



MULIGHEDER FOR REDUKTION AF DEN DIFFUSE FOSFORTILFØRSEL TIL VEJLE FJORD

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 396

2025



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

MULIGHEDER FOR REDUKTION AF DEN DIFFUSE FOSFORTILFØRSEL TIL VEJLE FJORD

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 396

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. 396
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Muligheder for reduktion af den diffuse fosfortilførsel til Vejle Fjord
Forfattere:	Hans Estrup Andersen
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	https://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Juni 2026
Redaktion afsluttet:	11. juni 2026
Faglig kommentering:	Hans Thodsen
Kvalitetssikring, DCE:	Iben Boutrup Kongsfelt og Henriette Hossy
Ekstern kommentering:	Der er ikke modtaget kommentarer til denne rapport
Finansiel støtte:	Kystvandrådet for Vejle Fjord
Bedes citeret:	Andersen, H.E. 2026. Muligheder for reduktion af den diffuse fosfortilførsel til Vejle Fjord. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 33 s. - Teknisk rapport nr. 396
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten opgør den diffuse fosforbelastning af Vejle 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 Vejle Fjord i arbejdet med at opstille en lokalt funderet vandplan for Vejle Fjord.
Emneord:	Fosfor, virkemidler, Vejle Fjord, kystvandråd
Foto forside:	Vejle Fjord broen i morgenlys, Colourbox
ISBN:	978-87-7648-072-1
ISSN (elektronisk):	2244-999X
Sideantal:	33

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	8
1 Indledning	10
2 Metode	11
2.1 Introduktion	11
2.2 Kalibrering af beregningen af diffust fosfortab på transportveje	11
2.3 Kildeopsplitning	14
3 Beregning af effekter ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialer	15
3.1 Skovrejsning	15
3.2 Randzoner	15
3.3 Træer på vandløbsbrinker	16
3.4 Sandfang	17
3.5 Mindre strækningbaserede restaureringer af vandløb	18
3.6 Genslyngning af vandløb	19
3.7 Mini-vådområder	19
3.8 Integrerede bufferzoner (IBZ)	20
3.9 Fosfor-vådområder (P-ådale)	21
4 Beregning af effekter ved lokalt virkemiddelscenario	22
5 Resultater	25
5.1 Kildeopsplitning	25
5.2 Effekter af virkemidler mod diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialet	26
5.3 Effekter ved lokale virkemiddelscenarier	27
6 Konklusion	31
7 Referencer	33

Forord

Rapporten er affødt af et kystvandrådsprojekt omhandlende Vejle Fjord med Vejle 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.

Vejle 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 Vejle 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 Vejle Fjord ved at kombinere detaljeret kortlægning af fosfortab med forskellige virkemidler. Fosfortabet stammer primært fra fem diffuse kilder: erosion, udvaskning til dræn, makroporetabs til dræn, tab fra dyrket organisk jord og brinkerosion.

Den samlede fosfortilførsel til Vejle Fjord er som gennemsnit over perioden 2014-2023 på 48,5 tons P, hvoraf det diffuse bidrag udgør 31,2 tons P. De mest betydende diffuse tabsveje for fosfor er brinkerosion og tab via makroporer til dræn, som udgør hhv. 35% og 25% af den samlede, diffuse tilførsel.

Effekt på fosforudledningen til Vejle Fjord er beregnet for en række virkemidler. For virkemidlerne randzoner, træer langs vandløb, IBZ og mini-vådområder er der regnet på det fulde potentiale. For virkemidlerne skovrejsning, hævning af vandløbsbunden, genslyngning og sandfang er der regnet på det omfang, de er omfattet af vandområdeplanerne eller for skovrejsnings vedkommende kommuneplanen. Virkemidlerne med størst effekt er hhv. træplantning på vandløbsbrinker med en samlet effekt på ca. 2.290 kg P og mini-vådområder med en effekt på ca. 3.020 kg P ved udnyttelse af de fulde potentialer. 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 Vejle Fjord omfatter udtag af områder til ekstensivering, kvælstofvådområder, lavbundsprojekter, skovrejsning og mini-vådområder. De 85 foreslåede mini-vådområder vil have en samlet effekt på ca. 315 kg P. Effekten af planens ekstensivering af de omfattede områder er en reduktion i fosforudledningen på ca. 290 kg P. Fosfortabet kan reduceres med yderligere ca. 870 kg P under antagelse af, at vandløbsbunden hæves på alle vandløb i forbindelse med etablering af kvælstofvådområder og lavbundsprojekter. 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.

Beregning af omlægningsplanens effekter separat for Rands Fjord viser en reduktion i fosfortilførslen som følge af ekstensivering af landbrugsdriften på ca. 60 kg P og en yderligere reduktion på ca. 260 kg P under forudsætning af at vandløbsbunden hæves indenfor områder udlagt til kvælstofvådområder og lavbundsområder. Planlagte mini-vådområder, i alt 25 stk i oplandet til Rands Fjord, vil reducere fosfortilførslen med ca. 100 kg P. Den samlede effekt af omlægningsplanen under de beskrevne forudsætninger er en samlet reduktion i fosforudledning til Rands Fjord på ca. 420 kg P.

Et scenarie omfattende ekstensivering af landbrugsdriften på omdriftsmarker med en hældning større end 6% indenfor en buffer på 300 m langs alle vandløb giver en reduktion i fosfortabet på ca. 635 kg P for hele oplandet til Vejle Fjord. En separat beregning for oplandet til Rands Fjord viser en effekt på ca. 100 kg P.

Separate beregninger af effekten af træplantning som virkemiddel mod brinkerosion i oplandene til Rands Fjord, Fårup Sø og Engelsholm Sø viser reduktioner i fosfortab på hhv. ca. 400 kg P, ca. 25 kg P og ca. 50 kg P.

Rands Fjord har et stort nettoindsatsbehov på 1546 kg P. Det er derfor foreslået at undersøge mulighederne for yderligere reduktion af fosfortilførslen til vandområdet i form af fosfor-ådale og etablering af sandfang. Der er konkret peget på to større vandløb i oplandet, hvor muligheden for etablering af fosfor-ådale bør undersøges.

Beregningerne af effekterne på fosforudledning af virkemidler og af omlægningsplanen og af de foreslåede scenarier er udført separat og under antagelse af alt andet lige. Det vil sige, at effekterne ikke nødvendigvis kan adderes. Eksempelvis vil effekten af træplantning i oplandet til Rands Fjord være mindre end beregnet her, hvis omlægningsplanen samtidig gennemføres med hævning af vandløbsbunden i en række vandløb, idet begge tiltag vil begrænse brinkerosion.

