

MULIGHEDER FOR REDUKTION AF DEN DIFFUSE FOSFORTILFØRSEL TIL ISEFJORD OG ROSKILDE FJORD

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 390

2026



AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Muligheder for reduktion af den diffuse fosfortilførsel til Isefjord og Roskilde Fjord

Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 390

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. 390
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Muligheder for reduktion af den diffuse fosfortilførsel til Isefjord og Roskilde Fjord
Forfatter:	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:	Maj 2026
Redaktion afsluttet:	29. maj 2026
Faglig kommentering:	Hans Thodsen
Kvalitetssikring, DCE:	Iben Boutrup Kongsfelt og Henriette Hossy
Ekstern kommentering:	Der er ikke modtaget kommentarer til rapporten
Finansiel støtte:	Kystvandrådet for Isefjord og Roskilde Fjord
Bedes citeret:	Andersen, H.E. 2026. Muligheder for reduktion af den diffuse fosfortilførsel til Isefjord og Roskilde Fjord. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 31 s. - Teknisk rapport nr. 390
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten opgør den diffuse fosforbelastning af Isefjord og Roskilde 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 Isefjord og Roskilde Fjord i arbejdet med at opstille en lokalt funderet vandplan for Isefjord og Roskilde Fjord.
Emneord:	Fosfor, virkemidler, Isefjord, Roskilde Fjord, kystvandråd
Foto forside:	Colourbox
ISBN:	978-87-7648-065-3
ISSN (elektronisk):	2244-999X
Sideantal:	31

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	13
2.4 Forbehold	13
3 Beregning af effekter ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialer	14
3.1 Skovrejsning	14
3.2 Randzoner	15
3.3 Træer på vandløbsbrinker	15
3.4 Sandfang	16
3.5 Mindre strækningsbaserede restaureringer af vandløb	17
3.6 Genslyngning af vandløb	18
3.7 Mini-vådområder	19
3.8 Integrerede bufferzoner (IBZ)	20
3.9 Fosfor-vådområder (P-ådale)	20
4 Beregning af effekter ved lokalt virkemiddelscenario	22
Holbæk-modellen	22
Fosfor-vådområder	23
Reduktion i fosfortilførslen til Arresø	23
5 Resultater	25
5.1 Kildeopsplitning	25
5.2 Effekter af virkemidler mod diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialet	28
5.3 Effekter ved lokale virkemiddelscenarier	28
6 Konklusion	30
7 Referencer	31

Forord

Rapporten er affødt af et kystvandrådsprojekt omhandlende Isefjord og Roskilde Fjord med Holbæk 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.

Holbæk 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 Isefjord og Roskilde 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 Isefjord og Roskilde 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 brinkerrosion

Den samlede, årlige fosfortilførsel til Isefjord er som gennemsnit over perioden 2014-2023 på 21,6 tons P, hvoraf det diffuse bidrag udgør 11,2 tons P (52 %). De mest betydende diffuse tabsveje for fosfor i oplandet er brinkerrosion og tab via makroporer til dræn, som udgør hhv. 28 % og 33 % af den samlede, diffuse tilførsel.

Den samlede, årlige fosfortilførsel til Roskilde Fjord er som gennemsnit for samme periode 30,8 tons P, hvoraf det diffuse bidrag udgør 6,2 tons P (26 %). De mest betydende diffuse tabsveje for fosfor i oplandet er brinkerrosion og tab fra dyrket organisk jord, som udgør hhv. 31 % og 31 % af den samlede, diffuse tilførsel.

Effekt på fosforudledningen til Isefjord og Roskilde 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.

For Isefjord er virkemidlerne med størst effekt hhv. træplantning på vandløbsbrinker med en samlet effekt på ca. 1.400 kg P, mini-vådområder med en effekt på ca. 1.700 kg P og skovrejsning med en effekt på ca. 570 kg P ved udnyttelse af de fulde potentialer.

For Roskilde Fjord er virkemidlerne med størst effekt hhv. træplantning på vandløbsbrinker med en samlet effekt på ca. 1.750 kg P, mini-vådområder med en effekt på ca. 1.950 kg P og skovrejsning med en effekt på ca. 400 kg P ved udnyttelse af de fulde potentialer.

Et scenarie omfattende ekstensivering, dvs. ophør af omlægning og gødskning, af landbrugsdriften i en 300 m bred zone langs fjordbredden og i en 50 m bred zone langs alle vandløb giver en samlet reduktion i fosfortabet til Isefjord og Roskilde Fjord på ca. 375 kg P.

Etablering af en række af de foreslåede vådområder som fosfor-vådområder med temporære oversvømmelser er estimeret til maksimalt at kunne reducere fosfortabet til Isefjord med 1.300 kg P og til Roskilde Fjord med 1.850 kg P.

Særskilt for Arresø er på samme vis som for oplandene til Isefjord og Roskilde Fjord beregnet effekt af en række virkemidler under udnyttelse af de fulde potentialer. Virkemidlerne med størst effekt er hhv. træplantning på vandløbsbrinker med en samlet effekt på ca. 415 kg P, mini-vådområder med en effekt på ca. 230 kg P og skovrejsning og hævning af vandløbsbunden, begge med en effekt på ca. 50 kg P. Den maksimale effekt af fosfor-vådområder i oplandet til Arresø er estimeret til ca. 400 kg P.

Summary

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

The total annual phosphorus input to Isefjord averaged 21.6 tonnes P over the period 2014–2023, of which the diffuse contribution accounts for 11.2 tonnes P (52%). The most significant diffuse pathways for phosphorus loss in the catchment are bank erosion and macropore flow to drains, which constitute 28% and 33%, respectively, of the total diffuse input.

The total annual phosphorus input to Roskilde Fjord averaged 30.8 tonnes P over the same period, of which the diffuse contribution accounts for 6.2 tonnes P (26%). The most significant diffuse pathways for phosphorus loss in the catchment are bank erosion and losses from cultivated organic soils, each constituting 31% of the total diffuse input.

The effect on phosphorus discharge to Isefjord and Roskilde Fjord has been calculated for a range of mitigation measures. For riparian buffer zones, trees along watercourses, integrated buffer zones (IBZ), and mini-wetlands, the full potential has been assessed. For afforestation, raising of streambeds, re-meandering, and sediment traps, the assessment is based on the extent included in the River Basin Management Plans or, in the case of afforestation, the municipal plan.

For Isefjord, the measures with the greatest effect are tree planting along stream banks with a total effect of approx. 1,400 kg P, mini-wetlands with an effect of approx. 1,700 kg P, and afforestation with an effect of approx. 570 kg P when the full potential is utilized.

For Roskilde Fjord, the measures with the greatest effect are tree planting along stream banks with a total effect of approx. 1,750 kg P, mini-wetlands with an effect of approx. 1,950 kg P, and afforestation with an effect of approx. 400 kg P when the full potential is utilized.

A scenario involving extensification of agricultural practices in a 300-meter zone along the fjord shoreline and a 50-meter zone along all watercourses results in a reduction of phosphorus loss to Isefjord of approx. 230 kg P and to Roskilde Fjord of approx. 325 kg P.

Establishing some of the proposed wetlands as phosphorus wetlands with temporary flooding is estimated to reduce phosphorus loss to Isefjord by up to 1,300 kg P and to Roskilde Fjord by up to 1,850 kg P.

For Arresø, the effect of a range of mitigation measures has been calculated in the same way as for the catchments of Isefjord and Roskilde Fjord, assuming full utilization of their potential. The measures with the greatest effect are tree planting along stream banks with a total effect of approx. 415 kg P, mini-wetlands with an effect of approx. 230 kg P, and afforestation and raising of streambeds, both with an effect of approx. 50 kg P. The maximum effect of phosphorus wetlands in the Arresø catchment is estimated at approx. 400 kg P.

