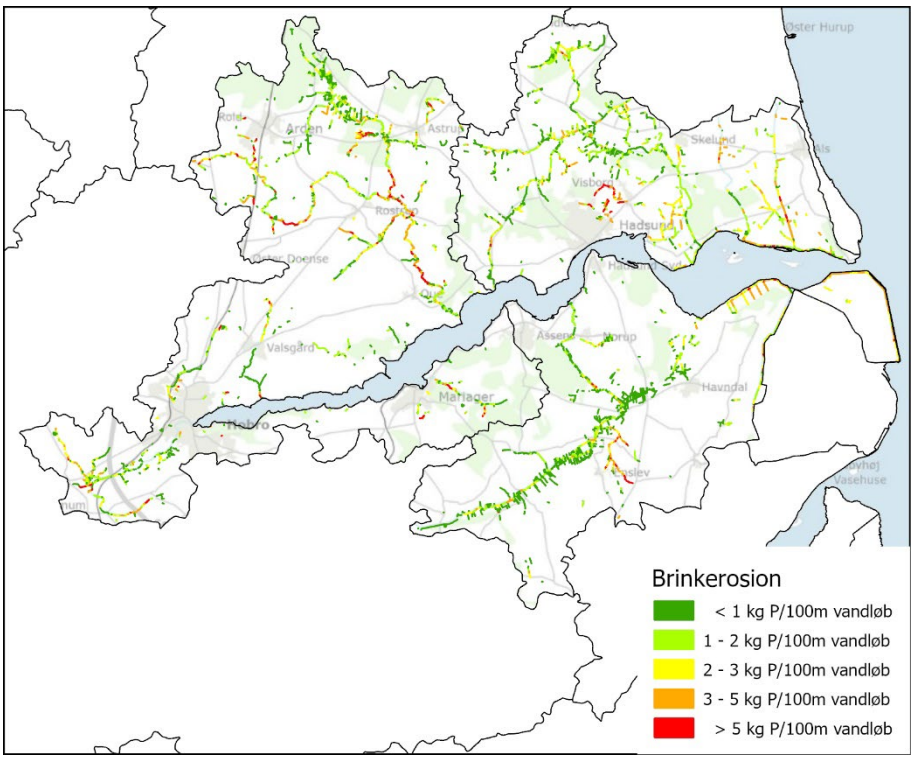
Figur 2.2. Udvaskning af fosfor til dræn.

Figur 2.3. Tab af fosfor via makroporer til dræn.



Figur 2.4. Dyrket organisk jord.





Figur 2.5. Fosfortab ved erosion af vandløbsbrinker.

2.3 Kildeopsplitning

For hvert ID15-opland i det samlede opland til Mariager Fjord foretages en kildeopsplitning af det samlede diffuse fosfortab på de mest betydende transportveje: erosion, udvaskning, tab via makroporer, tab fra dyrket organisk jord og brinkerosion. Dette giver en indikation af, hvilke virkemidler der i det enkelte opland vil være effektive.

2.4 Forbehold

Der er i mange tilfælde en betydelig usikkerhed på de anvendte tabs- og effektestimater. For usikkerheder på fosfortab henvises til Andersen og Heckrath (2020). For usikkerheder på effekter af fosforvirkemidler henvises til Andersen et al. (2020).

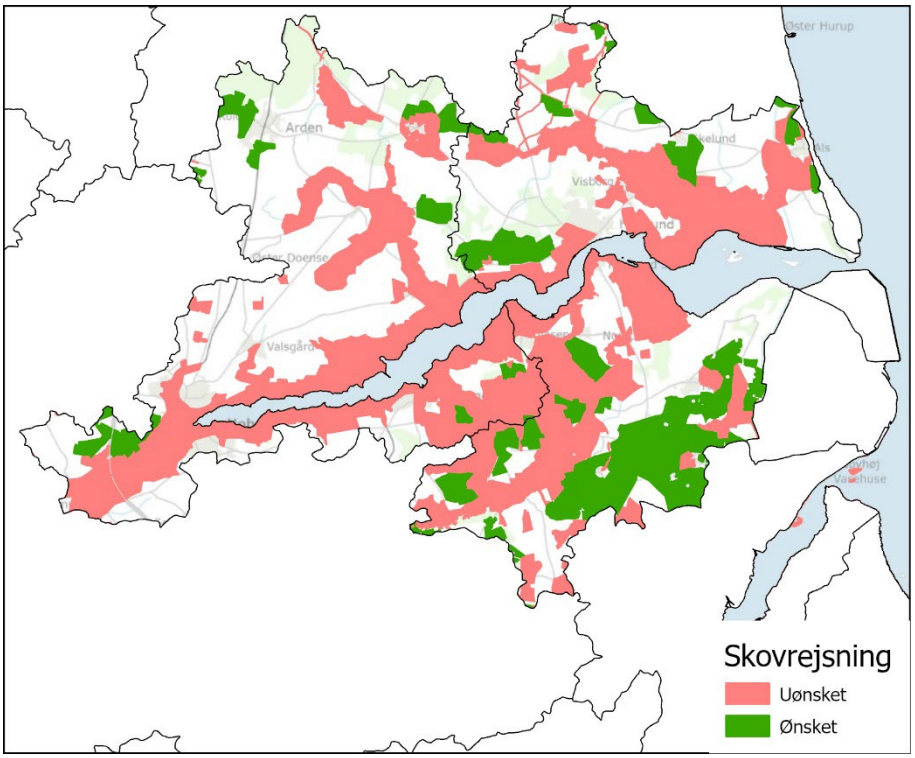
3 Beregning af effekter ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialer

For alle virkemidler gives i det følgende en kort beskrivelse af mekanisme, effekt og fulde potentiale for anvendelsen. De fulde potentialer vil i mange tilfælde gensidigt udelukke hinanden, og kan derfor ikke realiseres samlet.