Summary

This project focuses on identifying options for reducing diffuse phosphorus losses from high-risk areas in the catchment of Vejle Fjord by combining detailed mapping of phosphorus loss with different mitigation measures. The phosphorus loss primarily originates 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 Vejle Fjord averaged 48.5 tons P per year over the period 2014–2023, of which diffuse sources account for 31.2 tons P. The most significant diffuse pathways for phosphorus loss are bank erosion and macropore losses to drains, representing 35% and 25% respectively of the total diffuse input.

The impact on phosphorus discharge to Vejle Fjord has been calculated for a range of mitigation measures. For buffer strips, riparian tree planting, integrated buffer zones (IBZ), and constructed mini-wetlands, the full potential has been assessed. For afforestation, streambed raising, re-meandering, and sediment traps, the calculations are based on the extent included in the River Basin Management Plans or, for afforestation, the municipal plan. The measures with the greatest effect are tree planting along stream banks, with a total effect of approx. 2,290 kg P, and mini-wetlands with an effect of approx. 3,020 kg P when their full potential is utilized. It should be emphasized that these are theoretical calculations intended to illustrate the reduction potential in the catchment. It is not realistic that the full potential will be utilized.

The land-use conversion plan for the Vejle Fjord catchment includes set-aside areas for extensification, nitrogen wetlands, lowland restoration projects, afforestation, and mini-wetlands. The 85 proposed mini-wetlands will have a combined effect of approx. 315 kg P. The effect of extensifying the included areas is a reduction in phosphorus discharge of approx. 290 kg P. Phosphorus loss can be further reduced by approx. 870 kg P under the assumption that streambeds are raised in all watercourses in connection with the establishment of nitrogen wetlands and lowland projects. A potential phosphorus mobilization (a phosphorus loss) caused by rewetting has not been possible to quantify. The same applies to potential phosphorus retention resulting from irrigation with drain water or temporary flooding with stream water, as the extent will depend on the design of each project.

A separate calculation of the land-use conversion plan's effects for the Rands Fjord catchment shows a reduction in phosphorus input of approx. 60 kg P from extensification of agricultural land, and an additional reduction of approx. 260 kg P assuming streambed raising within areas designated for nitrogen wetlands and lowland restoration. Planned mini-wetlands – 25 in total in the Rands Fjord catchment – will reduce phosphorus input by approx. 100 kg P. Under these assumptions, the total effect of the land-use conversion plan is a reduction in phosphorus discharge to Rands Fjord of approx. 420 kg P.

A scenario involving extensification of arable land with slopes greater than 6% within a 300-meter buffer along all watercourses results in a reduction of phosphorus loss of approx. 635 kg P for the entire Vejle Fjord catchment. A

separate calculation for the Rands Fjord catchment shows an effect of approx. 100 kg P.

Separate calculations of the effect of tree planting as a mitigation measure against bank erosion in the catchments of Rands Fjord, Fårup Lake, and Engelsholm Lake show reductions in phosphorus loss of approx. 400 kg P, 25 kg P, and 50 kg P respectively.

Rands Fjord has a large net reduction requirement of 1,546 kg P. It is therefore proposed to investigate further options for reducing phosphorus input to the water body, such as phosphorus floodplains and the establishment of sediment traps. Two major watercourses in the catchment have been identified where the potential for establishing phosphorus floodplains should be examined.

The calculations of the effects of mitigation measures, the land-use conversion plan, and the proposed scenarios have been carried out separately and under the assumption of all else being equal. This means that the effects cannot necessarily be added together. For example, the effect of tree planting in the Rands Fjord catchment will be smaller than calculated here if the land-use conversion plan is implemented simultaneously with streambed raising in several watercourses, since both measures reduce bank erosion.

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 fra 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 Vejle Fjord har Vejle Kommune, som er sekretariat for Kystvandråd Vejle 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 Vejle 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 eller kan estimeres. 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. Dernæst beregnes effekten af lokale virkemiddelscenarier.

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.

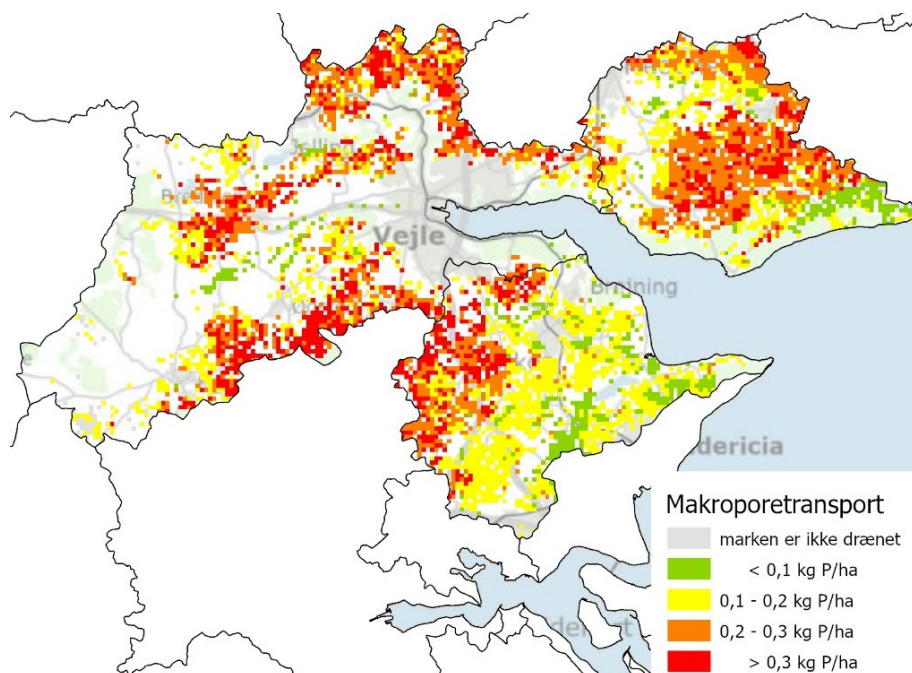
2.2 Kalibrering af beregningen af diffust fosfortab på transportveje

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 brinkerose. 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 modelberegneede fosfortab via de fem diffuse transportveje summeret på ID15-oplandsniveau. Efterfølgende er den modelberegneede 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., 2024). 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 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 Vejle Fjord.