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 areal-omlægning og evt. nye virkemidler.

I et projekt omhandlende Isefjord og Roskilde Fjord har Holbæk Kommune, som er sekretariat for Kystvandråd Isefjord og Roskilde 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 Isefjord og Roskilde 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, sandfang, 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. Kystvandrådet kan i formulering af lokalt funderede scenarier foreslå andre/ændrede potentialer, som dernæst effektberegnes. 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. 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 det følgende beskrives de fem transportveje kortfattet:

Erosion

Ved erosion foregår der en samlet transport af jord og associeret fosfor. Kilden er derfor indholdet af total-fosfor i det øverste jordlag. Desuden foregår der en berigelse med fosfor af det eroderede materiale i forhold til udgangsjorden på grund af en selektiv transport af finpartikulært materiale med høj affinitet for fosfor. Endelig vil nyligt overfladeudlagt gødning, der ikke med infiltrerende nedbør er ført ned under det øverste jordlag, kunne transporteres med erosion.

Matrice-udvaskning

Normalt bindes fosfor i minerogene jorde hårdt til jordpartiklerne, således at der til enhver tid kun er en lille mængde fosfor i opløsning i jordvæsken. Imidlertid kan der ved stigende mætningsgrad af fosforbindingskomplekset, som helt overvejende består af dårligt krystalliseret jern og aluminium, opstå en kritisk høj koncentration af opløst fosfor i jordvæsken og en udvaskning af fosfor ned gennem jordprofilen.

Makropore-udvaskning

Makroporer er f.eks. regnormegange og gamle rodkanaler, som kan danne forbindelser mellem den fosforberigede overjord og dræn. I lerrige jorde er makroporer stabile og kan ved vandmætning af jorden transportere både opløst fosfor og fosfor bundet på jordpartikler direkte til dræn.

Tab af fosfor fra dyrkede, organiske jorde

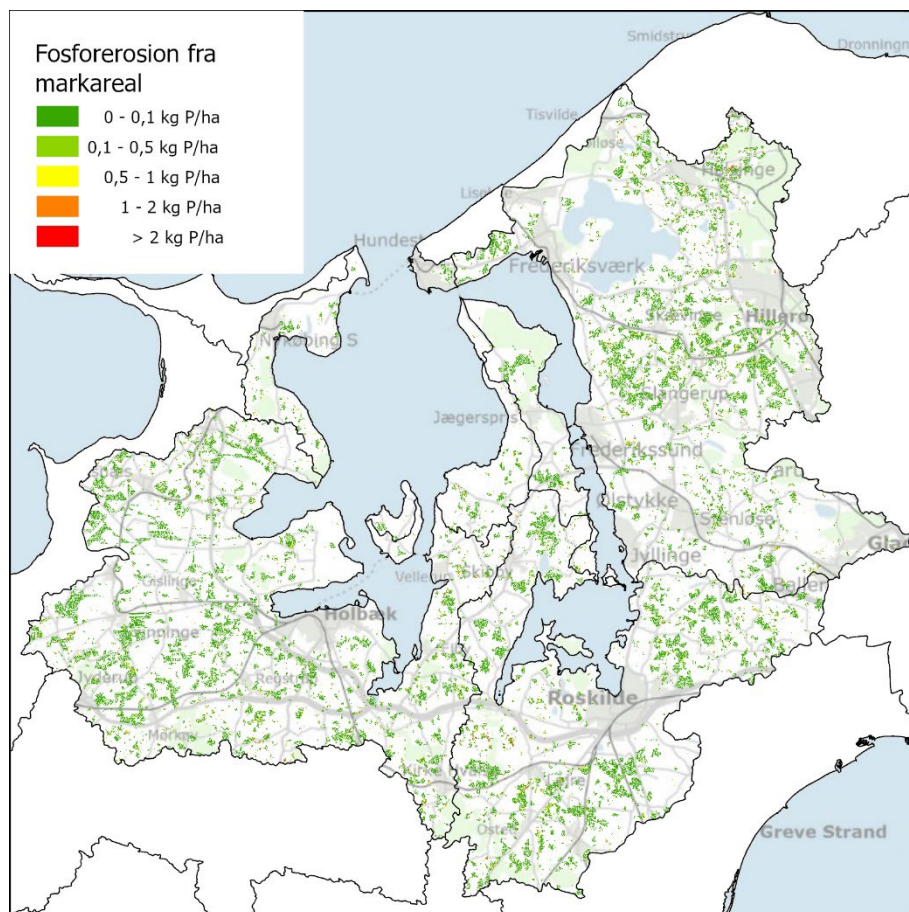
På grund af dårlig vandledningsevne og grundet deres beliggenhed i lavtliggende og våde dele af landskabet, kan organiske lavbundsjordene ofte være vandmættede i perioder, selvom de er dræned. Under disse forhold opstår der iltfrie (anaerobe) zoner, hvor jern(III)oxider opløses i forskellig grad i forbindelse med anaerobe mikrobielle omsætningsprocesser. Derved reduceres ferri-jern, Fe(III), fra oxiderne til vandopløseligt ferro-jern, Fe(II), hvorved fosfor frigives til jordvæsken og kan udvaskes.

Brinkerosion

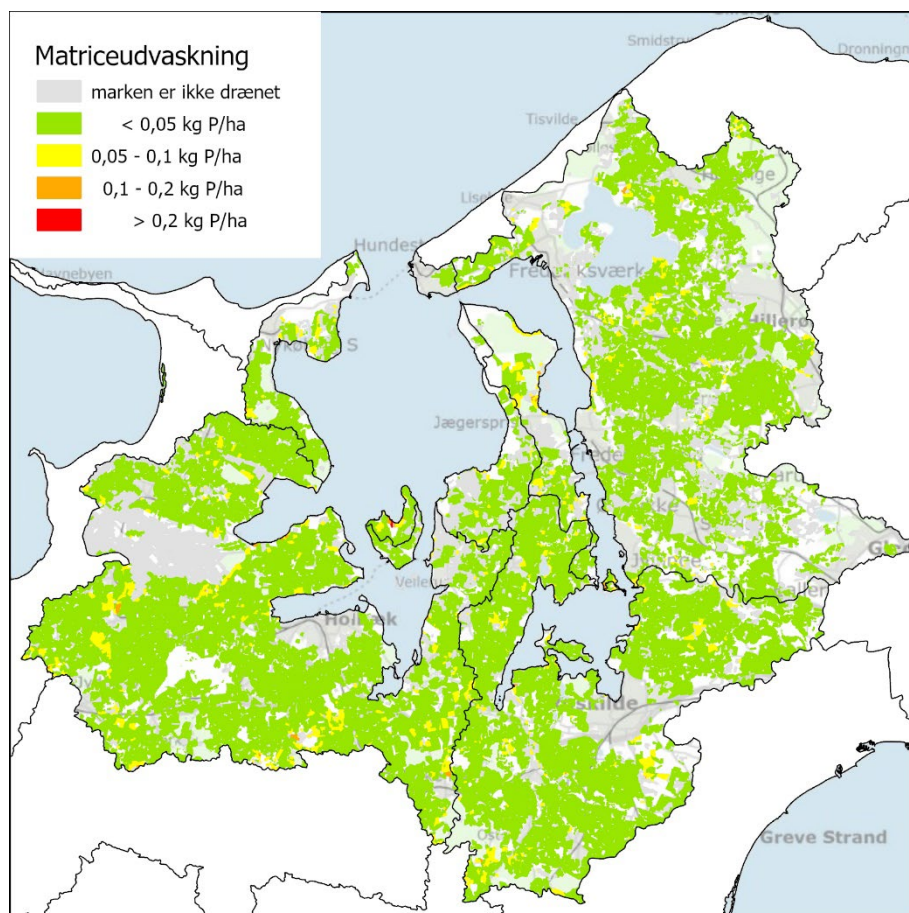
Brinkerosion forekommer ved flere fysiske processer: (i) brinksvækkelse – (ved påvirkning af grundvand, tryk på brinker, frost/tø – processer, der sker hele tiden, hvis betingelserne er til stede), (ii) fluvial erosion af brinker (strømmens energi slider materiale fra brinker ved erosion – proces, der sker hele tiden, når brinken er vanddækket), og (iii) brinkkollaps (brinker skrider sammen efter underminering – proces, der sker med lange mellemrum). Samtidig har undersøgelser vist, at fosforindholdet i vandløbsbrinkerne mange steder er højt, hvorfor brinkerosion samlet set er en vigtig tabsvej for fosfor.