3.1 Skovrejsning

Skovrejsning kan modvirke fosfortab ved erosion og kan også reducere risikoen for tab af fosfor via makroporer og eksisterende dræn, idet mobiliteten af opløst og partikelbundet fosfor i jorden reduceres, når jorden ikke længere dyrkes og gødes. Med andre ord kan virkemidlet have effekt i risikoområder for erosion og i risikoområder for makroporestrømning til dræn. Det er estimeret, at fosfortabet ved erosion reduceres 100 %, og at fosfortab via makroporer til dræn reduceres 25-50 % (Andersen et al., 2020).

Risikoarealer for fosfortab via erosion og via makroporer til dræn er kortlagt i Andersen & Heckrath (2020). Som potentielt skovrejsningsareal er anvendt kommunernes indmelding om arealer, hvor skovrejsning er ønsket (figur 3.1). Temaet er downloadet fra Miljøgis (mim.dk).



Figur 3.1. Arealer i oplandet til Mariager Fjord, hvor skovrejsning er hhv. ønsket og uønsket.

3.2 Randzoner

Målrettede, brede og tørre randzoners bredde designes, så de matcher den overfladiske afstrømning, der strømmer gennem randzonen fra den ovenforliggende mark ned mod vandløbet eller søen. Det betyder, at randzonens bredde fra kronekanten af vandløbet kan varieres fra de f.eks. pligtige 2 – 3 meter bræmmer til en bredde bestemt af de lokale topografiske og jordbundsmæssige forhold. De brede randzoner vil typisk kunne udlægges langs

mindre og mellemstore vandløb, hvor ådalen er smal. Bredden vil typisk variere mellem 10 og 30 m. Den væsentlige effekt af en udlagt, udyrket bred og tør randzone vil være en forventet større infiltrationskapacitet i en randzone end i et areal i omdrift. Den større infiltration i randzonen opstår i kraft af den permanente vegetation, der med rødderne øger infiltrationskapaciteten i jorden. Når overfladisk afstrømning med dets indhold af jordpartikler og hertil bundet fosfor møder randzonen, vil der både ske en opbremsning af vandet (pga. vegetationens ruhed) samt en infiltration af vand i randzonen. Begge mekanismer medfører en sedimentation og tilbageholdelse af jord og fosfor. Desuden vil opløst uorganisk fosfor kunne blive sorberet til jordens frie bindingsflader, når vandet infiltrerer i randzonen. Tilbageholdelsen af fosfor i randzoner sker altså ved tre processer: 1) sedimentation i randzonen af jord og dertil bundet fosfor; 2) sorption of opløst fosfat i randzonen i jordmatricen; 3) infiltration og optag af opløste fosforforbindelser i vegetationen i randzonen. Kronvang et al. (2020) beskriver randzonens effekt på fosfortransporten ind i randzonen som en funktion af randzonens bredde. En 20 m bred randzone kan således tilbageholde 75 % af den tilførte totalfosfor.

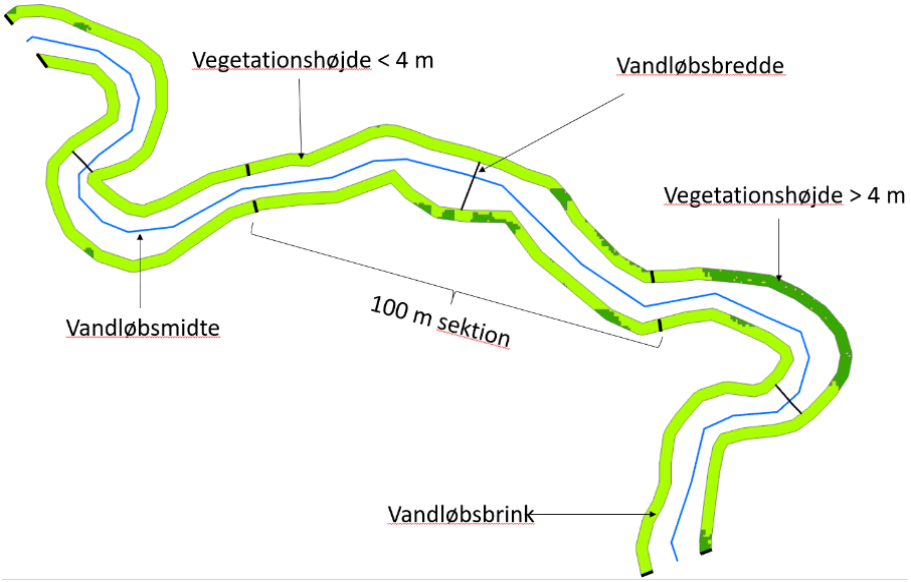
Risikoarealer for fosfortab via erosion er kortlagt i Andersen & Heckrath (2020). Kortet anviser rumligt, hvor sedimenttransporten med associeret fosfor til vandløb foregår. På grundlag af kortlægningen er alle 50 m vandløbsstrækninger, hvor sedimenttransporten fra mark til vandløb overstiger 1 ton sediment pr. år, identificeret. Med et antaget fosforindhold på 600 mg fosfor pr. kg sediment svarer en sedimenttransport på 1 ton til 0,6 kg fosfor. I beregningerne i nærværende projekt er det antaget, at der udlægges 20 m brede randzoner langs alle de identificerede 50 m vandløbsstrækninger.

3.3 Træer på vandløbsbrinker

Træer 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. 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.