[illegible]

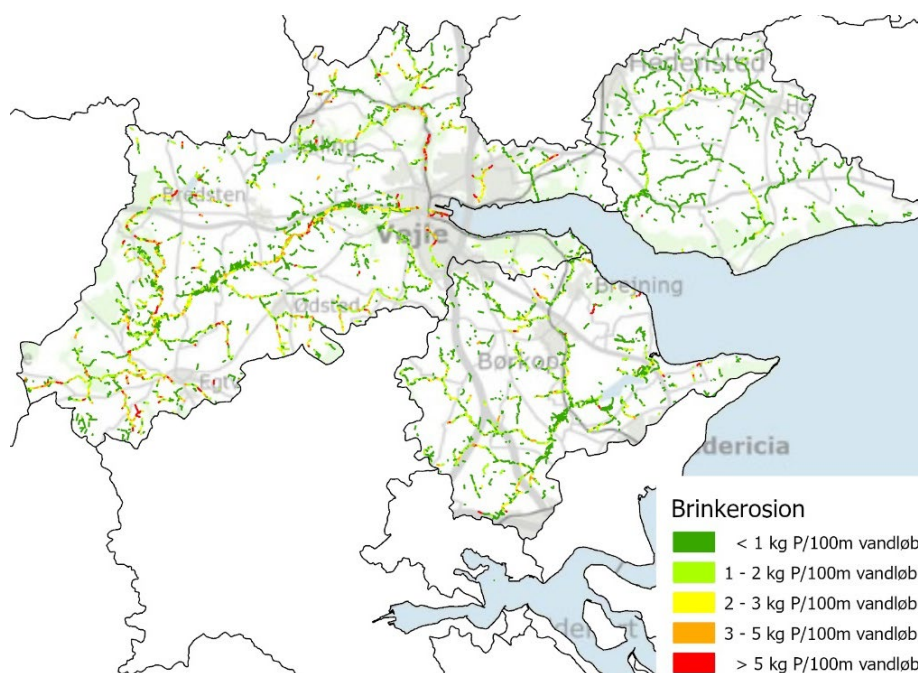
Figur 2.3. Tab af fosfor via makroporer til dræn.



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 Vejle 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.

3 Beregning af effekter ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialer

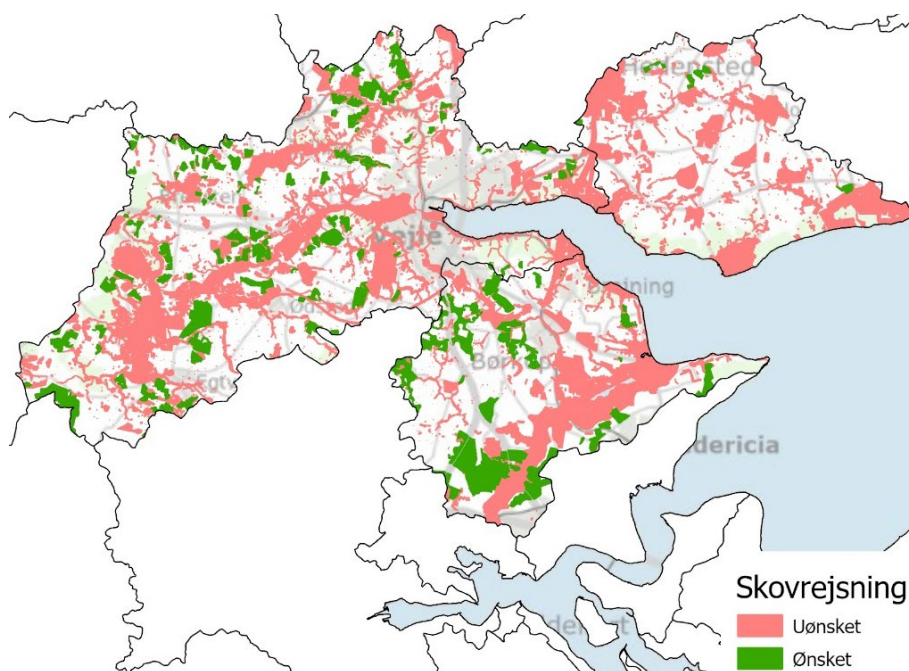
For alle virkemidler gives i det følgende en kort beskrivelse af mekanisme, effekt og potentiale for anvendelse.

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 \(mim.dk\)](https://mim.dk).

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



3.2 Randzoner

Målrettede, brede og tørre randzoners bredde designses, 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 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 af opløst fosfat i randzonen i jordmatricen; 3) infiltration og optag af opløste fosforforbindelser i vegetationen i randzonen. Andersen et al. (2020, s. 185-197) 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.

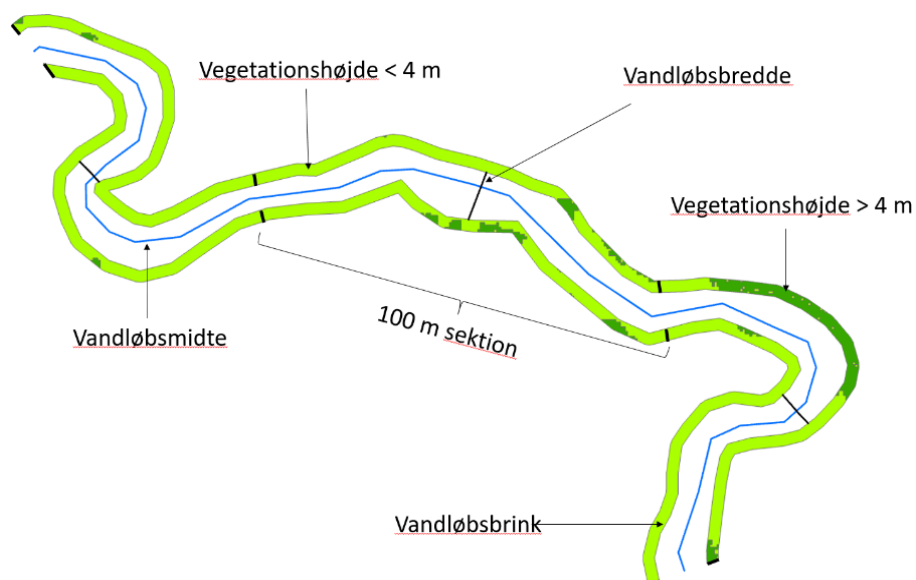
3.3 Træer på vandløbsbrinker

Træer langs vandløbsbrinker har i mange undersøgelser vist sig at medvirke til at stabilisere vandløbsbrinken og dermed reducere brinkerrosion 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 vandløbs beliggenhed i landskabstype (moræne- eller hedeslettelandskab) og i georegion samt information om vandløbs 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 brinkerrosion på 27-53 % på strækninger, hvor der ikke i den nuværende situation er træer.

Brinkerrosion i alle danske vandløb er kortlagt i Andersen & Heckrath (2020) opgjort på 100 m-vandløbsstrækninger. Kortlægningen indeholder desuden information om vandløbs beliggenhed i hhv. landskabstype og georegion samt vandløbs 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 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). Et forbehold mod sandfang er dog, at vandløbets transportkapacitet nedstrøms sandfanget er øget, hvorved der er risiko for forøget erosion af vandløbets bund og sider specielt i alluviale vandløb (Bartholdy og Hasholt, 1992).