I dette projekt er de modelberegneede fosfortab via de fem diffuse transportveje summeret på ID15-oplandsniveau. Efterfølgende er den modelberegneede 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., 2024). De resterende 6 % udgøres af fosfortab med vinderosion og overfladisk afstrømning samt tab via grundvand fra ikke-dræned arealer, som ikke kunne kortlægges i Andersen & Heckrath (2020). Der er anvendt et gennemsnit af fosfor-transportdata for perioden 2015-2024. 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 oplandene til Isefjord og Roskilde Fjord.

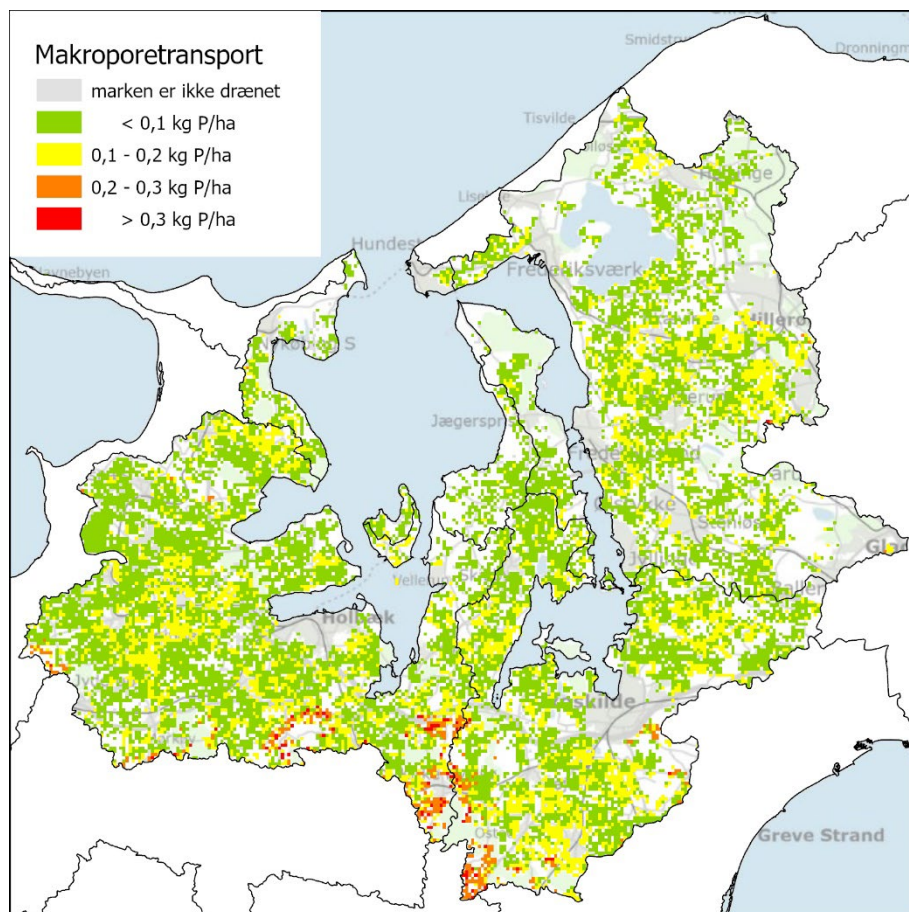
Figur 2.1. Erosionsbetinget fosfortab fra mark til vandløb.



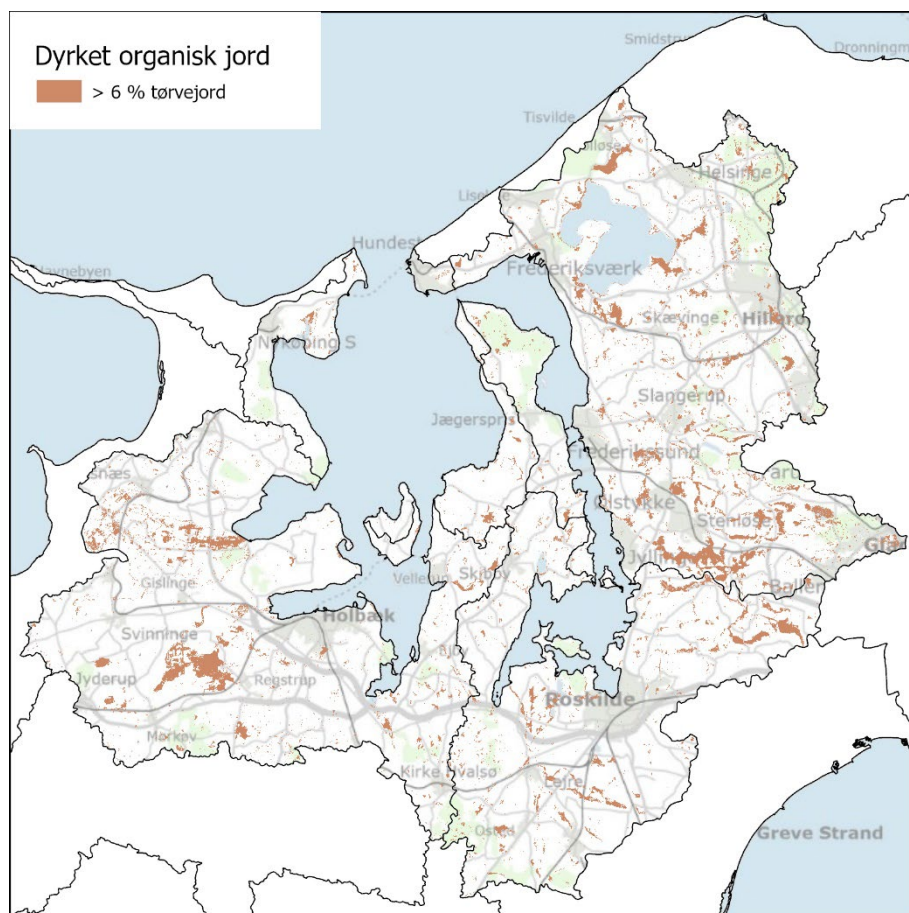
Figur 2.2. Udvaskning af fosfor til drænen.



Figur 2.3. Tab af fosfor via makroporer til dræn.



Figur 2.4. Dyrket organisk jord.