Kronvang & Larsen (2023) har udviklet en metode til beregning af effekten af træer på vandløbsbrinken. 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) og information om den nuværende vegetation på brinken. Effekten af træer er en reduktion af brinkerosion på 27-53 % på strækninger, hvor der ikke i den nuværende situation er træer.

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 3.2). Potentialet for træplantning på vandløbsbrinker udgøres således af de vandløbsstrækninger, hvor der for nuværende er lav vegetation.



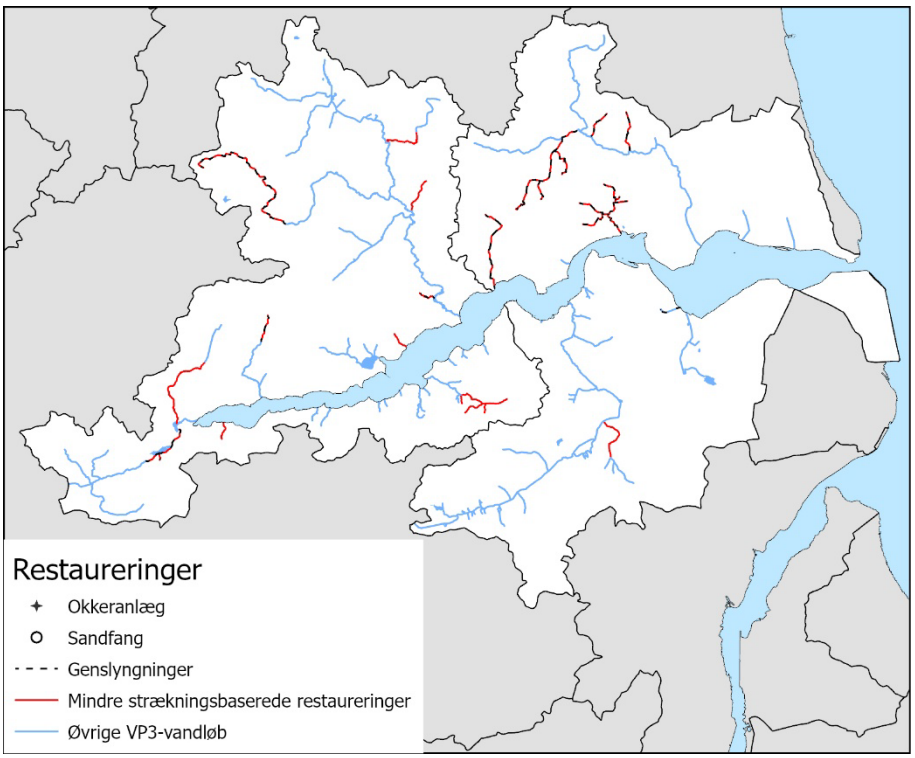
Figur 3.2. Opdeling af vandløb i 100 m-strækninger samt klassificering af vegetationshøjder i brinkzonerne. Mørkegrøn farve indikerer vegetation højere end 4 m og dermed tolket som træagtig vegetation, mens lysegrøn farve indikerer vegetation lavere end 4 m, tolket som buskads og græs- og urtevegetation.

3.4 Mindre strækningsbaserede restaureringer af vandløb

Mindre, strækningsbaserede restaureringer kan ifølge Miljøstyrelsen (2020) 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. I projektet har vi antaget, at alle udpegede strækningsbaserede restaureringer foretages som en hævning af vandløbsbunden. Herved overestimerer vi med stor sandsynlighed potentialet, da kommunerne i mange tilfælde undgår at hæve vandløbsbunden for at overholde vandløbsregulativet. Et forbehold mod hævning af vandløbsbunden er, at det risikerer at øge den laterale erosion medmindre vandløbet allerede har sin naturlige bredde svarende til den hævede vandløbsbund (f.eks. Donelly, 1993).

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 vandløb (2-10 m) og store vandløb (større end 10 m). Det forudsættes, at vandløbsbunden hæves 40 cm.

Mindre strækningsbaserede restaureringer kan principielt anlægges i alle vandløb og med vilkårlig afstand. Som potentiale for etablering af nye strækningsbaserede restaureringer 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 vandløbsindsatser i form af hhv. genslyngninger og mindre strækningsbaserede restaureringer.

3.5 Genslyngning af vandløb

Genslyngning af udrettede vandløb til vandløb med naturligt, slynget 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 bør derfor suppleres med hævning af vandløbsbunden, ændret brinkhældning og/eller plantning af træer på brinken for at reducere brinkerosion, således at tilførslen af fosfor til vandløbet formindskes fremfor for at øges.