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 m², men med stor variation, og at sedimentfjernelsesraten (m³ m⁻² år⁻¹) varierer mellem georegioner: georegion 2 (Nordjylland) 1,1 m³ m⁻² år⁻¹, georegion 3 (Vestjylland) 0,5 m³ m⁻² år⁻¹, øvrige georegioner 0,3 m³ 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).

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 m² 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 3.3) (data downloadet fra <https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=vandrammedirektiv3-2022>)

Figur 3.3. Placering af foreslåede sandfang i vandområdeplanerne for tredje planperiode. Desuden er vist placering af eventuelle, foreslåede okkeranlæg samt øvrige foreslåede vandløbsindsatser i form af hhv. genslyngninger og mindre strækningsbaserede restaureringer.



3.5 Mindre strækningsbaserede restaureringer af vandløb

Mindre, strækningsbaserede restaureringer kan ifølge Miljøstyrelsen (2020) omfatte udlægning af groft materiale, udskiftning af bundmateriale, hævnning 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 brinkerrosion. Hævning af vandløbsbunden har også en reducerende effekt på brinkerrosion ved at mindske den flade, der kan eroderes. I projektet har vi antaget, at alle udpegede strækningsbaserede restaureringer foretages som en hævnning 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 hævnning 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 brinkerrosion af en hævnning af vandløbsbunden beregnes efter Andersen & Nilsson (2023) gennem en sammenligning af fosfortabet før og efter hævnning af bunden. Den relative effekt overføres på det forlods beregnede fosfortab ved brinkerrosion 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 hævnning 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 strækningbaserede restaureringer kan principielt anlægges i alle vandløb og med vilkårlig afstand. Som potentiale for etablering af nye strækningbaserede 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>)

3.6 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 (Miljøstyrelsen, 2020). 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 hævnning af vandløbsbunden, ændret brinkhældning og/eller plantning af træer på brinken for at reducere brinkerosion, således at tilførslen af fosfor til vandløbet formindskes fremfor 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 genslynkes. 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>)

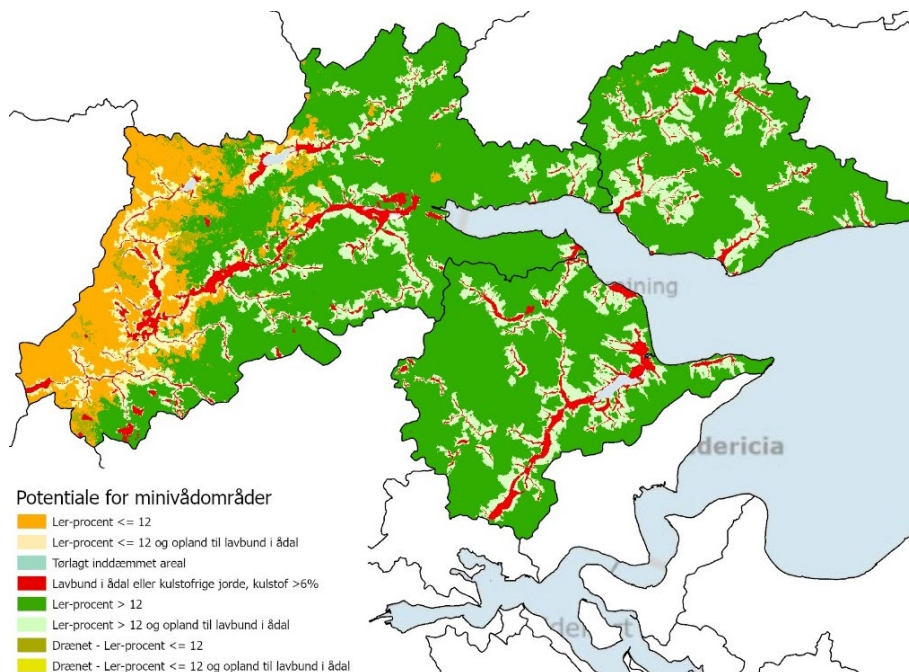
3.7 Mini-vådområder

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 kommu-

nerne 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.

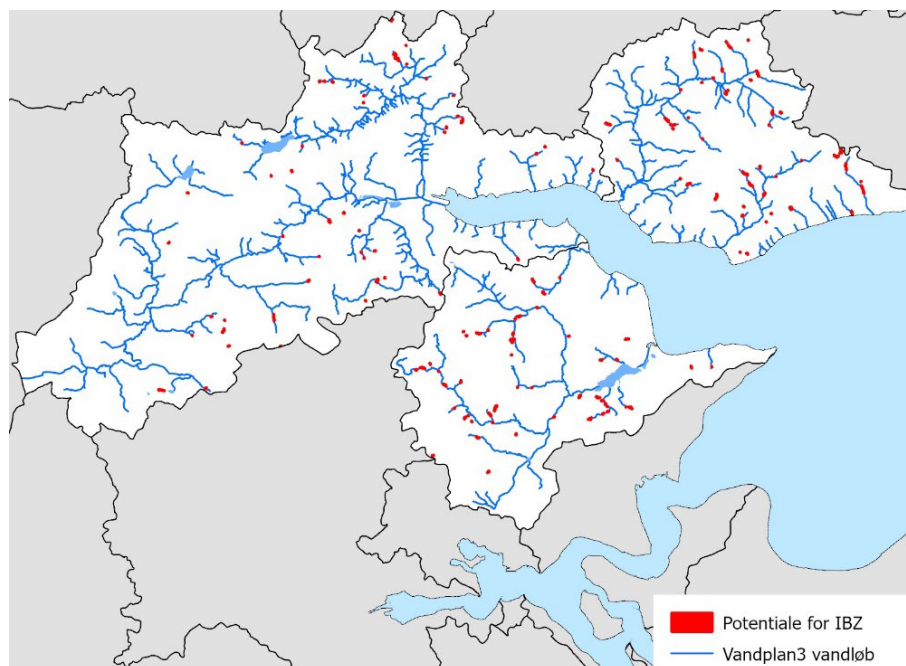
Figur 3.4. Potentialet for etablering af mini-vådområder udgøres af de to klasser hhv. "Ler-procent > 12" og "Drænet - lerprocent ≤ 12".



3.8 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 ansues 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 anlæg-
gelse 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

Kystvandrådet for Vejle Fjord har ønsket at få beregnet effekterne af en række scenarier. Det drejer sig om følgende:

- Randzoner ved alle relevante vandløb
- Træplantning langs vandløb i oplandet til Rands Fjord, Fårup Sø og Engelsholm Sø
- Permanent ekstensivering på skrånende arealer med $> 6\%$ hældning
- Omlægningsplanen

Randzoner

Effekten af randzoner beregnes som beskrevet ovenfor (kapitel 3.2): udlægning af en 20 m bred udyrket randzone langs vandløbsstrækninger, hvor der over en 50 m strækning tilføres mere end 1 ton sediment via erosion til vandløbet.