3 Beregning af effekter ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialer

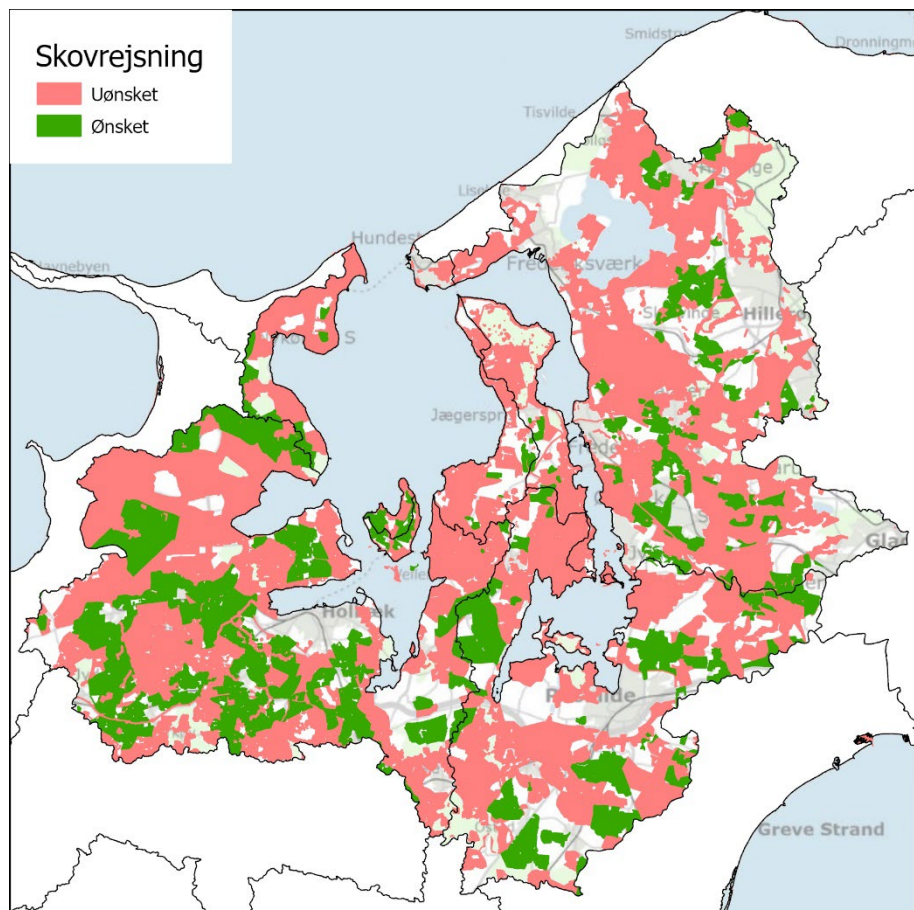
For alle virkemidler gives i det følgende en kort beskrivelse af mekanisme, effekt og potentiale for anvendelse.

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 [Miljogis \(mim.dk\)](http://Miljogis(mim.dk)).

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



3.2 Randzoner

Målrættede, brede og tørre randzoner 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 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. vegetations 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.

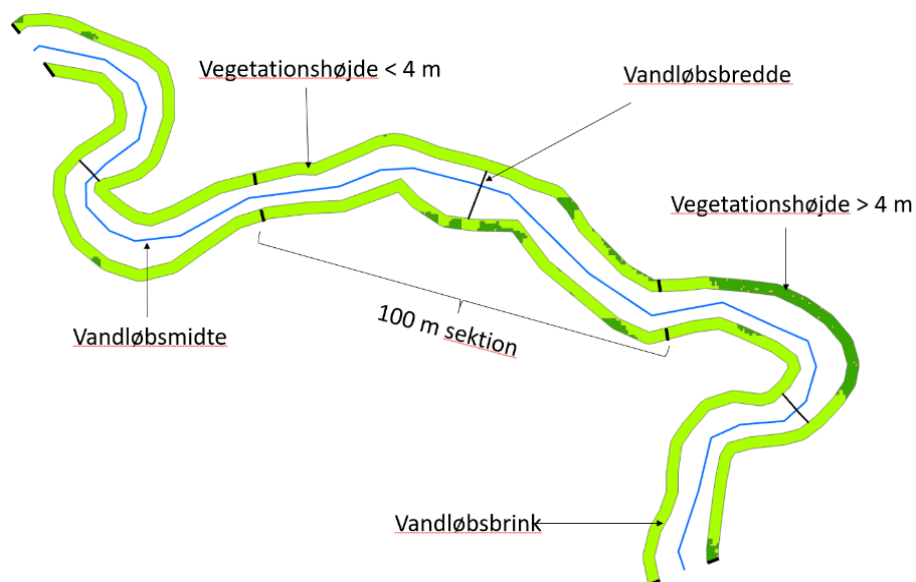
3.3 Træer på vandløbsbrinker

Træer langs vandløbets brinker har i mange undersøgelser vist sig at medvirke til at stabilisere vandløbsbrinken og dermed reducere brinkerrosionen 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 brinkerrosion 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 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).

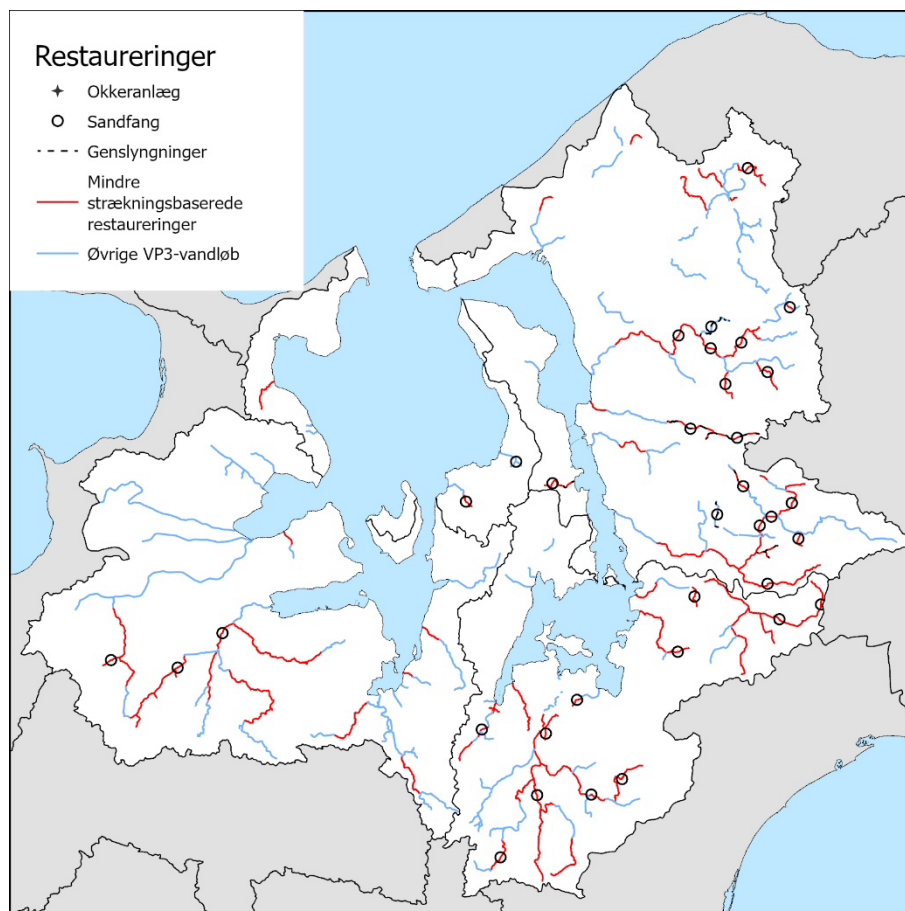
For at bevare sin funktionalitet skal sandfanget jævnlige tømmes for aflejret sediment. Sedimentet indeholder fosfor, hvorfor sandfang har en reducerende effekt på fosfortransporten i vandløbet. I en undersøgelse af sandfangs effekt på fosfortransport i vandløb (Andersen & Nilsson, 2023) er det vist, 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, 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 brinkerrosion 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 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 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>)

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 brinkerrosionsraten (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 brinkerrosion, således at tilførslen af fosfor til vandløbet formindskes fremfor for at øges.