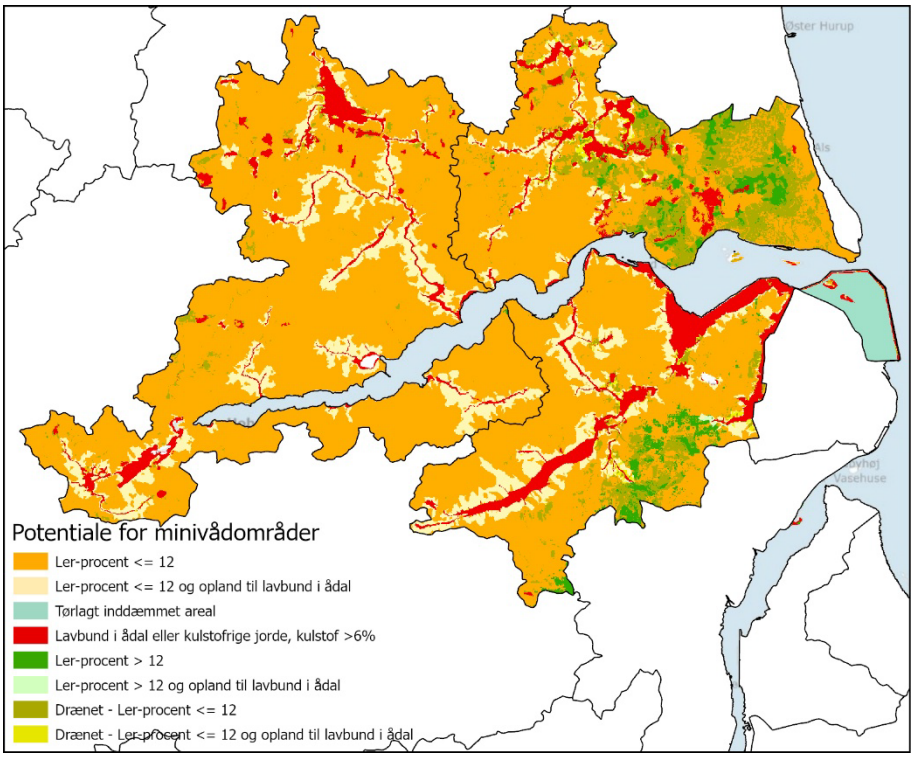
Den relative effekt på fosfortab ved brinkerosion af en genslyngning af vandløbet beregnes efter Andersen & Nilsson (2023) gennem en sammenligning af fosfortabet før og efter genslyngning. Den relative effekt overføres på det forlods beregnede fosfortab ved brinkerosion på strækningen (beregnet i Andersen & 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, 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 40 cm.

Genslyngning kan principielt foretages på alle udrettede vandløb. Som potentiale for genslyngning er anvendt de foreslåede indsatser i vandområdeplanerne for tredje planperiode (figur 3.3) (data downloadet fra https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=vandrammedirektiv3-2022)

3.6 Mini-vådområder

Minivådområder med åben vandflade er et drænvirkemiddel, som anvendes som en *end-of-pipe*-løsning, der etableres på et areal beliggende umiddelbart før drænets udløb i vandløb. Fosfor på både opløst og partikelbundet form kan tilføres drænvandet via udvaskning og transport gennem makroporer. Et åbent minivådområde består af et sedimentationsbassin efterfulgt af et bassin med skiftende dybe og lavvandede vegetationszoner. Det nuværende design viser god effekt på retention af fosfor. Andersen et al., 2020 (s. 146-155) angiver en tilbageholdelse af den tilførte mængde totalfosfor på 25-65 %.

Risikoarealer for fosfortab via udvaskning til dræn og via makroporer til dræn er kortlagt i Andersen & Heckrath (2020). Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet, har for Landbrugsstyrelsen udarbejdet et potentialekort, der viser områder, hvor minivådområder kan etableres (Børgesen et al., 2024). Det er i nærværende projekt valgt at begrænse potentialet til klasserne 'ler-procent >12' og 'drænet, ler-procent <=12', figur 3.4. Områderne, som er opland til lavbund, er 'betinget egnede' til mini-vådområder, men kræver at kommunerne frigiver arealerne, der som udgangspunkt er reserveret til de store kommunale vådområdeprojekter. Potentialekortet for minivådområder er overlagt med hhv. kortet, der viser områder med fosforudvaskning til dræn, og kortet, der viser områder, hvor der forekommer fosfortab via makroporer til dræn. Det er i maksimalscenariet antaget, at hele fosfortabet med udvaskning og via makroporer inden for det potentielle minivådområdeareal kan behandles i minivådområder med ovenstående renseeffekt.

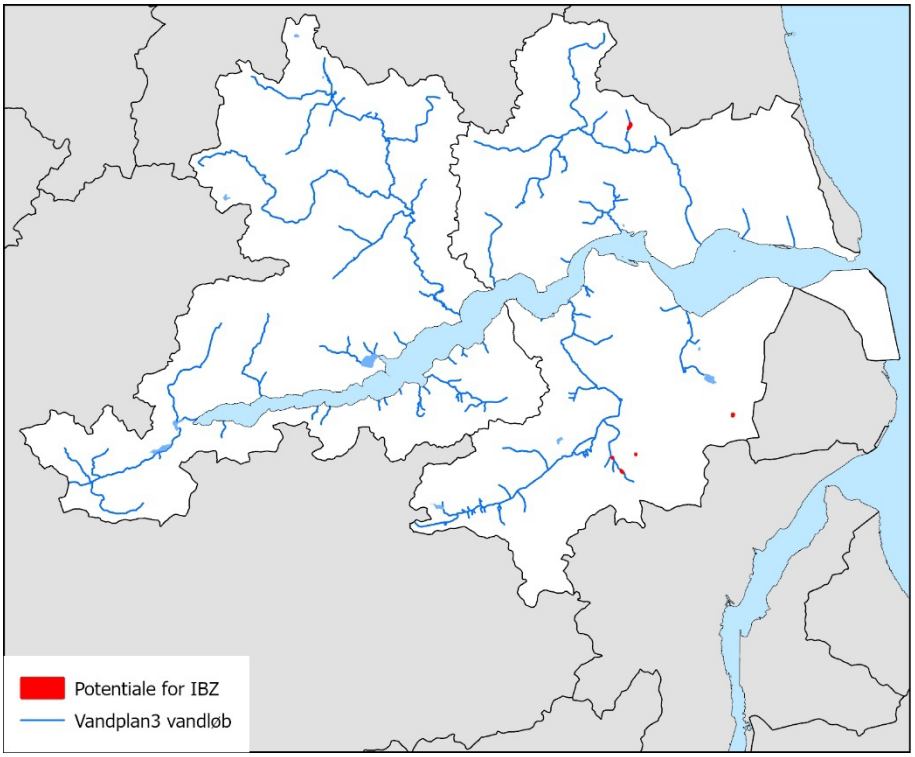


Figur 3.4. Potentialet for etablering af mini-vådområder udgøres af de to klasser hhv. "Ler-procent > 12" og "Drænet - lerprocent <= 12".