Træplantning

Der udføres beregning af effekten af træplantning i oplandene til Rands Fjord, Fårup Sø og Engelsholm Sø (figur 4.1) opgjort hhv. for små vandløb (< 2 m) og for mellemstore vandløb (2 – 10 m) og store vandløb (> 10 m).

Ekstensivering på skrånende arealer

Alle arealer med en hældning $> 6\%$ indenfor en 300 m buffer på begge sider af alle vandløb er identificeret (figur 4.2). Effekten af ekstensivering af landbrugsdriften på marker i omdrift er beskrevet nedenfor under omlægningsplanen. Beregningerne udføres dels for det samlede opland til Vejle Fjord, dels separat for oplandet til Rands Fjord.

Omlægningsplanen

Omlægningsplanen indeholder forslag til ekstensivering af områder, etablering af kvælstofvådområder, lavbundsprojekter, skovrejsning og mini-vådområder (figur 4.3). Beregningerne udføres dels for det samlede opland til Vejle Fjord, dels separat for oplandet til Rands 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.

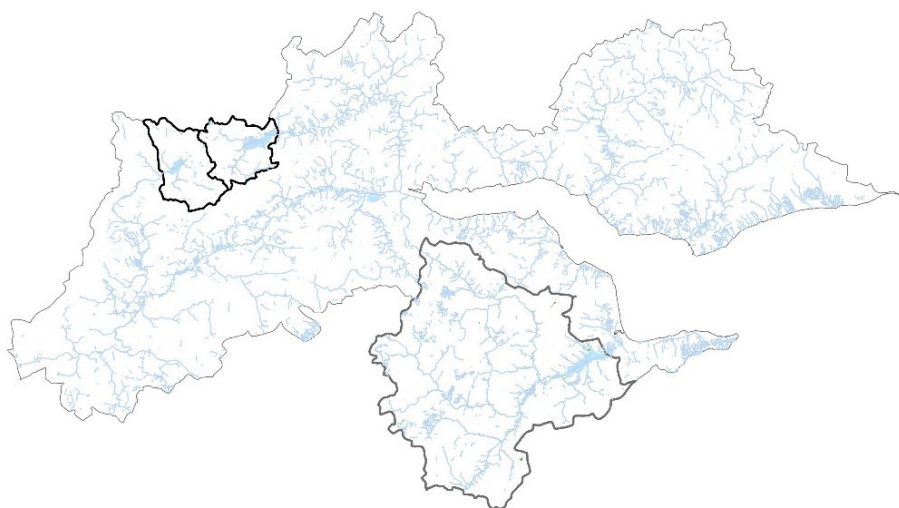
For områder udpeget til kvælstofvådområder og lavbundsprojekter er det desuden antaget, at bunden af vandløbene hæves for at få vandløbene tættere på terræn. Det er her antaget, at vandløbsbunden hæves 40 cm i små vandløb og 60 cm i større vandløb.

Forbehold i forbindelse med vådlægning: ved etablering af kvælstofvådområder og lavbundsprojekter vådlægges arealer, der tidligere var i landbrugs-mæssig 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 topjod 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.

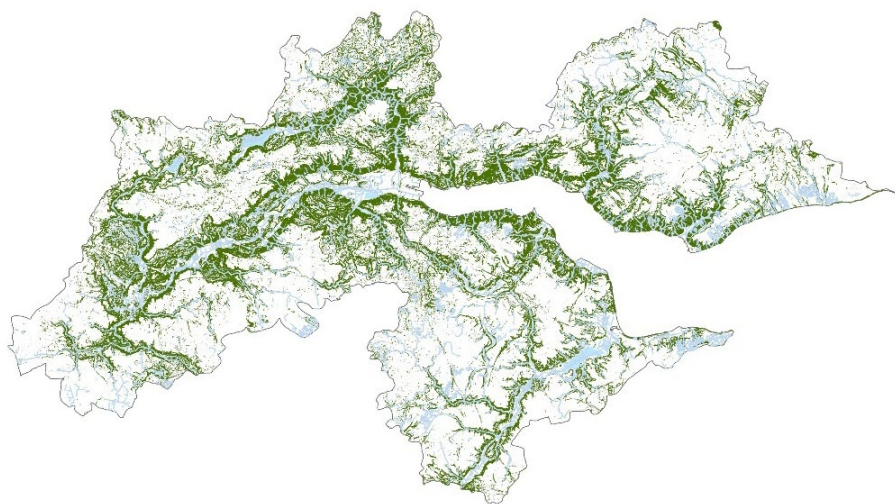
Mini-vådområder

Omlægningsplanen indeholder forslag til placering af 85 mini-vådområder, heraf 25 i oplandet til Rands Fjord.

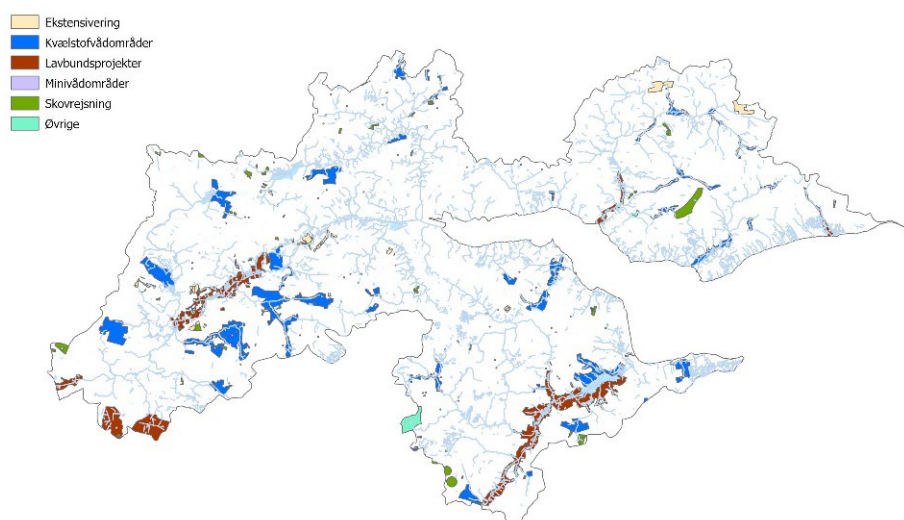
Figur 4.1. Oplandene til Rands Fjord (længst mod øst) og de to mindre oplande til hhv. Fårup Sø (mod øst) og Engelsholm Sø (mod vest).