Den relative effekt på fosfortab ved brinkerrosion 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 brinkerrosion 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.

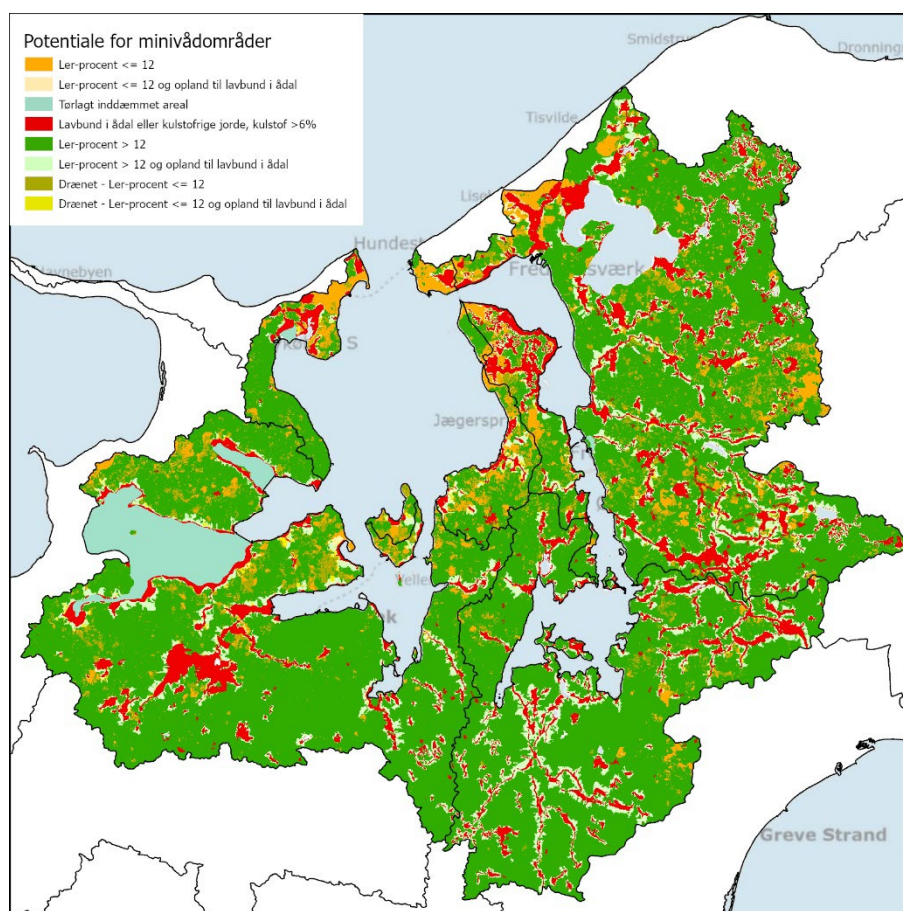
Genslyngning kan principielt foretages på alle udrettede vandløb. Som potentiale for genslyngning er anvendt de foreslåede indsatser i vandområdeplanerne for tredje planperiode (figur 3.3) (data downloadet fra <https://miljoegis.mim.dk/spatialmap?profile=vandrammedirektiv3-2022>).

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 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.

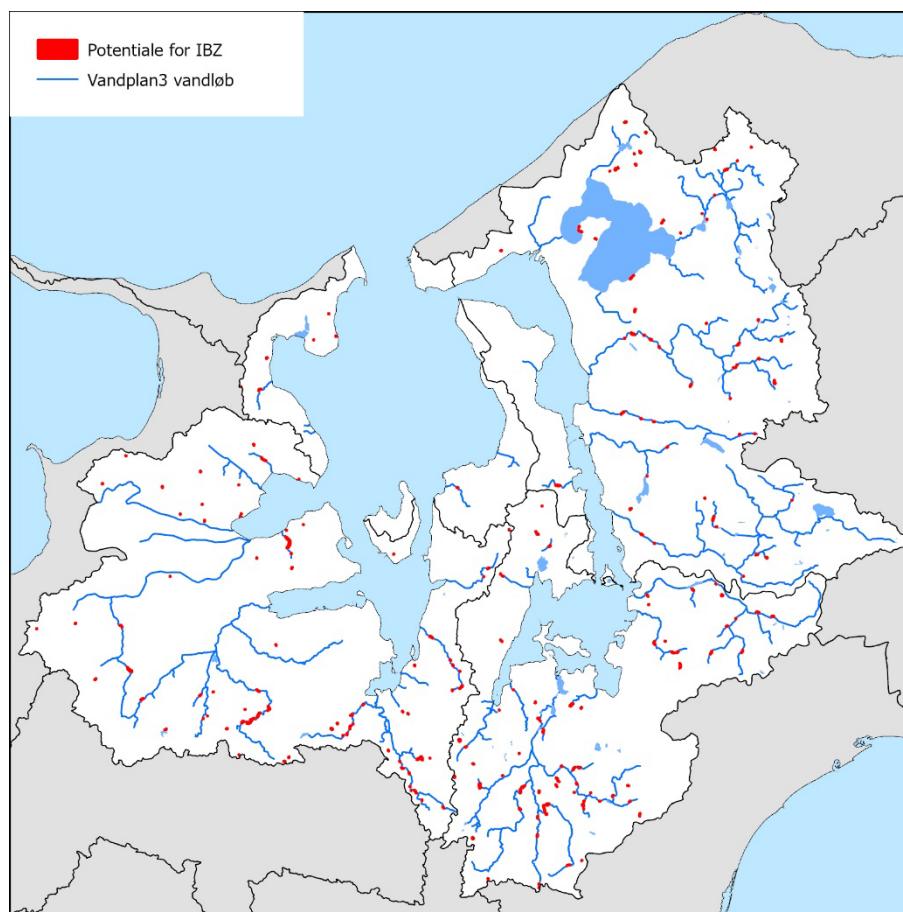
Figur 3.4. Potentialet for etablering af mini-vådområder udgøres af de to klasser hhv. "Ler-procent > 12" og "Drænet - lerprocent ≤ 12".



3.8 Integreerede bufferzoner (IBZ)

Integreerede 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.

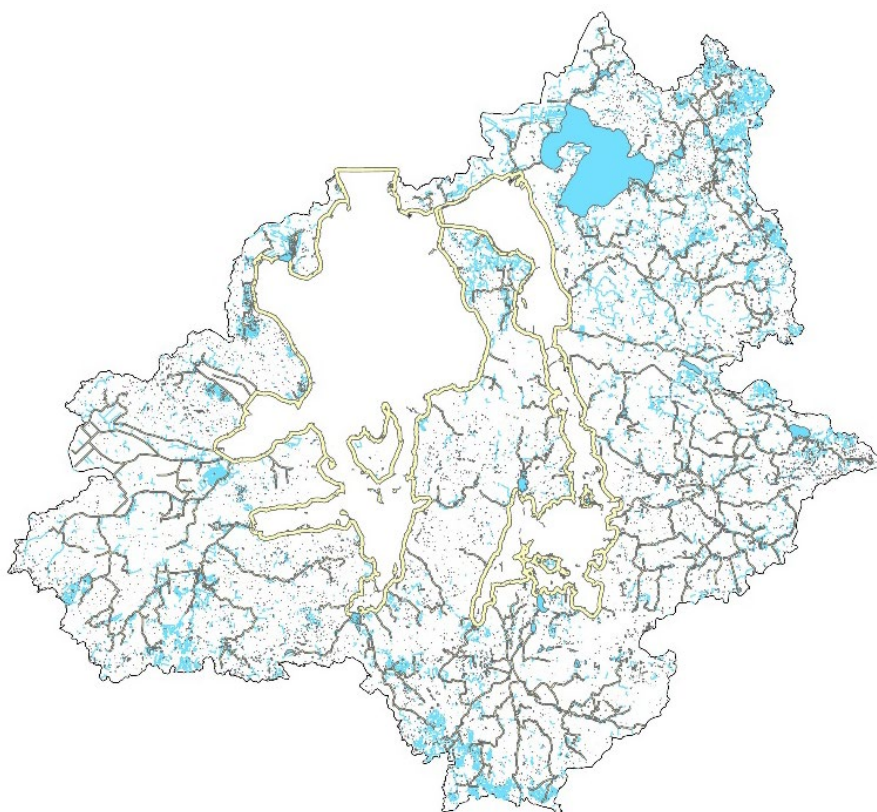
For nuværende findes der ikke et kortlagt potentiale for fosfor-vådområder. En beregning af effekten kræver således lokal information om minimumstørrelsen af det oversvømmede areal og længden af oversvømmelser.