3.7

3.8 Integrerede bufferzoner (IBZ)

Integrerede bufferzoner (IBZ) er et drænvirkemiddel, som anvendes i randzonen langs med grøfter og vandløb samt rundt om søer til afskæring af drænvand og eventuelt overfladisk afstrømmende vand fra skrånende marker. En IBZ består af en dybere grøft og en lavvandet infiltrationszone. Den integrerede bufferzone virker ved, at drænvandet samt eventuelt overfladisk afstrømmende vand fra marken skal passere gennem IBZ'ens åbne vanddel, hvorved vandets opholdstid forlænges, og partikelbundet fosfor kan tilbageholdes ved sedimentation. Desuden kan opløst fosfat blive optaget i planter og træer i IBZ-anlægget, og der kan ske en adsorption af opløst fosfat til frie bindingsflader i anlæggets sediment. En del af drænvandet vil fra den åbne vanddel af IBZ'en kunne infiltrere gennem en anlagt infiltrationszone, hvor vandet nedsiver og strømmer gennem jorden i randzonen bag IBZ-anlægget mod vandløb. IBZ-anlæg kan anskues som et supplement til mini-vådområder, da de typisk kan etableres på mindre drænsystemer (<25 ha), og hvor der er en rimeligt stor terrænhældning på marken (>4 %) i den nedre del mod vandløb og sø. Andersen et al. (2020, s. 118-131) vurderer, at et IBZ-anlæg kan tilbageholde 30-70 % af den tilførte fosfor. Potentialet for anlæggelse af IBZ-anlæg er vurderet af Institut for Agroøkologi, figur 3.5 (Heckrath, G., pers. komm.).



Figur 3.5. Potentiale for anlæggelse af integrerede bufferzoner (IBZ).

3.9 Fosfor-vådområder (P-ådale)

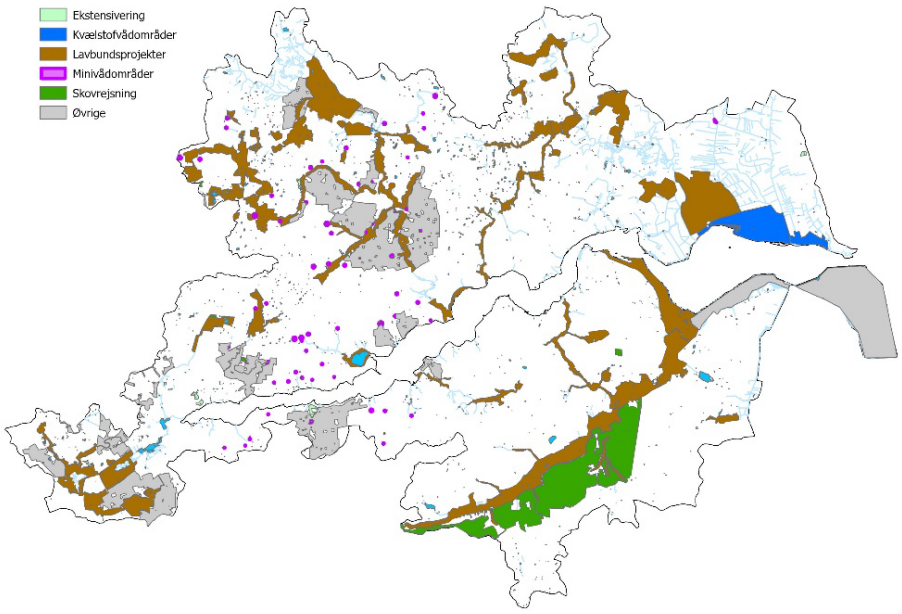
Fosforvådområder eller P-ådale er områder langs vandløb, der etableres med det formål at tilbageholde suspenderet stof og partikulært fosfor via sedimentation, når områderne oversvømmes af vandløbsvand i forbindelse med store afstrømningshændelser. Virkemidlet er først og fremmest tænkt anvendt opstrøms søer, hvor der er behov for at reducere tilførslen af fosfor for at forbedre den økologiske tilstand i søen. Kriteriet for anlæggelse af P-ådale er først og fremmest, at der forekommer perioder med store vandføringer i det pågældende vandløbssystem, og dernæst at der er kendskab til mængden og koncentrationen af suspenderet stof i vandløbet.

Sedimentation på vandløbsnære arealer og ådale er styret af flere faktorer: topografien, sedimentkoncentrationen, oversvømmelsens varighed, antallet af oversvømmelser, udvekslingen af vand mellem å og oversvømmet areal, strømningsmønsteret på det oversvømmede areal og åens morfologi (geometri, hældning, sinuositet). Andersen et al., (2020, s. 198-209) angiver vejledende deponeringsrater af partikelbundet fosfor på 0,5-1,5 kg P pr. oversvømmet hektar pr. dag.

For nuværende findes der ikke et kortlagt potentiale for fosfor-vådområder. En beregning af effekten kræver således lokal information om minimumstørrelsen af det oversvømmede areal og længden af oversvømmelser.