Figur 4.2. Arealer i oplandet til Vejle Fjord med en hældning > 6%. Beregningerne er foretaget på arealer beliggende indenfor en 300 m buffer på begge sider af alle vandløb.



Figur 4.3. Omlægningsplanen for oplandet til Vejle Fjord.



5 Resultater

5.1 Kildeopsplitning

Den samlede fosfortilførsel til Vejle Fjord er som gennemsnit over perioden 2014-2023 på 48,6 tons P, hvoraf det samlede, diffuse bidrag fra både indre og ydre del udgør 31,2 tons P. Tabel 5.1 og 5.2 viser for hhv. Vejle Fjord, indre del, og Vejle Fjord, ydre del, kildeopsplitningen på punktkilder og på diffust bidrag med en yderligere opsplitning på del-bidrag.

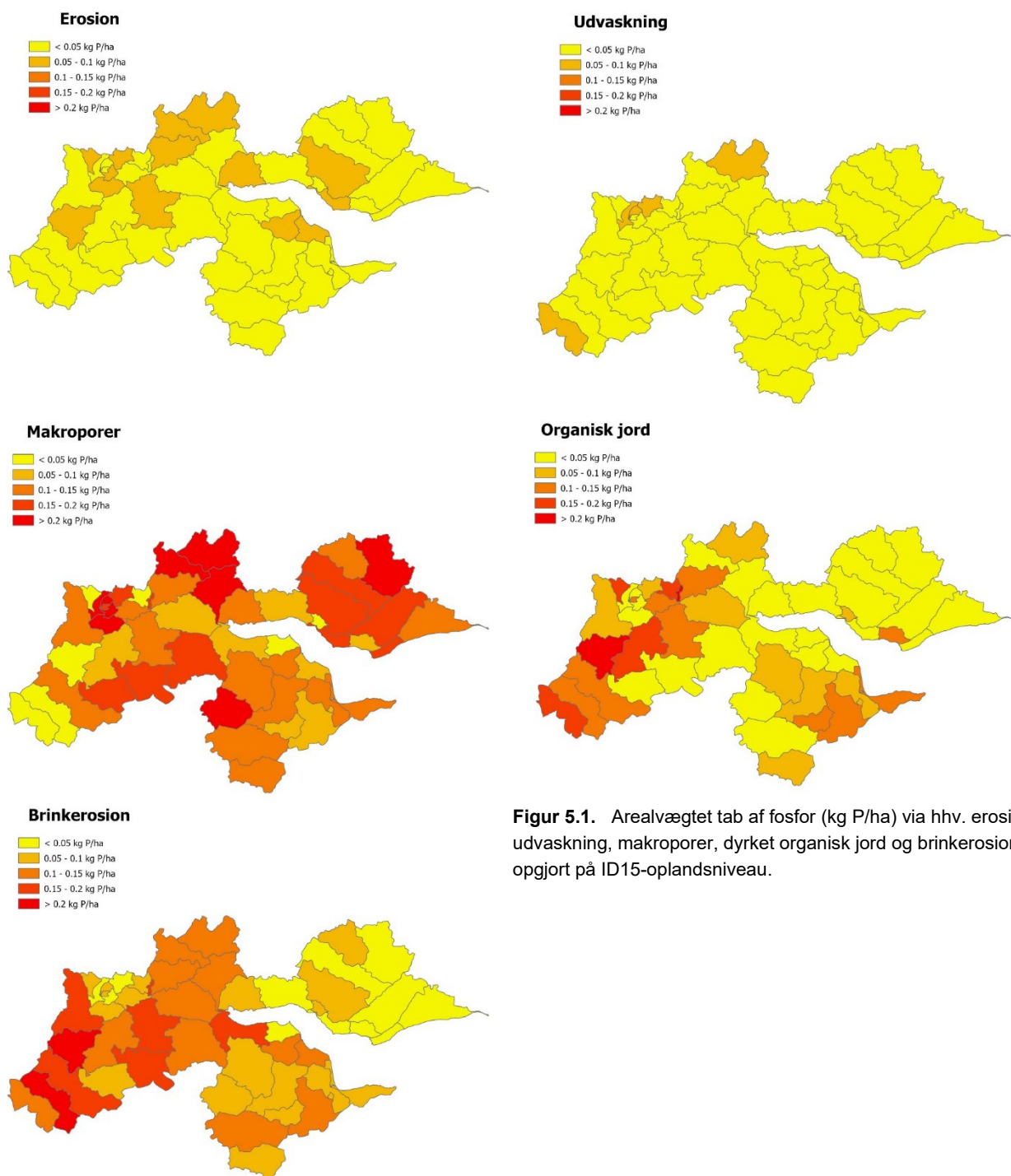
Tabel 5.1. Kildeopsplitning af fosfortilførslen til Vejle Fjord, indre del. Gennemsnit for perioden 2014 – 2023.

Total tilførsel		32100 kg P
Punktkilder		12500 kg P (39 % af total tilførsel)
Relativ betydning af de enkelte punktkilder		
	Dambrug	38 %
	Industri	0 %
	Regnvandsbetingede udløb	25 %
	Spredt bebyggelse	12 %
	Renseanlæg	23 %
	Direkte udledninger	2 %
Diffust bidrag		19600 kg P (61 % af total tilførsel)
Andel af den samlede diffuse tilførsel		
	Tab via makroporer	30 %
	Udvaskning	7 %
	Erosion	10 %
	Tab fra dyrket, organisk jord	18 %
	Brinkerosion	29 %

Tabel 5.2. Kildeopsplitning af fosfortilførslen til Vejle Fjord, ydre del. Gennemsnit for perioden 2014 – 2023.

Total tilførsel		16500 kg P
Punktkilder		4860 kg P (30 % af total tilførsel)
Relativ betydning af de enkelte punktkilder		
	Dambrug	7 %
	Industri	1 %
	Regnvandsbetingede udløb	34 %
	Spredt bebyggelse	14 %
	Renseanlæg	41 %
	Direkte udledninger	3 %
Diffust bidrag		11600 kg P (70 % af total tilførsel)
Andel af den samlede diffuse tilførsel		
	Tab via makroporer	43 %
	Udvaskning	8 %
	Erosion	11 %
	Tab fra dyrket, organisk jord	13 %
	Brinkerosion	20 %

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



Figur 5.1. Arealvægtet tab af fosfor (kg P/ha) 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 opgjort på ID15-niveau. Disse data er i tabel 5.3 og 5.4 aggregeret og vist for hhv. Vejle Fjord, indre del, og Vejle Fjord, ydre del.

Tabel 5.3. Vejle Fjord, indre del. Reduktion i diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialer. Bemærk: effekterne er ikke alle additive.