4 Beregning af effekter ved lokalt virkemiddel-scenarier

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

- "Holbæk-modellen": ekstensivering, dvs. ophør af omlægning og gødskning, af landbrugsdriften på alle arealer indenfor 300 m langs fjordbredden og 50 m langs begge sider af alle vandløb, figur 4.1.
- Udformning af en række af de foreslåede kvælstofvådområder som fosforvådområder, figur 4.2.
- En vurdering af, hvor meget fosfortilførslen til Arresø kan reduceres ved virkemidler mod fosfortab fra det åbne land, figur 4.3.

Figur 4.1. "Holbæk-modellen": 300 m ekstensiveret randzone langs fjordbredden og 50 m ekstensiverede randzoner langs alle vandløb, begge sider.



Holbæk-modellen

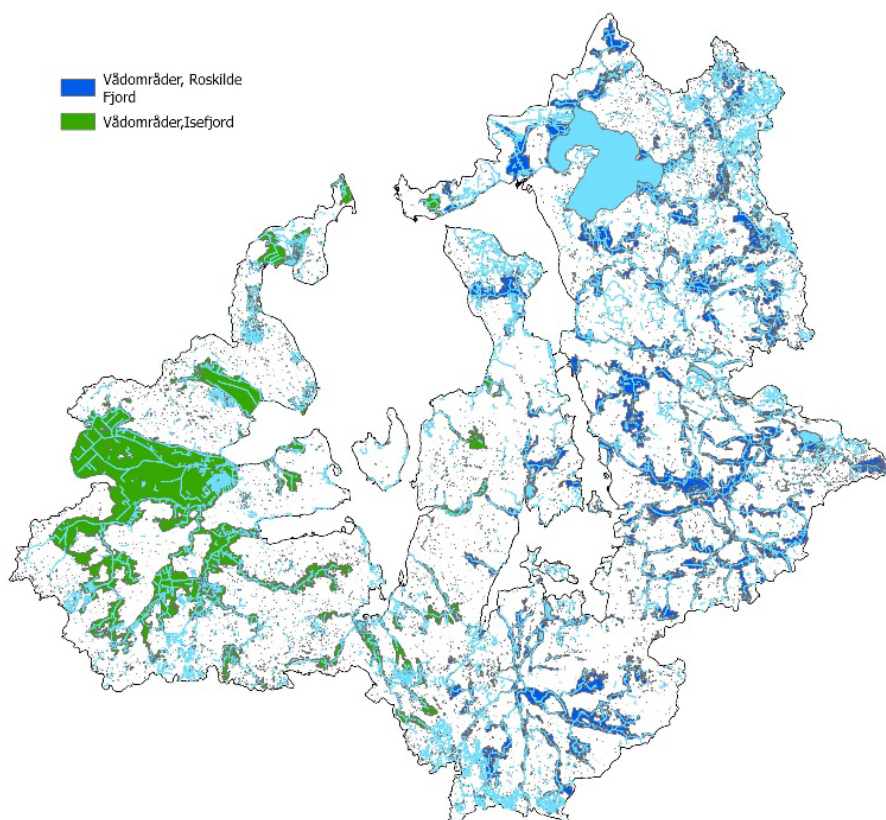
Ved ekstensivering af erosionstruede omdriftsarealer på højbund kan man forvente, at fosfortabet ved erosion reduceres 100 % (Andersen et al. 2009, Schou et al 2007). Hvor den nuværende arealanvendelse er permanent vegetation (vedvarende græs), vil fosfortab ved erosion allerede være negligibelt. Mht. 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 (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.

Fosfor-vådområder

Der er foreslået et meget stort areal med nye vådområder (figur 4.2), som, hvis de alle gennemføres som fosfor-vådområder, vil 'skygge' for hinanden og dermed ikke reelt have den effekt, som kan estimeres for det enkelte fosfor-vådområde. Andersen et al. (2020, s. 198-209) anfører, at den maksimale effekt af fosfor-vådområder i et opland er tilbageholdelse af 10% af den partikelbundne fosfortransport. En undersøgelse af en række sjællandske vandløb viser, at ca. 60% af den totale fosfortransport foregår som partikelbundet fosfor (Thodsen et al., 2021). Da størrelsen af det potentielt oversvømmede areal samt længden af oversvømmelsesperioderne er ukendte for de foreslåede vådområder, er det her valgt overslagsmæssigt at estimere effekten af fosfor-vådområder som 10% af den partikelbundne fosfortransport.

Figur 4.2. Forslag til nye vådområder genereret med SWAT+ modellen.



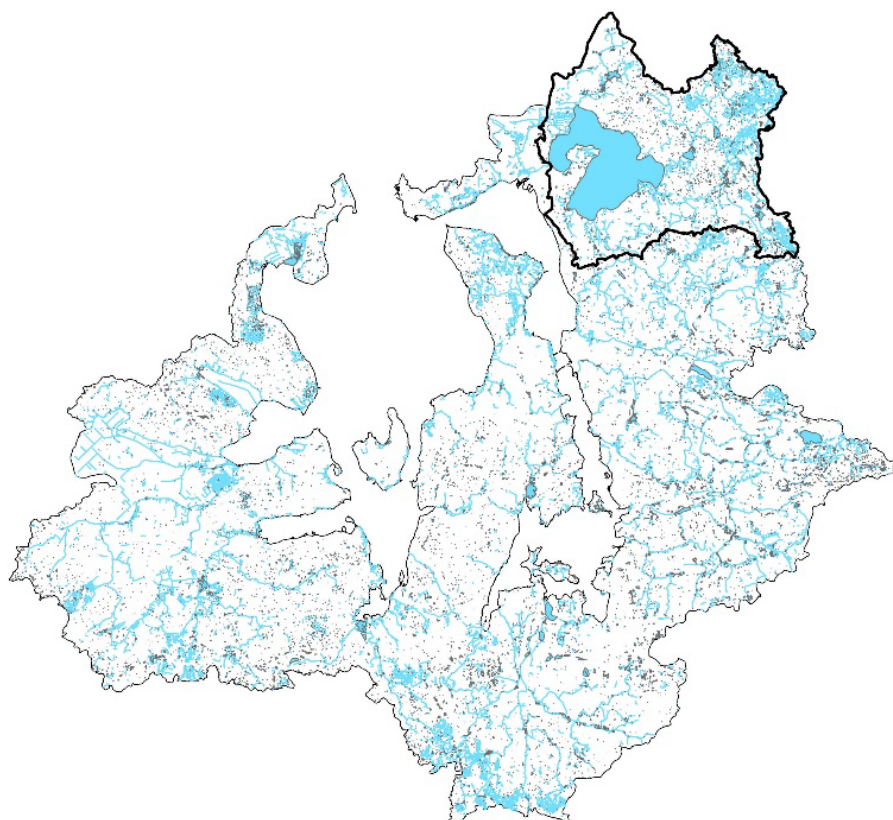
Reduktion i fosfortilførslen til Arresø

Vandområdeplanerne 2021-2027 angiver et indsatsbehov mht. reduktion i fosfortilførsel til Arresø på 2.924 kg P for at opnå god økologisk tilstand.