4 Beregning af effekter ved lokalt virkemiddelscenario

Omlægningsplanen for oplandet til Mariager Fjord indeholder forslag til ekstensivering af områder, etablering af kvælstofvådområder, lavbundsprojekter, skovrejsning og mini-vådområder (figur 4.1).



Figur 4.1. Omlægningsplanen for oplandet til Mariager Fjord

Ekstensivering, kvælstofvådområder, lavbundsprojekter og skovrejsning

For områder udpeget til hhv. ekstensivering, kvælstofvådområder, lavbundsprojekter og skovrejsning er der beregnet en fosforeffekt som følge af ekstensivering af landbrugsdriften under nedenstående forudsætninger:

Ved ekstensivering af erosionstruede omdriftsarealer på højbund kan man forvente, at fosfortabet ved erosion reduceres 100 % (Andersen et al. 2009, Schou et al 2007). Hvor den nuværende arealanvendelse er permanent vegetation (vedvarende græs), vil fosfortab ved erosion allerede være negligibelt. Mht. fosfortab via vandafstrømning i makroporer og dræn (udvaskning) er det også ret sikkert, at der vil være en effekt af ekstensivering på omdriftsmarker, men størrelsen af denne er dårligt belyst. Det er tidligere blevet skønnet, at fosfortabet via udvaskning fra et risikoareal vil kunne reduceres med 25-50 % ved at rejse skov på en risikomark frem for at lade den fortsætte i omdrift (Andersen et al., 2009, Schou et al., 2007). Det skønnes, at effekten af permanent udtagning til ugødet brak for udvaskning vil være af tilsvarende størrelse, 25–50%. I beregningerne er anvendt et gennemsnit på 37,5%. Fosfortabet fra dyrket organisk jord i omdrift er estimeret til gennemsnitligt 1,9 kg P/ha (Andersen og Heckrath, 2020). Ved ophør af dyrkning antages fosfortabet at reduceres til 1 kg P/ha, altså en effekt på 0,9 kg P/ha.

For områder udpeget til kvælstofvådområder og lavbundsprojekter er det desuden antaget, at bunden af vandløbene hæves for at få vandløbene tættere på terræn. Det er her antaget, at vandløbsbunden hæves 40 cm i små vandløb og 60 cm i større vandløb.

Forbehold i forbindelse med vådlægning: ved etablering af kvælstofvådområder og lavbundsprojekter vådlægges arealer, der tidligere var i landbrugsmæssig drift. Afhængigt af fosforindhold og -bindingsformer i jorden kan vådlægning give anledning til en forøget fosforudledning af kortere eller længere varighed. Dette fosfortab er ikke beregnet her, da det kræver detaljeret information, som først indhentes i forundersøgelserne for projekterne. Der findes en række afværgeforanstaltninger, der kan tages i brug for at bremse en eventuel fosformobilisering som følge af vådlægning: høst af biomasse i en årrække før vådlægning, fjernelse af den mest fosforberigede topjord eller etablering af fosforfiltre ved udløb fra lavbundsområdet, f.eks. i form af jern-coated sand. Endvidere er en eventuel fosfortilbageholdelse i forbindelse med overrisling med drænvand eller temporær oversvømmelse med vandløbsvand ikke inkluderet, da omfanget heraf vil afhænge af det aktuelle projekt. Effektberegningen er derfor særdeles usikker og kan være både over-og undervurderet.

Mini-vådområder

Omlægningsplanen indeholder forslag til placering af 66 mini-vådområder. Det er dog forudsat i omlægningsplanen, at kvælstofeffekten af minivådområderne ikke er nødvendige for at opfylde indsatskravet, idet de forventes vanskelige at realisere i praksis.

5 Resultater

5.1 Kildeopsplitning

Den samlede, årlige fosfortilførsel til Mariager Fjord er som gennemsnit over perioden 2014-2023 på 17,9 tons P, hvoraf punktkilder udgør 2,5 t P (14%) og det diffuse bidrag udgør 15,4 tons P (86%). Fosfortilførslen er opgjort over en årrække, da det diffuse bidrag varierer fra år til år afhængigt af det aktuelle vejr. Til sammenligning er fosfortilførslen opgjort for året 2024 på 22,0 t P, hvoraf punktkilder tegner sig for 2,4 t P og det diffuse bidrag for 19,6 t P.

Tabel 5.1 viser for Mariager Fjord kildeopsplitningen på punktkilder og på diffust bidrag med en yderligere opsplitning på del-bidrag.