	Effekt, kg P	Potentiale
Skovrejsning	170	4.880 ha ¹
20 m randzoner	170	11.300 m
Træer langs vandløb < 2m	180	128.800 m
Træer langs vandløb 2 – 10 m	1.110	145.200 m
Træer langs vandløb > 10 m	300	24.600 m
IBZ	35	288 ha
Mini-vådområder	1.320	22.480 ha
Hævning af vandløbsbunden	165	23.600 m

¹Angiver det samlede skovrejsningsareal for Vejle Fjord, indre og ydre dele.

Tabel 5.4. Vejle Fjord, ydre del. Reduktion i diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialer. Bemærk: effekterne er ikke alle additive.

	Effekt, kg P	Potentiale
Skovrejsning	190	4.880 ha ¹
20 m randzoner	140	10.600 m
Træer langs vandløb < 2m	135	147.500 m
Træer langs vandløb 2 – 10 m	525	114.700 m
Træer langs vandløb > 10 m	35	4.400 m
IBZ	55	576 ha
Mini-vådområder	1.700	25.090 ha
Hævning af vandløbsbunden	195	44.900 m
Genslyngning	5	3.600 m
Sandfang	10	1 stk

¹Angiver det samlede skovrejsningsareal for Vejle Fjord, indre og ydre dele.

5.3 Effekter ved lokale virkemiddelscenarier

Randzoner

Udlægning af 20 m brede randzoner langs alle vandløb, hvor der over en 50 m strækning tilføres mere end 1 ton sediment via erosion, har en samlet effekt på ca. 310 kg P.

Træplantning

Effekterne af træplantning langs vandløbene i oplandene til Rands Fjord, Fårup Sø og Engelsholm Sø er sammenfattet i tabel 5.5. For Rands Fjord er effekten ca. 400 kg P, for Fårup Sø ca. 25 kg P og for Engelsholm Sø ca. 50 kg P.

Tabel 5.5. Effekt af træplantning langs vandløb opdelt på typer i oplandene til Rands Fjord, Fårup Sø og Engelsholm Sø.

	Vandløbstype	Længde vandløb, km	Effekt, kg P
Rands Fjord	< 2 m	41,4	35
	2 – 10 m	85,2	350
	> 10 m	1,1	10
Fårup Sø	< 2 m	7,0	10
	2 – 10 m	2,2	15
Engelsholm sø	< 2 m	4,9	10
	2 – 10 m	3,2	35
	> 10 m	0,3	5

Ekstensivering af arealer med hældning > 6% indenfor en 300 m buffer på begge sider af alle vandløb

Det samlede markareal indenfor 300 m fra vandløb og med en hældning > 6% er 7.460 ha for hele Vejle Fjord-oplandet. Heraf er 4.540 ha (61%) i omdrift. Effekten af at ekstensivere omdriftsarealet er ca. 635 kg P.

I oplandet til Rands Fjord er det samlede markareal indenfor 300 m fra vandløb og med en hældning > 6% på 1150 ha, heraf 750 ha i omdrift. Effekten af at ekstensivere omdriftsarealet er ca. 100 kg P.

Omlægningsplanen, hele oplandet til Vejle Fjord

Ekstensivering

Ekstensivering af landbrugsdriften på omdriftsarealer omfattet af omlægningsplanen:

- Områder udpeget til ekstensivering: ca. 15 kg P
- Kvælstofvådområder: ca. 185 kg P
- Lavbundsprojekter: ca. 55 kg P
- Skovrejsning: ca. 30 kg P

Der er i et vist omfang overlap mellem arealer med en hældning > 6% og arealer udlagt i omlægningsplanen. Effekten af ekstensivering kan naturligvis kun opnås én gang på det samme areal.

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 88,3 km vandløbsstrækning. Effekten af at hæve vandløbsbunden på disse vandløb er ca. 435 kg P. Lavbundsprojekter omfatter 94,6 km vandløb. Effekten af at hæve vandløbsbunden på disse vandløb er ca. 430 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. Det skal ligeledes bemærkes, at effekten af at hæve vandløbsbunden forudsætter, at der ikke også på de samme strækninger plantes træer langs vandløbet

Mini-vådområder

Omlægningsplanen angiver kun placering og areal af selve anlægget, men ikke størrelse eller placering af drænoplandet til anlægget, som er afgørende for at kunne beregne fosfortransporten til anlægget. På grundlag af 240 mini-vådområder etableret 2018 – 2023 og indberettet til Styrelsen for Grøn Areal-omlægning og Vandmiljø kan der beregnes en gennemsnitlig størrelse på et drænopland på 58 ha. Denne størrelse er anvendt for de 85 anlæg, mens effekten er beregnet som den gennemsnitlige effekt for hele mini-vådområdepotentialet (tabel 5.3 og 5.4). Den samlede effekt for de 85 mini-vådområder kan således estimeres til ca. 315 kg P.

Omlægningsplanen, oplandet til Rands Fjord

Ekstensivering

Ekstensivering af landbrugsdriften på omdriftsarealer omfattet af omlægningsplanen:

- Områder udpeget til ekstensivering: ca. 0 kg P
- Kvælstofvådområder: ca. 30 kg P
- Lavbundsprojekter: ca. 20 kg P
- Skovrejsning: ca. 10 kg P

Der er i et vist omfang overlap mellem arealer med en hældning $> 6\%$ og arealer udlagt i omlægningsplanen. Effekten af ekstensivering kan naturligvis kun opnås én gang på det samme areal.

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 10,8 km vandløbsstrækning. Effekten af at hæve vandløbsbunden på disse vandløb er ca. 75 kg P. Lavbundsprojekter omfatter 44,4 km vandløb. Effekten af at hæve vandløbsbunden på disse vandløb er ca. 185 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. Det skal ligeledes bemærkes, at effekten af at hæve vandløbsbunden forudsætter, at der ikke også på de samme strækninger plantes træer langs vandløbet.

Mini-vådområder

Omlægningsplanen angiver kun placering og areal af selve anlægget, men ikke størrelse eller placering af drænoplandet til anlægget, som er afgørende for at kunne beregne fosfortransporten til anlægget. På grundlag af 240 mini-vådområder etableret 2018 – 2023 og indberettet til Styrelsen for Grøn Areal-omlægning og Vandmiljø kan der beregnes en gennemsnitlig størrelse på et drænopland på 58 ha. Denne størrelse er anvendt for de 25 anlæg, mens effekten er beregnet som den gennemsnitlige effekt for hele mini-vådområdepotentialet (tabel 5.4). Den samlede effekt for de 25 mini-vådområder kan således estimeres til ca. 100 kg P.

Den samlede effekt af omlægningsplanen under de beskrevne forudsætninger er en samlet reduktion i fosforudledning til Rands Fjord på ca. 420 kg P.