Effekten på fosforudledningen til Arresø er beregnet for en række virkemidler på tilsvarende måde som beskrevet i kapitel 3 for oplandene til Isefjord og Roskilde Fjord: 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 kommuneplanerne. Desuden er effekten af fosfor-vådområder i oplandet til Arresø estimeret som beskrevet ovenfor.

Figur 4.3. Oplandet til Arresø.



5 Resultater

5.1 Kildeopsplitning

Den samlede, årlige fosfortilførsel til Isefjord og Roskilde Fjord er som gennemsnit over perioden 2014-2023 på 52,4 tons P, hvoraf det diffuse bidrag udgør 17,4 tons P. Tabel 5.1 – 5.4 viser separat for hhv. Isefjord og Roskilde Fjord underopdelt på indre del og ydre del kildeopsplitningen på punktkilder og på diffust bidrag med en yderligere opsplitting på del-bidrag.

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

Total tilførsel	18,3 t P/år
Punktkilder	16,2 t P/år (89 % af total tilførsel)
Relativ betydning af de enkelte punktkilder	
Dambrug	0 %
Industri	0 %
Regnvandsbetingede udløb	35 %
Spredt bebyggelse	4 %
Renseanlæg	58 %
Direkte udledninger til kystvand ¹	4 %
Diffust bidrag	2,1 t P/år (11 % af total tilførsel)
Andel af den samlede diffuse tilførsel	
Tab via makroporer	17 %
Udvaskning	6 %
Erosion	5 %
Tab fra dyrket, organisk jord	34 %
Brinkerosion	33 %

¹Udledning fra renseanlæg direkte til fjorden

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

Total tilførsel	12,5 t P/år
Punktkilder	8,4 t P/år (67 % af total tilførsel)
Relativ betydning af de enkelte punktkilder	
Dambrug	0 %
Industri	0 %
Regnvandsbetingede udløb	17 %
Spredt bebyggelse	8 %
Renseanlæg	14 %
Direkte udledninger til kystvand ¹	61 %
Diffust bidrag	4,1 t P/år (33 % af total tilførsel)
Andel af den samlede diffuse tilførsel	
Tab via makroporer	25 %
Udvaskning	6 %
Erosion	4 %
Tab fra dyrket, organisk jord	30 %
Brinkerosion	30 %

¹Udledning fra renseanlæg direkte til fjorden

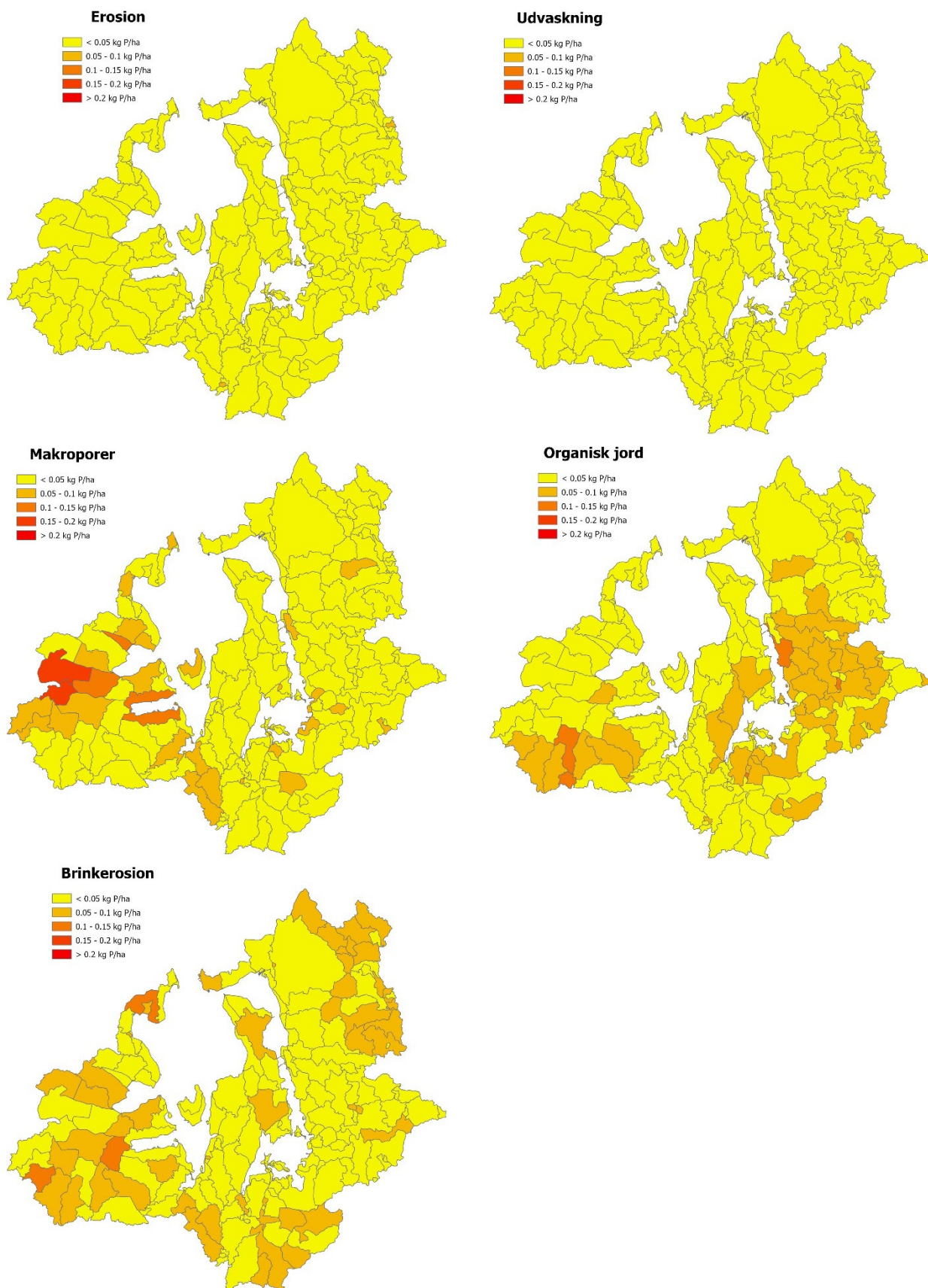
Tabel 5.3. Kildeopsplitning af fosfortilførslen til Isefjord, ydre del. Gennemsnit for perioden 2014 – 2023.

Total tilførsel	3,0 t P/år
Punktkilder	1, 7 t P/år (57 % af total tilførsel)
Relativ betydning af de enkelte punktkilder	
Dambrug	0 %
Industri	0 %
Regnvandsbetingede udløb	8 %
Spredt bebyggelse	20 %
Renseanlæg	16 %
Direkte udledninger til kystvand	56 %
Diffust bidrag	1,3 t P/år (43 % af total tilførsel)
Andel af den samlede diffuse tilførsel	
Tab via makroporer	24 %
Udvaskning	13 %
Erosion	4 %
Tab fra dyrket, organisk jord	16 %
Brinkerosion	37 %

Tabel 5.4. Kildeopsplitning af fosfortilførslen til Isefjord, indre del. Gennemsnit for perioden 2014 – 2023.