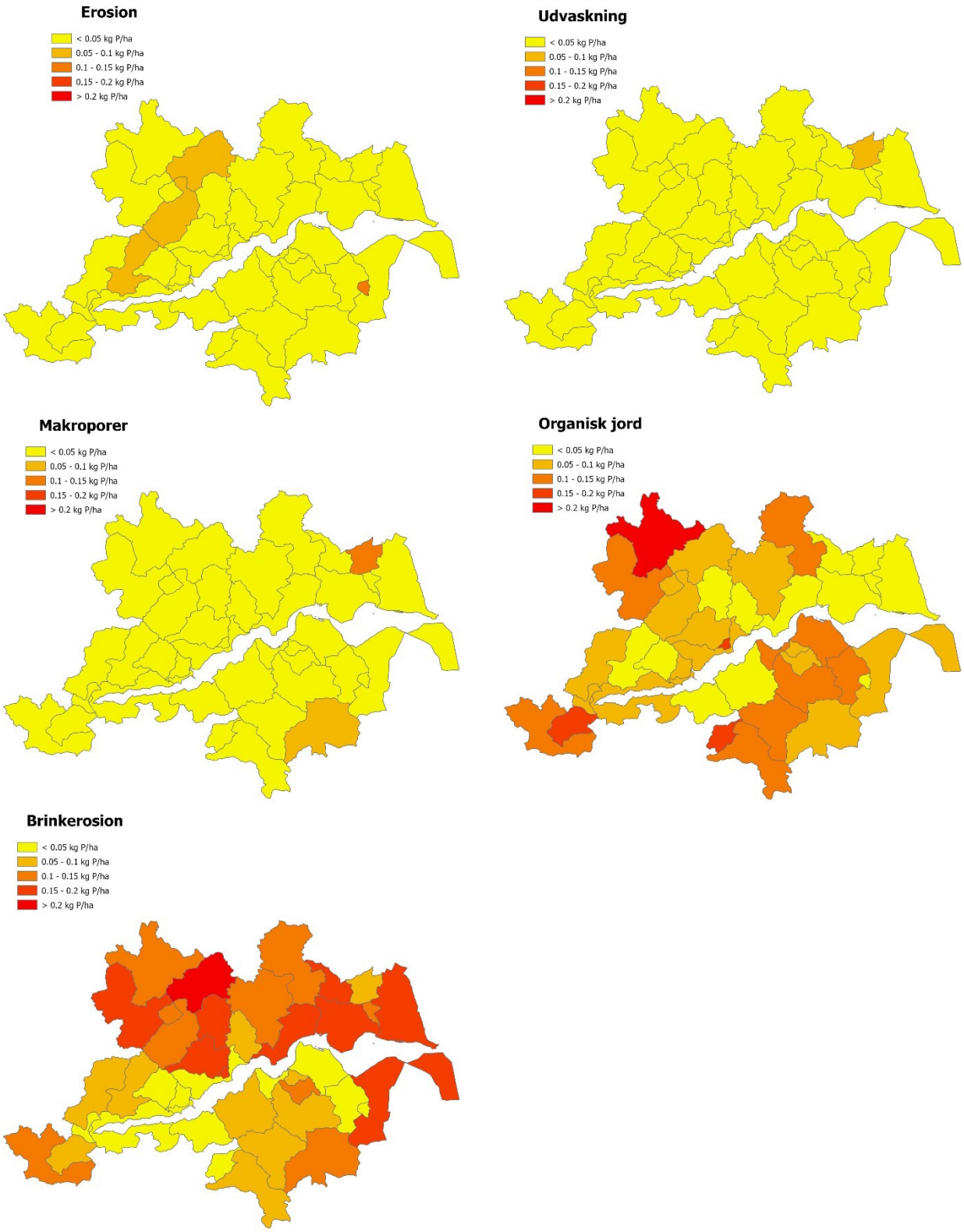
Tabel 5.1. Kildeopsplitning af fosfortilførslen til Mariager Fjord. Gennemsnit for perioden 2014 – 2023.

Total tilførsel		**17,5 t P/år**
Punktkilder		**2,5 t P/år (14 % af total tilførsel)**
Relativ betydning af de enkelte punktkilder		
	Dambrug	*0 %*
	Industri	*0 %*
	Regnvandsbetingede udløb	*34 %*
	Spredt bebyggelse	*31 %*
	Renseanlæg[1]	*1 %*
	Direkte udledninger til kystvand[2]	*34 %*
Diffust bidrag		**15 t P/år (86 % af total tilførsel)**
Andel af den samlede diffuse tilførsel		
	Tab via makroporer	*6 %*
	Udvaskning	*2 %*
	Erosion	*7 %*
	Tab fra dyrket, organisk jord	*33 %*
	Brinkerosion	*46 %*

[1] Fra 2017 er der ikke længere bidrag fra renseanlæg

[2] Direkte udledninger til kystvand er renseanlæg, der udleder direkte til fjorden. Fra 2017 er der ikke længere bidrag fra renseanlæg.

I figur 5.1 er fosfortabene ad de fem transportveje vist på ID15-oplandsniveau. Tabene er arealvægtede (kg P/ha/år) og vist med samme legende for at lette sammenligning mellem transportveje og oplande.



Figur 5.1. Arealvægtet tab af fosfor (kg P/ha/år) via hhv. erosion, udvaskning, makroporer, dyrket organisk jord og brinkerosion opgjort på ID15-oplandsniveau.

5.2 Effekter af virkemidler mod diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialet

Reduktion i diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialet er beregnet for alle virkemidler og er i tabel 5.3 aggregeret og vist for Mariager Fjord. Beregning af effekter af fosfor-ådale af dyrkede arealer er ikke foretaget, da dette kræver lokal information om placering og omfang.

Tabel 5.2. Mariager Fjord. Reduktion i diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialer. Bemærk: effekterne er ikke alle additive.

	Effekt, kg P/år	Potentiale
Skovrejsning	75	6.200 ha (kan øges)
20 m randzoner	45	3 km
Træer langs vandløb < 2m	85	68,7 km
Træer langs vandløb 2 – 10 m	1.600	185,3 km
Træer langs vandløb > 10 m	20	2,2 km
Mini-vådområder	185	5.330 ha (oplandsareal)
Hævning af vandløbsbunden	340	41,4 km (kan øges)
Genslyngning	-	-
Fosfor-vådområde	-	(bør undersøges)

5.3 Effekter ved lokale virkemiddelscenarier

Ekstensivering

Ekstensivering af landbrugsdriften på omdriftsarealer omfattet af omlægningsplanen, i parentes det samlede, omfattede markareal, både omdriftsarealer og allerede ekstensiverede marker:

- Områder udpeget til ekstensivering: ca. 5 kg P (92 ha)
- Kvælstofvådområder: ca. 10 kg P (445 ha)
- Lavbundsprojekter: ca. 330 kg P (3697 ha)
- Skovrejsning: ca. 35 kg P (1423 ha)
- Øvrige områder: ca. 75 kg P (3965 ha)

Hævning af vandløbsbunden

Beregningerne af effekter af hævning af vandløbsbunden er foretaget under følgende forudsætninger: i mindre vandløb (< 2 m) er vandløbsbunden hævet 40 cm, i mellemstore vandløb (2 – 10 m) er vandløbsbunden hævet 60 cm. Omlægningsplanens kvælstofvådområder omfatter 12,2 km vandløbsstrækning. Effekten af at hæve vandløbsbunden på disse vandløb er ca. 125 kg P.