Yderligere muligheder for at reducere fosfortilførslen til Rands Fjord

Da Rands Fjord har et stort fosforindsatsbehov på 1546 kg P er der peget på yderligere muligheder for at reducere fosfortilførslen til vandområdet:

Fosfor-ådale

På de større vandløb i oplandet til Rands Fjord, dels det som er omfattet af det store lavbundsprojekt i omlægningsplanen og dels et vandløb helt nordligt i Rands Fjord-oplandet, hvor der også er store arealer med organisk jord, kan der muligvis etableres fosfor-ådale (afklares ved forundersøgelingsprojekter). På begge systemer er der ådale, som er 100 m brede, eller betydeligt

bredere end 100 m. Er det her muligt over en vandløbsstrækning på f.eks. 1 km at få oversvømmelse 15 dage om året i en 100 m bred ådal, er størrelsesordenen for den mængde sedimentbundet fosfor, der kan fældes, ca. 150 kg P. For det store lavbundsområde, som indgår i omlægningsplanen, er der i ovenstående beregning af effekten af omlægningsplanen forudsat en indsats mod brinkerrosion i form af hævning af vandløbsbunden, som jo alt andet lige vil nedsætte effekten af en nedstrøms fosfor-ådal. Omvendt er der mange tiløb af mindre vandløb, som sandsynligvis fører en del sedimentbundet fosfor ind i det større vandløb. Effekten af fosfor-ådale vil dog givet være mindre end her estimeret, hvis der i større omfang plantes træer langs vandløbene i oplandet, hvorved input af sedimentbundet fosfor fra brinkerrosion reduceres.

Sandfang

Sandfang af en størrelse på 100 m² vil kunne tilbageholde ca. 10 kg P. Sandfangene skal placeres på vandløb, hvor der er observeret betydelig sandvandring. Randzoner langs vandløb, træplantning langs vandløb og hævning af vandløbsbunden er dog alle virkemidler, som vil reducere den sedimentbundne fosfortransport, og dermed reducere effekten af eventuelle sandfang.

6 Konklusion

Den samlede fosfortilførsel til Vejle Fjord er som gennemsnit over perioden 2014-2023 på 48,5 tons P, hvoraf det diffuse bidrag udgør 31,2 tons P. De mest betydende diffuse tabsveje for fosfor er brinkerosion og tab via makroporer til drænen, som udgør hhv. 35% og 25% af den samlede, diffuse tilførsel.

Effekt på fosforudledningen til Vejle Fjord er beregnet for en række virkemidler. For virkemidlerne randzoner, træer langs vandløb, IBZ og mini-vådområder er der regnet på det fulde potentiale. For virkemidlerne skovrejsning, hævnning af vandløbsbunden, genslyngning og sandfang er der regnet på det omfang, de er omfattet af vandområdeplanerne eller for skovrejsnings vedkommende kommuneplanen. Virkemidlerne med størst effekt er hhv. træplantning på vandløbsbrinker med en samlet effekt på ca. 2.290 kg P og mini-vådområder med en effekt på ca. 3.020 kg P ved udnyttelse af de fulde potentialer. 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 Vejle Fjord omfatter udtag af områder til ekstensivering, kvælstofvådområder, lavbundsprojekter, skovrejsning og mini-vådområder. De 85 foreslåede mini-vådområder vil have en samlet effekt på ca. 315 kg P. Effekten af planens ekstensivering af de omfattede områder er en reduktion i fosforudledningen på ca. 290 kg P. Fosfortabet kan reduceres med yderligere ca. 870 kg P under antagelse af, at vandløbsbunden hæves på alle vandløb i forbindelse med etablering af kvælstofvådområder og lavbundsprojekter. 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.

Beregning af omlægningsplanens effekter separat for Rands Fjord viser en reduktion i fosfortilførslen som følge af ekstensivering af landbrugsdriften på ca. 60 kg P og en yderligere reduktion på ca. 260 kg P under forudsætning af at vandløbsbunden hæves indenfor områder udlagt til kvælstofvådområder og lavbundsområder. Planlagte mini-vådområder, i alt 25 stk i oplandet til Rands Fjord, vil reducere fosfortilførslen med ca. 100 kg P. Den samlede effekt af omlægningsplanen under de beskrevne forudsætninger er en samlet reduktion i fosforudledning til Rands Fjord på ca. 420 kg P.

Et scenarie omfattende ekstensivering af landbrugsdriften på omdriftsmarker med en hældning større end 6% indenfor en buffer på 300 m langs alle vandløb giver en reduktion i fosfortabet på ca. 635 kg P for hele oplandet til Vejle Fjord. En separat beregning for oplandet til Rands Fjord viser en effekt på ca. 100 kg P.

Separate beregninger af effekten af træplantning som virkemiddel mod brinkerosion i oplandene til Rands Fjord, Fårup Sø og Engelsholm Sø viser reduktioner i fosfortab på hhv. ca. 400 kg P, ca. 25 kg P og ca. 50 kg P.

Rands Fjord har et stort nettoindsatsbehov på 1546 kg P. Det er derfor foreslået at undersøge mulighederne for yderligere reduktion af fosfortilførslen til vandområdet i form af fosfor-ådale og etablering af sandfang. Der er konkret peget på to større vandløb i oplandet, hvor muligheden for etablering af fosfor-ådale bør undersøges.

Beregningerne af effekterne på fosforudledning af virkemidler og af omlægningsplanen og af de foreslåede scenarier er udført separat og under antagelse af alt andet lige. Det vil sige, at effekterne ikke nødvendigvis kan adderes. Eksempelvis vil effekten af træplantning i oplandet til Rands Fjord være mindre end beregnet her, hvis omlægningsplanen samtidig gennemføres med hævning af vandløbsbunden i en række vandløb, idet begge tiltag vil begrænse brinkerrosion.

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.

Bartholdy, J. og Hasholt, B. 1992. Fluvialmorfologi. Kompendium, Geografisk Institut, København Universitet.

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/>

Donnelly, T.W. 1993. Impoundment of rivers – sediment regime and its effect on benthos. *Aquat Conserv-Mar Freshw Ecosyst*, 3, 331-342.

Kronvang, B. & Larsen, S.E. 2023. Virkemiddel for brinkerose 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., Rasmussen, J.J., Kronvang, B., Andersen, H.E., Nielsen, A., Larsen, S.E. 2019. Suspended matter and associated contaminants in Danish streams: a national analysis. *J. Soil and Sediments*, 19, 3068-3082.

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 næringsstofftilførsel 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>

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

MULIGHEDER FOR REDUKTION AF DEN DIFFUSE FOSFORTILFØRSEL TIL VEJLE FJORD

Rapporten opgør den diffuse fosforbelastning af Vejle 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 Vejle Fjord i arbejdet med at opstille en lokalt funderet vandplan for Vejle Fjord.