Total tilførsel	18,7 t P/år
Punktkilder	8,8 t P/år (47 % af total tilførsel)
Relativ betydning af de enkelte punktkilder	
Dambrug	0 %
Industri	1 %
Regnvandsbetingede udløb	12 %
Spredt bebyggelse	20 %
Renseanlæg	23 %
Direkte udledninger til kystvand	43 %
Diffust bidrag	9,9 t P/år (53 % af total tilførsel)
Andel af den samlede diffuse tilførsel	
Tab via makroporer	34 %
Udvaskning	9 %
Erosion	4 %
Tab fra dyrket, organisk jord	21 %
Brinkerosion	27 %

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. Disse data er i tabel 5.5 og 5.6 aggregeret og vist for hhv. Roskilde Fjord og Isefjord.

Tabel 5.5. Roskilde Fjord. Reduktion i diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialet. Bemærk: effekterne er ikke alle additive.

	Effekt, kg P/år	Potentiale
Skovrejsning	400	30.600 ha ¹
20 m randzoner	40	2,9 km
Træer langs vandløb < 2m	180	248,6 km
Træer langs vandløb 2 – 10 m	1.400	344,7 km
Træer langs vandløb > 10 m	170	25 km
IBZ	30	710 ha
Mini-vådområder	1.950	78.700 ha
Hævning af vandløbsbunden	500	156,3 km
Genslyngning	10	3,5 km
Sandfang	200	29 stk.

¹Samlet areal for Isefjord og Roskilde Fjord

Tabel 5.6. Isefjord. Reduktion i diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialet. Bemærk: effekterne er ikke alle additive.

	Effekt, kg P/år	Potentiale
Skovrejsning	570	30.600 ha ¹
20 m randzoner	15	1,1 km
Træer langs vandløb < 2m	40	65,2 km
Træer langs vandløb 2 – 10 m	1.100	251,7 km
Træer langs vandløb > 10 m	260	24 km
IBZ	20	480 ha
Mini-vådområder	1.700	53.100 ha
Hævning af vandløbsbunden	280	55,9 km
Sandfang	35	5 stk

¹Samlet areal for Isefjord og Roskilde Fjord

5.3 Effekter ved lokale virkemiddelscenarier

Holbæk-modellen

Markarealet i Holbæk-modellens 300 m brede zone langs fjorden og 50 m brede zone langs alle vandløb er for de to fjordoplande tilsammen 8.000 ha. Heraf er 4.240 ha (53%) i omdrift. Effekten af at ekstensivere omdriftsarealet i zonerne er i alt ca. 375 kg P

Fosfor-vådområder

Den samlede fosfortilførsel til Isefjord er 21,6 t P, hvoraf partikelbundet fosfor udgør ca. 13 t P, hvilket betyder, at den maksimale effekt af fosforvådområder i oplandet til Isefjord er ca. 1.300 kg P.

For Roskilde Fjord er den samlede fosfortilførsel 30,8 t P, hvoraf partikelbundet fosfor udgør ca. 18,5 t P, hvilket betyder, at den maksimale effekt af fosforvådområder i oplandet til Isefjord er ca. 1.850 kg P.

Reduktion af fosfortilførslen til Arresø

Reduktion i diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialet er beregnet for alle virkemidler. Disse data er i tabel 5.7 aggregeret for Arresø-oplandet.

Tabel 5.7. Arresø. Reduktion i diffust fosfortab ved fuld udnyttelse af virkemiddelpotentialet. Bemærk: effekterne er ikke alle additive.

	Effekt, kg P/år	Potentiale
Skovrejsning	50	
20 m randzoner	10	0,9 km
Træer langs vandløb < 2 m	60	35,4 km
Træer langs vandløb 2—10 m	320	58,6 km
Træer langs vandløb > 10 m	35	5,1 km
IBZ	5	130 ha
Mini-vådområder	230	15.000 ha
Hævnings af vandløbsbunden	50	9,3 km
Genslyngning	0	0
Sandfang	15	2 stk.

Den samlede fosfortilførsel til Arresø (2014 – 2023) er 6,7 t P, hvoraf partikelbundet fosfor udgør ca. 4 t P. Den maksimale effekt af fosforvådområder i oplandet til Arresø er dermed ca. 400 kg P. Opmærksomheden henledes på, at ikke alle virkemiddeleffekter kan adderes: træplantning i betydeligt omfang vil reducere brinkerosion og dermed den partikelbundne fosfortransport i vandløbene, hvorfor effekten af fosforvådområder vil reduceres.

6 Konklusion

Den samlede, årlige fosfortilførsel til Isefjord er som gennemsnit over perioden 2014-2023 på 21,6 tons P, hvoraf det diffuse bidrag udgør 11,2 tons P (52 %). De mest betydende diffuse tabsveje for fosfor er brinkerosion og tab via makroporer til dræn, som udgør hhv. 28 % og 33 % af den samlede, diffuse tilførsel.

Den samlede, årlige fosfortilførsel til Roskilde Fjord er som gennemsnit for samme periode 30,8 tons P, hvoraf det diffuse bidrag udgør 6,2 tons P (26 %). De mest betydende diffuse tabsveje for fosfor er brinkerosion og tab fra dyrket organisk jord, som udgør hhv. 31 % og 31 % af den samlede, diffuse tilførsel.

Effekt på fosforudledningen til Isefjord og Roskilde 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 vådområdeplanerne eller for skovrejsnings vedkommende kommuneplanen.

For Isefjord er virkemidlerne med størst effekt hhv. træplantning på vandløbsbrinker med en samlet effekt på ca. 1.400 kg P, mini-vådområder med en effekt på ca. 1.700 kg P og skovrejsning med en effekt på ca. 570 kg P ved udnyttelse af de fulde potentialer.

For Roskilde Fjord er virkemidlerne med størst effekt hhv. træplantning på vandløbsbrinker med en samlet effekt på ca. 1.750 kg P, mini-vådområder med en effekt på ca. 1.950 kg P og skovrejsning med en effekt på ca. 400 kg P ved udnyttelse af de fulde potentialer.

Et scenarie omfattende ekstensivering, dvs. ophør af omlægning og gødskning, af landbrugsdriften i en 300 m bred zone langs fjordbredden og i en 50 m bred zone langs alle vandløb giver en samlet reduktion i fosfortabet til Isefjord og Roskilde Fjord på ca. 375 kg P.

Etablering af en række af de foreslåede vådområder som fosfor-vådområder med temporære oversvømmelser er estimeret til maksimalt at kunne reducere fosfortabet til Isefjord med 1.300 kg P og til Roskilde Fjord med 1.850 kg P.

Særskilt for Arresø er på samme vis som for oplandene til Isefjord og Roskilde Fjord beregnet effekt af en række virkemidler under udnyttelse af de fulde potentialer. Virkemidlerne med størst effekt er hhv. træplantning på vandløbsbrinker med en samlet effekt på ca. 415 kg P, mini-vådområder med en effekt på ca. 230 kg P og skovrejsning og hævning af vandløbsbunden, begge med en effekt på ca. 50 kg P. Den maksimale effekt af fosfor-vådområder i oplandet til Arresø er estimeret til ca. 400 kg P.

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.

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 brinkerrosion 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 Fødevarerministeriet.

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., Rolighed, J., Baattrup-Pedersen, A., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Blicher-Mathiesen, G. & Kjeldgaard, A. 2021. Vandløb 2020. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 82 s. - Videnskabelig rapport nr. 473 <http://dce2.au.dk/pub/SR473.pdf>

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. Haderslev Amt.

MULIGHEDER FOR REDUKTION AF DEN DIFFUSE FOSFORTILFØRSEL TIL ISEFJORD OG ROSKILDE FJORD

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