Lavbundsprojekter omfatter 237 km vandløb. Effekten af at hæve vandløbsbunden på disse vandløb er ca. 1.575 kg P. Det skal understreges, at i praksis vil vandløbsbunden ikke blive hævet på alle strækninger omfattet af omlægningsplanens kvælstofvådområder og lavbundsprojekter, hvorfor de her beregnede værdier er absolutte maksimumværdier.

Mini-vådområder

Omlægningsplanen angiver kun placering og areal af selve anlægget, men ikke størrelse eller placering af drænoplandet til anlægget. Imidlertid er minivådområderne, som er foreslået i omlægningsplanen, alle placeret udenfor de områder, hvor der er kortlagt en risiko for fosforudvaskning, figur 2.2 og 2.3. Effekten på fosfortilførslen til Mariager Fjord af de foreslåede mini-vådområder estimeres derfor som værende negligibel.

6 Konklusion

Den samlede fosfortilførsel til Mariager Fjord er som gennemsnit over perioden 2014-2023 på 17,5 tons P, hvoraf det diffuse bidrag udgør 15 tons P (86 %). De mest betydende diffuse tabsveje for fosfor er brinkerosion og tab fra dyrket organisk jord, som udgør hhv. 46 % og 33 % af den samlede, diffuse tilførsel.

Effekt på fosforudledningen til Mariager Fjord er beregnet for en række virkemidler. For virkemidlerne randzoner, træer langs vandløb og mini-vådområder er der regnet på det fulde potentiale. For virkemidlerne skovrejsning, hævning af vandløbsbunden og genslyngning er der regnet på det omfang, de er omfattet af vandområdeplanerne eller for skovrejsnings vedkommende kommuneplanen. Virkemidlet med størst effekt er træplantning på vandløbsbrinker med en samlet effekt på ca. 1.700 kg P, mens mini-vådområder ved udnyttelse af det fulde potentiale har en estimeret effekt på 185 kg P. Det skal understreges, at der er tale om en teoretisk beregning, der har til formål at belyse reduktionsmulighederne i oplandet. Det er ikke realistisk at hele potentialet udnyttes.

Omlægningsplanen for oplandet til Mariager Fjord omfatter udtag af områder til ekstensivering, kvælstofvådområder, lavbundsprojekter, skovrejsning, øvrige områder samt mini-vådområder. Effekten af planens ekstensivering af landbrugsdrift på de omfattede områder er en reduktion i fosforudledningen på ca. 455 kg P. Fosfortabet kan reduceres med yderligere ca. 1.700 kg P under antagelse af, at vandløbsbunden hæves på alle vandløb i forbindelse med etablering af kvælstofvådområder og lavbundsprojekter. Det skal understreges, at i praksis vil vandløbsbunden ikke blive hævet på alle strækninger omfattet af omlægningsplanens kvælstofvådområder og lavbundsprojekter, hvorfor de her beregnede værdier er absolutte maksimumværdier. En eventuel fosformobilisering (et fosfortab) som følge af vådlægning har det ikke været muligt at kvantificere. Det samme gør sig gældende for en eventuel fosfortilbageholdelse i forbindelse med overrisling med drænvand eller temporære oversvømmelser med vandløbsvand, da omfanget heraf vil afhænge af de enkelte projekters udformning. Effekten på fosforudledning af de foreslåede mini-vådområder antages at være negligibel, da mini-vådområderne alle er placeret udenfor områder med en kortlagt risiko for fosforudvaskning.

7 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.

Børgesen, C.D., Bach, E.O., Iversen, B.V & Hoffmann, C.C. 2024. Opdatering af minivådområdeordningens potentialekort. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. https://pure.au.dk/portal/da/publications/opdatering-af-miniv%C3%A5domr%C3%A5deordningens-potentialekort/

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

Miljøstyrelsen. 2020. Vandløbsrestaurering – national ordning. Vejledning og tilskud til kommunale projekter vedrørende vandløbsrestaurering. Miljø- og Fødevareministeriet.

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Larsen, S.E., Conradsen, A.R., Muff, E. & Blicher-Mathiesen, G. 2024. Vand- & Stoftransport 2023. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 71 s. - Videnskabelig rapport nr. 629

Trolle, D., Søndergaard, M. & Bjerring, R. 2015. Sammenhænge mellem næringsstoftilførsel og søkoncentrationer i danske søer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 34 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 138
http://dce2.au.dk/pub/SR138.pdf

MULIGHEDER FOR REDUKTION AF DEN DIFFUSE FOSFORTILFØRSEL TIL MARIAGER FJORD

Rapporten opgør den diffuse fosforbelastning af Mariager Fjord fordelt på tabsveje, vurderer potentialet i en række virkemidler til reduktion af belastningen og estimerer de forventede effekter. Arbejdet er input til Kystvandrådet for Mariager Fjord i arbejdet med at opstille en lokalt funderet vandplan for Mariager Fjord.

ISBN: 978-87-7648-090-5
ISSN: 2244-999X